



GERAÇÃO E DETECÇÃO DE CAMPOS ELETROMAGNÉTICOS POR MEIO DA BOBINA DE TESLA: UMA PROPOSTA DE ENSINO A PARTIR DE ORGANIZADORES AVANÇADOS AUSUBELIANOS

Ingrid de Sousa Rodrigues Duarte

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação da Universidade de Brasília (UnB) no Curso de Mestrado Profissional em Ensino de Física (MNPEF), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física, sob orientação do professor Dr. Antony Marco Mota Polito e coorientação da professora Dra. Adriana Pereira Ibaldo.

Brasília- DF
Setembro de 2019

Ficha catalográfica elaborada automaticamente,
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

DIN55g Duarte, Ingrid de Sousa Rodrigues
Geração e Detecção de Campos Eletromagnéticos por meio da bobina de Tesla: uma proposta de ensino a partir de organizadores avançados ausubelianos / Ingrid de Sousa Rodrigues Duarte; orientador Antony Marco Mota Polito; co-orientador Adriana Pereira Ibaldo. -- Brasília, 2019. 223 p.

Dissertação (Mestrado - Mestrado Profissional em Ensino de Física) -- Universidade de Brasília, 2019.

1. Indução Eletromagnética. 2. Campo Eletromagnético. 3. Bobina de Tesla. 4. Organizadores Avançados. 5. Aprendizagem Significativa. I. Polito, Antony Marco Mota, orient. II. Ibaldo, Adriana Pereira, co-orient. III. Título.

GERAÇÃO E DETECÇÃO DE CAMPOS ELETROMAGNÉTICOS POR MEIO DA
BOBINA DE TESLA: UMA PROPOSTA DE ENSINO A PARTIR DE
ORGANIZADORES AVANÇADOS AUSUBELIANOS

Ingrid de Sousa Rodrigues Duarte

Orientador: Prof. Dr. Antony Marco Mota Polito
Coorientadora: Prof^a. Dra. Adriana Pereira Ibaldo

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação da Universidade de Brasília (UnB) no Curso de Mestrado Profissional em Ensino de Física (MNPEF), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título DE MESTRE EM ENSINO DE FÍSICA.

Aprovada em: 06 de setembro de 2019.

Dr. Antony Marco Mota Polito
(presidente)- UnB/DF

Dr. Marcelo Ferreira
(membro interno)

Dr. Frank Vasconcelos de Sales
(membro externo)

Brasília- DF
Setembro de 2019

Dedico esta dissertação ao único e amado filho e Nicholas Duarte e, ao Nilton César Duarte, por sua insubstituível companhia que preenche minha vida de significados e realização.

AGRADECIMENTOS

Nessa jornada acadêmica, de muito estudo, dedicação, esforço e empenho, quero primeiramente, agradecer ao Criador do Universo por permitir vivenciar essa conquista.

As pessoas que me acompanharam e foram fundamentais para a realização deste sonho. Por isso, quero expressar através de minhas palavras sinceras de gratidão pela parceria, estímulo, incentivo, disposição e empenho de vocês.

Agradeço a minha família pelo apoio, incentivo que me deu ao longo dessa caminhada para concluir este desafio e por me ajudar na construção da Bobina.

Ao meu orientador e amigo, professor Dr. Antony Polito, por aceitar o desafio de dialogar sobre esta temática, pela paciência por ter lido inúmeras vezes os meus escritos, pelos ensinamentos, estou grata pela liberdade de ação que me permitiu que foi decisiva para que este trabalho contribuísse no meu desenvolvimento profissional e pessoal. Como professor abriu-me horizontes, ensinou-me principalmente a pensar. Foi, e é fundamental na construção e solidificação deste trabalho. O meu, muito obrigada!

Agradeço a coorientadora, professora Dra. Adriana Pereira Ibaldo, por aceitar participar de discussões sobre a parte experimental.

Agradeço ao meu irmão, Demutiey Rodrigues de Sousa, pelos momentos de debate, pelo o apoio e incentivo para concluir mais uma etapa da minha vida.

Agradeço aos meus colegas do programa do Mestrado Profissional de Ensino de Física- UnB, em especial, Gustavo Conforto, Gustavo Franz, pela parceria na elaboração dos trabalhos, pelos cafezinhos nos intervalos, pelas trocas de experiência que vocês compartilharam e contribuíram para o meu aprendizado.

Agradeço, em especial, ao meu colega de trabalho, Wagner Zeferino, que me auxiliou no suporte técnico na construção da Bobina de Tesla.

Aos alunos participantes desse projeto que colaboram em compartilhar seus conhecimentos e experiências nas atividades propostas.

À instituição de Ensino na qual trabalho, por permitir à aplicação do produto educacional.

Aos docentes da Universidade de Brasília e a Sociedade Brasileira de Física por contribuírem para o aperfeiçoamento da formação continuada dos professores com excelência.

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

“A maior tragédia da vida não é a morte...Mas a vida sem uma razão.”

Dr. Myles Munroe

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Exemplo de mapa conceitual: formato do tipo diagrama	34
Figura 2- Gerador de van de Graaff.....	46
Figura 3- Diagrama de conceitos sobre Gerador de van de Graaff	47
Figura 4- Diagrama de Conceitos para a Lei de Coulomb (Eletrostática)	47
Figura 5- Movimento das cargas no Gerador de van de Graaff	48
Figura 6- Um modelo de eletroímã.....	49
Figura 7- Diagrama de conceitos para o Eletroímã	49
Figura 8- Diagrama de conceitos para a Lei de Gauss magnetostática.....	50
Figura 9- Esquema do circuito de Faraday	52
Figura 10- Diagrama de conceitos para o experimento de Faraday	53
Figura 11- Diagrama de conceitos da Lei de Faraday	54
Figura 12- Bobina de Tesla montada e desligada.....	55
Figura 13- Circuito de Tesla convencional.	56
Figura 14- Transformador Gás neon de 12kV usado no artefato	56
Figura 15- Banco de capacitores- total de 100 capacitores associados	57
Figura 16- Centelhador ou Spark Gap de parafusos de latão.....	58
Figura 17- Bobinas primária e secundária	60
Figura 18- Campo magnético gerado por corrente (direita) e induzido por variação ...	62
Figura 19- Diagrama de conceitos da Bobina de Tesla- Circuito Ressonante	62
Figura 20- Diagrama de conceitos da Lei Ampère-Maxwell	63
Figura 21- Regiões de Fraunhofer e Fresnel	65
Figura 22- Diagramas esquemáticos das antenas linear e circular	66
Figura 23- Antena linear receptora conectada ao LED e ao voltímetro	66
Figura 24- Antena circular	67
Figura 25-- Eletroímã – Laboratório de Eletromagnetismo virtual	75
Figura 26- Uma bobina retangular e cinco ímãs de neodímio	80
Figura 27- A bobina de Tesla em funcionamento	81
Figura 28- Esquema do circuito elétrico do aparato experimental.	83
Figura 29 - Simulação do Campo elétrico e magnético na Bobina de Tesla	83
Figura 30- Antenas e formato de conexão ao multímetro.....	91
Figura 31- Os papéis picotados sendo atraídos pela aluna.....	95
Figura 32- Cata-vento elétrico.....	96
Figura 33- Cata-vento elétrico.....	96
Figura 34- Experimento do Eletroímã	98
Figura 35- Materiais usados para o experimento do eletroímã	99
Figura 36 - Uma bobina retangular e cinco ímãs de neodímio	100
Figura 37- Diagrama de conceitos de Lei de Faraday	101
Figura 38 - Alunos realizando atividades virtuais no lab. Informática.....	102
Figura 39- A bobina de Tesla em funcionamento	103
Figura 40- Esquema do circuito elétrico do aparato experimental.	104
Figura 41- Simulação do Campo elétrico e magnético na Bobina de Tesla	104
Figura 42- Diagrama de conceitos da Bobina de Tesla	106
Figura 43- Detecção do campo elétrico através da antena linear	109
Figura 44- Antena linear próxima a bobina	109
Figura 45- Antena circular próxima a bobina	110
Figura 46- Resposta da questão- aluno A1.....	112

Figura 47- Resposta da questão1- aluno A6.....	112
Figura 48- Resposta da questão1- aluno A22.....	113
Figura 49 - Resposta da questão1- aluno A24.....	113
Figura 50 -- Resposta da questão 2 – aluno A1.....	114
Figura 51- Resposta da questão 2- aluno A3.....	114
Figura 52- Resposta da questão 3- aluno A5.....	115
Figura 53- Resposta da questão 3- aluno A13.....	115
Figura 54- Resposta da questão 5- aluno A13.....	116
Figura 55- Resposta da questão 5- aluno A16.....	116
Figura 56- Resposta da questão 6- aluno A13.....	117
Figura 57- Resposta da questão 6- aluno A13.....	117
Figura 58- Resposta da questão 6- aluno A5.....	117
Figura 59- Resposta da questão 6- aluno A3.....	118
Figura 60 - Resposta da questão 6- aluno A16.....	118
Figura 61- Resposta da questão 7- aluno A13.....	118
Figura 62- Resposta da questão 7- aluno A21.....	119
Figura 63- Resposta da questão 8 e 9- Aluno A13.....	119
Figura 64- Resposta da questão 10- aluno A12.....	120
Figura 65- Resposta da questão 10- aluno A22.....	120
Figura 66- Resposta da questão 10- aluno A20.....	120
Figura 67- Resposta da questão 1- dupla D2.....	122
Figura 68- Resposta da questão 5- dupla D3.....	122
Figura 69- Respostas das questões 1 e 2 da dupla D8.....	123
Figura 70- Respostas das questões 1 e 2 da dupla D11.....	123
Figura 71- Respostas da questão 1 do aluno A7.....	124
Figura 72- Respostas da questão 2 do aluno A1.....	124
Figura 73- Respostas da questão 3 do aluno A7.....	125
Figura 74- Respostas das questões 3 e 4 do aluno A20.....	125
Figura 75- Respostas das questões da atividade 7 – dupla D6.....	126
Figura 76- Respostas das questões da atividade 7 – dupla D7.....	127
Figura 77- Resposta da questão 1 da avaliação- aluno A1.....	128
Figura 78- Resposta da questão 2 da avaliação- aluno A12.....	129
Figura 79- Resposta da questão 3 da avaliação- aluno A1.....	130
Figura 80- Resposta da questão 4 da avaliação- aluno A16.....	132
Figura 81- Resposta da questão 4 da avaliação- aluno A20.....	132
Figura 82- Resposta da questão 4 da avaliação- aluno A3.....	132
Figura 83- Resposta da questão 5 da avaliação- aluno A1.....	134
Figura 84- Resposta da questão 5 da avaliação- aluno A9.....	134
Figura 85- Resposta da questão 5 da avaliação- aluno A16.....	135
Figura 86- Resposta da questão 6, letra a da avaliação- aluno A16.....	137
Figura 87- Resposta da questão 6, letra a da avaliação- aluno A4.....	137
Figura 88- Resposta da questão 6, letra b da avaliação- aluno A4.....	139
Figura 89- Resposta da questão 6, letra b da avaliação- aluno A16.....	139
Figura 90- Resposta da questão 6, letra c da avaliação- aluno A7.....	140
Figura 91- Resposta da questão 6, letra c da avaliação- aluno A16.....	141

LISTA DE QUADROS

Quadro 1- Os tipos de processos de aprendizagem e exemplos de tarefas e seus diferentes valores	24
Quadro 2- Equações de Maxwell	44
Quadro 3- Organização da sequência didática	69
Quadro 4- Comparações entre o gerador de Van de Graaff e a bobina de Tesla	106

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1- Respostas dos alunos à questão 01- Campo eletrostático.....	128
Gráfico 2- Respostas dos alunos à questão 02- Eletroímã	130
Gráfico 3- Respostas dos alunos à questão 03- Lei de Faraday	131
Gráfico 4- Respostas dos alunos à questão 04- Funcionamento da bobina de Tesla...	133
Gráfico 5- Respostas dos alunos à questão 05- Detecção e geração do campo eletromagnético.....	136
Gráfico 6- Respostas dos alunos à questão 06, letra a- gerador de Van de Graaff.....	138
Gráfico 7- Respostas dos alunos à questão 06, letra b- eletroímã	140
Gráfico 8- Respostas dos alunos à questão 06, letra c- bobina de Tesla.....	141

RESUMO

GERAÇÃO E DETECÇÃO DE CAMPOS ELETROMAGNÉTICOS POR MEIO DA BOBINA DE TESLA: UMA PROPOSTA DE ENSINO A PARTIR DE ORGANIZADORES AVANÇADOS AUSUBELIANOS

Ingrid de Sousa Rodrigues Duarte

Orientador: Prof. Dr. Antony Marco Mota Polito

Coorientadora: Prof^a Dra. Adriana Pereira Ibaldo

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

Na busca de estratégias de ensino para facilitar a aquisição, o armazenamento e a utilização do conhecimento a ser apreendido, a partir do conhecimento prévio dos alunos, propomos uma sequência de aprendizagem construída em torno de um experimento que inclui a maior parte dos temas associados com o eletromagnetismo. Desse modo, elaborou-se esse trabalho com objetivo de abordar os conceitos de indução eletromagnética e de campo eletromagnético, por meio da bobina de Tesla, um experimento que, ao mesmo tempo, permite abordar também a geração e a detecção de campos eletromagnéticos. Para o desenvolvimento do projeto, nos utilizamos da teoria de Aprendizagem Significativa de David Ausubel e nos baseamos em diversas referências voltadas para o ensino com utilização de atividades prático-experimentais, os quais foram tomados, por nós, como organizadores avançados. Como marco legal, nos utilizamos da Lei de Diretrizes e Bases e das Diretrizes Curriculares Nacionais. A aplicação da sequência foi realizada em uma turma de terceiro ano do Ensino Médio, em uma escola pública do Distrito Federal. Observamos que os estudantes demonstraram serem mais participativos e apresentaram resultados considerados satisfatórios nas avaliações.

Palavras-chaves: Indução Eletromagnética, Campo Eletromagnético, Bobina de Tesla, Aprendizagem Significativa, Organizadores Avançados.

Brasília- DF
Setembro de 2019

ABSTRACT

GENERATION AND DETECTION OF ELECTROMAGNETIC FIELDS THROUGH THE TESLA COIL: A PROPOSAL FOR TEACHING FROM AUSUBELIAN ADVANCED ORGANIZERS

Ingrid de Sousa Rodrigues Duarte

Supervisor: Prof. Dr. Antony Marco Mota Polito
Supervisor Prof^a Dra. Adriana Pereira Ibaldo

Abstract of master's thesis submitted to Programa de Pós-Graduação (nome dado na instituição) no Curso de Mestrado Profissional de Ensino de Física (MNPEF), in partial fulfillment of the requirements for the degree Mestre em Ensino de Física.

Searching for teaching strategies to enhance the acquisition, the keeping and the use of the knowledge to be learned, based on the previous knowledge of the students, we propose a learning sequence build around an experiment that includes the majority of the themes connected with electromagnetism. In this manner, we elaborate this work that has the goal of approaching the concepts of electromagnetic induction and electromagnetic field, by using the Tesla Coil. The Tesla Coil is an experiment that also allows approach the generation and the detection of electromagnetic fields. To develop this project, we based on the Meaningful Learning theory of David Ausubel. We also based on several references turned to teaching with practical-experimental activities. These were considered, by us, as advanced organizers. As legal framework, we based on the “Lei de Diretrizes e Bases” and on the “Diretrizes Curriculares Nacionais”. The application of this sequence was made in a third-year class of High School, in a public school of Distrito Federal. We observed that the students show be more participative and present satisfactory results in the final tests.

Keywords: Electromagnetic Induction, Electromagnetic Field, Tesla Coil, Meaningful Learning, Advanced Organizes.

Brasília- DF
Setember of 2019

SUMÁRIO

Capítulo 1	Introdução.....	16
Capítulo 2	Referenciais Didático-Pedagógicos	22
2.1	Aprendizagem Significativa na Teoria de David Ausubel	22
2.1.1	Subsunçores e Organizadores Avançados.....	26
2.1.2	Evidência da Aprendizagem Significativa	30
2.1.3	Tipos de Aprendizagem Significativa.....	32
2.1.4	Mapas Conceituais: Ensino Significativo	33
2.2	Atividades Prático-Experimentais	35
2.2.1	Contribuições das Atividades Experimentais.....	35
2.2.2	Tipos de Abordagens Experimentais	37
2.2.2.1	Atividades de Demonstração	37
2.2.2.2	Atividades de Verificação	39
2.2.2.3	Atividades de Investigação.....	40
Capítulo 3	41
Conceito de Eletromagnetismo.....		41
3.1	Conceito de Campo e as Leis do Eletromagnetismo	41
3.2	Campo Eletrostático: Gerador de van de Graaff	45
3.3	Campo Magnetostático: Eletroímã.....	48
3.4	Campos e Indução Eletromagnética: os Experimentos de Faraday	50
3.5	Campo Eletromagnético: a Bobina de Tesla.....	54
3.5.1-	Elementos Estruturais da Bobina de Tesla	55
3.5.2-	Conceitos Físicos.....	60
3.5.3-	Antenas	63
Capítulo 4	68
Produto Educacional		68
4.1	Etapa 1- Questionário Inicial	71
4.2	Etapa 2- Campo Eletrostático: o Gerador de van de Graaff	72
4.3	Etapa 3- Campo Magnetostático: o Eletroímã	75
4.4	Etapa 4- Indução Eletromagnética: o Experimento de Faraday.....	77
4.5	Etapa 5- Indução Eletromagnética: Apresentação dos Efeitos Imediatos do Acoplamento Indutivo na Bobina de Tesla	81
4.6	Etapa 6- Indução Eletromagnética e Campos Eletromagnéticos: Apresentação Comparativa entre a Bobina de Tesla e o Gerador de van de Graaff.....	85
4.7	Etapa 7- Geração e Detecção de Campos Eletromagnéticos	87
4.8	Etapa 8— Revisão e Avaliação	91
Capítulo 5	Aplicação do Produto Educacional.....	92
5.1	Introdução	92
5.2	Relato da Aplicação.....	93
5.2.1-	Etapa 1: Questionário inicial.....	93
5.2.2-	Etapa 2: Campo Eletrostático: o Gerador de van de Graaff	93
5.2.3-	Etapa 3: Campo Magnetostático: o Eletroímã	98
5.2.4-	Etapa 4: Indução Eletromagnética: os Experimentos de Faraday	99
5.2.5-	Etapa 5- Indução Eletromagnética: Apresentação dos Efeitos Imediatos do Acoplamento Indutivo na Bobina de Tesla.....	102
Capítulo 6	Discussão dos Resultados	111
6.1	Análise do Questionário Inicial.....	111

6.2 Análise das atividades prático-experimentais	121
6.3 Análise do Questionário Final.....	127
Capítulo 7 Conclusão	142
Referências	145
Apêndice- Produto Educacional	151
Anexo I- Texto- O gerador de Van de Graaff	220
Anexo II- Atividade Extra: Indução Eletrostática: Transformadores	222

Capítulo 1

Introdução

O prazer pela busca do conhecimento científico está cada vez mais distante da escola, em especial, da física. É percebido que a disciplina não é atraente aos estudantes do Ensino Médio. Durante as aulas de física, os estudantes demonstram bastante desinteresse, seja por causa da complexidade dos conceitos envolvidos, seja pela imposição de resolverem muitos exercícios, ou mesmo pela necessidade de memorizarem diversas fórmulas que não lhes dizem nada. Evidentemente, em uma situação como essa, não há como contribuir para o pleno exercício da cidadania e enculturação científica.

Diante desse panorama, os professores de física enfrentam grandes desafios, em busca de estratégias para ensinar de maneira diferenciada. Assim, o docente tem sido levado à necessidade de buscar e de desenvolver meios e estratégias para tornar as suas aulas aprazíveis, para dar oportunidade aos estudantes para apresentarem curiosidade pelo inusitado, para incentivá-los a envolver-se com atividades de pesquisa e de desenvolvimento do espírito inventivo.

A física, em especial o eletromagnetismo, está presente no nosso dia a dia, no funcionamento de vários aparelhos e dispositivos eletromecânicos e eletrônicos, nas telecomunicações e, principalmente, na distribuição de energia elétrica para a alimentação desses dispositivos. Devemos considerar que vivemos em um mundo de grandes avanços científicos e tecnológicos e faz-se necessário trabalhar os conceitos físicos em sala de aula considerando esse cenário.

Nessa perspectiva, defendemos que o professor pode e deve utilizar-se de outras práticas educativas, no sentido de aproximar o educando da física, conforme ela se apresenta no mundo cotidiano. O fato é que existem várias pesquisas em educação que se preocupam com esse tipo de problemas¹, sejam voltadas para alcançar a aprendizagem significativa de temas eminentemente técnicos, seja para auxiliar na formação do cidadão.

¹ Um exemplo é a chamada “engenharia didática”, cujo objetivo original era o de servir como método para a educação matemática e cuja ênfase em desenvolvimento de sequência de aprendizagem a aproxima da abordagem ausubeliana (Artigue, 1996).

Uma das maneiras de tentar envolver o aluno é fazer uso de abordagens prático-experimentais. Elas dão ao estudante a oportunidade de problematizar o seu conhecimento e de se posicionar, criticamente, ao longo do seu processo de ensino-aprendizagem, levando-o à compreensão mais profunda dos fenômenos observados e das metodologias adotadas para estudá-lo.

É dentro da perspectiva dessas ideias que nos dispusemos a encarar o desafio de ensinar eletromagnetismo. Mais especificamente, trabalhamos para montar um produto educacional cuja ideia central fosse constituída por um experimento que, além de valor didático e técnico, também apresenta valor histórico, a saber, a bobina de Tesla.

A bobina de Tesla é um dispositivo cuja riqueza conceitual é enorme. É, literalmente, possível estudar todas as leis e os fenômenos do eletromagnetismo clássico com ela. Julgamos, portanto, que vale a pena desenvolver uma estratégia para o ensino do eletromagnetismo que faça da bobina de Tesla um verdadeiro instrumento, para além da pura pirotecnia de emissão de raios aos quais está muitas vezes associada.

Com um experimento complexo e integrador desse tipo, é possível tentar diminuir as dificuldades de assimilação dos conceitos físicos e, ao mesmo tempo, gerar o interesse para a aprendizagem, mediante o emprego de técnicas de observação, análise e, também, exploração. Isso é bem-vindo para que o estudante desenvolva suas habilidades e seja capaz de tornar mais significativa a conexão entre os conceitos físicos e os fenômenos naturais.

O interesse por esse tema surgiu ao longo da minha trajetória acadêmica e profissional, mais precisamente durante um curso de Especialização em Física pela Universidade Federal de Lavras- MG, em 1999, e na atuação como professora da rede pública de ensino do Distrito Federal. Naquele ano, foi permitido ao professor aprofundar seus conhecimentos em física, em especial no estudo do eletromagnetismo, com a intenção de trabalhar, futuramente, com os alunos de 3º. ano do Ensino Médio.

Durante a minha atuação como professora, observei as dificuldades dos estudantes para aprender os conceitos e para entender a fenomenologia do eletromagnetismo. A partir disso, sempre busquei por estratégias de ensino que facilitassem a aquisição, o armazenamento e a utilização do conhecimento. Foi nessa perspectiva que, já como aluna do Mestrado Profissional em Ensino de Física, entrei em contato com a teoria ausubeliana de aprendizagem significativa, cuja ideia mais influente talvez seja a de valorizar o

conhecimento prévio dos alunos. Assim, pensei em um experimento técnica e historicamente interessante, com largo potencial didático, de modo a incluir todos os temas do eletromagnetismo, e que pudesse ser abordado do ponto de vista de sequências de aprendizagem orientadas segundo a perspectiva ausubeliana.

Independentemente da linha teórica adotada, é um fato que as atividades prático-experimentais possibilitam a compreensão e a assimilação de conceitos pelos estudantes, ainda que não se possa dizer que eles sejam suficientes. De todo modo, elas permitem ao aluno a oportunidade de observar o fenômeno, cuja imaginação muitas vezes não é fácil de alcançar em aulas teóricas convencionais. Porém, o fato é que a experimentação, segundo Hodson (1994), não assegura, por si só, a aprendizagem. É preciso envolver os alunos na exploração, no desenvolvimento e na modificação das opiniões vulgares que possuem sobre o fenômeno, incentivando-os a refletir e assimilar um conhecimento que já tenha passado por essa reflexão.

O ensino de conceitos do eletromagnetismo, baseado num dispositivo tão complexo, como a bobina de Tesla, apresenta dificuldades para se enveredar por uma linha didático-pedagógica que envolvesse, principalmente, aprendizagem por descoberta. De fato, a ideia associada com o uso desse e de outros instrumentos experimentais, como pontes conceituais, nos convidou a seguir a linha didática proposta por David Ausubel em sua teoria de aprendizagem significativa, e seu uso extensivo do conceito de organizador avançado.

Um aspecto relevante no processo de aprendizagem, segundo Ausubel (1980), consiste na necessidade de adoção de uma postura ativa, por parte do estudante, pois, sem estar motivado para o estudo, qualquer que seja a abordagem – por exposição, por investigação ou por exploração –, ela estará fadada ao fracasso. As aulas prático-experimentais têm, aparentemente, uma chance a mais de proporcionar esse tipo de motivação.

Diante da necessidade da escolha de um experimento, a construção da bobina de Tesla foi o primeiro desafio. Frente a ele, foram realizadas pesquisas bibliográficas sobre sua construção, seu funcionamento e a aplicação da bobina de Tesla como um experimento para estudar a geração e a detecção de campos eletromagnéticos. Dentre as obras pesquisadas sobre a bobina de Tesla estão as de Nagaoka (1909), Wheeler (1928), Tompson (1999), Bruns (1992), Chiquito e Lanciotti Jr. (1999), Skeldon (1997), Laburú

e Arruda (2004), Sousa e Silva (2012), Barreto (2014) e Siqueira, Camargo e Blando (2015).

Nagaoka (1090), Tompson (1999) e Wheeler (1928) apresentam as fórmulas para o cálculo do número de espiras (com base nas dimensões físicas dos indutores) e de sua indutância. Laburú e Arruda (2004), Sousa e Silva (2012) e Barreto (2014) descrevem, em seus artigos, a construção de uma bobina com objetivo de equipar o professor para a demonstração de fenômenos eletromagnéticos em sala de aula, de modo a estimular o estudante à curiosidade pelo estudo em pauta.

Chiquito e Lanciotti Jr. (1999) propõem o funcionamento e o projeto de uma bobina de Tesla como uma ilustração de um sistema ressonante de dois circuitos acoplados e, através de seu modelamento teórico, para explorar conceitos como transferência de energia acumulada em capacitores e indutores, e mais ainda, técnicas matemáticas associadas ao experimento para a geração, a transmissão e a recepção de ondas eletromagnéticas. Bruns (1992), em seu artigo, propõe uma construção de uma bobina de Tesla de demonstração de baixa voltagem, usando um relé fotovoltaico sólido para substituir o centelhador convencional. Skeldon, Grant e Scott (1997) propuseram a construção de uma bobina de Tesla que gerasse altas diferenças de potencial, para demonstrações em aulas e exposições científicas. Nesse artigo, os autores descrevem a construção de uma bobina de Tesla de alta tensão que opera por controle eletrônico.

Diante dessas ideias e pesquisas, as questões gerais que motivam meu trabalho foram as seguintes. Como é e como se explica a geração de campos eletromagnéticos, na bobina de Tesla? É possível detectá-los? Para responder a essas perguntas, partimos da hipótese de que a bobina de Tesla pode auxiliar o professor como organizador avançado, no sentido ausubeliano. Nesse caso, ele é uma ponte entre o que o aluno já sabe – presumivelmente, os conteúdos das leis de Coulomb, de Gauss para o magnetismo e de Ampère – e algo que ele ainda não conhece, a saber, as leis de Faraday e de Ampère-Maxwell e seu conteúdo fenomenológico.

Julgamos, portanto, que a maior relevância desta dissertação é a de procurar oferecer ao professor uma proposta de sequência didática e de atividades que possam apresentar esses dois fenômenos (de difícil abordagem), por meio da compreensão do fenômeno de geração de campos eletromagnéticos, cuja natureza é, essencialmente, dinâmica.

Portanto, o objetivo central deste trabalho é utilizar a bobina de Tesla como recurso didático e organizador avançado, com vistas ao ensino das leis do eletromagnetismo, com fundamentação na teoria de aprendizagem significativa, de David Ausubel.

Para tornar possível esse estudo, surgiram alguns objetivos específicos: apresentar a construção e a descrição do funcionamento de uma bobina de Tesla; apresentar a bobina de Tesla e outros experimentos como recursos didáticos e como organizadores avançados hierarquicamente estruturados, para a compreensão e a assimilação progressiva dos conceitos do eletromagnetismo; abordar o conceito de campo eletromagnético, envolvendo a bobina de Tesla; aplicar e avaliar uma sequência didática que busque proporcionar aprendizagem significativa dos conteúdos do eletromagnetismo, nos moldes ausubelianos.

Para apresentar os resultados desse trabalho, dividiu-se a dissertação em sete capítulos.

O primeiro capítulo apresenta essa introdução e os objetivos do trabalho.

O segundo capítulo apresenta os referenciais didático-pedagógicos do trabalho, divididos em duas partes. A primeira parte discute a teoria de aprendizagem significativa de David Ausubel e a segunda parte apresenta referências para as atividades prático-experimentais, suas contribuições para o ensino de ciências e os tipos de abordagens.

O terceiro capítulo apresenta os conceitos gerais e as leis do eletromagnetismo, todas elas consubstanciadas em experimentos que servem como organizadores avançados: o experimento do gerador de van de Graaff (para estudo dos campos eletrostáticos), o experimento do eletroímã (para estudo dos campos magnetostáticos), o experimento de Faraday de geração de correntes induzidas por movimentação relativa com magnetos (para o estudo dos campos elétricos induzidos), a bobina de Tesla (para o estudo dos campos eletromagnéticos) e as antenas (para a detecção do campo eletromagnético).

O quarto capítulo refere-se ao produto educacional. Ele consiste em uma sequência didática, constituída de oito etapas, para abordar os conceitos de indução eletromagnética e de campo eletromagnético, através de sua geração e detecção, na bobina de Tesla, e de outros experimentos, todos eles subsequentemente encadeados como sucessivos organizadores avançados.

O quinto capítulo apresenta o relato da experiência de aplicação do produto educacional, com os alunos do Ensino Médio da rede pública de ensino, da cidade satélite de Taguatinga, Distrito Federal.

O sexto capítulo aborda as discussões dos resultados obtidos na aplicação da sequência de aprendizagem.

O sétimo capítulo apresenta as considerações finais do trabalho.

Capítulo 2

Referenciais Didático-Pedagógicos

Falar em aprendizagem nos remete a se pensar, estritamente, em escola e em estudos. Isto é, a pensar em assuntos envolvidos nas matérias do currículo do ensino formal. Porém, por mais que a escola tenha sua participação nos processos de aprendizagem, ela não é a única responsável por sua tarefa em geral. A todo momento, aparecem novas informações, desde o nascimento à velhice. Desde aprender a falar ou a escrever, na infância, até a busca por aprender leis, códigos de conduta, letras de canções favoritas ou outros idiomas, estamos sempre envolvidos com a aquisição de novas informações. Diante disso, podemos nos perguntar: o que é que chamamos de aprendizagem e quando ela é realmente significativa?

2.1 Aprendizagem Significativa na Teoria de David Ausubel

A maior distinção entre as abordagens teóricas do fenômeno de aprendizagem está na ênfase dada, seja na mudança da estrutura cognitiva, seja na mudança comportamental dos indivíduos.

Os teóricos comportamentalistas enfatizam a intervenção ambiental na aprendizagem e focam no comportamento, isto é, em respostas observáveis. Os processos de aprendizagem comportamental abrangem condicionamento clássico, condicionamento operante, contiguidade e observação. Dentre estes tipos de processos citados, o condicionamento operante influenciou muito as atividades e os métodos utilizados em escolas, qualquer que fosse o ensino, em especial nas décadas de 1960 e 1970 (MOREIRA; MASINI, 1982).

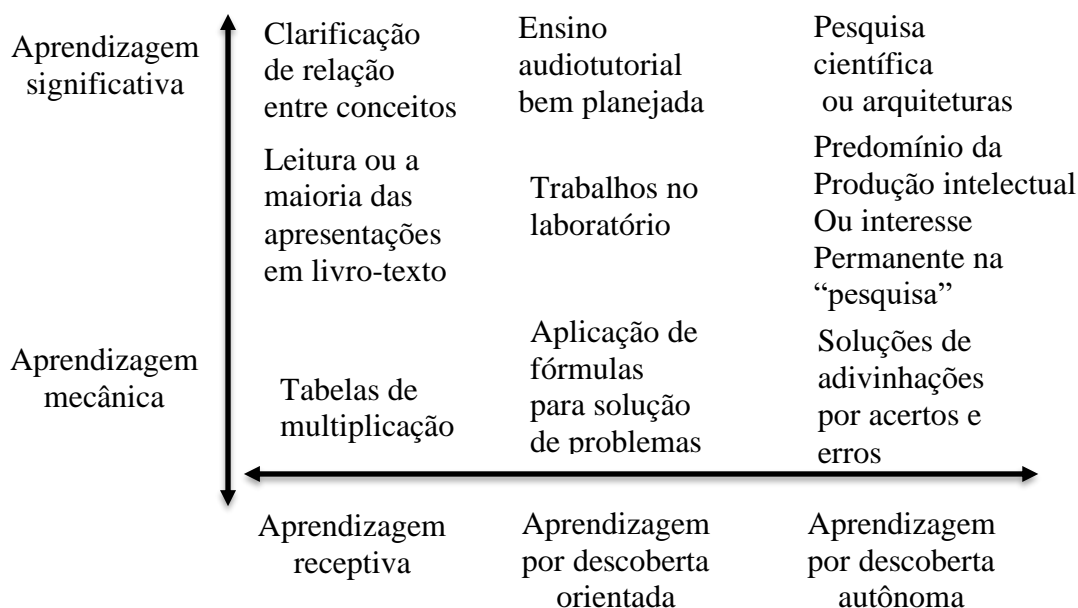
O condicionamento operante, conforme abordado por Skinner (1974), trabalha com o resultado daquilo que as pessoas fazem sobre o mundo exterior. Esses resultados podem ser reforçados positivamente ou negativamente, fortalecendo uma resposta ou punindo-a, nesse caso, diminuindo ou pondo fim àquele comportamento inicial.

Enquanto isso, as abordagens cognitivistas se concentram nos processos de cognição, isto é, no que se passa dentro da cabeça do aprendiz e que não são, portanto, diretamente observáveis. Os cognitivistas importam-se com coisas como: processamentos de informação, estilos de pensamento e organização mental. Entre os estudiosos que se dedicaram a essa abordagem, destacam-se Jean Piaget, Jerome Bruner, David Ausubel e Joseph D. Novak.

Nessa dissertação, todo trabalho será norteado por uma abordagem cognitivista, haja vista que o nosso interesse está diretamente voltado para a modificação da estrutura cognitiva dos estudantes, e não apenas para a produção de respostas comportamentais – que muito menos têm a ver com as nossas convicções, no que diz respeito ao que acreditamos ser o ser humano e os seus múltiplos potenciais de pensamento crítico e reflexivo. Em especial, utilizaremos o conceito de aprendizagem significativa, como indicam as propostas formuladas pelo médico e psicólogo norte-americano David P. Ausubel.

As ideias de Ausubel partem do princípio de que os indivíduos apresentam uma organização cognitiva interna, de natureza conceitual e proposicional, sendo que a sua complexidade depende do número de ideias, conceitos ou proposições e das relações existentes entre eles. Essas relações têm um caráter hierárquico, de forma que a estrutura cognitiva é essencialmente entendida como uma rede de conceitos e de proposições organizados conforme o nível de abstração e de inclusividade que o indivíduo é capaz de possuir e fazer (AUSUBEL; NOVAK; HANESIAN, 1980; AUSUBEL, 2003).

Para entender como acontece a aprendizagem escolar, Ausubel organizou dois eixos ou dimensões que apresentam, através de diversos valores, diferentes tipos de aprendizagem (quadro 1).



Quadro 1- Os tipos de processos de aprendizagem e exemplos de tarefas e seus diferentes valores

FONTE: AUSUBEL (1980, p. 21)

No quadro 1, o eixo horizontal se refere a dois tipos de processos de aprendizagem bastante diferentes: aprendizagem por recepção e por descoberta. Na aprendizagem por descoberta, os conceitos e proposições são aprendidos de forma predominantemente construtiva, isto é, suas ideias associadas não são diretamente fornecidas ao estudante. Ao contrário, ele deve agir autonomamente para organizar as informações e integrá-las de forma significativa em sua estrutura cognitiva. O que se espera é que o aluno seja capaz de apropriar-se dos conceitos e proposições de modo cada vez mais independente da atuação de um instrutor.

Ao contrário da aprendizagem por descoberta, a aprendizagem por recepção acontece com os conceitos e proposições assimilados em seu formato quase final, já que são fornecidas ao estudante pelo instrutor.

O eixo horizontal remete à organização do processo de aprendizagem, o eixo vertical indica os tipos de processos que influenciam na aprendizagem. Ambos constituem um *continuum*. Esse *continuum* está demarcado, no eixo vertical, numa extremidade, pela aprendizagem significativa e, na outra, pela aprendizagem mecânica ou automática. E, no eixo horizontal, ele é demarcado, numa extremidade, pela aprendizagem por recepção e, na outra, pela aprendizagem por descoberta. Em qualquer

caso, a diferença entre os tipos de aprendizagem se estabelece (ou não), também em virtude da postura do aluno diante do conhecimento.

Na aprendizagem significativa, são produzidas relações substanciais entre os conceitos e proposições já presentes na estrutura cognitiva e as do material no qual se encontra o novo conhecimento a ser aprendido. A aprendizagem significativa permite, por parte do aluno, uma atribuição pessoal de significado. Por outro lado, na aprendizagem mecânica ou automática, o que se aprende passa a apresentar-se como reprodução literal de um modelo ou padrão a ser seguido e repetido (AUSUBEL; NOVAK; HANESIAN, 1980; AUSUBEL, 2003).

A aprendizagem será tanto mais significativa quanto mais as novas informações forem ancoradas às estruturas de conhecimento do estudante e tiverem significado para ele, a partir da relação com o conhecimento anterior. Ao contrário, à medida que a atribuição de significado for menos produzida e o novo material for isoladamente guardado na estrutura cognitiva, tem-se a aprendizagem mecânica ou automática. É nesse sentido que se compreende a importância da valorização do conhecimento que o estudante já possui.

Na teoria de D. Ausubel, a aprendizagem significativa é a meta principal. Ela se processa quando as novas ideias e informações interagem com os conceitos preexistentes na estrutura cognitiva, de modo que o aprendiz passa a atribuir significado aos conteúdos, contribuindo para a sua diferenciação, elaboração e consolidação. A aprendizagem significativa é evidente não apenas no enriquecimento da estrutura de conhecimento do estudante, mas, principalmente, pela sua capacitação para aplicação do conhecimento em situações novas e inusitadas.

E é a partir dos nossos construtos pessoais, adquiridos ao longo de nossa história, que podemos aprender. A interação claramente articulada e diferenciada surge quando imagens, símbolos, conceitos e proposições potencialmente significativos são relacionados à estrutura cognitiva e nela se encontram incorporados.

Os estudos de D. Ausubel concentraram-se em problemas relacionados com a aquisição e a retenção de conhecimento. Em sua teoria, a estrutura cognitiva pode ser definida como um complexo organizado e hierarquizado de conceitos, de proposições e de teorias sobre o mundo, ao mesmo tempo meio e produto para todos os processos cognitivos.

A aquisição preferencial de novos conhecimentos depende da forma como eles serão mais efetivamente retidos. E, como a retenção é pensada por Ausubel primordialmente como ancoragem e reestruturação da estrutura cognitiva, ele compreende que a aquisição de conhecimentos deva se dar, preferencialmente, por uma abordagem receptiva.

Um conceito fundamental na teoria de Ausubel é o de *subsunçor*. O subsunçor é justamente um conceito (ou proposição) que funciona como uma espécie de ancoradouro, onde o conceito (ou proposição) a ser apreendido pode ser firmado e, posteriormente, interaja com o restante da estrutura. É necessário que os subsunçores existam na estrutura cognitiva dos estudantes e estejam prontos para se relacionar de forma não aleatória e substantiva com as novas informações, levando a modificações globais e estáveis que são precisamente o que Ausubel denomina por aprendizagem significativa.

Na física, e especificamente no nosso trabalho, por exemplo, para que o aluno tenha o entendimento do que é e como funciona um transformador ressonante – que é a Bobina de Tesla – é necessário que ele tenha algum conhecimento sobre carga e corrente elétrica, força eletromotriz, campo elétrico e campo magnético. Esses são conceitos que deverão servir como subsunçores para a compreensão do conceito mais geral de campo eletromagnético dependente do tempo, que é o que um transformador ressonante produz.

Na ausência dos requeridos *subsunçores*, Ausubel destaca a importância do uso de *organizadores prévios*. Eles devem ser capazes de prover os subsunçores ausentes, mas de modo a servir como mediadores para já efetuar sua ligação com o novo conhecimento.

2.1.1 Subsunçores e Organizadores Avançados

O subsunçor é um conceito, uma representação, uma proposição ou um conhecimento prévio essencial para aprendizagem significativa de determinados novos conceitos (MOREIRA, 2006). Ou seja, é um elemento funcional já estabelecido na estrutura cognitiva do estudante que serve como ponto de apoio (gancho) para a aquisição de uma nova informação.

O modo como essa nova informação é assimilada pelo subsunçor é o que permite atribuir significado à nova informação. Deste modo, o subsunçor se define como tal

quando, e apenas quando, já estando presente na estrutura cognitiva, ele se relaciona a um conceito, representação ou proposição que lhe são externos (AUSUBEL, 2003). Nesse processo, a estrutura cognitiva é modificada de modo estável, resultando na experiência de aprender significativamente. Assim, o conhecimento prévio se apresenta como uma espécie de ambiente favorável, uma estrutura interna que, caracterizada por ser permanentemente provisória, irá se desenvolver pela interação e assimilação dos elementos do conhecimento externo (AUSUBEL; NOVAK; HANESIAN, 1980; AUSUBEL, 2003). Daí sua importância também como parte do processo de ensino e aprendizagem que se realiza nas escolas.

Em direta contraposição à aprendizagem significativa, Ausubel define a aprendizagem mecânica. Nela, uma nova informação pode ser agregada sem que, necessariamente, a ela seja ligada qualquer conceito relevante existente na estrutura cognitiva. De fato, a aprendizagem mecânica é também uma forma de aprender, ainda que ela não capacite o indivíduo para conferir sentido ou significado às novas informações para além de sua utilização em situações estereotipadas, que são muito similares àquelas vigentes no processo da aquisição original.

Por tudo que foi dito, é evidente que a falta de alguns subsunçores pode inviabilizar a aprendizagem significativa. Pensando nisso, Ausubel sugere o uso de organizadores avançados, que servem precisamente de instrumento para introduzir, de modo preliminar, os conceitos subsunçores que serão necessários para o desenvolvimento do processo aprendizagem significativa seguinte.

A utilização dos organizadores avançados é, portanto, uma estratégia pedagógica, proposta por Ausubel, cujo principal objetivo é estabelecer um elo entre aquilo que o aluno já sabe e aquilo que precisa saber. Ele se torna particularmente eficaz quando as ideias preexistentes na estrutura cognitiva são demasiadamente gerais e não possuem, portanto, especificidade conceitual para que sirvam como ideias-âncora para as novas informações introduzidas pelo material de instrução (potencialmente significativo).

Segundo Moreira e Masini (1982), o organizador avançado é:

Material introdutório apresentado antes do material a ser aprendido, porém em nível mais alto de generalidade, inclusividade e abstração do que o material em si e, explicitamente, relacionado às ideias relevantes existentes na estrutura cognitiva e à tarefa de aprendizagem. Destina-se a facilitar a aprendizagem significativa, servindo de ponte entre o que o aprendiz já sabe e o que ele precisa saber para que possa aprender o

novo material de maneira significativa. É uma espécie de ponte (MOREIRA; MASINI, 1982, p. 103).

Isso deixa claro que o organizador avançado desempenha um papel de mediador para facilitar a incorporação e promover a longevidade da retenção das novas informações assimiladas. Para Ausubel e seus colaboradores,

a principal função do organizador está em preencher o hiato entre aquilo que o aprendiz já conhece e o que precisa conhecer antes de poder aprender significativamente a tarefa com que se defronta (AUSUBEL; NOVAK; HANSENIAN, 1980, p. 144).

A fundamentação lógica para o uso dos organizadores está presente na obra de Ausubel (2003) e se baseia em três princípios.

O primeiro princípio estabelece a importância dos conceitos preexistentes na estrutura cognitiva do estudante. Sem eles, não seria possível a passagem sucessiva das ideias que Ausubel chama de *logicamente significativas* – cuja significatividade é objetiva, independentemente de estruturas cognitivas particulares e de esquemas e instrumentos particulares de subsunção – para as ideias *potencialmente significativas* – ou seja, aquelas que ganham o potencial de se tornarem significativas para um indivíduo, em virtude de sua articulação dentro de esquemas que ainda lhe são externos – e, por fim, para as ideias *de fato significativas* – ou seja, aquelas que, assimiladas pelo indivíduo, passam a compor sua estrutura cognitiva de modo substantivamente integrado.

O segundo princípio estabelece que os organizadores avançados, quando apresentados em um nível de abstração mais geral e inclusivo, prestam-se, em geral, à conexão com a estrutura conceitual preexistente – ainda pouco diferenciada –, ao mesmo tempo que apresentam diferenciações conceituais e particularidades – afeitas ao campo de aplicação específico – que lhes dão o poder de integrar conteúdos novos de maneira subordinada e, posteriormente, de promover a diferenciação desejada na própria estrutura cognitiva preexistente.

O terceiro princípio estabelece que o modo como o organizador avançado é estruturado mostra que ele deve desempenhar um papel realmente fundamental no que diz respeito ao processo de subsunção, porque a ancoragem se dá através das estruturas gerais que ele possui em comum com as estruturas cognitivas preexistentes.

Em particular, a física possui diversos conteúdos abstratos ou pouco intuitivos que os estudantes têm dificuldade de relacionar aos conceitos concretos com que está mais

habituação. Os conceitos da disciplina abrangem, além disso, imagens, símbolos, gráficos e diagramas, que devem ser obtidos a partir de pressupostos teóricos ou matemáticos preexistentes. Isso exige do estudante um esforço de abstração maior.

Em princípio, deveríamos levar em consideração as especificidades de conhecimento de cada estudante. Porém, na realidade de sala de aula, isso nem sempre é possível. Nessa perspectiva, devemos utilizar organizadores avançados para servir de “pontes cognitivas” ou “ancoradouros provisórios” (MOREIRA, 2006), mas que sejam capazes de atingir a maior parte dos alunos. Eles servem para facilitar a aprendizagem e contornar os obstáculos vivenciados em sala de aula pela carência de conhecimentos dos estudantes. Para tanto, na experiência em nosso trabalho diário, fazemos o uso de equipamentos em laboratórios de ciência e recursos digitais, na forma de simuladores e vídeos.

Em qualquer situação, contudo, para que possam funcionar mais eficazmente, os organizadores devem se apresentar em um nível mais elevado de abstração, generalidade e inclusão do que os materiais a serem apreendidos. Nesse sentido, eles são diferentes de meros esquemas e resumos que, geralmente, mostram-se no mesmo nível de abstração, generalidade e inclusão do material de aprendizagem (AUSUBEL; NOVAK; HANESIAN, 1980; AUSUBEL, 2003).

A abordagem ausubeliana não é exclusivamente unidimensional, ou seja, nem sempre procede do geral para o particular. A ideia é começar a ensinar um conceito partindo do geral e, gradativamente, ir detalhando até chegar ao particular, mas fazer constantes referências ao geral para não perder a visão do todo no qual se insere o conceito ou proposição que está sendo apresentado. Isso é o que significa promover a diferenciação progressiva e a reconciliação integrativa entre o conhecimento abstrato (mais geral) e o concreto (mais particular).

Os organizadores avançados, segundo Ausubel (1980) e seus colaboradores, podem ser expositivos, quando o conteúdo a ser aprendido é pouco familiar, ou comparativos, quando o material de aprendizagem é relativamente familiar, enfatizando as semelhanças e diferenças entre os conjuntos de ideias. Nesse trabalho, fazemos uso de experimentos que cumprem a função tanto de organizadores expositivos, quanto de organizadores comparativos.

É importante ressaltar que é difícil precisar se um dado material é ou não um organizador avançado, de modo que essa definição dependerá sempre da natureza do conteúdo a ser aprendido, da maturidade e do grau de desenvolvimento intelectual do estudante e do grau de familiaridade prévia deste com o material de aprendizagem (AUSUBEL; NOVAK; HANESIAN, 1980; AUSUBEL, 2003).

Portanto, conclui-se que nenhum material instrucional deve ser considerado, abstratamente, como um bom ou mau organizador avançado, pois tudo depende do que será ensinado e dos indivíduos que serão submetidos ao processo de aprendizagem.

Entre as possibilidades indicadas de exploração de organizadores avançados, interessa aqui, sobretudo, sua utilização como instrumentos no processo de ensino-aprendizagem na disciplina de física e, mais especificamente, no estudo do eletromagnetismo.

Portanto, os organizadores, para serem úteis, devem obviamente ser passíveis de apreensão e devem ser apresentados em termos familiares ao que se constata ser, em função do currículo escolar.

2.1.2 Evidência da Aprendizagem Significativa

Na perspectiva ausubeliana, a compreensão autêntica de uma ideia ou de uma proposição acarreta a aquisição de significados claros, precisos, diferenciados e transferíveis. Porém, quando o conhecimento é testado, solicitando ao estudante que caracterize um conceito ou questionando-o sobre quais elementos são importantes em uma proposição, pode-se obter, como respostas, sentenças automáticas ou memorizadas, o que caracteriza que o conteúdo ainda não foi assimilado significativamente.

Ausubel sugere uma maneira para contornar o problema. Para ele, a melhor maneira de evidenciar a compreensão significativa de um conceito ou de uma ideia, em geral, é utilizar questões-problema com os quais estudantes estão pouco familiarizados e apresentá-los em contextos diferentes daquele apresentado no material de aprendizagem.

Quando a aprendizagem significativa acontece, os conceitos são aprimorados, elaborados e diferenciados, em consequência de suas interações com as demais partes da estrutura cognitiva. Na visão ausubeliana, o aprimoramento dos conceitos é facilitado

justamente quando são inseridos os elementos mais gerais e mais inclusivos para que, gradualmente, eles se tornem mais diferenciados – pelo princípio da diferenciação progressiva – e menos abrangentes, em termos de especificidade.

A diferenciação progressiva, segundo Ausubel (1980), tem o seu objetivo alcançado quando uma série de organizadores hierarquizados, em ordem decrescente de inclusividade, for utilizada no planejamento do conteúdo. Assim, os conceitos subsunçores podem estar em constante modificação, adquirindo novos significados, ou seja, sendo progressivamente diferenciados. Ausubel pressupõe que “[...] toda a aprendizagem que resulta na reconciliação integradora [...] resultará também na posterior diferenciação dos conceitos ou proposições existentes (AUSUBEL; NOVAK; HANESIAN, 1980, p. 104).

Além disso, na perspectiva ausubeliana, a estrutura cognitiva do ser humano é altamente hierárquica. Logo, a organização do conteúdo também deve ser. Por isso as ideias mais inclusivas devem estar no topo da estrutura hierárquica para que, gradativamente, sejam anexados os conceitos menos inclusivos e mais diferenciados aos conhecimentos já existentes.

Planejar uma aula com base em um conteúdo determinado deve não só levar em conta a diferenciação progressiva, mas também explorar as relações entre os conceitos, ter um olhar para as diferenças e singularidades e conciliar o novo com aquilo que já é conhecido. Desse modo, é indispensável fazer o que Ausubel denomina de reconciliação integrativa. A reconciliação integrativa assume a reestruturação dos elementos existentes na estrutura cognitiva do estudante e, à medida que novas informações são adquiridas, atribui-se um novo significado ao que já estava previamente ancorado na estrutura de conhecimento do aluno.

Para tanto, o docente deve estar pronto a contribuir com a aquisição de conexões entre os conceitos e para auxiliar os discentes na formação de suas próprias reconstruções de ideias.

No nosso trabalho, utilizamos experimentos e simulações e consideramos que todos eles deverão funcionar como organizadores avançados: o gerador de van de Graaff, o eletroímã, a experiência de Faraday e (o laboratório virtual de Faraday) e, finalmente, a própria bobina de Tesla.

2.1.3 Tipos de Aprendizagem Significativa

Podemos agora apresentar os diferentes tipos de aprendizagem significativa que Ausubel e seus colaboradores destacam: a aprendizagem representacional, a aprendizagem conceitual e a aprendizagem proposicional (AUSUBEL; NOVAK; HANESIAN, 1980).

A aprendizagem representacional é aquela aprendizagem mais básica, que inclui aprender o significado de um símbolo ou uma representação pela identificação direta de seus referentes, no universo de experiências do sujeito.

A aprendizagem de conceitos é, de certa maneira, uma aprendizagem representacional. Os conceitos podem ser definidos como conjuntos de atributos comuns, compartilhados por objetos concretos, por eventos, ou por situações, aos quais são designados por símbolos. Os conceitos, assim como os próprios objetos, eventos ou situações concretas, se representam na linguagem natural através de nomes. Esses nomes, portanto, têm uma nova palavra conceitual que passa um significado equivalente ao do próprio conceito.

A aprendizagem conceitual comporta dois tipos de aquisição: a formação de conceitos e a assimilação de conceitos. A formação de conceitos é uma aprendizagem inicial em que ocorre uma aquisição espontânea de ideias gerais sobre um conjunto de experiências. A assimilação de conceitos é um processo em que o aluno já conhece todos ou parte dos atributos do conceito, e pode ser feita, por exemplo, por meio de definições (AUSUBEL; NOVAK; HANESIAN, 1980; MOREIRA, 2105).

A aprendizagem proposicional é mais complexa e requer a assimilação do significado de combinações de conceitos, na imensa maioria das vezes, já expressos em termos de palavras combinadas em frases. Uma proposição, na teoria ausubeliana, é sempre uma expressão cognitiva de um julgamento que um sujeito aprende ou realiza sobre como é ou como deveria ser um determinado estado de coisas no mundo. Evidentemente, é necessário primeiro a aprendizagem de conceitos para depois passar-se à aprendizagem de proposições que se lhes utilizem.

2.1.4 Mapas Conceituais: Ensino Significativo

Os mapas conceituais foram desenvolvidos por Joseph Novak e seus colaboradores, da Universidade Cornell, nos Estados Unidos, para viabilizar de modo mais eficiente a aprendizagem significativa. Todas as ideias da teoria da assimilação de Ausubel (1963; 1968) serviram como base para a criação da ideia dos mapas conceituais, destacando-se a importância da assimilação de novos conceitos e proposições em uma estrutura hierarquizada.

As três ideias básicas de Ausubel são pautadas na construção dos mapas conceituais. Primeiro, Ausubel considera novas aprendizagens como um desenvolvimento de conceitos já previamente existentes na estrutura cognitiva do indivíduo. Em segundo, vê a estrutura cognitiva como uma organização hierárquica, que parte dos conceitos mais gerais, mais inclusivos, os quais ocupam os níveis mais elevados na hierarquia, e os conceitos mais específicos, mais ou menos inclusivos, subordinado aos conceitos mais gerais. Em terceiro, quando a aprendizagem significativa ocorre, as relações entre os conceitos ficam mais explícitas, mais precisas e melhor integradas (NOVAK; CANÃS, 2010).

Os mapas conceituais, portanto, podem prover uma estratégia pedagógica de grande relevância na construção do conhecimento científico dos estudantes, auxiliando-os a integrar e relacionar informações e atribuir significados.

O formato gráfico dos mapas conceituais é do tipo diagrama, que mostram as relações que se estabelecem horizontalmente entre os conceitos mais abrangentes e verticalmente, na direção dos conceitos menos inclusivos.

A representação do mapa conceitual pode ser do seguinte modo² :

² Disponível em:

<https://cmapspublic.ihmc.us/servlet/SBReadResourceServlet?rid=1168902137919_2145395505_8091&partName=htmltext> . Acesso em 21 ago. 2018.

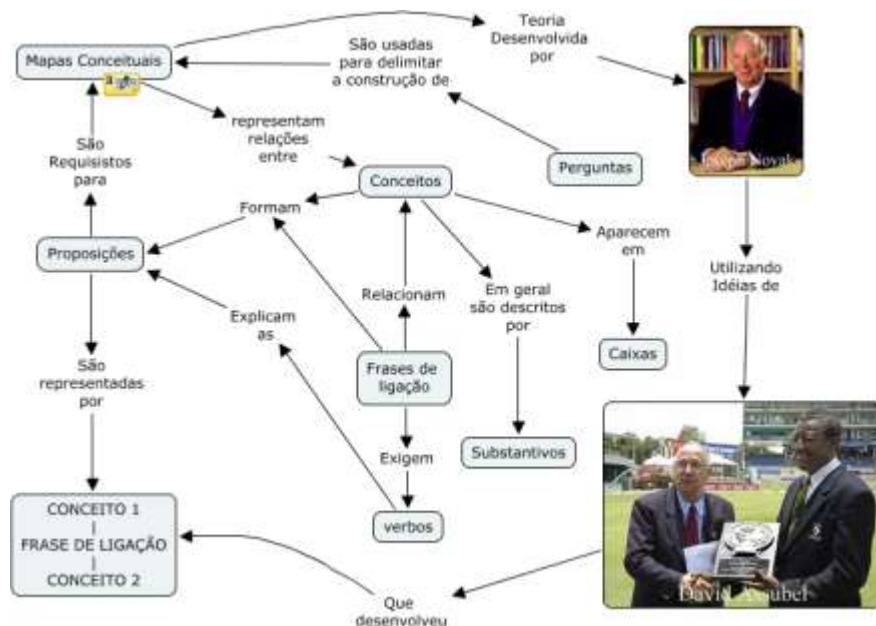


Figura 1- Exemplo de mapa conceitual: formato do tipo diagrama
 Fonte: Autora, elaborado no CmapTools³

O mapa conceitual consiste em palavras que expressam conceitos, conectados entre si por meio de frases de ligação e conectivos, os quais representam, por sua vez, as proposições que refletem parte da estrutura cognitiva do indivíduo.

Uma das razões pelas quais a utilização dos mapas conceituais é eficaz na facilitação da aprendizagem significativa é a de que eles servem como uma forma de suporte para ajudar a organizar e a estruturar os conceitos, ainda que a estrutura seja construída com pequenas unidades de quadros conceituais e proposições integrantes (NOVAK; CANÃS, 2010). Muitos professores veem a ferramenta como algo simples que facilita a aprendizagem significativa, a ilustração de conceitos e permite a retenção de informações apreendidas na memória por longos períodos de tempo.

³ CmapTools é uma ferramenta para elaborar esquemas conceituais, ou seja, é um software de mapeamento de conceitos disponível na internet.

2.2 Atividades Prático-Experimentais

Muitos professores e autores são levados a investigar sobre a forma como os estudantes no ensino médio aprendem e a desmotivação pela aprendizagem no ensino de física. Nessa inquietude, atividades experimentais têm sido utilizadas por muitos docentes como uma das maneiras de minimizar as dificuldades de se aprender e de se ensinar física de modo significativo e consistente (ARAÚJO; ABIB, 2003).

As atividades práticas e experimentais podem ajudar na compreensão de conceitos físicos, mas também fomentam uma aprendizagem dinâmica, estimulam o interesse, a capacidade de iniciativa, o trabalho em grupo, desenvolvem a comunicação e o raciocínio lógico (HOSTEIN; LUNETTA, 2004). Entretanto, as atividades prático-experimentais, sozinhas, não garantem a aprendizagem.

Hodson (1988) considera atividade prática como sendo qualquer trabalho em que os estudantes estejam envolvidos ativamente e não em atitude passiva de mera recepção. Nesse sentido, podem ser incluídos os experimentos, as atividades auxiliadas por computador e as simulações. As atividades práticas cumprem um papel fundamental no ensino de ciências, até porque proporcionam aos estudantes uma certa proximidade com o modo como se faz o trabalho científico.

O uso das atividades práticas permite maior contato e, em princípio, uma melhor compreensão dos fenômenos naturais, além da maior interação entre docente e discente. Por exemplo, os processos de eletrização não despertam muita curiosidade quando apresentados isoladamente, em aulas teóricas, mas, se planejado como uma parte experimental da aula expositiva, o fenômeno de eletrização pode ser compreendido com grande riqueza de detalhes, incluídos os passos sucessivos da experimentação. Por que os cabelos se arrepiam? Por que a pessoa levou o choque? São experiências que contribuem para a aprendizagem significativa.

2.2.1 Contribuições das Atividades Experimentais

As atividades experimentais fornecem variadas contribuições para o ensino de ciências. Uma das contribuições, apesar de questionável, por parte de alguns autores, é o

caráter motivador, no sentido de despertar a atenção dos alunos para a aula, envolvendo-os com uma atividade que os incentive a querer compreender os conceitos da disciplina.

O trabalho em grupo, que geralmente está associado às práticas experimentais, é apontado como uma estratégia de ensino favorável no que diz respeito ao desenvolvimento da capacidade de socialização dos alunos, permitindo-os aprender a ouvir, a respeitar a opinião do colega e a lidar com renúncias de ideias (GALIAZZI; GONÇALVES, 2004).

As aulas experimentais estimulam a criatividade dos alunos de várias formas: instigando-os a pensar, antes da execução do experimento; estimulando-os a pensar em possíveis substituições nos materiais empregados no experimento e instigando-os a fornecer explicações e justificativas (BORGES, 2002; CARVALHO; VANNUCCHI; BARROS; GONCALVES; REY, 2005).

As atividades experimentais contribuem para aprimorar a capacidade de observação através da atenção cuidadosa com relação aos fenômenos que aparecem durante o experimento. Os registros das atividades experimentais, na forma de relatórios, contribuem para a apropriação de conceitos e o desenvolvimento da escrita científica.

A atividade experimental também pode ser uma estratégia de ensino complementar à aula expositiva, relembrando conceitos ou confirmando fatos científicos estudados em sala de aula (ARAUJO; ABIB, 2003). Além disso, pode ser um espaço privilegiado para a intervenção didática do professor, nas oportunidades que tem de fornecer explicações e respostas aos questionamentos dos alunos.

Outra contribuição e vantagem das atividades experimentais é a possibilidade de se discutir como a ciência está relacionada com a tecnologia presente no dia a dia dos alunos e da sociedade. Isso contribui para o despertar do interesse em temas relacionados à ciência, além de conscientizá-los sobre o seu papel na sociedade ou, ainda, estimulá-los a adotar atitudes críticas diante dos problemas sociais e ambientais da atualidade (OLIVEIRA, 2010).

Por fim, as Diretrizes Curriculares Nacionais para a Educação Básica sugerem, dentre outras atividades de ensino, ações que promovam a compreensão do conhecimento formal, a valorização da ciência, a ampliação do conhecimento científico e o exercício da cidadania. Para isso, deve-se

“adotar metodologia de ensino e de avaliação que estimulem a iniciativa dos estudantes, bem como organizar conteúdos,

métodos e formas de avaliação de tal modo que ao final do Ensino Médio o estudante demonstre domínio dos princípios científicos e tecnológicos que presidem a produção moderna [...]” (BRASIL, 2013, pp. 187-188).

Assim, as atividades prático-experimentais podem ser uma das múltiplas metodologias empregadas para vincular o conhecimento acadêmico e o conhecimento prático e cotidiano, a fim de propiciar ao estudante uma vivência para a compreensão e explicação dos conceitos formais do mundo físico, no qual vivemos, e para o exercício da cidadania com base no letramento científico.

De certo, as atividades experimentais surgem como uma das alternativas das múltiplas formas de aprender e, conseqüentemente, possibilitam a sistematização do conhecimento por meio da contextualização do raciocínio lógico e da interação com o meio ambiente que o cerca.

2.2.2 Tipos de Abordagens Experimentais

As atividades experimentais podem ser classificadas, segundo Araújo e Abib (2003) em três tipos: de demonstração, de verificação e de investigação, das quais as duas primeiras terão um enfoque maior, devido à sua relação direta com os fundamentos da teoria ausubeliana.

2.2.2.1. Atividades de Demonstração

As atividades experimentais demonstrativas são aquelas em que o professor executa o experimento enquanto os alunos apenas observam os fenômenos produzidos. Em geral, as atividades demonstrativas são utilizadas para ilustrar os conceitos a serem abordados em aula, de forma a contribuir no aprendizado dos alunos pela sua concretização. Elas estão interligadas às aulas expositivas, como forma de despertar o interesse do aluno para o tema abordado, tanto no início, quanto no término da aula (ARAÚJO; ABIB, 2003; MONTEIRO; MONTEIRO; GASPAR, 2003).

Nessa abordagem, o agente principal do processo é o professor, portanto, cabe a ele exercer o papel de liderança, montar o experimento e o seu roteiro, fazer questões aos

alunos, destacar o que deve ser observado e fornecer explicações científicas que possibilitem a compreensão do que está sendo observado.

Alguns fenômenos são de difícil compreensão e, por meio da ilustração, fornecem subsídios capazes de oferecer resultados convincentes para os alunos.

O produto educacional, desta dissertação, utilizou-se de atividades demonstrativas em todos os processos, não apenas para que os alunos participassem das atividades acadêmicas, mas, principalmente, porque cumprem papel de organizadores avançados.

Algumas estratégias, sugeridas por Oliveira (2010) para um melhor aproveitamento das atividades demonstrativas, são também formas de ensino que adotamos.

- Antes da realização da demonstração, explicar o que se pretende fazer na aula e perguntar aos alunos o que eles esperam que aconteça, solicitar suas explicações prévias para os possíveis eventos. Essa estratégia possibilita a verificação das concepções alternativas dos alunos.
- Durante a realização do experimento, solicitar que os alunos observem cuidadosamente todas as etapas e destaquem o que lhes chamou atenção. Solicitar aos estudantes que façam registros escritos do que foi observado.
- Ao final da demonstração, questionar novamente os estudantes sobre as explicações para o experimento apresentado. Em seguida, apresentar (ou revisar) o modelo científico que explica os fenômenos observados e comparar tais explicações com as ideias prévias dos alunos.
- Utilizar questionários para serem respondidos em grupo sobre a atividade realizada, de modo que os alunos possam novamente discutir sobre os fenômenos observados e os conteúdos científicos abordados na aula (OLIVEIRA, 2010, p. 148).

Assim, muito embora as atividades demonstrativas sejam fechadas e pré-definidas, é interessante que o professor dê oportunidade aos estudantes para fazerem algumas reflexões autônomas, analisem as variáveis que interferem no experimento e discutam criticamente os conceitos apresentados nos fenômenos.

Isso, de modo algum, está em contradição com a abordagem ausubeliana. De fato, para Ausubel, é um equívoco elementar pensar que a aprendizagem por recepção esteja vinculada, exclusivamente, à atitude passiva do estudante diante do conhecimento apresentado. E isso é assim não apenas no que se refere à sua disposição para a aprendizagem. A formulação de conjecturas é, evidentemente, uma capacidade que só pode ser posta em ação pela ativação da estrutura cognitiva e é justamente essa ativação

que dá oportunidade para que os potenciais subsunçores sejam requisitados para a tarefa de assimilação.

2.2.2.2 Atividades de Verificação

Nas atividades demonstrativas, os estudantes observam os experimentos, em alguns casos, sugerindo explicações; já nas atividades de verificação, os alunos executam os experimentos e explicam o fenômeno observado, enquanto o professor supervisiona a atividade, orientando e corrigindo erros dos alunos.

Nesse tipo de abordagem experimental, Araújo e Abib (2003) destacam, entre outros fatores, sua capacidade de facilitar a interpretação dos parâmetros dos sistemas físicos estudados, o que é um meio de favorecer a aprendizagem significativa.

As atividades de verificação estão presentes nas práticas aceitas e adotadas nas escolas, e os professores apontam algumas vantagens para a utilização desta abordagem, quando comparadas às de investigação: os estudantes podem aprender a manusear equipamentos sem que isso se torne, de modo indesejado, o foco principal de sua atenção; é mais fácil para o professor supervisionar as tarefas e avaliar o resultado final obtido pelos estudantes; é mais fácil de se solucionar problemas que possam surgir ao longo da execução da atividade experimental e é maior a probabilidade de sucesso no que diz respeito aos objetivos que se tem em mente.

Por fim, do ponto de vista da aprendizagem de conceitos, as atividades de verificação podem ser mais eficientes após a aula expositiva, segundo Araújo (2003). Da mesma forma que no caso das atividades demonstrativas, as de verificação são capazes de propiciar desenvolvimento de múltiplas habilidades, tais como a de realização de trabalho em grupo, de questionamento crítico dos modelos físicos, de manipulação de objetos, além de permitirem a familiarização com procedimentos experimentais e com equipamentos.

E, do mesmo modo, essas atividades podem contribuir para a implementação de uma abordagem ausubeliana – as novas ideias e informações interagem com os conceitos preexistentes na estrutura cognitiva, de modo que o aprendiz passa a atribuir significado aos conteúdos, contribuindo para a sua diferenciação, elaboração e consolidação.

2.2.2.3 Atividades de Investigação

A perspectiva investigativa parte da premissa que o professor não é um detentor absoluto do saber, e seu papel é o de estabelecer uma relação mediadora no processo de ensino-aprendizagem. A construção do conhecimento tem sua oportunidade quando os professores promovem questões desafiadoras e interessantes aos alunos, para que eles possam passar a simular os enfoques próprios da cultura científica (CARVALHO, 2013). A abordagem investigativa, contudo, não tem por expectativa que os estudantes sejam cientistas ou se comportem como tal, mas importa-se com criar um ambiente que se aproxime, de forma gradual, da linguagem do fazer científico.

As atividades investigativas se iniciam com situações-problemas, com o objetivo de instigar os estudantes e envolvê-los em troca de ideias ou discussões, na busca de solução para a problematização inicial. Para Carvalho (2013), as situações-problema, juntamente com conhecimentos prévios adquiridos pelos alunos de forma espontânea ou dirigida, devem ser suficientes para que eles construam hipóteses e as testem, na busca pela solução do problema. Desse modo, o aluno torna-se o protagonista na construção do conhecimento.

A questão-problema não deve ser um questionamento qualquer, sem contexto. Contrariamente, o professor deverá planejar adequadamente o que será perguntado ao estudante, procurando descobrir se, de alguma forma, a questão encontra-se na esfera de possibilidades de soluções interessantes.

Nas atividades de investigação, os discentes interagem fisicamente com o material de aprendizagem, analisando elementos tais como estrutura, cor, resistência e forma, o que poderá auxiliar na resolução do problema proposto pelo docente.

Azevedo (2004) salienta que, em uma atividade de investigação, o aluno deve agir, refletir, discutir, explicar, relatar e não apenas se limitar ao trabalho de manipulação ou de observação dos fenômenos, pois a aprendizagem de procedimentos e atitudes se tornam tão importantes quanto a aprendizagem de conceitos ou de conteúdo.

A mesma autora ressalta que as atividades investigativas se compõem de algumas etapas obrigatórias: a proposta do problema que estimule a curiosidade científica do estudante, o levantamento de hipóteses que devem ser emitidas pelos alunos por meio das discussões, a coleta de dados, a análise de dados e a conclusão.

Capítulo 3

Conceito de Eletromagnetismo

O presente trabalho se constrói dentro do ensino do eletromagnetismo, área da física que tem como objetivo estudar unificadamente os fenômenos associados com campos elétricos e magnéticos, cujo aperfeiçoamento final coube a James C. Maxwell.

Nesta dissertação, descrevemos um produto educacional composto por uma sequência didática para professores que possa viabilizar o ensino dos conceitos associados com os fenômenos de indução eletromagnética e de geração de campos eletromagnéticos dinâmicos. Utilizamos diversos livros e artigos para a apresentação dos conceitos e dos modelos físicos fundamentais sobre o assunto, a fim de propor um caminho de entendimento ao estudante.

3.1 Conceito de Campo e as Leis do Eletromagnetismo

O conceito de campo é fundamental para o estudo do eletromagnetismo. Então, surge imediatamente a pergunta: o que é um campo? É indispensável ao estudante do curso de eletromagnetismo saber conceituá-lo.

A ideia desse tópico é de discutir a noção de campo como conceito físico que pode descrever a mediação das interações entre corpos à distância, como resultado final das ideias iniciais de estudiosos do século XIX, que tentaram entender melhor os fenômenos elétricos e magnéticos produzidos na natureza.

As primeiras descobertas das quais se tem notícia estão relacionadas com as observações de fenômenos elétricos, feitas pelos gregos, na Antiguidade. Eles perceberam que, ao se atritar um pedaço de âmbar⁴, ele adquiria propriedades de atrair objetos leves. Os gregos antigos também conheciam a magnetita, que tinha a capacidade de atrair o ferro.

⁴ É uma “pedra” amarelada, que se origina na fossilização de resina provenientes de árvores de madeira macia.

Séculos após, Willian Gilbert, um médico inglês, expôs suas ideias na tentativa de explicar as atrações observadas pelos gregos, a respeito do âmbar atritado e da atração entre a magnetita e o ferro, no seu livro *De Magnete Magneticisque Corporibus et de Magno Manete Tellure* (Sobre o Ímã, os corpos magnéticos e o Grande Ímã, a Terra), publicado em latim, em 1600 d.C.

Gilbert destaca em sua obra que outros objetos, tais como o vidro, o enxofre, e algumas pedras preciosas, ao serem atritados, se comportavam como o âmbar, apresentando a propriedade de atrair outros objetos. Gilbert cita ainda, em sua obra, o efeito do magneto sobre o ferro:

A força da terrela estende-se em todas as direções [...] Mas sempre que o ferro ou outro corpo magnetizado de tamanho suficiente entra na sua **esfera de influência** é atraído, no entanto, quanto mais de perto estiver a magnetita, maior será a força com que ela o atrai (ROCHA, 2009, p. 1604-2). [grifo nosso]

Com essas observações, ele apresentou ideias sobre a força que a magnetita exerce sobre o ferro. Ele também deu um passo na direção do conceito de campo, ao se referir à “esfera de influência”, pois, esta age como se modificasse as propriedades do espaço, diferentemente da ideia de ação à distância, da qual se serviram para o estudo da eletricidade e do magnetismo, nos próximos séculos, os primeiros descobridores das leis do eletromagnetismo.

Novas contribuições para o entendimento do fenômeno elétrico só puderam ser dadas a partir do século XVIII, com o progressivo esclarecimento da noção de carga elétrica e, finalmente, com o estabelecimento da lei de forças elétricas, por Charles Coulomb. Ele também propôs o mesmo tipo de estrutura para as forças magnéticas. Contudo, essas leis em nada se relacionavam com um conceito de campo, já que eram formulações de ação instantânea à distância. Poisson avançou no sentido de sofisticar a descrição matemática, criando o conceito de potencial elétrico (POLITO, 2016).

A história da eletrodinâmica só pôde avançar quando Alessandro Volta criou a pilha elétrica e, desse modo, uma forma estável de produzir correntes. Com base nisso, Oersted pôde identificar a interação entre correntes elétricas e magnetos, porém, novamente recorrendo à uma noção de “esfera de influência”. A grande descoberta,

porém, deveu-se André M. Ampère, que não apenas estabeleceu a lei de forças entre correntes elétricas, mas explicou a experiência de Oersted supondo que magnetos eram formados por correntes elétricas microscópicas (POLITO, 2016).

O conceito de campo, contudo, teve que esperar por Michael Faraday, que, apoiado nas descobertas de Coulomb, Oersted e Ampère, começou a conceber as interações entre cargas e correntes elétricas em termos de linhas de força, uma representação pictórica, mas já rigorosa, da noção de “esfera de influência”. Na sequência desses desenvolvimentos, descobriu mais um fenômeno: a indução eletromagnética. Esse fenômeno descortinava uma relação há muito buscada não apenas por Faraday, mas por todos os demais cientistas que trabalhavam na área do eletromagnetismo. A descoberta de Faraday tornava evidente o papel fundamental desempenhado pelo movimento relativo – entre campo magnético e circuito condutor – na geração de correntes induzidas, ou seja, sem a necessidade de uma fonte geradora de diferenças de potencial (POLITO, 2016).

O campo é entendido, na física, como uma entidade espacial, continuamente distribuída, que possui a capacidade de gerar forças sobre a matéria. No caso da eletricidade, por exemplo, a presença de carga elétrica gera uma influência que se estende continuamente no espaço. Essa influência, quando propriamente definida, é o núcleo da ideia de campo eletrostático, que medeia as forças de atração e de repulsão entre corpos eletrizados.

Matematicamente, pode-se descrever os campos por funções $\psi(x,y,z,y,t)$, parametrizadas pelas coordenadas da posição e pelo tempo. Como é uma função contínua e é definida em todo o espaço tridimensional euclidiano, possui infinitos graus de liberdade. Os campos podem ter componentes e, além de vetoriais, podem ser escalares e tensoriais.

Um campo escalar é aquele que se caracteriza apenas pela sua magnitude. Um exemplo é o potencial escalar elétrico $V(x, y, z)$, utilizado na eletrostática. Os campos vetoriais no espaço tridimensional são, por sua vez, caracterizados por três componentes, cada uma delas uma função do espaço e do tempo. A apresentação elementar se refere a eles como apresentando módulo, direção e sentido, em cada ponto do espaço e do tempo. Eles são simbolizados por uma flecha sobre a letra ou ainda por meio de uma letra em negrito: $\vec{E}(x, y, z, t)$ ou $\mathbf{E}(x, y, z, t)$.

James Clerk Maxwell (1831- 1879), físico escocês, estabeleceu, por volta de 1861, suas principais ideias em eletricidade, magnetismo e ótica, unificando, definitivamente, esses três ramos da física, apoiado nas leis descobertas por Coulomb, Poisson, Fresnel, Oersted, Ampère, Henry e Faraday. Sua grande descoberta, a chamada corrente de deslocamento, permitiu que se chegasse às hoje conhecidas como equações de Maxwell, que descrevem o modo como os campos elétrico e magnético são produzidos por distribuições de carga e correntes elétricas (POLITO, 2016).

Lei	Forma diferencial	Forma integral
Lei de Gauss Campo elétrico	$\nabla \cdot \vec{E} = \frac{\rho}{\epsilon_0}$	$\oint \vec{E} \cdot d\vec{A} = \frac{q}{\epsilon_0}$
Lei de Gauss Campo magnético	$\nabla \cdot \vec{B} = 0$	$\oint \vec{B} \cdot d\vec{A} = 0$
Lei de Faraday	$\nabla \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$	$\oint \vec{E} \cdot d\vec{s} = -\frac{d\Phi_B}{dt}$
Lei de Ampère – Maxwell	$\nabla \times \vec{B} = \mu_0 \cdot \epsilon_0 \cdot \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} + \mu_0 \vec{J}$	$\oint \vec{B} \cdot d\vec{s} = \mu_0 \cdot \epsilon_0 \frac{d\Phi_E}{dt} + \mu_0 \cdot i$

Quadro 2-Equações de Maxwell
Fonte: PURCELL; MORIN, 2013

Para distribuições estáticas de cargas, a lei de Gauss se reduz à lei de forças eletrostáticas de Coulomb. A lei de Gauss implica que o campo elétrico devido a uma carga pontual varia inversamente com o quadrado da distância. Essa lei descreve como as linhas de campo elétrico divergem a partir de cargas positivas e convergem para cargas negativas.

A lei de Gauss para o campo magnético estabelece a ausência de monopolos magnéticos. Essa lei descreve a observação experimental de que as linhas de campo magnético não divergem ou convergem de qualquer ponto do espaço, ou seja, ela implica que polos magnéticos isolados não existem, o que já era conhecido pela impossibilidade de separar os polos norte e sul de qualquer ímã.

A Lei de Faraday descreve o fenômeno de indução eletromagnética. Na sua versão integral, estabelece que a integral de linha do campo elétrico, em torno de qualquer curva

fechada, é igual à taxa de variação do fluxo magnético através de qualquer superfície limitada pela curva. A lei de Faraday descreve a criação de linhas de campo elétrico, chamado campo elétrico induzido, que circulam qualquer área através da qual o fluxo magnético esteja variando.

A lei de Ampère, modificada para incluir a corrente de deslocamento de Maxwell, parte da descoberta de que correntes elétricas exercem forças mutuamente, mas introduz o campo magnético como mediador dessas forças. Na sua versão final, corrigida por Maxwell, estabelece que a integral de linha do campo magnético em torno de qualquer curva fechada é a soma da parte produzida pela presença de uma distribuição de correntes que atravesse uma superfície qualquer delimitada por essa curva e da parte produzida pela taxa de variação do fluxo elétrico através dessa mesma superfície. Essa lei descreve, portanto, como as linhas de campo magnético circulam qualquer área através da qual uma corrente esteja passando ou através da qual o fluxo elétrico esteja variando (PURCELL e MORIN, 2013).

3.2 Campo Eletrostático: Gerador de van de Graaff

Um experimento utilizado, na nossa sequência didática, para apresentar os conceitos de carga elétrica, corrente elétrica contínua, resistência, condutores, força eletromotriz direta, campo eletrostático e força eletrostática, foi o gerador de Van de Graaff.

Ele serviu-nos como organizador avançado, no sentido ausubeliano, em virtude da constatação de que os potenciais subsunçores para a aquisição dos conceitos de indução eletromagnética e de campo eletromagnético não pareciam estar presentes. É interessante observar que o gerador é um organizador avançado não apenas do tipo expositivo, mas também do tipo comparativo, porque será precisamente sua comparação com o funcionamento da bobina de Tesla que permitirá introduzir os conceitos mais avançados nos quais temos interesse, onde os campos elétricos são dinâmicos. Essa é justamente a ponte cognitiva da qual fala Ausubel.

O gerador de Van de Graaff (figuras 2 e 3) é descrito como uma máquina eletrostática idealizado pelo engenheiro Robert Jemison Van de Graaff (1931) com o

objetivo de atingir altas tensões. Ele é constituído de um motor capaz de movimentar uma correia feita de material isolante.

A correia isolante é atritada, na parte inferior, por uma escova metálica ligada a um eletrodo (positivo ou negativo). O movimento da correia a eletriza por atrito e conduz cargas até o topo do gerador, onde existe uma calota metálica. O cômputo do trabalho mecânico da correia, por unidade de carga, para levar as cargas elétricas até a calota do gerador é chamado de força eletromotriz (figura 3). Ao chegar na calota superior, existe uma polia que se encontra no seu interior, para a qual a correia eletrizada transfere as cargas, também por atrito.

Esse aparelho produz, ao final do processo de carregamento, quando é cessado o trabalho mecânico da correia, uma concentração de cargas elétricas no condutor do topo (calota superior). Essa concentração de cargas produz um campo eletrostático ao redor da calota, ou seja, produz diferenças de potencial no espaço externo à calota. A lei que regula o modo como o campo se apresenta é, justamente, a Lei de Gauss ou Coulomb (figuras 1 e 4). Se a calota for aproximadamente esférica, é de se esperar que o campo ao seu redor seja um campo aproximadamente radial.

Ao se conectar um fio condutor ao gerador, desde a calota superior até um segundo condutor, a força eletrostática produzirá uma corrente elétrica (figura 5). As cargas elétricas são transportadas mecanicamente na direção indicada pela diferença de potencial produzida pelo gerador.



Figura 2- Gerador de van de Graaff
Fonte: Arquivo pessoal

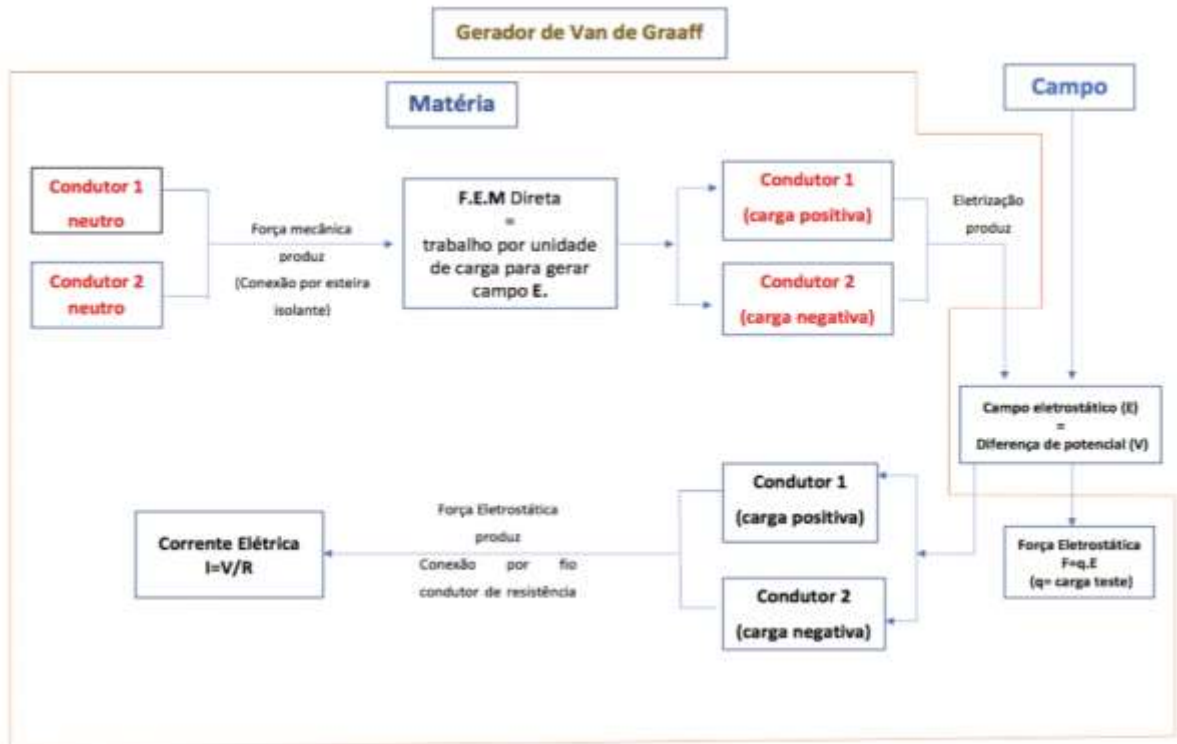


Figura 3- Diagrama de conceitos sobre Gerador de van de Graaff
 Fonte: Elaboração conjunta da autora e do orientador

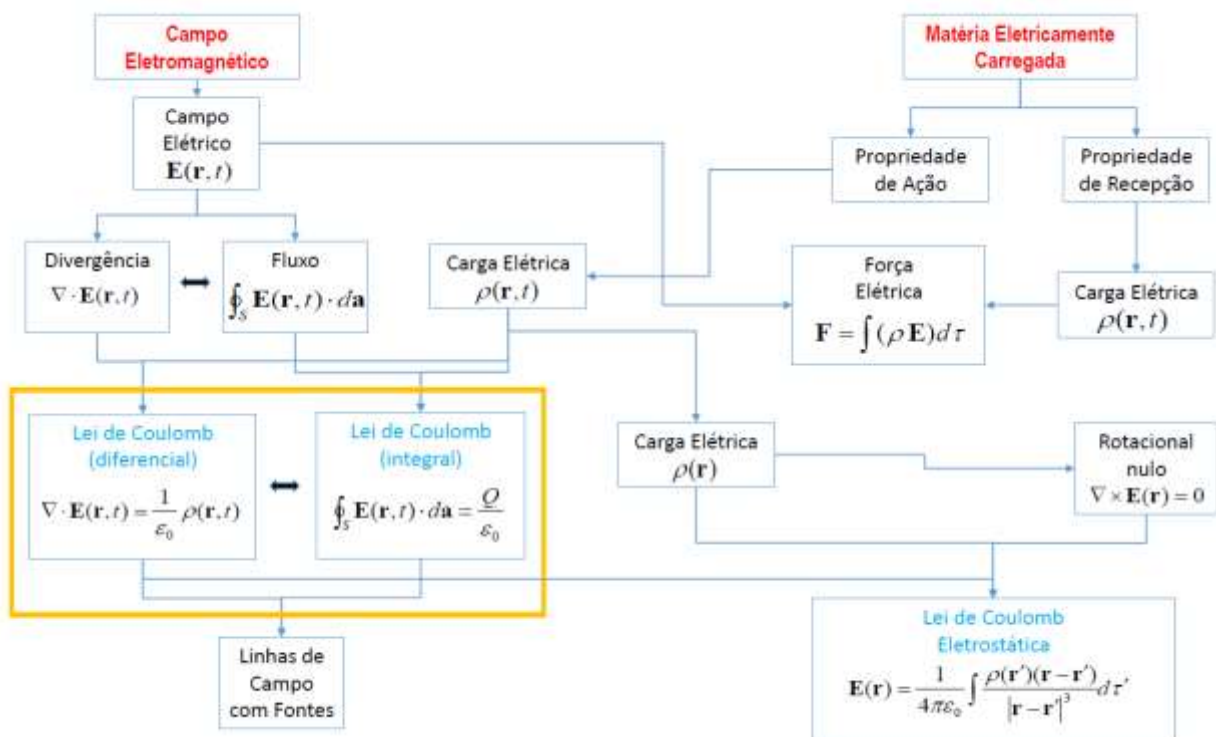


Figura 4- Diagrama de Conceitos para a Lei de Coulomb (Eletrostática)
 Fonte: Elaboração conjunta da autora e do orientador

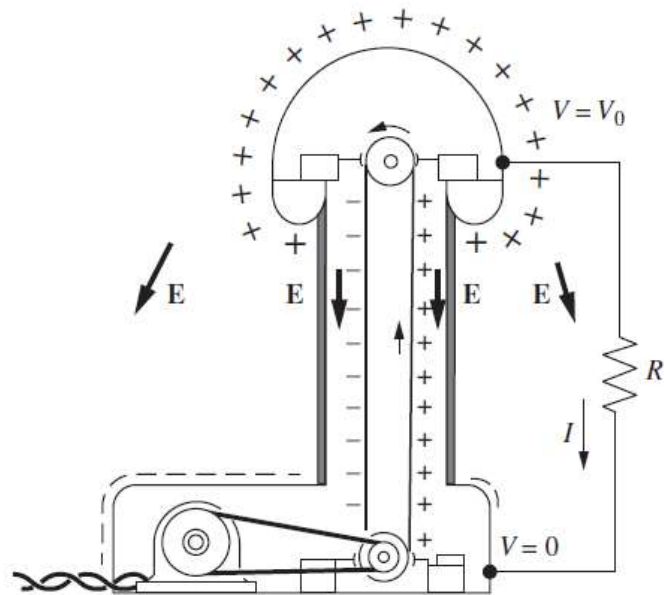


Figura 5-Movimento das cargas no Gerador de van de Graaff
 Fonte: Purcell e Morin (2013, p. 209)

3.3 Campo Magnetostático: Eletroímã

Outro experimento utilizado, na nossa sequência didática, para apresentar os conceitos de corrente elétrica contínua, força eletromotriz direta, campo magnetostático e força magnetostática, foi o eletroímã.

O eletroímã é uma bobina⁵ (solenóide) de fios condutores enrolados que, quando percorrida por corrente elétrica, geram campo magnético. Muitos fios enrolados produzem uma soma desses campos cuja resultante é representada pelas linhas de campo ilustradas na figura 6. No interior de um solenóide longo, cujas voltas sejam bem próximas umas das outras, o campo magnético é aproximadamente uniforme e o seu sentido é determinado pela regra da mão direita. O esquema conceitual do eletroímã é mostrado na figura 7.

Da mesma forma que no caso do gerador de Van der Graaff, o eletroímã serviu-nos como organizador avançado, no sentido ausubeliano, em virtude da constatação de

⁵ É um fio condutor esmaltado enrolado de sucessivas espiras em forma de hélice. As espiras estão muito próximas uma da outra.

que os potenciais subsunçores para a aquisição dos conceitos de indução eletromagnética e de campo eletromagnético não pareçam estar presentes – a saber, campo magnético estático e geração de campo magnético estático por correntes estacionárias. É interessante observar que esse experimento também é um organizador avançado na medida em que servirá como ponto de comparação com a Bobina de Tesla, onde os campos magnéticos produzidos são dinâmicos.

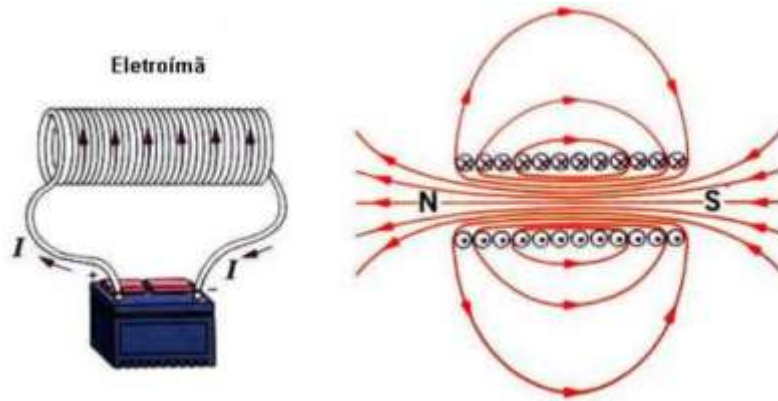


Figura 6- Um modelo de eletroímã
Fonte: Web⁶

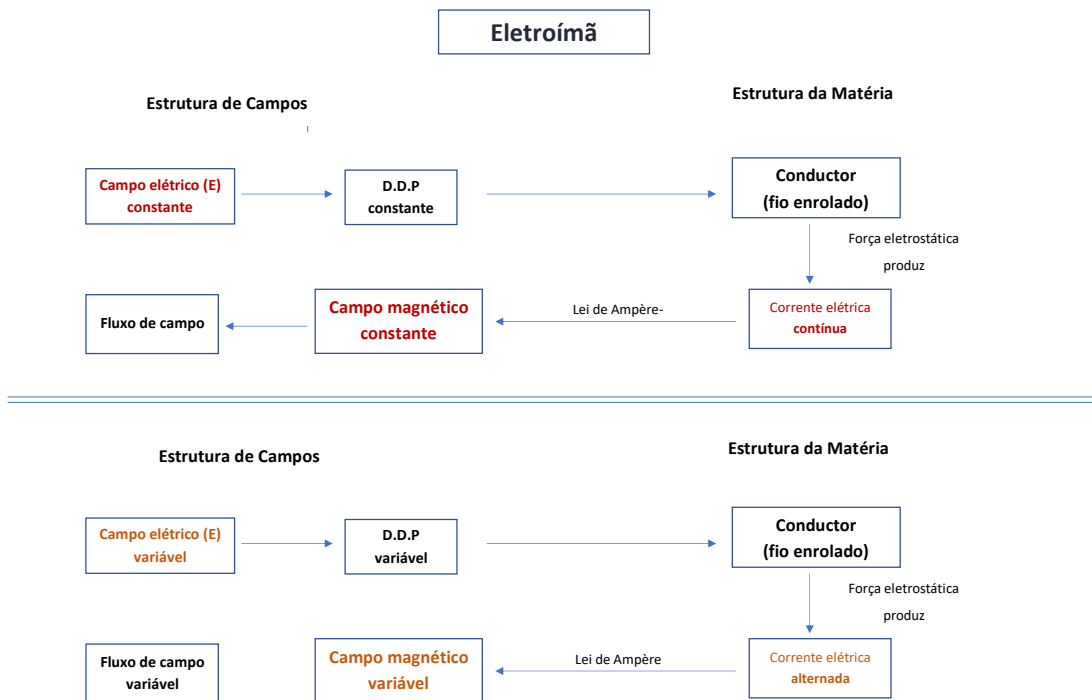


Figura 7-Diagrama de conceitos para o Eletroímã
Fonte: Elaborado conjuntamente pela autora e orientador

⁶ Disponível em: <<http://s3.amazonaws.com/magoo/ABAAAAGxkAH-0.jpg>>. Acesso em 02 ago. 2018.

O princípio de funcionamento do eletroímã é simples, mas, ao contrário do gerador de van der Graaff, envolve diretamente duas leis: a de Gauss para os campos magnéticos e a de Ampère (sem a correção de Maxwell). Indiretamente, envolve ainda a própria lei de Coulomb.

A lei de Coulomb está associada à geração de campo elétrico e, quando um campo constante é imposto em um condutor, as cargas livres presentes entram em movimento sob a ação desse campo, produzindo uma corrente estacionária. Pela lei de Ampère, correntes estacionárias geram um campo magnetostático. Os campos magnéticos produzidos por correntes amperianas são sempre livres de divergência, o que é o conteúdo da lei de Gauss para os campos magnéticos (figura 8).

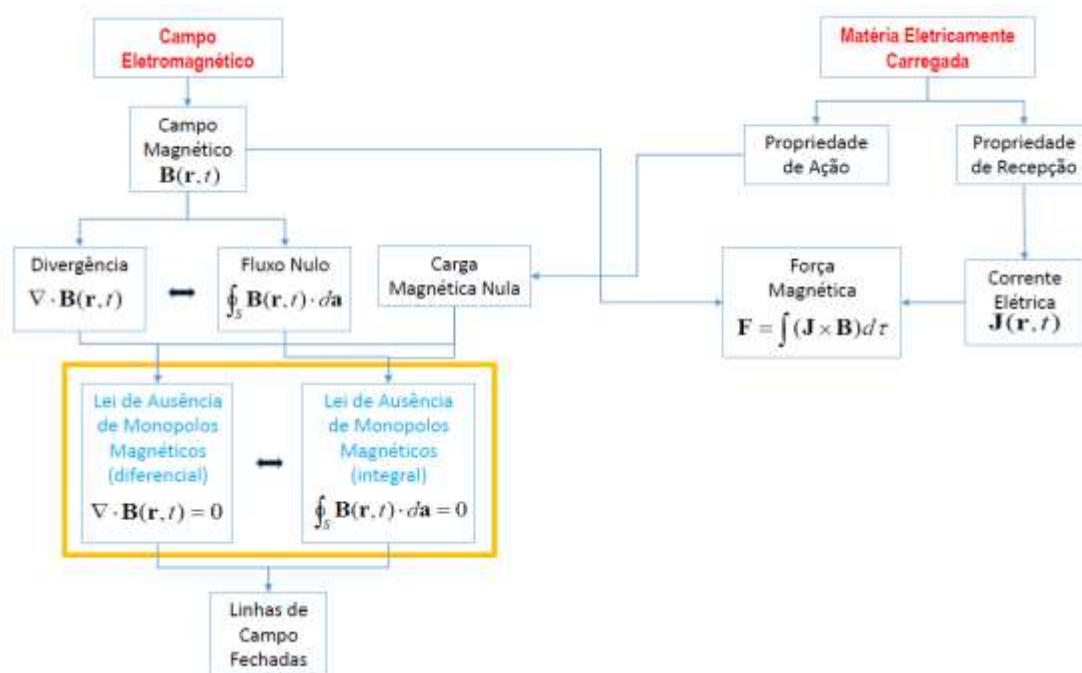


figura 8- Diagrama de conceitos para a Lei de Gauss magnetostática
 Fonte: Elaborado conjuntamente pela autora e orientador

3.4 Campos e Indução Eletromagnética: os Experimentos de Faraday

A partir das experiências de Hans Oersted (1777-1851), ao descobrir que um fio percorrido por corrente elétrica era capaz de provocar desvio de uma agulha magnética, ele imaginou uma esfera de influência que circundava o fio de corrente (MARTINS, 1986).

Faraday refez todas as experiências de Oersted e Ampère e utilizou uma agulha magnética para mapear a força magnética em torno do fio de corrente, quando da passagem de corrente elétrica. Daí, propôs a ideia de linhas de força para explicar todos os fenômenos eletrostáticos e magnetostáticos, tornando rigorosas as ideias de Oersted e avançando um passo além de Ampère, na direção do conceito de campo.

Michael Faraday observou as linhas de forças a partir de limalhas de ferro produzidas por um ímã colocado sob uma folha de papel ou lâmina de vidro. Diante disso, Faraday começou a visualizar as forças magnéticas e elétricas como espécies de linhas elásticas que se estendem no espaço a partir de ímãs ou de corpos eletrizados. Essas linhas de força eram fundamentais, do ponto de vista conceitual, pois elas implicavam que a ação entre os corpos era mediada, e não realizada à distância (TYNDALL, 1870).

A grande descoberta experimental de Faraday, contudo, aconteceu quando ele tentava restabelecer a simetria entre ação mútua entre corrente elétrica e campo magnético. Ele se perguntou por que um campo magnético não poderia gerar corrente elétrica, já que o oposto acontecia. Sua intuição estava certa, embora não da maneira como imaginava.

Quando realizou experimentos com duas bobinas, colocando-as próximas uma da outra, percebeu que, ao ligar e desligar uma corrente imposta por uma bateria, em uma das bobinas (primária), uma corrente elétrica transitória era produzida na outra bobina (secundária), ainda que ela fosse apenas um condutor isolado. Tais correntes induzidas eram sempre em direções opostas, na bobina secundária, a depender da ligação ou do desligamento da corrente, na bobina primária. Com isso, intuiu que a fonte do novo efeito, que ele denominou indução eletromagnética, era a variação da corrente. Como ele pensava em termos de ação mediada, imaginou que a variação de corrente era transmitida pelas linhas de força magnética que variavam, na região do espaço onde estava a bobina secundária (TYNDALL, 1870; VILLALBA, FERREIRA, *et al.*, 2015).

Muitos outros experimentos levaram-no a concluir, finalmente, que a indução eletromagnética era resultado tanto da variação do campo magnético, quando as bobinas estavam ambas em repouso, quanto da movimentação relativa entre correntes e correntes ou entre correntes e magnetos.

O terceiro experimento utilizado, na nossa sequência didática, serve para introduzir, pela primeira vez, o fenômeno de indução eletromagnética. O experimento

clássico que ilustra esse fenômeno se constitui de um galvanômetro⁷ e uma bobina, conectados em série. Movimentando-se um ímã para o interior da bobina, observa-se a deflexão na agulha do galvanômetro, o que indica a passagem de uma corrente elétrica, pela bobina (figura 9). Se o ímã for levado ao repouso, no interior da bobina, a agulha do galvanômetro volta para a posição neutra. Quando o ímã é retirado de dentro da bobina, ocorre a deflexão da agulha no sentido oposto, indicando a passagem de corrente também no sentido oposto. Há uma forma mais simples de realizar esse experimento, que é a que utilizamos, apenas fazendo a detecção da passagem da corrente, em ambos os sentidos, com o uso de leds.

Quando Maxwell reformulou matematicamente a lei de indução eletromagnética, ele o fez em termos de variação de fluxo magnético através do circuito por onde passa a corrente induzida. No experimento, o fluxo magnético através da bobina varia porque o movimento relativo entre o ímã e a bobina altera o fluxo de campo magnético produzido pelo ímã. Quando o ímã está em repouso, o galvanômetro não acusa nenhuma corrente, pois não há variação do fluxo magnético. O esquema conceitual do experimento de Faraday é mostrado na figura 10.

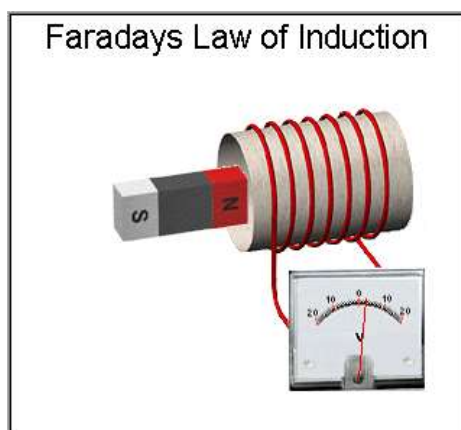


Figura 9-Esquema do circuito de Faraday
Fonte: Web⁸

⁷ Um detector mais sensível de corrente, essencialmente criado por Ampère, para medir forças magnéticas. Consistia de uma agulha magnetizada, pivotada como uma agulha de bússola, ou suspensa por uma fibra delgada entre duas bobinas de fio. (PURCELL, 2013, p. 344)

⁸Disponível em: <<http://way2science.com/faradays-laws-of-electromagnetic-induction/>>. Acesso em 05 out. 2017.

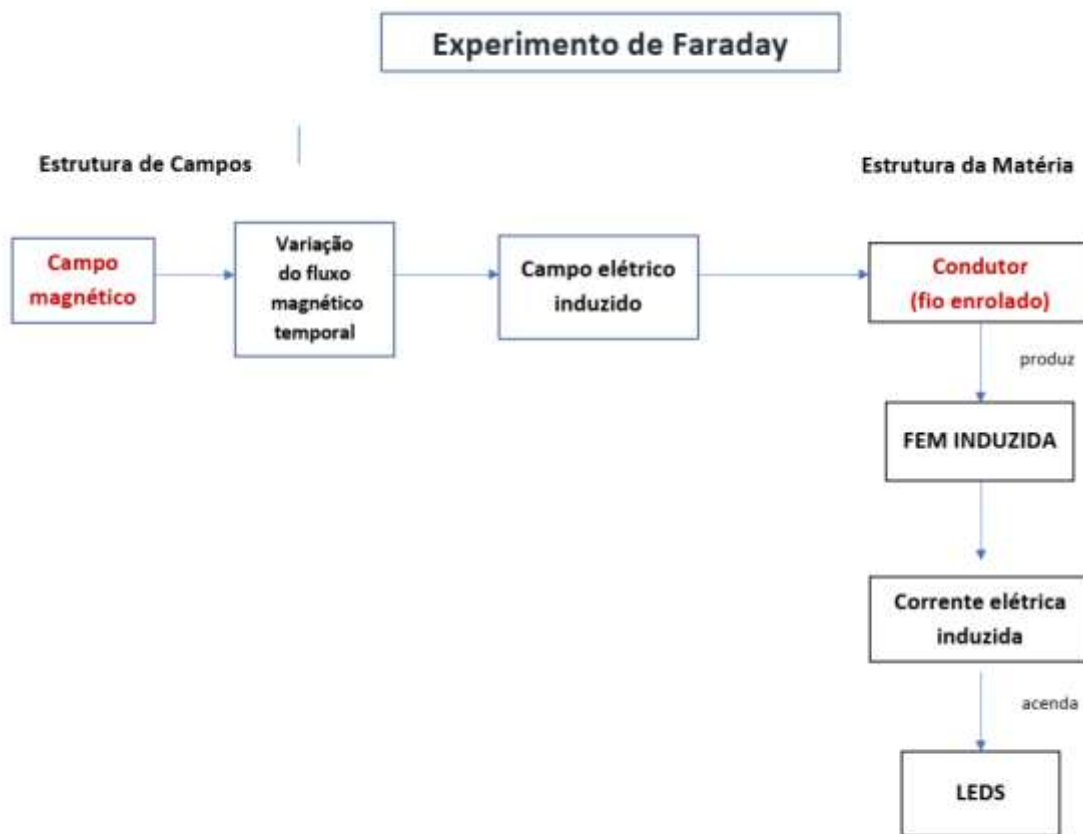


Figura 10-Diagrama de conceitos para o experimento de Faraday
 Fonte: Elaborado conjuntamente pela autora e orientador

Da mesma forma que nos casos dos experimentos anteriores, o experimento de Faraday serviu-nos como organizador avançado, no sentido ausubeliano. Porém, dessa vez, ele é uma ponte entre o que o aluno já, presumivelmente, conhece – as leis de Coulomb, Gauss magnetostática e Ampère – e algo que ele ainda não conhece.

O princípio de funcionamento do experimento de Faraday é, na verdade, o mais simples de todos pois envolve apenas a lei de Faraday: a corrente induzida é produzida por um campo elétrico induzido o qual, por sua vez, é gerado pela variação de fluxo de campo magnético (figura 11).

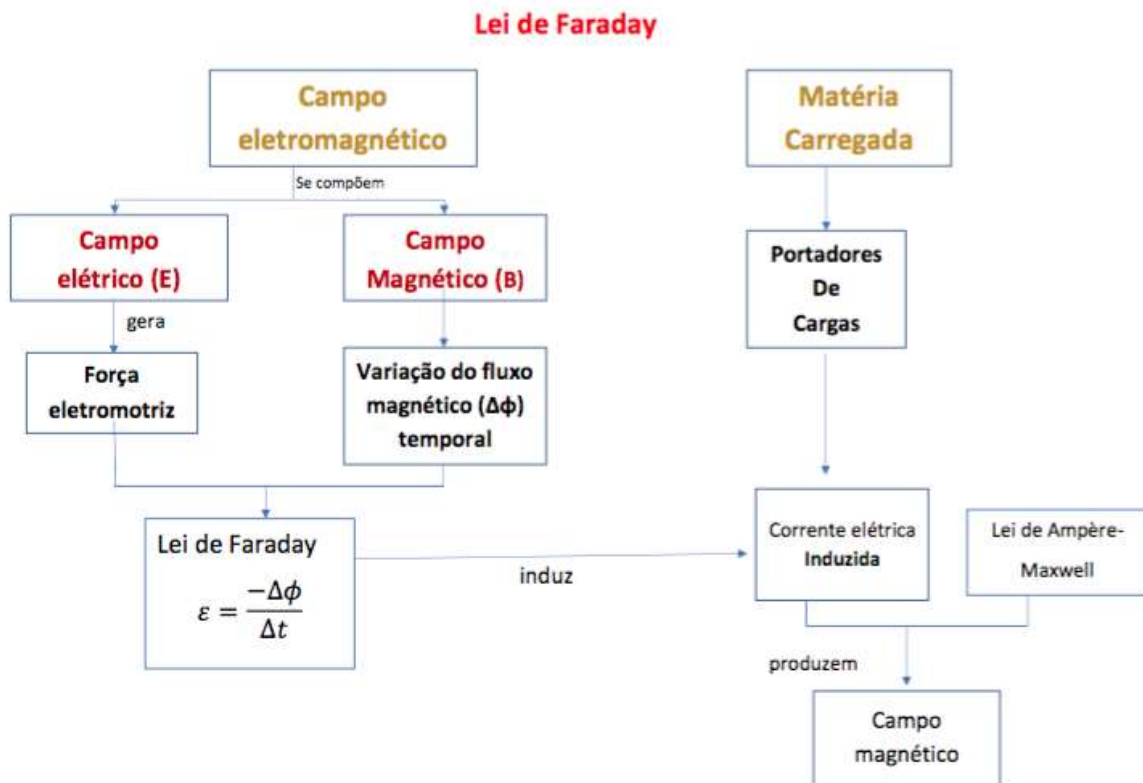


Figura 11- Diagrama de conceitos da Lei de Faraday
 Fonte: Elaborado conjuntamente pela autora e orientador

3.5 Campo Eletromagnético: a Bobina de Tesla

A bobina de Tesla, foi criada por Nikola Tesla por volta de 1890. Ela é, na verdade, um conjunto de duas bobinas, acopladas pela sua indutância mútua, que funcionam conjuntamente como um transformador ressonante, com um núcleo de ar, cuja principal função era a de permitir a produção de altas tensões, capazes de romper a rigidez dielétrica do ar e formar descargas elétricas que variam de acordo com a configuração das bobinas (BRUNS, 1992; CHIQUITO e LANCIOTTI JR., 2000; SILVA, 2012; TESLA e CHILDRESS, 1993; LABURU e ARRUDA, 1991).

3.5.1- Elementos Estruturais da Bobina de Tesla

Na figura 12, vê-se o artefato montado pela autora e utilizado neste trabalho. A seguir, faremos uma descrição sucinta de cada um dos seus elementos, mostrando os detalhes mais significativos que têm interesse com relação aos conceitos físicos.

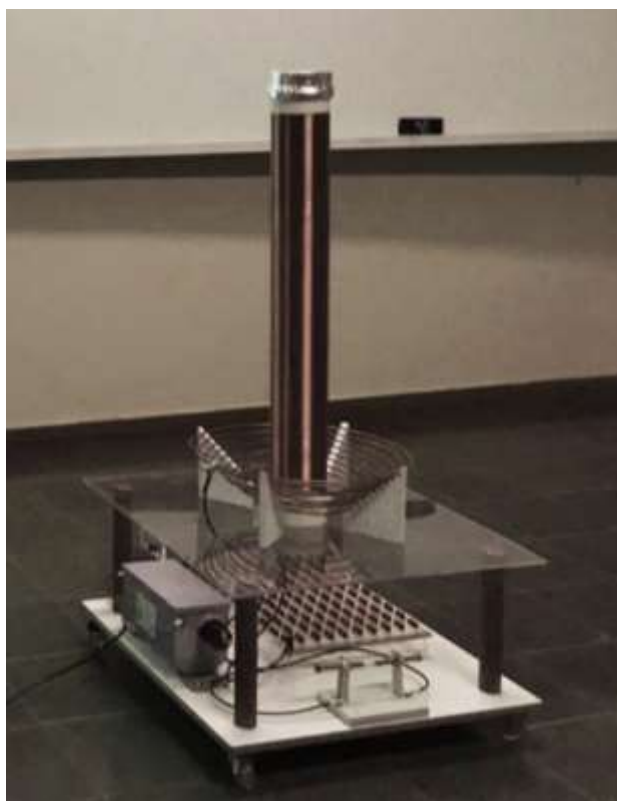


Figura 12-Bobina de Tesla montada e desligada
Fonte: Arquivo pessoal

O sistema ressonante da Bobina de Tesla pode ser descrito esquematicamente como um sistema oscilante RLC – conjunto de circuitos cujas grandezas essenciais que desempenham papel dinâmico são resistências, indutâncias e capacitâncias. Ele é composto por dois circuitos básicos: o circuito primário e o circuito secundário (BRUNS, 1992; CHIQUITO e LANCIOTTI JR., 2000; SILVA, 2012; TESLA e CHILDRESS, 1993; LABURU e ARRUDA, 1991).

Na figura 13, observa-se que o circuito primário é composto pelos seguintes elementos: um transformador (T1), um centelhador ou “spark gap” (SG), um capacitor primário (C1) e a bobina primária (L1) cilíndrica. O circuito secundário é composto por uma bobina secundária (L2) cilíndrica. Ela possui número de espiras consideravelmente maior que o da bobina primária. A bobina secundária é montada de modo a estar

concêntrica e interna, com relação à bobina primária. A bobina secundária ressona com sua própria capacitância distribuída e com a capacitância de um terminal secundário no topo da bobina (CT) e da conexão à terra (BARRETO, 2014; BRUNS, 1992).

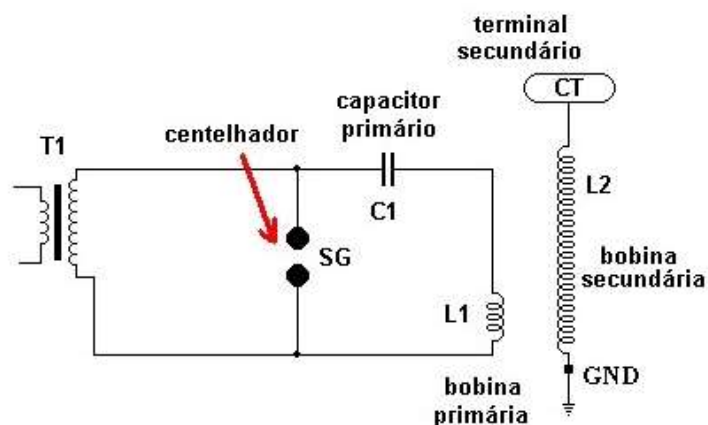


Figura 13-Circuito de Tesla convencional.
Fonte: Web⁹

A parte da bobina de Tesla correspondente ao circuito primário é composta por quatro componentes. O transformador – que foi adquirido, por ser de difícil construção – possui as seguintes características: uma tensão de saída de 12kV, com uma corrente nominal de 30 mA (fig. 14). O objetivo do transformador primário é elevar a tensão originalmente fornecida pela rede da edificação.



Figura 14- Transformador Gás neon de 12kV usado no artefato
Fonte: Arquivo pessoal

O capacitor primário (C1) é, na verdade, um banco de capacitores usado para armazenar, em cada ciclo de operação, uma grande quantidade de energia elétrica, proveniente da rede e que passa através do transformador. Cada ciclo de operação é

⁹Disponível em: <http://www.geocities.ws/lemagicien_2000/tcpage/teslamania/teoria/circuitotesla.gif>. Acesso em 24 ago. 2017.

constituído por uma carga do capacitor primário, seguido de uma súbita descarga. Essa súbita descarga gera um pulso de corrente que passa pela bobina primária (indutor primário).

A técnica utilizada para construir o banco de capacitores é denominada de multi-mini-capacitores (MMC) (figura 15). Esse processo consiste no uso de vários capacitores colocados em série e em paralelo, até que a tensão de isolamento necessária e a capacitância sejam alcançadas (fig. 15). Em nosso caso, são 10 capacitores associados em série (2,2nF x 20kV) e 10 associados em paralelos (22nF x 20 kV). A capacitância equivalente do banco é de 22nF, para uma tensão máxima de 20kV. A cada um dos capacitores foram associados resistores de 10MΩ.

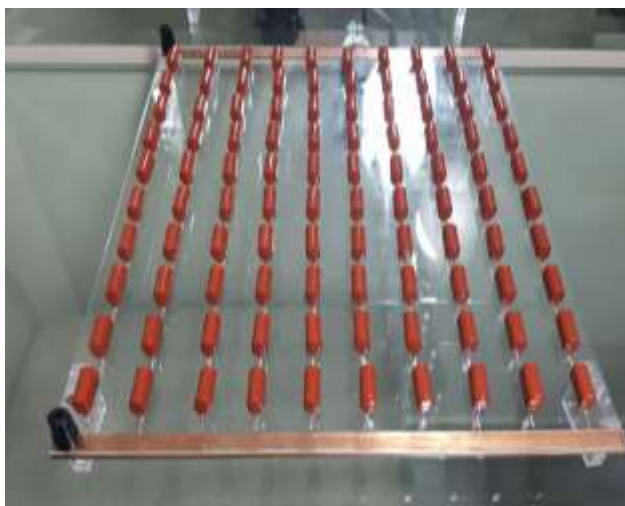


Figura 15- Banco de capacitores- total de 100 capacitores associados
Fonte: Arquivo pessoal

O centelhador ou spark gap (SG) é uma espécie de interruptor. Ele é desenhado para permitir a passagem de corrente, por quebra da rigidez dielétrica do ar, apenas quando a diferença de potencial, no capacitor primário, atinge a intensidade máxima suficiente para a produção de tal efeito. No nosso caso, o centelhador consiste em dois parafusos de latão, presos a um suporte isolante (de madeira), sendo um deles fixo e outro móvel (veja fig. 16). Quando ocorre a centelha, o circuito primário se fecha e uma grande quantidade de energia, armazenada em um ciclo de carga do capacitor, é despejada subitamente, em forma de um pulso de corrente, para a bobina primária (indutor).

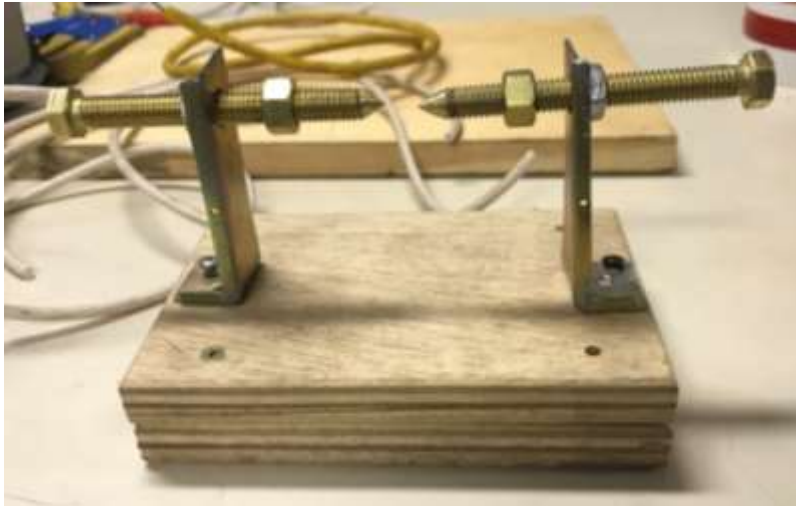


Figura 16- Centelhador ou Spark Gap de parafusos de latão
 Fonte: Arquivo pessoal

A bobina primária ou indutor primário (L_p) foi construída com algumas voltas (aproximadamente, nove) de um condutor de grosso calibre (tubo de cobre, usado em equipamentos de refrigeração), enrolados em uma forma de cone.

Para o cálculo da indutância, podemos usar a seguinte expressão (TILBURY, 2008, p. 26):

$$L(\mu H) = \frac{R^2 N^2}{8R + 11W} \quad (2)$$

onde L é a indutância da bobina, em microhenries e R é o raio da bobina, em polegadas. A resistência é calculada pela expressão (TILBURY, 2008, p. 26):

$$R \text{ (inch)} = \frac{\frac{(DE) - (DI)}{2} + (DI)}{2} L \quad (3)$$

sendo DE o diâmetro externo e DI o diâmetro interno, N é o número de espiras e W é a largura do enrolamento, em polegadas, que pode ser calculada pela expressão:

$$W = R / \cos \theta \quad (4)$$

sendo θ o ângulo de inclinação com a horizontal.

A parte da bobina de Tesla correspondente ao circuito secundário é formada por uma bobina (ou indutor) secundária (L_s), aterrada. Este componente é simples de ser

construído e, no aparato experimental apresentado, utilizamos um tubo de PVC, de 10 cm de diâmetro e 71 cm de altura, com um número de aproximadamente 1800 voltas de fio de cobre (26 AWG).

Para o cálculo da indutância da bobina secundária foi usada a expressão (TILBURY, 2008, p. 76):

$$L(\mu H) = \frac{R^2 N^2}{9R + 10H} \quad (5)$$

onde N é o número de espiras, R e H são, respectivamente, o raio e o comprimento do indutor. Para o indutor primário e secundário encontramos a indutância

$$L(p) = 20,05 \mu H$$

$$L(s) = 42,23 mH$$

Deve-se levar em consideração toda a extensão da bobina secundária para a capacitância distribuída (auto-capacitância). Esta capacitância pode ser escrita como (CHIQUITO e LANCIOTTI JR., 2000):

$$C(s) = 0,29H + 0,41R + 1,94 \sqrt{\frac{R^3}{H}} \quad (6)$$

$$C(s) = 9,44 pF$$

A frequência de oscilação da bobina secundária pode ser calculada por

$$f(s) = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_s C_s}} \quad (7)$$

A frequência obtida, através da equação 7, para o indutor secundário é de $f(s) = 252 \text{kHz}$.



Figura 17- Bobinas primária e secundária
Fonte: Arquivo pessoal

3.5.2- *Conceitos Físicos*

Esse quarto experimento utilizado, na nossa sequência didática, serve para introduzir, pela primeira vez, o fenômeno de produção de campos eletromagnéticos variáveis no tempo. Para entender esse fenômeno, é necessário levar em consideração a lei que é expressada pela última das equações de Maxwell, que completa a lei de Ampère introduzindo uma nova “fonte” para a geração de campos magnéticos: a variação temporal de campos elétricos.

O experimento da Bobina de Tesla pode ser compreendido, conceitualmente, como sendo dividido em três partes. A primeira parte refere-se ao fenômeno de acoplamento entre as bobinas primária e secundária, para cujo entendimento é suficiente invocar a indução eletromagnética (lei de Faraday), complementada pelas leis de Coulomb e Ampère. Todo o fenômeno é dirigido pelo circuito primário. Conceitualmente, tudo começa com a geração de um campo elétrico – para os nossos fins, considerado estático – pela acumulação de cargas no capacitor (lei de Coulomb). Esse campo elétrico, quando suficientemente intenso, quebra a rigidez dielétrica do ar, fechando o circuito e produzindo uma corrente variável no tempo, na forma de um pulso de elevada intensidade, a cada ciclo de descarga.

A corrente variável, ao percorrer a bobina primária, gera um campo magnético variável no tempo, que cresce de zero até um valor máximo e, em seguida, decresce a zero novamente (lei de Ampère), a cada ciclo de descarga. O campo magnético variável no tempo, produzido no interior da bobina primária, gera um campo elétrico induzido em todo o espaço e, em particular, na região ocupada pela bobina secundária (Lei de Faraday). Esse campo elétrico induzido gera, na bobina secundária, uma corrente elétrica alternada. O campo elétrico induzido pela bobina primária gera, na bobina secundária, uma corrente elétrica alternada que produz dois efeitos. O primeiro efeito é o de gerar, no interior da bobina secundária, um campo magnético alternado, que reage contra a bobina primária, através da indução eletromagnética, completando o acoplamento.

A segunda parte da estrutura conceitual do experimento da bobina de Tesla, contudo, é nova e só depende, de fato, do segundo efeito associado ao comportamento da bobina secundária. O segundo efeito da corrente alternada imposta sobre a bobina secundária é uma acumulação alternada de cargas – ora cargas negativas, ora cargas positivas – no topo da bobina, onde se encontra uma carapaça condutora, de formato aproximadamente esférico, que serve exclusivamente para esse fim de acumulação das cargas. O mais importante, contudo, é que essa acumulação dinâmica de cargas gera, em todo o espaço, um campo elétrico variável no tempo, oscilante, cujo formato é aproximadamente “monopolar”, ou seja, esféricamente simétrico, centrado na carapaça condutora do topo. Esse campo elétrico, “monopolar” é possível justamente porque a bobina secundária está aterrada. Isso significa que os efeitos de uma configuração que, mais acuradamente, deveria ser considerada “dipolar” estejam suficientemente afastados das circunvizinhanças da bobina secundária. Finalmente, entra em cena a lei de Ampère-Maxwell. O campo elétrico variável no tempo produz, em cada ponto do espaço, em torno da bobina secundária, um campo magnético induzido, também variável no tempo. Juntos, os campos elétricos e magnéticos gerados pela bobina secundária formam um verdadeiro campo eletromagnético, cuja natureza é, essencialmente, dinâmica. O esquema conceitual de todo o experimento é mostrado na figura 19, enquanto o diagrama de conceitos envolvidos na lei de Ampère-Maxwell é mostrado na figura 20.

Da mesma forma que nos casos dos experimentos anteriores, o experimento da bobina de Tesla serviu-nos como organizador avançado, no sentido ausubeliano. Dessa vez, ele é uma ponte entre o que o aluno já, presumivelmente, conhece – as leis de

Coulomb, Gauss magnetostática, Ampère e Faraday – e algo que ele ainda não conhece, a saber, a lei de Ampère-Maxwell.

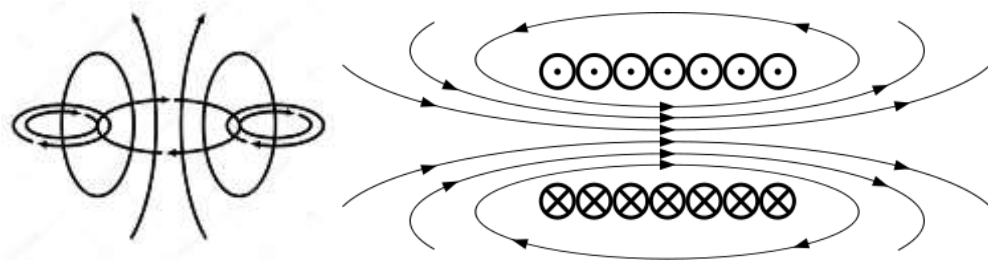


Figura 18- Campo magnético gerado por corrente (direita) e induzido por variação de campo elétrico (esquerda)
 Fonte: Web¹⁰

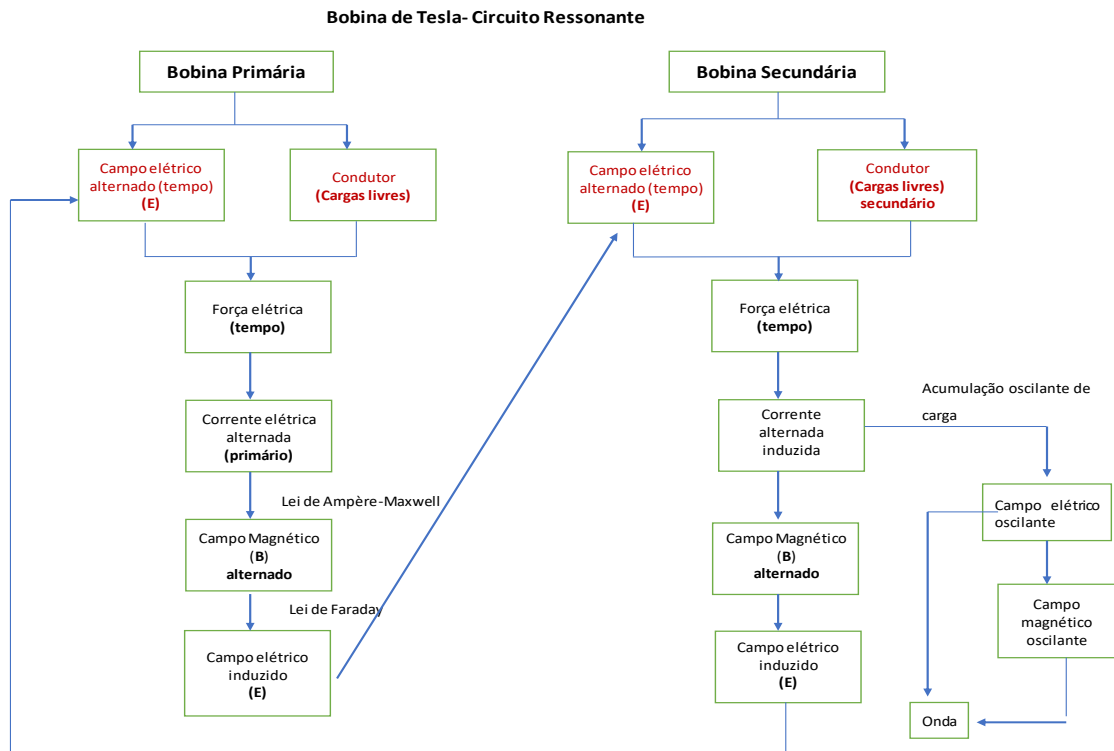


Figura 19- Diagrama de conceitos da Bobina de Tesla- Circuito Ressonante
 Fonte: Elaborado conjuntamente pela autora e orientador

¹⁰ A figura a esquerda está disponível em: <<https://br.depositphotos.com/114191202/stock-illustration-electrical-schematic-of-electromagnetic-field.html>>. Acesso em 10 dez. de 2018. A figura da esquerda está disponível em: <http://2.bp.blogspot.com/-Tqsv6WTTLjU/Tgn_RMrWOCI/AAAAAAAAANU/Szfa-vK6t5c/s1600/490px-Solenoid.svg.png>. Acesso em 10 dez. 2018.

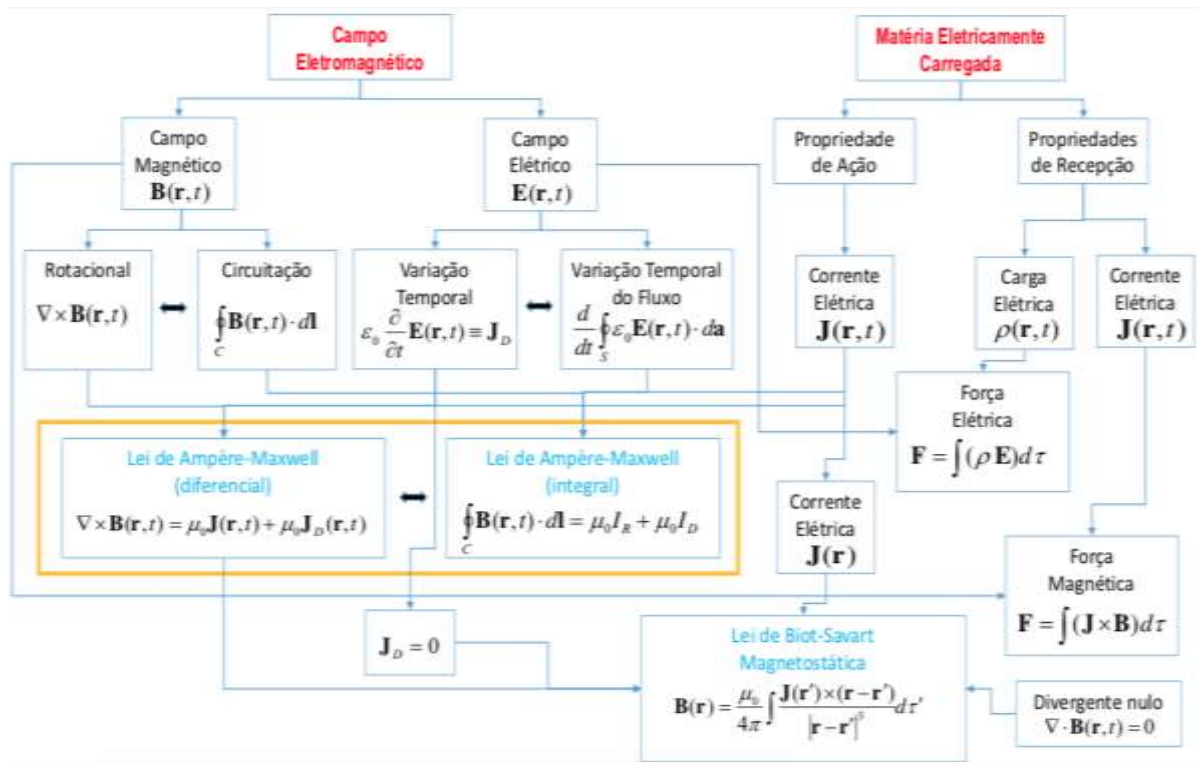


Figura 20- Diagrama de conceitos da Lei Ampère-Maxwell
 Fonte: Elaborado conjuntamente pela autora e orientador.

3.5.3- Antenas

A terceira parte da estrutura conceitual do experimento da bobina de Tesla consiste na explicação de como se procede à detecção dos campos eletromagnéticos produzidos. As equações dos rotacionais de Maxwell ($\nabla \times \mathbf{E}$ e $\nabla \times \mathbf{B}$) significam que os campos elétricos e magnéticos variam no tempo de maneira interdependente, sendo o campo elétrico variável capaz de gerar campo magnético variável e vice-versa. Assim, o campo eletromagnético variando no tempo propaga energia através do espaço vazio, na velocidade da luz, pois a luz nada mais é do que um campo eletromagnético (BALANIS, 1997; COLLIN, 1985).

Observe que não falamos, em nenhum lugar, até agora, do conceito de onda eletromagnética. De fato, a noção de onda como um fenômeno de oscilação de alguma grandeza, espaço-temporalmente extensa e contínua, caracterizada de modo simples por intensidade, comprimento de onda e frequência, não se aplica bem ao campo eletromagnético produzido nas imediações da bobina de Tesla. As irregularidades, aí, são muitas e aos campos eletromagnéticos produzidos pelo efeito Ampère-Maxwell devem

ser somados o campo magnético variável produzido pela bobina secundária e os campos magnéticos e elétricos produzidos pela bobina primária. De modo que, falar de onda, nessas condições, é impossível. De fato, o que se espera é que um campo eletromagnético ondulatório seria, a depender de sua intensidade, detectável apenas a alguns quilômetros da bobina de Tesla. Isso, evidentemente, está fora de nossas cogitações.

Porém, isso não significa que o altamente irregular campo eletromagnético nas circunvizinhanças da bobina não possa ser detectado. Para isso, utiliza-se de antenas. Conforme, geralmente, se as entende, antenas são dispositivos, acoplados a circuitos, que servem tanto para irradiar quanto para captar, de forma controlada, uma onda eletromagnética, no comprimento de onda do espectro de radiofrequência. A geometria e o tamanho são fatores predominantes no desempenho de uma antena (BALANIS, 1997; COLLIN, 1985).

Em geral, pode-se falar em duas regiões do campo eletromagnético gerado por antenas: o campo próximo e o campo distante (figura 21). O campo próximo, ou zona de Fresnel, é a região em torno da antena onde os campos magnéticos e elétricos são irregulares. Esses campos não são ondas de rádio. O campo distante ou zona de Fraunhofer¹¹ é a região de campo na qual os campos elétricos e magnéticos são perpendiculares e somente nessa região podemos falar de onda eletromagnética. No nosso caso, quem faz o papel de antena transmissora é a própria bobina de Tesla e o campo que é detectado está na zona de Fresnel (MARTINS, 2016; MOURA, 2018).

¹¹ MARTINS, Ramon Mayor. Antenas e propagação. Disponível em: <https://wiki.sj.ifsc.edu.br/wiki/images/1/1f/5_0IFSC_Engenharia_ANT_2016_1.pdf> Acesso em 5 out. 2018

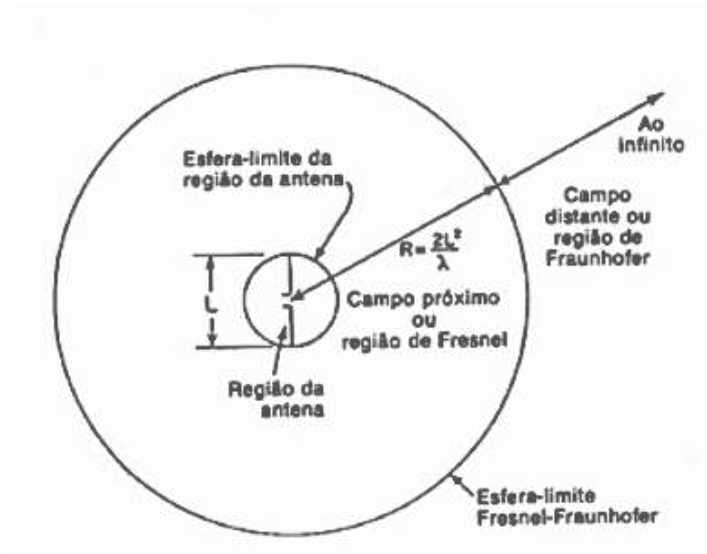


Figura 21- Regiões de Fraunhofer e Fresnel

Fonte: Instituto Federal de Educ., Cien. Tecnologia- Santa Catarina¹²

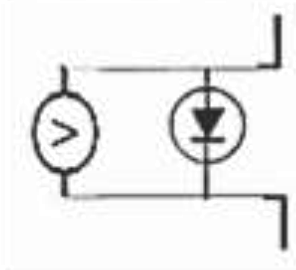
Muito embora não seja o caso de falarmos em onda, antenas são utilizadas da mesma maneira também para detectar campo eletromagnético na zona de Fresnel. Neste trabalho, utilizou-se de dois tipos de antenas – linear (dipolo) e circular (“loop”) – como receptoras do sinal eletromagnético.

A antena linear (dipolo) consiste em duas hastes condutoras retas, curtas, de igual tamanho, dispostas colinearmente, com um pequeno espaço entre elas¹³. As duas hastes são ligadas por um fio condutor, onde se encontra um diodo, que pode ser um LED, como mostra a figura 22.

¹²MARTINS, Ramon Mayor. Antenas e propagação. Disponível em: <https://wiki.sj.ifsc.edu.br/wiki/images/1/1f/5_0IFSC_Engenharia_ANT_2016_1.pdf> Acesso em 5 out. 2018.

¹³ CASTRO, Fernando Comparsi; FRANCO, Paulo Roberto Girardello. *Antenas* – cap. III. Disponível em: <http://www.epo.pucrs.br/~decastro/pdf/A_C3.pdf> Acesso em 5 out. 2018.

Antena linear conectada ao LED e ao voltímetro



Antena circular conectada ao amperímetro

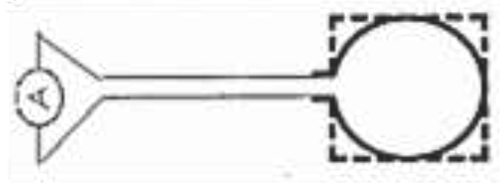


Figura 22- Diagramas esquemáticos das antenas linear e circular
Fonte: Elaborada pela autora

O princípio de funcionamento da antena linear é o seguinte. Uma vez colocada em uma região onde o campo elétrico é oscilante e caracterizado por uma certa frequência, as cargas livres presentes nas hastes (elétrons) ficam submetidas à ação de uma força elétrica que também as dirige ora em um sentido da antena, ora no sentido oposto. Porém, o diodo só permite a passagem de cargas em um único sentido, de modo que o efeito total, depois de alguns ciclos de oscilação, é a formação de um acúmulo de cargas de sinais opostos, nas extremidades de cada uma das hastes. Assim, uma das hastes da antena ficará com excesso de cargas positivas e a outra com excesso de cargas negativas, produzindo uma diferença de potencial que pode ser detectada por um voltímetro (figura 23) (BALANIS, 1997).

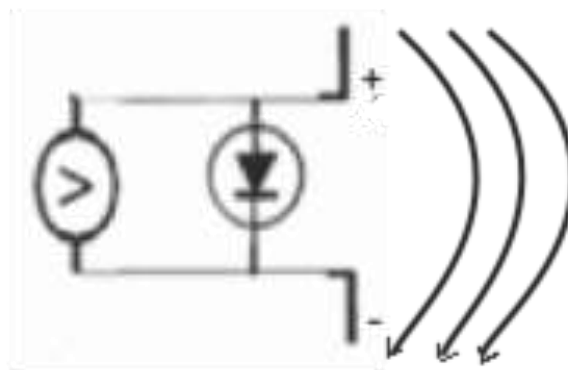


Figura 23- Antena linear receptora conectada ao LED e ao voltímetro
Fonte: Elaborada pela autora

A antena circular (“loop”) consiste em um único circuito condutor, disposto em formato aproximadamente circular (figura 24).

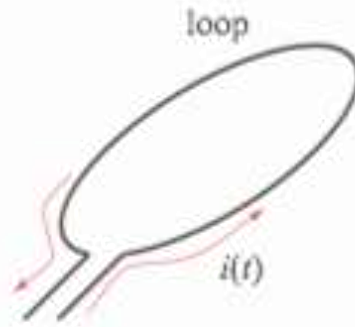


Figura 24- Antena circular
Fonte: UFPe¹⁴

O princípio de funcionamento da antena circular é o seguinte. Uma vez colocada em uma região onde o campo magnético é oscilante e caracterizado por uma certa frequência, as cargas livres presentes no condutor (elétrons) ficam submetidas à ação de uma força elétrica induzida também oscilante (lei de Faraday), e que também dirige essas cargas ora em um sentido da antena, ora no sentido oposto. Essa corrente alternada na antena pode ser medida através de um amperímetro conectado diretamente à antena receptora. No circuito da antena, apresenta-se também um LED. Porém, ao contrário do caso da antena linear, onde sua presença é essencial para o funcionamento da antena, no caso da antena circular, o diodo serve para indicar a passagem da corrente alternada, ao iluminar-se.

¹⁴ FONTANA, Eduardo. Eletromagnetismo. Parte II. 2017. Disponível em: <<https://www3.ufpe.br/fontana/Eletromagnetismo2/EletromagnetismoWebParte02/mag2cap11.htm>>. Acesso em 10 jun. 2018.

Capítulo 4

Produto Educacional

O nosso produto educacional consiste em uma sequência didática, constituída de sete etapas, para abordar os conceitos de indução eletromagnética e de campo eletromagnético, através da geração e detecção de campo eletromagnético produzido em um experimento histórico que ficou conhecido como Bobina de Tesla. Para isso, construímos uma Bobina de Tesla, elaboramos planos de aula e roteiros experimentais, selecionamos textos de apoio, simulações e vídeos, como elementos facilitadores de aprendizagem, e produzimos atividades que subsidiaram a análise das etapas de aplicação do produto. A ênfase é toda qualitativa, voltada aos fenômenos, de modo a evitar aspectos do assunto cuja abordagem quantitativa está para além dos requisitos esperados e já possuídos por alunos do ensino médio.

No quadro, a seguir, apresentamos os objetivos de aprendizagem, para cada etapa, acompanhados das atividades realizadas na sequência didática proposta¹⁵.

¹⁵ Cada etapa pode corresponder a uma ou mais aulas. Isso deve depender do aplicador. Em nosso caso, optamos por fazer corresponder a cada etapa uma aula dupla de 90 minutos de duração.

Quadro 3- Organização da sequência didática

Número da etapa	Atividades a serem realizadas	Objetivos	Instrumentos e indicadores
(A1)	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Aplicação de questionário de avaliação prévia. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Levantar os conhecimentos prévios para o encaminhamento das etapas seguintes. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Questionário
(A2)	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Realização de atividades práticas (demonstrativa e de verificação) com o experimento do gerador de van de Graaff. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Apresentar, através de atividades prático-experimentais com o gerador (real), os conceitos de carga elétrica, condutor, isolante, força eletromotriz direta, eletrização, campo eletrostático, diferença de potencial, força eletrostática, corrente elétrica e resistência. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Experimento de van de Graaff; ➤ Diagrama de conceitos e esquema do gerador; ➤ Eletroscópio de folhas ou de pêndulo; ➤ Placa de isopor ou outro isolante com cerca de 50 cm²; ➤ Papel de seda picotados; ➤ Canudos de plásticos; ➤ Palito de madeira; ➤ Fita crepe; ➤ Régua plástica; ➤ Borracha; ➤ Lâmpada fluorescente compacta de tubo de vidro; ➤ Roteiro experimental.
(A3)	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Realização de atividades práticas com o simulador - Phet16 Colorado e com o experimento do eletroímã (atividade demonstrativa e de verificação). 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Apresentar, através das atividades prático-experimentais com o eletroímã (real e simulado), os conceitos de campo magnetostático, geração de campo magnético por corrente elétrica estacionária, força magnética entre correntes e materiais magnéticos, força magnética entre correntes e a ideia de Ampère de reduzir magnetos a correntes microscópicas. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Experimento do eletroímã: 2 pilhas, 1 metro de fio de cobre (AVG 24 ou 26), moedas, cliques, tachinha, bússola; ➤ Diagrama de conceitos do eletroímã; ➤ Roteiro de experimental; ➤ Simulador Colorado- Phet – Laboratório de Faraday.
(A4)	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Apresentação da Lei de Faraday – Campo elétrico induzido por 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Apresentar, através das atividades prático-experimentais com o experimento de Faraday 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Experimento de Faraday: 1 bobina de aproximadamente

¹⁶Disponível em: <https://phet.colorado.edu/sims/faraday/faraday_pt_BR.jnlp>. Acesso em 5 out..2017.

	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Realização de atividades práticas com auxílio do simulador Phet¹⁷ Colorado e do experimento de Faraday (demonstrativa e de verificação). 	<p>variação de fluxo de campo magnético.</p> <p>(real e simulado), os conceitos de fluxo magnético e variação do fluxo magnético, força eletromotriz induzida, campo elétrico induzido, corrente elétrica induzida (indução eletromagnética).</p>	<p>400 espiras, 2 leds de cores diferentes, fios conectores, 1 ímã de neodímio;</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Simulador Colorado- Phet – Laboratório de Eletromagnetismo de Faraday. ➤ Roteiro experimental.
(A5)	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Apresentação pelo professor do aparato experimental da Bobina de Tesla (atividade demonstrativa) 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Apresentar, através das atividades prático-experimentais com a bobina de Tesla (real), os conceitos de campos elétrico e magnético variáveis no tempo, gerados pelo acoplamento entre as bobinas e explicados pela indução eletromagnética (Lei de Faraday). 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Bobina de Tesla; ➤ Um par de pêndulos físicos acoplados ➤ Vídeo simulador-comportamento dos campos eletromagnéticos da bobina de Tesla; ➤ Diagramas de conceitos e esquema da bobina de Tesla.
(A6)	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Apresentação comparativa do funcionamento da bobina de Tesla e do Gerador de van de Graaff (atividade demonstrativa). ➤ Apresentação da Lei de Ampère-Maxwell – campos magnéticos induzidos por corrente de deslocamento e não por correntes reais. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Comparar o Gerador de van de Graaff com a Bobina de Tesla. ➤ Diferenciar corrente contínua de corrente alternada. ➤ Diferenciar campos estáticos de campos dinâmicos. ➤ Introduzir a noção de corrente de deslocamento e a geração de campo magnético induzido, a partir do campo elétrico oscilante, como um efeito que o gerador carregado não pode produzir. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Gerador de van de Graaff; ➤ Bobina de Tesla; ➤ Roteiros de atividades; ➤ Diagrama de conceitos e esquema dos aparatos. ➤ Roteiro experimental.
(A7)	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Apresentação da Lei de Ampère-Maxwell – campo magnético induzido por variação 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Apresentar, através das atividades prático-experimentais com a bobina de Tesla (real), o modo como a corrente de 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Bobina de Tesla; ➤ 1 antena linear; ➤ 1 antena circular; ➤ 1 multímetro;

¹⁷ Disponível em: <https://phet.colorado.edu/sims/faraday/faraday_pt_BR.jnlp>. Acesso em 5 out.2017.

	de fluxo do campo elétrico.		deslocamento, ou seja, a variação do campo elétrico, produz campo magnético induzido (Lei de Ampère-Maxwell).	➤ Diagramas da bobina e das antenas;
	➤ Atividade de detecção do campo eletromagnético através de antenas (atividade de verificação).	➤	➤ Apresentar o campo eletromagnético (campos elétrico e magnético dinâmicos) como a soma total de todos os efeitos conjuntos envolvidos na lei de Faraday e Ampère-Maxwell.	➤ Roteiro experimental.
		➤	➤ Apresentar e explicar o funcionamento da antena linear para detecção de campo elétrico dinâmico.	
		➤	➤ Apresentar e explicar o funcionamento da antena circular para detecção de campo magnético dinâmico.	
(A8)	➤ Revisão dos conceitos envolvidos na sequência e avaliação dos estudantes	➤	➤ Revisar os conceitos vistos em cada etapa.	➤ Questionário.
		➤	➤ Aplicar uma avaliação escrita.	

Fonte: Elaborado pela autora

4.1 Etapa 1- Questionário Inicial

O questionário inicial (Apêndice- Seção A) é composto de 10 questões que buscam verificar os conhecimentos prévios (subsunçores) dos estudantes sobre alguns conceitos do eletromagnetismo fundamentais para o entendimento dos fenômenos de indução eletromagnética e de campo eletromagnético. Esses conceitos são, principalmente, os de carga e corrente elétricas, campo elétrico e magnético estáticos, força eletromotriz direta e corrente alternada. Eles devem servir de ancoragem para os novos conceitos a serem desenvolvidos, ao longo das etapas correspondentes à geração e detecção do campo eletromagnético, com a Bobina de Tesla.

O resultado do levantamento dos subsunçores é, aliás, fundamental para decidir se as etapas dois e três serão ou não necessárias. As etapas dois e três somente devem ser aplicadas se o professor constatar que os estudantes não possuem o conjunto de subsunçores necessários para seguir a sequência didática a partir da etapa 4.

4.2 Etapa 2- Campo Eletrostático: o Gerador de van de Graaff

A segunda etapa consiste em utilizar o Gerador de van de Graaff para realizar atividades experimentais e discutir os conceitos de carga elétrica, campo eletrostático, força elétrica, condutor, isolante, força eletromotriz direta, eletrização, diferença de potencial, corrente elétrica, condutividade e resistência.

Para organizar e integrar de forma preliminar os fenômenos observados no gerador, deve-se utilizar conjuntamente do experimento e do seu diagrama de conceitos, os quais servem como organizadores avançados.

Os estudantes devem realizar as atividades experimentais dirigidos por um roteiro com perguntas (Apêndice – Seção B), para que eles possam discutir e refletir sobre os conceitos envolvidos na atividade prática. As perguntas do roteiro têm um duplo objetivo. Primeiro, ajudar na direção da prática. O segundo objetivo é de fornecer ao professor material para verificar se a atividade foi bem-sucedida.

Para execução dessa etapa, são necessários os seguintes materiais: gerador de van de Graaff; placa de isopor ou outro isolante com cerca de 50 cm²; papel de seda picotado; eletroscópio de folhas ou de pêndulo¹⁸; canudos de plástico; palitos de madeira (para churrasco); isopor para ser picotado; fita crepe; régua plástica e borracha.

Os passos de execução dessa etapa da sequência didática são os que se seguem.

- 1º. Antes de acionar o gerador, explique o seu funcionamento, apontando as partes que o constituem e suas funções concomitantemente e com ajuda do seu diagrama de conceitos.
- 2º. Acione o gerador e ajuste os parâmetros para uma carga eficiente. Ele deve permanecer ligado durante todas as atividades, para que a carga em sua cúpula seja mantida.

¹⁸ O eletroscópio de pêndulo consiste em uma pequena esfera metálica, suspensa por um fio. O eletroscópio de folhas consiste em dois segmentos de folha metálica, conectados a um condutor em formato de esfera. Os eletroscópios neutros podem ser usados para detectar a presença de campo eletrostático, mesmo sem um contato com nenhum objeto carregado, por efeito de indução eletrostática. Nesse caso, o pêndulo é atraído pela fonte do campo e as folhas se separam. Tocar os eletroscópios neutros em materiais carregados tem como efeito uma transferência de cargas para o eletroscópio. Essa eletrização por contato (ou seja, condução) se evidencia pela repulsão entre o pêndulo e a fonte de campo ou pelo afastamento das folhas. Portanto, um eletroscópio é sempre um detector da presença de cargas elétricas.

- 3°. Após carregado, o professor ou o estudante deverão colocar uma das mãos sobre o capacete (cúpula) e, em seguida, com a palma da outra mão, tentar atrair papéis picotados sobre a mesa. Os conceitos a serem abordados aqui devem ser os de carga elétrica, processos de eletrização (atrito, contato e indução eletrostática), força elétrica e campo eletrostático.
- 4°. Repita o terceiro passo, mas, nesse momento, com os pés sobre uma plataforma isolante (pedaço de isopor ou madeira)¹⁹.
- 5°. Solicite aos estudantes que reflitam, discutam e respondam à pergunta: “por que é necessário estar com os pés sobre um isolante para realizar o experimento?”. Os conceitos a serem abordados aqui devem ser os de condutores e isolantes.
- 6°. O professor deverá colocar a mão sobre a cúpula e com a outra mão segurar e tocar diversos materiais (canudinho de plástico, papel, palito para churrasco de madeira, pedaço de isopor, régua plástica e borracha) no eletroscópio de folhas ou de pêndulo. Os conceitos a serem abordados aqui devem ser os de condutores, isolantes, força elétrica, campo elétrico e condutividade. Deve ser explicado que mesmo os materiais considerados isolantes têm algum grau de condutividade e é por isso que os materiais utilizados se eletrizam. Na verdade, são dois os efeitos que podem levar a um acionamento do eletroscópio e eles sempre acontecem juntos. O primeiro é justamente a corrente real. O segundo efeito é o de polarização do material isolante, submetido ao campo eletrostático. Contudo, em nenhum caso os materiais utilizados acionam o eletroscópio se a mão não for colocada sobre a cúpula. Portanto, o efeito mensurável é devido, na sua maior parte, à eletrização por condução.
- 7°. Solicite aos estudantes que reflitam, discutam e respondam às perguntas: “de acordo com os resultados obtidos no experimento, quais são os materiais condutores e quais isolantes?”; “que considerações pode-se fazer acerca do conceito de material isolante?”
- 8°. O professor ou estudante deverão aproximar, sem tocar, o eletroscópio da cúpula do gerador ligado e carregado. Os estudantes devem discutir sobre o fenômeno observado e registrar o resultado de suas análises. Os conceitos a serem

¹⁹ A espessura do material deverá ser considerada.

abordados, aqui, são os de campo e força eletrostática e o de eletrização por indução eletrostática.

- 9°. Desligue o gerador e coloque um cata-vento elétrico na cúpula do aparato. Ligue-o e observe o que ocorre. O cata-vento elétrico deverá começar a rodar. Solicite aos estudantes que tentem explicar o fenômeno observado. Os conceitos a serem abordados aqui são o de eletrização por contato e uma propriedade dos condutores, conhecida popularmente como o “poder das pontas”. Na verdade, a propriedade é a de que a densidade de cargas, em certas regiões de um condutor de formato arbitrário, é sempre maior quanto mais agudas forem as protuberâncias em sua superfície.
- 10°. Segure uma lâmpada fluorescente compacta de tubo de vidro e aproxime-a da cúpula eletrizada. Ela deverá acender. Explique o fenômeno, com base na ideia de ionização do gás no interior da lâmpada, a partir de sua exposição ao campo eletrostático. (O campo elétrico gerado pela esfera carregada decai com a distância. As extremidades da lâmpada ficam sujeitas a uma diferença de potencial, necessária para o seu funcionamento. O gás no interior da lâmpada incandesce.) Os conceitos a serem abordados aqui são o de potencial e diferença de potencial elétrico e de ionização.
- 11°. Fixe, com fita crepe, extremidades de tiras de papel seda, em torno do gerador de Van de Graaff. Ligue-o e discuta, com os estudantes, o fenômeno observado. Os conceitos a serem abordados aqui são o de campo elétrico e linhas de força elétrica.
- 12°. Por fim, deve-se retomar todos os conceitos discutidos no experimento, com o auxílio do diagrama de conceitos e do esquema do Gerador de Van de Graaff, de modo a realizar uma integração de todos eles em torno da ideia do experimento (organizador avançado).

4.3 Etapa 3- Campo Magnetostático: o Eletroímã

A terceira etapa consiste em utilizar o experimento do eletroímã e o simulador disponível no *Phet* Colorado²⁰ (Laboratório de Faraday, fig. 25) para realizar as atividades prático-experimentais e discutir os conceitos de campo magnético e de sua geração por corrente elétrica, bem como de força magnética entre correntes e materiais magnéticos, força magnética entre correntes e a ideia de Ampère de redução de magnetos a correntes microscópicas.

Da mesma forma que no caso do gerador de van de Graaff, o experimento do eletroímã e seu diagrama de conceitos são considerados por nós como organizadores avançados e devem ser utilizados conjuntamente para organizar e integrar de forma preliminar os fenômenos observados.

Os estudantes devem realizar as atividades experimentais dirigidos por um roteiro com perguntas (Apêndice – Seção C) para que eles possam discutir e refletir sobre os conceitos envolvidos na atividade prática. As perguntas do roteiro têm, igualmente, o duplo objetivo de ajudar na direção da prática e fornecer ao professor material para verificar se a atividade foi bem-sucedida.

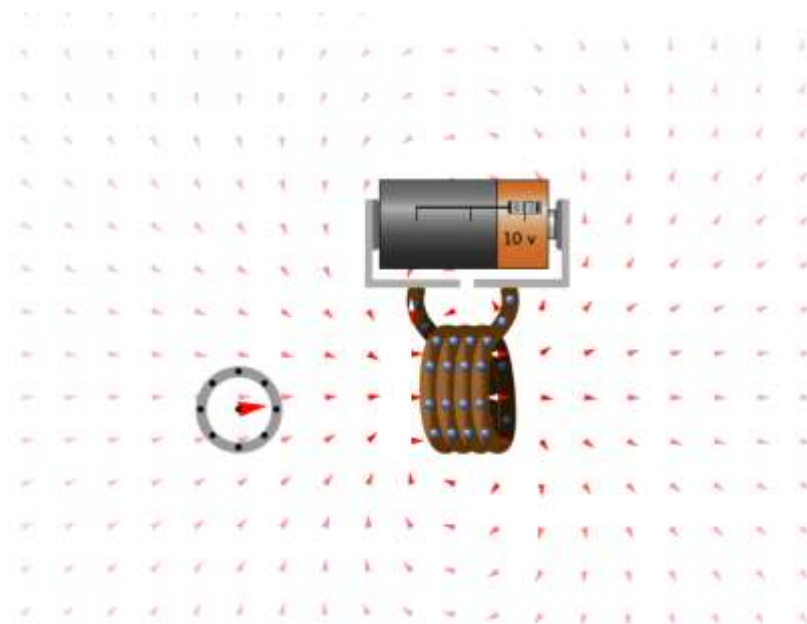


Figura 25– Eletroímã – Laboratório de Eletromagnetismo virtual
Fonte: *Phet* Colorado

²⁰ Disponível em: < https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/legacy/faraday > Acesso em 5 out. 2017.

Para simular esse experimento (figura 25), cada estudante deverá fazer tentativas e avaliar as possibilidades a fim de perceber as grandezas que estão influenciando o funcionamento do eletroímã em dois momentos: ligado à corrente contínua e à corrente alternada.

O primeiro momento da atividade consiste em manusear a bússola ao redor do eletroímã ligado à corrente contínua e, em seguida, manter a bússola em repouso e movimentar o eletroímã e registrar as conclusões feitas após a observação. O segundo momento da atividade consiste em utilizar o eletroímã ligado à corrente alternada e observar o comportamento do campo magnético e da bússola nessa situação.

Dentre o que se espera alcançar com essas atividades, encontram-se duas ideias fundamentais, devidas a Ampère: que o solenoide eletroímã se comporta de forma idêntica a um magneto e que, baseado nessa constatação, pode-se conjecturar que um magneto interage com uma corrente porque ele mesmo é constituído de correntes elétricas (microscópicas). A verdadeira natureza da força magnética é, portanto, a de força entre correntes elétricas.

Para execução dessa etapa, são necessários os seguintes materiais: 2 pilhas, 1 metro de fio de cobre (AVG 24 ou 26), lápis, moedas, cliques, tachinhas, bússola e o aplicativo Phet Colorado - Laboratório de Eletromagnetismo de Faraday.

Os passos de execução dessa etapa da sequência didática são os que se seguem.

- 1º. Para realizar esta atividade, primeiramente, deve-se construir um eletroímã. Enrole 5 voltas do fio de cobre no lápis, deixando 15 cm de comprimento de fio nas extremidades. Raspe as pontas do fio para obter os contatos.
- 2º. Inicie a etapa apresentando o fenômeno de ação mútua entre corrente e magneto, envolvido no experimento de Oersted. Os conceitos a serem abordados devem ser os de corrente elétrica estacionária, campo magnetostático gerado por corrente estacionária e força magnética.
- 3º. Mostre aos estudantes que é possível reproduzir um efeito semelhante, criando um ímã, a partir da corrente elétrica, utilizando o eletroímã.
- 4º. Antes de utilizar o eletroímã, explique o seu funcionamento, apontando as partes que o constituem e suas funções concomitantemente e com ajuda do seu diagrama de conceitos. Nesse momento, deve-se explicar o conteúdo de duas ideias de

- Ampère: que a força magnética é, na verdade, uma força entre correntes e que um magneto pode ser explicado em como um conjunto de correntes microscópicas.
- 5°. Antes de ligar o eletroímã, aproxime a bússola do solenoide na posição perpendicular ao eixo da bobina. Em seguida, ligue as extremidades do solenoide à pilha e observe o movimento da agulha da bússola. Os conceitos a serem abordados devem ser os de corrente elétrica estacionária, campo magnetostático gerado por corrente estacionária e força magnética.
 - 6°. Insira uma barra de ferro (prego, etc.) dentro do solenoide e aproxime a bússola das extremidades do prego. Conecte a pilha e observe o fenômeno. Explique a função da barra de ferro como um reforçador da intensidade do campo magnético, produzido pelo eletroímã, através do efeito de imantação.
 - 7°. Acesse o site do Phet Colorado e instale o aplicativo “Eletromagnetismo de Faraday”, disponível livremente pela Universidade do Colorado. Acesse o experimento virtual “Eletroímã”.
 - 8°. No aplicativo, solicite aos alunos que realizem a atividade com o auxílio do roteiro da atividade, para reflexão, discussão e tomada de conclusões. Os conceitos de campo magnético estático, linhas de campo magnético, correntes elétricas contínua e alternada devem ser abordados.
 - 9°. Por fim, deve-se retomar todos os conceitos discutidos no experimento, com o auxílio das simulações, do diagrama de conceitos e do esquema do eletroímã, de modo a realizar uma integração de todos eles em torno da ideia do experimento (organizador avançado).

4.4 Etapa 4- Indução Eletromagnética: o Experimento de Faraday

A partir da etapa quatro, inclusive, todas as demais etapas da sequência didática são consideradas essenciais. É nessa quarta etapa que o conceito de indução eletromagnética será apresentado pela primeira vez, aos alunos. Ela consiste em utilizar o experimento de Faraday de indução eletromagnética por movimentação relativa e o

simulador disponível no *Phet Colorado*²¹ (Laboratório de Faraday) para descrever duas situações aparentemente distintas: indução eletromagnética por movimentação do magneto (e eletroímã) em relação a um circuito em repouso e indução eletromagnética por movimentação do circuito em relação a um magneto (e eletroímã) em repouso.

O experimento não é desenhado para medir as intensidades das correntes induzidas, mas apenas para indicar sua passagem, ora em um sentido, ora no sentido oposto. A intensidade das correntes induzidas, medidas com um voltímetro, será abordada com o uso da simulação.

A essência dessa etapa consiste em apresentar a Lei de Faraday como uma regra que descreve como ocorre a geração de corrente elétrica num condutor por meio de um recurso diferente daquele que já era conhecido pelos alunos, ou seja, por meio de “baterias”. Os estudantes devem entender que se pode gerar corrente elétrica apenas pela movimentação relativa entre um condutor e um campo magnético (fig. 26).

Da mesma forma que nos casos do gerador de van de Graaff e do eletroímã, o experimento de indução por movimentação relativa e seu diagrama de conceitos são considerados por nós como organizadores avançados e devem ser utilizados conjuntamente para organizar e integrar de forma preliminar os fenômenos observados.

Os estudantes devem realizar as atividades práticas e experimentais dirigidos por um roteiro com perguntas (Apêndice – Seção D) para que eles possam discutir e refletir sobre os conceitos envolvidos na atividade prática. As perguntas do roteiro têm, igualmente, o duplo objetivo de ajudar na direção da prática e fornecer ao professor material para verificar se a atividade foi bem-sucedida.

Para execução dessa etapa, são necessários os seguintes materiais: 1 bobina de aproximadamente 400 espiras, 2 leds de cores diferentes, fios conectores, 1 ímã de neodímio e o aplicativo *Phet Colorado- Laboratório de Eletromagnetismo de Faraday*.

Os passos de execução dessa etapa da sequência didática são os que se seguem.

- 1º. Primeiramente, deve-se construir a bobina e conectá-la a um circuito em que dois leds, de cores diferentes, permitam a passagem da corrente nos dois sentidos da bobina. Explique que a função dos leds é a de permitir a passagem de corrente elétrica apenas em uma direção do circuito, de modo que apenas um dos leds se

²¹ Disponível em: < https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/legacy/faraday > Acesso em 5 out. 2017.

- acenderá: um deles detecta a aproximação e o outro detecta o afastamento entre magneto e bobina.
- 2°. A etapa se inicia com a apresentação do fenômeno de indução eletromagnética. Posicione a bobina e o ímã, ambos em repouso, dentro e fora da bobina. Observe que, enquanto permanecem em repouso relativo, os leds permanecem apagados. Introduza, nesse momento, o conceito de fluxo magnético, observando que as linhas de campo magnético do ímã passam por dentro da bobina e que isso, por si só, não provoca qualquer efeito.
 - 3°. Em seguida, aproxime e afaste o ímã da bobina em repouso. Observe o acendimento de um dos leds. Chame a atenção de que não há qualquer fonte externa para explicar a corrente elétrica gerada pelo movimento do ímã.
 - 4°. Em seguida, chame a atenção de que o fluxo de campo magnético através da bobina muda somente quando o ímã é movido. Por fim, introduza os conceitos de campo elétrico induzido, força eletromotriz e corrente elétrica induzidas pela variação de fluxo de campo magnético, denominando o fenômeno completo de indução eletromagnética.
 - 5°. Execute movimentos do ímã, em sentidos opostos, com a bobina em repouso, observando que o acendimento alternante dos leds de cores diferentes indica a passagem de corrente ora em um sentido, ora no sentido oposto. Nesse momento, deve-se abordar novamente o conceito de corrente elétrica alternada.
 - 6°. Repita todo o procedimento, dessa vez, com o ímã em repouso e a bobina em movimento, para que fique claro que a origem do fenômeno de indução eletromagnética é o movimento relativo.
 - 7°. Explique que as correntes induzidas também produzem campos magnéticos e que sua direção (regra da mão direita) é tal que a reação da bobina é sempre no sentido de manter o fluxo magnético original (lei de Lenz), ou seja, zero.
 - 8°. Acesse o site do Phet Colorado e instale o aplicativo²² “Eletromagnetismo de Faraday”, disponível livremente pela Universidade do Colorado. Acesse o experimento virtual “Solenóide”.

²² Disponível em: < https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/legacy/faraday > Acesso em 5 out. 2017.

- 9°. Com o uso do experimento virtual, será possível, agora, “verificar”, além do sentido, também a intensidade das correntes induzidas por movimentação relativa, pois ao circuito estará conectado um voltímetro.
- 10°. Solicite aos alunos que verifiquem, discutam e reflitam sobre a influência das condições envolvidas, tais como distância, posição, orientação e velocidade relativas, entre ímã e bobina, nos valores observados das correntes induzidas. Solicite também que alterem a área da seção reta do solenoide e verifique o que ocorre. Por fim, solicite que façam a relação entre o número de voltas, a área da bobina e a força eletromotriz induzida.
- 11°. Por fim, deve-se retomar todos os conceitos discutidos no experimento, com o auxílio das simulações, do diagrama de conceitos e do esquema do experimento de Faraday, de modo a realizar uma integração de todos eles em torno da ideia do experimento (organizador avançado).



Figura 26-Uma bobina retangular e cinco ímãs de neodímio
Fonte: Fotografia da autora

4.5 Etapa 5- Indução Eletromagnética: Apresentação dos Efeitos Imediatos do Acoplamento Indutivo na Bobina de Tesla

A etapa cinco consiste em apresentar o experimento e a simulação²³ da bobina de Tesla, de forma demonstrativa, em nível introdutório, levando em conta os aspectos mais gerais do eletromagnetismo com as seguintes perguntas gerais a serem respondidas: “Como é a geração de campos eletromagnéticos na bobina de Tesla? É possível detectá-los?”

O aparato experimento é um instrumento que servirá como exemplo no qual os conceitos a serem ensinados, a saber, indução e campo eletromagnético, serão observados experimentalmente.

Da mesma forma que nos experimentos anteriores, o experimento da bobina de Tesla (fig. 27) e seus diagramas de conceitos e de circuito (fig. 28), acompanhados da simulação (fig. 29), são considerados por nós como organizadores avançados e devem ser utilizados conjuntamente para organizar e integrar de forma preliminar os fenômenos observados.



Figura 27- A bobina de Tesla em funcionamento
Fonte: Fotografia da autora

²³ Disponível em: < <https://www.youtube.com/watch?v=VrUQjQEMho4> > . Acesso em 6 de out. de 2017.

A essência dessa etapa consiste em mostrar que a Lei de Faraday age, no experimento de Tesla, promovendo geração de corrente alternada na bobina secundária, por acoplamento indutivo com a bobina primária.

Os efeitos imediatos produzidos na e pela bobina secundária são os seguintes. Primeiramente, ocorre a produção de um campo magnético variável, dentro e fora da bobina secundária, em virtude da corrente alternada que percorre a bobina primária. Em seguida, em razão da indução eletromagnética, um campo elétrico induzido é gerado, em todo o espaço. Esse efeito é devido somente à bobina primária. Esse campo elétrico induzido gera, na bobina secundária, uma corrente elétrica induzida, cuja direção é dada pela reação à variação de fluxo magnético original. A corrente elétrica induzida na bobina secundária, por sua vez, possui dois efeitos. O primeiro é o de gerar um campo magnético variável que reage e produz o acoplamento com a bobina primária. O segundo efeito é a produção de uma acumulação alternada de cargas na carapaça condutora do topo da bobina secundária e a consequente geração de um campo elétrico oscilante, em torno da carapaça.

A primeira parte dessa etapa é a apresentação demonstrativa do funcionamento do experimento, acompanhado do seu diagrama de conceitos. Uma ideia do tipo de fenômeno que está envolvido no acoplamento indutivo pode ser fornecida pela apresentação do fenômeno análogo de acoplamento entre dois pêndulos.

Na segunda parte, apresenta-se o padrão dinâmico de comportamento dos campos elétrico e magnético, na bobina de Tesla, utilizando o vídeo simulador. Nesse vídeo, é apresentada uma aproximação do comportamento dos campos elétrico e magnético, nas proximidades da bobina secundária.

A simulação mostra, na sua metade esquerda, o modo como o campo elétrico (de fato, a diferença de potencial) oscila em torno da carapaça da bobina secundária. Na sua metade direita, ela mostra o modo como o campo magnético se comporta dinamicamente em virtude da corrente alternada que percorre a bobina secundária.

É importante que se entenda que essa simulação é apenas uma aproximação, construída utilizando uma metodologia de cálculo que monta, passo a passo, no tempo, apenas a configuração estática dos campos elétrico e magnético, a partir das configurações de carga e corrente verificadas na bobina secundária, em sucessivos instantes congelados de tempo (figura 29). Como é apenas uma aproximação, ela só

representa uma parte dos fenômenos envolvidos na bobina, ou seja, apenas mostra os efeitos imediatos, aos que nos referimos acima, envolvidos no acoplamento indutivo. A outra parte dos fenômenos, que não está representada, tem a ver com a geração de campo eletromagnético, por meio da ação conjunta das leis de Faraday e Ampère-Maxwell. Essa parte será tratada nas etapas seis e sete.

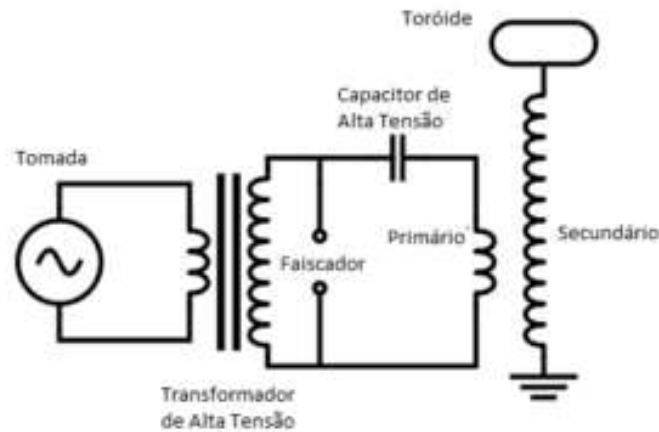


Figura 28- Esquema do circuito elétrico do aparato experimental.
 Fonte: Athos Electronics²⁴

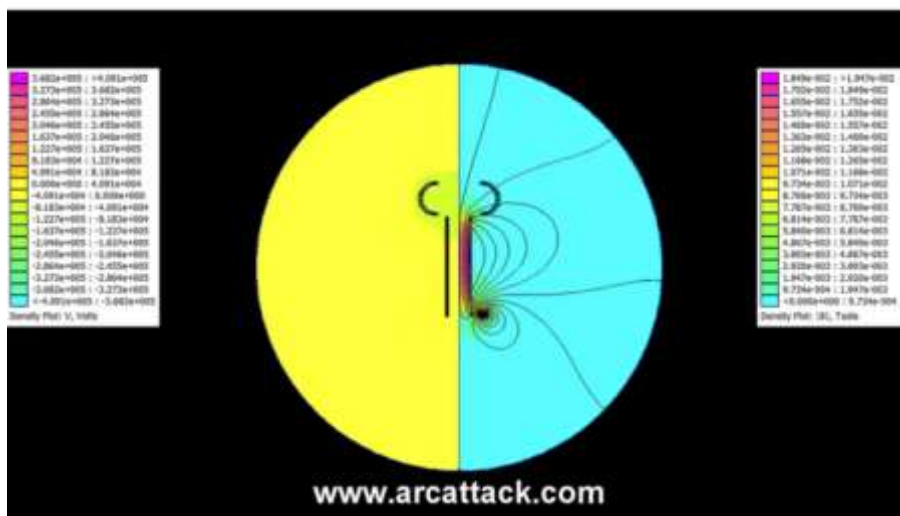


Figura 29 - Simulação do Campo elétrico e magnético na Bobina de Tesla
 Fonte: Vídeo simulador²⁵

²⁴ Disponível em: < <https://athoselectronics.com/como-fazer-uma-bobina-de-tesla/>>. Acesso em 25 jun. 2017.

²⁵ Disponível em:
 <<https://www.youtube.com/watch?v=VrUQjQEMho4&list=TLGGUBVIIwA1kYgxMDA5MjAxOQ&index=10>>. Acesso em 25 jun. 2017.

Para execução dessa etapa, são necessários os seguintes materiais: uma bobina de Tesla, um par de pêndulos físicos acoplados e o vídeo simulador.

Os passos de execução dessa etapa da sequência didática são os que se seguem.

1°. Coloque a bobina de Tesla em funcionamento por algum tempo. Mostre o efeito de produção de raios, a partir de sua calota, e explique que a origem do fenômeno como acumulação de cargas até o rompimento da rigidez dielétrica do ar.

2°. Com a bobina desligada, explique detalhadamente suas partes constituintes usando, para isso, o diagrama de circuitos, com cuidado na identificação de cada um dos símbolos. Enfatize que a bobina secundária não está em contato mecânico com a bobina primária e que sua interação (acoplamento) acontece exclusivamente pelo fenômeno de indução eletromagnética.

3°. Explique o funcionamento da bobina de Tesla como um “transformador ressonante”, com o auxílio dos seus diagramas de conceitos e de circuito. Os conceitos que devem ser abordados são, na sequência, os de corrente elétrica alternada (variável), campo magnético variável gerado por corrente elétrica variável, campo elétrico induzido (variável) por variação de campo magnético, força eletromotriz induzida, corrente elétrica induzida, distribuição de cargas variável, campo elétrico variável gerado por distribuição de cargas variável.

4°. Utilize os pêndulos acoplados para ilustrar, por analogia, o acoplamento indutivo entre as bobinas do experimento de Tesla.

5°. Mostre o vídeo simulador e discuta o comportamento dos campos elétrico e magnético, gerado como efeito exclusivo do acoplamento indutivo, na bobina de Tesla.

6°. Por fim, deve-se retomar todos os conceitos discutidos no experimento, com o auxílio do diagrama de conceitos e do esquema da bobina de Tesla, de modo a realizar uma integração de todos eles em torno da ideia do experimento (organizador avançado).

4.6 Etapa 6- Indução Eletromagnética e Campos Eletromagnéticos: Apresentação Comparativa entre a Bobina de Tesla e o Gerador de van de Graaff

A etapa seis consiste em reapresentar aos estudantes a bobina de Tesla como um modo de gerar campos elétricos e magnéticos que dependem do tempo, devido a duas razões distintas: a indução eletromagnética (Lei de Faraday) e a corrente de deslocamento (Lei de Ampère-Maxwell).

Para tanto, a ideia geral é fazer uma comparação entre os princípios de funcionamento e os efeitos produzidos no gerador de Van de Graaff e na bobina de Tesla.

Deve-se iniciar com a apresentação comparativa entre os respectivos diagramas de conceitos e circuitos, salientando as analogias e as diferenças que existem entre a geração de um campo eletrostático, no gerador de van de Graaff, e a geração de um campo elétrico dinâmico (alternante), por acumulação de cargas na cúpula da bobina de Tesla.

Deve-se salientar que o gerador de van de Graaff é um dispositivo que, ao chegar ao seu estágio final de operação, acumula cargas elétricas estáticas na carapaça condutora do topo do dispositivo, produzindo um campo elétrico cuja forma geométrica é (aproximadamente) polar, mas que permanece constante no tempo. Por isso o campo é eletrostático.

Por sua vez, a bobina se comporta (em parte) como se fosse o gerador de van der Graaff, só que em cada instante isolado de tempo. Contudo, à medida que o tempo passa, a quantidade e, eventualmente, o sinal das cargas presentes na carapaça vão mudando, de modo que o campo elétrico produzido pelas cargas acumuladas, ainda que possua forma geométrica (aproximadamente) polar, já não é mais constante, e passa a ser oscilante, acompanhando a oscilação das cargas, ora apontando em um sentido, ora em sentido oposto, gerando um campo eletrodinâmico.

Deve-se ressaltar, ainda, que as correntes produzidas nos aparelhos são, respectivamente, contínua – no gerador, enquanto carrega – e alternada, na bobina. E que o gerador, enquanto carrega, é mais similar à bobina justamente porque ele também produz um campo elétrico variável no tempo (mas apenas crescente) e, devido ao fato de apresentar uma corrente contínua, também gera um campo magnético, embora este seja (aproximadamente) estacionário.

A segunda parte dessa etapa consiste em salientar ainda mais a diferença entre os dois experimentos, mostrando um fenômeno que o gerador de van der Graaff (carregado) não pode produzir. Nesse ponto, deve-se explicar que a geração de campos elétricos dinâmicos, via acoplamento indutivo, tem como efeito a formação de campos magnéticos dinâmicos induzidos, em todo os pontos do espaço, através da lei de Ampère-Maxwell.

Tais campos magnéticos induzidos não são aqueles produzidos pelas correntes nos circuitos, mas sim aqueles produzidos pela variação, em cada ponto do espaço livre, do campo elétrico gerado pela carapaça da bobina secundária. Deve-se salientar que esse efeito é análogo à indução eletromagnética, de modo que se percebe que campos magnéticos que variam no tempo produzem campos elétricos induzidos e vice-versa.

Esses campos elétricos e magnéticos dinâmicos, mutuamente produzidos, são o que se denomina por campos eletromagnéticos. Por fim, deve-se salientar que esses campos podem, em princípio, ser detectados e que fornecem a base para o entendimento do fenômeno da onda eletromagnética.

Os estudantes devem realizar as atividades práticas e experimentais dirigidos por um roteiro com perguntas (Apêndice – Seção E) para que eles possam discutir e refletir sobre os conceitos envolvidos na atividade prática. As perguntas do roteiro têm, igualmente, o duplo objetivo de ajudar na direção da prática e fornecer ao professor material para verificar se a atividade foi bem-sucedida.

Os passos de execução dessa etapa da sequência didática são os que se seguem.

1°. Apresente os aparatos e os esquemas conceituais do gerador de van der Graaff e da bobina de Tesla, todos em conjunto. Deve-se enfatizar a analogia estrutural entre os dois aparatos, principalmente o fato de que ambos possuem uma calota superior, onde ocorrerá uma acumulação de cargas que é a origem do campo elétrico, em ambos.

2°. Em seguida, aborde a primeira diferença fundamental: o gerador de van der Graaff gera um campo eletrostático e a bobina um campo elétrico oscilante.

3°. Enfatize que a forma geométrica dos campos elétricos produzidos é bastante semelhante, já que ambos têm uma forma aproximadamente polar, centrada nas respectivas calotas.

4°. Aborde a segunda diferença fundamental: no gerador, após carregado, não há correntes, enquanto, na bobina, as correntes existem e são alternantes. Isso implica

que, no gerador, não há campo magnético, enquanto, na bobina, há campo magnético, também oscilante, devido às correntes induzidas alternadas.

5°. Ressalte que, durante o procedimento de carga do gerador, existe, de fato, uma corrente, mas ela é contínua. Isso implica que o campo elétrico do gerador, durante a carga, é um campo também variável, embora não oscilante. Isso implica também que há um campo magnético produzido, durante esse período de carga.

6°. Em seguida, aborde a terceira diferença fundamental. Esse é o momento de apresentar a lei de Ampère-Maxwell. Explique que a geração de campos elétricos dinâmicos, na bobina, tem como efeito a formação de campos magnéticos dinâmicos induzidos, em todos os pontos do espaço. Deve-se enfatizar bastante a diferença entre a origem do campo magnético induzido (corrente de deslocamento) e a origem do campo magnético produzido por correntes reais.

7°. Por fim, deve-se retomar todos os conceitos discutidos na comparação entre os experimentos, com o auxílio dos diagramas de conceitos e dos esquemas, de modo a realizar uma integração de todos eles em torno da ideia do experimento (organizador avançado).

4.7 Etapa 7- Geração e Detecção de Campos Eletromagnéticos

A etapa sete consiste em uma atividade experimental (de verificação) destinada à detecção do campo eletromagnético, através de antenas, produzido pela bobina de Tesla. Os objetivos dessa etapa são abordar novamente os conceitos de corrente de deslocamento e campo magnético induzido por corrente de deslocamento (Lei de Ampère-Maxwell), explicar que os campos eletromagnéticos podem ser observados, por meio de instrumentos, e explicar que tais instrumentos – as antenas – funcionam através das mesmas leis do eletromagnetismo que já foram apresentadas.

Devem ser utilizadas duas antenas. Uma antena deve ser linear, para detecção do campo elétrico dinâmico, e seu princípio de funcionamento é baseado na acumulação de cargas de sinais contrários, conduzidas pelo campo elétricos, em duas extremidades da antena, de modo que se possa medir uma diferença de potencial com um voltímetro. A outra antena deve ser circular, para a detecção do campo magnético dinâmico e seu

princípio de funcionamento é baseado na geração de corrente alternada, pelo campo elétrico induzido que é gerado pela ação da variação local de fluxo magnético. Tal corrente induzida pode ser medida com um amperímetro.

Nesta etapa, deve-se apresentar aos estudantes duas antenas (linear e circular) que serão utilizadas para a atividade prática (fig. 30).

Os alunos podem ser divididos em grupos, para realização da prática experimental verificativa. Cada grupo terá uma trena para medir a distância da bobina à antena e observar o brilho do LED e anotar os valores observados no multímetro. A ideia é que os alunos possam observar que os valores apontados no multímetro possuem, pelo menos, duas características em comum: eles sempre diminuem, à medida que as distâncias da bobina de Tesla aumentam, e eles são aproximadamente invariáveis, se as medidas são realizadas sempre a uma mesma distância, independentemente da direção em que são tomadas. Ou seja, os campos produzidos pela bobina secundária apresentam uma simetria cilíndrica, de rotação, em torno do eixo da bobina secundária.

É importante frisar, nessa etapa, dois pontos. Primeiro, que os campos eletromagnéticos que estão sendo observados são uma mistura de efeitos que dependem das configurações de carga e de corrente, tanto na bobina secundária quanto na primária, e que esses efeitos não podem ser separados, dado o fato de que as medidas são grosseiras e são tomadas muito próximas às bobinas. Portanto, os efeitos cujas origens são apenas a lei de Faraday (indução eletromagnética), que acopla as bobinas, e os efeitos que são produzidos pela lei de Ampère-Maxwell (corrente de deslocamento), devidos apenas à bobina secundária, encontram-se misturados.

Segundo, que o efeito devido à lei de Ampère-Maxwell pode ser visto separadamente, mas para isso deve-se tomar medidas a distâncias muito grandes da bobina, o que é inviável, no contexto da sala de aula. A grandes distâncias, os campos eletromagnéticos passam a comportar-se cada vez mais como aquilo que denominamos uma onda eletromagnética, que poderia, a depender da intensidade da fonte, ser detectada, na faixa de comprimento de onda das ondas de radiofrequência.

Os procedimentos para a realização das atividades foram descritos em um roteiro experimental para realizar a atividade (Apêndice - Seção F). Após as observações realizadas, os alunos devem discutir as questões solicitadas na atividade proposta.

Para a execução dessa etapa, são necessários os seguintes materiais: bobina de Tesla, 1 antena linear, 1 antena circular e 1 multímetro.

Os passos de execução dessa etapa da sequência didática são os que se seguem.

- 1º. A partir do diagrama conceitual da bobina de Tesla, deve-se rerepresentar os efeitos produzidos pela bobina secundária. Primeiramente, os efeitos diretos do acoplamento indutivo.
- 2º. Em seguida, deve-se abordar os efeitos secundários, explicando que o campo elétrico oscilante produz campo magnético induzido, em todo o espaço (Lei de Ampère-Maxwell).
- 3º. Em seguida, deve-se explicar que o campo magnético induzido, por ser variável, também produz campos elétricos induzidos, em todo o espaço (Lei de Faraday). Deve-se explicar que esses efeitos acontecem em cascata, distanciando-se cada vez mais da bobina secundária. A isso se denomina campo eletromagnético.
- 4º. Em seguida, deve-se explicar que, próximo à bobina secundária, os efeitos diretos do acoplamento se misturam com os efeitos secundários. Isso significa que, próximo à bobina (zona de Fresnel), o campo eletromagnético é uma soma de campos elétricos e magnéticos produzidos pelas distribuições de corrente e de carga das bobinas, e dos campos elétrico e magnético induzidos.
- 5º. Por fim, deve-se explicar que os campos induzidos podem ser observados a uma distância muito grande da bobina (Zona de Fraunhofer). Nessa região, é possível detectar o que se denomina onda eletromagnética, que oscila com uma frequência igual à frequência de oscilação da bobina secundária.
- 6º. Passa-se à atividade de detecção dos campos elétricos, próximos à bobina. Para detectar o campo elétrico, utiliza-se uma antena linear.
- 7º. A antena linear deve estar conectada a um voltímetro. Deve-se explicar o princípio de funcionamento da antena linear, baseado em simples separação de cargas de sinais opostos, nas extremidades da antena, pela presença do diodo. Isso gera uma diferença de potencial que, em condições ideais, deve estabilizar-se em um valor máximo, pois a própria acumulação de cargas na antena produz um campo elétrico que equilibra e impede que ação do campo

elétrico oscilante da bobina continue o processo de transferência. Esse valor máximo corresponde, portanto, ao módulo do campo elétrico gerado pela bobina.

- 8°. As medidas do campo elétrico devem ser tomadas em diversas posições e orientações da antena. É necessário demarcar duas ou mais distâncias, cada vez mais afastadas (por exemplo, 0,5 m e 1,0 m de distância da bobina), duas ou mais alturas (por exemplo, 1,0 m e 2,0 m) e, pelo menos, quatro posições, ao redor da bobina, de acordo com as instruções do roteiro de experimento.
- 9°. Em cada uma das distâncias escolhidas, deve-se verificar que as medidas são relativamente compatíveis, em valor, de modo também relativamente independente da altura, da posição ao redor da bobina e da orientação da antena. Deve-se explicar que esse comportamento é esperado, em virtude das intensidades dos campos decrescerem com a distância da fonte.
- 10°. Passa-se à atividade de detecção dos campos magnéticos, próximos à bobina. Para detectar o campo magnético, utiliza-se uma antena circular. A antena circular deve estar conectada a um amperímetro. Deve-se explicar o princípio de funcionamento da antena circular, baseado na indução eletromagnética. A alteração do fluxo do campo magnético, através da antena, gera uma corrente elétrica induzida.
- 11°. Repete-se os procedimentos já efetuados com a antena linear.
- 12°. Por fim, deve-se retomar todos os conceitos discutidos no experimento, com o auxílio do diagrama de conceitos da bobina e dos diagramas das antenas, de modo a realizar uma integração de todos eles em torno da ideia do experimento (organizador avançado).

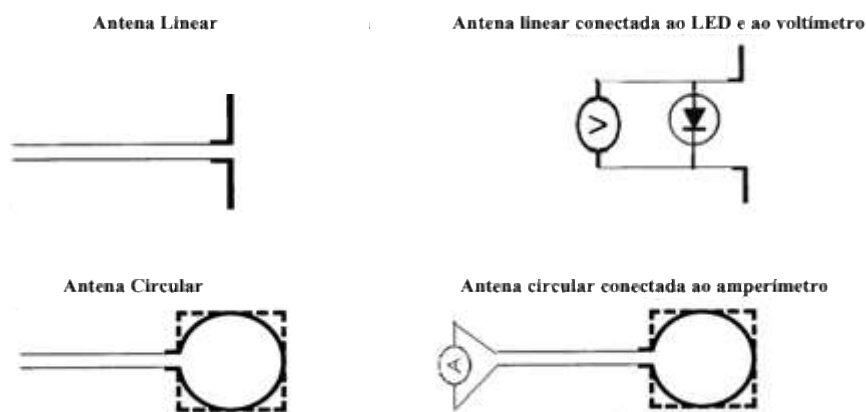


Figura 30- Antenas e formato de conexão ao multímetro
 Fonte: Elaborada pela autora

4.8 Etapa 8-- Revisão e Avaliação

A etapa oito consiste em revisar os conceitos discutidos durante as etapas anteriores e, em seguida, submeter os alunos ao questionário final, correspondente às atividades e conceitos discutidos no decorrer da sequência aplicada (Apêndice - Seção G).

Uma característica importante do questionário de avaliação é que as questões são todas contextualizadas nas atividades prático-experimentais que os estudantes realizaram. Isso cumpre dois objetivos interconectados: o primeiro é o de evitar respostas mecânicas (automáticas) que são tipicamente fornecidas quando as questões são construídas como perguntas teóricas a respeito de definição de conceitos. O segundo é procurar fazer com que os alunos, testados dessa forma contextualizada, deem oportunidade ao avaliador de verificar indícios de aprendizagem significativa.

Capítulo 5

Aplicação do Produto Educacional

Este capítulo refere-se ao relato da aplicação do produto educacional. Nosso principal objetivo é registrar as atividades realizadas, fazendo menção ao comportamento dos estudantes.

5.1 Introdução

O produto educacional foi aplicado em uma instituição de ensino pública, da cidade satélite de Taguatinga -DF, em uma turma de 3^a. série do Ensino Médio, com estudantes na faixa etária de 16 a 17 anos, num total de 8 aulas de 90 minutos. Nesse lugar, pretendeu-se compreender, por meio das atitudes dos estudantes, e de diante do desenvolvimento das atividades propostas, se o produto educacional elaborado foi capaz de alcançar o objetivo de proporcionar aprendizagem significativa, sobre a temática do eletromagnetismo, em especial, os conceitos de indução eletromagnética e de campos eletromagnéticos, através de sua geração e detecção por meio da bobina de Tesla.

A turma foi composta por 33 alunos matriculados, entre eles, um aluno do projeto de inclusão social com necessidades especiais (Transtorno Global do Desenvolvimento-Autismo). Dos trinta e três alunos, participaram somente 25 alunos nas atividades propostas em sala de aula.

A aplicação do produto educacional envolve natureza predominantemente qualitativa, visando à descrições de atitudes, de situações e de acontecimentos. As atividades realizadas na sequência foram devidamente registradas por meio de fotografias, vídeos, anotações realizadas pelos estudantes, desenhos e extratos de vários tipos de documentos, além das observações do professor, no contato direto e prolongado com os alunos, em sala de aula, diante da situação didático-pedagógica. Além disso, enfatiza-se o processo de aquisição do conhecimento e a perspectiva dos participantes (LÜDKE; ANDRÉ, 1986).

5.2 Relato da Aplicação

5.2.1- Etapa 1: Questionário inicial

Nessa aula, propôs-se aos estudantes a resolução de um questionário inicial que tem por objetivo fazer uma avaliação qualitativa dos conhecimentos prévios (subsunçores) dos estudantes sobre alguns conceitos do eletromagnetismo. Esses conceitos devem servir de ancoragem para os novos conceitos a serem desenvolvidos ao longo das etapas seguintes.

O questionário impresso tem um total de 10 questões abertas, para evitar obter respostas automáticas. O tempo disponível para respondê-lo foi de 90 minutos.

Após a aplicação do questionário, iniciou-se um debate sobre cada questão, com as possíveis respostas para as perguntas levantadas no questionário e as dúvidas levantadas pelos os estudantes durante a discussão.

O debate consistia na reapresentação das questões, pelo professor, e, em seguida, alguns alunos se prontificaram para falar para a classe sobre suas respostas. Em seguida, outros alunos disseram que suas respostas eram diferentes e indagaram qual seria a resposta correta para cada questão. Nesse momento, foram feitas correções nos conceitos apresentados pelos alunos.

Diante dessa atividade, pôde-se perceber que os estudantes não apresentavam os conhecimentos prévios que julgamos serem necessários na aprendizagem dos conceitos de indução eletromagnética e de campo eletromagnético, conforme veremos na seção de análise dos resultados. Em virtude disso, optamos por realizar as etapas 2 e 3, conforme relataremos a seguir.

5.5.2- Etapa 2: Campo Eletrostático: o Gerador de van de Graaff

Na segunda etapa, realizaram-se atividades experimentais com auxílio do gerador de van de Graaff e discutiram-se os conceitos de carga elétrica, condutor, isolante, força eletromotriz direta, eletrização, campo eletrostático, diferença de potencial, força elétrica, corrente elétrica, condutividade e resistência.

Iniciou-se a aula com a apresentação do diagrama conceitual do gerador e, concomitantemente, apresentavam-se as partes físicas do gerador, identificando cada uma delas, em especial, os condutores, no mapa de conceitos.

Ao ligar o gerador, os estudantes puderam observar o movimento da correia que tem como objetivo transportar as cargas elétricas para a cúpula do gerador. Foi explicado que, ao chegarem as cargas na cúpula, elas se acumulam somente na superfície externa do capacete.

Após o carregamento do gerador, solicitou-se um voluntário para realizar a experiência de colocar a mão na cúpula e de imediato sugeriram dois alunos e, inclusive, indagaram se havia perigo de tomar choque. Nesse momento, foi esclarecido que o choque elétrico se dá quando se estabelece uma diferença de potencial em um circuito fechado, como, por exemplo, se eles tocassem o solo de forma desprotegida. Nesse caso, a corrente poderia percorrer seu organismo, causando diversos danos, e até mesmo ser fatal. Foi informado que não havia risco ao tocar no gerador, mesmo desprotegido, pois a corrente que ele é capaz de produzir no corpo humano é baixa.

O voluntário colocou uma das mãos sobre a cúpula e a outra mão aproximou-a dos papéis picotados sobre a mesa, os quais não foram atraídos. Repetiu-se o procedimento, mas, nesse momento, uma terceira voluntária, com os pés sobre uma plataforma de madeira, aproximou sua mão dos papéis picotados sobre a mesa e eles foram atraídos (fig. 31).

Em seguida, os alunos refletiram e discutiram porque era necessário estar com os pés sobre um isolante para que os papéis fossem atraídos. Os alunos responderam à pergunta dizendo que as cargas não eram conduzidas para o chão.

A explicação dada foi que a plataforma de madeira é um isolante, isto é, ela dificulta o movimento ordenado de cargas elétricas (corrente elétrica) e, portanto, o aluno fica carregado por mais tempo e pode atrair os papéis, por indução eletrostática.



Figura 31- Os papéis picotados sendo atraídos pela aluna
Fonte: arquivo pessoal

Ao mesmo tempo, quando a terceira voluntária entrou em contato físico com o gerador, os seus cabelos se levantaram. Diante do fenômeno ocorrido, os alunos ficaram surpresos e indagaram sobre o motivo do fenômeno. Foi explicado a eles que a colega, em contato com o gerador, sobre a plataforma de madeira, ficava com uma carga de sinal igual ao do capacete do gerador. Como as cargas de mesmo sinal se repelem, os cabelos se repelem mutuamente ao tocar no equipamento.

Dando continuidade, aproximou-se alguns materiais isolantes, tais como: borracha, canudinho de plástico, palito para churrasco de madeira, papel, pedaço de isopor e régua plástica, do eletroscópio de folhas e os alunos puderam observar que as lâminas de alumínio do eletroscópio se abriam. A explicação para este fenômeno é a mesma do fenômeno dos cabelos. Na verdade, são duas as possíveis causas que podem levar ao movimento das lâminas do eletroscópio.

A primeira causa é justamente a corrente que percorre o corpo, até o eletroscópio. Ou seja, as cargas fluem do gerador até as pontas dos dedos, eletrizando o eletroscópio por indução eletrostática. Assim, foi explicado que os materiais isolantes também possuem uma condutividade, apesar de ela ser muito baixa, quando comparada com a condutividade dos metais.

Foi explicado também que um isolante pode se tornar, subitamente, um condutor, se o campo elétrico for intenso o suficiente para romper a rigidez dielétrica do material, ou seja, a partir de uma certa intensidade de campo elétrico, ele será capaz de arrancar

elétrons das ligações covalentes, ionizando o material e permitindo a condução através dele. Evidentemente, não é isso que acontece, nesse caso, mas é o que acontece no caso da formação de raios atmosféricos.

A outra causa possível é a polarização do material isolante, quando submetido ao campo eletrostático. Porém, o eletroscópio não detectou nenhuma eletrização, por indução, quando os materiais foram aproximados dele sem que os alunos tivessem posto a mão no gerador. Portanto, a polarização foi descartada como uma causa relevante, para o acionamento do eletroscópio.

Após estas ponderações, os estudantes discutiram, sobre os materiais utilizados, a respeito de quais eram condutores e quais eram isolantes. Foi explicado que para ser isolante depende da intensidade do campo elétrico ao qual o material está submetido. Os alunos chegaram à conclusão que, na situação específica, os materiais que se comportaram como isolantes, ou seja, que não permitiram a eletrização do eletroscópio, foram o palito para churrasco e o pedaço de isopor.

Outras verificações da ação da força elétrica produzida pelo campo eletrostático foram realizadas: ao se aproximar, sem tocar, um eletroscópio de folhas do capacete do gerador, observou-se o movimento das folhas de alumínio se abrirem (figura 32 e 33). Os estudantes expressam com palavras de tipo: “*Que massa!*”, “*Da hora, professora!*”, “*Ué, véi, por que isso acontece?*”

E, logo em seguida, aproximou-se um eletroscópio de pêndulo do capacete para que os alunos observassem não apenas a ação da eletrização por indução eletrostática, como também a ação da força elétrica produzida pelo campo eletrostático, como indicado no diagrama de conceitos.



Figura 33- Cata-vento elétrico
Fonte: arquivo pessoal



Figura 32- Cata-vento elétrico
em movimento no Gerador
Fonte: arquivo pessoal

Ainda nessa aula, aproximou-se uma das extremidades de uma lâmpada fluorescente de tubo de vidro da cúpula do gerador e ela acendeu. Os estudantes ficaram surpresos com o fenômeno. E a explicação para tal efeito foi que o campo elétrico gerado pelo capacete decai com a distância e as extremidades da lâmpada ficam sujeitas a uma diferença de potencial, necessária para produzir o efeito final de ionização do gás no interior da lâmpada, o que permite a luminosidade.

E, por fim, colocou-se tiras de papel de seda em torno do capacete do gerador e os alunos observaram que as tiras se direcionaram de forma radial. O motivo, explicado para eles, ainda é o mesmo do fenômeno de afastamento dos cabelos. No caso das tiras de papel, é possível observar a orientação do campo elétrico ao redor da cúpula e introduzir o conceito de linhas de força elétrica.

Durante todas as atividades práticas, os estudantes acompanharam os experimentos com um roteiro e responderam as questões no momento da experimentação.

Além disso, foram realizadas outras atividades complementares. Colocou-se um rádio ligado dentro de uma gaiola e observou-se a que ele sofria uma alteração na faixa transmitida, ou seja, um ruído ao colocar a gaiola. Ao abrir a tampa da gaiola, ele voltava a funcionar. A reação dos alunos foi de espanto: “*Como assim, professora!*”, “*Oxi!*”. A explicação da interferência do rádio foi devido a blindagem eletrostática, ou seja, no interior de um condutor oco, em equilíbrio eletrostático, o campo elétrico é nulo. Foi testado o mesmo procedimento com o celular funcionando, isto é, ligou-se para o número do celular dentro da gaiola e o mesmo tocou. Foi explicado que a eficiência da blindagem depende da malha da gaiola e do comprimento de onda.

Uma outra atividade, similar à pergunta do questionário, foi a de atritar o canudo de plástico com algodão e depois aproximá-lo dos pedaços de papéis. E, novamente, retomou-se a explicação do conceito de campo elétrico.

Os estudantes retomaram aos conceitos discutidos no experimento, com o auxílio do diagrama de conceitos e do esquema do gerador de van der Graaff, registrando suas observações e reflexões no roteiro de atividades realizadas ao longo da experimentação.

5.2.3- Etapa 3: Campo Magnetostático: o Eletroímã

Na terceira etapa, realizaram-se atividades prático-experimentais com auxílio do eletroímã e do simulador Phet Colorado e discutiram-se os conceitos de corrente elétrica estacionária e alternada e de campo magnético estático e variável.

Nesta etapa, apresentou-se, à título de revisão, o fenômeno da ação mútua entre corrente elétrica e o ímã envolvido no experimento de Oersted: quando uma corrente passa por um fio condutor, ocorre uma deflexão na bússola, ou seja, a corrente elétrica estacionária gera um campo magnético estático.

Explicou-se o funcionamento do eletroímã ligado a uma fonte contínua, apontando as partes que o constituem, concomitantemente, com o diagrama de conceitos. Os estudantes ficaram atentos às explicações.

Antes de ligar o eletroímã, aproximou-se a bússola, na posição perpendicular ao eixo da bobina e não houve qualquer movimento da agulha magnética da bússola. Ao serem perguntados sobre a movimentação da agulha quando ligado o eletroímã, os alunos disseram que a agulha magnética da bússola não teria qualquer movimento. Em seguida, ligou-se o solenoide na fonte de corrente contínua e aproximou-se, novamente, a bússola e a agulha magnética da bússola se defletiram. A explicação para esse fenômeno foi que a passagem de corrente em um condutor cria ao seu redor um campo magnético. Nesse caso, um campo magnético estático.

Uma atividade complementar foi realizada inserindo o prego na bobina para observar a atração dos materiais, tais como, cliques, tachinhas e moedas. Explicou-se que a função do prego era, somente, para intensificar o campo magnético gerado através de sua imantação (fig. 34 e 35).



Figura 34- Experimento do Eletroímã
Fonte: Arquivo pessoal



Figura 35- Materiais usados para o experimento do eletroímã
Fonte: Arquivo pessoal

Após essa demonstração, os alunos realizaram a atividade virtual, com o auxílio de um roteiro com perguntas (Apêndice- Seção C) sobre os conceitos envolvidos na atividade prática. O objetivo foi o de perceberem as grandezas que estão influenciando o funcionamento do eletroímã, ligado à corrente contínua. Ainda nessa aula, introduziu-se, com o auxílio do simulador do eletroímã, ligado à corrente alternada, o conceito de campo magnético oscilante pela passagem da corrente alternada no eletroímã.

5.2.4- Etapa 4: Indução Eletromagnética: os Experimentos de Faraday

Na quarta etapa, realizaram-se atividades prático-experimentais com auxílio do experimento de Faraday e do simulador Phet Colorado e discutiram-se os conceitos de corrente elétrica, campo magnético, fluxo magnético, variação do fluxo magnético e indução eletromagnética.

Nesta etapa, os estudantes foram conduzidos ao laboratório de física para realizarem atividades com o experimento demonstrativo de Faraday. Primeiramente, foi apresentado a eles o conceito de fluxo magnético e a interpretação gráfica do conceito de fluxo. Os alunos apresentaram dificuldades na compreensão geométrica/espacial das linhas de campo magnético.

Após essa explicação, utilizou-se de uma bobina retangular ligada a dois leds (vermelho e branco) e um ímã de neodímio para demonstrar o experimento de Faraday (ver figura 38). Aproximou-se e afastou-se o ímã da bobina em repouso e observou-se que os leds acenderam, um de cada vez, quando o ímã fazia o movimento de vai-e-vem. Os estudantes ficaram surpresos com o acendimento dos leds. Quando perguntados sobre o que os fazia acender, um aluno respondeu que era o “movimento dos ímãs” e outro respondeu que “o movimento do ímã gera energia.”



Figura 36 - Uma bobina retangular e cinco ímãs de neodímio

Fonte: Arquivo pessoal

Explicou-se que o experimento realizado era similar ao que Michael Faraday havia realizado, quando descobriu o fenômeno de indução eletromagnética. Foi explicado que, quando o ímã é aproximado ou afastado da bobina, ocorre uma variação do fluxo de campo magnético. Essa explicação foi feita em conjunto com o diagrama de conceitos do experimento de Faraday.

Explicou-se que a indução eletromagnética é o fenômeno de geração de um campo elétrico induzido que produz uma corrente elétrica induzida e por isso os leds acendem. Repetiu-se todo experimento, dessa vez, com o ímã em repouso e a bobina em movimento, para que os estudantes pudessem observar com clareza que a origem do fenômeno de indução eletromagnética é o movimento relativo.

A professora fez os estudantes notarem que sempre um dos leds acendia durante a aproximação relativa, enquanto o outro sempre acendia durante o afastamento relativo. Foi explicado aos estudantes a função do leds é a de permitir a passagem de corrente elétrica apenas em uma direção do circuito, de modo que apenas um dos leds pode acender: um deles detecta a passagem de corrente em uma direção, na aproximação, e outro detecta a passagem de corrente na direção oposta, no afastamento.

Em seguida, explicou-se que as correntes induzidas também produzem campos magnéticos e que sua direção é dada pela regra da mão direita, no sentido de manter o fluxo magnético constante.

Após essa explanação, retomou-se o experimento de indução (magneto + espira), com o diagrama da lei de Faraday para revisar os conceitos apresentados e esclarecer

dúvidas que ficaram sobre o fenômeno de variação do fluxo no tempo, gerando força eletromotriz induzida (figura 37).

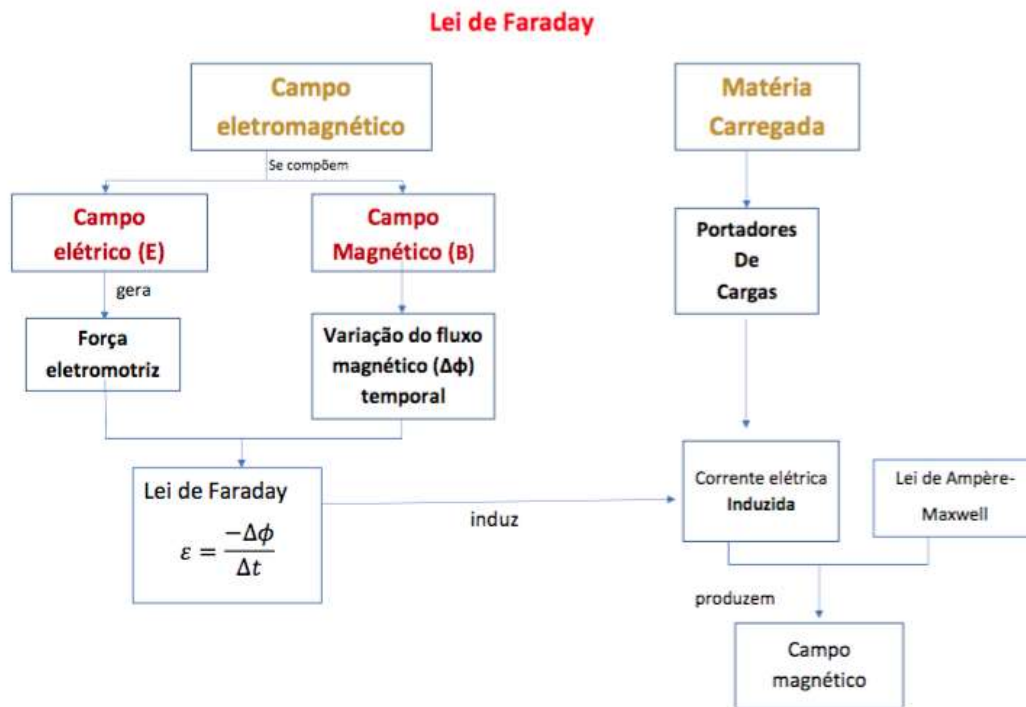


Figura 37- Diagrama de conceitos de Lei de Faraday

Fonte: Elaborado conjuntamente pela autora e orientador

Os estudantes acessaram o aplicativo Phet Colorado (Laboratório de Faraday) para desenvolver as atividades virtuais a fim de “verificar”, além do sentido, a intensidade das correntes induzida por movimentação relativa, pois o circuito está conectado a um voltímetro virtual. Em seguida, foi solicitado aos estudantes que fizessem a relação entre o número de voltas da bobina, sua área e a intensidade da corrente gerada.

As atividades virtuais foram realizadas pelos estudantes, em dupla, a fim de verificarem, discutirem e refletirem sobre a influência das condições, tais como a distância, a posição, a orientação e a velocidade relativa entre o ímã e a bobina, nos valores observados das correntes induzidas (fig. 38).

Os estudantes registraram as suas observações no roteiro de atividades.



Figura 38 - Alunos realizando atividades virtuais no lab. Informática
Fonte: Arquivo pessoal

5.2.5- Etapa 5- Indução Eletromagnética: Apresentação dos Efeitos Imediatos do Acoplamento Indutivo na Bobina de Tesla

Na quinta etapa, realizaram-se atividades prático-experimentais com auxílio do experimento e a simulação da bobina de Tesla, de forma demonstrativa, em nível introdutório, levando em conta os aspectos mais gerais do eletromagnetismo com as seguintes perguntas a serem respondidas: “Como é a geração de campos eletromagnéticos na bobina de Tesla? É possível detectá-los?”

Da mesma forma que nos experimentos das etapas anteriores, o experimento da bobina de Tesla e seus diagramas de conceitos e de circuitos, acompanhados da simulação, serviram, para nós, como organizadores avançados.

Os alunos foram conduzidos para o laboratório de física para observar a bobina de Tesla em funcionamento e para que se pudesse identificar as partes do aparato experimental e suas respectivas funções. As atividades prático-experimentais se iniciaram com o acionamento da bobina de Tesla, por alguns minutos. Alguns estudantes se assustaram, outros ficaram deslumbrados com os raios produzidos, mas, com medo, se afastaram um pouco. (fig. 39).



Figura 39- A bobina de Tesla em funcionamento
Fonte: arquivo pessoal

Explicou-se que o efeito de produção de raios, a partir da calota da bobina de Tesla, tem origem na quebra da rigidez dielétrica do ar e que o princípio é o mesmo dos raios atmosféricos. Foi enfatizado que o fenômeno de produção de raios é provocado pela acumulação de cargas na calota.

Com a bobina e os seus diagramas de circuitos e de conceitos apresentados conjuntamente, iniciou-se a explicação detalhada de seu funcionamento. A pergunta então era: “como as cargas se acumulam na calota da bobina secundária?”

Foi explicado que todo o processo se inicia com uma corrente alternada que percorre a bobina primária. Foi enfatizado que o circuito secundário não tem contato mecânico com a bobina primária e, mesmo assim, é percorrida por uma corrente, também alternada. Em seguida, lembrou-se que o mesmo fenômeno já havia sido observado no experimento de Faraday, da etapa anterior e, como isso, explicou-se que a interação entre os circuitos acontece exclusivamente pelo fenômeno de indução eletromagnética.

Em seguida, explicou-se que a bobina de Tesla foi criada por Tesla como um transformador para gerar altíssimas tensões (fig. 39), ou seja, para produzir campos elétricos muito fortes. Seu grande objetivo – nunca alcançado – era o de fornecer energia elétrica sem a necessidade de cabos.

Para tornar bem vívido o comportamento dos campos elétricos e magnéticos gerados pelas cargas e correntes, na bobina de Tesla, utilizou-se o vídeo simulador²⁶ (fig.41). Explicou-se que o vídeo mostra o modo como a carga elétrica oscila, na cúpula

²⁶ Disponível em: < <https://www.youtube.com/watch?v=VrUQjQEMho4>>. Acesso em: 6 de out. de 2017.

da bobina secundária, e que isso gera um campo elétrico também oscilante. Em seguida, explicou-se que o campo magnético também oscila, em virtude da corrente alternada que percorre o circuito secundário.

Após a discussão, foi solicitado aos estudantes registrarem suas observações e discussões no roteiro de atividades.

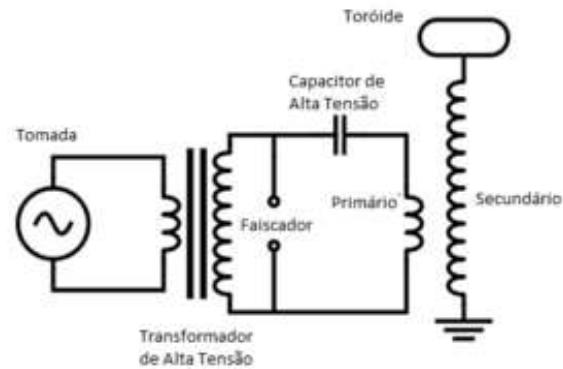


Figura 40- Esquema do circuito elétrico do aparato experimental.
Fonte: Athos Electronics²⁷

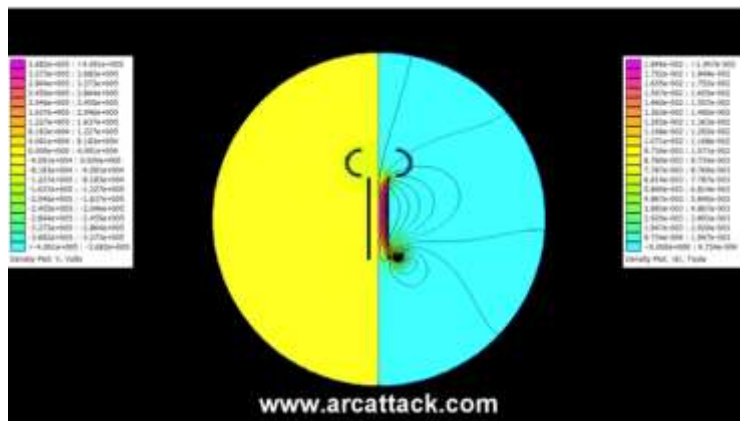


Figura 41- Simulação do Campo elétrico e magnético na Bobina de Tesla
Fonte: Vídeo simulador²⁸

²⁷ Disponível em: <<https://athoselectronics.com/como-fazer-uma-bobina-de-tesla/>>. Acesso em 25 jun. 2017

²⁸ Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=VrUQjQEMho4&list=TLGGUBVIIwA1kYgxMDA5MjAxOQ&index=10>>. Acesso em 25 jun. 2017.

5.2.6- Etapa 6- Indução Eletromagnética e Campos Eletromagnéticos: apresentação comparativa entre a bobina de Tesla e o Gerador de van de Graaff

Na sexta etapa, reapresentou-se aos estudantes a bobina de Tesla como um modo de gerar campos elétrico e magnético variantes no tempo e fez-se a comparação entre os princípios de funcionamento e os efeitos produzidos no gerador de van de Graaff e na bobina.

Após ter desligado a bobina, foi solicitado que os estudantes se aproximassem e observassem o circuito e fizessem comparações com o gerador de van de Graaff.

Para ilustrar o que feito no laboratório, segue-se uma transcrição do trecho da aula.

Professora:

“Quais as diferenças entre o Gerador de van de Graaff e a Bobina de Tesla?”

Aluna:

“Não existe contato entre as bobinas para gerar a energia”.

Aluno:

“A corrente no gerador é corrente contínua”.

Professora:

E em relação ao campo, quais as diferenças?

Aluno:

“No gerador, o campo é elétrico e na bobina eu não sei”.

Foi apresentado aos estudantes a diferenças entre o Gerador de van de Graaff e a Bobina de Tesla (quadro 4).

Quadro 4-Comparações entre o gerador de van de Graaff e a bobina de Tesla

Gerador de van de Graaff	Bobina de Tesla
Campo elétrico é estático produzido por um dispositivo de contato mecânico.	O campo elétrico é oscilante produzido sem nenhum contato mecânico (fenômeno de indução).
Acumulam cargas estáticas na cúpula.	Acumulam cargas alternadas na carapaça, ora de sinal positivo, ora de sinal negativo.
Possui um campo eletrostático.	Possui um campo eletrodinâmico.
A forma geométrica do campo elétrico é aproximadamente polar, mas que permanece constante.	A forma geométrica do campo elétrico na carapaça é aproximadamente polar, mas não é constante.
Enquanto carrega o gerador, a corrente elétrica é contínua.	A corrente produzida no condutor da bobina é alternada.
Após o carregamento, não há correntes. Não há campo magnético.	Produz campo magnético alternado.
	Bobina secundária Geração do campo eletromagnético em todo os pontos do espaço (Lei de Ampère-Maxwell). Campos magnéticos induzidos são produzidos pela variação, em cada ponto do espaço, do campo elétrico gerado pela cúpula da bobina secundária e vice-versa.

Fonte: Elaborada pela autora

Os alunos registraram as diferenças e as semelhanças entre a bobina e o gerador no roteiro de atividades. Solicitou-se aos estudantes que observassem o diagrama de conceitos da bobina de Tesla (figura 42) para o entendimento da Lei de Ampère-Maxwell.

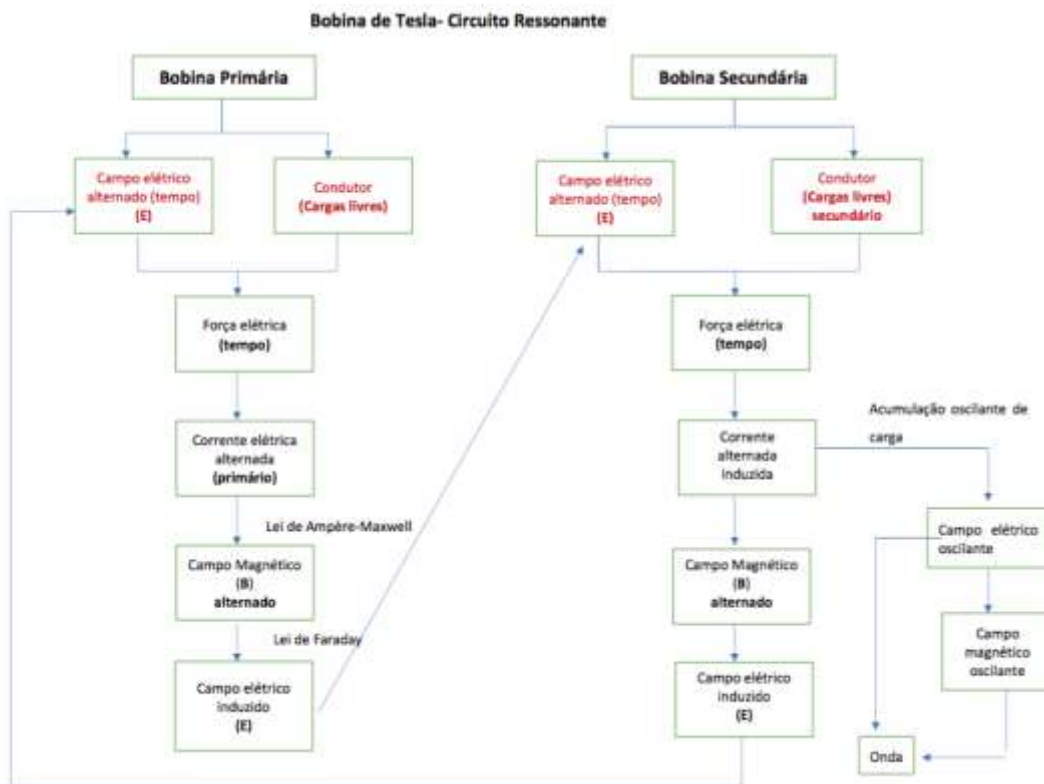


Figura 42- Diagrama de conceitos da Bobina de Tesla
Fonte: Elaborada pela autora conjuntamente com o orientador

A explicação da Lei de Ampère-Maxwell foi a de que um campo elétrico variável produz numa região do espaço um campo magnético induzido, assim como, pela lei de Faraday, um campo magnético variável produz um campo elétrico induzido. As correntes elétricas ou variação temporal do campo elétrico produzem campo magnético circulante. Dessa maneira, a variação periódica do campo elétrico e do campo magnético, que se produzem sucessivamente, em todo o espaço, é denominada de campo eletromagnético.

Após a explicação, os estudantes responderam as questões do roteiro, voltadas aos fenômenos elétricos e magnéticos da bobina, bem como também para o seu funcionamento e as funções dos elementos estruturais. Além disso, comparam-se os elementos físicos e o funcionamento do gerador de van de Graaff e da bobina de Tesla, e registrando-se as semelhanças e as diferenças entre eles.

5.2.7- Etapa 7- Geração e Detecção de Campos Eletromagnéticos

Na sétima etapa, realizaram-se as atividades experimentais de verificação destinada à detecção do campo eletromagnético produzido pela bobina de Tesla, através de antenas.

Nesta etapa, primeiramente, rerepresentou-se a bobina de Tesla com ênfase nos efeitos diretos do acoplamento indutivo produzidos pela bobina secundária, a partir do diagrama de conceitos.

Em seguida, explicou novamente que, de acordo com a Lei de Ampère-Maxwell, os campos magnéticos induzidos não eram gerados pelas correntes nos circuitos, mas pela variação, em cada ponto do espaço, do campo elétrico gerado pela cúpula da bobina. Salientou-se que os campos eletromagnéticos observados nas proximidades da bobina são uma mistura de efeitos que dependem das configurações de carga e de corrente, tanto na bobina secundária quanto na primária, e também dos campos magnéticos e elétricos induzidos, seja pela lei de Faraday, seja pela lei de Ampère-Maxwell. Esses efeitos produzidos não podem ser separados, dado o fato que as medidas próximas a bobina são grosseiras. Alguns alunos ficaram atentos às explicações sem questionamentos. Outros apresentaram dificuldades em compreender o conceito de corrente de deslocamento e, novamente, explicou-se o fenômeno.

Foi explicado, ainda, que o efeito produzido pela oscilação dos campos elétricos e magnéticos comporta-se, à grandes distâncias, como o que denominamos de ondas eletromagnéticas. E que este fenômeno poderia também ser de difícil detecção, pelo fato de depender da intensidade da fonte. De qualquer forma, com uma fonte suficientemente forte, a faixa de comprimento de onda esperada, dada a frequência de oscilação da bobina secundária, seria na faixa de radiofrequência.

Explicou-se o funcionamento da antena linear para detecção de campo elétrico e da antena circular para a detecção de campo magnético, produzido pela bobina de Tesla, nas suas proximidades (fig. 45).

A antena linear estava conectada ao voltímetro. O campo elétrico oscilante produzido pela bobina de Tesla aciona os elétrons nas hastes condutoras da antena, de modo que eles serão movidos pela força elétrica de um lado para outro (movimento de vai-e-vem). Mas as hastes estão separadas por um led, que permite que os elétrons de um lado da haste passem para o outro lado, mas impede que os elétrons retornem. Dessa maneira, uma extremidade da haste da antena ficará com excesso de cargas positivas e a outra com excesso de cargas negativas (como um capacitor). Essa separação das cargas produz uma diferença de potencial que pode ser medido usando o voltímetro.

A antena circular é, simplesmente, um circuito condutor fechado. O campo magnético variável produzido pela bobina produz uma oscilação do fluxo magnético através do circuito fechado. Pela lei de indução de Faraday, isso produzirá uma força eletromotriz induzida (fem), também variável, nesse circuito. E essa fem induzida oscilante aciona os elétrons presentes na antena, de modo que eles serão movidos pela força elétrica induzida de um lado para outro, produzindo, uma corrente alternada. Essa corrente alternada pode ser medida usando um amperímetro. Foi informado aos estudantes que se colocou um led no circuito só para indicar a passagem de corrente alternada ao acender.

Em seguida, nessa aula, dividiu-se a turma em grupos para realizar a atividade experimental. Aproximou-se as antenas da bobina e observou-se o brilho do LED na antena e os valores mostrados no multímetro (figuras 43 e 44). Várias medidas foram realizadas, com o objetivo de mostrar que as medidas tomadas a uma mesma distância e a uma mesma altura eram aproximadamente compatíveis, ao redor da bobina, e que todas as leituras decaíam com o distanciamento da antena.



Figura 43- Detecção do campo elétrico através da antena linear
Fonte: Arquivo pessoal



Figura 44- Antena linear próxima a bobina
Fonte: Arquivo pessoal



Figura 45- Antena circular próxima a bobina
Fonte: Arquivo pessoal

Após a experimentação, retomaram-se os conceitos discutidos na comparação entre os experimentos, com o auxílio do diagrama de conceitos. Os alunos participaram ativamente nessa realização da atividade experimental.

5.2.8- Etapa 8- Revisão e Avaliação

Na oitava etapa, realizou-se a revisão dos conceitos abordados durante as etapas anteriores, submetendo-se os alunos a um questionário final, por escrito, individualmente e sem consulta.

A avaliação constava de questões contextualizadas abertas cujo objetivo é tentar verificar se houve aprendizagem significativa. As questões referem-se diretamente às atividades prático-experimentais que os estudantes realizaram. Para evitar as respostas mecânicas, as questões foram elaboradas para que os estudantes pudessem escrever seus argumentos sobre os conceitos estudados.

Esta avaliação foi aplicada para os 26 alunos que compareceram à maior parte das atividades. A grande maioria apresentou dificuldades para responder as questões abertas e indagaram o motivo pelo qual as questões não eram fechadas. Da mesma forma, alguns alunos tiveram dificuldades com os diagramas de conceitos.

Capítulo 6

Discussão dos Resultados

Neste capítulo, descrevem-se os resultados que surgiram ao longo das atividades desenvolvidas na sequência didática. São mostradas as análises dos questionários, com as respostas dos alunos referentes ao questionário inicial, levantadas para identificar os potenciais subsunçores, as respostas ao questionário final, levantadas para verificar indícios de aprendizagem significativa, com as atividades experimentais e os demais registros que ocorreram durante a aplicação. Para que se compreenda melhor o que foi realizado, dividiu-se em três subseções.

A primeira subseção apresenta a análise do questionário inicial, a segunda refere-se às atividades prático-experimentais e a terceira, ao questionário final. Em decorrência do grande volume de informações, foram analisadas apenas algumas respostas dos estudantes. Escolhemos algumas perguntas por considerarmos mais representativas do comportamento geral observado.

6.1 Análise do Questionário Inicial

O questionário inicial (Apêndice- Seção A) contém 10 questões e foi utilizado como o primeiro instrumento de coleta de dados, com o objetivo de levantar os conhecimentos prévios dos estudantes sobre os conceitos do eletromagnetismo que deveriam servir de ancoragem para os novos conceitos a serem desenvolvidos, ao longo da sequência didática.

A primeira questão (figuras 46 e 47) teve como objetivo reconhecer o conceito de campo elétrico e de força elétrica e a distinção entre eles. Constatamos que, dentre os 26 estudantes, apenas dois responderam aproximadamente dentro do que foi esperado. À título de exemplo, escolhemos as duas respostas abaixo, dos alunos A1 e A6, sobre a noção de campo elétrico e força elétrica. Os outros alunos não chegaram a abordar mais do que apenas o processo de eletrização em suas respostas e não mostraram possuir

qualquer noção sobre campo elétrico. Entre os 26 alunos, somente um deixou a questão em branco.



Figura 46- Resposta da questão- aluno A1

Fonte: Dados da autora

A transcrição da escrita do aluno A1 (figura 46):

Na seguinte ilustração ocorre a ação do campo elétrico que ordena o movimento dos corpos leves do papel, algodão e canudo, assim ocorrendo a interação do papel com o canudo, que resulta da força elétrica, ou seja, o canudo eletrizado pelo atrito do algodão (Aluno A1, 2018).

O aluno A1 apresentou uma resposta confusa, mas com um mínimo de fundamentação. Depreende-se que ele tem certa noção do papel do campo como gerador da força elétrica.

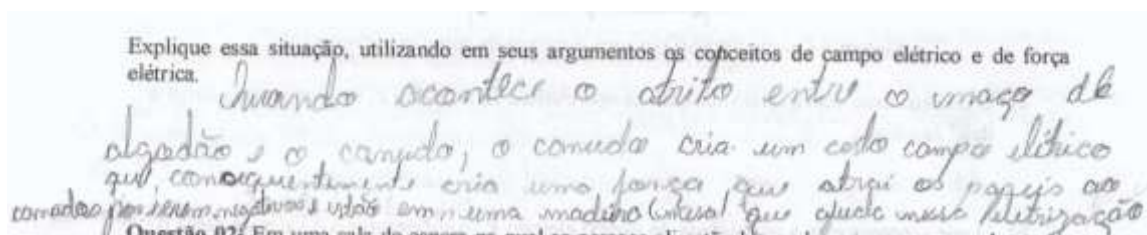


Figura 47- Resposta da questão 01- aluno A6

Fonte: Dados da autora

A transcrição da resposta do aluno A6 (figura 47):

Quando acontece o atrito entre o maço de algodão e o canudo, o canudo cria um certo campo elétrico que consequentemente cria uma força que atrai os papéis ao canudo por serem negativos e estão em uma madeira (mesa) que ajuda nessa eletrização (Aluno A2, 2018).

De mesma forma do A1, o aluno A6 comete uma pequena confusão conceitual, mas mesmo assim tem uma fundamentação mínima.

A análise das respostas dos demais alunos não apresentou os conceitos necessários de campo elétrico e força elétrica. Para ilustrar, as figuras 48 e 49 representam as respostas dos alunos (A22 e A24).

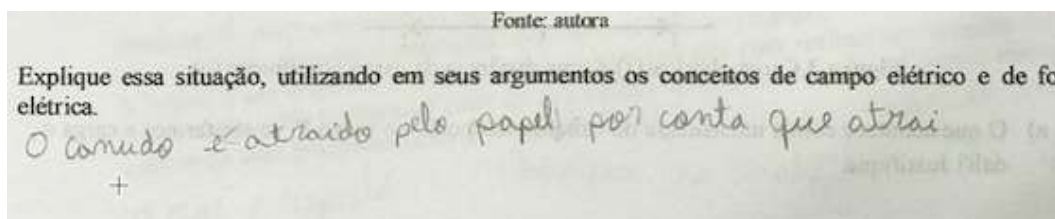


Figura 48- Resposta da questão 1- aluno A22
Fonte: Dados da autora

A transcrição da resposta da questão 1 do aluno A22: O canudo é atraído pelo papel por conta que atrai (A22, 2108).

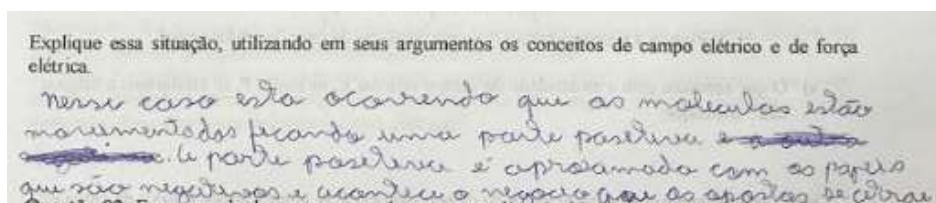


Figura 49 - Resposta da questão 1- aluno A24
Fonte: Dados da autora

A transcrição da resposta da questão 1 do aluno A24:

Nesse caso está ocorrendo que as moléculas estão movimentando ficando uma parte positiva. A parte positiva é aproximada com os papéis que são negativos e acontece o negócio que as opostas se atraem (A24, 2018).

A segunda questão trata de identificar a noção de campo elétrico, mas principalmente o modo como ele se comporta à medida que se se distancia da fonte. Nenhum dos alunos foi capaz de dizer que ela decaía com o inverso do quadrado da distância. As duas respostas abaixo representam os estudantes (A1 e A3) (figuras 50 e 51).

Questão 02- Em uma sala de espera na qual as pessoas ali estão há um bom tempo, um senhor, não aguentando os sapatos apertados, tira-os, ficando só de meias, que, além de furadas, não eram lavadas há mais de uma semana. Logo tomou conta de todo o ambiente uma espécie de "campo de mau-cheiro", que permaneceu inalterável devido às más condições das meias. Um físico que estava ao lado do senhor se afasta desesperadamente. Percebe, no entanto, pelo odor, que a intensidade do mau-cheiro com relação à sua fonte (as meias fedorentas) apresenta um comportamento semelhante à intensidade do campo elétrico de uma carga puntiforme. Dessa forma, à medida que se afasta da fonte, o que acontece com a intensidade do campo de mau-cheiro?

À medida em que o mesmo se afasta da fonte a intensidade do campo de mau cheiro diminui, pois a relação entre a distância e a intensidade do campo, ou seja, a intensidade é proporcional a distância e a carga.

Figura 50 --Resposta da questão 2 – aluno A1

Fonte: Dados da autora

A transcrição da resposta do aluno A1:

À medida em que o mesmo se afasta da fonte a intensidade do campo de mau cheiro diminui, pois a relação entre a distância e a intensidade do campo, ou seja, a intensidade é proporcional à distância e a carga (A1, 2018).

Apesar da resposta do aluno A1 apresentar certa noção do conceito de campo elétrico, o aluno não respondeu de acordo com o que esperávamos.

Da mesma maneira que o aluno A1, o aluno A3 não apresentou a resposta completa em relação a intensidade do campo magnético.

campo elétrico de uma carga puntiforme. Dessa forma, à medida que se afasta da fonte, o que acontece com a intensidade do campo de mau-cheiro?

Começa a diminuir, pois vai perdendo força conforme a distância aumenta mais e mais.

Figura 51- Resposta da questão 2- aluno A3

Fonte: Dados da autora

A transcrição do aluno A3: Começa a diminuir, pois vai perdendo força conforme a distância aumenta mais e mais (A3, 2018).

A terceira questão refere-se ao conceito de campo elétrico e teve como objetivo identificar o conhecimento dos estudantes a respeito da sua orientação, em um ponto do espaço. Apenas sete dos 26 alunos responderam adequadamente, mostrando que entendiam a direção e o sentido do campo elétrico no ponto P, a partir da representação por linhas de força. As figuras 52 e 53 mostram a questão 3 e as respostas dos alunos A5 e A13.

Questão 03- O esquema representa a distribuição das cargas elétricas no interior de uma nuvem de tempestade e as linhas de seu campo elétrico.

Figura 2- Distribuição das cargas elétricas numa nuvem.
Fonte: Web!

a) Indique com um vetor a direção e o sentido do campo elétrico no ponto P.
b) O que aconteceria com uma gota carregada com carga positiva ao ser colocada no ponto P, desconsiderando as interações gravitacionais?

cairia

Figura 52- Resposta da questão 3- aluno A5
Fonte: Dados da autora

Questão 03- O esquema representa a distribuição das cargas elétricas no interior de uma nuvem de tempestade e as linhas de seu campo elétrico.

Figura 2- Distribuição das cargas elétricas numa nuvem.
Fonte: Web!

a) Indique com um vetor a direção e o sentido do campo elétrico no ponto P.
b) O que aconteceria com uma gota carregada com carga positiva ao ser colocada no ponto P, desconsiderando as interações gravitacionais?

b) sua cair

Figura 53- Resposta da questão 3- aluno A13
Fonte: Dados da autora

As respostas dos alunos estão adequadas. O campo elétrico é um campo vetorial, já que consiste em uma distribuição de vetores, um para cada ponto em uma região em torno de um objeto. O vetor campo elétrico é tangente à linha de campo que passa pelo ponto.

A quinta questão trata do conceito de campo elétrico e do padrão tridimensional para uma carga pontual positiva e uma carga pontual negativa, de valores absolutos diferentes, situadas nas proximidades uma da outra. As cargas se atraem. Apenas 4 estudantes, dentre os 26, responderam mostrando que entendem o que as linhas de campo representam. As duas respostas abaixo representam os alunos A13 e A16 (figuras 54 e

55). Os outros estudantes se equivocaram em suas repostas, embora possuam noção de que as linhas de campo elétrico não se cruzam.

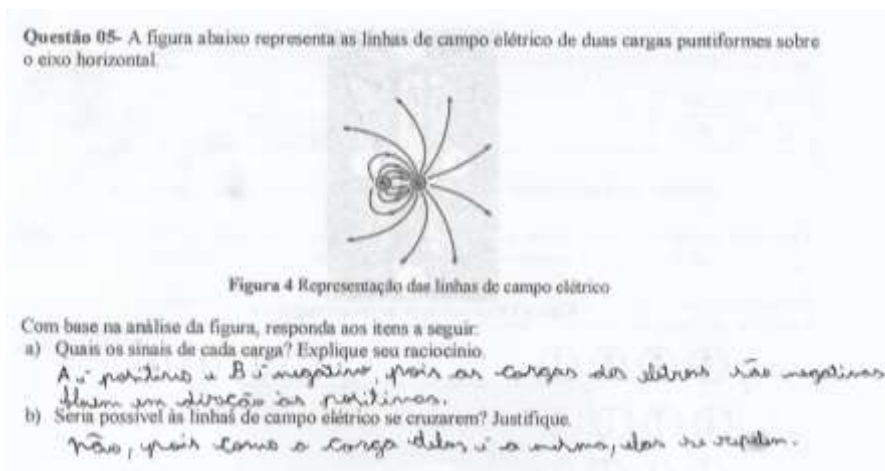


Figura 54- Resposta da questão 5- aluno A13
 Fonte: Dados da autora

A transcrição da resposta do aluno A13 (figura 54):

- a) A é positiva e B é negativo, pois as cargas dos elétrons são negativas e fluem em direção as positivas. b) Não.. elas se repelem (A13,2018).

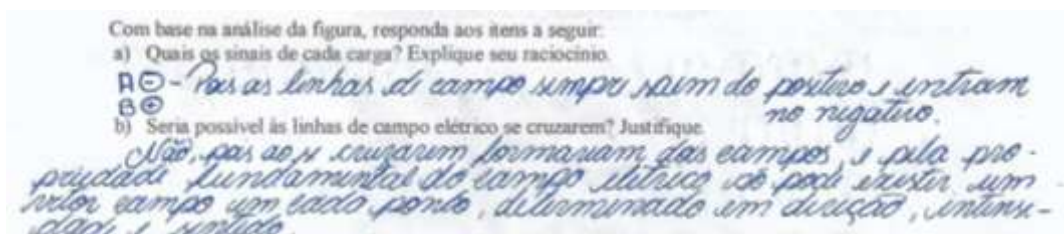


Figura 55-Resposta da questão 5- aluno A16
 Fonte: Dados da autora

A transcrição da resposta do aluno A16 (figura 55):

- a) Pois as linhas de campo sempre saem do positivo e entram no negativo. b) Não, pois ao se cruzarem formariam dois campos e pela propriedade fundamental do campo elétrico só pode existir um vetor campo em cada ponto, determinado em direção, intensidade e sentido (A16, 2018).

De acordo com as repostas dos alunos às questões 1 a 5, constata-se que eles não apresentam os conhecimentos necessários de campo elétrico, força elétrica e linhas de força. Desse modo, ficou clara a necessidade de aplicar a etapa dois – Campo eletrostático: Gerador de van de Graaff – para que eles pudessem ter uma oportunidade para adquirir os potenciais subsunçores que julgamos necessários.

A sexta questão trata de corrente elétrica. A questão teve como objetivo avaliar os conhecimentos prévios dos estudantes a respeito da diferença entre corrente elétrica contínua e corrente elétrica alternada e a respeito do funcionamento de baterias. Apenas 10 alunos, dos 26, mostraram que possuem alguma noção de corrente elétrica contínua e alternada. Para ilustrar, seguem as respostas dos alunos A13 e A10, nas figuras 56 e 57.

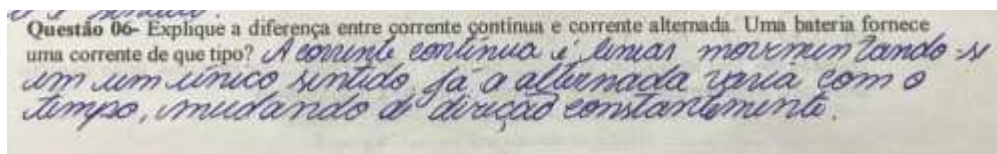


Figura 56-Resposta da questão 6- aluno A13
Fonte: Dados da autora

A transcrição da resposta do aluno A13 (figura 56):

A corrente contínua é linear movimentando-se em um único sentido. Já a alternada varia com o tempo, mudando de direção constantemente (A13, 2018).

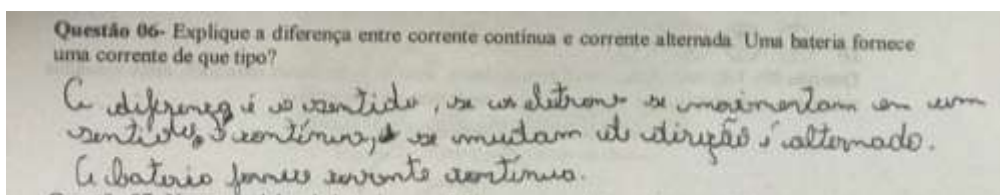


Figura 57-Resposta da questão 6- aluno A13
Fonte: Dados da autora

A transcrição da resposta do aluno A10 (figura 57):

A diferença é o sentido, se os elétrons se movimentam em um sentido é contínua, se mudam de direção é alternado. A bateria fornece corrente contínua (A10, 2018).

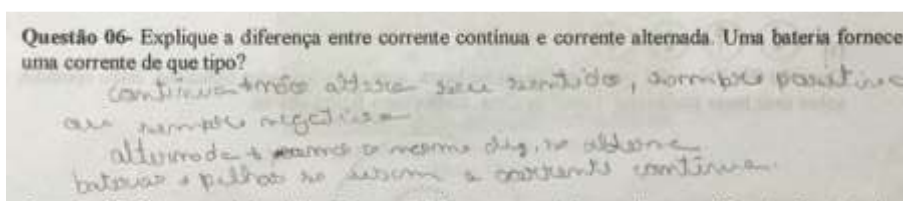


Figura 58-Resposta da questão 6- aluno A5
Fonte: Dados da autora

Apesar das respostas dos alunos A5, A3 e A16 mostrarem noção de corrente elétrica, os alunos não responderam de acordo com o que esperávamos.

A transcrição da resposta do aluno A5 (figura 58):

Continua não altera seu sentido, sempre positiva ou sempre negativa. A alternada, como o nome diz se alterna. Bateria e pilhas se usam a corrente contínua (A5, 2018).

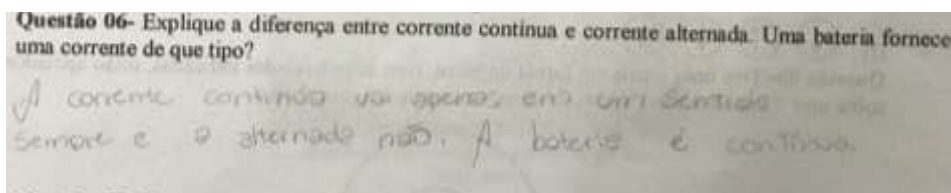


Figura 59-Resposta da questão 6- aluno A3
Fonte: Dados da autora

A transcrição da resposta do aluno A3 (figura 59): A corrente contínua vai apenas em um sentido sempre e a alternada não. A bateria é contínua (A3, 2018).

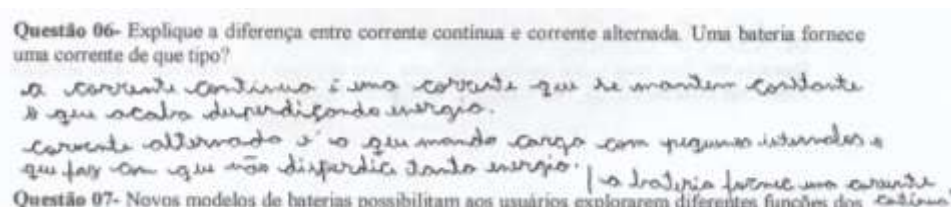


Figura 60 -Resposta da questão 6- aluno A16
Fonte: Dados da autora

A transcrição da resposta da questão 6 do aluno A16 na figura 60:

a corrente contínua é uma corrente que se mantém constante o que acaba desperdiçando energia. Corrente alternada é a que manda carga com pequenos intervalos o que faz com que não desperdiça tanta energia. A bateria fornece uma corrente contínua (A16, 2018).

Dentre as respostas, o aluno A13 mostrou alguma noção do conceito de corrente elétrica e da distinção entre a corrente contínua e alternada.

A sétima questão teve como objetivo identificar se o aluno tem a noção do conceito de força eletromotriz. Dentre os 26 alunos, nenhum aluno mostrou ter conhecimento força eletromotriz produzida por uma bateria. Para ilustrar, as figuras 61 e 62 representam as respostas dos alunos (A13 e A21).

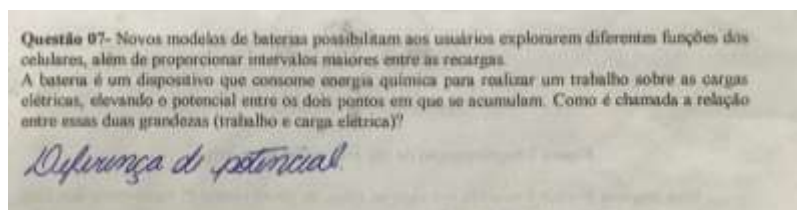


Figura 61- Resposta da questão 7- aluno A13
Fonte: Dados da autora

A transcrição da resposta da questão 7 do aluno A13 na figura 61: Diferença de potencial (A13, 2018).

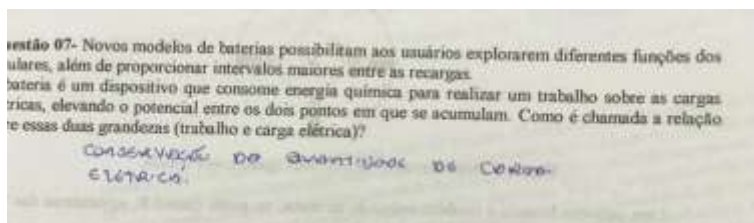


Figura 62- Resposta da questão 7- aluno A21
 Fonte: Dados da autora

A transcrição da resposta da questão 7 do aluno A21 na figura 62: conservação da quantidade de corrente elétrica (A21, 2018).

As questões oito e nove tiveram como objetivo identificar as noções de magneto, campo magnético, sua representação vetorial através das linhas de força e força magnética. Dentre os 26 alunos, 18 alunos mostraram alguma familiaridade com esses conceitos. Para ilustrar, a figura 63 representa a resposta do aluno A13.

Questão 08- Você pode observar o efeito magnético ao colocar um ímã sob uma superfície coberta com partículas de limalha de ferro, fazendo com que elas se alinhem segundo seu campo magnético. Além disso, ao aproximar uma bússola de um ímã, o efeito também é percebido. Então, vamos distribuir 4 (quatro) pequenas bússolas ao redor de um ímã. Desconsidere a influência do campo magnético terrestre. Analise a alternativa que indica as orientações das agulhas das bússolas 1, 2, 3 e 4, respectivamente, na situação descrita.

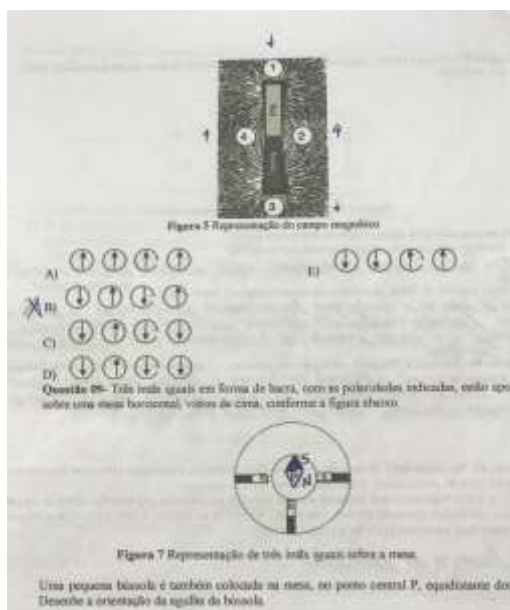


Figura 63- Resposta da questão 8 e 9- Aluno A13
 Fonte: Dados da autora

A décima questão teve como objetivo a descrição do modo como os campos elétricos e magnéticos são gerados e sobre a diferença entre suas configurações. Dentre os 26 alunos, 13 alunos deixaram a questão em branco e 05 alunos não conseguiram responder sobre o modo como são gerados campos elétrico e magnético. Para ilustrar, seguem as respostas de alguns alunos (figura 64).

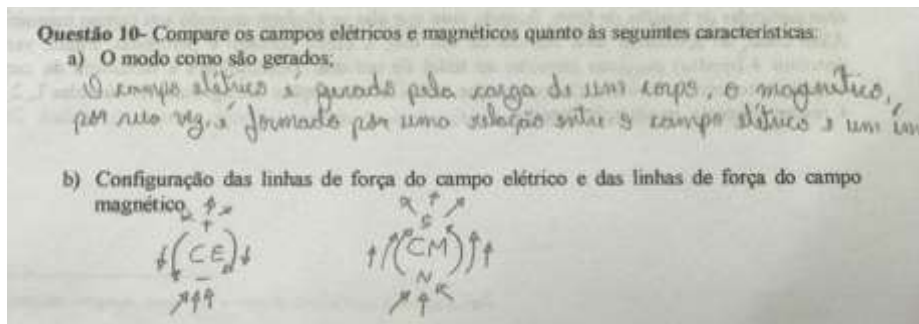


Figura 64- Resposta da questão 10- aluno A12

Fonte: Dados da autora

A transcrição da resposta da questão 10, item a, do aluno A12 na figura 64: O campo elétrico é gerado pela carga de um corpo, o magnético por sua vez, é formado por uma relação entre o campo elétrico e um ímã” (A12, 2018).

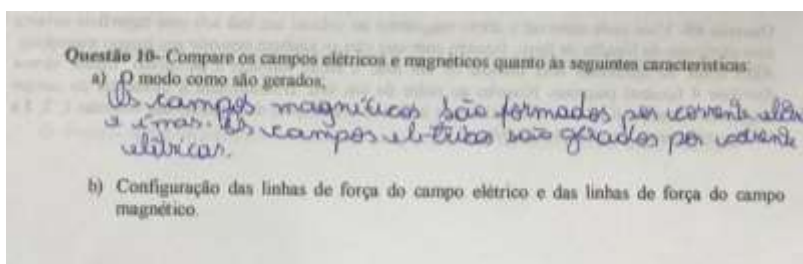


Figura 65- Resposta da questão 10- aluno A22

Fonte: Dados da autora

A transcrição da resposta da questão 10, item a, do aluno A22 (figura 65): a) Os campos magnéticos são formados por corrente elétrica e ímãs. Os campos elétricos são gerados por corrente elétrica (A22, 2018).

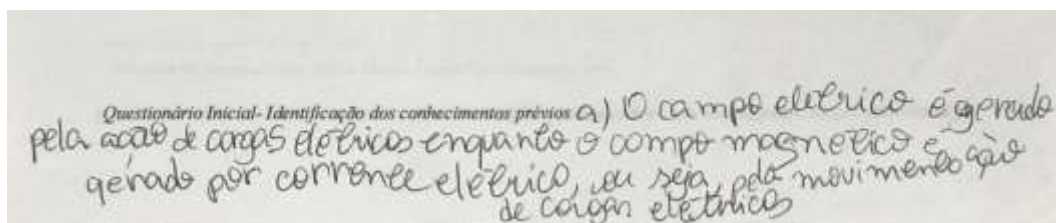


Figura 66- Resposta da questão 10- aluno A20

Fonte: Dados da autora

A transcrição da resposta à questão do aluno A20 (figura 66): Campo elétrico gerado pela ação de cargas elétricas enquanto o campo magnético é gerado por corrente elétrica, ou seja, da movimentação de cargas elétricas (A20, 2018).

Todas as respostas apresentam grandes deficiências. Os alunos não apresentam os conhecimentos necessários sobre correntes, magnetismo, campo e força magnética e linhas de força. Desse modo, ficou clara a necessidade de aplicar também a etapa três – Campo magnetostático: Eletroímã – para que eles pudessem ter uma oportunidade para adquirir os potenciais subsunçores que julgamos necessários.

6.2 Análise das atividades prático-experimentais

Nessa seção, tem-se como objetivo apresentar nossas observações e os registros dos alunos, nas atividades prático-experimentais, ao longo da sequência.

Na segunda e terceira etapa, foram desenvolvidas atividades prático-experimentais no intuito de prover subsunçores aos estudantes, pois a maioria deles não apresentou conhecimentos prévios necessários para o estudo do eletromagnetismo.

Na segunda etapa, os estudantes mostraram que entenderam o funcionamento do gerador de Van de Graaff, relacionando-o com os conceitos de eletrização, campo elétrico, força elétrica e força eletromotriz.

Na terceira etapa, dentre os 26 estudantes, há indícios de que ao menos 10 alunos compreenderam a geração do campo magnético estático, pela passagem de uma corrente elétrica em um condutor (lei de Ampère). Para ilustrar, seguem abaixo os registros das duplas de estudantes D2 e D3, na aula da etapa três:

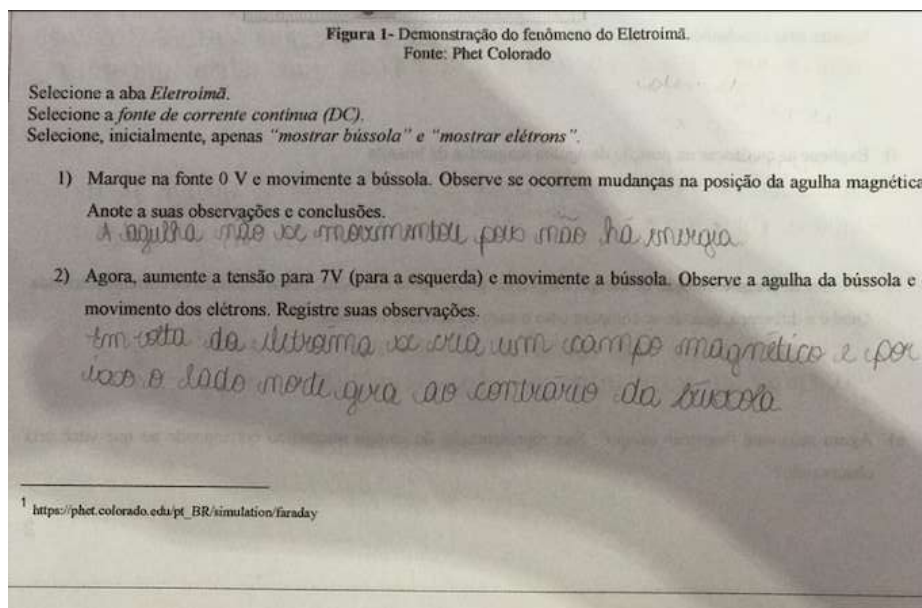


Figura 67-Resposta da questão 1- dupla D2
Fonte: Dados da autora

A transcrição das respostas às questões da dupla D2 (figura 67):

1)A agulha não se movimentou pois não há energia. 2) Em volta do eletroímã cria um campo magnético e por isso o lado norte gira ao contrário da bússola (D2, 2018).

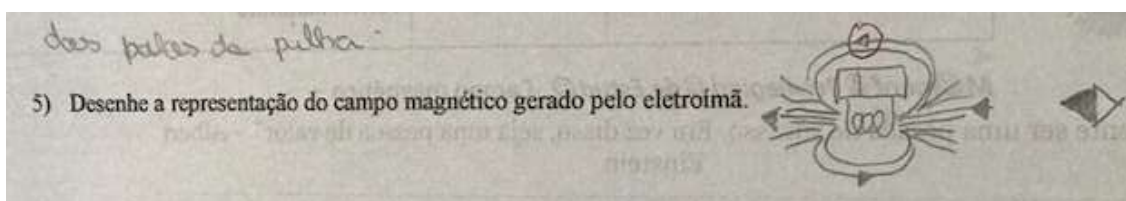


Figura 68- Resposta da questão 5- dupla D3
Fonte: Dados da autora

Na etapa quatro, as atividades prático-experimentais tiveram como objetivo explorar os fenômenos envolvendo corrente elétrica, campo magnético, fluxo magnético e indução eletromagnética, por meio da simulação no aplicativo Phet Colorado. No desenvolvimento da atividade, os estudantes mostraram que compreenderam os conceitos de fluxo magnético, força eletromotriz e corrente elétrica induzida produzida pelo movimento relativo entre o ímã e o solenoide. Para ilustrar, seguem as respostas das duplas D8 e D11.

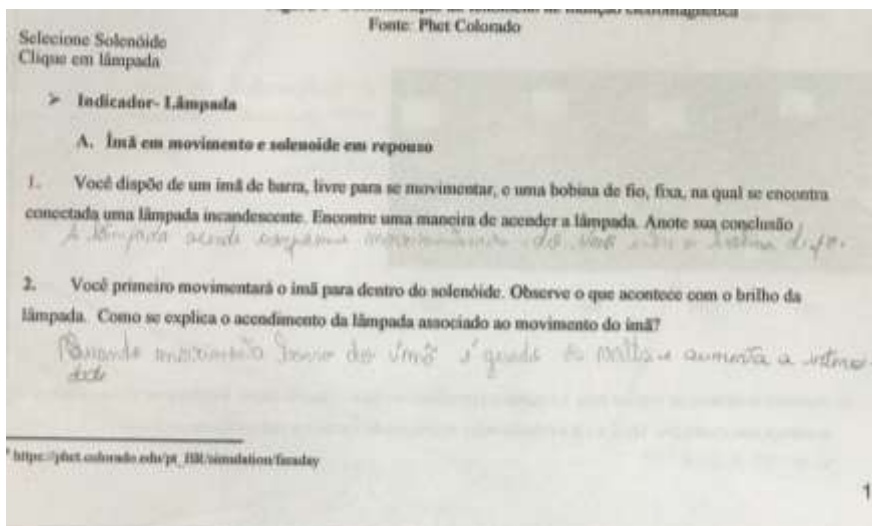


Figura 69- Respostas das questões 1 e 2 da dupla D8
Fonte: Dados da autora

A transcrição das respostas às questões da dupla D8 (figura 69):

- 1) A lâmpada acende conforme movimentamos o ímã entre a bobina de fio.
- 2) Quando movimentamos a barra do ímã é gerado os volts e aumenta a intensidade (D8, 2018).

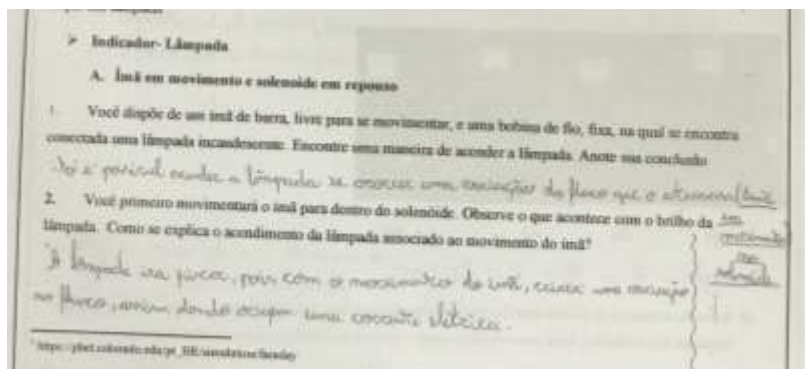


Figura 70- Respostas das questões 1 e 2 da dupla D11
Fonte: Dados da autora

A transcrição das respostas às questões da dupla D11 (figura 70):

- 1) Só é possível acender a lâmpada se ocorrer uma variação do fluxo que o atravessa (ímã em movimento no solenoide).
- 2) A lâmpada irá piscar, pois com o movimento do ímã, criará uma variação no fluxo, assim dando origem a uma corrente elétrica (D11, 2018).

As etapas cinco e seis tiveram como objetivos apresentar a bobina de Tesla, os conceitos de campo elétrico e magnético variáveis no tempo, gerados pelo acoplamento entre as bobinas, fazer a comparação conceitual com o gerador de Van de Graaff e introduzir a noção de corrente de deslocamento e a geração de campo magnético induzido.

Para ilustrar, apresentaremos as respostas dos alunos durante as atividades desenvolvidas nas etapas.

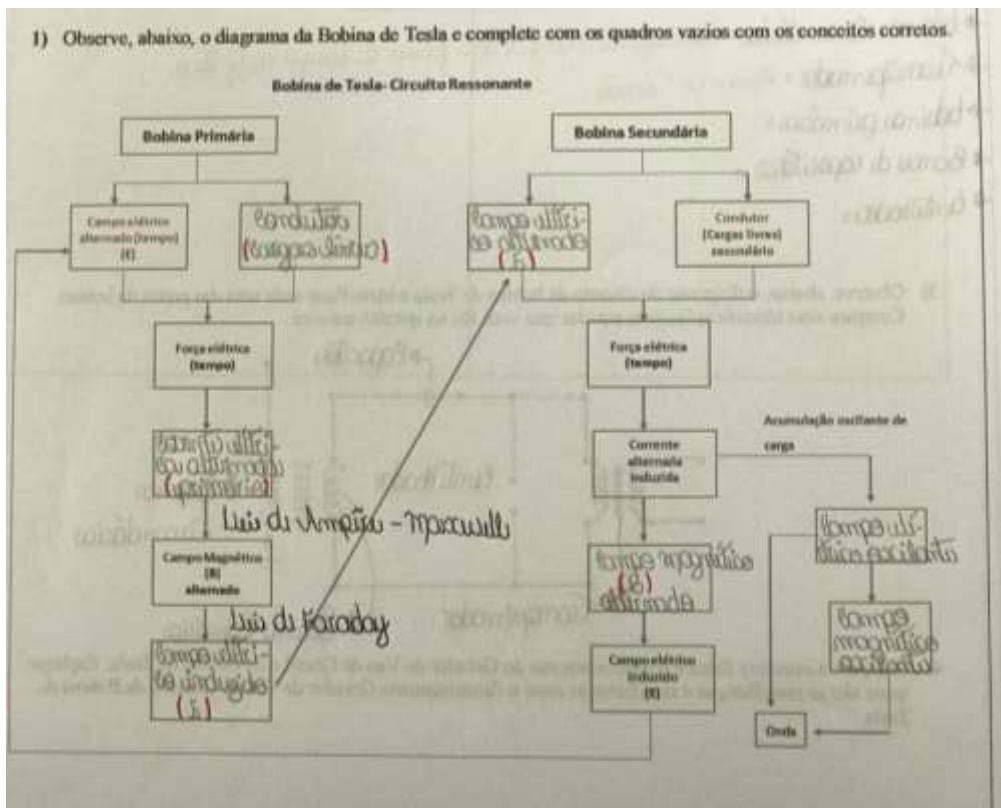


Figura 71- Respostas da questão 1 do aluno A7
 Fonte: Dados da autora

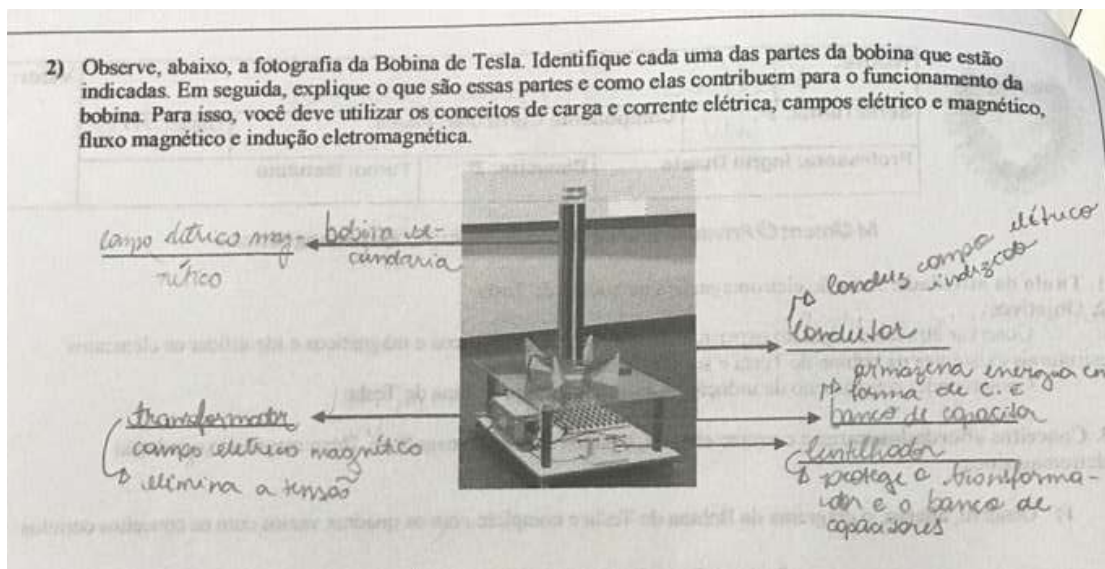


Figura 72- Respostas da questão 2 do aluno A1
 Fonte: Dados da autora

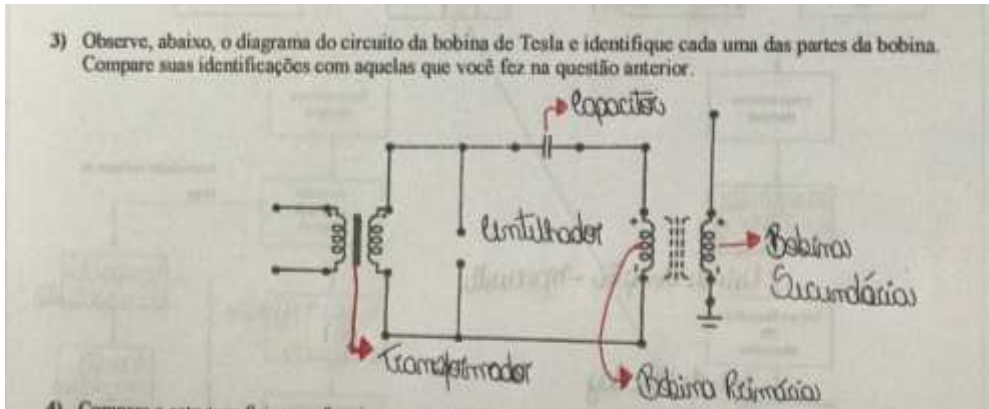


Figura 73-Respostas da questão 3 do aluno A7
Fonte: Dados da autora

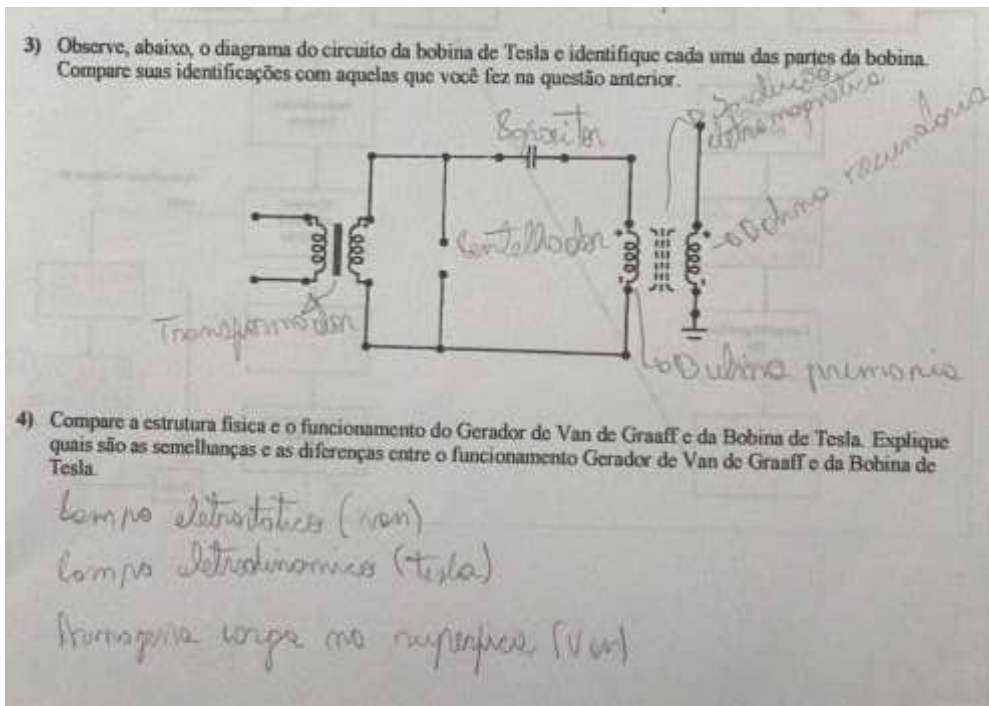


Figura 74- Respostas das questões 3 e 4 do aluno A20
Fonte: Dados da autora

A transcrição das respostas à questão 4 do aluno A20 (figura 74): campo eletrostático (van), campo eletrodinâmico (Tesla), armazena carga na superfície (van) (A20, 2018).

A etapa sete teve como objetivos apresentar a lei de Ampère- Maxwell e o conceito de campo magnético induzido por variação de fluxo do campo elétrico e detectar o campo eletromagnético através de antenas.

A atividade experimental possibilitou o entendimento do funcionamento das antenas linear e circular, além de proporcionar aos alunos a oportunidade de conhecer o

modo como é gerado e detectado o campo eletromagnético. Para ilustrar, seguem os registros dos alunos D6 e D7 após a experimentação.

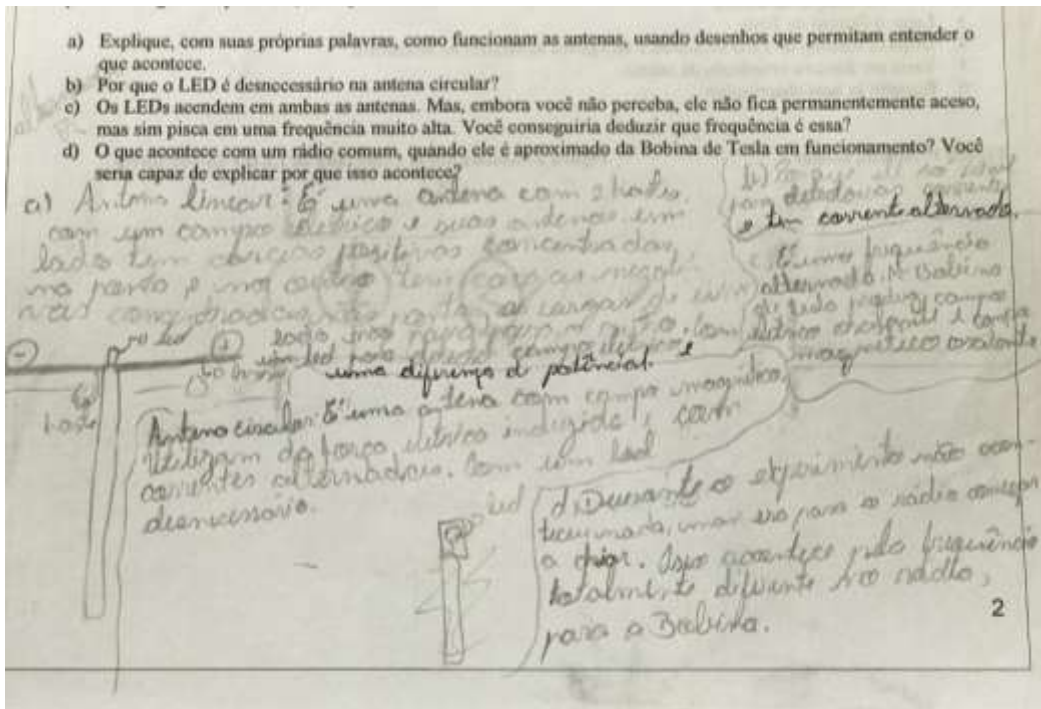


Figura 75- Respostas das questões da atividade 7 – dupla D6

Fonte: Dados da autora

A transcrição das respostas às questões da dupla D6 (figura 75):

a) Antena linear: é uma antena com 2 hastes com um campo elétrico e suas antenas em lado tem cargas positivas concentradas no ponto e no outro tem cargas negativas concentradas nas pontas, mas cargas de um lado não passa para outro. Com um led para detectar campo elétrico e uma diferença de potencial. Antena circular ~e uma antena com campo magnético. Utilizam das forças elétricas induzida e com correntes alternadas. Com um led desnecessário b) Porque ele só seve para detectar corrente e tem corrente alternada. c) é uma frequência alternada. A bobina de Tesla produz campo elétrico oscilante e campo magnético oscilante. d) Durante o experimento não aconteceu nada, mas era para o rádio começar a chiar. Isso acontece pela frequência totalmente diferente no rádio para a bobina (D6, 2018).

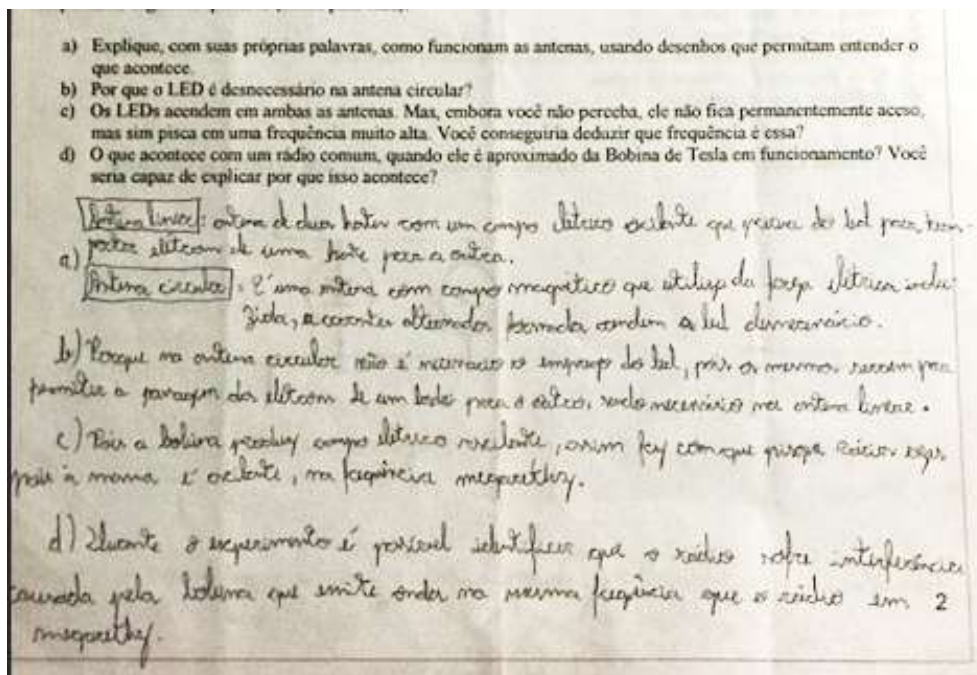


Figura 76- Respostas das questões da atividade 7 – dupla D7

Fonte: Dados da autora

A transcrição das respostas às questões da dupla D7 (figura 76):

- a) Antena linear: antena de duas hastes com um campo elétrico que precisa do led para detectar elétrons de uma haste para outra. Antena circular: é uma antena com campo magnético que utiliza da força elétrica induzida, a corrente alternada formada acende o led. B) porque na antena circular não é necessário o emprego do led, pois os mesmos servem para permitir a passagem dos elétrons de um lado para o outro, sendo necessário na antena linear. c) pois a bobina produz campo elétrico oscilante, assim faz com que pisca, pois a mesma é oscilante, na frequência mega-hertz. D) Durante o experimento é possível identificar que o rádio sofre interferência causada pela bobina que emite ondas na mesma frequência do rádio em mega-hertz (D7, 2018).

6.3 Análise do Questionário Final

Nessa seção, apresenta-se algumas evidências de aprendizagem dos estudantes sobre o tema envolvendo indução eletromagnética e campo eletromagnético, por meio de experimentos, como a bobina de Tesla e atividades de simulação por computador.

A primeira questão da avaliação final refere-se aos conceitos que envolvem campo eletrostático. Os estudantes foram testados sobre a capacidade de mostrar, no gerador de Van de Graaff, como e por que as cargas elétricas criam campo elétrico.

Na figura 77, transcreve a resposta do aluno A1 à questão 1 da avaliação final.

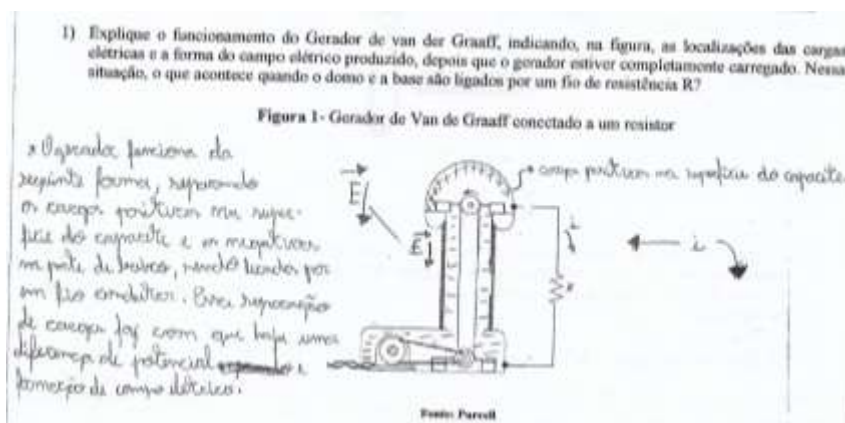


Figura 77- Resposta da questão 1 da avaliação- aluno A1.
Fonte: Dados da autora

A transcrição da resposta a questão 1 do aluno A1 (figura 77):

O gerador funciona da seguinte forma, separando a carga positiva na superfície do capacete e a negativa na parte de baixo, sendo levada por um fio condutor. Essa separação de carga faz com que haja uma diferença de potencial e formação do campo elétrico (A1, 2018).

O aluno A1 apresentou ter compreendido que o campo elétrico tem a ver com a separação de cargas, apesar de ter errado em como as cargas são levadas até a cúpula, através da correia.

Após a avaliação das respostas dos estudantes, as respostas foram categorizadas em: compreenderam a questão, não compreenderam e deixaram em branco.

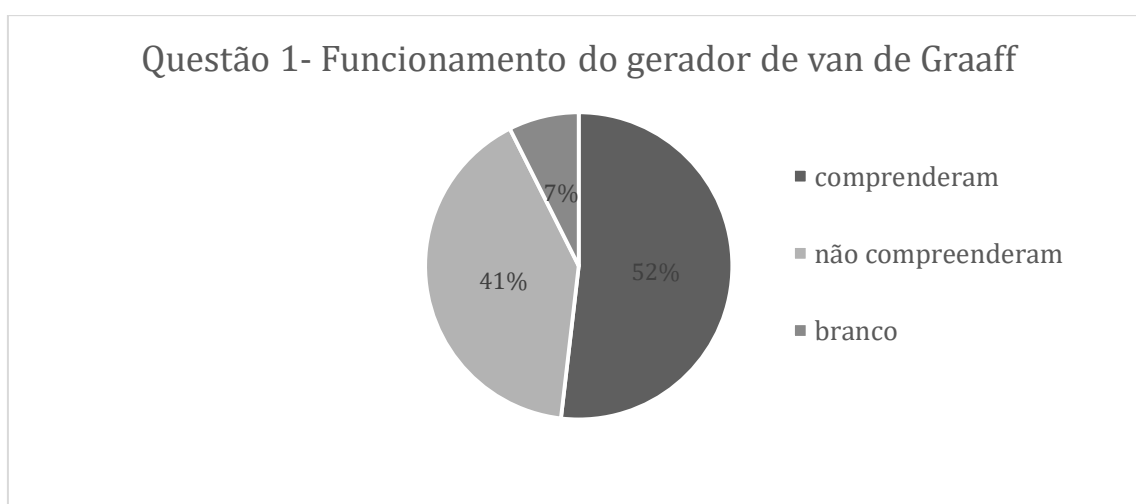


Gráfico 1- Respostas dos alunos à questão 01- Campo eletrostático
Fonte: Dados da autora

O gráfico 1 mostra claramente que 52% dos estudantes puderam compreender o conceito de campo eletrostático envolvido no experimento do gerador de van der Graaff.

Na segunda questão foram observados aspectos referentes ao conhecimento da necessidade de passagem de corrente em um condutor enrolado (solenóide) para produzir campo magnético (lei de Ampère).

A figura abaixo descreve a resposta do aluno A12 referente a questão 2 da avaliação final (figura 78).

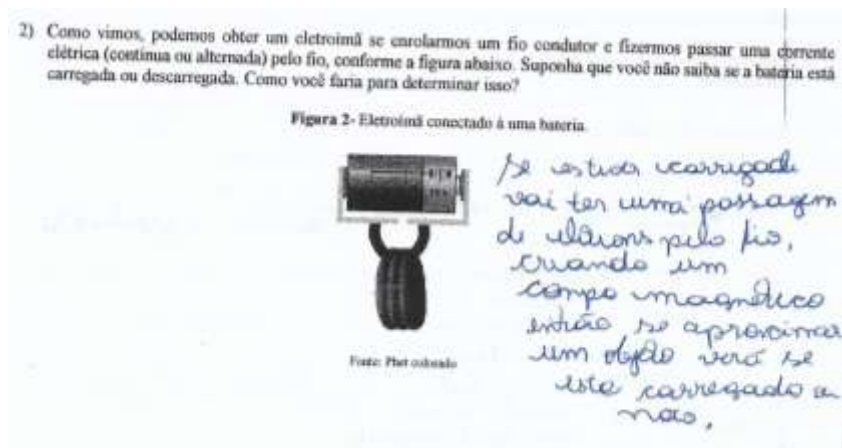


Figura 78- Resposta da questão 2 da avaliação- aluno A12.

Fonte: Dados da autora

A transcrição da resposta da questão 2 do aluno A12 (figura 78): Se estiver carregada vai ter uma passagem de elétrons pelo fio, criando um campo magnético então se aproximar um objeto verá se está carregado ou não (A12, 2018).

O aluno A12 solucionou a questão, mas aparenta não ter compreendido que o campo magnético não pode ser detectado por um objeto qualquer.

O gráfico 2 mostra que 58% dos estudantes puderam compreender os conceitos de corrente elétrica e campo magnético envolvidos na atividade prático-experimental do eletroímã.

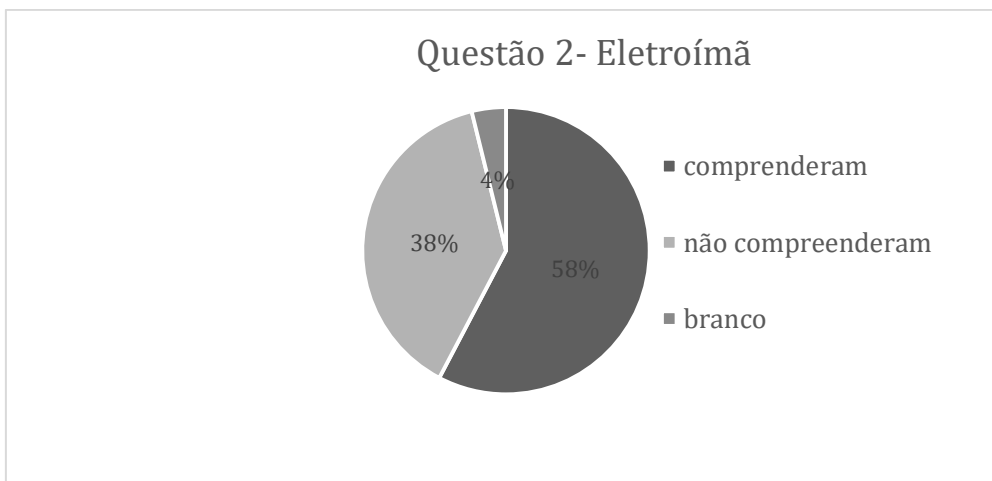


Gráfico 2- Respostas dos alunos à questão 02- Eletroímã
 Fonte: Dados da autora

A terceira questão da avaliação final refere-se a aspectos da lei de Faraday, discutida na etapa 5 e depois desenvolvida com atividades prático-experimentais. Durante a realização das atividades, os alunos notaram a relação da variação do fluxo magnético com a produção de corrente elétrica induzida. A figura 79 é referente a resposta do aluno A1.

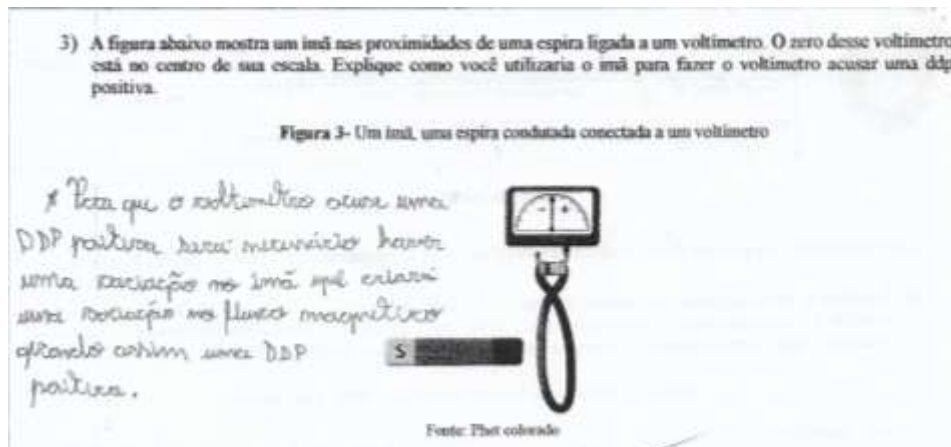


Figura 79- Resposta da questão 3 da avaliação- aluno A1.
 Fonte: Dados da autora

A transcrição da resposta do aluno A1 à questão 3 (figura 79): Para que o voltímetro acuse uma ddp positiva será necessário haver uma variação no ímã que criará uma variação no fluxo magnético gerando assim uma ddp positivo (A1, 2018).

O aluno A1 tem a compreensão mínima sobre a Lei de Faraday, mas não demonstram saber indicar o movimento do ímã para obter uma ddp positiva. A resposta do aluno condiz com as ideias de Purcell (2013) que afirma ao movimentar o ímã tanto

na parte de dentro quanto para a fora das espiras, fará com que o varia a indicação do voltímetro. Porém, quando o ímã está em repouso, o voltímetro, nesse caso, não acusa nenhuma corrente, pois não há variação do fluxo magnético. Quando o ímã é retirado de dentro da bobina, ocorria a deflexão da agulha no sentido oposto.

Dessa mesma maneira, dentre os 26 alunos que responderam ao questionário, somente 18 estudantes responderam ter o mínimo de compreensão sobre a Lei de Faraday, mas não conseguiram explicar corretamente como acusar uma diferença de potencial positiva na questão, enquanto 06 alunos não responderam corretamente e 02 alunos deixaram a questão em branco.

O gráfico 3 mostra que 72% dos alunos demonstraram conhecimento mínimo sobre a Lei de Faraday, ainda que sem indicar o sentido da diferença de potencial positiva.

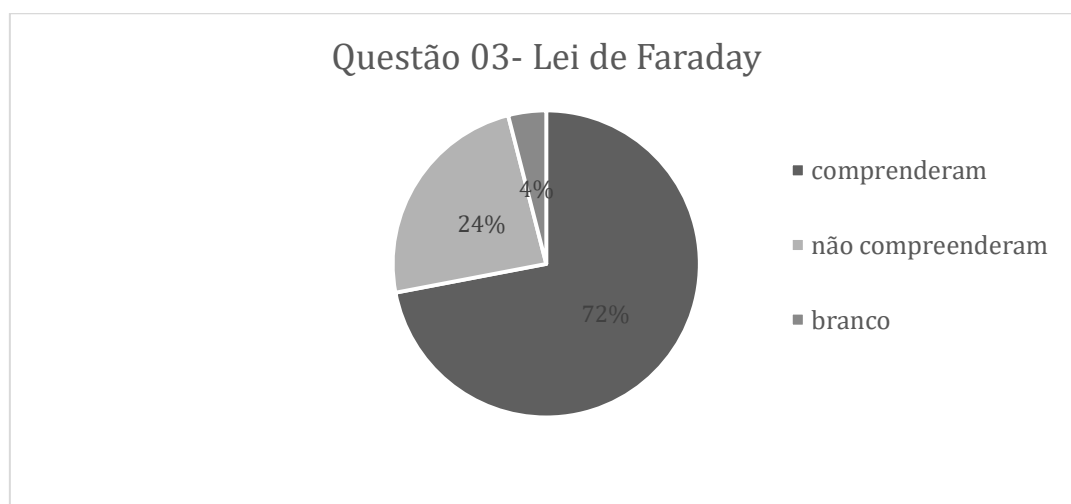


Gráfico 3- Respostas dos alunos à questão 03- Lei de Faraday
Fonte: Dados da autora

A análise das repostas dos alunos quanto à questão 3 mostra que a maioria deles compreendeu os conceitos físicos por meio do uso das atividades virtuais integradas às atividades experimentais. Isso reforça que os alunos apresentaram melhor entendimento quando se utiliza atividades experimentais aliadas a atividades virtuais.

A quarta questão refere-se aos princípios de funcionamento bobina de Tesla que foram trabalhados nas etapas 3 e 6, envolvendo atividades experimentais. Durante as atividades, os alunos entenderam como a bobina é constituída por um circuito ressonante, dividida em circuito primário e outro secundário, como mostrado no diagrama da bobina de Tesla. Mas, encontraram dificuldades em descrever o fenômeno ocorrido na bobina de Tesla.

Para ilustrar, seguem as respostas dos alunos A16, A20 e A26.

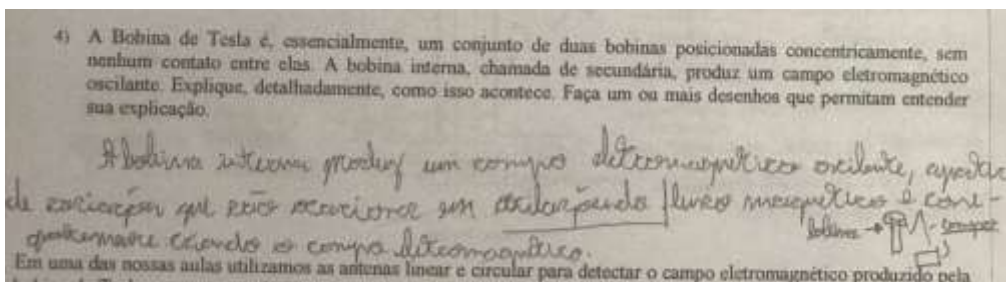


Figura 80- Resposta da questão 4 da avaliação- aluno A16.

Fonte: dados dos autores

A transcrição da resposta do aluno A16 à questão 4 (figura 80): A bobina interna produz um campo eletromagnético oscilante, a partir de variações que vão ocasionar uma oscilação do fluxo magnético é conseqüentemente criando o campo eletromagnético (A16, 2018).

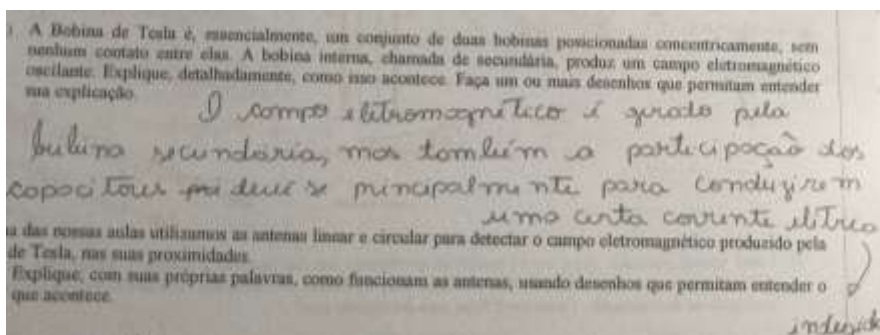


Figura 81- Resposta da questão 4 da avaliação- aluno A20.

Fonte: dados dos autores

A transcrição da resposta do aluno A20 à questão 4 (figura 81): O campo eletromagnético é gerado pela bobina secundária, mas também a participação dos capacitores principalmente para conduzirem uma certa corrente elétrica induzida (A20, 2018).

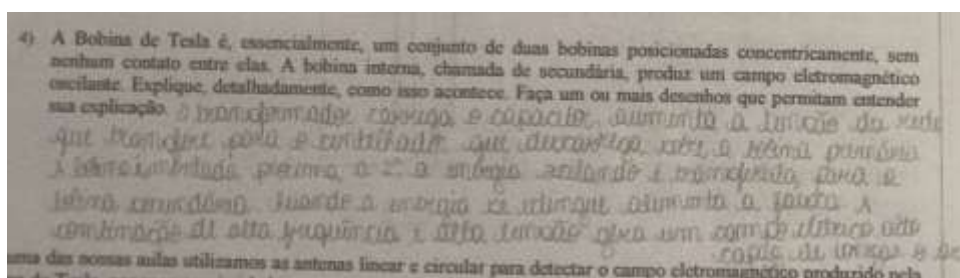


Figura 82-Resposta da questão 4 da avaliação- aluno A3.

Fonte: dados dos autores

A transcrição da resposta do aluno A3 à questão 4 (figura 82):

O transformador carrega o capacitor, aumenta a tensão da rede que transfere para o centelhador que descarrega sobre a bobina primária. A bobina é montada próxima a segunda, a energia oscilante é transferida para a bobina secundária. Quando a energia se extingue alimenta a faísca. A combinação de alta frequência e alta tensão gera um campo elétrico alto capaz de ionizar o ar. (A3, 2018).

Dessa mesma maneira, dentre os 26 alunos que responderam ao questionário, somente 4 estudantes responderam ter o mínimo de compreensão sobre o funcionamento da bobina de Tesla, enquanto 13 alunos não responderam corretamente e 9 alunos deixaram a questão em branco.

O gráfico 4 mostra que 50% dos alunos demonstraram em suas respostas compreensão mínima do funcionamento da bobina de Tesla. Ainda assim, os estudantes apresentaram confusões ao interpretar os conceitos envolvidos no funcionamento da bobina.

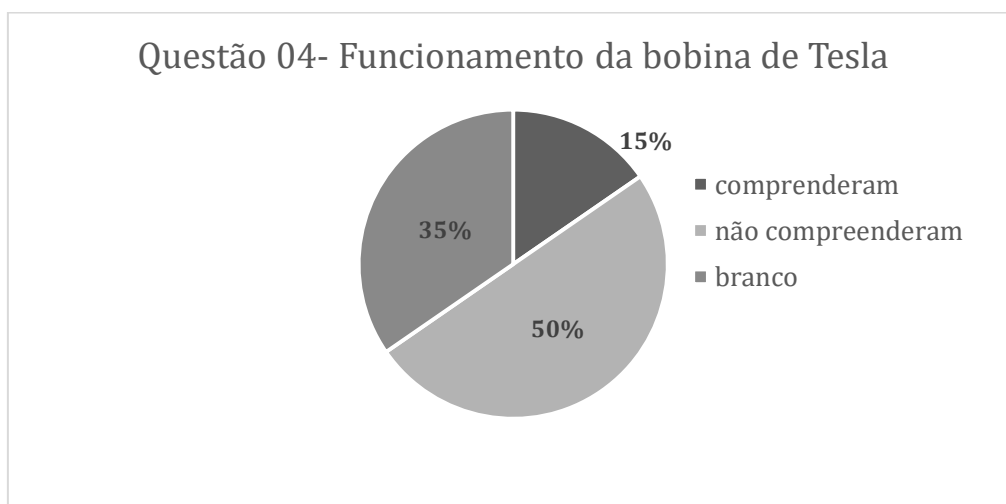


Gráfico 4- Respostas dos alunos à questão 04- Funcionamento da bobina de Tesla
Fonte: Dados da autora

A quinta questão refere-se à detecção do campo eletromagnético da bobina de Tesla, nas suas proximidades, utilizando as antenas linear e circular. O aluno A9 respondeu de forma equivocada sobre o funcionamento das antenas. Os alunos A1 e A16 responderam à questão com um mínimo de fundamentação (figuras 83 e 84).

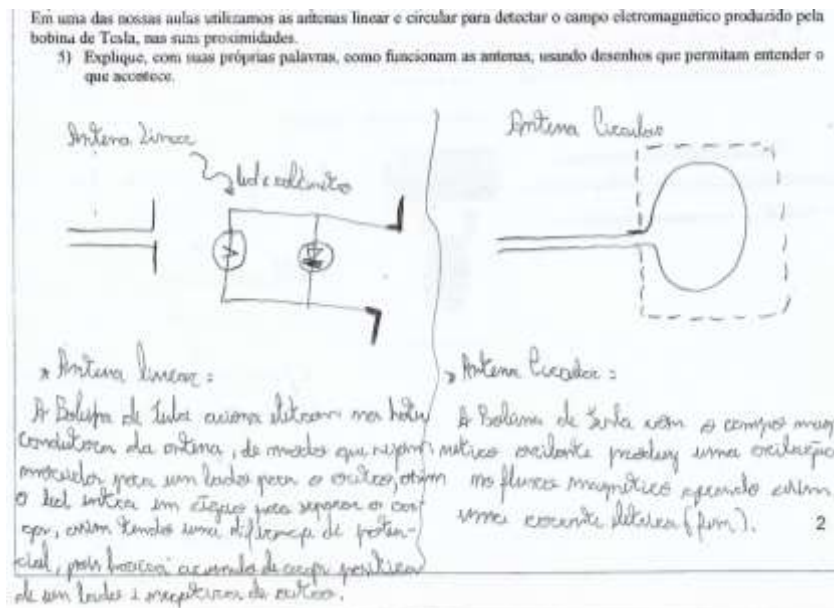


Figura 83- Resposta da questão 5 da avaliação- aluno A1.
Fonte: Dados da autora

A transcrição da resposta da questão 5 do aluno A1 (figura 83):

Antena linear. A bobina de Tesla aciona elétrons na haste do condutor da antena, de modo que sejam movidas para um lado e para outro, assim o led entra em ação para separar as cargas, assim tendo uma diferença de potencial, pois haverá um acúmulo de cargas positivas de um lado e negativa de outro. Antena Circular: a bobina de Tesla com o campo magnético oscilante produz uma oscilação no fluxo magnético gerando assim, uma corrente elétrica (fem) (A1, 2018).

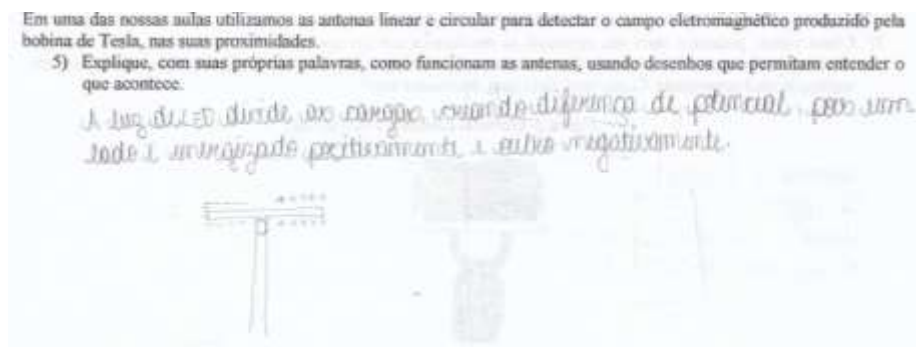


Figura 84- Resposta da questão 5 da avaliação- aluno A9.
Fonte: Dados da autora

A transcrição da resposta da questão 5 do aluno A9 (figura 84): A luz do led divide as cargas criando uma diferença de potencial, pois um lado é energizado positivamente e outro negativamente (A9, 2018).

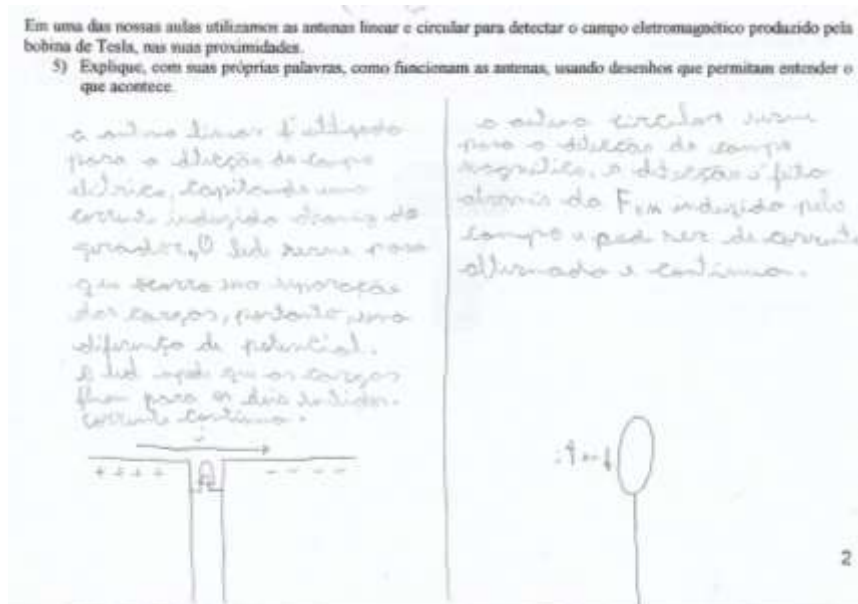


Figura 85-Resposta da questão 5 da avaliação- aluno A16.

Fonte: Dados da autora

A transcrição da resposta da questão 5 do aluno A16 (figura 85):

A antena linear é utilizada para detecção do campo elétrico, capacitando uma corrente induzida através do gerador. O led serve para que ocorra uma separação das cargas, portanto, uma diferença de potencial. O led impede que as cargas fluam para os dois sentidos. A antena circular serve para a detecção do campo magnético. A detecção é feita através da fem induzida pelo campo e pode ser uma corrente de alternada ou contínua (A16, 2018).

Apesar da resposta do aluno A16 apresentar as noções de campo elétrico, campo magnético e corrente induzida, o aluno se confundiu em dizer que a corrente produzida pelo campo magnético é contínua.

Dessa mesma maneira, dentre os 26 alunos que responderam ao questionário, somente 15 estudantes responderam ter o mínimo de compreensão sobre a utilização das antenas linear e circular para a detecção do campo eletromagnético e, enquanto 10 alunos não conseguiram responder corretamente, apresentou-se confusão nos conceitos envolvidos e 1 aluno deixou a questão em branco.

O gráfico 5 mostra que 58% dos alunos demonstraram, em suas respostas, compreensão mínima do campo eletromagnético detectado pelas antenas, nas proximidades da bobina de Tesla. Outros 38% dos estudantes apresentaram confusão em interpretar os conceitos envolvidos na detecção do campo eletromagnético e 4% não responderam.

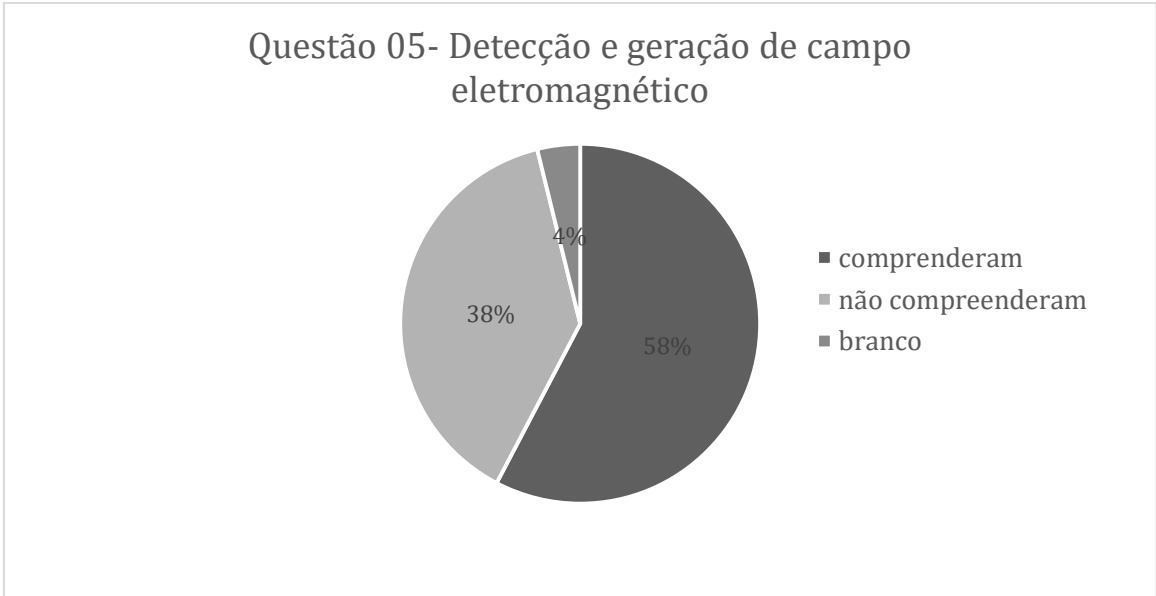


Gráfico 5- Respostas dos alunos à questão 05- Detecção e geração do campo eletromagnético
 Fonte: Dados da autora

A sexta questão da avaliação final refere-se aos conceitos envolvidos nos diagramas do gerador de van de Graaff, do eletroímã e da bobina de Tesla. Nesta questão, os estudantes deveriam completar, no diagrama, qual conceito corresponderia àquele quadro em branco. Para ilustrar, seguem as respostas dos alunos A16, A4.

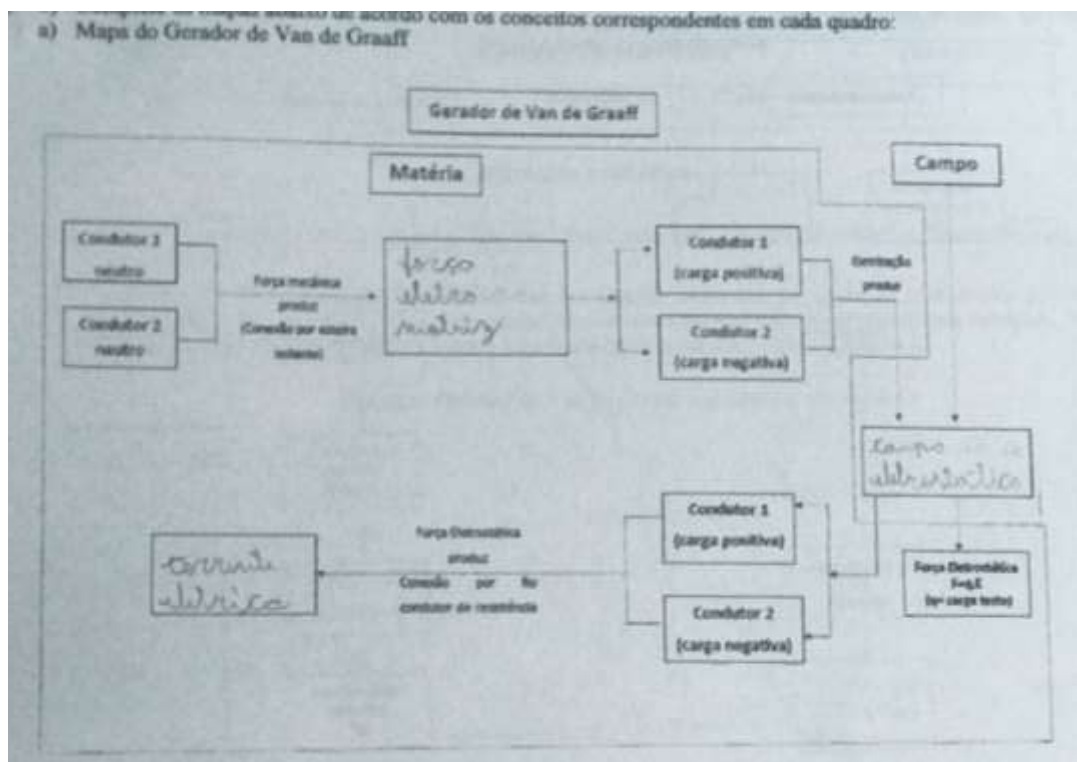


Figura 86-Resposta da questão 6, letra a da avaliação- aluno A16.
 Fonte: Dados dos autores

O aluno A16 mostrou ter compreensão dos conceitos envolvidos no diagrama do gerador de van de Graaff.

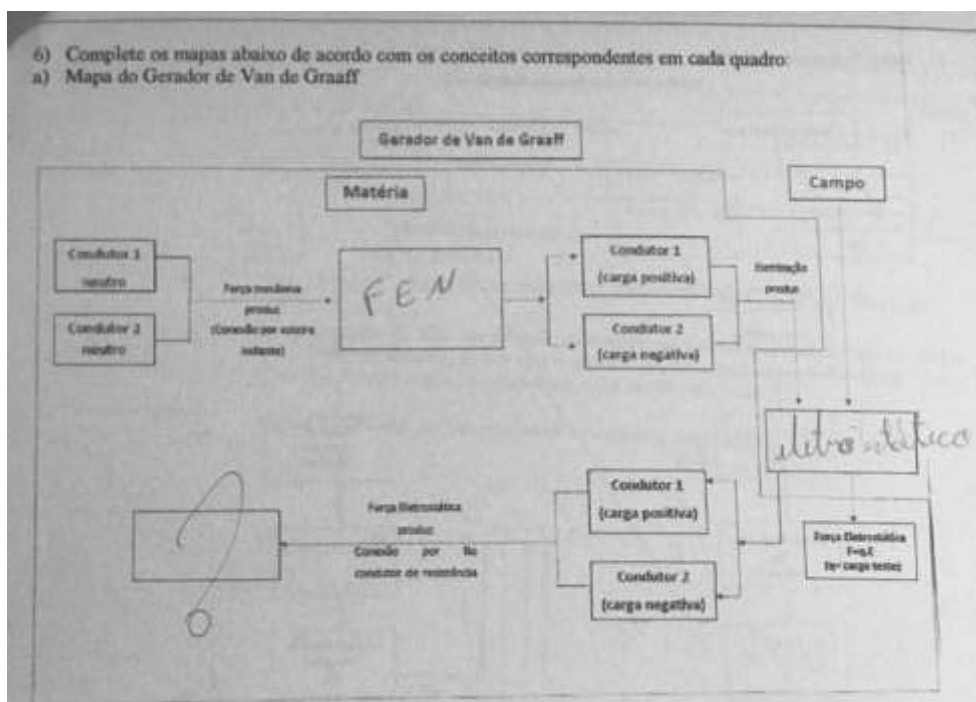


Figura 87- Resposta da questão 6, letra a da avaliação- aluno A4.
 Fonte: Dados dos autores

As respostas do aluno A4 mostram que o estudante não compreendeu os conceitos de força eletromotriz, campo eletrostático e corrente elétrica. Neste sentido, dentre os 26 alunos que responderam ao questionário, somente 15 estudantes responderam ter o mínimo de compreensão sobre os conceitos envolvidos no funcionamento do gerador e, enquanto 10 alunos não conseguiram responder corretamente, apresentou-se confusão nos conceitos envolvidos e 1 aluno deixou a questão em branco.

O gráfico 6 mostra que apenas 38% dos 26 estudantes não compreenderam os conceitos correspondentes ao campo eletrostático. Outros 4% deixaram em branco.

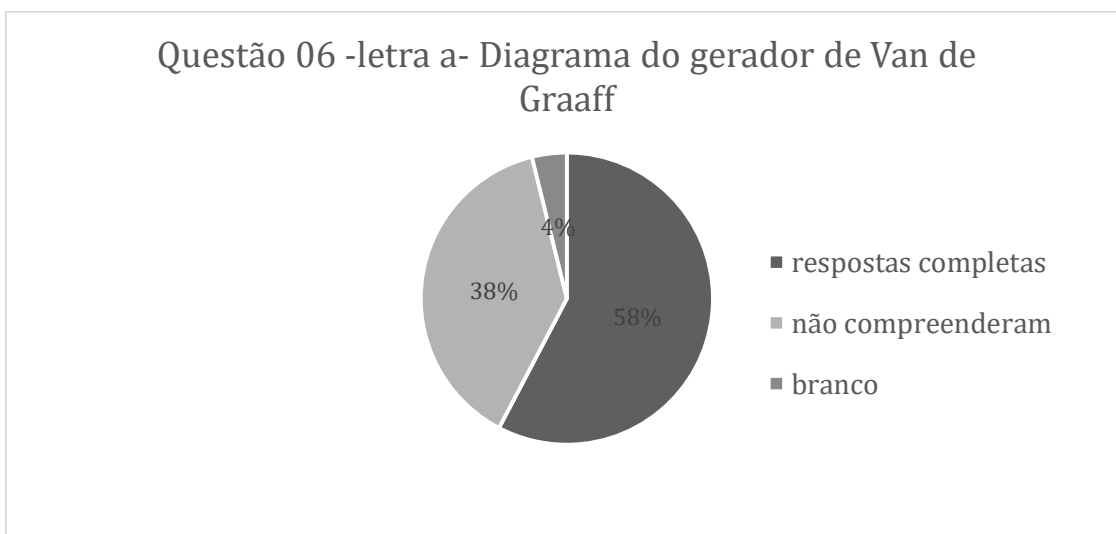


Gráfico 6- Respostas dos alunos à questão 06, letra a- gerador de Van de Graaff
Fonte: Dados da autora

A sexta questão, letra b, refere-se ao diagrama de conceitos envolvidos no funcionamento do eletroímã que foram trabalhados nas etapas 3, envolvendo atividades experimentais. Durante as atividades, os alunos entenderam os conceitos envolvidos no funcionamento do eletroímã. Para ilustrar, seguem as respostas dos alunos A6, A4.

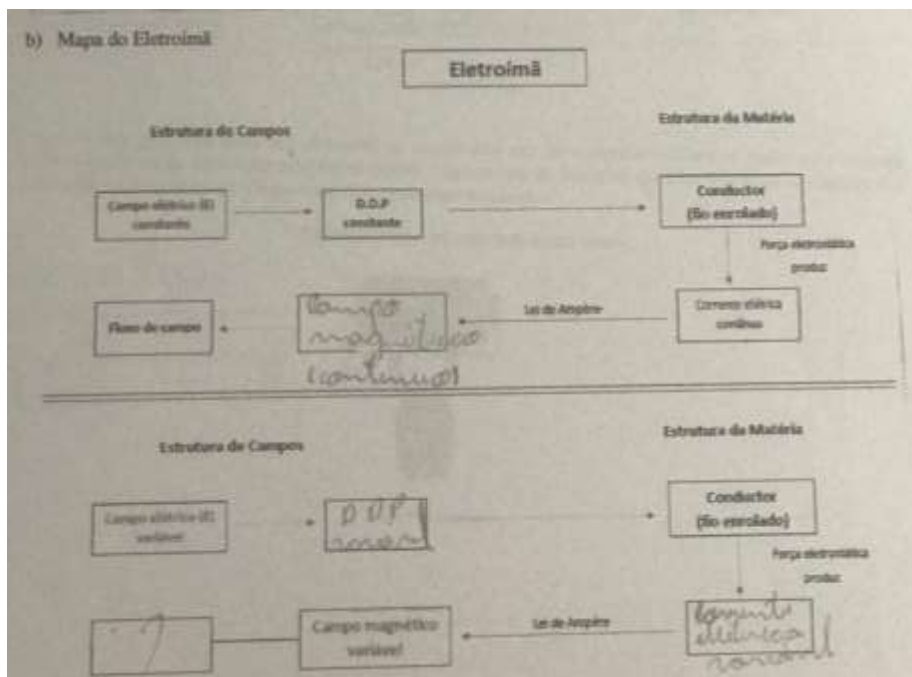


Figura 88-Resposta da questão 6, letra b da avaliação- aluno A4.
 Fonte: Dados dos autores

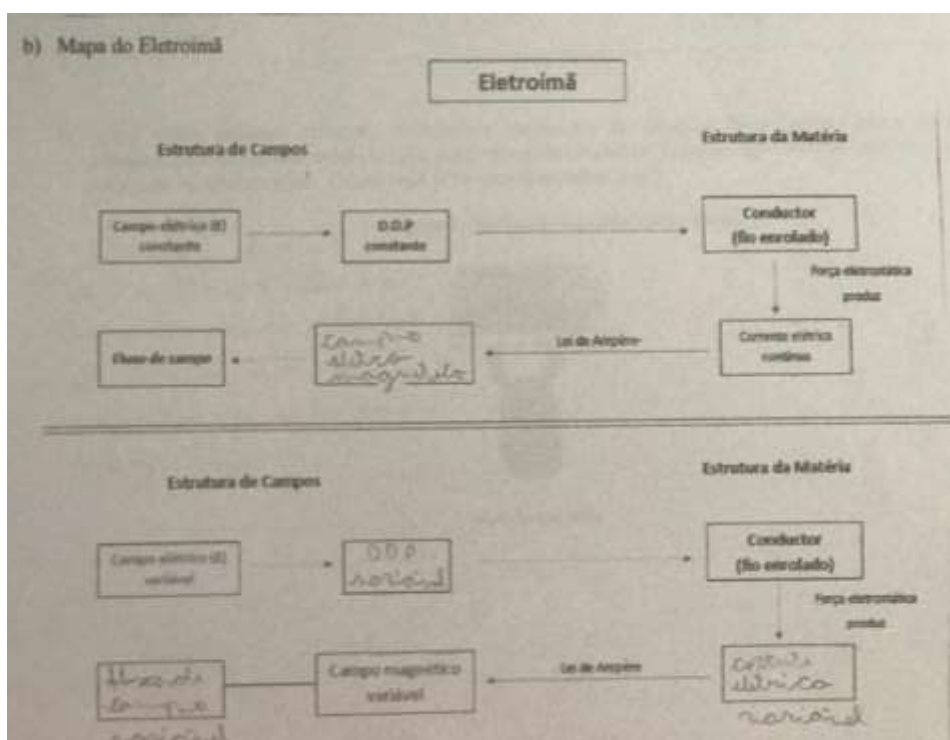


Figura 89-Resposta da questão 6, letra b da avaliação- aluno A16.
 Fonte: Dados dos autores

Dentre os 26 alunos que responderam ao questionário, somente 21 estudantes responderam ter o mínimo de compreensão dos conceitos envolvidos no eletroímã,

enquanto 4 alunos não conseguiram responder corretamente, apresentou-se confusão nos conceitos envolvidos e 1 aluno deixou a questão em branco.

O gráfico 7 mostra que 81% dos estudantes conseguiram completar os conceitos relacionados ao eletroímã. Outros 15% encontraram dificuldades em completar no diagrama os conceitos de campo magnético estático, diferença de potencial, corrente elétrica alternada e fluxo magnético.

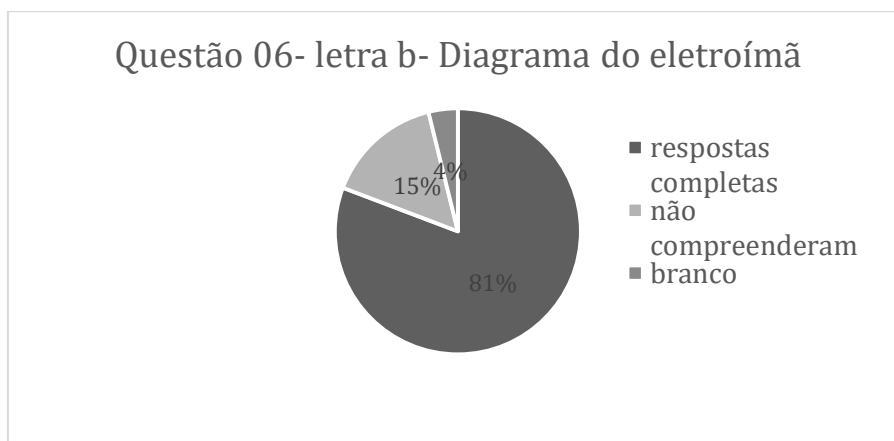


Gráfico 7- Respostas dos alunos à questão 06, letra b- eletroímã
 Fonte: Dados da autora

A sexta questão, letra c, refere-se ao diagrama de conceitos envolvidos no funcionamento da bobina de Tesla que foram trabalhados nas etapas 5 e 6, envolvendo as atividades prático-experimentais. Para ilustrar, seguem as respostas dos alunos A7 e A16.

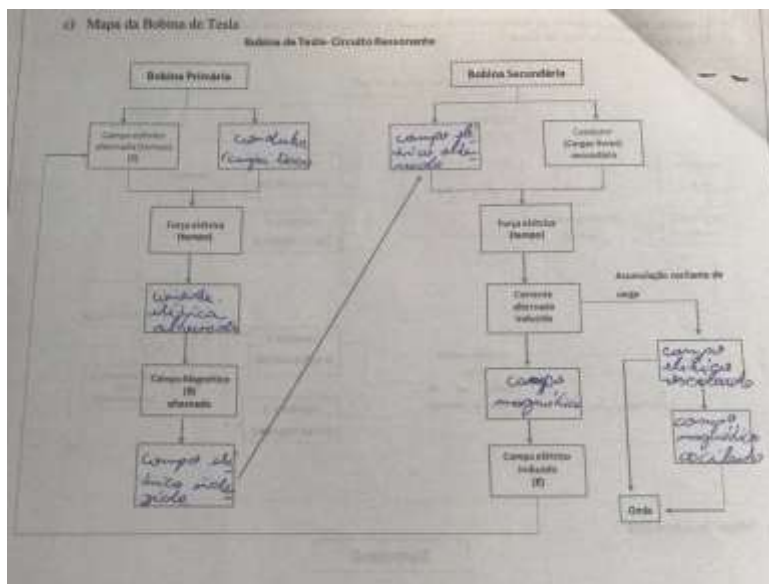


Figura 90-Resposta da questão 6, letra c da avaliação- aluno A7.
 Fonte: Dados da autora

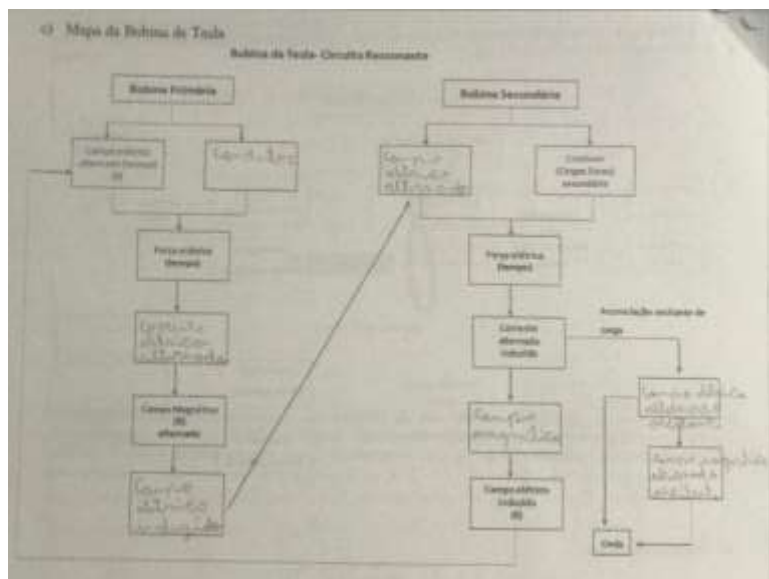


Figura 91-Resposta da questão 6, letra c da avaliação- aluno A16
 Fonte: Dados da autora

As respostas dos alunos, A7 e 16, mostram eles compreenderam os conceitos de corrente elétrica alternada, campo elétrico induzido, campo magnético variável. Neste sentido, dentre os 26 alunos que responderam ao questionário, somente 14 estudantes responderam ter o mínimo de compreensão dos conceitos envolvidos no diagrama da bobina de Tesla e, enquanto 11 alunos não conseguiram responder corretamente, apresentou-se confusão nos conceitos envolvidos e 1 aluno deixou a questão em branco.

O gráfico 8 mostra 54% dos estudantes compreenderam os conceitos envolvidos no diagrama da bobina de Tesla. Outros 42% dos estudantes não compreenderam os conceitos correspondentes a bobina de Tesla e 4% deixaram a questão em branco.

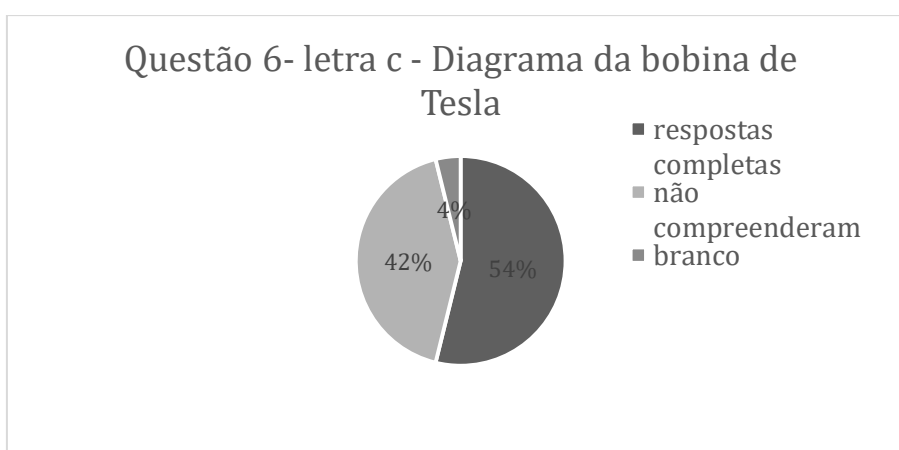


Gráfico 8- Respostas dos alunos à questão 06, letra c- bobina de Tesla
 Fonte: Dados da autora

No capítulo seguinte, faremos nossas considerações finais sobre o aproveitamento dos estudantes, na aplicação do produto educacional.

Capítulo 7

Conclusão

Este trabalho propôs elaborar uma sequência de aprendizagem, fundamentada na aprendizagem significativa ausubeliana, para abordar os conceitos de indução eletromagnética e de campo eletromagnético, com a utilização da bobina de Tesla para a geração e detecção de campos eletromagnéticos.

A parte fundamental da estratégia ausubeliana empregada residiu na utilização do conceito de organizador avançado. Segundo Ausubel, ele serve como instrumento para o aluno desenvolver conceitos subsunçores, a fim de facilitar sua aprendizagem seguinte. Dessa forma, torna-se uma estratégia pedagógica para estabelecer uma ligação entre aquilo que o aluno já sabe e aquilo que precisa saber.

De fato, todos os experimentos por nós utilizados cumpriram precisamente o papel de organizadores avançados que, subsequentemente, foram levando o estudante em estágios cada vez mais abrangentes e sofisticados, sempre tendo, como ponto de partida, o estágio anterior.

A relevância desse trabalho encontra-se na utilização do experimento histórico, inventado por Nikola Tesla em 1890, como recurso didático capaz de proporcionar aos estudantes proximidades dos conceitos abstratos do eletromagnetismo à sua realidade.

O produto gerado com esse trabalho foi aplicado em uma instituição de ensino pública, em uma turma de 3ª. série do Ensino Médio, poderá contribuir para uma aprendizagem significativa em relação à melhoria do ensino de física.

Conforme pôde ser visto nas etapas da sequência, aplicou-se o questionário inicial para fazer uma avaliação qualitativa dos conhecimentos prévios (subsunçores) dos estudantes sobre alguns conceitos do eletromagnetismo. Os estudantes não apresentavam conhecimentos que julgamos ser necessários para aprendizagem da indução eletromagnética e do campo eletromagnético. Em virtude disso, optou-se por realizar atividades com o auxílio do gerador de van de Graaff e do diagrama de conceitos, para discutirmos conceitos de carga elétrica, condutor, isolante, força eletromotriz direta, eletrização, campo eletrostático, diferença de potencial, força elétrica, corrente elétrica, condutividade e resistência.

Os conceitos de corrente elétrica estacionária e alternada e de campo magnético estático e variável foram abordados no laboratório de informática, a partir da descoberta de Oersted, com auxílio do eletroímã, do diagrama de conceitos e do simulador Phet Colorado.

Além desses assuntos, foram incluídos, na sequência de aprendizagem, os conceitos de fluxo magnético, variação do fluxo magnético e indução eletromagnética com auxílio do experimento de Faraday, diagrama de conceitos e do simulador Phet Colorado. Não somente, apresentou-se a bobina de Tesla como um modo de gerar campos elétricos e magnéticos variantes no tempo. Fez-se a comparação entre os princípios de funcionamento e dos efeitos produzidos no gerador de van de Graaff. E conseqüentemente, verificou-se por meio das atividades experimentais à detecção de campos eletromagnéticos oscilantes produzido pela bobina de Tesla, através de antenas.

Por fim, os estudantes foram submetidos a uma avaliação de questões contextualizada abertas que permitiu apresentar algumas evidências da predisposição dos estudantes em aprender o tema da indução eletromagnética e do campo eletromagnético por meio da bobina de Tesla e atividades experimentais no computador.

Considerando a complexidade dos conceitos envolvidos no experimento da bobina de Tesla, procurou-se apresentar uma proposta desafiadora e motivadora para a compreensão fenômenos elétricos e magnéticos a partir da visualização e despertar no aluno para o estudo posterior dos referidos temas.

De maneira geral, a análise das respostas dos estudantes mostrou-se satisfatória a compreensão dos conceitos de campo eletrostático, de corrente elétrica e campo magnético e indução eletromagnética. A maioria dos alunos demonstraram compreensão mínima do campo eletromagnético detectado pelas antenas, nas proximidades da bobina de Tesla. Mas, encontraram dificuldades em descrever o fenômeno ocorrido na bobina de Tesla.

A teoria de aprendizagem significativa mostrou-se como um referencial teórico importante nesse trabalho pelo motivo, uma vez que esta dissertação está fundamentada nela.

Embora esta proposta tenha cumprido os seus objetivos propostos, fica o desafio de continuar a desenvolver atividades, através desta ou de outras experiências, que oportunizem aos estudantes não só uma experiência de caráter exibicionista, mas também

a visualização de fenômenos que possa contribuir para a compreensão dos conceitos físicos como também despertar para uma cultura científica.

Referências

ALL ABOUT CIRCUITS. (s.d.). Disponível em:

<<https://www.allaboutcircuits.com/textbook/direct-current/chpt-3/importance-electrical-safety/>>. Acesso em: 10 jun. 2018.

ARAUJO, M. S. T. D.; ABIB, M. L. V. D. S. Atividades experimentais no ensino de física: diferentes enfoques, diferentes finalidades. **Revista Brasileira Ensino de Física**, São Paulo, 25, june 2003. 176-194.

ARRUDA, S. M.; LABURU, C. E. Considerações sobre a função do experimento no ensino de ciências. In: NARDI, R. (.). **Questões atuais no ensino de ciências**. São Paulo: Escrituras, 1998. p. 53-60.

ARRUDA, S. M.; LABURÚ, C. E. Considerações sobre a função do experimento no ensino de ciências. In: NARDI, R. (Org.). **Questões atuais no ensino de ciências**. São Paulo: Escrituras, 1998, p.53-60.

ARTIGUE, M. Engenharia Didática. In: BRUN, J. **Didática das Matemáticas**. Lisboa: Instituto Piaget, 1996. p. 193-2017.

AUSUBEL, D. P. **Aquisição e Retenção de Conhecimentos**: Uma perspectiva cognitiva. Lisboa: Paralelo, 2003. Disponível em: <http://www.uel.br/pos/ecb/pages/arquivos/Ausubel_2000_Aquisicao%20e%20retencao%20de%20conhecimentos.pdf>. Acesso em 15 de mar 2017.

AUSUBEL, D. P.; NOVAK, J. D.; HANESIAN, H. **Psicologia Educacional**. 2a. ed. Rio de Janeiro: Editora Interamericana, 1980.

AZEVEDO, M. C. P. S. Ensino por investigação: problematizando as atividades em sala de aula. In: CARVALHO, A. M. P. D.; (ORG.) **Ensino de Ciências**: Unindo a pesquisa e a prática. [S.l.]: Cengage Learning, 2004. p. 19- 34.

BALANIS, C. A. **Antenna theory**: analysis and design. 2a.ed. ed. New York: John Wiley & Sons, 1997. Disponível em: <https://cds.cern.ch/record/1416310/files/047166782X_TOC.pdf>. Acesso em: 3 agos. 2018.

BARRETO, J. R. A. **Uma Nova Proposta de recurso didático**: A bobina de tesla para uso em temas do eletromagnetismo. [S.l.]: [s.n.], 2014. Disponível em: <http://bdm.unb.br/bitstream/10483/8144/1/2014_JessicaRayaneAlvesBarreto.pdf>. Acesso em 5 agos. de 2017.

BORGES, Antônio Tarciso. Novos rumos para o laboratório escolar de ciências. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 19, n. 3, p. 291-313, jan. 2002. ISSN 2175-7941. Disponível em: <<https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/6607>>. Acesso em 05 de fev 2018. doi:<https://doi.org/10.5007/%x>.

BORGES, A. T.; GOMES, A. D. T. Percepção de estudantes sobre desenhos de testes experimentais. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 22, n. 1, p. 71-94, 2005. Disponível em: <<https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/6394>> Acesso em 6 agos. 2018.

BRASIL. Ministério da Educação. Diretrizes Curriculares Nacionais da Educação Básica. Brasília: MEC/SENTEC, 2013. Disponível em: <http://portal.mec.gov.br/index.php?option=com_docman&view=download&alias=15548-d-c-n-educacao-basica-nova-pdf&Itemid=30192>. Acesso em 5 abr. 2017.

BRASIL. Ministério da Educação. Parâmetros Curriculares Nacionais – Ensino Médio: Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias. Brasília: MEC/SENTEC, 1999.

BRUNS, D. G. A solidstate lowvoltage Tesla coil demonstrator. *American Journal of Physics*, Colocado, p. 797- 803, september 1992. Disponível em: <http://r9.webtuyau.com/wp-content/uploads/2014/06/AJP609_797_1992_Bruns.pdf>. Acesso em 6 mai 2017.

CASTRO, Fernando Comparsi; FRANCO, Paulo Roberto Girardello. **Antenas** – cap. III. Disponível em: < http://www.epo.pucrs.br/~decastro/pdf/A_C3.pdf> Acesso em 5 out. 2018.

CARVALHO, A. M. P. D. **Ensino de Ciências: Unindo a pesquisa e a prática**. São Paulo: Pioneira Learning, 2013.

CARVALHO, A. M. P. D. O Ensino de ciências e a proposição de sequências de ensino investigativas. In: CARVALHO, A. M. P. D. (.). **Ensino de ciências por investigação: condições para implementação em sala de aula**. São Paulo: Cengage Learning, 2013. p. 1-20.

CARVALHO, M. P. D. et al. **Ciências no Ensino Fundamental: o conhecimento físico**. São Paulo: Scipione, 2005. 199 p.

CHIQUITO, A. J.; LANCIOTTI JR., F. Bobina de Tesla: dos circuitos ressonantes LC aos princípios das telecomunicações. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, 22, março 2000. 69-77. Disponível em: <<http://www.sbfisica.org.br/rbef/pdf/v22a09.pdf>>. Acesso em 5 mai. 2017.

COILS, F. F. T. Inventions & Experiments of Nikola Tesla. **teslaresearch.jimdo.com**. Disponível em: <<https://teslaresearch.jimdo.com/tesla-coils/formulas-for-tesla-coils/>>. Acesso em 2 fev. 2018.

COLLIN, R. E. **Antennas and radiowave propagation**. New York: McGraw-Hill Book, 1985. 508 p. Disponível em: <<https://electrobian.files.wordpress.com/2016/07/antennas-and-radiowave-propagation-collin.pdf>>. Acesso em 05 mai. 2018.

FORMULAS FOR NIKOLA TESLA. Inventions & Experiments of Nikola Tesla. **Teslaresearch**. Disponível em: <<https://teslaresearch.jimdo.com/tesla-coils/formulas-for-tesla-coils/>>. Acesso em 5 abr. 2018.

GALIAZZI, M. C. et al. Objetivos das atividades experimentais no ensino médio: a pesquisa coletiva como modo de formação de professores de ciências. *Ciência & Educação*, v.7, n.2, p.249-263, 2001.

GALIAZZI, M. D. C.; GONCALVES, F. P. A natureza pedagógica da experimentação: uma pesquisa na licenciatura em química. **Química Nova**, 27, n. n.2, 2004. 326-331. ISSN 0100-4042. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-4042200400020002>> Acesso em 25 jun. 2018.

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

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

HODSON, D. **Experimentos na ciência e no ensino de ciências**. *Educational Philosophy and Theory*, 20, 53 -66, 1988.

HODSON, D. Hacia un enfoque más crítico del trabajo de laboratorio. **Enseñanza de las Ciencias**, Barcelona, 12, n. n.3, 1994. 299-313.

HOFSTEIN, A.; LUNETTA, V. N. The Laboratory in Science Education: Foundations for the twenty-first century. **Science Education**, jan. 2004. 28-54. Disponível em: <<http://gpquae.iqm.unicamp.br/gtexperimentacao.pdf>> Acesso em 5 de agos. 2018.

LABURU, C. E.; ARRUDA, S. D. M. A construção de uma bobina de Tesla para uso em demonstrações na sala de aula. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, Londrina, abril 1991. 217-226. Disponível em: <<https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/10008/14550>>. Acesso em 6 mai 2017.

LABURÚ, C. E.; BARROS, M. A.; KANBACH, B. G. **A relação com o saber profissional do professor de física e o fracasso da implementação de atividades experimentais no ensino médio**. *Investigações em Ensino de Ciências*, v. 12, n. 3, p. 305-320, 2007. Disponível em: <<https://www.if.ufrgs.br/cref/ojs/index.php/ienci/article/view/462/266>> Acesso em 5 agos. 2018.

LÜDKE, M.; ANDRÉ, M. E. D. A. **Pesquisa em educação: abordagens qualitativas**. São Paulo: EPU, 1986. Disponível em: <https://moodle.ufsc.br/pluginfile.php/2431625/mod_resource/content/1/Pesquisa%20em%20Educação%20Abordagens%20Qualitativas%20vf.pdf>. Acesso em 5 mar. 2018.

MARTINS, R. D. A. Orsted e a descoberta do Eletromagnetismo. **Cadernos de História e Filosofia da Ciência**, Campinas, outubro 1986. 89-114. Disponível em: <<https://www.cle.unicamp.br/eprints/index.php/cadernos/article/view/1226>>. Acesso em 05 mar. 2018.

MARTINS, R. M. ANT- Antenas e Propagação, 2016. Disponível em: <https://wiki.sj.ifsc.edu.br/wiki/images/1/1f/5_0IFSC_Engenharia_ANT_2016_1.pdf> Acesso em 5 mar. 2018.

MONTEIRO, I. C. C.; MONTEIRO, M. A. A.; GASPAR, A. Atividades experimentais de demonstração e o discurso do professor no ensino de física. **ATas-IV Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências**, Bauru, 25-29 novembro 2003. 1-11. Disponível em: <<http://fep.if.usp.br/~profis/arquivos/ivenpec/Arquivos/Orais/ORAL044.pdf>>. Acesso em 5 agos. 2018.

MOREIRA, M. A. **Teorias de Aprendizagem**. São Paulo: Pedagógica e Universitária, 2015.

MOREIRA, M. A. **A Teoria da Aprendizagem Significativa e sua Implementação em sala de aula**. Brasília: UnB, 2006.

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

MOURA, A. Antenas e Propagação. Disponível em: <https://paginas.fe.up.pt/~amoura/APROWEB/AAM_Param_Fundamentais.pdf>. Acesso em: 05 ago. 2018.

NOVAK, J. D.; CANÃS, A. J. The Theory Underlying Concept Maps and How to Construct. **Práxis Educativa**, Ponta Grossa, jan.- jun. 2010. 9- 29. Disponível em: <https://www.betterevaluation.org/en/resources/guides/concept_mapping/theory_underlying_concept_maps>. Acesso em 5 mai. 2017.

OLIVEIRA, J. R. S. Contribuições e abordagens das atividades experimentais no ensino de ciências: reunindo elementos para a prática docente. **Acta Scientiae**, Canoas, 12, jan./jun 2010. 139-153. Disponível em: <<http://w3.ufsm.br/laequi/wp-content/uploads/2015/03/contribuicoes-e-abordagens-de-atividades-experimentais.pdf>>. Acesso em 3 set. 2017.

ORSTED, H. C. Experiências sobre o efeito do conflito elétrico sobre a agulha magnética. **Cadernos de História e Filosofia da Ciência**, outubro 1986. 115-122.

PENA, F. L. A.; RIBEIRO FILHO, A. Obstáculos para o uso da experimentação no ensino de física: um estudo a partir de relatos de experiências pedagógicas brasileiras publicados em periódicos nacionais da área (1971-2006). *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, v. 9, n. 1, 2009.

PEREIRA, Marcus Vinicius; MOREIRA, Maria Cristina do Amaral. Atividades prático-experimentais no ensino de Física. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 34, n. 1, p. 265-277, maio 2017. ISSN 2175-7941. Disponível em: <<https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/2175-7941.2017v34n1p265>>. Acesso em 26 set. 2018. doi:<https://doi.org/10.5007/2175-7941.2017v34n1p265>.

POLITO, A. M. M. **A construção da Estrutura Conceitual da Física Clássica**. São Paulo: Livraria da Física, 2016.

PURCELL, E. M.; MORIN, D. J. **Electricity and Magnetism**. 3. ed. New York: Cambridge University Press, 2013.

ROCHA, J. F. M. O conceito de campo em sala de aula: uma abordagem histórico-conceitual. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, 31, n. n.1, abril 2009. 1604.1-1604.17. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbef/v31n1/v31n1a13.pdf>>. Acesso em 6 mai. 2017.

ROSITO, B. A. O ensino de ciências e a experimentação. In: MORAES, R (org). **Construtivismo e ensino de ciências: reflexões epistemológicas e metodológicas**. Porto Alegre, EdIPUCRs, 2008.

SILVA, D. S. D. S. **A versatilidade da bobina de Tesla na prática docente do ensino do eletromagnetismo**. Fortaleza: Centro de Ciências e Tecnologia, 2012. 66 p. Disponível em: <http://www.uece.br/fisica/index.php/arquivos/doc_details/138-a-versatilidade-da-bobina-de-tesla-na-pratica-docente-do-ensino-de-fisica>. Acesso em 6 set. 2017.

SILVA, R.T. da; CARVALHO, H.B. de. A indução eletromagnética: análise conceitual e fenomenológica. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 34, n. 4, p. 4314-6, dez. 2012.

SKELDON, K. D.; GRANT, A. I.; SCOTT, S. A. A high potential Tesla coil impulse generator for lecture demonstrations and science exhibitions. **American Journal of Physics**, v. 65, p. 743-754, august 1997. Disponível em: <<https://aapt.scitation.org/doi/pdf/10.1119/1.18645?class=pdf>>. Acesso em 5 set. 2017.

SKINNER, B. F. **Ciência e Comportamento Humano**. 2ª ed. São Paulo: EDART, 1974.

TESLA, N.; CHILDRESS, D. H. **The fantastic inventions of Nikola Tesla**. Illinois: Adventures Unlimited Press, 1993. 224 p.

TILBURY, M. **The ultimate Tesla Coil design and construction guide**. Estados Unidos: McGraw-Hill, 2008.

TOMPSON. Indutance Calculation Techniques- Part I: Classical Methods Power Control and Intelligent Motion, vol. 25, no. 12, December, 199, p. 40-45. Disponível em: <<https://thompsonrd.com/OSEE-inductance.pdf>>. Acesso em 05 out. 2017.

TYNDALL, J. **Faraday as a discoverer**. Toronto: London Longmans, Green, 1870. Disponível em: <<http://www.gutenberg.org/files/1225/1225-h/1225-h.htm>>. Acesso em 5 abr.2018.

VILLALBA, J. M. et al. Estudio experimental de la inducción electromagnética entre dos bobinas: dependencia con la corriente eléctrica. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, 37, 2015. 1313-1 -113-7. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbef/v37n1/0102-4744-rbef-37-01-1313.pdf>>. Acesso em 8 mai. 2018.

Apêndice- Produto Educacional

Guia de Orientação: Produto Educacional

Produto Educacional

Geração e Detecção de Campos Eletromagnéticos por meio da Bobina de Tesla:

Uma proposta de ensino a partir de
organizadores avançados
ausubelianos

Ingrid de Sousa Rodrigues Duarte

Produto Educacional

Apresentação

Caro (a) professor (a),

Apresento-lhe uma proposta de sequência de didática construída em torno de um experimento que inclui a maior parte dos temas associados com o eletromagnetismo

A proposta aborda os conceitos de indução eletromagnética e de campo eletromagnético, através da geração e detecção de campo eletromagnético produzido pela Bobina de Tesla. Para o desenvolvimento do projeto, nos utilizamos da teoria de Aprendizagem Significativa de David Ausubel que parte dos conhecimentos prévios dos estudantes para o estudo do eletromagnético, especificamente, indução eletromagnética e campos eletromagnéticos. Além disso, nos baseamos em diversas referências voltadas para o ensino com utilização de atividades prático-experimentais, os quais foram tomados, por nós, como organizadores avançados. Como marco legal, nos utilizamos da Lei de Diretrizes e Bases e das Diretrizes Curriculares Nacionais.

A ênfase é toda qualitativa, de modo a evitar aspectos do assunto cuja abordagem quantitativa está para além dos requisitos esperados e já possuídos por alunos do ensino médio.

A implementação dessa sequência busca oportunizar aos estudantes não só uma experiência de caráter exibicionista, mas também a visualização de fenômenos que possa contribuir para a compreensão dos conceitos físicos como também despertar para uma cultura científica.

Assim, esse produto fornece elementos mediadores para auxiliar o professor na abordagem do estudo do Eletromagnetismo, em especial, a Geração e Detecção de Campos Eletromagnéticos por meio da Bobina de Tesla.

Saudações,

Prof^a Ingrid de S. R. Duarte

GERAÇÃO E DETECÇÃO DE CAMPOS ELETROMAGNÉTICOS POR MEIO DA BOBINA DE TESLA: UMA PROPOSTA DE ENSINO A PARTIR DE ORGANIZADORES AVANÇADOS AUSUBELIANOS

Ingrid de Sousa Rodrigues Duarte

O material apresentado nesse apêndice é o produto educacional que faz parte da dissertação de mestrado intitulada “Geração e Detecção de Campos Eletromagnéticos por meio da Bobina de Tesla”, apresentada ao Programa Nacional de Mestrado Profissional em Ensino de Física (MNPEF), do polo 1, da Universidade de Brasília.

O nosso produto educacional consiste em uma sequência didática, constituída de sete etapas, para abordar os conceitos de indução eletromagnética e de campo eletromagnético, através da geração e detecção de campo eletromagnético produzido em um experimento histórico que ficou conhecido como Bobina de Tesla. Para isso, construímos uma Bobina de Tesla, elaboramos planos de aula e roteiros experimentais, selecionamos textos de apoio, simulações e vídeos, como elementos facilitadores de aprendizagem, e produzimos atividades que subsidiaram a análise das etapas de aplicação do produto. A ênfase é toda qualitativa, de modo a evitar aspectos do assunto cuja abordagem quantitativa está para além dos requisitos esperados e já possuídos por alunos do ensino médio.

No quadro, a seguir, apresentamos os objetivos de aprendizagem, para cada etapa, acompanhados das atividades realizadas na sequência didática proposta²⁹.

²⁹ Cada etapa pode corresponder a uma ou mais aulas. Isso deve depender do aplicador. Em nosso caso, optamos por fazer corresponder a cada etapa uma aula dupla de 90 minutos de duração.

Quadro 1 - Organização da sequência didática

Número da etapa	Atividades a serem realizadas	Objetivos	Instrumentos e indicadores
(A1)	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Aplicação de questionário de avaliação prévia. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Levantar os conhecimentos prévios para o encaminhamento das etapas seguintes. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Questionário
(A2)	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Realização de atividades práticas (demonstrativa e de verificação) com o experimento do gerador de van de Graaff. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Apresentar, através de atividades prático-experimentais com o gerador (real), os conceitos de carga elétrica, condutor, isolante, força eletromotriz direta, eletrização, campo eletrostático, diferença de potencial, força eletrostática, corrente elétrica e resistência. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Experimento de van de Graaff; ➤ Diagrama de conceitos e esquema do gerador; ➤ Eletroscópio de folhas ou de pêndulo; ➤ Placa de isopor ou outro isolante com cerca de 50 cm²; ➤ Papel de seda picotados; ➤ Canudos de plásticos; ➤ Palito de madeira; ➤ Fita crepe; ➤ Régua plástica; ➤ Borracha; ➤ Lâmpada fluorescente compacta de tubo de vidro; ➤ Roteiro experimental.
(A3)	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Realização de atividades práticas com o simulador - Phet³⁰ Colorado e com o experimento do eletroímã (atividade demonstrativa e de verificação). 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Apresentar, através das atividades prático-experimentais com o eletroímã (real e simulado), os conceitos de campo magnetostático, geração de campo magnético por corrente elétrica estacionária, força magnética entre correntes e materiais magnéticos, força magnética entre correntes e a ideia de Ampère de reduzir magnetos a correntes microscópicas. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Experimento do eletroímã: 2 pilhas, 1 metro de fio de cobre (AVG 24 ou 26), moedas, cliques, tachinha, bússola; ➤ Diagrama de conceitos do eletroímã; ➤ Roteiro de experimental; ➤ Simulador Colorado-Phet – Laboratório de Faraday.
(A4)	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Apresentação da Lei de Faraday – Campo elétrico induzido por variação de fluxo de campo magnético. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Apresentar, através das atividades prático-experimentais com o experimento de Faraday (real e simulado), os 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Experimento de Faraday: 1 bobina de aproximadamente 400 espiras, 2 leds de cores diferentes, fios

³⁰Disponível em: https://phet.colorado.edu/sims/faraday/faraday_pt_BR.jnlp>. Acesso em 5 out. 2017.

	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Realização de atividades práticas com auxílio do simulador Phet³¹ Colorado e do experimento de Faraday (demonstrativa e de verificação). 	<p>conceitos de fluxo magnético e variação do fluxo magnético, força eletromotriz induzida, campo elétrico induzido, corrente elétrica induzida (indução eletromagnética).</p>	<p>conectores, 1 ímã de neodímio;</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Simulador Colorado-Phet – Laboratório de Eletromagnetismo de Faraday. ➤ Roteiro experimental.
(A5)	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Apresentação pelo professor do aparato experimental da Bobina de Tesla (atividade demonstrativa) 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Apresentar, através das atividades prático-experimentais com a bobina de Tesla (real), os conceitos de campos elétrico e magnético variáveis no tempo, gerados pelo acoplamento entre as bobinas e explicados pela indução eletromagnética (Lei de Faraday). 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Bobina de Tesla; ➤ Um par de pêndulos físicos acoplados ➤ Vídeo simulador-comportamento dos campos eletromagnéticos da bobina de Tesla; ➤ Diagramas de conceitos e esquema da bobina de Tesla.
(A6)	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Apresentação comparativa do funcionamento da bobina de Tesla e do Gerador de Van de Graaff (atividade demonstrativa). ➤ Apresentação da Lei de Ampère-Maxwell – campos magnéticos induzidos por corrente de deslocamento e não por correntes reais. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Comparar o Gerador de Van de Graaff com a Bobina de Tesla. ➤ Diferenciar corrente contínua de corrente alternada. ➤ Diferenciar campos estáticos de campos dinâmicos. ➤ Introduzir a noção de corrente de deslocamento e a geração de campo magnético induzido, a partir do campo elétrico oscilante, como um efeito que o gerador carregado não pode produzir. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Gerador de van de Graaff; ➤ Bobina de Tesla; ➤ Roteiros de atividades; ➤ Diagrama de conceitos e esquema dos aparatos. ➤ Roteiro experimental.
(A7)	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Apresentação da Lei de Ampère-Maxwell – campo magnético induzido por variação de fluxo do campo elétrico. ➤ Atividade de detecção do campo eletromagnético através de antenas 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Apresentar, através das atividades prático-experimentais com a bobina de Tesla (real), o modo como a corrente de deslocamento, ou seja, a variação do campo elétrico, produz campo magnético induzido 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Bobina de Tesla; ➤ 1 antena linear; ➤ 1 antena circular; ➤ 1 multímetro; ➤ Diagramas da bobina e das antenas; ➤ Roteiro experimental.

³¹ Disponível em: https://phet.colorado.edu/sims/faraday/faraday_pt_BR.jnlp>. Acesso em 5 out. 2017.

	(atividade de verificação).	(Lei de Ampère-Maxwell).	
		<ul style="list-style-type: none"> ➤ Apresentar o campo eletromagnético (campos elétrico e magnético dinâmicos) como a soma total de todos os efeitos conjuntos envolvidos na lei de Faraday e Ampère-Maxwell. ➤ Apresentar e explicar o funcionamento da antena linear para detecção de campo elétrico dinâmico. ➤ Apresentar e explicar o funcionamento da antena circular para detecção de campo magnético dinâmico. 	
(A8)	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Revisão dos conceitos envolvidos na sequência e avaliação dos estudantes 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Revisar os conceitos vistos em cada etapa. ➤ Aplicar uma avaliação escrita. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Questionário.

Fonte: Elaborado pela autora

A. Etapa 1- Questionário Inicial

A.1. Objetivo

O questionário inicial é composto de 10 questões que buscam verificar os conhecimentos prévios (subsunçores) dos estudantes sobre alguns conceitos do eletromagnetismo fundamentais para o entendimento dos fenômenos de indução eletromagnética e de campo eletromagnético. Esses conceitos são, principalmente, os de carga e corrente elétricas, campo elétrico e magnético estáticos, força eletromotriz direta e corrente alternada. Eles devem servir de ancoragem para os novos conceitos a serem desenvolvidos, ao longo das etapas correspondentes à geração e detecção do campo eletromagnético, com a Bobina de Tesla.

O resultado do levantamento dos subsunçores é, aliás, fundamental para decidir se as etapas dois e três serão ou não necessárias. As etapas dois e três, somente devem ser aplicadas se o professor constatar que os estudantes não possuem o conjunto de subsunçores necessários para seguir a sequência didática a partir da etapa 4.

A.2. Tempo de duração

2 aulas³²

A.3. Organização da turma

Nesta etapa inicial, apresente aos estudantes o objetivo do questionário inicial e peça para que eles resolvam individualmente as questões.

Reserve um tempo para que os estudantes analisem e busquem possíveis soluções para as questões sozinho. Em seguida, analise coletivamente as questões para que todos possam envolver no debate e cheguem a conclusões comuns.

A. 4. Questionário Inicial

³² Uma aula simples corresponde a duração de 45 minutos e uma aula dupla 1h30 minutos de duração

Nome do aluno: _____ Série/turma: ____ Data: __/__/__

Esta atividade tem por objetivo investigar seu conhecimento sobre alguns fenômenos elétricos e magnéticos. Procure responder com cuidado e atenção cada questão.

Questão 01- Um canudo de plástico é atritado contra um maço de algodão. A seguir, ele é aproximado de pedaços de papel, que estão sobre uma mesa. Observa-se que os pedaços de papel são atraídos e acabam grudados ao canudo, como mostra a figura abaixo. Explique essa situação, utilizando em seus argumentos os conceitos de campo elétrico e de força elétrica.

Figura 1- Eletrizção do canudo de plástico



Fonte: autora.

R: Ao esfregar dois corpos temos o processo de eletrização por atrito. Com o atrito, elétrons são transferidos de um material para o outro, surgindo assim um campo elétrico (experimento de eletrização) no qual a região positiva de um material atrai a região negativa do outro.

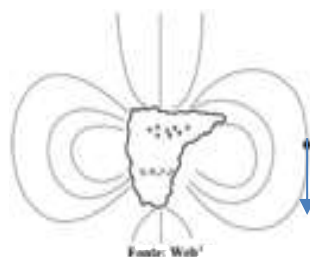
Ao aproximar o canudo dos pedaços de papel, observa-se a ação de uma força de origem elétrica.

Questão 02- Em uma sala de espera, na qual as pessoas ali estão há um bom tempo, um senhor, não aguentando os sapatos apertados, tira-os, ficando só de meias, que, além de furadas, não eram lavadas há mais de uma semana. Logo tomou conta de todo o ambiente uma espécie de “campo de mau-cheiro”, que permaneceu inalterável devido às más condições das meias. Um físico, que estava ao lado do senhor, se afasta desesperadamente. Percebe, no entanto, pelo odor, que a intensidade do mau-cheiro, com relação à sua fonte (as meias fedorentas), apresenta um comportamento idêntico à intensidade do campo elétrico de uma carga puntiforme. Dessa forma, à medida que se afasta da fonte, o que você acha que acontece com a intensidade do campo de mau-cheiro?

R: A intensidade do campo de mau-cheiro diminui na razão inversa do quadrado da distância às meias.

Questão 03- O esquema abaixo representa a distribuição das cargas elétricas no interior de uma nuvem de tempestade e as linhas de seu campo elétrico. Web³³

Figura 2- Distribuição das cargas elétricas numa nuvem



- Indique, com um vetor, a direção e o sentido do campo elétrico no ponto P.
- O que aconteceria com uma gota de água, carregada com carga positiva, ao ser colocada no ponto P,

³³ Unicastelo SP- Adaptada-Osmar Pinto Jr. e Iara de Almeida Pinto. *Relâmpagos*, 1996.

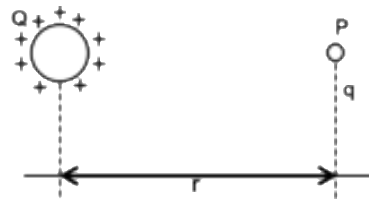
desconsiderando as interações gravitacionais?

R: Observa-se a ação de uma força elétrica agindo sobre a gota e empurrando-a para baixo.

Questão 04- Uma certa quantidade de carga elétrica $Q > 0$, colocada em um corpo esférico, gera um campo elétrico E . Num ponto P , imerso nesse campo, coloca-se uma carga puntiforme q , a uma distância r de Q , que fica sujeita a uma força elétrica \vec{F} . Considerando a figura abaixo, responda:

- a) O que acontece com a intensidade do campo elétrico E , no ponto P , se afastarmos a carga q dali? Justifique.

Figura 3 Carga elétrica (Q) a uma distância da carga puntiforme (q)



R: O campo elétrico não haverá mudança, ou seja, permanecerá o mesmo, porque o campo não depende da carga puntiforme q .

- b) O que acontece com a intensidade do campo elétrico E se aumentarmos o valor da carga q ? Justifique.

R: O campo elétrico só dependerá do valor da carga geradora (Q), ou seja, independe do valor da carga puntiforme (q).

- c) O que acontece com a intensidade do campo elétrico E se aumentarmos a carga Q ? Justifique.

R: A intensidade do campo elétrico aumentará proporcionalmente devido ao aumento do módulo da carga Q .

- d) Indique, na figura, a direção e o sentido do campo elétrico e da força elétrica sobre a carga q .

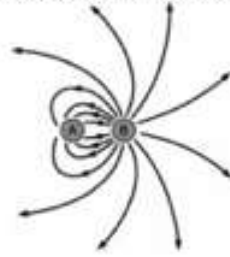
Questão 05- A figura abaixo representa as linhas de campo elétrico de duas cargas puntiformes, sobre um eixo horizontal.

Com base na análise da figura, responda aos itens a seguir:

- a) Quais os sinais de cada carga? Explique seu raciocínio

R.: Como as linhas de força saem das cargas positivas e chegam nas negativas, conclui-se que A (+) e B (+)

Figura 4 - Representação das linhas de campo elétrico



b) Seria possível às linhas de campo elétrico se cruzarem? Justifique.

R.: Não, pois o caso fosse possível haveria diferentes E em cada ponto de cruzamento das linhas de força.

Questão 06- Explique a diferença entre corrente contínua e corrente alternada. Uma bateria fornece uma corrente de que tipo?

Corrente contínua: produzida por um campo elétrico cujo sentido permanece sempre o mesmo. Daí, o sentido da corrente também se manterá inalterado, isto é, as cargas se deslocarão sempre em um mesmo sentido, ao longo do fio. Por exemplo: bateria.

Corrente alternada: produzida por um campo elétrico que muda periodicamente de direção. Daí, as cargas elétricas oscilam, deslocando-se ora em um sentido, ora em sentido contrário. Então, a corrente muda periodicamente de sentido.

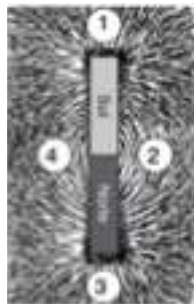
Questão 07- Novos modelos de baterias possibilitam aos usuários explorarem diferentes funções dos celulares, além de proporcionar intervalos maiores entre as recargas. A bateria é um dispositivo que consome energia química para realizar um trabalho sobre as cargas elétricas, elevando a diferença de potencial entre os dois pontos em que se acumulam. Como é chamada a relação entre essas duas grandezas: trabalho e carga elétrica?

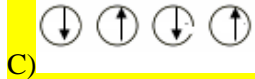
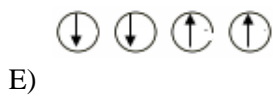
R.: *Força eletromotriz (fem)*

$$\varepsilon = \frac{W}{q}$$

Questão 08- Você pode observar o efeito de um objeto magnético ao colocar um ímã sob uma superfície coberta com partículas de limalha de ferro, fazendo com que elas se alinhem segundo seu campo magnético. Além disso, ao aproximar uma bússola de um ímã, o efeito também é percebido. Então, vamos distribuir 4 (quatro) pequenas bússolas ao redor de um ímã. Desconsidere a influência do campo magnético terrestre. Escolha a alternativa que indica as orientações das agulhas das bússolas 1, 2, 3 e 4, respectivamente, na situação descrita.

Figura 5 Representação do campo magnético





Questão 09- Três ímãs iguais, em forma de barra, com as polaridades indicadas, estão apoiados sobre uma mesa horizontal, vistos de cima, conforme a figura abaixo.

Figura 7 - Representação de três ímãs iguais sobre a mesa.



Uma pequena bússola é também colocada na mesa, no ponto central P, equidistante dos ímãs. Desenhe a orientação da agulha da bússola.

Questão 10- Compare os campos elétrico e magnético quanto às seguintes características:

a) Como são gerados os campos elétricos e magnéticos?

O campo elétrico é gerado pela simples presença de cargas elétricas, estejam elas em movimento ou não. Já o campo magnético é gerado apenas quando as cargas elétricas estão em movimento

b) Como são as configurações das linhas de força do campo elétrico e das linhas de força do campo magnético? Diga se há diferenças e, se existirem, por quê?

As linhas de força do campo elétrico podem ser abertas, já as linhas de força do campo magnético são sempre fechadas.

B. Etapa 2 - Campo Eletrostático: o Gerador de van de Graaff

B.1. Objetivo

A segunda etapa consiste em utilizar o Gerador de van de Graaff para realizar atividades experimentais e discutir os conceitos de carga elétrica, campo eletrostático, força elétrica, condutor, isolante, força eletromotriz direta, eletrização, diferença de potencial, corrente elétrica, condutividade e resistência.

Para organizar e integrar de forma preliminar os fenômenos observados no gerador, deve-se utilizar conjuntamente do experimento e do seu diagrama de conceitos, os quais servem como organizadores avançados.

Os estudantes devem realizar as atividades experimentais dirigidos por um roteiro com perguntas, para que eles possam discutir e refletir sobre os conceitos envolvidos na atividade prática. As perguntas do roteiro têm um duplo objetivo. Primeiro, ajudar na direção da prática. O segundo objetivo é de fornecer ao professor material para verificar se a atividade foi bem-sucedida.

B.2 Materiais utilizados

Para execução dessa etapa, são necessários os seguintes materiais: gerador de Van de Graaff; placa de isopor ou outro isolante com cerca de 50 cm²; papel de seda picotado; eletroscópio de folhas ou de pêndulo³⁴; canudos de plástico; palitos de madeira (para churrasco); isopor para ser picotado; fita crepe; régua plástica e borracha.

B.3 Tempo de duração

2 aulas

³⁴ O eletroscópio de pêndulo consiste em uma pequena esfera metálica, suspensa por um fio. O eletroscópio de folhas consiste em dois segmentos de folha metálica, conectados a um condutor em formato de esfera. Os eletroscópios neutros podem ser usados para detectar a presença de campo eletrostático, mesmo sem um contato com nenhum objeto carregado, por efeito de indução eletrostática. Nesse caso, o pêndulo é atraído pela fonte do campo e as folhas se separam. Tocar os eletroscópios neutros em materiais carregados tem como efeito uma transferência de cargas para o eletroscópio. Essa eletrização por contato (ou seja, condução) se evidencia pela repulsão entre o pêndulo e a fonte de campo ou pelo afastamento das folhas. Portanto, um eletroscópio é sempre um detector da presença de cargas elétricas.

B.4 O Gerador de van de Graaff

O gerador de van de Graaff é descrito como uma máquina eletrostática, idealizada pelo engenheiro Robert Jemison Van de Graaff (1931), com o objetivo de acumular cargas e constituir um campo eletrostático de elevada intensidade. Ele é constituído de um motor capaz de movimentar uma correia, feita de material isolante (figura 1).

A correia é atritada, na parte inferior, por uma escova metálica ligada a um eletrodo (positivo ou negativo). O movimento da correia a eletriza, pelo atrito, e eleva as cargas até o topo do gerador. O trabalho mecânico da correia, por unidade de carga, para levar as cargas elétricas até a esfera do topo do gerador, é chamado de força eletromotriz (ver mapa na figura 2). Ao chegar na parte superior, a correia encontra uma polia, que se encontra dentro da esfera oca. Através de pontas metálicas, a correia eletrizada transfere as cargas para o interior da esfera metálica. Ao se conectar um fio condutor ao topo do gerador, a força eletrostática produzirá uma corrente elétrica (figura 3).



Figura 1- Gerador de van de Graaff
Fonte: Fotografia da autora

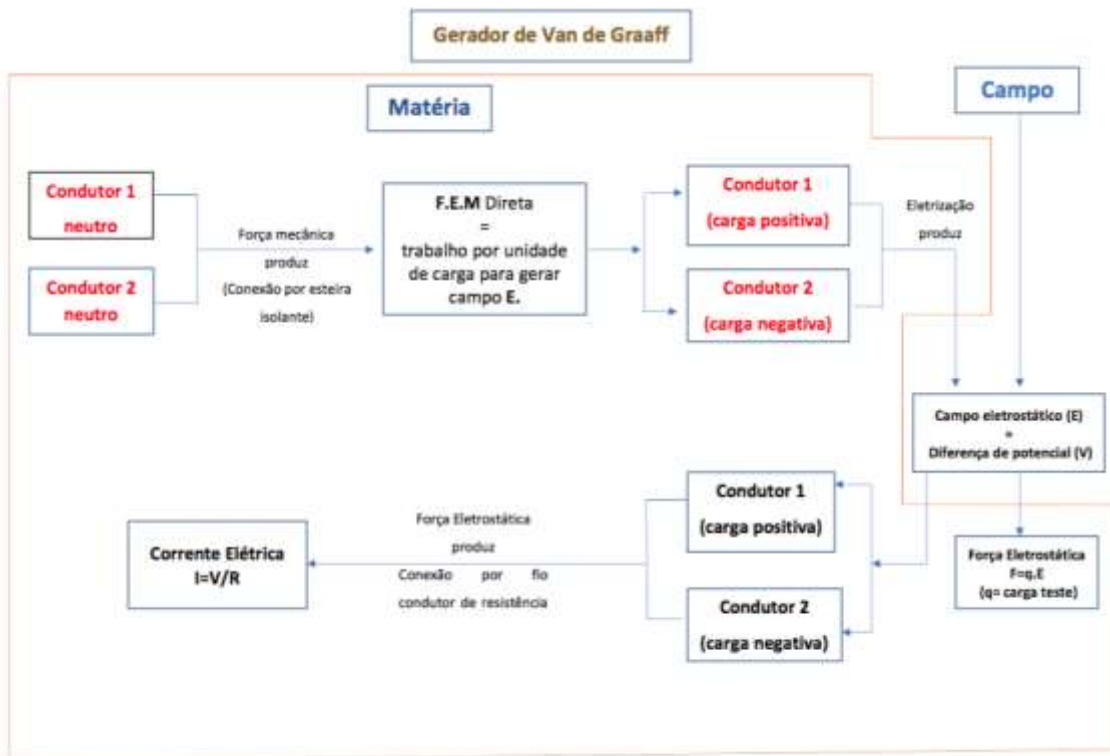


Figura 2- Diagrama de conceitos sobre Gerador de van de Graaff
 Fonte: Elaboração conjunta entre autora e orientador

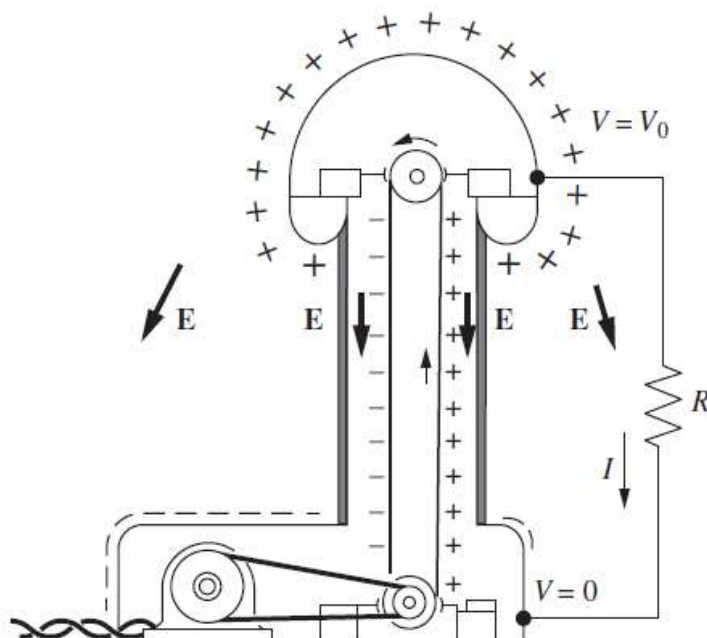


Figura 3- Movimento das cargas no Gerador de Van de Graaff
 Fonte: PURCEL, 2013, p. 209

B.5 Passos de Execução

Os passos de execução dessa etapa da sequência didática são os que se seguem.

- 1°. Antes de acionar o gerador, explique o seu funcionamento, apontando as partes que o constituem e suas funções concomitantemente e com ajuda do seu diagrama de conceitos.
- 2°. Acione o gerador e ajuste os parâmetros para uma carga eficiente. Ele deve permanecer ligado durante todas as atividades, para que a carga em sua cúpula seja mantida.
- 3°. Após carregado, o professor ou o estudante deverão colocar uma das mãos sobre o capacete (cúpula) e, em seguida, com a palma da outra mão, tentar atrair papéis picotados sobre a mesa. Os conceitos a serem abordados aqui devem ser os de carga elétrica, processos de eletrização (atrito, contato e indução eletrostática), força elétrica e campo eletrostático.
- 4°. Repita o terceiro passo, mas, nesse momento, com os pés sobre uma plataforma isolante (pedaço de isopor ou madeira)³⁵.
- 5°. Solicite aos estudantes que reflitam, discutam e respondam à pergunta: “por que é necessário estar com os pés sobre um isolante para realizar o experimento?”. Os conceitos a serem abordados aqui devem ser os de condutores e isolantes.
- 6°. O professor ou os próprios alunos deverão colocar a mão sobre a cúpula e com a outra mão segurar e tocar diversos materiais (canudinho de plástico, papel, palito para churrasco de madeira, pedaço de isopor, régua plástica e borracha) no eletroscópio de folhas ou de pêndulo. Os conceitos a serem abordados aqui devem ser os de condutores, isolantes, força elétrica, campo elétrico e condutividade. Deve ser explicado que mesmo os materiais considerados isolantes têm algum grau de condutividade e é por isso que os materiais utilizados se eletrizam. Na verdade, são dois os efeitos que podem levar a um acionamento do eletroscópio e eles sempre acontecem juntos. O primeiro é justamente a corrente real. O segundo efeito é o de polarização do material isolante, submetido ao campo eletrostático. Contudo, em nenhum caso os materiais utilizados acionam o eletroscópio se a

³⁵ A espessura do material deverá ser considerada.

- mão não for colocada sobre a cúpula. Portanto, o efeito mensurável é devido, na sua maior parte, à eletrização por condução.
- 7°. Solicite aos estudantes que reflitam, discutam e respondam às perguntas: “de acordo com os resultados obtidos no experimento, quais são os materiais condutores e quais isolantes?”; “que considerações pode-se fazer acerca do conceito de material isolante?”
 - 8°. O professor ou estudante deverão aproximar, sem tocar, o eletroscópio da cúpula do gerador ligado e carregado. Os estudantes devem discutir sobre o fenômeno observado e registrar o resultado de suas análises. Os conceitos a serem abordados, aqui, são os de campo e força eletrostática e o de eletrização por indução eletrostática.
 - 9°. Desligue o gerador e coloque um cata-vento elétrico na cúpula do aparato. Ligue-o e observe o que ocorre. O cata-vento elétrico deverá começar a rodar. Solicite aos estudantes que tentem explicar o fenômeno observado. Os conceitos a serem abordados aqui são o de eletrização por contato e uma propriedade dos condutores, conhecida popularmente como o “poder das pontas”. Na verdade, a propriedade é a de que a densidade de cargas, em certas regiões de um condutor de formato arbitrário, é sempre maior quanto mais agudas forem as protuberâncias, em sua superfície.
 - 10°. Segure uma lâmpada fluorescente compacta de tubo de vidro e aproxime-a da cúpula eletrizada. Ela deverá acender. Explique o fenômeno, com base na ideia de ionização do gás no interior da lâmpada, a partir de sua exposição ao campo eletrostático. (O campo elétrico gerado pela esfera carregada decai com a distância. As extremidades da lâmpada ficam sujeitas a uma diferença de potencial, necessária para o seu funcionamento. O gás no interior da lâmpada incandesce.) Os conceitos a serem abordados aqui são o de potencial e diferença de potencial elétrico e de ionização.
 - 11°. Fixe, com fita crepe, tiras de papel seda, em torno do gerador de Van de Graaff. Ligue-o e discuta, com os estudantes, o fenômeno observado. Os conceitos a serem abordados aqui são o de campo elétrico e linhas de força elétrica.
 - 12°. Por fim, deve-se retomar todos os conceitos discutidos no experimento, com o auxílio do diagrama de conceitos e do esquema do Gerador de Van de

Graaff, de modo a realizar uma integração de todos eles em torno da ideia do experimento (organizador avançado).

B.6. Roteiro Experimental

Atividade: Campo Eletrostático: o Gerador de Van de Graaff

Objetivo: Entender o funcionamento do gerador de van de Graaff relacionando-o com os conceitos de eletrização, campo elétrico, força elétrica e força eletromotriz direta.

- Eletrização por atrito – A correia do gerador de van de Graaff se eletriza por atrito com os roletes inferiores e transporta as cargas para a esfera oca de metal.
- Eletrização por contato – Colocar a mão sobre a esfera (ou tocá-la com um condutor), em seguida, tentar atrair papel picotado com a palma da mão.

Questão 1- Por que é preciso estar com os pés sobre um pedaço de isopor para realizar esse experimento?

Aproxime uma esfera, ou disco metálico, do domo eletrizado. Toque, com um dedo, o lado oposto do disco ou da esfera. Verifique a eletrização com o eletroscópio.

Questão 2- Explique o mecanismo de eletrização ocorrido no disco (ou na esfera).

- Coloque uma mão sobre o domo (ou toque-a com um condutor). Com a outra mão, toque o eletroscópio, com cada um dos materiais relacionados. Anote o que você observou com cada material abaixo:

Canudinho plástico

Madeira

Régua de plástico

Papel

Isopor

Borracha

Questão 3- De acordo com os resultados acima, quais são os materiais que se mostraram como condutores e quais os que se mostraram como isolantes?

Condutores:

Isolantes:

Questão 4 - Que consideração você pode fazer acerca do conceito de material isolante?

- Coloque sobre a esfera eletrizada um cata-vento elétrico.

Questão 5- O que você observa?

Questão 6- Qual a explicação para o fenômeno observado?

- Segure uma lâmpada fluorescente compacta pelo tubo de vidro e aproxime-a da esfera eletrizada.

Questão 7- Que fenômenos podem ser observados?

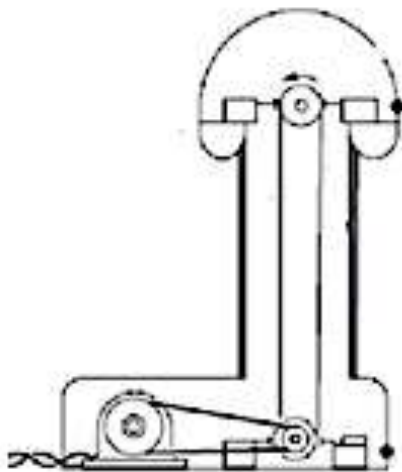
Questão 8- Qual a explicação para os fenômenos que você observou?

- Troque o domo cinza do gerador pelo domo cromado, onde foram coladas tiras finas de papel seda. Ligue o gerador.

Questão 9- Qual é a direção do campo elétrico criado em torno da esfera, observado com as tiras de papel? Por que as tiras se movimentaram?

Questão 10 - O trabalho mecânico da correia, por unidade de carga, para levar as cargas elétricas até o domo é chamado de _____.

Questão 11- Indique o sentido do campo elétrico e a corrente elétrica quando o gerador estiver nesta configuração.



C. Etapa 3 - Campo Magnetostático: o Eletroímã

C.1 Objetivo

A terceira etapa consiste em utilizar o experimento do eletroímã e o simulador disponível no *Phet* Colorado (Laboratório de Faraday) para realizar as atividades prático-experimentais e discutir os conceitos de campo magnético e de sua geração por corrente elétrica, bem como de força magnética entre correntes e materiais magnéticos, força magnética entre correntes e a ideia de Ampère de redução de magnetos a correntes microscópicas.

Da mesma forma que no caso do gerador de Van de Graaff, o experimento do eletroímã e seu diagrama de conceitos são considerados por nós como organizadores avançados e devem ser utilizados conjuntamente para organizar e integrar de forma preliminar os fenômenos observados.

Os estudantes devem realizar as atividades experimentais dirigidos por um roteiro com perguntas para que eles possam discutir e refletir sobre os conceitos envolvidos na

atividade prática³⁶. As perguntas do roteiro têm, igualmente, o duplo objetivo de ajudar na direção da prática e fornecer ao professor material para verificar se a atividade foi bem-sucedida.

C.2 Materiais utilizados

Para execução dessa etapa, são necessários os seguintes materiais: 2 pilhas, 1 metro de fio de cobre (AVG 24 ou 26), lápis, moedas, cliques, tachinha, bússola e o aplicativo Phet Colorado - Laboratório de Eletromagnetismo de Faraday.

C.3. Tempo de Duração

2 aulas

C.4 O Eletroímã

O eletroímã é uma bobina³⁷ (solenóide) que, quando percorrida pela corrente elétrica, gera campo magnético (figuras 4 a 6). No interior do solenóide, o campo magnético é aproximadamente uniforme e o seu sentido é determinado pela regra da mão direita.

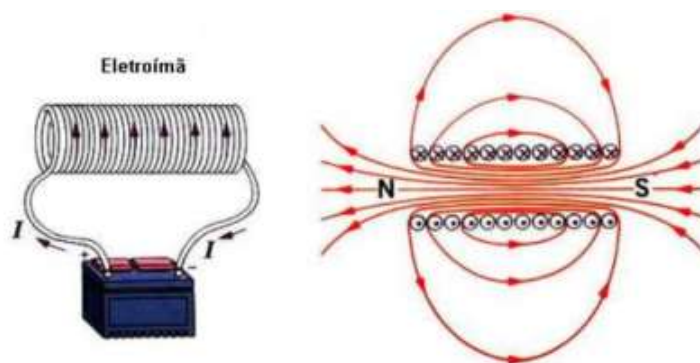


Figura 4- Um modelo de eletroímã
Fonte: Web³⁸

³⁶ De fato, o roteiro experimental que foi elaborado possui, também, uma introdução à ideia de campo magnético variável, mais precisamente, oscilante, pois a simulação também permite o uso de corrente alternada. Esse tema é considerado, por nós, opcional, pois a etapa não prevê a abordagem desse conceito, nesse momento.

³⁷ É um fio condutor esmaltado enrolado em sucessivas espiras, em forma de hélice. As espiras estão muito próximas uma da outra.

³⁸ Disponível em: <<http://s3.amazonaws.com/magoo/ABAAAAGxkAH-0.jpg>> Acesso em 2 de agosto de 2018.

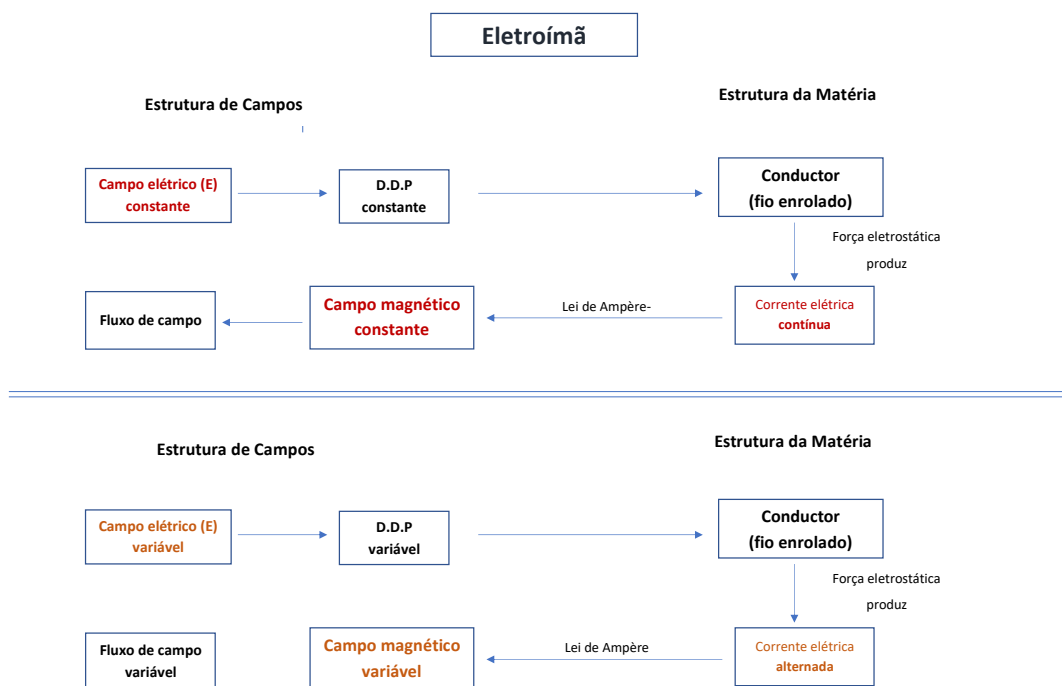


Figura 5- Diagrama de conceitos do eletroímã
 Fonte: Elaboração conjunta entre autora e orientador

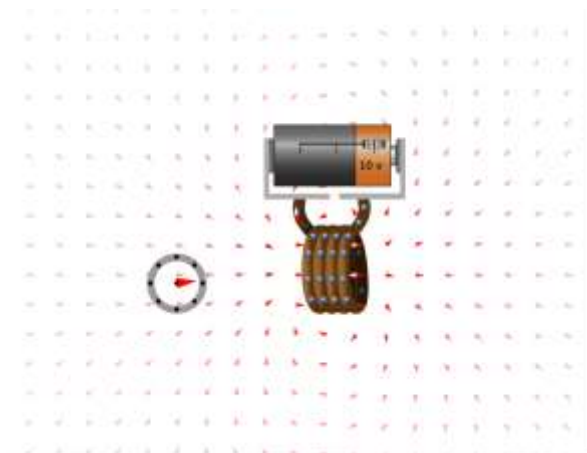


Figura 6– Eletroímã – Laboratório de Eletromagnetismo virtual
 Fonte: Phet Colorado

Também utilizamos o simulador disponível no *Phet Colorado* (Laboratório de Faraday) para simular esse experimento (figura 6). Cada estudante deverá fazer tentativas e avaliar as possibilidades a fim de perceber as grandezas que estão influenciando o funcionamento do eletroímã em dois momentos: ligado à corrente contínua e à corrente alternada.

O primeiro momento da atividade consiste em manusear a bússola ao redor do eletroímã ligado à corrente contínua e, em seguida, manter a bússola em repouso e movimentar o eletroímã e registrar as conclusões feitas após a observação. O segundo momento da atividade consiste em utilizar o eletroímã ligado à corrente alternada e observar o comportamento do campo magnético e da bússola nessa situação.

Dentre o que se espera alcançar com essas atividades, encontram-se duas ideias fundamentais, devidas a Ampère: que o solenoide eletroímã se comporta de forma idêntica a um magneto e que, baseado nessa constatação, pode-se conjecturar que um magneto interage com uma corrente porque ele mesmo é constituído de correntes elétricas (microscópicas). A verdadeira natureza da força magnética seria, portanto, a de força entre correntes elétricas.

C.5 Passos de Execução

Os passos de execução dessa etapa da sequência didática são os que se seguem.

- 1°. Para realizar esta atividade, primeiramente, deve-se construir um eletroímã. Enrole 5 voltas do fio de cobre no lápis, deixando 15 cm de comprimento de fio nas extremidades. Raspe as pontas do fio para obter os contatos.
- 2°. Inicie a etapa apresentando o fenômeno ação mútua entre corrente e magneto, envolvido no experimento de Oersted. Os conceitos a serem abordados devem ser os de corrente elétrica estacionária, campo magnetostático gerado por corrente estacionária e força magnética.
- 3°. Mostre aos estudantes que é possível reproduzir um efeito semelhante, criando um ímã, a partir da corrente elétrica, utilizando o eletroímã.
- 4°. Antes de utilizar o eletroímã, explique o seu funcionamento, apontando as partes que o constituem e suas funções concomitantemente e com ajuda do seu diagrama de conceitos. Nesse momento, deve-se explicar o conteúdo de duas ideias de Ampère: que a força magnética é, na verdade, uma força entre correntes e que um magneto pode ser explicado em como um conjunto de correntes microscópicas.
- 5°. Antes de ligar o eletroímã, aproxime a bússola do solenoide na posição perpendicular ao eixo da bobina. Em seguida, ligue as extremidades do solenoide à pilha e observe o movimento da agulha da bússola. Os conceitos a serem

abordados devem ser os de corrente elétrica estacionária, campo magnetostático gerado por corrente estacionária e força magnética.

- 6°. Uma atividade complementar, e optativa, consiste em inserir uma barra de ferro (prego, etc.) dentro do solenoide. Aproxime a bússola das extremidades do prego. Conecte a pilha e observe o fenômeno. Use a barra para atrair clips, moedas e tachinhas. Explique a função da barra de ferro apenas como um reforçador da intensidade do campo magnético, produzido pelo eletroímã, através do efeito de imantação. (Não é previsto entrar em detalhes sobre o comportamento de materiais ferromagnéticos.)
- 7°. Acesse o site do Phet Colorado e instale o aplicativo “Eletromagnetismo de Faraday”, disponível livremente pela Universidade do Colorado. Acesse o experimento virtual “Eletroímã”.
- 8°. No aplicativo, solicite aos alunos que realizem a atividade com o auxílio do roteiro da atividade, para reflexão, discussão e tomada de conclusões. Os conceitos de campo magnético estático, linhas de campo magnético, correntes elétricas contínua e alternada devem ser abordados. (O simulador apresenta também a opção de corrente alternada. Logo, uma primeira introdução ao conceito de campo magnético variável já pode ser feita, nesse momento.)
- 9°. Por fim, deve-se retomar todos os conceitos discutidos no experimento, com o auxílio das simulações, do diagrama de conceitos e do esquema do eletroímã, de modo a realizar uma integração de todos eles em torno da ideia do experimento (organizador avançado).

C.6 Roteiro Experimental

Atividade: Campo Magnetostático: o Eletroímã

Objetivo: explorar o fenômeno de geração de campos e forças magnéticas, a partir de correntes contínua e alternada, por meio da realização de experimentos virtuais em sala de aula.

Conceitos abordados: campo magnético e de sua geração por corrente elétrica, força magnética entre correntes e materiais magnéticos, força magnética entre correntes.

Vamos explorar livremente a simulação do eletroímã. A tela deve ser semelhante a essa figura 01, que pode ser encontrada no site do Laboratório de Eletromagnetismo de Faraday, Phet Colorado³⁹.



Figura 1- Demonstração do fenômeno do Eletroímã.
Fonte: Phet Colorado

Selecione a aba *Eletroímã*.

Selecione a *fonte de corrente contínua (DC)*.

Selecione, inicialmente, apenas “*mostrar bússola*” e “*mostrar elétrons*”.

- 1) Marque na fonte 0 V e movimente a bússola. Observe se ocorrem mudanças na posição da agulha magnética. Anote as suas observações e conclusões.

- 2) Agora, aumente a tensão para 7 V (para a esquerda) e movimente a bússola. Observe a agulha da bússola e o movimento dos elétrons. Registre suas observações.

- 3) Mude a chave da fonte para 7 V (para a direita). O que aconteceu com o movimento dos elétrons? O que ocorreu com a bússola?

- 4) Explique a mudança na posição da agulha magnética da bússola.

- 5) Desenhe a representação do campo magnético gerado pelo eletroímã.

- 6) Agora selecione “*mostrar campo*”. Sua representação do campo magnético corresponde ao que você está observando?

³⁹ Disponível em: https://phet.colorado.edu/sims/faraday/faraday_pt_BR.jnlp>. Acesso em 5 out. 2017.

Agora selecione a *fonte de corrente alternada (AC)*.

Selecione, inicialmente, apenas “*mostrar bússola*”.

- 1) Observe o que ocorre com a posição da agulha magnética, para cada posição escolhida para a bússola. Anote as suas observações e conclusões.

- 2) Selecione agora “*mostrar elétrons*”. Observe e registre suas conclusões.

- 3) Coloque o “*medidor do campo magnético*”. Compare com as medidas de campo magnético na fonte contínua e registre suas conclusões.

- 4) Explique as mudanças na posição da agulha magnética da bússola.

- 5) Desenhe uma representação do campo magnético gerado pelo eletroímã, nessa condição de corrente alternada. Qual é a diferença, quando se compara com o caso da corrente contínua?

- 6) Agora selecione “*mostrar campo*”. Sua representação do campo magnético corresponde ao que você está observando?

D. Etapa 4- Indução Eletromagnética: o Experimento de Faraday

D.1 Objetivo

A partir da etapa quarta, inclusive, todas as demais etapas da sequência didática são obrigatórias. É na quarta etapa que o conceito de indução eletromagnética será apresentado pela primeira vez aos alunos. Ela consiste em utilizar o experimento de Faraday de indução eletromagnética por movimentação relativa e o simulador disponível no *Phet Colorado*⁴⁰ (Laboratório de Faraday).

Da mesma forma que nos casos do gerador de Van de Graaff e do eletroímã, o experimento de indução por movimentação relativa e seu diagrama de conceitos (figuras 7 a 9) são considerados por nós como organizadores avançados e devem ser utilizados conjuntamente para organizar e integrar de forma preliminar os fenômenos observados.

Os estudantes devem realizar as atividades práticas e experimentais dirigidos por um roteiro com perguntas para que eles possam discutir e refletir sobre os conceitos envolvidos na atividade prática. As perguntas do roteiro têm, igualmente, o duplo objetivo de ajudar na direção da prática e fornecer ao professor material para verificar se a atividade foi bem-sucedida.

D.2 Materiais utilizados

Para execução dessa etapa, são necessários os seguintes materiais: 1 bobina de aproximadamente 400 espiras, 2 leds de cores diferentes, fios conectores, 1 ímã de neodímio e o aplicativo *Phet Colorado- Laboratório de Eletromagnetismo de Faraday*.

D.3 Tempo de Duração

2 aulas

D.4 O experimento de Faraday

Essa etapa consiste em utilizar o experimento de Faraday de indução eletromagnética por movimentação relativa e o simulador disponível no *Phet Colorado*⁴¹ (Laboratório de Faraday) para descrever duas situações aparentemente distintas: indução

⁴⁰ Disponível em: < https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/legacy/faraday > Acesso em: 5 out. 2017.

⁴¹ Disponível em: < https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/legacy/faraday > Acesso em: 5 out. 2017.

eletromagnética por movimentação do magneto (e eletroímã) em relação a um circuito em repouso e indução eletromagnética por movimentação do circuito em relação a um magneto (e eletroímã) em repouso.

O experimento não é desenhado para medir as intensidades das correntes induzidas, mas apenas para indicar sua passagem, ora em um sentido, ora no sentido oposto. A intensidade das correntes induzidas, medidas com um voltímetro, será abordada com o uso da simulação.

A essência dessa etapa consiste em apresentar a Lei de Faraday como uma regra que descreve como ocorre a geração de corrente elétrica num condutor por meio de um recurso diferente daquele que já era conhecido pelos alunos, ou seja, por meio de “baterias”. Os estudantes devem entender que se pode gerar corrente elétrica apenas pela movimentação relativa entre um condutor e um campo magnético.

Nesse experimento, se mostrará aos estudantes uma bobina retangular, ligada apenas a dois leds de cores diferentes, e um ímã de neodímio, para representar a lei de Faraday e se discutirá o motivo dos leds acenderem (figura 7).



Figura 7- Uma bobina retangular e cinco ímãs de neodímio
Fonte: Fotografia da autora

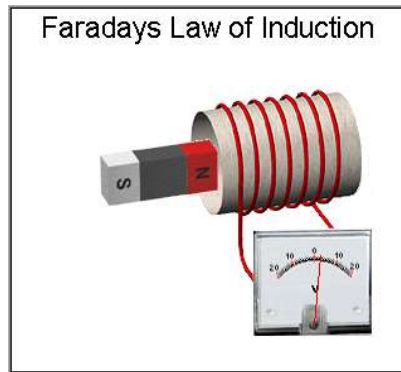


Figura 8 - Esquema do circuito de Faraday
 Fonte: Web⁴²

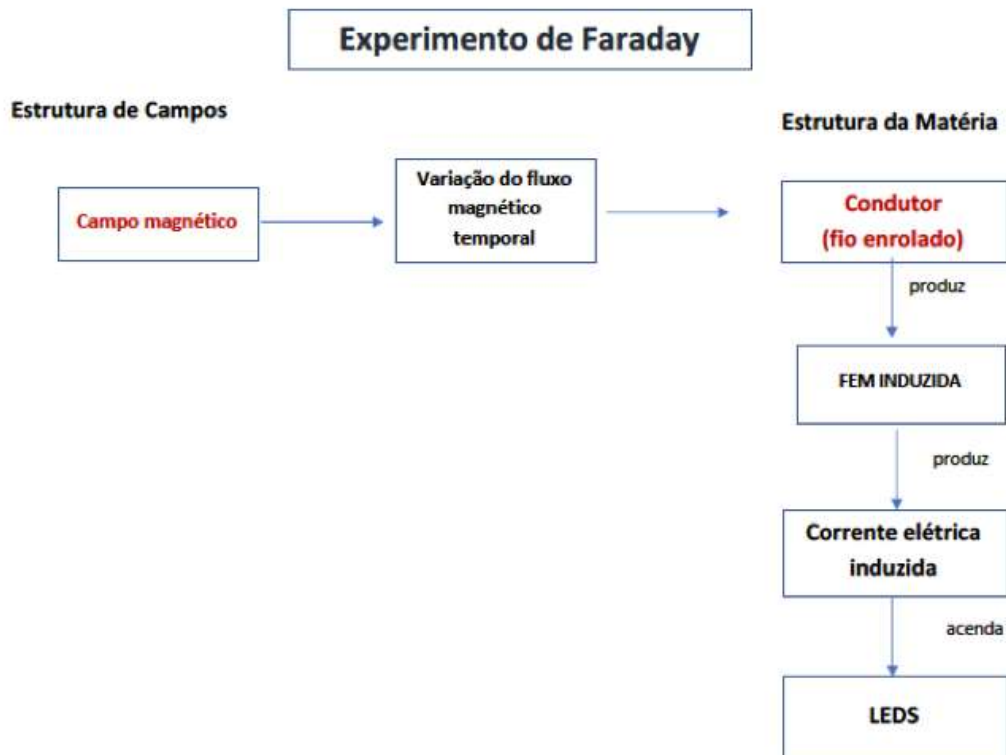


Figura 9 - Diagrama de conceitos para o experimento de Faraday
 Fonte: Elaborado conjuntamente pela autora e orientador

D.5 Passos de Execução

Os passos de execução dessa etapa da sequência didática são os que se seguem.

⁴² Disponível em: <<http://way2science.com/faradays-laws-of-electromagnetic-induction/>>. Acesso em: 05 out. de 20

- 1°. Primeiramente, deve-se construir a bobina e conectá-la a um circuito em que dois leds, de cores diferentes, permitam a passagem da corrente nos dois sentidos da bobina. Explique que a função dos leds é a de permitir a passagem de corrente elétrica apenas em uma direção do circuito, de modo que apenas um dos leds se acenderá: um deles detecta a aproximação e o outro detecta o afastamento entre magneto e bobina.
- 2°. A etapa se inicia com a apresentação do fenômeno de indução eletromagnética. Posicione a bobina e o ímã, ambos em repouso, dentro e fora da bobina. Observe que, enquanto permanecem em repouso relativo, os leds permanecem apagados. Introduza, nesse momento, o conceito de fluxo magnético, observando que as linhas de campo magnético do ímã passam por dentro da bobina e que isso, por si só, não provoca nenhum efeito.
- 3°. Em seguida, aproxime e afaste o ímã da bobina em repouso. Observe o acendimento de um dos leds. Chame a atenção de que não há nenhuma fonte externa para explicar a corrente elétrica gerada pelo movimento do ímã.
- 4°. Em seguida, chame a atenção de que o fluxo de campo magnético através da bobina muda somente quando o ímã é movido. Por fim, introduza os conceitos de campo elétrico induzido, força eletromotriz e corrente elétrica induzidas pela variação de fluxo de campo magnético, denominando o fenômeno completo de indução eletromagnética.
- 5°. Execute movimentos do ímã, em sentidos opostos, com a bobina em repouso, observando que o acendimento alternante dos leds de cores diferentes indica a passagem de corrente ora em um sentido, ora no sentido oposto. Nesse momento, deve-se abordar novamente o conceito de corrente elétrica alternada.
- 6°. Repita todo o procedimento, dessa vez, com o ímã em repouso e a bobina em movimento, para que fique claro que a origem do fenômeno de indução eletromagnética é o movimento relativo.
- 7°. Explique que as correntes induzidas também produzem campos magnéticos e que sua direção (regra da mão direita) é tal que a reação da bobina é sempre no sentido de manter o fluxo magnético original (lei de Lenz), ou seja, zero.

- 8°. Acesse o site do Phet Colorado e instale o aplicativo “Eletromagnetismo de Faraday”, disponível livremente pela Universidade do Colorado. Acesse o experimento virtual “Solenóide”.
- 9°. Com o uso do experimento virtual, será possível, agora, “verificar”, além do sentido, também a intensidade das correntes induzidas por movimentação relativa, pois ao circuito estará conectado um voltímetro.
- 10°. Solicite aos alunos que verifiquem, discutam e reflitam sobre a influência das condições envolvidas, tais como distância, posição, orientação e velocidade relativas, entre ímã e bobina, nos valores observados das correntes induzidas. Solicite também que alterem a área da seção reta do solenóide e verifique o que ocorre. Por fim, solicite que façam a relação entre o número de voltas, a área da bobina e a força eletromotriz induzida.
- 11°. Por fim, deve-se retomar todos os conceitos discutidos no experimento, com o auxílio das simulações, do diagrama de conceitos e do esquema do experimento de Faraday, de modo a realizar uma integração de todos eles em torno da ideia do experimento (organizador avançado).

D.6 Roteiro Experimental

Atividade: Indução Eletromagnética: o Experimento de Faraday

Objetivo: Explorar, qualitativamente, os fenômenos de indução eletromagnética, por meio da realização de experimentos virtuais em sala de aula.

Conceitos abordados: campo magnético, fluxo de campo magnético, variação de fluxo de campo magnético, campo elétrico induzido e indução eletromagnética.

Vamos explorar livremente a simulação da lei de Faraday. A tela deve ser semelhante a essa figura 01 que pode ser encontrada no site do Laboratório de Eletromagnetismo de Faraday, Phet Colorado⁴³.

⁴³ Disponível em: https://phet.colorado.edu/sims/faraday/faraday_pt_BR.jnlp>. Acesso em 5 out. 2017.

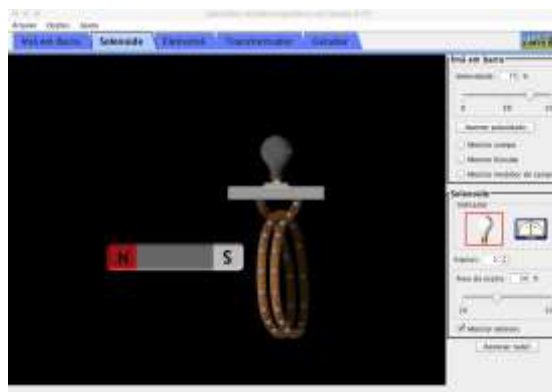


Figura 1- Demonstração do fenômeno de indução eletromagnética

Fonte: Phet Colorado

Selecione Solenoide.

Clique em lâmpada.

➤ Indicador- Lâmpada

A. Ímã em movimento

1. Você dispõe de um ímã de barra e uma bobina de fio conectada a uma lâmpada incandescente. Encontre uma maneira de acender a lâmpada. Anote sua conclusão.

2. A bobina ou ímã de barra parecem estar criando corrente elétrica? Como você pode verificar isso? Explique.

3. Você primeiro irá movimentar o ímã para dentro do solenoide e observar o que acontece com o brilho da lâmpada. Como se explica o acender da lâmpada associado ao movimento do ímã?

Agora, retire o ímã de dentro do solenoide e observe o que acontece com o brilho da lâmpada? Como se explica esse fenômeno?

4. Após mover-se o ímã, ele é levado novamente ao repouso. O que ocorre com o brilho da lâmpada? Registre sua conclusão.

B. Ímã em repouso e o solenoide em movimento.

5. Movimente o solenoide, com o ímã em repouso. O que acontece com o brilho da lâmpada? Explique essa situação e compare com a situação anterior.

➤ Indicador - Tensão.

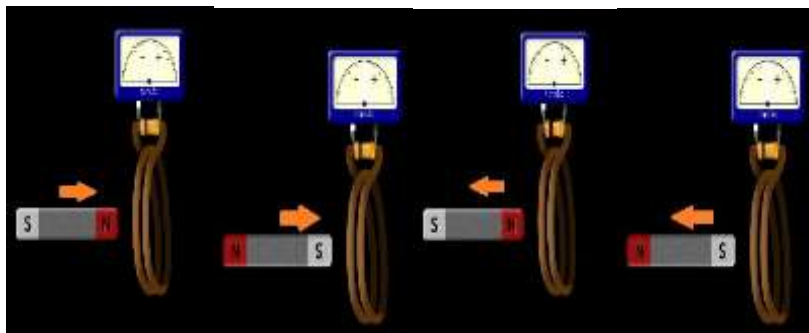
C. Ímã em movimento e o solenoide em repouso.

6. Mova a barra de ímã na direção do solenoide e verifique a variação de tensão enquanto você movimentava o ímã.

a) Como se explica o movimento do ponteiro da tensão associado ao solenoide?

b) Aumente e diminua a velocidade de movimento do ímã de barra dentro do solenoide. Ocorre alguma mudança ao se mover o ímã de forma lenta ou rápida? Explique.

c) Indique, nas situações das figuras (a), (b), (c) e (d), o que acontece com o ponteiro da tensão e o sentido da corrente no fio do solenoide.



(a)

(b)

(c)

(d)

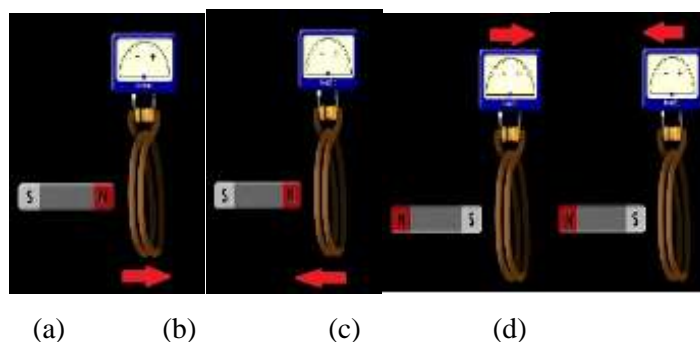
d) Aumente o número de espiras para 3 e repita o procedimento com o ímã de barra. Verifique se ocorre alguma mudança nos resultados. Qual seria a relação entre o número de voltas e o valor medido da tensão?

e) Agora, vamos aumentar o tamanho da área da espira e repetir o procedimento com o ímã de barra ao aproximá-lo para dentro do solenoide. Registre o que aconteceu e anote as suas conclusões.

D. Ímã em repouso e solenoide em movimento.

7. Considere agora o ímã parado e o solenoide em movimento. Aproxime o solenoide do ímã de barra. Explique o que ocorre no solenoide.

8. Indique, nas situações das figuras (a), (b) (c) e (d) o que ocorre com o ponteiro da tensão e o sentido da corrente no fio do solenoide.



9. Relacione esse fenômeno com alguma aplicação do nosso cotidiano.

E. Etapa 5 – Indução Eletromagnética: Apresentação dos Efeitos Imediatos do Acoplamento Indutivo na Bobina de Tesla

E.1 Objetivo

A etapa cinco consiste em apresentar o experimento e a simulação⁴⁴ da bobina de Tesla, de forma demonstrativa, em nível introdutório, levando em conta os aspectos mais gerais do eletromagnetismo com as seguintes perguntas gerais a serem respondidas: “Como é a geração de energia eletromagnética na bobina de Tesla? De onde ela vem?”

O aparato experimento é um instrumento que servirá como exemplo no qual os conceitos a serem ensinados, a saber, indução e campo eletromagnético, serão observados experimentalmente.

⁴⁴ Disponível em: < <https://www.youtube.com/watch?v=VrUQjQEMho4>>. Acesso em: 6 out. 2017.

Da mesma forma que nos experimentos anteriores, o experimento da bobina de Tesla e seus diagramas de conceitos e de circuito (figuras 10 a 16), acompanhados da simulação, são considerados por nós como organizadores avançados e devem ser utilizados conjuntamente para organizar e integrar de forma preliminar os fenômenos observados.

A essência dessa etapa consiste em mostrar que a Lei de Faraday age, no experimento de Tesla, promovendo geração de corrente alternada na bobina secundária, por acoplamento indutivo com a bobina primária.

Os efeitos imediatos produzidos na e pela bobina secundária são os seguintes. Primeiramente, ocorre a produção de um campo magnético variável, dentro e fora da bobina secundária, em virtude da corrente alternada percorre a bobina primária. Em seguida, em razão da indução eletromagnética, um campo elétrico induzido é gerado, em todo o espaço. Esse efeito é devido somente à bobina primária. Esse campo elétrico induzido gera, na bobina secundária, uma corrente elétrica induzida, cuja direção é dada pela reação à variação de fluxo magnético original. A corrente elétrica induzida na bobina secundária, por sua vez, possui dois efeitos. O primeiro é o de gerar um campo magnético variável que reage e produz o acoplamento com a bobina primária. O segundo efeito é a produção de uma acumulação alternada de cargas na carapaça condutora do topo da bobina secundária e a consequente geração de um campo elétrico oscilante, em torno da carapaça.

A primeira parte dessa etapa é a apresentação demonstrativa do funcionamento do experimento, acompanhado do seu diagrama de conceitos. Uma ideia do tipo de fenômeno que está envolvido no acoplamento indutivo pode ser fornecida pela apresentação do fenômeno análogo de acoplamento entre dois pêndulos.

Na segunda parte, apresenta-se o padrão dinâmico de comportamento dos campos elétrico e magnético, na bobina de Tesla, utilizando o vídeo simulador. Nesse vídeo, é apresentada uma aproximação do comportamento dos campos elétrico e magnético, nas proximidades da bobina secundária.

E.2 Materiais utilizados

Para execução dessa etapa, são necessários os seguintes materiais: uma bobina de Tesla, um par de pêndulos físicos acoplados e o vídeo simulador.

E.3 Tempo de Duração

2 aulas

E.4. A Bobina de Tesla

A bobina de Tesla, foi criada por Nikola Tesla por volta de 1890. Ela é, na verdade, um conjunto de duas bobinas, acopladas pela sua indutância mútua, que funcionam conjuntamente como um transformador ressonante, com um núcleo de ar, cuja principal função era a de permitir a produção de altas tensões, capazes de romper a rigidez dielétrica do ar e formar descargas elétricas que variam de acordo com a configuração das bobinas (BRUNS, 1992; CHIQUITO e LANCIOTTI JR., 2000; SILVA, 2012; TESLA e CHILDRESS, 1993; LABURU e ARRUDA, 1991).

E.4.1 Elementos Estruturais da Bobina de Tesla

Na figura 10, vê-se o artefato montado pela autora e utilizado neste trabalho. A seguir, faremos uma descrição sucinta de cada um dos seus elementos, mostrando os detalhes mais significativos que têm interesse com relação aos conceitos físicos.

O sistema ressonante da Bobina de Tesla pode ser descrito esquematicamente como um sistema oscilante RLC – conjunto de circuitos cujas grandezas essenciais que desempenham papel dinâmico são resistências, indutâncias e capacitâncias. Ele é composto por dois circuitos básicos: o circuito primário e o circuito secundário (BRUNS, 1992; CHIQUITO e LANCIOTTI JR., 2000; SILVA, 2012; TESLA e CHILDRESS, 1993; LABURU e ARRUDA, 1991).

Observa-se que o circuito primário é composto pelos seguintes elementos: um transformador (T1), um centelhador ou “spark gap” (SG), um capacitor primário (C1) e a bobina primária (L1) cilíndrica. O circuito secundário é composto por uma bobina secundária (L2) cilíndrica. Ela possui número de espiras consideravelmente maior que o da bobina primária. A bobina secundária é montada de modo a estar concêntrica e interna, com relação à bobina primária. A bobina secundária ressona com sua própria capacitância distribuída e com a capacitância de um terminal secundário no topo da bobina (CT) e da conexão à terra (Barreto, 2014; Bruns, 1992).

A parte da bobina de Tesla correspondente ao circuito primário é composta por quatro componentes. O transformador – que foi adquirido, por ser de difícil construção – possui as seguintes características: uma tensão de saída de 12kV, com uma corrente nominal de 30 mA. O objetivo do transformador primário é elevar a tensão originalmente fornecida pela rede da edificação.

O capacitor primário (C1) é, na verdade, um banco de capacitores usado para armazenar, em cada ciclo de operação, uma grande quantidade de energia elétrica, proveniente da rede e que passa através do transformador. Cada ciclo de operação é constituído por uma carga do capacitor primário, seguido de uma súbita descarga. Essa súbita descarga gera um pulso de corrente que passa pela bobina primária (indutor primário).

A técnica utilizada para construir o banco de capacitores é denominada de multi-mini-capacitores (MMC). Esse processo consiste no uso de vários capacitores colocados em série e em paralelo, até que a tensão de isolamento necessária e a capacitância sejam alcançadas. Em nosso caso, são 10 capacitores associados em série (2,2nF x 20kV) e 10 associados em paralelos (22nF x 20 kV). A capacitância equivalente do banco é de 22nF, para uma tensão máxima de 20kV. A cada um dos capacitores foram associados resistores de 10MΩ.

O centelhador ou spark gap (SG) é uma espécie de interruptor. Ele é desenhado para permitir a passagem de corrente, por quebra da rigidez dielétrica do ar, apenas quando a diferença de potencial, no capacitor primário, atinge a intensidade máxima suficiente para a produção de tal efeito. No nosso caso, o centelhador consiste em dois parafusos de latão, presos a um suporte isolante (de madeira), sendo um deles fixo e o outro móvel. Quando ocorre a centelha, o circuito primário se fecha e uma grande quantidade de energia, armazenada em um ciclo de carga do capacitor, é despejada subitamente, em forma de um pulso de corrente, para a bobina primária (indutor).

A bobina primária ou indutor primário (L_p) foi construída com algumas voltas (aproximadamente, nove) de um condutor de grosso calibre (tubo de cobre, usado em equipamentos de refrigeração), enrolados em uma forma de cone.

Para o cálculo da indutância, podemos usar a seguinte expressão (TILBURY, 2008, p. 26):

$$L(\mu H) = \frac{R^2 N^2}{8R + 11W} \quad (2)$$

onde L é a indutância da bobina, em microhenries e R é o raio da bobina, em polegadas. A resistência é calculada pela expressão (TILBURY, 2008, p. 26):

$$R \text{ (inch)} = \frac{\frac{(DE)-(DI)}{2} + (DI)}{2} L \quad (3)$$

sendo DE o diâmetro externo e DI o diâmetro interno, N é o número de espiras e W é a largura do enrolamento, em polegadas, que pode ser calculada pela expressão:

$$W = R / \cos \theta \quad (4)$$

sendo θ o ângulo de inclinação com a horizontal.

A parte da bobina de Tesla correspondente ao circuito secundário é formada por uma bobina (ou indutor) secundária (L_s), aterrada. Este componente é simples de ser construído e, no aparato experimental apresentado, utilizamos um tubo de PVC, de 10 cm de diâmetro e 71 cm de altura, com um número de aproximadamente 1800 voltas de fio de cobre (26 AWG).

Para o cálculo da indutância da bobina secundária foi usada a expressão (TILBURY, 2008, p. 76):

$$L(\mu H) = \frac{R^2 N^2}{9R + 10H} \quad (5)$$

onde N é o número de espiras, R e H são, respectivamente, o raio e o comprimento do indutor. Para o indutor primário e secundário encontramos a indutância

$$L(p) = 20,05 \mu H$$

$$L(s) = 42,23 mH$$

Deve-se levar em consideração toda a extensão da bobina secundária para a capacitância distribuída (auto-capacitância). Esta capacitância pode ser escrita como (CHIQUITO e LANCIOTTI JR., 2000):

$$C(s) = 0,29H + 0,41R + 1,94 \sqrt{\frac{R^3}{H}} \quad (6)$$

$$C(s) = 9,44pF$$

A frequência de oscilação da bobina secundária pode ser calculada por

$$f(s) = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_s C_s}} \quad (7)$$

A frequência obtida, através da equação 7, para o indutor secundário é de $f(s) = 252\text{kHz}$.

E.4.2 Conceitos Físicos

Esse quarto experimento utilizado, na nossa sequência didática, serve para introduzir, pela primeira vez, o fenômeno de produção de campos eletromagnéticos variáveis no tempo. Para entender esse fenômeno, é necessário levar em consideração a lei que é expressa pela última das equações de Maxwell, que completa a lei de Ampère introduzindo uma nova “fonte” para a geração de campos magnéticos: a variação temporal de campos elétricos.

O experimento da Bobina de Tesla pode ser compreendido, conceitualmente, como sendo dividido em três partes. A primeira parte refere-se ao fenômeno de acoplamento entre as bobinas primária e secundária, para cujo entendimento é suficiente invocar a indução eletromagnética (lei de Faraday), complementada pelas leis de Coulomb e Ampère. Todo o fenômeno é dirigido pelo circuito primário. Conceitualmente, tudo começa com a geração de um campo elétrico – para os nossos fins, considerado estático – pela acumulação de cargas no capacitor (lei de Coulomb). Esse campo elétrico, quando suficientemente intenso, quebra a rigidez dielétrica do ar, fechando o circuito e produzindo uma corrente variável no tempo, na forma de um pulso de elevada intensidade, a cada ciclo de descarga.

A corrente variável, ao percorrer a bobina primária, gera um campo magnético variável no tempo, que cresce de zero até um valor máximo e, em seguida, decresce a zero novamente (lei de Ampère), a cada ciclo de descarga. O campo magnético variável no tempo, produzido no interior da bobina primária, gera um campo elétrico induzido em todo o espaço e, em particular, na região ocupada pela bobina secundária (Lei de

Faraday). Esse campo elétrico induzido gera, na bobina secundária, uma corrente elétrica alternada. O campo elétrico induzido pela bobina primária gera, na bobina secundária, uma corrente elétrica alternada que produz dois efeitos. O primeiro efeito é o de gerar, no interior da bobina secundária, um campo magnético alternado, que reage contra a bobina primária, através da indução eletromagnética, completando o acoplamento.

A segunda parte da estrutura conceitual do experimento da bobina de Tesla, contudo, é nova e só depende, de fato, do segundo efeito associado ao comportamento da bobina secundária. O segundo efeito da corrente alternada imposta sobre a bobina secundária é uma acumulação alternada de cargas – ora cargas negativas, ora cargas positivas – no topo da bobina, onde se encontra uma carapaça condutora, de formato aproximadamente esférico, que serve exclusivamente para esse fim de acumulação das cargas. O mais importante, contudo, é que essa acumulação dinâmica de cargas gera, em todo o espaço, um campo elétrico variável no tempo, oscilante, cujo formato é aproximadamente “monopolar”, ou seja, esféricamente simétrico, centrado na carapaça condutora do topo. Esse campo elétrico, “monopolar” é possível justamente porque a bobina secundária está aterrada. Isso significa que os efeitos de uma configuração que, mais acuradamente, deveria ser considerada “dipolar” estejam suficientemente afastados das circunvizinhanças da bobina secundária. Finalmente, entra em cena a lei de Ampère-Maxwell. O campo elétrico variável no tempo produz, em cada ponto do espaço, em torno da bobina secundária, um campo magnético induzido, também variável no tempo. Juntos, os campos elétricos e magnéticos gerados pela bobina secundária formam um verdadeiro campo eletromagnético, cuja natureza é, essencialmente, dinâmica.

Da mesma forma que no caso dos experimentos anteriores, o experimento da bobina de Tesla serve como organizador avançado, no sentido ausubeliano. Nesse caso, ele é uma ponte entre o que o aluno já, presumivelmente, conhece – as leis de Coulomb, Gauss magnetostática, Ampère e Faraday – e algo que ele ainda não conhece, a saber, a lei de Ampère-Maxwell.

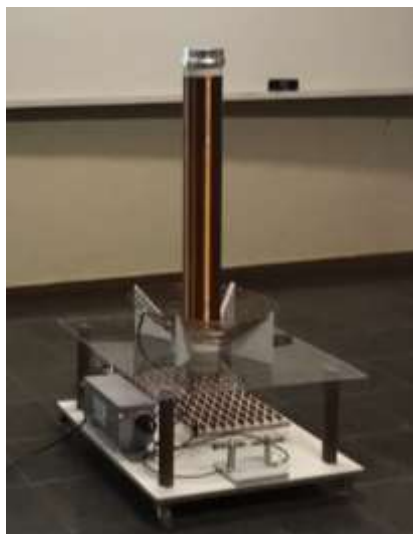


Figura 10- Bobina de Tesla montada e desligada
 Fonte: Fotografia da autora

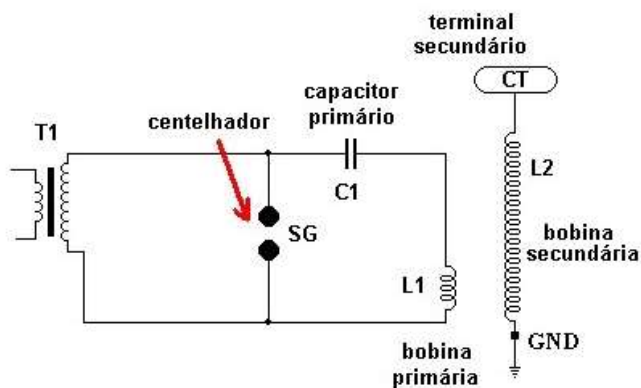


Figura 11 - Circuito Tesla convencional.
 Fonte: Web⁴⁵



Figura 12- Transformador Gás neon de 12kV usado no artefato.
 Fonte: Fotografia da autora.

⁴⁵Disponível em: <http://www.geocities.ws/lemagicien_2000/tcpage/teslamania/teoria/circuitotesla.gif>. Acesso em: 24 ago. 2017.

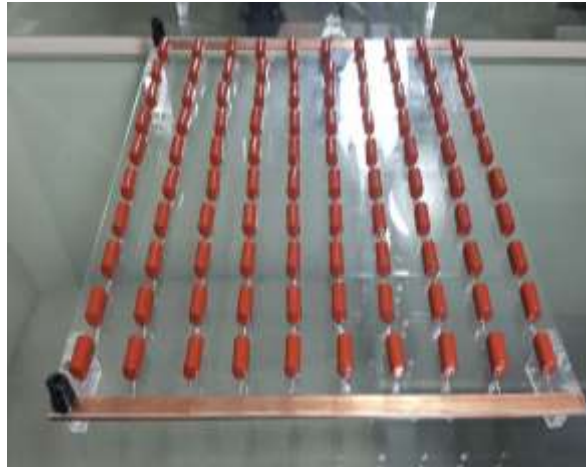


Figura 13- Banco de capacitores- total de 100 capacitores associados
Fonte: Fotografia da autora.

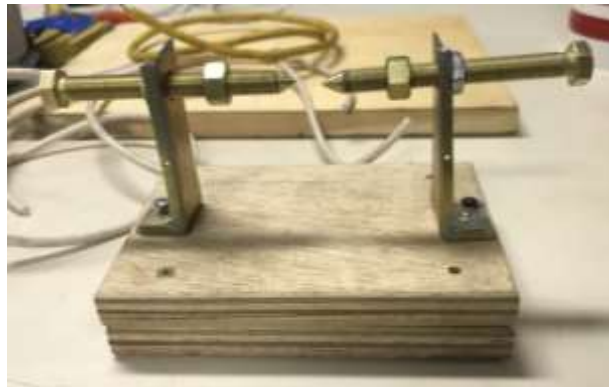


Figura 14- Centelhador ou Spark Gap de parafusos de latão
Fonte: Fotografia da autora



Figura 15- Bobinas primária e secundária
Fonte: Fotografia da autora

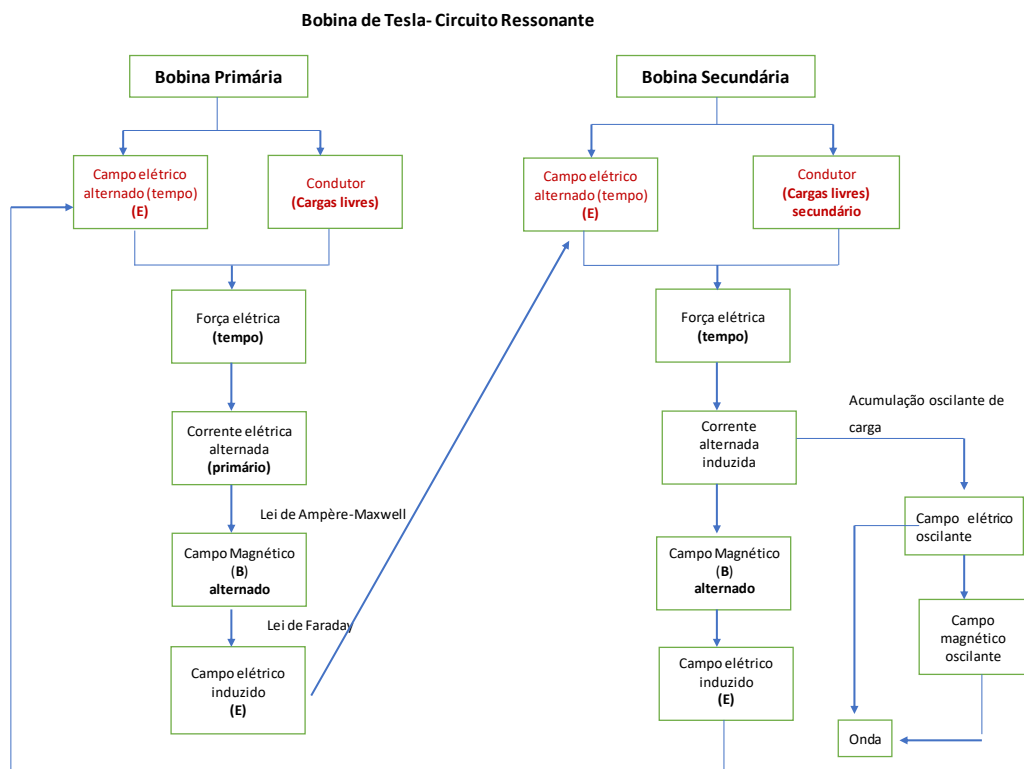


Figura 16- Diagrama de conceitos da Bobina de Tesla- Circuito Ressonante
 Fonte: Elaborado conjuntamente a autora e o orientador

E.5. A Simulação

A simulação mostra, na sua metade esquerda, o modo como o campo elétrico (de fato, a diferença de potencial) oscila em torno da carapaça da bobina secundária. Na sua metade direita, ela mostra o modo como o campo magnético se comporta dinamicamente em virtude da corrente alternada que percorre a bobina secundária.

É importante que se entenda que essa simulação é apenas uma aproximação, construída utilizando uma metodologia de cálculo que monta, passo a passo, no tempo, apenas a configuração estática dos campos elétrico e magnético, a partir das configurações de carga e corrente verificadas na bobina secundária, em sucessivos instantes congelados de tempo (figura 17). Como é apenas uma aproximação, ela só representa uma parte dos fenômenos envolvidos na bobina, ou seja, apenas mostra os efeitos imediatos, aos que nos referimos acima, envolvidos no acoplamento indutivo. A outra parte dos fenômenos, que não está representada, tem a ver com a geração de campo eletromagnético, por meio da ação conjunta das leis de Faraday e Ampère-Maxwell. Essa parte será tratada nas etapas seis e sete.

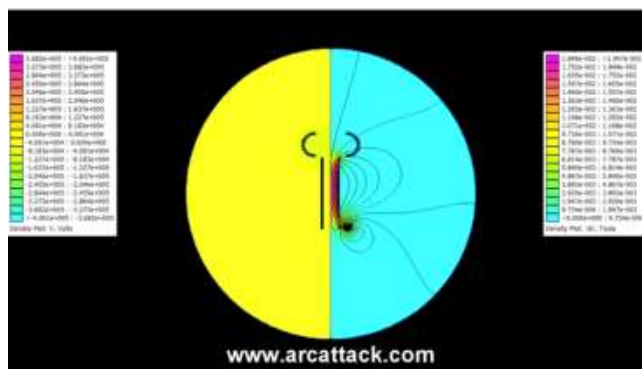


Figura 17 - Simulação do Campo elétrico e magnético na Bobina de Tesla
Fonte: Vídeo simulador⁴⁶

E.6. Passos de Execução

Os passos de execução dessa etapa da sequência didática são os que se seguem.

- 1º. Coloque a bobina de Tesla em funcionamento por algum tempo. Mostre o efeito de produção de raios, a partir de sua calota, e explique que a origem do fenômeno como acumulação de cargas até o rompimento da rigidez dielétrica do ar. A explicação do efeito de acumulação de cargas, na calota

⁴⁶Disponível em:

<<https://www.youtube.com/watch?v=VrUQjQEMho4&list=TLGGUBVIIwA1kYgxMDA5MjAxOQ&index=10>>. Acesso em 25 jun. 2017.

da bobina secundária, deve ser a motivação para iniciar a explicação detalhada do funcionamento da bobina de Tesla.

- 2°. Com a bobina desligada, explique detalhadamente suas partes constituintes usando, para isso, o diagrama de circuitos, com cuidado na identificação de cada um dos símbolos. Enfatize que a bobina secundária não está em contato mecânico com a bobina primária e que sua interação (acoplamento) acontece exclusivamente pelo fenômeno de indução eletromagnética.
- 3°. Explique o funcionamento da bobina de Tesla como um “transformador ressonante”, com o auxílio dos seus diagramas de conceitos e de circuito. Os conceitos que devem ser abordados são, na sequência, os de corrente elétrica alternada (variável), campo magnético variável gerado por corrente elétrica variável, campo elétrico induzido (variável) por variação de campo magnético, força eletromotriz induzida, corrente elétrica induzida, distribuição de cargas variável, campo elétrico variável gerado por distribuição de cargas variável.
- 4°. Utilize os pêndulos acoplados para ilustrar, por analogia, o acoplamento indutivo entre as bobinas do experimento de Tesla.
- 5°. Mostre o vídeo simulador e discuta o comportamento dos campos elétrico e magnético, gerado como efeito exclusivo do acoplamento indutivo, na bobina de Tesla.
- 6°. Por fim, deve-se retomar todos os conceitos discutidos no experimento, com o auxílio do diagrama de conceitos e do esquema da bobina de Tesla, de modo a realizar uma integração de todos eles em torno da ideia do experimento (organizador avançado).

F. Etapa 6- Indução Eletromagnética e Campos Eletromagnéticos: Apresentação Comparativa entre a Bobina de Tesla e o Gerador de van de Graaff

F.1 Objetivo

A etapa seis consiste em reapresentar aos estudantes a bobina de Tesla como um modo de gerar campos elétricos e magnéticos que dependem do tempo, devido a duas razões distintas: a indução eletromagnética (Lei de Faraday) e a corrente de deslocamento (Lei de Ampère-Maxwell).

Para tanto, a ideia geral é fazer uma comparação entre os princípios de funcionamento e os efeitos produzidos no gerador de van de Graaff e na bobina de Tesla.

Deve-se iniciar com a apresentação comparativa entre os respectivos diagramas de conceitos e circuitos, salientando as analogias e as diferenças que existem entre a geração de um campo eletrostático, no gerador de van de Graaff, e a geração de um campo elétrico dinâmico (alternante), por acumulação de cargas na cúpula da bobina de Tesla.

Deve-se salientar que o gerador de van de Graaff é um dispositivo que, ao chegar ao seu estágio final de operação, acumula cargas elétricas estáticas na carapaça condutora do topo do dispositivo, produzindo um campo elétrico cuja forma geométrica é (aproximadamente) polar, mas que permanece constante no tempo. Por isso o campo é eletrostático.

Por sua vez, a bobina se comporta (em parte) como se fosse o gerador de van der Graaff, só que em cada instante isolado de tempo. Contudo, à medida que o tempo passa, a quantidade e, eventualmente, o sinal das cargas presentes na carapaça vão mudando, de modo que o campo elétrico produzido pelas cargas acumuladas, ainda que possua forma geométrica (aproximadamente) polar, já não é mais constante, e passa a ser oscilante, acompanhando a oscilação das cargas, ora apontando em um sentido, ora em sentido oposto, gerando um campo eletrodinâmico.

Deve-se ressaltar, ainda, que as correntes produzidas nos aparelhos são, respectivamente, contínua – no gerador, enquanto carrega – e alternada, na bobina. E que o gerador, enquanto carrega, é mais similar à bobina justamente porque ele também produz um campo elétrico variável no tempo (mas apenas crescente) e, devido ao fato de

apresentar uma corrente contínua, também gera um campo magnético, embora este seja (aproximadamente) estacionário.

A segunda parte dessa etapa consiste em salientar ainda mais a diferença entre os dois experimentos, mostrando um fenômeno que o gerador de van der Graaff (carregado) não pode produzir. Nesse ponto, deve-se explicar que a geração de campos elétricos dinâmicos, via acoplamento indutivo, tem como efeito a formação de campos magnéticos dinâmicos induzidos, em todo os pontos do espaço, através da lei de Ampère-Maxwell.

Tais campos magnéticos induzidos não são aqueles produzidos pelas correntes nos circuitos, mas sim aqueles produzidos pela variação, em cada ponto do espaço livre, do campo elétrico gerado pela carapaça da bobina secundária. Deve-se salientar que esse efeito é análogo à indução eletromagnética, de modo que se perceba que campos magnéticos que variam no tempo produzem campos elétricos induzidos e vice-versa.

Esses campos elétricos e magnéticos dinâmicos, mutuamente produzidos, são o que se denomina por campos eletromagnéticos. Por fim, deve-se salientar que esses campos podem, em princípio, ser detectados e que fornecem a base para o entendimento do fenômeno da onda eletromagnética.

Os estudantes devem realizar as atividades práticas e experimentais dirigidos por um roteiro com perguntas, para que eles possam discutir e refletir sobre os conceitos envolvidos na atividade prática. As perguntas do roteiro têm, igualmente, o duplo objetivo de ajudar na direção da prática e fornecer ao professor material para verificar se a atividade foi bem-sucedida.

F.2 Materiais utilizados:

Gerador de van de Graaff e Bobina de Tesla.

F.3 Tempo de Duração

2 aulas.

F.4 Passos de Execução

Os passos de execução dessa etapa da sequência didática são os que se seguem.

- 1°. Apresente os aparatos e os esquemas conceituais do gerador de van der Graaff e da bobina de Tesla, todos em conjunto. Deve-se enfatizar a analogia estrutural entre os dois aparatos, principalmente o fato de que

ambos possuem uma calota superior, onde ocorrerá uma acumulação de cargas que é a origem do campo elétrico, em ambos.

- 2°. Em seguida, aborde a primeira diferença fundamental: o gerador de van der Graaff gera um campo eletrostático e a bobina um campo elétrico oscilante.
- 3°. Enfatize que a forma geométrica dos campos elétricos produzidos é bastante semelhante, já que ambos têm uma forma aproximadamente polar, centrada nas respectivas calotas.
- 4°. Aborde a segunda diferença fundamental: no gerador, após carregado, não há correntes, enquanto, na bobina, as correntes existem e são alternantes. Isso implica que, no gerador, não há campo magnético, enquanto, na bobina, há campo magnético, também oscilante, devido às correntes induzidas alternadas.
- 5°. Ressalte que, durante o procedimento de carga do gerador, existe, de fato, uma corrente, mas ela é contínua. Isso implica que o campo elétrico do gerador, durante a carga, é um campo também variável, embora não oscilante. Isso implica também que há um campo magnético produzido, durante esse período de carga.
- 6°. Em seguida, aborde a terceira diferença fundamental. Esse é o momento de apresentar a lei de Ampère-Maxwell. Explique que a geração de campos elétricos dinâmicos, na bobina, tem como efeito a formação de campos magnéticos dinâmicos induzidos, em todos os pontos do espaço. Deve-se enfatizar bastante a diferença entre a origem do campo magnético induzido (corrente de deslocamento) e a origem do campo magnético produzido por correntes reais.
- 7°. Por fim, deve-se retomar todos os conceitos discutidos na comparação entre os experimentos, com o auxílio dos diagramas de conceitos e dos esquemas, de modo a realizar uma integração de todos eles em torno da ideia do experimento (organizador avançado).

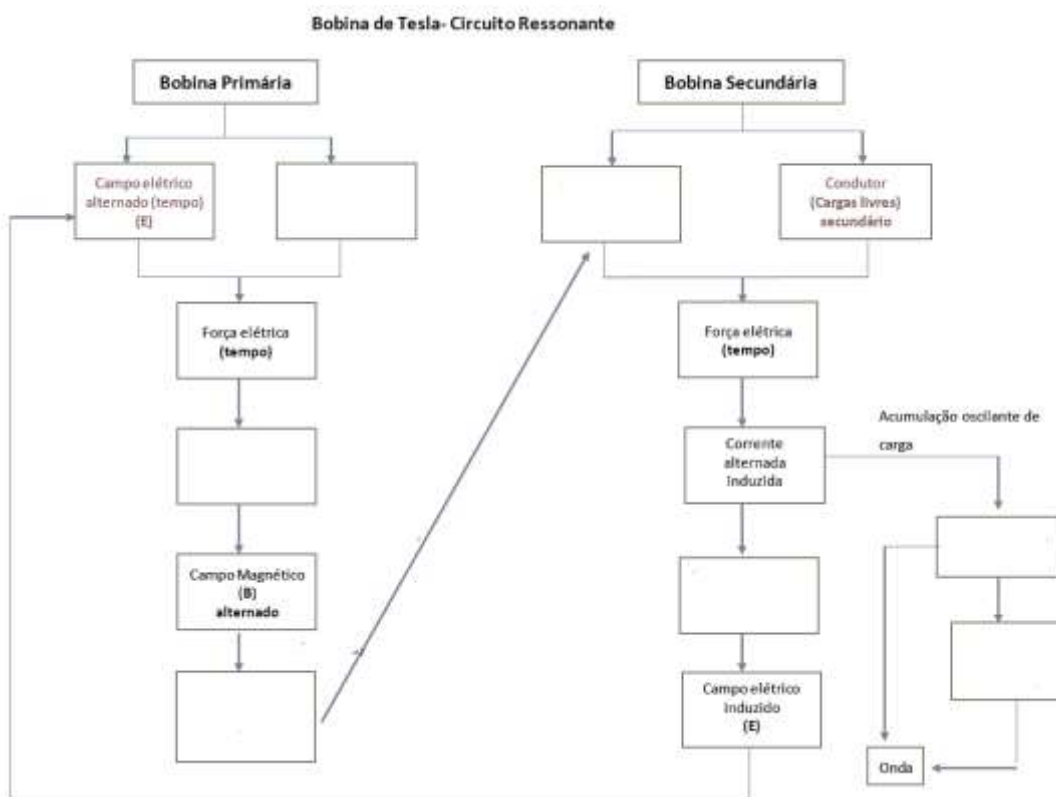
F.5 Roteiro Experimental

Atividade: Gerador de van de Graaff e Bobina de Tesla

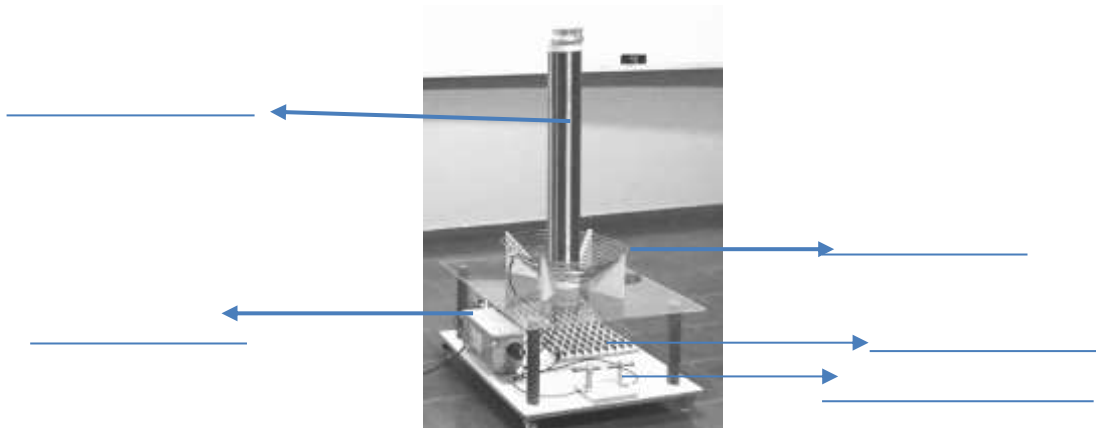
Objetivos:

- Observar através dos aparatos experimentais os fenômenos elétricos e magnéticos e comparar os elementos estruturais existentes na bobina de Tesla e no gerador de van der Graaff e suas respectivas funções.
- Compreender o fenômeno da indução eletromagnética na Bobina de Tesla.

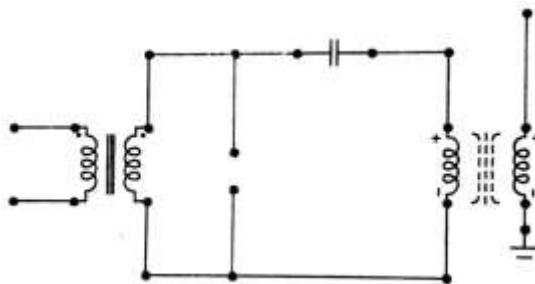
1) Observe, abaixo, o diagrama conceitual da bobina de Tesla e complete com os quadros vazios com os conceitos corretos.



2) Observe, abaixo, a fotografia da bobina de Tesla. Identifique cada uma das partes da bobina que estão indicadas. Em seguida, explique o que são essas partes e como elas contribuem para o funcionamento da bobina. Para isso, você deve utilizar os conceitos de carga e corrente elétrica, campos elétrico e magnético, fluxo magnético e indução eletromagnética.



- 3) Observe, abaixo, o diagrama do circuito da bobina de Tesla e identifique cada uma das partes da bobina. Compare suas identificações com aquelas que você fez na questão anterior.



- 4) Compare a estrutura física e o funcionamento do gerador de Van de Graaff e da bobina de Tesla. Explique quais são as semelhanças e as diferenças entre os funcionamentos do gerador de van der Graaff e da bobina de Tesla.

- 5) Nas colunas do quadro abaixo, identifique quais são os elementos físicos que apresentam função análoga e explicar que função é essa.

Gerador de van der Graaff

Bobina de Tesla

G. Aula 7- Geração e Detecção de Campos Eletromagnéticos

G.1 Objetivo

A etapa sete consiste em uma atividade experimental (de verificação) destinada à detecção do campo eletromagnético, através de antenas, produzido pela bobina de Tesla. Os objetivos dessa etapa são abordar novamente os conceitos de corrente de deslocamento e campo magnético induzido por corrente de deslocamento (Lei de Ampère-Maxwell), explicar que os campos eletromagnéticos podem ser observados, por meio de instrumentos, e explicar que tais instrumentos – as antenas – funcionam através das mesmas leis do eletromagnetismo que já foram apresentadas.

Devem ser utilizadas duas antenas. Uma antena deve ser linear, para detecção do campo elétrico dinâmico, e seu princípio de funcionamento é baseado na acumulação de cargas de sinais contrários, conduzidas pelo campo elétricos, em duas extremidades da antena, de modo que se possa medir uma diferença de potencial com um voltímetro. A outra antena deve ser circular, para a detecção do campo magnético dinâmico e seu princípio de funcionamento é baseado na geração de corrente alternada, pelo campo elétrico induzido que é gerado pela ação da variação local de fluxo magnético. Tal corrente induzida pode ser medida com um amperímetro.

Os alunos podem ser divididos em grupos, para realização da prática experimental verificativa. Cada grupo terá uma trena para medir a distância da bobina à antena e observar o brilho do LED e anotar os valores, no multímetro. A ideia é que os alunos possam observar que os valores apontados no multímetro possuem, pelo menos, duas características em comum: eles sempre diminuem, à medida que as distâncias da bobina de Tesla aumentam, e eles são aproximadamente invariáveis, se as medidas são realizadas sempre a uma mesma distância, independentemente da direção em que são tomadas. Ou seja, os campos produzidos pela bobina secundária apresentam uma simetria cilíndrica, de rotação, em torno do eixo da bobina secundária.

É importante frisar, nessa etapa, dois pontos. Primeiro, que os campos eletromagnéticos que estão sendo observados são uma mistura de efeitos que dependem das configurações de carga e de corrente, tanto na bobina secundária quanto na primária, e que esses efeitos não podem ser separados, dado o fato de que as medidas são grosseiras e são tomadas muito próximas às bobinas. Portanto, os efeitos cujas origens são apenas a

lei de Faraday (indução eletromagnética), que acopla as bobinas, e os efeitos que são produzidos pela lei de Ampère-Maxwell (corrente de deslocamento), devidos apenas à bobina secundária, encontram-se misturados.

Segundo, que o efeito devido à lei de Ampère-Maxwell pode ser visto separadamente, mas para isso deve-se tomar medidas a distâncias muito grandes da bobina, o que é inviável, no contexto da sala de aula. A grandes distâncias, os campos eletromagnéticos passam a comportar-se cada vez mais como aquilo que denominamos uma onda eletromagnética, que poderia, a depender da intensidade da fonte, ser detectada, na faixa de comprimento de onda das ondas de radiofrequência.

Os procedimentos para a realização das atividades foram descritos em um roteiro experimental para realizar a atividade. Após as observações realizadas, os alunos devem discutir as questões solicitadas na atividade proposta.

G.2 Materiais utilizados:

Para a execução dessa etapa, são necessários os seguintes materiais: bobina de Tesla, 1 antena linear, 1 antena circular e 1 multímetro.

G.3 Tempo de Duração

2 aulas

G.4 Antenas

A terceira parte da estrutura conceitual do experimento da bobina de Tesla consiste na explicação de como se procede à detecção dos campos eletromagnéticos produzidos. As equações dos rotacionais de Maxwell ($\nabla \times E$ e $\nabla \times B$) significam que os campos elétricos e magnéticos variam no tempo de maneira interdependente, sendo o campo elétrico variável capaz de gerar campo magnético variável e vice-versa. Assim, o campo eletromagnético variando no tempo propaga energia através do espaço vazio, na velocidade da luz, pois a luz nada mais é do que um campo eletromagnético (BALANIS, 1997; COLLIN, 1985).

Observe que não falamos, em nenhum lugar, até agora, do conceito de onda eletromagnética. De fato, a noção de onda como um fenômeno de oscilação de alguma grandeza, espaço-temporalmente extensa e contínua, caracterizada de modo simples por intensidade, comprimento de onda e frequência, não se aplica bem ao campo

eletromagnético produzido nas imediações da bobina de Tesla. As irregularidades, aí, são muitas e aos campos eletromagnéticos produzidos pelo efeito Ampère-Maxwell devem ser somados o campo magnético variável produzido pela bobina secundária e os campos magnéticos e elétricos produzidos pela bobina primária. De modo que, falar de onda, nessas condições, é impossível. De fato, o que se espera é que um campo eletromagnético ondulatório seria, a depender de sua intensidade, detectável apenas a alguns quilômetros da bobina de Tesla. Isso, evidentemente, está fora de nossas cogitações.

Porém, isso não significa que o altamente irregular campo eletromagnético nas circunvizinhanças da bobina não possa ser detectado. Para isso, utiliza-se de antenas. Conforme, geralmente, se as entende, antenas são dispositivos, acoplados a circuitos, que servem tanto para irradiar quanto para captar, de forma controlada, uma onda eletromagnética, no comprimento de onda do espectro de radiofrequência. A geometria e o tamanho são fatores predominantes no desempenho de uma antena (BALANIS, 1997; COLLIN, 1985).

Em geral, pode-se falar em duas regiões do campo eletromagnético gerado por antenas: o campo próximo e o campo distante (figura 18). O campo próximo, ou zona de Fresnel, é a região em torno da antena onde os campos magnéticos e elétricos são irregulares. Esses campos não são ondas de rádio. O campo distante ou zona de Fraunhofer é a região de campo na qual os campos elétricos e magnéticos são perpendiculares e somente nessa região podemos falar de onda eletromagnética. No nosso caso, quem faz o papel de antena transmissora é a própria bobina de Tesla e o campo que é detectado está na zona de Fresnel (MARTINS, 2016; MOURA, 2018).

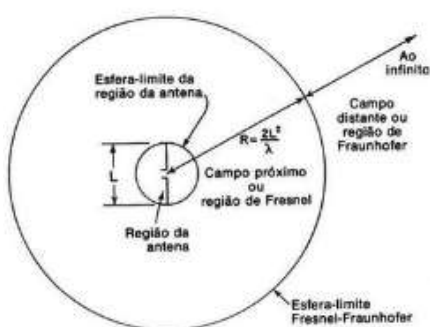


Figura 18- Regiões de Fraunhofer e Fresnel
 Fonte: IFSC⁴⁷

⁴⁷ Notas do Prof. Ramon Mayor Martins. Disponível em: <<https://docplayer.com.br/73070038-Ant-antenas-e-propagacao.html>> Acesso em: 06 de outubro de 2018.

Muito embora não seja o caso de falarmos em onda, antenas são utilizadas da mesma maneira também para detectar campo eletromagnético na zona de Fresnel. Neste trabalho, utilizou-se de dois tipos de antenas – linear (dipolo) e circular (“loop”) – como receptoras do sinal eletromagnético.

A antena linear (dipolo) consiste em duas hastes condutoras retas, curtas, de igual tamanho, dispostas colinearmente, com um pequeno espaço entre elas⁴⁸. As duas hastes são ligadas por um fio condutor, onde se encontra um diodo, que pode ser um LED, como mostra a figura 19.

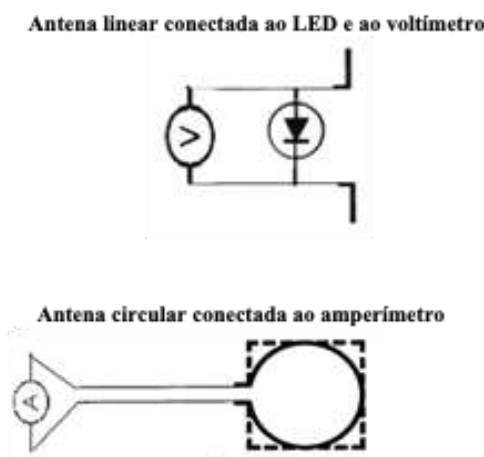


Figura 19- Diagramas esquemáticos das antenas linear e circular
Fonte: Elaborado pela autora

O princípio de funcionamento da antena linear é o seguinte. Uma vez colocada em uma região onde o campo elétrico é oscilante e caracterizado por uma certa frequência, as cargas livres presentes nas hastes (elétrons) ficam submetidas à ação de uma força elétrica que também as dirige ora em um sentido da antena, ora no sentido oposto. Porém, o diodo só permite a passagem de cargas em um único sentido, de modo que o efeito total, depois de alguns ciclos de oscilação, é a formação de um acúmulo de cargas de sinais opostos, nas extremidades de cada uma das hastes. Assim, uma das hastes da antena ficará com excesso de cargas positivas e a outra com excesso de cargas negativas, produzindo uma diferença de potencial que pode ser detectada por um voltímetro (figura 20) (BALANIS, 1997).

⁴⁸ CASTRO, Fernando Comparsi; FRANCO, Paulo Roberto Girardello. *Antenas* – cap. III. Disponível em: < http://www.epo.pucrs.br/~decastro/pdf/A_C3.pdf >

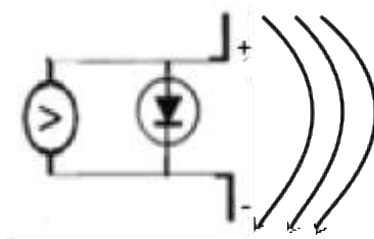


Figura 20 – Antena linear receptora conectada ao LED e ao voltímetro

Fonte: Elaborado pela autora

A antena circular (“loop”) consiste em um único circuito condutor, disposto em formato aproximadamente circular (figura 21).

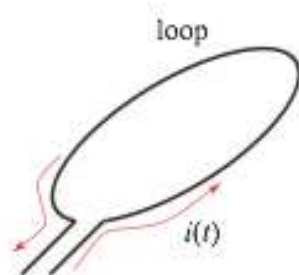


Figura 21. - Antena circular

Fonte: UFPe⁴⁹

O princípio de funcionamento da antena circular é o seguinte. Uma vez colocada em uma região onde o campo magnético é oscilante e caracterizado por uma certa frequência, as cargas livres presentes no condutor (elétrons) ficam submetidas à ação de uma força elétrica induzida também oscilante (lei de Faraday), e que também dirige essas cargas ora em um sentido da antena, ora no sentido oposto. Essa corrente alternada na antena pode ser medida através de um amperímetro conectado diretamente à antena receptora. No circuito da antena, apresenta-se também um LED. Porém, ao contrário do caso da antena linear, onde sua presença é essencial para o funcionamento da antena, no caso da antena circular, o diodo serve para indicar a passagem da corrente alternada, ao iluminar-se.

⁴⁹ FONTANA, Eduardo. Eletromagnetismo. Parte II. 2017. Disponível em: <<https://www3.ufpe.br/fontana/Eletromagnetismo2/EletromagnetismoWebParte02/mag2cap11.htm>>

G.5 Passos de Execução

Os passos de execução dessa etapa da sequência didática são os que se seguem.

- 1º. A partir do diagrama conceitual da bobina de Tesla, deve-se reapresentar os efeitos produzidos pela bobina secundária. Primeiramente, os efeitos diretos do acoplamento indutivo.
- 2º. Em seguida, deve-se abordar os efeitos secundários, explicando que o campo elétrico oscilante produz campo magnético induzido, em todo o espaço (Lei de Ampère-Maxwell).
- 3º. Em seguida, deve-se explicar que o campo magnético induzido, por ser variável, também produz campos elétricos induzidos, em todo o espaço (lei de Faraday). Deve-se explicar que esses efeitos acontecem em cascata, distanciando-se cada vez mais da bobina secundária. A isso se denomina campo eletromagnético.
- 4º. Em seguida, deve-se explicar que, próximo à bobina secundária, os efeitos diretos do acoplamento se misturam com os efeitos secundários. Isso significa que, próximo à bobina (zona de Fresnel), o campo eletromagnético é uma soma de campos elétricos e magnéticos produzidos pelas distribuições de corrente e de carga das bobinas, e dos campos elétrico e magnético induzidos.
- 5º. Por fim, deve-se explicar que os campos induzidos podem ser observados a uma distância muito grande da bobina (Zona de Fraunhofer). Nessa região, é possível detectar o que se denomina onda eletromagnética, que oscila com uma frequência igual à frequência de oscilação da bobina secundária.
- 6º. Passa-se à atividade de detecção dos campos elétricos, próximos à bobina. Para detectar o campo elétrico, utiliza-se uma antena linear.
- 7º. A antena linear deve estar conectada a um voltímetro. Deve-se explicar o princípio de funcionamento da antena linear, baseado em simples separação de cargas de sinais opostos, nas extremidades da antena, pela presença do diodo. Isso gera uma diferença de potencial que, em condições ideais, deve estabilizar-se em um valor máximo.
- 8º. As medidas do campo elétrico devem ser tomadas em diversas posições e orientações da antena. É necessário demarcar duas ou mais distâncias, cada

vez mais afastadas (por exemplo, 0,5 m e 1,0 m de distância da bobina), duas ou mais alturas (por exemplo, 1,0 m e 2,0 m) e, pelo menos, quatro posições, ao redor da bobina, de acordo com as instruções do roteiro de experimento.

- 9°. Em cada uma das distâncias escolhidas, deve-se verificar que as medidas são relativamente compatíveis, em valor, de modo também relativamente independente da altura, da posição ao redor da bobina e da orientação da antena. Deve-se explicar que esse comportamento é esperado, em virtude das intensidades dos campos decrescerem com a distância da fonte.
- 10°. Passa-se à atividade de detecção dos campos magnéticos, próximos à bobina. Para detectar o campo magnético, utiliza-se uma antena circular. A antena circular deve estar conectada a um amperímetro. Deve-se explicar o princípio de funcionamento da antena circular, baseado na indução eletromagnética. A alteração do fluxo do campo magnético, através da antena, gera uma corrente elétrica induzida.
- 11°. Repete-se os procedimentos já efetuados com a antena linear.
- 12°. Por fim, deve-se retomar todos os conceitos discutidos no experimento, com o auxílio do diagrama de conceitos da bobina e dos diagramas das antenas, de modo a realizar uma integração de todos eles em torno da ideia do experimento (organizador avançado).

G.6 Roteiro Experimental

Atividade: Detecção do Campo Eletromagnético na Bobina de Tesla

Objetivos:

- Detectar, através de antenas, o campo eletromagnético produzido pela bobina de Tesla, nas suas proximidades.
- Compreender a onda eletromagnética como um fenômeno associado com a produção de campos elétrico e magnético por mútua indução.

Atividade em grupo.

- ❖ Antena Linear

A antena linear funciona da seguinte forma. A antena linear é simplesmente um par de hastes condutoras desconectadas. O campo elétrico oscilante produzido pela bobina de Tesla aciona os elétrons nas hastes condutoras da antena, de modo que eles serão movidos pela força elétrica de um lado para outro (movimento de vai-e-vem). Mas as hastes estão separadas por um LED, que permite que os elétrons de um lado da haste passem para o outro lado, mas impede que os elétrons desse lado passem (ou retornem). Assim, uma das hastes da antena ficará com excesso de cargas positivas e a outra com excesso de cargas negativas (como um capacitor). Essa separação das cargas produz uma diferença de potencial que pode ser medido usando um voltímetro.

Procedimento:

1. Utilize a trena e posicione a antena a uma distância de cerca de 1m da bobina secundária e a cerca de 1,5m de altura com relação ao solo.
2. Fixe a orientação da antena.
3. Ligue a bobina de Tesla.
4. Observe o brilho do LED na antena e os valores mostrados no voltímetro.
5. Varie um pouco a orientação da antena.
6. Registre as suas observações.

Figura 1- Antena Linear

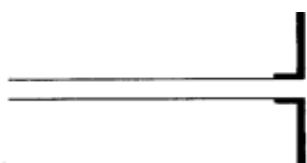
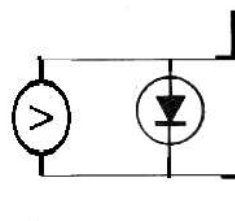


Figura 2- Antena linear conectada ao LED e ao voltímetro



❖ Antena Circular

A antena circular funciona da seguinte forma. A antena circular é simplesmente um circuito condutor fechado. O campo magnético oscilante produzido pela bobina de Tesla produz uma oscilação do fluxo magnético através do circuito fechado. Pela lei de indução de Faraday, isso produzirá uma fem induzida, também oscilante, nesse circuito fechado. Essa fem induzida oscilante aciona os elétrons presentes na antena, de modo que eles serão movidos pela força

elétrica induzida de um lado para outro (movimento de vai-e-vem), produzindo, portanto, uma corrente alternada. Essa corrente alternada pode ser medida usando um amperímetro. Observe que também se colocou um LED, mas, nesse tipo de antena, ele só serve para indicar a passagem de corrente alternada, ao acender.

Procedimento:

1. Utilize a trena e posicione a antena circular a uma distância de cerca de 0,5m da bobina secundária e a cerca de 1,5m de altura com relação ao solo.
2. Fixe a orientação da antena.
3. Ligue a bobina de Tesla.
4. Observe o brilho do LED na antena e os valores mostrados no amperímetro.
5. Varie um pouco a orientação da antena.
6. Registre as suas observações.

Figura 1- Antena Circular

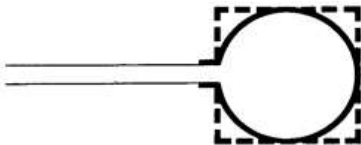
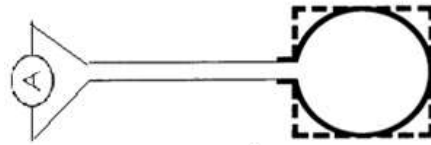


Figura 2- Antena circular conectada ao amperímetro



Responda as seguintes questões:

- a) Explique, com suas próprias palavras, como funcionam as antenas, usando desenhos que permitam entender o que acontece.
- b) Por que o LED é desnecessário na antena circular?
- c) Os LEDs acendem em ambas as antenas. Mas, embora você não perceba, ele não fica permanentemente aceso, mas sim pisca em uma frequência muito alta. Você conseguiria deduzir que frequência é essa?
- d) O que acontece com um rádio comum, quando ele é aproximado da bobina de Tesla em funcionamento? Você seria capaz de explicar por que isso acontece?

H. Etapa 8- Revisão e avaliação - Questionário Final

H.1. Objetivo

A etapa oito consiste em revisar os conceitos discutidos durante as etapas anteriores e, em seguida, submeter os alunos ao questionário final, correspondente às atividades e conceitos discutidos no decorrer da sequência aplicada.

Uma característica importante do questionário de avaliação é que as questões são todas contextualizadas nas atividades prático-experimentais que os estudantes realizaram. Isso cumpre dois objetivos interconectados: o primeiro é o de evitar respostas mecânicas (automáticas) que são tipicamente fornecidas quando as questões são construídas como perguntas teóricas a respeito de definição de conceitos. O segundo é procurar fazer com que os alunos, testados dessa forma contextualizada, deem oportunidade ao avaliador de verificar indícios de aprendizagem significativa.

H.2. Tempo de duração

2 aulas

H.3. Organização da turma

Nesta etapa inicial, apresente aos estudantes o objetivo do questionário final e peça para que eles resolvam individualmente as questões.

H. 4. Avaliação Final

Avaliação Final

1. Explique o funcionamento do gerador de van der Graaff, indicando, na figura, as localizações das cargas elétricas e a forma do campo elétrico produzido depois que o gerador estiver completamente carregado. Nessa situação, o que acontece quando o domo e a base são ligados por um fio de resistência R ?

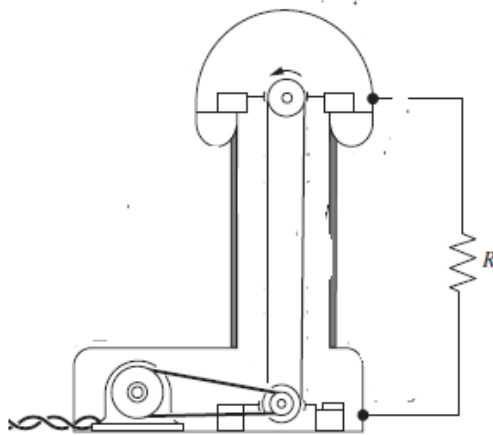


Figura 1- Gerador de van der Graaff conectado a um resistor
 Fonte: Purcell

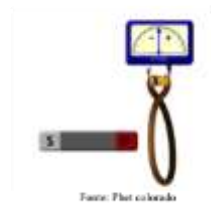
- Como vimos, podemos obter um eletroímã se enrolarmos um fio condutor e fizermos passar uma corrente elétrica (contínua ou alternada) pelo fio, conforme a figura abaixo. Suponha que você não saiba se a bateria está carregada ou descarregada. Como você faria para determinar isso?



Figura 2- Eletroímã conectado à uma bateria.
 Fonte: Phet colorado

- A figura abaixo mostra um ímã nas proximidades de uma espira ligada a um voltímetro. O zero desse voltímetro está no centro de sua escala. Explique como você utilizaria o ímã para fazer o voltímetro acusar uma ddp positiva.

Figura 3- Um ímã e uma espira condutora conectada a um voltímetro



Fonte: Phet colorado

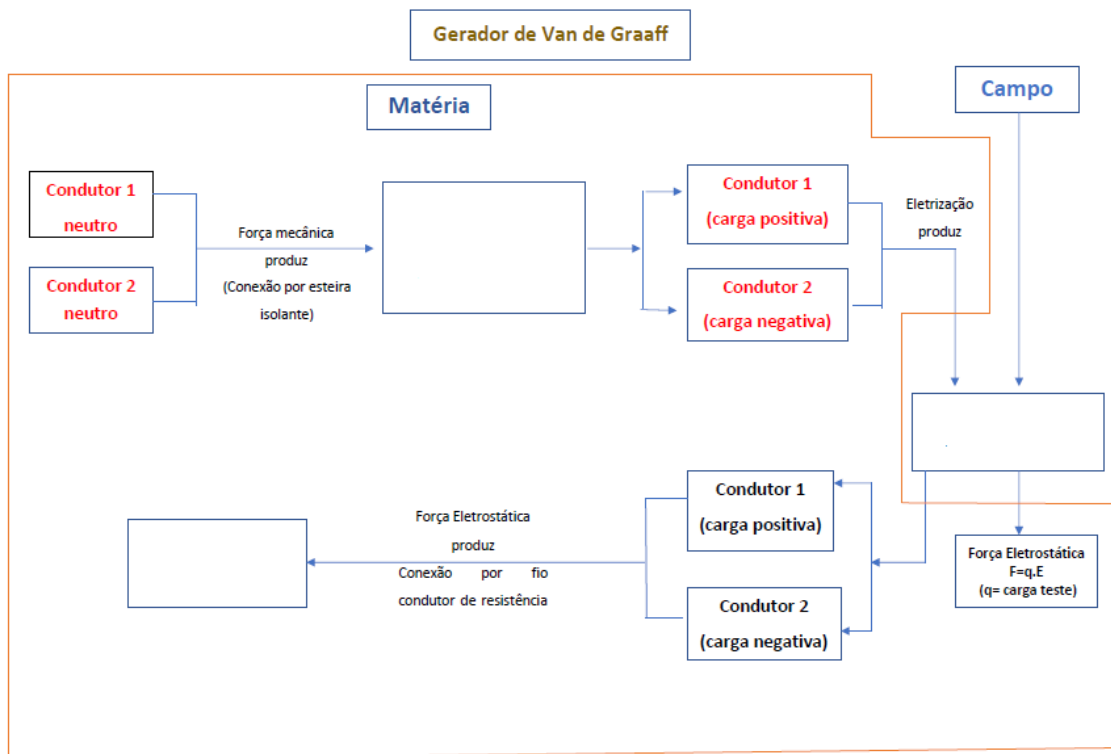
- A bobina de Tesla é, essencialmente, um conjunto de duas bobinas posicionadas concêntricamente, sem nenhum contato entre elas. A bobina interna, chamada de secundária, produz um campo eletromagnético oscilante. Explique, detalhadamente, como isso acontece. Faça um ou mais desenhos que permitam entender sua explicação.

Em uma das nossas aulas, utilizamos as antenas linear e circular para detectar o campo eletromagnético produzido pela bobina de Tesla, nas suas proximidades.

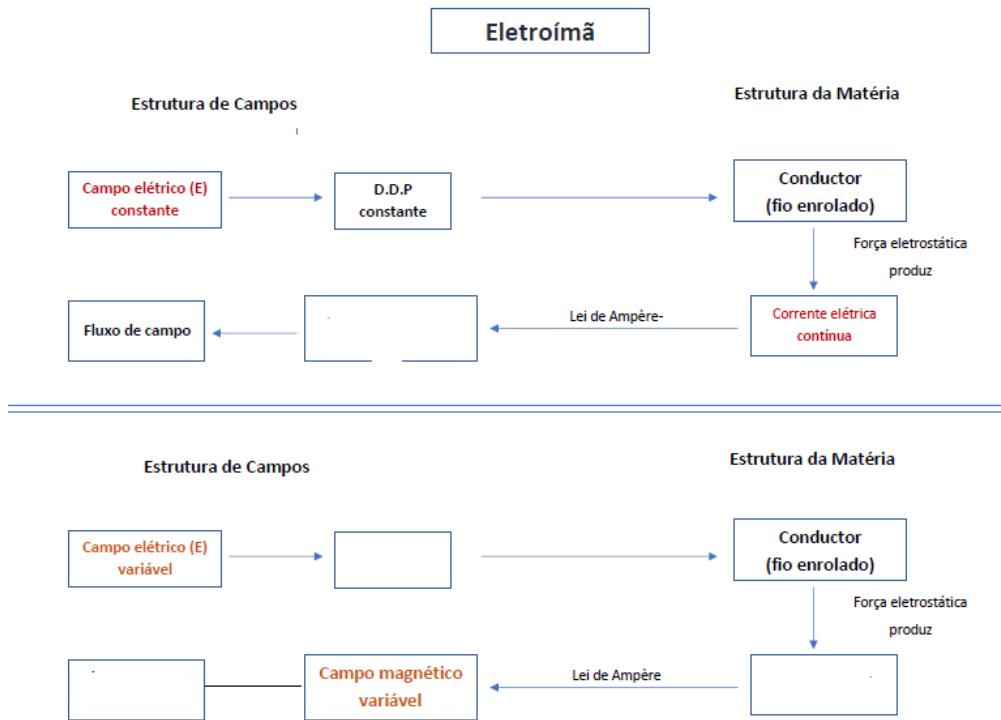
5. Explique, com suas próprias palavras, como funcionam as antenas, usando desenhos que permitam entender o que acontece.

6. Complete os mapas abaixo de acordo com os conceitos correspondentes em cada quadro:

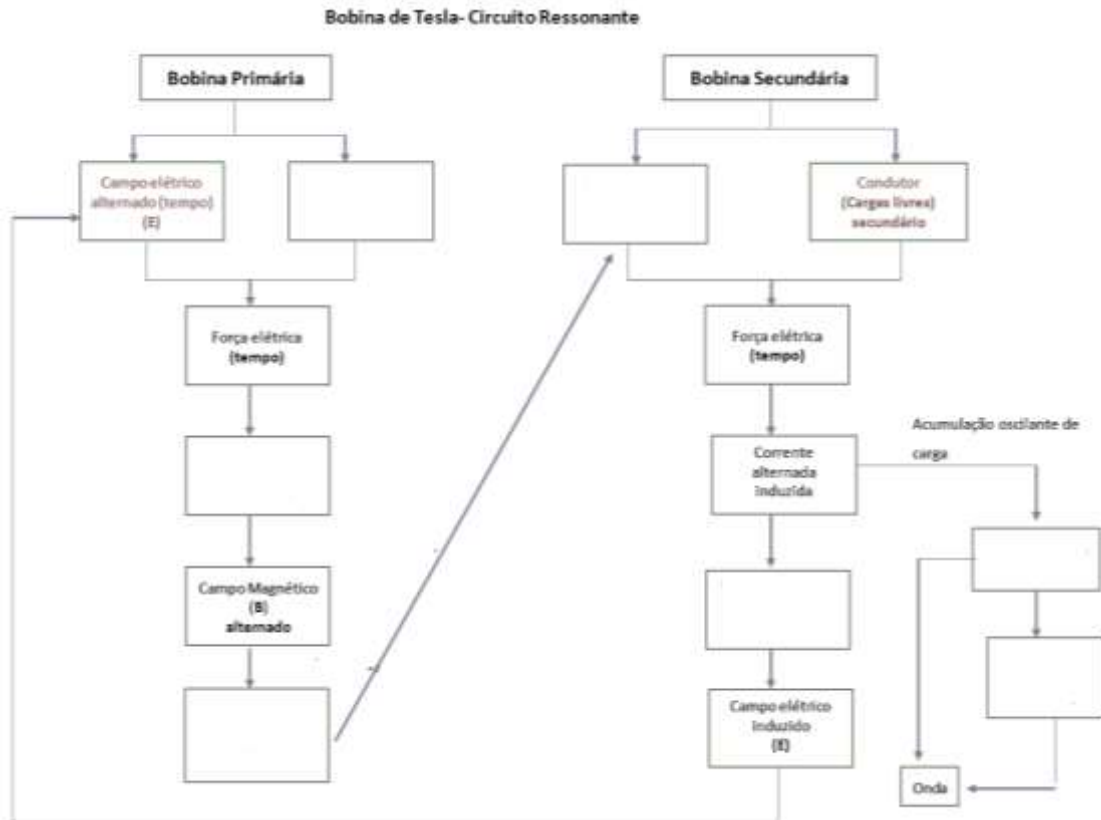
a) Diagrama de conceitos do gerador de van der Graaff



b) Diagrama de conceitos do eletroímã



c) Diagrama de conceitos da bobina de Tesla



Referências

- ALL ABOUT CIRCUITS. (s.d.). Disponível em:
<<https://www.allaboutcircuits.com/textbook/direct-current/chpt-3/importance-electrical-safety/>>. Acesso em: 10 jun. 2018.
- ARAUJO, M. S. T. D.; ABIB, M. L. V. D. S. Atividades experimentais no ensino de física: diferentes enfoques, diferentes finalidades. **Revista Brasileira Ensino de Física**, São Paulo, 25, june 2003. 176-194.
- ARRUDA, S. M.; LABURU, C. E. Considerações sobre a função do experimento no ensino de ciências. In: NARDI, R. (.). **Questões atuais no ensino de ciências**. São Paulo: Escrituras, 1998. p. 53-60.
- ARRUDA, S. M.; LABURÚ, C. E. Considerações sobre a função do experimento no ensino de ciências. In: NARDI, R. (Org.). **Questões atuais no ensino de ciências**. São Paulo: Escrituras, 1998, p.53-60.
- ARTIGUE, M. Engenharia Didática. In: BRUN, J. **Didática das Matemáticas**. Lisboa: Instituto Piaget, 1996. p. 193-2017.
- AUSUBEL, D. P. **Aquisição e Retenção de Conhecimentos**: Uma perspectiva cognitiva. Lisboa: Paralelo, 2003. Disponível em:
<http://www.uel.br/pos/ecb/pages/arquivos/Ausubel_2000_Aquisicao%20e%20retenc%20ao%20de%20conhecimentos.pdf>. Acesso em 15 de mar 2017.
- AUSUBEL, D. P.; NOVAK, J. D.; HANESIAN, H. **Psicologia Educacional**. 2a. ed. Rio de Janeiro: Editora Interamericana, 1980.
- AZEVEDO, M. C. P. S. Ensino por investigação: problematizando as atividades em sala de aula. In: CARVALHO, A. M. P. D.; (ORG.) **Ensino de Ciências**: Unindo a pesquisa e a prática. [S.l.]: Cengage Learning, 2004. p. 19- 34.
- BALANIS, C. A. **Antenna theory**: analysis and design. 2a.ed. ed. New York: John Wiley & Sons, 1997. Disponível em:
<https://cds.cern.ch/record/1416310/files/047166782X_TOC.pdf>. Acesso em: 3 agos. 2018.
- BARRETO, J. R. A. **Uma Nova Proposta de recurso didático**: A bobina de tesla para uso em temas do eletromagnetismo. [S.l.]: [s.n.], 2014. Disponível em: <http://bdm.unb.br/bitstream/10483/8144/1/2014_JessicaRayaneAlvesBarreto.pdf>. Acesso em 5 agos. de 2017.
- BORGES, Antônio Tarciso. Novos rumos para o laboratório escolar de ciências. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 19, n. 3, p. 291-313, jan. 2002. ISSN 2175-7941. Disponível em:
<<https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/6607>>. Acesso em 05 de fev 2018. doi:<https://doi.org/10.5007/%x>.

BORGES, A. T.; GOMES, A. D. T. Percepção de estudantes sobre desenhos de testes experimentais. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 22, n. 1, p. 71-94, 2005. Disponível em: <<https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/6394>> Acesso em 6 agos. 2018.

BRASIL. Ministério da Educação. Diretrizes Curriculares Nacionais da Educação Básica. Brasília: MEC/SENTEC, 2013. Disponível em: <http://portal.mec.gov.br/index.php?option=com_docman&view=download&alias=15548-d-c-n-educacao-basica-nova-pdf&Itemid=30192>. Acesso em 5 abr. 2017.

BRASIL. Ministério da Educação. Parâmetros Curriculares Nacionais – Ensino Médio: Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias. Brasília: MEC/SENTEC, 1999.

BRUNS, D. G. A solidstate lowvoltage Tesla coil demonstrator. **American Journal of Physics**, Colocado, p. 797- 803, september 1992. Disponível em: <http://r9.webtuyau.com/wp-content/uploads/2014/06/AJP609_797_1992_Bruns.pdf>. Acesso em 6 mai 2017.

CASTRO, Fernando Comparsi; FRANCO, Paulo Roberto Girardello. **Antenas** – cap. III. Disponível em: < http://www.epo.pucrs.br/~decastro/pdf/A_C3.pdf>. Acesso em 05 mai. 2018

CARVALHO, A. M. P. D. **Ensino de Ciências: Unindo a pesquisa e a prática**. São Paulo: Pioneira Learning, 2013.

CARVALHO, A. M. P. D. O Ensino de ciências e a proposição de sequências de ensino investigativas. In: CARVALHO, A. M. P. D. (.). **Ensino de ciências por investigação: condições para implementação em sala de aula**. São Paulo: Cengage Learning, 2013. p. 1-20.

CARVALHO, M. P. D. et al. **Ciências no Ensino Fundamental: o conhecimento físico**. São Paulo: Scipione, 2005. 199 p.

CHIQUITO, A. J.; LANCIOTTI JR., F. Bobina de Tesla: dos circuitos ressonantes LC aos princípios das telecomunicações. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, 22, março 2000. 69-77. Disponível em: <<http://www.sbfisica.org.br/rbef/pdf/v22a09.pdf>>. Acesso em 5 mai. 2017.

COILS, F. F. T. Inventions & Experiments of Nikola Tesla. **teslaresearch.jimdo.com**. Disponível em: <<https://teslaresearch.jimdo.com/tesla-coils/formulas-for-tesla-coils/>>. Acesso em 2 fev. 2018.

COLLIN, R. E. **Antennas and radiowave propagation**. New York: McGraw-Hill Book, 1985. 508 p. Disponível em: <<https://electrobian.files.wordpress.com/2016/07/antennas-and-radiowave-propagation-collin.pdf>>. Acesso em 05 mai. 2018.

FORMULAS FOR NIKOLA TESLA. Inventions & Experiments of Nikola Tesla. **Teslaresearch**. Disponível em: <<https://teslaresearch.jimdo.com/tesla-coils/formulas-for-tesla-coils/>>. Acesso em 5 abr. 2018.

GALIAZZI, M. C. et al. Objetivos das atividades experimentais no ensino médio: a pesquisa coletiva como modo de formação de professores de ciências. *Ciência & Educação*, v.7, n.2, p.249-263, 2001.

GALIAZZI, M. D. C.; GONCALVES, F. P. A natureza pedagógica da experimentação: uma pesquisa na licenciatura em química. **Química Nova**, 27, n. n.2, 2004. 326-331. ISSN 0100-4042. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-4042200400020002>> Acesso em 25 jun. 2018.

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

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

HEWITT, Paul. **Física Conceitual**. São Paulo. Bookman, 2001, p. 387.

HODSON, D. **Experimentos na ciência e no ensino de ciências**. *Educational Philosophy and Theory*, 20, 53 -66, 1988.

HODSON, D. Hacia un enfoque más crítico del trabajo de laboratorio. **Enseñanza de las Ciencias**, Barcelona, 12, n. n.3, 1994. 299-313.

HOFSTEIN, A.; LUNETTA, V. N. The Laboratory in Science Education: Foundations for the twenty-first century. **Science Education**, jan. 2004. 28-54. Disponível em: <<http://gpquae.iqm.unicamp.br/gtexperimentacao.pdf>> Acesso em 5 de agos. 2018.

LABURU, C. E.; ARRUDA, S. D. M. A construção de uma bobina de Tesla para uso em demonstrações na sala de aula. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, Londrina, abril 1991. 217-226. Disponível em: <<https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/10008/14550>>. Acesso em 6 mai 2017.

LABURÚ, C. E.; BARROS, M. A.; KANBACH, B. G. **A relação com o saber profissional do professor de física e o fracasso da implementação de atividades experimentais no ensino médio**. *Investigações em Ensino de Ciências*, v. 12, n. 3, p. 305-320, 2007. Disponível em: <<https://www.if.ufrgs.br/cref/ojs/index.php/ienci/article/view/462/266>> Acesso em 5 agos. 2018.

LÜDKE, M.; ANDRÉ, M. E. D. A. **Pesquisa em educação: abordagens qualitativas**. São Paulo: EPU, 1986. Disponível em: <https://moodle.ufsc.br/pluginfile.php/2431625/mod_resource/content/1/Pesquisa%20

em%20Educação%20Abordagens%20Qualitativas%20vf.pdf>. Acesso em 5 mar. 2018.

MARTINS, R. D. A. Orsted e a descoberta do Eletromagnetismo. **Cadernos de História e Filosofia da Ciência**, Campinas, outubro 1986. 89-114. Disponível em: <<https://www.cle.unicamp.br/eprints/index.php/cadernos/article/view/1226>>. Acesso em 05 mar. 2018.

MARTINS, R. M. ANT- Antenas e Propagação, 2016. Disponível em: <https://wiki.sj.ifsc.edu.br/wiki/images/1/1f/5_0IFSC_Engenharia_ANT_2016_1.pdf> Acesso em 5 mar. 2018.

MONTEIRO, I. C. C.; MONTEIRO, M. A. A.; GASPAR, A. Atividades experimentais de demonstração e o discurso do professor no ensino de física. **ATas-IV Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências**, Bauru, 25-29 novembro 2003. 1-11. Disponível em: <<http://fep.if.usp.br/~profis/arquivos/ivenpec/Arquivos/Orais/ORAL044.pdf>>. Acesso em 5 agos. 2018.

MOREIRA, M. A. **Teorias de Aprendizagem**. São Paulo: Pedagógica e Universitária, 2015.

MOREIRA, M. A. **A Teoria da Aprendizagem Significativa e sua Implementação em sala de aula**. Brasília: UnB, 2006.

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

MOURA, A. Antenas e Propagação. Disponível em: <https://paginas.fe.up.pt/~amoura/APROWEB/AAM_Param_Fundamentais.pdf>. Acesso em: 05 ago. 2018.

NOVAK, J. D.; CANÃS, A. J. The Theory Underlying Concept Maps and How to Construct. **Práxis Educativa**, Ponta Grossa, jan.- jun. 2010. 9- 29. Disponível em: <https://www.betterevaluation.org/en/resources/guides/concept_mapping/theory_underlying_concept_maps>. Acesso em 5 mai. 2017.

OLIVEIRA, J. R. S. Contribuições e abordagens das atividades experimentais no ensino de ciências: reunindo elementos para a prática docente. **Acta Scientiae**, Canoas, 12, jan./jun 2010. 139-153. Disponível em: <<http://w3.ufsm.br/laequi/wp-content/uploads/2015/03/contribuicoes-e-abordagens-de-atividades-experimentais.pdf>>. Acesso em 3 set. 2017.

ORSTED, H. C. Experiências sobre o efeito do conflito elétrico sobre a agulha magnética. **Cadernos de História e Filosofia da Ciência**, outubro 1986. 115-122.

PENA, F. L. A.; RIBEIRO FILHO, A. Obstáculos para o uso da experimentação no ensino de física: um estudo a partir de relatos de experiências pedagógicas brasileiras

publicados em periódicos nacionais da área (1971-2006). *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, v. 9, n. 1, 2009.

PEREIRA, Marcus Vinicius; MOREIRA, Maria Cristina do Amaral. Atividades prático-experimentais no ensino de Física. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 34, n. 1, p. 265-277, maio 2017. ISSN 2175-7941. Disponível em: <<https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/2175-7941.2017v34n1p265>>. Acesso em 26 set. 2018. doi:<https://doi.org/10.5007/2175-7941.2017v34n1p265>.

POLITO, A. M. M. **A construção da Estrutura Conceitual da Física Clássica**. São Paulo: Livraria da Física, 2016.

PURCELL, E. M.; MORIN, D. J. **Electricity and Magnetism**. 3. ed. New York: Cambridge University Press, 2013.

ROCHA, J. F. M. O conceito de campo em sala de aula: uma abordagem histórico-conceitual. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, 31, n. n.1, abril 2009. 1604.1-1604.17. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbef/v31n1/v31n1a13.pdf>>. Acesso em 6 mai. 2017.

ROSITO, B. A. O ensino de ciências e a experimentação. In: MORAES, R (org). **Construtivismo e ensino de ciências: reflexões epistemológicas e metodológicas**. Porto Alegre, EdPUCRs, 2008.

SILVA, D. S. D. S. **A versatilidade da bobina de Tesla na prática docente do ensino do eletromagnetismo**. Fortaleza: Centro de Ciências e Tecnologia, 2012. 66 p. Disponível em: <http://www.uece.br/fisica/index.php/arquivos/doc_details/138-a-versatilidade-da-bobina-de-tesla-na-pratica-docente-do-ensino-de-fisica>. Acesso em 6 set. 2017.

SILVA, R.T. da; CARVALHO, H.B. de. A indução eletromagnética: análise conceitual e fenomenológica. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 34, n. 4, p. 4314-6, dez. 2012.

SKELDON, K. D.; GRANT, A. I.; SCOTT, S. A. A high potential Tesla coil impulse generator for lecture demonstrations and science exhibitions. **American Journal of Physics**, v. 65, p. 743-754, august 1997. Disponível em: <<https://aapt.scitation.org/doi/pdf/10.1119/1.18645?class=pdf>>. Acesso em 5 set. 2017.

TESLA, N.; CHILDRESS, D. H. **The fantastic inventions of Nikola Tesla**. Illinois: Adventures Unlimited Press, 1993. 224 p.

TILBURY, M. **The ultimate Tesla Coil design and construction guide**. Estados Unidos: McGraw-Hill, 2008.

TOMPSON. Indutance Calculation Techniques- Part I: Classical Methods Power Control and Intelligent Motion, vol. 25, no. 12, December, 199, p. 40-45. Disponível em: <<https://thompsonrd.com/OSEE-inductance.pdf>>. Acesso em 05 out. 2017.

TYNDALL, J. **Faraday as a discoverer**. Toronto: London Longmans, Green, 1870. Disponível em: <<http://www.gutenberg.org/files/1225/1225-h/1225-h.htm>>. Acesso em 5 abr.2018.

VILLALBA, J. M. et al. Estudio experimental de la inducción electromagnética entre dos bobinas: dependencia con la corriente eléctrica. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, 37, 2015. 1313-1 -113-7. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbef/v37n1/0102-4744-rbef-37-01-1313.pdf>>. Acesso em 8 mai. 2018.

Anexo I- Texto- O gerador de Van de Graaff

Um aparelho utilizado em laboratório para obter altas voltagens é o gerador de Van de Graaf. Essa é uma das maneiras de produzir os raios usados pelos cientistas malucos nos antigos filmes de ficção científica. Um modelo básico de gerador de Van de Graaf é mostrado na figura:



O campo elétrico no interior da cúpula metálica tende sempre a zero, de modo que as cargas retiradas da correia escoam para a superfície externa da cúpula.

Uma grande esfera metálica oca é sustentada por um cilindro isolante. Uma esteira de borracha movimentada por um motor, localizada no interior do suporte cilíndrico, passa friccionando-se num conjunto de farpas de metal, como se formasse um pente, que são mantidas a um grande potencial negativo com respeito ao solo. Através das descargas que ocorrem nessas pontas metálicas, um suprimento contínuo de elétrons se deposita sobre a esteira, que circula pelo interior da cúpula oca condutora. Uma vez que o campo elétrico no interior do condutor é nulo, as cargas sobre a esteira acabam escapando por outro conjunto de farpas metálicas (minúsculos para raios), transferindo-se para o interior da cúpula. Os elétrons, então, se repelem mutuamente, dirigindo-se para a superfície exterior da cúpula condutora. A carga estática sempre fica na superfície externa de qualquer condutor. Isso mantém o interior descarregado, capaz de receber mais elétrons trazidos pela esteira. O processo é contínuo e a carga na cúpula aumenta até que o potencial negativo da cúpula seja muito maior do que na fonte de tensão na parte inferior do aparelho – da ordem de milhões de volts.

Uma esfera com raio de 1 m pode ser levada a um potencial de 3 milhões de volts antes que ocorra uma descarga elétrica através do ar.

A tensão pode ser elevada ainda mais, aumentando-se o raio da cúpula ou colocando o aparelho todo dentro de um recinto preenchido com gás a uma alta pressão. Geradores de Van de Graaf podem produzir voltagens tão altas quanto 20 milhões de volts. Essas voltagens aceleram partículas carregadas que são usadas como projéteis para penetrar nos núcleos atômicos. Tocar um desses geradores pode ser uma experiência de arrepiar os cabelos.

Fonte: HEWITT, Paul. Física Conceitual. São Paulo. Bookman, 2001, p. 387. [Fragmentos]

Esse texto sobre gerador de Van de Graaff apresentam inúmeros fenômenos físicos já estudados anteriormente e outros fenômenos que serão estudados. Discuta sobre o texto com seus colegas e responda às questões. Dois conceitos novos são trazidos pelo texto: tensão e potencial elétrico.

1) Identifique as frases em que essas palavras aparecem (no primeiro e segundo parágrafos do texto) e procure compreender os seus significados.

2) Ainda no segundo parágrafo do texto, foi mencionada uma nova unidade de medida do SI. Qual é esta unidade? Ela mede qual grandeza física?

3) No gerador de Van de Graaff, a geração de cargas elétricas se deve a um processo de eletrização já conhecido por você. Explique como isso é feito.

4) Você vê alguma relação entre a situação descrita acima e o poder das pontas.

5) Como as cargas elétricas circulantes na esteira se transferem para a grande esfera metálica oca?

6) O texto se refere a “descargas elétricas” nas farpas de metal. Explique melhor o que significa esse fenômeno

Anexo II- Atividade Extra: Indução Eletrostática: Transformadores

Nome: _____ N°: _____

Série/ Turma: _____ Disciplina: Física Data: ____/____/____

Professor(a): _____ Bimestre: _____ Turno: _____

Atividade: Indução Eletrostática: Transformadores

1. Título da atividade: Transformadores

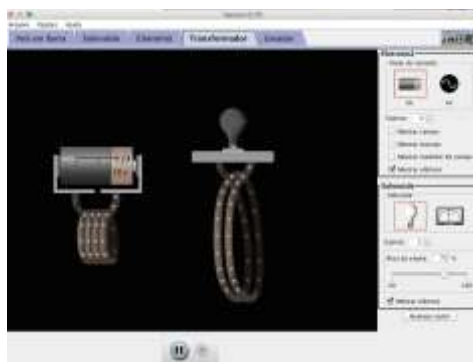
2. Objetivo:

- Explorar qualitativamente o funcionamento do transformador, por meio da realização de experimentos virtuais em sala de aula.

3. Conceitos abordados: corrente elétrica, campo magnético, fluxo magnético e indução eletromagnética.

Vamos explorar a simulação Transformador. A tela deve ser semelhante a essa figura 01 que pode ser encontrada no site do Laboratório de Eletromagnetismo de Faraday, Phet Colorado⁵⁰.

Figura 1- Demonstração do Transformador



Fonte: Phet Colorado

- Clique no ícone Transformador e selecione a fonte de corrente contínua (DC)
- Ajuste a fonte para 0V e verifique se a lâmpada acende. Explique.
 - Ajuste a fonte para 4V. A lâmpada acendeu? Em quais espiras você percebe movimentação de elétrons? Por quê?
 - Pense em maneiras de fazer a lâmpada acender. Teste suas ideias. Registre uma.

⁵⁰ https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/faraday

- *Selecione a fonte de corrente alternada (AC).*
- a) O que aconteceu com o brilho da lâmpada? Explique.
 - b) Selecione o indicador de tensão e verifique se ocorre variação no seu ponteiro.
 - c) Aproxime o primário (eletroímã) do secundário (solenóide) do transformador, a tensão aumenta ou diminui? Por quê?
 - d) Altere o número de espiras do primário para três e quatro e verifique ocorre variação de tensão no secundário do transformador. Existe uma relação entre o número de espiras do primário e a tensão medida? Explique.