



**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO PIAUÍ –
CAMPUS CORRENTE
CURSO DE LICENCIATURA EM FÍSICA**

MAGNAEL DA SILVA GOMES

**FERRAMENTAS COMPUTACIONAIS APLICADAS AO ENSINO DE FÍSICA: SOLUÇÕES
DE PROBLEMAS DE ELETROMAGNETISMO USANDO O SOFTWARE GNU OCTAVE**

CORRENTE – PI

2023

MAGNAEL DA SILVA GOMES

FERRAMENTAS COMPUTACIONAIS APLICADAS AO ENSINO DE FÍSICA: SOLUÇÕES DE
PROBLEMAS DE ELETROMAGNETISMO USANDO O SOFTWARE GNU-OCTAVE

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
como exigência parcial para obtenção do diploma
do Curso de licenciatura em Física do Instituto
Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do
Piauí, Campus Corrente.

Orientador: Prof. Dr. Kleyton Jânio Camelo

CORRENTE–PI

2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD

Gomes , Magnael da Silva

G633f Ferramentas computacionais aplicadas ao ensino de Física: : soluções de problemas de eletromagnetismo usando o software GNU - Octave / Magnael daSilva Gomes . - 2023.
36 p.: il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em Física) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí, Campus Corrente, 2023.

Orientador : Prof Dr. Kleyton Jânio Camelo.

1. Física - estudo e ensino. 2. Eletromagnetismo. 3. GNU - OCTAVE. 4. Ferramentas computacionais. I. Título.

CDD - 530

Elaborado por Tefischer Huanderson Soares e Sousa CRB 3/1251

FERRAMENTAS COMPUTACIONAIS APLICADAS AO ENSINO DE FÍSICA: SOLUÇÕES DE PROBLEMAS DE ELETROMAGNETISMO USANDO O SOFTWARE GNU OCTAVE

Magnael da Silva Gomes¹
Prof. Dr. Kleyton Jânio Camelo²

RESUMO

Perante o cenário de desinteresse dos estudantes de ensino médio e superior por disciplinas como Física e Matemática e, visto que, muitos relatam que esse desestímulo se dá pela dificuldade com os cálculos, ferramenta fundamental para os estudos quantitativos dos conteúdos e teorias abordados nessas disciplinas. Muitas alternativas vêm sendo estudadas e criadas para minimizar questões como essas. Uma dessas alternativas é a utilização de softwares computacionais para mitigar as dificuldades de compreensão dessas áreas. Nesse trabalho, utilizando uma ferramenta computacional, GNU-Octave, pretende-se aplicar, desenvolver objetos de aprendizagem que envolvam soluções de problemas. Desta forma, criar rotinas e elementos computacionais que possam auxiliar na solução de problemas do eletromagnetismo e compreensão dele, oferecendo a possibilidade de serem utilizadas no ensino de Física, em particular, no ensino de eletromagnetismo.

Palavras - Chaves: Ferramentas computacionais. Eletromagnetismo. GNU-Octave.

ABSTRACT

Faced with the scenario of lack of interest of high school and higher education students in disciplines such as Physics and Mathematics, and since many report that this discouragement is due to the difficulty with calculations, a fundamental tool for quantitative studies of the contents and theories addressed in these disciplines. Many alternatives have been studied and created to minimize issues like these. One of these alternatives is the use of computational software to mitigate difficulties in understanding these areas. In this work, using a computational tool, the GNU-Octave software, it is intended to apply and develop learning objects that involve problem solutions. In this way, to create routines and scripts that can help in the solution of problems of electromagnetism and its understanding, offering the possibility of being used in the teaching of Physics, in particular, in the teaching of electromagnetism.

Keywords: Computational tools. Electromagnetism. GNU-Octave.

¹ Aluno do curso de Licenciatura em Física

² Docente do Instituto Federal do Piauí – Campus Corrente

1 INTRODUÇÃO

O uso de *softwares* computacionais pode trazer benefícios para os estudantes, em particular, aos alunos dos cursos de ciências exatas e matemática. Ao utilizar ferramentas computacionais, eles podem explorar visualmente os conceitos abstratos da física e do cálculo, o que facilita a compreensão e a aplicação prática deles. Através de simulações e representações gráficas, os alunos podem verificar de forma concreta os efeitos de diferentes variáveis em um fenômeno físico, confiando para uma aprendizagem mais efetiva. Desta forma, por meio de um ambiente computacional de manipulação de equações, o aluno poderá construir conhecimento partindo da ideia de um modelo físico.

A utilização de *softwares* computacionais é uma ferramenta poderosa para a compreensão da física, permitindo que os alunos construam conhecimento a partir de modelos e equações. Através da manipulação desses modelos, é possível visualizar fenômenos físicos complexos e desenvolver uma intuição para as leis da natureza (Redish, 2003).

É comum os alunos enfrentarem dificuldades ao tentarem compreender os conceitos de física durante o processo de aprendizagem. Essa disciplina apresenta desafios, pois exige um pensamento abstrato e a capacidade de aplicar teorias a situações práticas. Comparada a outras disciplinas, a física enfatiza o ensino conceitual, exigindo, desta forma, exige uma necessidade de compreensão dos conceitos por parte dos alunos. Entretanto, o fraco domínio dos conceitos dessa disciplina faz com que a física pareça difícil para a maioria dos estudantes. Segundo Eka, uma das razões pelas quais a física é considerada uma disciplina menos desejável está no fato de que os conteúdos são abstratos, tornando-a assim difícil de ser compreendida.

Uma das áreas da física mais afetada pelo pouco entendimento em seus conteúdos é o eletromagnetismo, visto que, os conceitos e as abordagens matemáticas de nível superior tornam-se um grande problema para os alunos. Com isso, a utilização de *softwares* computacionais aparece como aliada à realização de atividades que envolvem cálculos e elaboração de modelos.

O eletromagnetismo é uma área da física que apresenta grande desafio para os alunos, devido à sua complexidade e abstração dos conceitos. A utilização de *softwares* computacionais como ferramentas de ensino pode ajudar a tornar esses conceitos mais acessíveis, permitindo que os alunos visualizem e manipulem as equações e modelos matemáticos associados (Eka, 2018).

Existem diversos *softwares* computacionais que são utilizados no ensino de física. Neste trabalho será utilizado o GNU-Octave que é um *software* gratuito e de código aberto (*open source*) que permite a realização de diferentes operações matemáticas e estatísticas. Além disso, é possível utilizá-lo para tratamento de dados gerados em atividades experimentais, construção de diversos tipos de gráficos, plotagem de funções, dentre outras várias aplicações. O GNU-Octave será utilizado neste trabalho para fazer operações envolvendo alguns conceitos e leis do eletromagnetismo com o objetivo de ilustrar, a priori, como o uso desta ferramenta pode auxiliar para uma melhor compreensão dos conceitos de física, em particular, de eletromagnetismo.

Como dito anteriormente, o eletromagnetismo é uma área da física que apresenta conceitos complexos e abstratos, o que pode dificultar o entendimento dos alunos. Além disso, é uma das áreas mais afetadas pelo pouco entendimento das suas leis e conceitos. A utilização de modelos computacionais é fundamental para melhorar o ensino nessa área. A utilização de *softwares* computacionais no ensino de física proporciona uma abordagem inovadora que permite aos alunos explorar e compreender as equações de Maxwell de maneira prática e visual (Silva, J. M., & Santos). As equações de Maxwell são um conjunto fundamental de leis que descrevem os fenômenos eletromagnéticos, englobando a relação entre campos elétricos e magnéticos, cargas elétricas e correntes.

Compreender e aplicar essas equações pode ser um desafio para muitos estudantes, tanto por consequência da abordagem matemática necessária, bem como dos níveis de abstrações conceituais. Ao utilizar *softwares* computacionais, como o GNU-Octave, os alunos podem explorar as equações de Maxwell de maneira interativa e visual. O GNU-Octave oferece recursos poderosos para manipulação e modelagem de equações, permitindo que os estudantes realizem cálculos complexos, gerem gráficos e visualizem fenômenos eletromagnéticos em tempo real.

O uso de *softwares* computacionais no estudo do eletromagnetismo possibilita aos estudantes uma abordagem experimental, em que podem testar hipóteses, simular cenários e obter resultados imediatos, contribuindo para uma compreensão mais aprofundada dos fenômenos eletromagnéticos (Oliveira, V. R., et al. (2019).

Essa abordagem proporciona uma compreensão mais aprofundada das leis fundamentais do eletromagnetismo, pois os alunos podem observar diretamente os efeitos das variáveis nas equações e como elas se relacionam com o mundo físico. Ao resolver problemas de eletromagnetismo utilizando *softwares* computacionais, os estudantes podem testar diferentes cenários, modificar parâmetros e obter resultados imediatos. Isso promove uma abordagem experimental no aprendizado, em que os alunos podem explorar hipóteses e realizar simulações para verificar suas ideias.

Além disso, a visualização gráfica proporcionada pelo GNU-Octave ajuda a interpretar os resultados e a identificar padrões, permitindo uma análise mais precisa e uma compreensão mais intuitiva dos fenômenos eletromagnéticos. A resolução de problemas de eletromagnetismo com o auxílio de *softwares* computacionais também prepara os alunos para as demandas da atualidade, em que a computação e a modelagem são cada vez mais utilizadas em diversas áreas científicas e tecnológicas.

A habilidade de utilizar ferramentas computacionais para resolver problemas complexos é altamente valorizada no mercado de trabalho, e a experiência adquirida por meio do uso do GNU-Octave no estudo do eletromagnetismo pode ser transferida para outras disciplinas e aplicações práticas.

Em suma, a utilização de *softwares* computacionais, como o GNU-Octave, em disciplinas de física como o eletromagnetismo e física computacional pode contribuir fortemente no processo de ensino-aprendizagem, além de promover o desenvolvimento de habilidades computacionais e preparação dos estudantes para os desafios da era digital. Portanto, a incorporação de ferramentas computacionais no processo de ensino-aprendizagem de disciplina de física, como o eletromagnetismo, é fundamental para proporcionar uma educação mais completa e atualizada aos alunos.

Assim, a partir do objetivo deste trabalho, serão dispostos à comunidade acadêmica uma proposta de utilização do *software* GNU-Octave como ferramenta computacional a ser utilizada em disciplinas de física, sejam elas teóricas, experimentais ou teórico-experimentais. Nessa perspectiva, será abordado o uso do GNU-Octave na solução de problemas de eletromagnetismo, tratamento de dados obtidos em práticas experimentais, obtenção de gráficos e modelos computacionais, visando sempre na compreensão dos conceitos de eletromagnetismo.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 SOFTWARES COMPUTACIONAIS NO ENSINO

Os *softwares* computacionais podem ser exemplos de materiais potencialmente significativos que, além de se apresentarem uma alternativa docente, permitem que os alunos estejam sujeitos a participar de modo ativo, na busca de soluções para os problemas que lhes são propostos (MORO; NEIDE; REHFELDT, 2016).

Os *softwares* computacionais têm se mostrado recursos valiosos no ensino de diversas áreas do conhecimento, incluindo a física e o cálculo. Permitem que os alunos investiguem e testem hipóteses, solucionem problemas de forma criativa e desenvolvam seus raciocínios lógicos (Moro; Neide; Rehfedlt, 2016).

O uso de *softwares* computacionais pode ser utilizado como um recurso que apresenta grande viabilidade no processo de ensino-aprendizagem. Desta forma, por meio de um ambiente computacional de manipulação e modelagem de equações, o aluno pode construir conhecimento partindo da ideia de que o modelo físico utilizado não se apresenta de forma estática e sem aplicação. Logo, os *softwares* computacionais têm se mostrado recursos valiosos no ensino de diversas áreas do conhecimento, incluindo a física e o cálculo.

Além disso, os *softwares* computacionais também podem contribuir para a construção de habilidades intelectuais e cognitivas dos alunos, pois permitem que eles investiguem e testem hipóteses, solucionem problemas de forma criativa e desenvolvam seus raciocínios lógicos. Portanto, o uso destes *softwares* pode ser uma ferramenta eficaz para a aprendizagem, pois permite que os alunos se apropriem do conhecimento de forma independente e com maior facilidade.

O uso de *softwares* para o ensino tem como objetivo maior facilitar o processo de aprendizagem por parte do aluno. Mas, além disso, para poupá-lo de tarefas repetitivas e que tomam muito tempo. Parte dessas tarefas acabam desmotivando o aluno ao aprendizado em função do trabalho que muitas vezes ele tem. (SANTANA et. al., 2010, p. 17). Existem diversos programas de livre distribuição gratuita disponíveis para a realização de diversas atividades de pesquisa e ensino. Esses programas são desenvolvidos por milhares de pessoas no mundo inteiro e tornam-se cada vez mais de interesse da comunidade científica e do público em geral.

Muitos desses programas computacionais possuem similares gratuitos que podem auxiliar a reduzir os custos de tais ferramentas computacionais, ao mesmo tempo em que dá acesso irrestrito a ferramentas complexas. Melhorando o acesso em tais ferramentas de suma importância para o ensino de física (Nasir, 2016).

Novas tecnologias ocupam cada vez mais espaço no cotidiano, em nosso dia a dia e dentro da escola. Tais recursos aparecem com o objetivo de contribuir para o processo de ensino não só na física, mas em todas as áreas do conhecimento. Salas com projetores multimídia, alunos com net books, animações com recursos 3D, dentre outros, são facilitadores e podem contribuir significativamente no processo de geração e fixação do conhecimento por parte dos alunos, facilitando, assim, atividades de cunho científico- acadêmico e de ensino nos cursos de exatas.

Como dito anteriormente, existem diversos programas computacionais gratuitos que podem auxiliar na redução dos custos das ferramentas computacionais utilizadas no ensino de física. Essa disponibilidade de alternativas gratuitas proporciona acesso irrestrito a ferramentas completas, o que é extremamente benéfico para o ensino de diversas áreas do conhecimento.

No contexto do ensino de física, é crucial garantir que os alunos tenham acesso a recursos tecnológicos adequados para auxiliar sua aprendizagem. Ao disponibilizar programas computacionais gratuitos, os educadores podem oferecer oportunidades de aprendizado mais inclusivas, independentemente das restrições financeiras das instituições de ensino ou dos alunos. Portanto, é importante melhorar o acesso a ferramentas computacionais no ensino de física. Essa iniciativa tem o potencial de enriquecer o ensino e facilitar a compreensão dos conceitos físicos por parte dos estudantes.

2.2 FERRAMENTA COMPUTACIONAL (GNU – OCTAVE)

O GNU-Octave é uma ferramenta de computação científica (*open-source*) que permite a realização de diferentes operações matemáticas e estatísticas. Por meio dele é possível realizar experimentos, construir gráficos e plotar funções. Além disso, o programa também permite a realização de análises numéricas, o que o torna útil para a aplicação em disciplinas que lidam com cálculos e outras áreas relacionadas (GNU-OCTAVE, 2022).

Em síntese, o uso de materiais potencialmente significativos, como os softwares computacionais, pode ser uma ferramenta útil para a aprendizagem dos alunos, pois permitem que eles possam participar de forma ativa e desenvolver habilidades intelectuais e cognitivas. Por meio destes programas é possível investigar e testar hipóteses, solucionar problemas de forma criativa e desenvolver raciocínios lógicos. Ainda, como são programas de livre distribuição, eles tornam-se cada vez mais de interesse da comunidade científica e do público em geral.

Uma das principais vantagens do GNU-Octave é a sua flexibilidade. Ele suporta a manipulação de matrizes e vetores, o que permite realizar cálculos matriciais de forma eficiente. Além disso, possui uma sintaxe amigável, semelhante à do MATLAB, facilitando a transição e o compartilhamento de código entre as duas plataformas.

Essa interoperabilidade é especialmente relevante para a comunidade científica, pois promove a colaboração e o intercâmbio de conhecimentos. O programa também oferece um conjunto abrangente de ferramentas para análise numérica. Por meio de algoritmos e métodos implementados, é possível realizar análises estatísticas, interpolação, otimização, processamento de sinais, entre outras técnicas. Essas funcionalidades são fundamentais para diversas disciplinas, como física, engenharia, economia e ciências sociais, fornecendo uma base sólida para o desenvolvimento de modelos e validação de resultados.

Ao utilizar o GNU-Octave como uma ferramenta de ensino, os educadores podem promover a participação ativa dos alunos no processo de aprendizagem. Através do uso desse *software*, os alunos podem realizar experimentos virtuais, explorar conceitos abstratos e visualizar os resultados de forma interativa. Essa abordagem prática estimula o pensamento crítico, a resolução de problemas e o desenvolvimento de habilidades intelectuais e cognitivas:

A utilização de ferramentas computacionais, como o GNU-Octave, no ensino de disciplinas relacionadas à matemática e ciências exatas, permite aos alunos uma aprendizagem mais efetiva e envolvente. Essas ferramentas proporcionam uma experiência prática e visual, que auxilia no entendimento dos conceitos teóricos e estimula a criatividade na resolução de problemas (GNU-OCTAVE, 2022).

Em suma, o GNU-Octave é uma ferramenta poderosa que desempenha um papel fundamental no avanço da computação científica. Seu uso na educação e na pesquisa permite que os usuários explorem de forma interativa conceitos complexos e apliquem técnicas analíticas de maneira eficiente. Além disso, como um *software* de código aberto, o GNU-Octave incentiva a colaboração, a disseminação do conhecimento e o crescimento da comunidade científica.

2.3 GRANDEZAS FUNDAMENTAIS DO ELETROMAGNETISMO

As grandezas fundamentais do eletromagnetismo são aquelas que descrevem os fenômenos elétricos e magnéticos em termos quantitativos. As principais são:

- O campo magnético $\vec{B}$;
- A força magnética $F \rightarrow_B$;

- A permeabilidade magnética μ_0 ;
- Indução magnética;
- A permissividade elétrica ϵ_0 ;
- Fluxo magnético Φ_B .

Essas grandezas fundamentais são essenciais para entender e quantificar os fenômenos eletromagnéticos, permitindo o desenvolvimento de teorias e práticas no campo da eletricidade e do magnetismo. Agora faremos uma breve explicação do significado de cada uma das grandezas citadas.

2.3.1.1 CAMPO MAGNÉTICO $\vec{B}$

O campo magnético é uma propriedade física associada à presença de corrente elétrica ou de materiais magnéticos. É um campo vetorial que descreve a força e a direção que experimenta uma partícula carregada em movimento ou um ímã na presença de um campo magnético.

Os campos elétricos e magnéticos são essenciais no estudo do eletromagnetismo. A interação entre esses campos é governada por leis fundamentais formuladas por James Clerk Maxwell. Maxwell desenvolveu uma teoria eletromagnética unificada em 1865, na qual formulou a dor de Maxwell. Eles descrevem matematicamente os fenômenos eletromagnéticos e estabelecem as bases do eletromagnetismo como um campo unificado da física (Oakeshott, 2019).

O estudo do campo magnético e sua interação com a matéria fazem parte da física e do eletromagnetismo. As leis fundamentais que governam o comportamento do campo magnético são as leis de Maxwell, que descrevem as relações entre os campos elétricos e magnéticos, e a lei de Lorentz, que descreve a força ejetada sobre uma partícula carregada em movimento na presença de um campo magnético.

2.3.1.2 A FORÇA MAGNÉTICA $\vec{F} \rightarrow_B$

A força magnética é uma força que atua em partículas carregadas em movimento ou em ímãs. É uma das quatro forças fundamentais da natureza, juntamente com a gravidade, a força eletromagnética e a força nuclear forte e fraca. A força magnética surge devido à interação entre campos magnéticos e partículas carregadas. Quando uma partícula carregada se move em um campo magnético, ela experimenta uma força perpendicular tanto na direção do seu movimento quanto na direção do campo magnético. Essa força é conhecida como força de Lorentz. A força magnética pode ser descrita matematicamente pela recepção da força de Lorentz:

$$\vec{F} \rightarrow_B = q \vec{v} \rightarrow \times \vec{B} \quad (2.1)$$

Onde:

- $F \rightarrow_B$ é a força magnética;
- q é a carga da partícula;
- $\vec{v} \rightarrow$ é a velocidade da partícula;
- $\vec{B}$ é o vetor do campo magnético.

Essa equação é a expressão vetorial para a força magnética em uma partícula carregada movendo-se em um campo magnético. A direção da força magnética é perpendicular tanto à direção da velocidade da partícula quanto à direção do campo magnético. A magnitude da força depende do valor da carga da partícula, da velocidade e da intensidade do campo magnético.

2.3.1.3 Permeabilidade magnética μ_0

A permeabilidade magnética do vácuo, representada por μ_0 (mu-zero), é uma constante fundamental na física e na teoria do eletromagnetismo. Ela descreve a capacidade do vácuo de permitir a manifestação de campos magnéticos e está relacionada à resposta do espaço vazio à presença de um campo magnético (SERWAY, 2006). O valor exato da permeabilidade magnética das partículas é expresso por:

$$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ T} \cdot \text{m/A} \quad (2.2)$$

Essa constante aparece nas equações de Maxwell, permeabilidade magnética das evacuações é uma das constantes físicas e tem uma natureza fundamental, ela é usada em muitos cálculos e fórmulas relacionadas a campos magnéticos, indução magnética e eletromagnetismo em geral. Vale ressaltar que em meios materiais diferentes das partículas, a permeabilidade magnética pode ter valores diferentes, dependendo das propriedades magnéticas do material em questão. Isso significa que a permeabilidade magnética das infecções é uma referência importante para comparação e contato com diferentes materiais.

2.3.1.4 Indução magnética

A indução magnética, também conhecida como fluxo magnético ou campo magnético induzido, refere-se ao fenômeno pelo qual um campo magnético é gerado em resposta a uma corrente elétrica ou a uma variação do fluxo de corrente em um condutor (SERWAY, 2006). Esse fenômeno é regido pela lei de indução eletromagnética de Faraday e pela lei de Ampère.

A lei de indução de Faraday estabelece que uma variação do fluxo magnético através de uma superfície delimitada por um circuito elétrico induz uma força eletromotriz (*fem*) nesse circuito. A *fem* induzida é diretamente proporcional à taxa de variação do fluxo magnético e tem uma polaridade que produz uma corrente que gera um campo magnético à variação do campo original. A lei de Ampère, por sua vez, relaciona a circulação de um campo magnético ao redor de um circuito fechado à corrente elétrica que atravessa esse circuito. Ela estabelece que a corrente elétrica induz um campo magnético proporcional à corrente (SERWAY, 2006).

2.3.1.5 Permissividade elétrica

A permissividade elétrica é uma propriedade dos materiais que descreve a capacidade de um material de se polarizar em resposta a um campo elétrico aplicado. A permissividade elétrica de um material indica a facilidade com que o material pode ser polarizado e armazenar carga elétrica quando submetido a um campo elétrico. Em outras palavras, ela representa a relação entre o campo elétrico aplicado e a densidade de carga resultante. A permissividade elétrica é uma constante fundamental da natureza e tem um valor aproximado de:

$$\epsilon_0 = 8,854 \times 10^{-12} \text{ F/m} \quad (2.3)$$

Ela é medida em unidades de *farads* por metro (F/m) ou, frequentemente, em termos de sua constante relativa ϵ_0 . A constante relativa é a razão entre a permissividade elétrica de um material e a permissividade elétrica das embalagens ϵ_0 .

2.3.1.6 Fluxo magnético

O fluxo magnético é uma grandeza física que descreve a quantidade de campo magnético que atravessa uma determinada superfície. É uma medida da voz total de linhas de campo magnético que passam por uma área específica. O fluxo magnético é denotado pela letra grega Φ (phi). O fluxo magnético é uma quantidade útil em várias aplicações, como eletromagnetismo, engenharia elétrica e física. É particularmente importante na lei de Faraday da indução eletromagnética, onde a variação do fluxo magnético através de uma superfície está relacionada à força eletromotriz induzida em um circuito.

2.4 ELETROMAGNETISMO

2.4.1 Lei de Coulomb

A lei de Coulomb é uma das leis fundamentais da eletrostática e descreve a interação elétrica entre duas cargas elétricas. Ela estabelece que a força eletrostática entre duas cargas é diretamente proporcional ao produto das magnitudes das cargas e inversamente proporcional ao quadrado da distância entre elas (SERWAY, 2006). A expressão matemática da lei de Coulomb é dada por:

$$F_e = k_0 \frac{|q_1||q_2|}{r^2} \quad (2.4)$$

Onde:

- F_e é a força eletrostática entre as cargas q_1 e q_2 .
- r é a distância entre as cargas q_1 e q_2 .
- k_0 é a constante eletrostática de Coulomb, é aproximadamente igual a:

$$k_0 = 8,9876 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2 \quad (2.5)$$

Também pode ser escrita assim, onde ϵ_0 é a permissividade do espaço livre (2.3):

$$k_0 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \quad (2.6)$$

A lei de Coulomb descreve uma força de natureza eletrostática, ou seja, ela atua apenas em cargas elétricas e é mediada por campos elétricos que essas cargas geradas ao seu redor. Forças de atração e repulsão: Se as cargas q_1 e q_2 possuírem sinais opostos (uma é positiva e outra é negativa), a força entre elas será de atração, ou seja, elas se aproximam. Se as cargas possuem o mesmo sinal (ambas positivas ou ambas as negativas), a força será de repulsão. O campo elétrico é uma grandeza física fundamental que descreve a interação entre cargas elétricas. É uma propriedade que existe em todos os pontos do espaço e é gerada por cargas elétricas, sejam elas positivas ou negativas. Essas cargas criam um campo ao seu redor que influencia outras cargas elétricas próximas. O campo elétrico é um vetor, o que significa que possui magnitude e direção (SERWAY, 2006).

Uma forma de visualizar o campo elétrico é através das linhas do campo elétrico. Essas linhas são imaginárias e são desenhadas de forma a indicar a direção do campo em cada ponto. As linhas de campo elétrico são sempre perpendiculares às superfícies equipotenciais, que são superfícies onde o potencial elétrico é o mesmo em todos os pontos.

O vetor campo elétrico $\vec{E}$ em um ponto do espaço é definido como a força elétrica $\vec{F}_e$ que atua sobre uma carga de teste positiva q_0 localizada neste ponto dividida pela carga de teste.

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}_e}{q_0} \quad (2.7)$$

Uma carga de teste colocada em um campo elétrico sofre ação de uma força elétrica. A magnitude dessa força é determinada pelo produto da carga de teste com a intensidade do campo elétrico. Matematicamente, a força elétrica onde q é a carga de teste e $\vec{E}$ é o campo elétrico é dada por:

$$\vec{F}_e = q\vec{E} \quad (2.8)$$

O campo elétrico de um ponto P a uma distância r de uma carga geradora de campo elétrico é definida por:

$$\vec{E} = k \frac{Q}{r^2} \quad (2.9)$$

Onde, k_0 é a constante eletrostática, r é a distância da carga geradora do campo elétrico ao ponto P .

2.4.2 Lei de Biot-Savart

Jean-Baptiste Biot (1774-1862) e Félix Savart (1791-1841), realizaram experimentos quantitativos sobre a força exercida por uma corrente elétrica em um ímã próximo (SERWAY, 2011). A partir de seus resultados experimentais, Biot e Savart chegaram a uma expressão matemática que fornece o campo magnético em algum ponto do espaço em termos da corrente que ele produz. Essa expressão é baseada nas observações matemáticas a seguir para o campo magnético $d\vec{B} \rightarrow$ em um ponto P associado a um elemento de comprimento $ds \rightarrow$ de um fio transportando uma corrente estável (SERWAY, 2006). Essas observações são resumidas na expressão matemática conhecida hoje como a Lei de Biot-Savart.

$$d\vec{B} \rightarrow = \frac{\mu_0 I ds \rightarrow \times \hat{r}}{4\pi r^2} \quad (2.10)$$

Onde μ_0 é a constante permeabilidade do espaço livre (vácuo):

$$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} T \cdot m/A \quad (2.11)$$

O campo magnético resultante no centro entre as bobinas de Helmholtz, pode ser calculado utilizando-se a lei de Biot-Savart. Essa lei descreve o campo magnético gerado por uma corrente elétrica em um ponto específico do espaço. Considerando a simetria do arranjo das bobinas, é possível calcular o campo magnético resultante no centro como a soma dos campos magnéticos gerados por cada bobina individualmente. O campo magnético resultante no centro é aproximadamente dado por:

$$B = \mu_0 \cdot i \cdot N/R^2 \quad (2.12)$$

Onde:

- B é o campo magnético resultante no centro;
- μ_0 é a permeabilidade magnética do vácuo valor aproximado de;
- N é o número de espiras das bobinas;
- i é a corrente elétrica que passa por cada bobina;
- R é o raio das bobinas.

2.4.3 Lei de Gauss

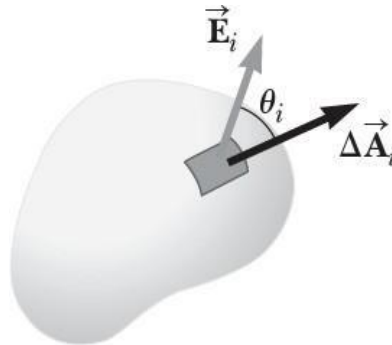
Karl Friedrich Gauss, Matemático e astrônomo alemão (1777-1855). Gauss recebeu seu doutorado em Matemática pela Universidade de Helmstedt em 1799. Além de seu trabalho em Eletromagnetismo, contribuiu para a Matemática e a Ciência nas áreas da teoria dos números, estatísticas, geometria não euclidiana e mecânica orbital cometeria. Gauss foi um dos fundadores da German Magnetic Union, que estuda continuamente o campo magnético da Terra (SERWAY, 2006).

Lei de Gauss é uma das principais ferramentas do eletromagnetismo utilizadas para analisar o comportamento do campo elétrico em uma região do espaço. Formulada por Karl Friedrich Gauss no século XIX, a Lei de Gauss estabelece uma relação fundamental entre o fluxo elétrico através de uma superfície fechada e a carga elétrica contida dentro dessa superfície (FÍSICA CONCEITUAL, 2015).

O fluxo elétrico é uma grandeza física que mede a quantidade de linhas de campo elétrico que atravessam uma determinada superfície, as linhas de campo elétrico representando um campo elétrico uniforme que penetra uma área A e forma um ângulo com o campo. O fluxo para uma superfície aberta, como ilustrado na Figura 1, é calculado por:

$$\Phi_E = \int \vec{E} \cdot d\vec{A} \quad (2.13)$$

Figura 1: Pequeno elemento de área ΔA_i atravessado pelo vetor campo elétrico $\vec{E}_i$



Fonte: Serway, 2006.

Onde $\vec{E}$ representa o campo elétrico, A é a área da superfície e θ é o ângulo entre o campo elétrico e a normal à superfície e Φ_E é expresso em unidade de newton-metro quadrado por coulomb ($N \cdot m^2/C$). A Lei de Gauss estabelece que o fluxo líquido através de qualquer superfície fechada em torno de uma carga pontual q é dada por q/ϵ_0 e é independente da forma da superfície em questão (SERWAY, 2006). Matematicamente, a Lei de Gauss é expressa como:

$$\Phi_E = \oint \vec{E} \cdot d\vec{A} = \frac{Q_{in}}{\epsilon_0} \quad (2.14)$$

Onde, Φ_E é o fluxo elétrico através da superfície fechada, $\Phi_E = \vec{E} \cdot A$ representa a integral do produto escalar entre o campo elétrico e o vetor diferencial de área, Q_{in} é a carga elétrica total contida dentro da superfície e ϵ_0 é a eletricidade constante do vácuo. Essa lei é extremamente útil para simplificar o cálculo do campo elétrico em situações de simetria, onde a distribuição de carga apresenta uma forma geométrica regular, como uma esfera, um cilindro ou um plano infinito. Nessas situações, a simetria da distribuição de carga permite que se escolha uma superfície gaussiana adequada, simplificando o cálculo necessário para determinar o campo elétrico.

Assim como a lei da gravidade revelou os segredos do universo físico, a lei de Gauss ilumina os mistérios do campo eletromagnético. Através desta lei, somos capazes de compreender como as cargas elétricas se distribuem e interagem, abrindo caminho para a descoberta e exploração de novos fenômenos e aplicações tecnológicas. A lei de Gauss é uma bússola para navegarmos no vasto oceano do eletromagnetismo, guiando-nos em direção ao entendimento profundo da natureza (Physics - Gauss's Law, 2010).

Em resumo, a Lei de Gauss desempenha um papel fundamental na análise do campo elétrico, permitindo uma abordagem simplificada em situações de simetria. Ela estabelece uma relação direta entre o fluxo elétrico através de uma superfície fechada e a carga elétrica contida dentro dessa superfície, fornecendo uma poderosa ferramenta de cálculo para resolver problemas envolvendo campos elétricos.

2.4.4 Lei de Gauss para o Magnetismo

A lei de Gauss relaciona o fluxo elétrico resultante de um campo elétrico, através de uma superfície fechada, com a carga resultante que é envolvida por essa superfície. A lei de Gauss relaciona os campos elétricos em pontos sobre uma superfície gaussiana (fechada) com a carga resultante envolta por essa superfície (SERWAY, 2006). O fluxo magnético é dado por:

$$\Phi_B = \int \vec{B} \cdot d\vec{A} \quad (2.15)$$

Se um elemento de área $d\vec{A}$ em uma superfície formada, o campo magnético nesse elemento $\vec{B}$. O fluxo magnético é dado por ele é $\vec{B} \cdot d\vec{A}$, no qual $d\vec{A}$ é um vetor que está perpendicular à superfície. A lei de Gauss no magnetismo afirma que o fluxo magnético em qualquer superfície fechada é sempre zero.

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{A} = 0 \quad (2.16)$$

2.4.1 Lei de Ampère

Andre-Marie Ampère (1775-1836), Ampère nasceu em Lyon, França, e desde jovem mostrou grande interesse e habilidade em matemática e física. Ele estudou na École Polytechnique em Paris e posteriormente lecionou na École Centrale de Lyon. Uma de suas principais respirações foi o estabelecimento da relação matemática entre a eletricidade e o magnetismo ele é considerado o descobridor do eletromagnetismo, que é a relação entre as correntes elétricas e campos magnéticos.

Ampère descobriu que uma corrente elétrica em um fio gera um campo magnético ao seu redor, e que duas correntes paralelas interagem entre si, atraindo-se ou repelindo-se, dependendo da direção das correntes. Com base em suas observações, Ampère formulou uma lei fundamental conhecida como Lei de Ampère, que descreve a interação magnética entre correntes elétricas. Essa lei é uma das reflexões fundamentais do eletromagnetismo e é amplamente utilizada até hoje.

Além disso, Ampère contribuiu para a formulação das angústias de Maxwell, que descrevem as leis do eletromagnetismo de forma unificada. Suas descobertas e contribuições foram fundamentais para o desenvolvimento da teoria eletromagnética e tiveram um impacto significativo no avanço da tecnologia elétrica (SERWAY, 2006). A Lei de Ampère afirma que a direção do campo magnético é determinada pela corrente. Podemos inverter a direção da corrente invertendo a direção do campo. Essa relação é representada pela regra da mão direita, o polegar da mão direita indica a direção convencional. Os outros dedos, ao envolver o condutor por onde passa a corrente, dão a direção das linhas de campo.

Assim, se a mão direita é usada para envolver o condutor, onde o polegar aponta para cima, o campo magnético também apontará para cima. Invertendo a direção do polegar, o campo também será invertido (SERWAY, 2006).

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{s} = \mu_0 I \quad (2.17)$$

Onde $\oint \vec{B} \cdot d\vec{s}$ representa a circulação do campo magnético $\vec{B}$ ao longo de uma curva fechada, μ_0 é a permeabilidade do vácuo (uma constante fundamental) e I é a corrente total que atravessa a superfície delimitada pelas curvas.

A Lei de Ampère-Maxwell é uma das quatro equações de Maxwell que descrevem completamente os fenômenos eletromagnéticos. Essas equações são fundamentais para entender uma ampla variedade de fenômenos físicos, como a propagação da luz, a geração e a propagação de ondas eletromagnéticas, a indução eletromagnética.

2.4.2 Lei de Faraday-Lenz

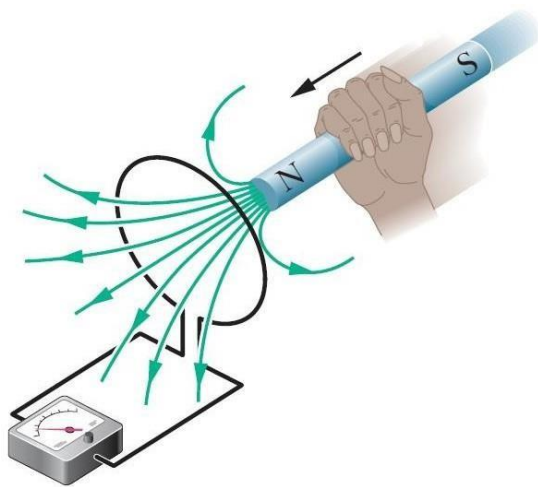
Michael Faraday foi um dos cientistas mais influentes do século XIX e desempenhou um papel fundamental no desenvolvimento da eletricidade e do eletromagnetismo. Uma das contribuições mais significativas de Faraday foi sua descoberta da indução eletromagnética, ele descobriu que um campo magnético variável pode induzir uma corrente elétrica em um circuito elétrico próximo. Michael Faraday descobriu que quando um circuito era ligado ou desligado, uma corrente aparecia no outro circuito, figura 2. Para confirmar que era um efeito magnético, ele aproximou um ímã e observou o surgimento da corrente. A conclusão de Faraday é que a mudança no fluxo magnético através do circuito produz uma tensão elétrica, que dá origem à corrente (HALLIDAY, 2016).

De acordo com a lei de Faraday, a força eletromotriz (*fem*) induzida sobre o circuito é igual a taxa de variação do fluxo magnético. (Lei de Faraday-Eletromagnetismo). A forma matemática da lei da indução é dada por:

$$\mathcal{E} = - \frac{d\Phi_B}{dt} \quad (2.18)$$

O sinal negativo garante que a *fem* induzida é no sentido de criar um campo magnético que vai se opor à variação do fluxo. Assim, se o fluxo está aumentando, a tensão cria uma corrente que gera um fluxo negativo, que foi descoberto por Lenz.

Figura 2 – Produção de corrente em uma espira.



Fonte: Halliday (2016)

3 METODOLOGIA

Neste trabalho, foi utilizado o software GNU-Octave como uma ferramenta fundamental para a plotagem de gráficos e tratamento de dados dos experimentos realizados em laboratório. O GNU-Octave é um ambiente de computação numérica de alto nível e de código aberto, compatível com a linguagem de programação MATLAB. Ele oferece uma ampla gama de funcionalidades para análise matemática, cálculos matemáticos, criação de gráficos e simulações.

Ao aproveitar os recursos do GNU-Octave, podemos desenvolver soluções para uma variedade de problemas de eletromagnetismo. Com base na fundamentação teórica dos conteúdos estudados, criamos rotinas e scripts que nos permitem modelar e simular fenômenos eletromagnéticos, analisar o comportamento de campos elétricos e magnéticos, e explorar a interação entre eles. A flexibilidade e eficiência do GNU-Octave nos fornecem uma plataforma poderosa para realizar análises e simulações de forma precisa e confiável. Além disso, a disponibilidade de uma ampla gama de códigos de referência e recursos adicionais do GNU-Octave permitiu-nos aprofundar ainda mais nosso entendimento dos conceitos teóricos do eletromagnetismo.

Podemos explorar exemplos práticos e implementar algoritmos avançados, aproveitando os recursos do software. Isso fortalece a base teórica e aprimora as habilidades de resolução de problemas na área de eletromagnetismo. Por meio deste trabalho, tem como objetivo compartilhar nossa experiência com o GNU-Octave e incentivar outros estudantes e profissionais a explorarem essa ferramenta poderosa e acessível na área de eletromagnetismo.

A utilização do GNU-Octave amplia as possibilidades de análise e simulação de fenômenos eletromagnéticos, impulsionando avanços na área e fornecendo um maior entendimento dos princípios fundamentais que regem nosso mundo físico. Ao promover o uso do GNU-Octave, esperamos contribuir para a disseminação de soluções eficientes e de baixo custo na área de eletromagnetismo, permitindo que mais pessoas se beneficiem dessa poderosa ferramenta de análise numérica.

Sem dúvidas o GNU-Octave tem o potencial de apoiar a pesquisa e o desenvolvimento em eletromagnetismo, abrindo novas possibilidades de estudo e investigação nessa área fundamental da física.

4 RESULTADOS

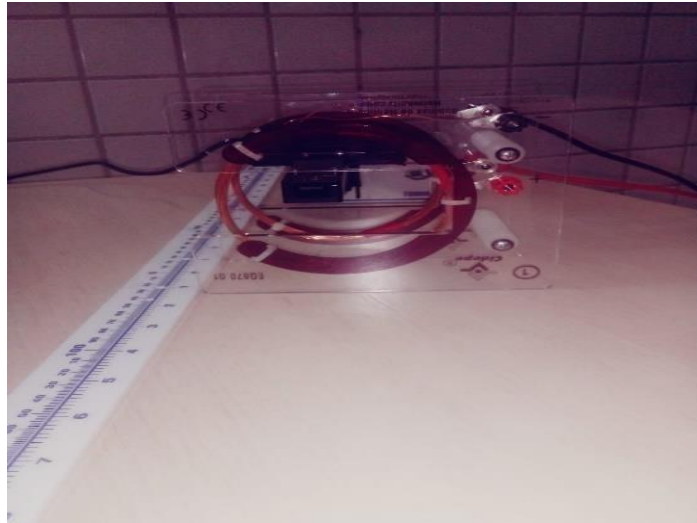
Com base na proposta da pesquisa, foram realizados três experimentos em laboratório. Em seguida, utilizamos o *software* GNU-Octave para analisar e visualizar os dados coletados com maior clareza.

4.1 Experimento 1: O mapeamento das linhas de campo magnético em uma bobina de Helmholtz.

O experimento realizado em laboratório envolvia mapear linhas de campo magnético em uma bobina de Helmholtz. A bobina de Helmholtz é um arranjo comum de duas bobinas circulares idênticas, posicionadas uma ao lado da outra, com os eixos alinhados. Essas bobinas são utilizadas para gerar campos magnéticos uniformes em uma região específica do espaço.

A configuração das bobinas de Helmholtz é tal que a corrente elétrica flui pelas bobinas em direções opostas, isso gera campos magnéticos que se somam no centro entre as bobinas, criando uma região de campo magnético uniforme. A Figura 3 ilustra o aparato experimental referente ao mapeamento das linhas de campo magnético.

Figura 3: Mapeamento das linhas de campo magnético.



Fonte: Próprio autor.

Foi posicionado uma sonda magnética no centro entre as espiras e foi feito uma série de medições da intensidade do campo magnético em diferentes pontos do espaço, Tabela 1. Onde x é medido em metros e B em Gauss:

Tabela 1: Resultados obtidos no experimento.

x (m)	B (G)
-0,14	0
-0,12	0,03
-0,10	0,05
-0,08	0,07
-0,06	0,15
-0,04	0,30
-0,02	0,38
0	0,38
0,02	0,38
0,04	0,30
0,06	0,17
0,08	0,19
0,10	0,06
0,12	0,06
0,14	0,05

Com base nos dados coletados durante o experimento, foi utilizado o software GNU-Octave para processar e visualizar as informações em forma de gráfico. Utilizando comandos específicos e recursos avançados do software, mostrado no Script 1. Plotará um gráfico detalhado que ilustra o campo magnético criado pelas bobinas.

Script 1 - Comandos para a plotagem do gráfico.

```

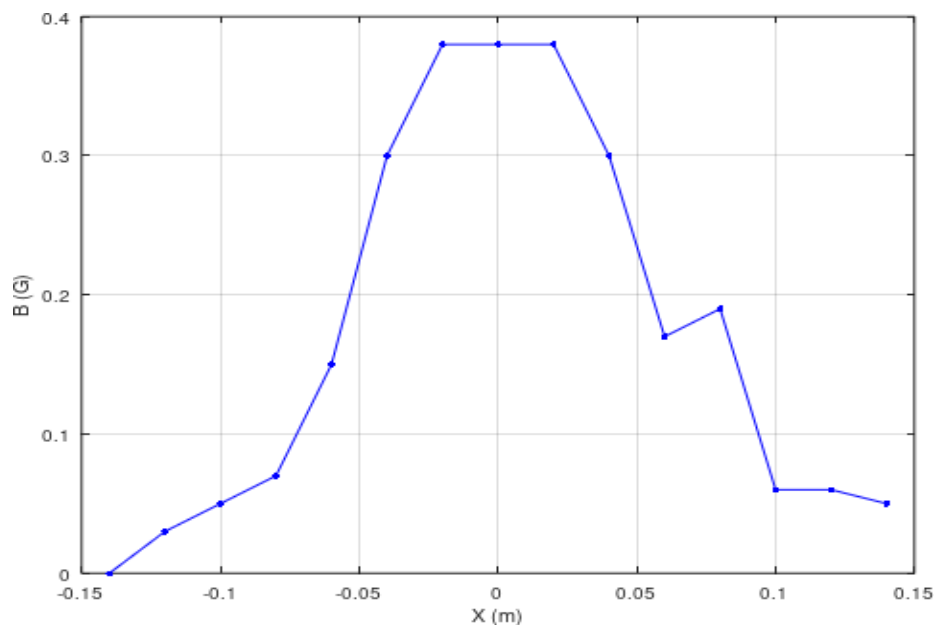
1 %O mapeamento das linhas de campo magnético em uma bobina de Helmholtz
2 % Experimento 1
3 % Dados coletados no desenvolvimento do experimento
4 X = [-0.14, -0.12, -0.10, -0.08, -0.06, -0.04, -0.02, 0, 0.02, 0.04, 0.06, 0.08, 0.10, 0.12, 0.14];
5 B = [0, 0.03, 0.05, 0.07, 0.15, 0.30, 0.38, 0.38, 0.38, 0.30, 0.17, 0.19, 0.06, 0.06, 0.05];
6
7 % Plotagem do gráfico
8 plot(X, B, 'g.-');
9 xlabel('X (m)');
10 ylabel('B (G)');
11 grid on;

```

Fonte: Próprio autor.

Essa representação gráfica permite analisar visualmente as variações e distribuições do campo magnético em relação às diferentes configurações das bobinas, fornecendo uma compreensão mais aprofundada do comportamento magnético do sistema em estudo.

Gráfico 1 - O mapeamento das linhas de campo magnético em uma bobina de Helmholtz.



Fonte: Próprio autor.

O Gráfico 1 representa o gráfico gerado a partir dos dados coletados. Com uma compreensão mais aprofundada do comportamento magnético do sistema, é possível realizar uma análise mais precisa, mostrando que essa ferramenta pode ser de grande utilidade para a compreensão dos efeitos físicos experimental.

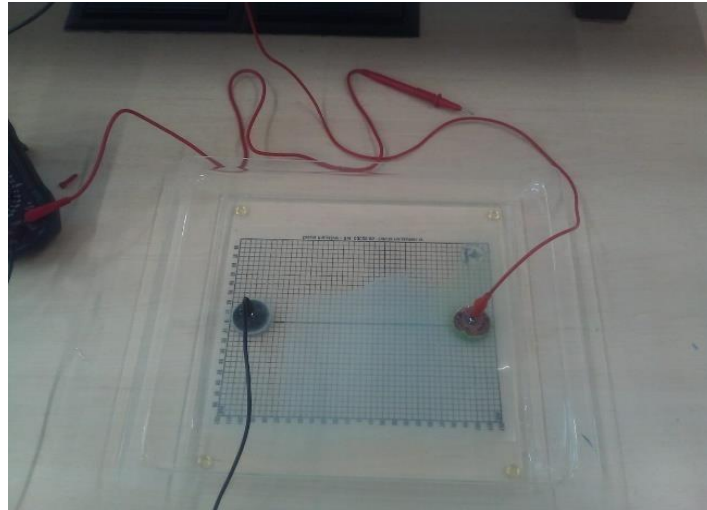
4.2 Experimento 2: As linhas e superfícies equipotenciais entre eletrodos puntiformes.

As linhas e superfícies equipotenciais entre eletrodos puntiformes são características da distribuição do potencial elétrico em torno desses eletrodos. Um eletrodo puntiforme é uma aproximação teórica de um eletrodo com dimensões muito pequenas em comparação com a distância entre eles.

As linhas equipotenciais são linhas imaginárias desenhadas em um campo elétrico para representar pontos que têm o mesmo potencial elétrico. No caso de eletrodos puntiformes, as linhas equipotenciais são radiais, irradiando do eletrodo positivo em direção ao eletrodo negativo, Figura 4.

Essas linhas são perpendiculares às linhas de campo elétrico e indicam o caminho que uma carga positiva seguiria se estivesse livre para se mover. Já as superfícies equipotenciais são tridimensionais e representam as superfícies em que todos os pontos têm o mesmo potencial elétrico (SERWAI, 2006).

Figura 4: As linhas e superfícies equipotenciais entre eletrodos puntiformes.



Fonte: Próprio autor.

Durante o desenvolvimento do experimento, utilizando o equipamento disponível, foram identificados os pontos de potencial de 5 V, 3 V e 8 V. Esses pontos foram obtidos por meio de medições realizadas no experimento em laboratório. A localização desses pontos está apresentada na tabela a seguir, que inclui as coordenadas espaciais e outras informações relevantes para a análise dos dados coletados.

Tabela 2: Resultados obtidos no experimento

Potencial 5 V	Potencial 3 V	Potencial 8 V
25,0	-32,0	65,0
25,40	-34,-20	68,20
25,20	-56,-60	76,-20
25,60	-70,-80	82,40
25,-20	-36,20	97,-40
25,-40	-47,40	115,60
25,-60	-65,60	70,-30

A partir dos dados coletados durante o experimento realizado em laboratório, é possível construir um gráfico das linhas de potencial. Utilizamos o GNU-Octave e seus comandos específicos para fazer o Script 2, que plotará o seguinte do gráfico de acordo com os dados coletados.

Script 2 - Comandos para plotagem do gráfico.

```

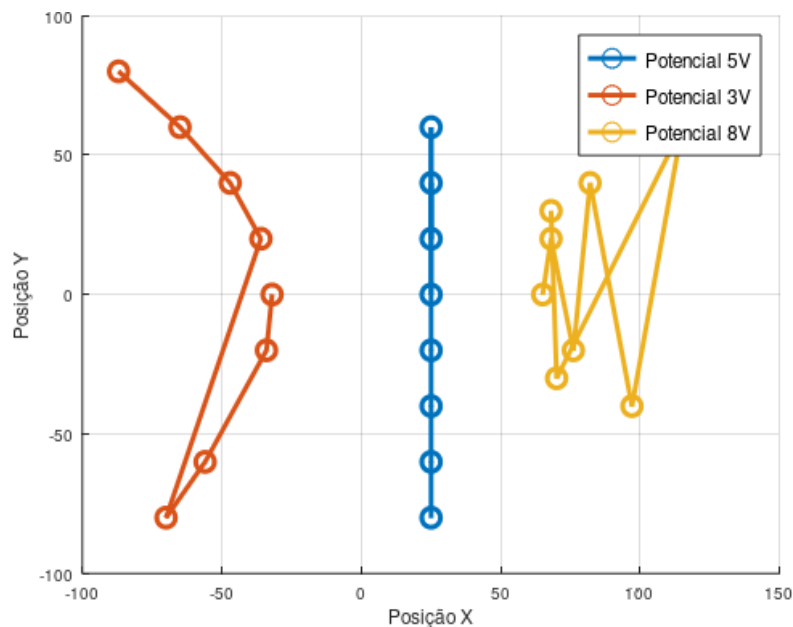
1 % Linhas Equipotenciais em Eletrodos Puntiformes
2 % Dados do experimento
3 potencial_5v = [25, 0; 25, 40; 25, 20; 25, 60; 25, -20; 25, -40; 25, -60; 25, -80];
4 potencial_3v = [-32, 0; -34, -20; -56, -60; -70, -80; -36, 20; -47, 40; -65, 60; -87, 80];
5 potencial_8v = [65, 0; 68, 20; 76, -20; 82, 40; 97, -40; 115, 60; 70, -30; 68, 30];
6
7 % Plot do gráfico de linhas
8 hold on;
9 plot(potencial_5v(:, 1), potencial_5v(:, 2), '-o', 'LineWidth', 1.5);
10 plot(potencial_3v(:, 1), potencial_3v(:, 2), '-o', 'LineWidth', 1.5);
11 plot(potencial_8v(:, 1), potencial_8v(:, 2), '-o', 'LineWidth', 1.5);
12
13 % Configurações do gráfico
14 xlabel('Posição X', 'FontSize', 12);
15 ylabel('Posição Y', 'FontSize', 12);
16 legend('Potencial 5V', 'Potencial 3V', 'Potencial 8V', 'FontSize', 12);
17 grid on;
18 hold off;

```

Fonte: Próprio autor.

Essas informações obtidas por meio do gráfico das linhas de potencial são essenciais para embasar conclusões e tomar decisões embasadas em evidências, Gráfico 2. Além disso, podem servir como base para a formulação de teorias ou modelos que expliquem o comportamento do sistema em estudo.

Gráfico 2 - Gráfico das linhas Equipotenciais entre Eletrodos puntiformes.



Fonte: Próprio autor.

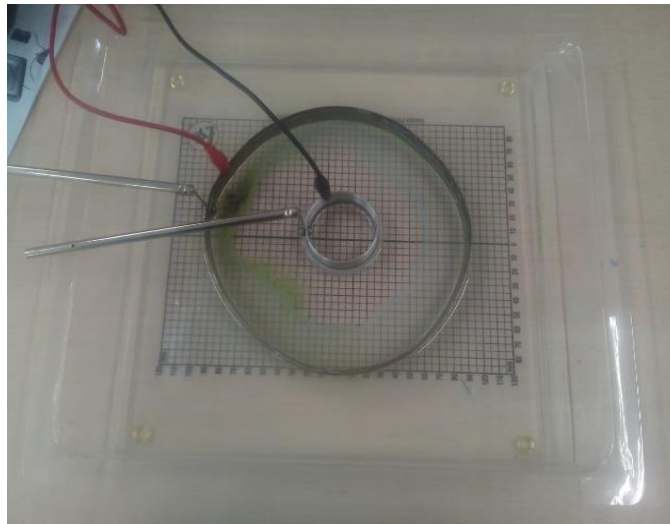
Em resumo, a utilização do GNU-Octave para a construção do gráfico das linhas de potencial permitiu uma análise mais aprofundada dos dados experimentais, contribuindo para uma compreensão mais completa e precisa do fenômeno investigado, mostrando que é uma ferramenta de suma importância para o ensino de física.

4.3 Experimento 3: As linhas e superfícies equipotenciais entre eletrodos em anel.

As linhas e superfícies equipotenciais entre eletrodos em anel referem-se às regiões onde os pontos têm o mesmo potencial elétrico em um sistema com eletrodos dispostos em formato de anel figura 5. Nesse arranjo, a corrente elétrica flui entre os eletrodos, criando um campo elétrico ao redor deles.

As linhas equipotenciais são linhas imaginárias que conectam pontos com o mesmo potencial elétrico. No caso de eletrodos em anel, as linhas equipotenciais seriam linhas concêntricas que circundam o anel, com o potencial diminuindo à medida que se afastam do centro. Essas linhas são perpendiculares às linhas de campo elétrico, formando uma rede de linhas que representa as diferentes tensões em torno dos eletrodos.

Figura 5: As linhas e superfície equipotenciais entre eletrodos em anel.



Fonte: Próprio autor.

Durante o desenvolvimento do experimento, utilizamos o equipamento disponível para identificar os pontos de potencial de 5 V, 3 V e 7 V. Essas medições foram realizadas em laboratório. Os pontos de interesse foram registrados juntamente com suas coordenadas espaciais e outras informações relevantes, apresentadas na Tabela 3.

Tabela 3: Resultado do experimento.

Potencial 5 V	Potencial 3 V	Potencial 7 V
47,0	42,0	72,0
45,20	37,20	74,20
30,40	37,20	72,-20
47,-20	19,40	78,-20
33,-40	30,-30	68,-40
-47,20	-30,-20	-55,60
-30,-40	-30,-30	42,-60
-34,40	-20,-30	-28,-70

Como os experimentos anteriores dispomos do software GNU-Octave para elaborar e mostrar de forma clara o gráfico desse experimento, utilizando comandos específicos do programa mostrado no Script 3.

Script 3 - As linhas equipotenciais entre superfícies entre eletrodos em anel.

```

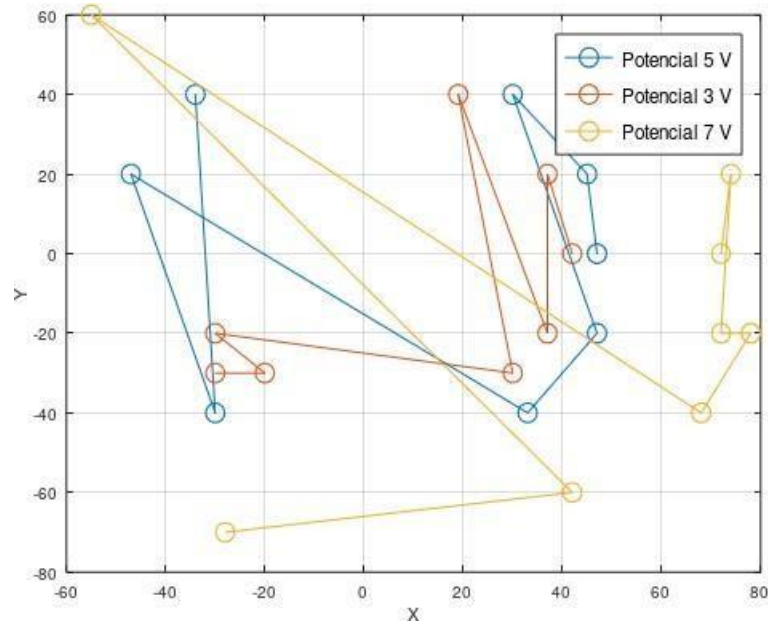
1 % As linhas equipotenciais entre superfícies entre eletrodos em anel
2 % Potencial 5 V
3 x = [47, 45, 30, 47, 33, -47, -30, -34];
4 y = [0, 20, 40, -20, -40, 20, -40, 40];
5 plot(x, y, '-o');
6 hold on;
7
8 % Potencial 3 V
9 x = [42, 37, 37, 19, 30, -30, -20, -30];
10 y = [0, 20, -20, 40, -30, -20, -30, -30];
11 plot(x, y, '-o');
12 hold on;
13
14 % Potencial 7 V
15 x = [72, 74, 72, 78, 68, -55, 42, -28];
16 y = [0, 20, -20, -20, -40, 60, -60, -70];
17 plot(x, y, '-o');
18 hold off;
19
20 % Configurações do gráfico
21 xlabel('X');
22 ylabel('Y');
23 legend('Potencial 5 V', 'Potencial 3 V', 'Potencial 7 V', 'FontSize', 12);
24 grid on;

```

Fonte: Próprio autor.

Assim que o script for iniciado ele plotará o gráfico das linhas equipotenciais entre eletrodos em anel com os dados do experimento realizado, Gráfico 3.

Gráfico 3 - Gráfico das linhas equipotenciais entre superfícies entre eletrodos em anel



Fonte: Próprio autor.

Com isso, fica claro que o software GNU-Octave é extremamente útil para a plotagem de gráficos de experimentos realizados em laboratórios. Ele é capaz de apresentar de forma clara e fácil de compreender o comportamento dos experimentos abordados.

Sua capacidade de apresentar de forma clara e compreensível o comportamento dos experimentos realizados em laboratórios o torna uma escolha ideal para pesquisadores, pesquisadores e estudantes que desejam explorar e comunicar seus resultados de forma eficiente e impactante.

4.4 Utilizando o Software GNU-Octave para resolver e plotar gráficos de problemas de eletromagnetismo.

Ao usar o GNU-Octave para resolver e plotar gráficos de problemas de eletromagnetismo, você pode aproveitar seus recursos poderosos para manipular e realizar soluções complexas. Ele fornece uma interface amigável para escrever matemática e implementar algoritmos relacionados ao eletromagnetismo. Possui recursos gráficos poderosos para plotar gráficos e visualizar resultados.

Você pode criar gráficos 2D e 3D para representar campos eletromagnéticos, distribuições de carga, trajetórias de partículas e qualquer outra quantidade física relacionada ao eletromagnetismo. Através da personalização das configurações de plotagem, você pode ajustar a aparência dos gráficos de acordo com suas necessidades.

O uso do GNU-Octave para problemas de eletromagnetismo oferece uma abordagem eficiente e flexível. Através da combinação de recursos de programação e gráficos, você pode resolver problemas complexos, analisar resultados numéricos e visualizar fenômenos eletromagnéticos de maneira intuitiva.

Em resumo, o GNU-Octave é uma ferramenta valiosa para resolver e plotar gráficos de problemas de eletromagnetismo. Ele permite que você realize cálculos numéricos, implemente algoritmos e visualize resultados, ajudando a entender e estudar fenômenos eletromagnéticos com maior precisão e eficiência.

Diante da proposta de trabalho, dispomos a comunidade científica uma série de scripts de resolução de problemas de eletromagnetismo. Assim, mostrando a ferramenta utilizada e dispondo uma série de problemas resolvidos e exemplificados através de gráficos pelo software GNU-Octave.

Problema 1: Campo elétrico produzido por um ponto de carga, o campo elétrico devido a uma carga puntiforme é dado por:

$$\vec{E}(r) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{V}{r^2} \quad (4.1)$$

Onde r é a distância da carga elétrica puntiforme ao ponto de observação. Para traçar as linhas de campo, podemos normalizar a equação anterior, para $V/4\pi\epsilon_0$.

$$\vec{E}(r) = \frac{E^{\rightarrow}(r)}{n} = \frac{1}{r} \frac{1}{\sqrt{x^2+y^2}} \quad (4.2)$$

Onde (x, y) são as coordenadas do ponto r . O vetor campo elétrico é dado por:

$$r^{\wedge} = \cos\theta + j\sin\theta \quad (4.3)$$

Onde:

$$\theta = \tan^{-1} \frac{y}{x} \quad (4.4)$$

As compoendes do campo elétrico normalizado é dado por:

$$\vec{E}_{\rightarrow n} = \left(\frac{1}{\sqrt{x^2+y^2}} \cos\theta, \frac{1}{\sqrt{x^2+y^2}} \sin\theta \right) \quad (4.5)$$

Para traçar as linhas de campo, primeiro definiremos uma grade com valores x, y.

$$[x, y] = \text{meshgrid}(-10:2:10) \quad (4.6)$$

Plota as linhas de campo como setas. E agora indicamos a posição da carga puntiforme:

$$\text{text}(-0.01, 0, 'O') \quad (4.7)$$

Com isso, foi desenvolvido o seguinte Script 4 para plotar as linhas de campo.

Script 4 - Comandos para plotar as linhas de campo elétrico.

```

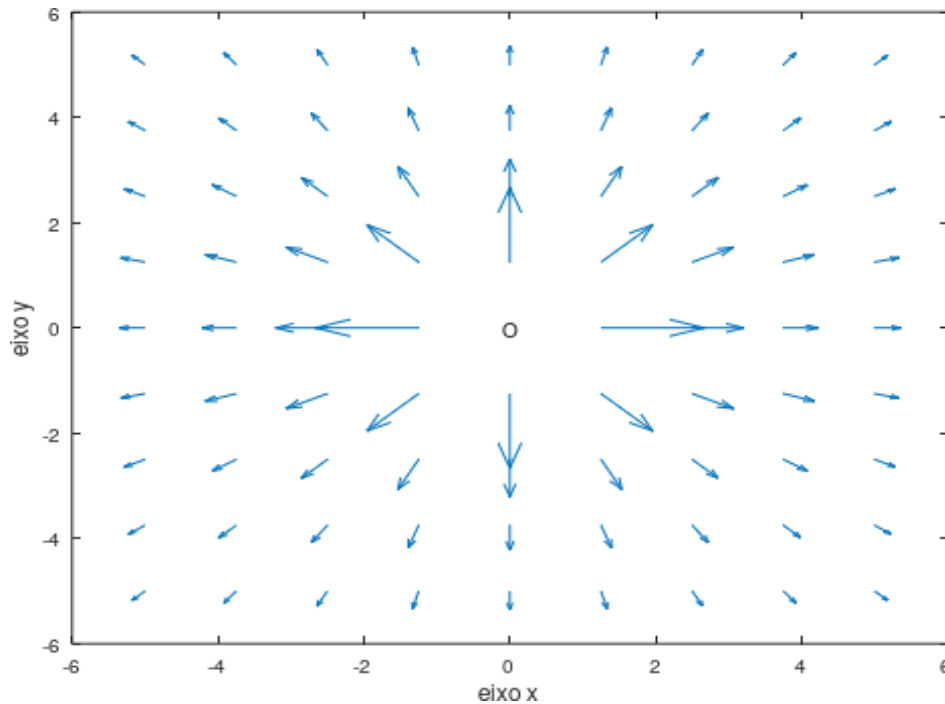
1 % Example_1.m
2 % Este arquivo plota as linhas de campo elétrico
3 [x, y] = meshgrid(-5:1.25:5);
4
5 % Equação do campo elétrico
6 E = 1./(sqrt(x.^2 + y.^2));
7
8 % Vetores unitários
9 unit_x = cos(atan2(y, x));
10 unit_y = sin(atan2(y, x));
11
12 % Componentes do campo elétrico
13 Ex = E.*unit_x;
14 Ey = E.*unit_y;
15
16 % Plotagem
17 quiver(x, y, Ex, Ey);
18 text(-0.1, 0, 'O');
19
20 xlabel('eixo x', 'FontSize', 12);
21 ylabel('eixo y', 'FontSize', 12);

```

Fonte: Próprio autor.

A Figura 6 apresenta o resultado obtido utilizando o software GNU-Octave:

Figura 6 - Linhas de Campo Magnético devido uma carga puntiforme.



Fonte: Próprio autor.

A figura mostra claramente as linhas de campo magnético devido a uma carga pontual. Mostrando, assim, que o *software* o GNU-Octave se destaca como uma ferramenta poderosa para o ensino, proporcionando uma abordagem clara e visualmente rica para explorar e compreender as linhas de campo magnético devido a uma carga puntiforme. Sua capacidade de representar de forma precisa e intuitiva esses fenômenos magnéticos ajuda os estudantes a consolidar conceitos e desenvolver habilidades práticas na área da física eletromagnética.

Problema 2: O campo elétrico em um ponto do espaço devido à presença de uma carga pontual q é um vetor E cujo módulo E é dado pela lei de Coulomb:

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r^2} \quad (4.8)$$

Onde $\epsilon_0 = 8,854 \times 10^{-12} \text{ C}^2/\text{N} \cdot \text{m}^2$ é a permissividade do vácuo, q é o módulo da carga elétrica e r é a distância entre a carga e o ponto em questão. O campo elétrico produzido por essa configuração de cargas é a superposição dos campos elétricos individuais. O módulo da carga $q = 12 \times 10^{-9} \text{ C}$. Com isso, utilizando o GNU-Octave foi obtido o gráfico do problema, gráfico 4. Determinando a distância de cada carga relativa ao eixo x .

$$r_- = \sqrt{(0.02 - x)^2 + 0.02^2} \quad r_+ = \sqrt{(x + 0.02)^2 + 0.02^2} \quad (4.9)$$

Escrevendo os vetores unitários nas direções das linhas que ligam as cargas aos pontos sobre o eixo x.

$$e_- = \frac{1}{r_-} ((0.02 - x)i - 0.02j) \quad (4.10)$$

$$e_+ = \frac{1}{r_+} ((0.02 + x)i + 0.02j) \quad (4.11)$$

Também o módulo dos vetores E_- e E_+ em cada ponto usando a lei de coulomb:

$$|E_-| = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_-}{r_-^2} \quad |E_+| = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_+}{r_+^2} \quad (4.12)$$

Determinando os vetores E_- e E_+ , multiplicando os vetores unitários pelos módulos $|E_-|$ e $|E_+|$.

Escreveremos o vetor E superpondo os vetores E_- e E_+ , determinando o módulo do campo E . Fazendo E em função de x

Script 5 - Campo elétrico devido a um dipolo elétrico.

```

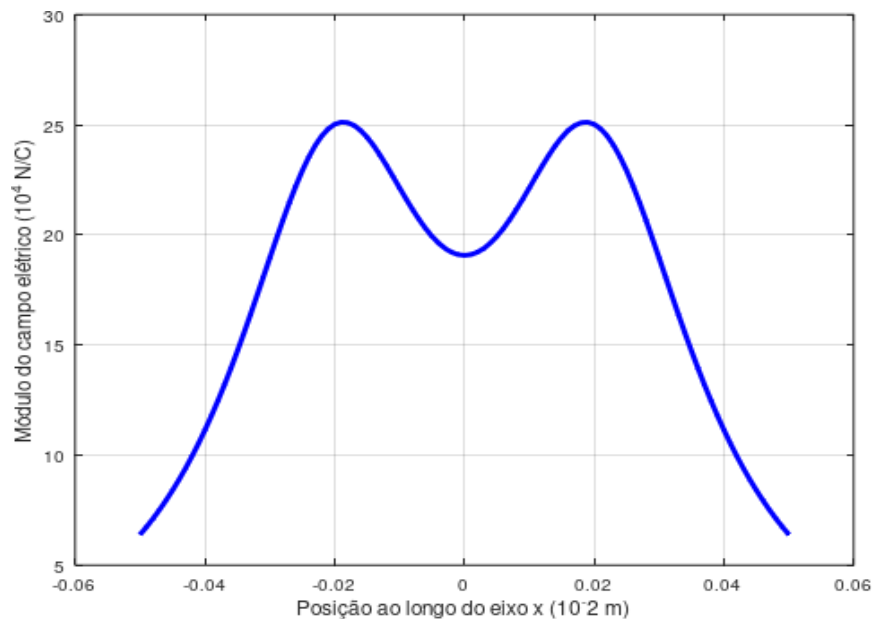
1 % Campo lettrico devido a um dipolo eletrico
2 q = 12*10^-9;
3 epsilon0 = 8.8541878*10^-12;
4 x = [-0.05:0.001:0.05]';
5
6 rmenosS = (0.02 - x).^2 + 0.02^2.;
7 rmenos = sqrt(rmenosS);
8
9 rmaisS = (x + 0.02).^2 + 0.02^2;
10 rmais = sqrt(rmaisS);
11
12 EmenosUV = [((0.02 - x) ./ rmenos), (-0.02 ./ rmenos)];
13 EmaisUV = [((0.02 + x) ./ rmais), (0.02 ./ rmais)];
14
15 EmenosMOD = (q / (4 * pi * epsilon0)) ./ rmenosS;
16 EmaisMOD = (q / (4 * pi * epsilon0)) ./ rmaisS;
17
18 Emenos = [EmenosMOD .* EmenosUV(:, 1), EmenosMOD .* EmenosUV(:, 2)];
19 Emais = [EmaisMOD .* EmaisUV(:, 1), EmaisMOD .* EmaisUV(:, 2)];
20
21 E = Emenos + Emais;
22
23 EMOD = sqrt(E(:, 1).^2 + E(:, 2).^2)./10000;
24
25 plot(x, EMOD, 'linewidth', 1.5, 'b')
26 xlabel('Posição ao longo do eixo x (10^-2 m)', 'FontSize', 12)
27 ylabel('Módulo do campo elétrico (10^4 N/C)', 'FontSize', 12)

```

Fonte: Próprio autor.

Ao iniciar o script 5 utilizando o GNU-Octave ele irá plotar o seguinte, gráfico 4:

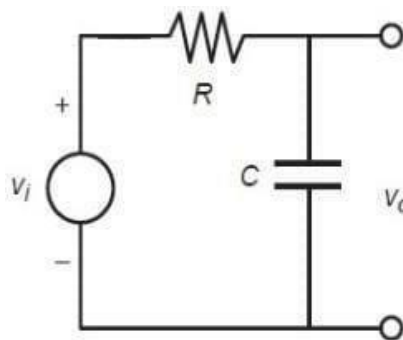
Gráfico 4 – Gráfico gerado pelo GNO-Octave que mostra o módulo do campo elétrico de um dipolo em relação a posição.



Fonte: Próprio autor.

Demonstrando claramente e com precisão o comportamento do campo elétrico de um dipolo.

Problema 3: O circuito mostrado a seguir, consiste em um resistor e um capacitor e, portanto, é chamado de circuito RC. Se aplicarmos uma tensão senoidal v_i chamada de tensão de entrada, ao circuito mostrado, então eventualmente a tensão de saída v_o também será senoidal, com a mesma frequência, mas com amplitude diferente e deslocada no tempo em relação à tensão de entrada. Especificamente, se $v_i = A_i \sin \omega t$, então $v_o = A_o \sin (\omega t + \phi)$. O gráfico de resposta de frequência é um gráfico de A_o/A_i versus frequência ω . Geralmente é plotado em eixos logarítmicos.



Os cursos de engenharia de nível superior explicam que, para o circuito RC mostrado, essa relação depende de ω e RC da seguinte forma:

$$\frac{A_o}{A_i} = \left| \frac{1}{RCs} + 1 \right| \quad (4.13)$$

Onde, $s = \omega i$. Para $RC = 0.1$ s, obtenha o gráfico log-log de $\left| \frac{A_0}{A_i} \right|$ versus ω e use-o para encontrar a faixa de frequências para a qual a amplitude de saída A_0 é menor que 70% da amplitude de entrada A_i .

Utilizando os comandos específicos para a resolução do problema e para plotar o gráfico, os comandos da Script 6, plota o Gráfico 5 do problema 3.

Script 6 - Comandos para obter o gráfico da faixa de frequência.

```

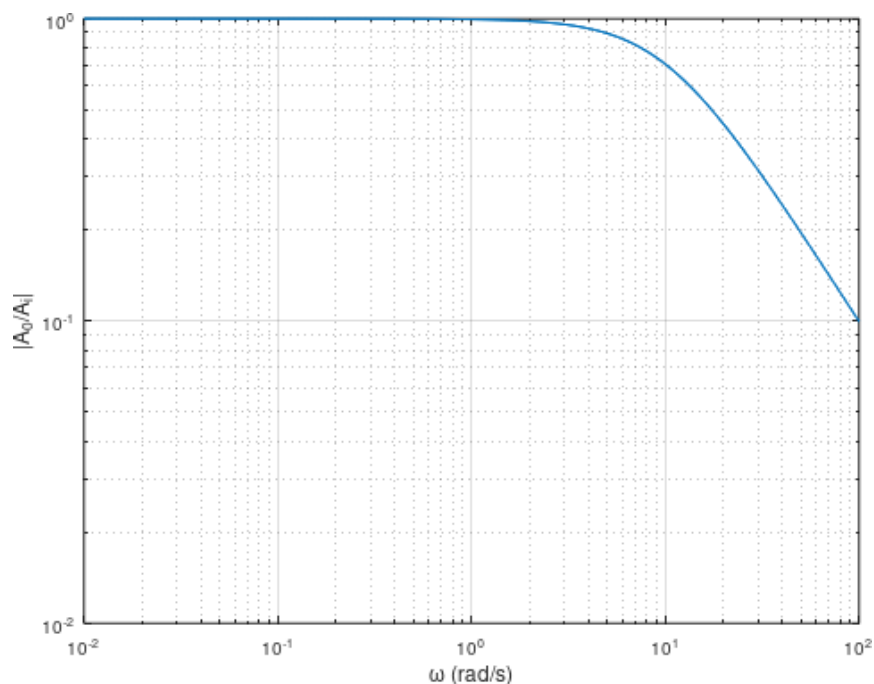
1 %Problema_3
2 % Parâmetros do circuito
3 RC = 0.1; % Valor do resistor (R) multiplicado pelo valor do capacitor (C)
4
5 % Vetor de frequências
6 frequencies = logspace(-2, 2, 1000); % Frequências variando de 0.01 a 100 rad/s
7
8 % Cálculo da relação A_0/A_i
9 s = 1i * frequencies; % Variável complexa s = jω
10 ratio = abs(1 ./ (RC * s + 1));
11
12 % Plot do gráfico log-log
13 loglog(frequencies, ratio);
14 xlabel('\omega (rad/s)', 'FontSize', 12);
15 ylabel('|A_0/A_i|', 'FontSize', 12);
16 grid on;
17
18 % Encontrar a faixa de frequências em que A_0 é menor que 70% de A_i
19 threshold = 0.7;
20 frequencies_below_threshold = frequencies(ratio < threshold);
21
22 % Resultados
23 disp('Faixa de frequências em que A_0 é menor que 70% de A_i:');
24 disp(['Mínimo: ' num2str(min(frequencies_below_threshold)) ' rad/s']);
25 disp(['Máximo: ' num2str(max(frequencies_below_threshold)) ' rad/s']);

```

Fonte: Próprio autor.

Quando o script 6 for salvo no software, ele irá gerar automaticamente o gráfico 5, representando o problema proposto, conforme ilustrado abaixo.

Gráfico 5 - Gráfico da faixa de frequência.



Fonte: Próprio autor.

Problema 4: A frequência de ressonância f (em Hz) para o circuito.

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{LC \frac{R_1^2 C - L}{R_2^2 C - L}} \quad (4.14)$$

Dados os valores $L = 0.2 \text{ H}$ e $C = 2 \times 10^{-6} \text{ F}$, vamos analisar a relação entre f e R_2 para $500 \leq R_2 \leq 2000 \Omega$, mantendo R_1 constante em 1500Ω . Além disso, também vamos investigar a relação entre f e R_1 para $500 \leq R_2 \leq 2000 \Omega$, mantendo R_2 constante em 1500Ω . Para plotar os gráficos relacionados a esse problema, utilizemos alguns comandos do GNU-Octave, Script 7. Primeiro, foi definido os dados do problema e, em seguida, utilizando o comando subplot, para plotar os gráficos em uma mesma janela, Gráfico 6.

Script 7 - Comandos para obter o gráfico da frequência de ressonância.

```

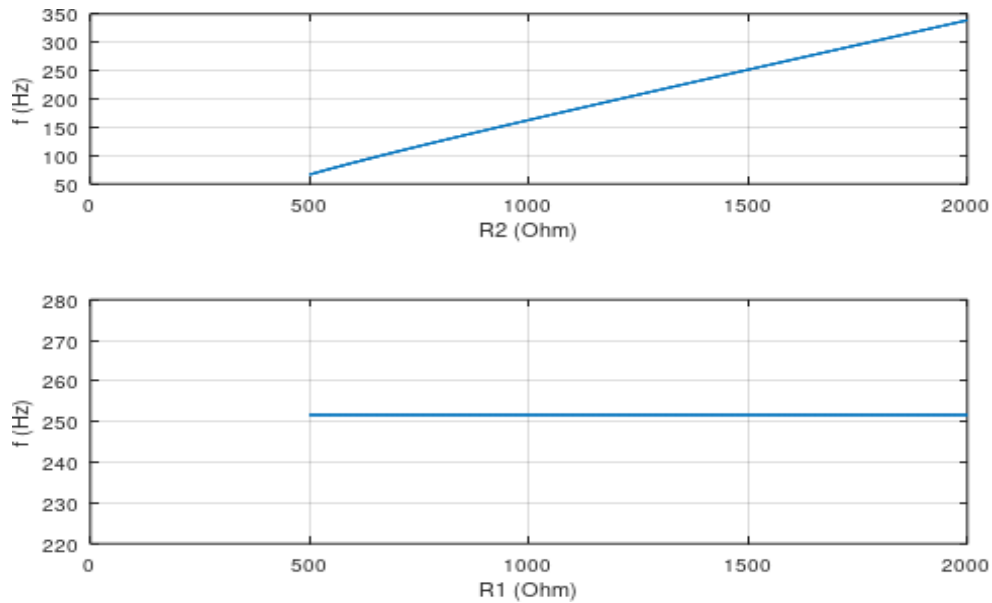
1 % Dados do circuito
2 L = 0.2; % Indutância (H)
3 C = 2*10^-6; % Capacitância (F)
4 R1 = 1500; % Resistência R1 (Ohm)
5
6 % Range de valores para R2
7 R2 = 500:1:2000; % Valores de R2 de 500 a 2000 Ohm
8
9 % Cálculo da frequência de ressonância
10 f_R2 = 1 ./ (2 * pi * sqrt(L * C * (R1.^2 * C - L) ./ (R2.^2 * C - L)));
11
12 % Gráfico f versus R2
13 subplot(2, 1, 1);
14 plot(R2, f_R2);
15 xlabel('R2 (Ohm)');
16 ylabel('f (Hz)');
17 grid on;
18
19 % Range de valores para R1
20 R1 = 500:1:2000; % Valores de R1 de 500 a 2000 Ohm
21
22 % Cálculo da frequência de ressonância
23 f_R1 = 1 ./ (2 * pi * sqrt(L * C * (R1.^2 * C - L) ./ (R2.^2 * C - L)));
24
25 % Gráfico f versus R1
26 subplot(2, 1, 2);
27 plot(R1, f_R1);
28 xlabel('R1 (Ohm)');
29 ylabel('f (Hz)');
30 grid on;
31
32 % Ajustar os espaçamentos entre os gráficos
33 subplot(2, 1, 1);
34 pos = get(gca, 'Position');
35 pos(4) = pos(4) - 0.1;
36 set(gca, 'Position', pos);

```

Fonte: Próprio autor.

O primeiro gráfico exibirá a relação entre a frequência e R_1 , permitindo-nos identificar tendências e padrões que podem surgir nessa interação. O segundo gráfico apresentará a relação entre a frequência e R_2 , permitindo uma comparação direta com os resultados obtidos no primeiro gráfico. Isso nos ajuda a entender se existe alguma relação consistente entre a frequência e diferentes valores de R . Esses gráficos são cruciais para fornecer uma representação visual dos dados e facilitar uma identificação de padrões complexos. Dessa forma, podemos tirar mais robustas e embasar nossas análises de forma mais precisa e abrangente.

Gráfico 6 - Gráfico da faixa de frequência de ressonância.



Fonte: Próprio autor.

O primeiro gráfico apresenta uma representação clara da relação entre a frequência e R_1 , enquanto o segundo gráfico demonstra essa relação em relação a R_2 . Essa visualização nítida permite uma compreensão aprofundada do comportamento da frequência, destacando a importância do uso de softwares computacionais para a análise de problemas em estudo. Além disso, os softwares proporcionaram uma melhor interpretação dos dados, auxiliando na compreensão dos fenômenos estudados.

Problema 5: O campo de potencial elétrico V em um ponto, devido a duas partículas carregadas, é dado por onde q_1 e q_2 são as cargas das partículas em coulombs (C), r_1 e r_2 são as distâncias das cargas do ponto (em metros), e ϵ_0 é a permissividade do espaço livre, cujo valor

$$V = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \left(\frac{q_1}{r_1} + \frac{q_2}{r_2} \right) \quad (4.15)$$

Onde:

$$\epsilon_0 = 8,854 \times 10^{-12} \text{C}^2/(\text{N} \cdot \text{m}^2) \quad (4.16)$$

Suponha que as cargas sejam $q_1 = 2 \times 10^{-10} \text{C}$ e $q_2 = 4 \times 10^{-10} \text{C}$, localizadas respectivamente no plano xy em (0,3,0) e (-0,3, 0) m. Utilizaremos o software GNU-Octave para plotar o campo de potencial elétrico em um gráfico de superfície tridimensional, com o eixo z representando o valor de V , nas faixas $-0,25 \leq x \leq 0,25$ e $-0,25 \leq y \leq 0,25$. Para criar esse gráfico, usamos duas funções: meshc e surf. Utilizando alguns comandos do programa e iremos plotar a o gráfico do problema usando a função meshc, Script 8.

Script 8 - Comandos para obter o gráfico do campo de potencial elétrico, função meshc.

```

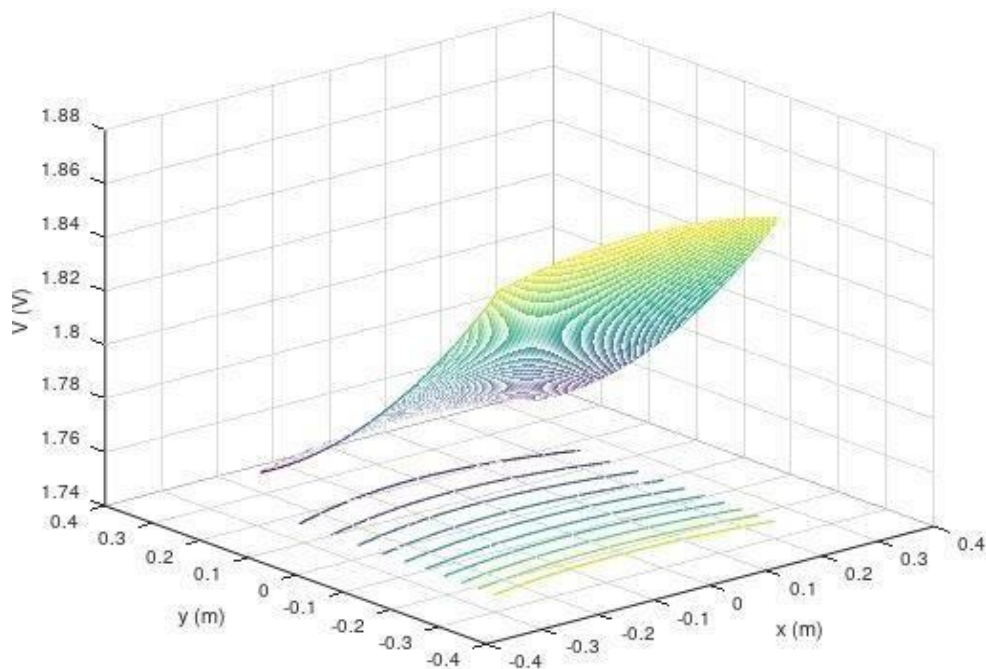
1 % Campo de Potencial Elétrico
2 % Constantes
3 q1 = 2e-10; % carga da partícula 1 em C
4 q2 = 4e-10; % carga da partícula 2 em C
5 r0 = 0.25; % faixa -0.25 <= x, y <= 0.25 em m
6 eps0 = 8.854e-12; % permissividade do espaço livre em C^2/(N.m^2)
7
8 % Criação da grade de pontos
9 N = 100; % número de pontos em cada direção
10 x = linspace(-r0, r0, N);
11 y = linspace(-r0, r0, N);
12 [X, Y] = meshgrid(x, y);
13
14 % Distâncias das cargas do ponto
15 r1 = sqrt((X - 0).^2 + (Y - 3).^2);
16 r2 = sqrt((X - 0).^2 + (Y + 3).^2);
17
18 % Cálculo do campo de potencial elétrico
19 v = (1/(4*pi*eps0)) * (q1./r1 + q2./r2);
20
21 % Plot do campo de potencial elétrico
22 meshc(X, Y, V);
23 xlabel('x (m)');
24 ylabel('y (m)');
25 zlabel('V (V)');

```

Fonte: Próprio autor.

Com o uso dos seguintes comandos no GNU-Octave, podemos gerar o gráfico a seguir.

Gráfico 7 - Gráfico do campo de potencial elétrico, função meshc.



Fonte: Próprio autor.

O gráfico evidencia o campo potencial elétrico da questão proposta, observe que o gráfico plotado é em três dimensões, 3D. Assim, podemos mostrar de forma clara e de fácil compreensão o comportamento do potencial elétrico. Também foi plotado o gráfico para o mesmo problema utilizando a função surf. Onde, o script para gerar o gráfico sofreu alteração.

Script 9 - Comandos para obter o gráfico do campo de potencial elétrico, função surf.

```

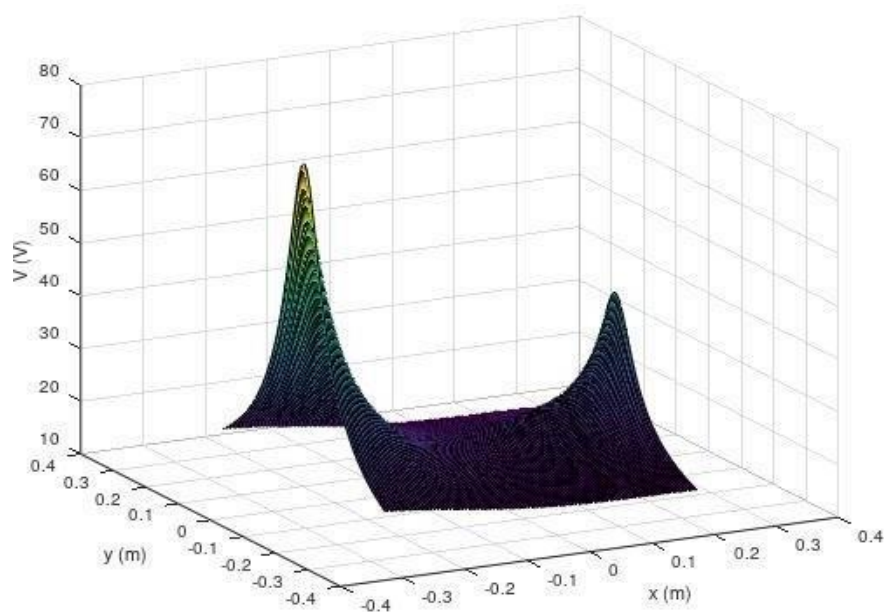
1  % Campo de Potencial Elétrico
2  % Constantes
3  q1 = 2e-10; % Carga da partícula 1 (C)
4  q2 = 4e-10; % Carga da partícula 2 (C)
5  r1 = [0.3, 0, 0]; % Posição da partícula 1 (m)
6  r2 = [-0.3, 0, 0]; % Posição da partícula 2 (m)
7  eps0 = 8.854*10^-12; % Permissividade do espaço livre (C^2/(N.m^2))
8
9  % Definir as faixas de x e y
10 x = linspace(-0.25, 0.25, 100);
11 y = linspace(-0.25, 0.25, 100);
12
13 % Inicializar matriz para armazenar os valores de V
14 v = zeros(length(x), length(y));
15
16 % Calcular o campo de potencial elétrico em cada ponto (x, y)
17 for i = 1:length(x)
18     for j = 1:length(y)
19         r = [x(i), y(j), 0]; % Posição do ponto (x, y, 0)
20         % Calcular as distâncias das cargas ao ponto
21         r1_to_point = norm(r - r1);
22         r2_to_point = norm(r - r2);
23         % Calcular o campo de potencial elétrico em cada ponto
24         v(i, j) = 1/(4*pi*eps0) * (q1/r1_to_point + q2/r2_to_point);
25     end
26 end
27
28 % Plotar o campo de potencial elétrico
29 surf(x, y, v');
30 xlabel('x (m)');
31 ylabel('y (m)');
32 zlabel('v (V)');

```

Fonte: Próprio autor.

Assim que o script for iniciado ele plotará o seguinte gráfico em 3D, mostrando de forma clara e de fácil compreensão o comportamento do campo potencial elétrico, com a função surf, Gráfico 8.

Gráfico 8 - Gráfico do campo de potencial elétrico, função surf.



Fonte: Próprio autor.

5 CONCLUSÃO

Ao longo deste trabalho, exploramos o uso do GNU-Octave na compreensão de experimentos e na resolução de problemas de eletromagnetismo. Foi evidente que a combinação da computação com os princípios da teoria eletromagnética trouxe inúmeras vantagens e possibilitou avanços nessa área. O GNU-Octave permitiu modelar e simular comportamentos eletromagnéticos complexos, fornecendo scripts valiosos que seriam extremamente difíceis ou impossíveis de obter apenas por meio de análises analíticas.

Os resultados obtidos através do GNU-Octave foram extremamente rígidos, permitindo a visualização e análise dos resultados, tanto dos experimentos realizados quanto dos problemas resolvidos. No entanto, é importante ressaltar que o GNU-Octave e outras ferramentas computacionais devem ser utilizadas como complemento às abordagens tradicionais, não substituindo totalmente os métodos analíticos. A compreensão sólida dos conceitos fundamentais da teoria eletromagnética continua sendo essencial para utilizar essas ferramentas de forma eficaz.

À medida que a tecnologia continua a evoluir, espera-se que as ferramentas computacionais na resolução de problemas de eletromagnetismo se tornem ainda mais poderosas e acessíveis. Novas técnicas e algoritmos estão sendo assinados, permitindo a análise de problemas cada vez mais complexos. Assim, a integração entre a teoria e a prática por meio dessas ferramentas continuam impulsionando os avanços na área de eletromagnetismo.

Em suma, o GNU-Octave e outras ferramentas computacionais são aliadas poderosas na resolução de problemas de eletromagnetismo. Seu uso adequado e combinado com conhecimentos teóricos sólidos será promissor nas aplicações práticas dessa área tão fundamental para o nosso mundo tecnológico. A evolução contínua dessas ferramentas promete proteger a inovação e o progresso no campo do eletromagnetismo.

6 SUGESTÕES DE PESQUISAS FUTURAS

Como sugestão para trabalhos futuros, é possível aprofundar ainda mais o uso dos recursos do GNU-Octave na resolução de problemas específicos de eletromagnetismo. Por exemplo, explore a simulação de dispositivos eletrônicos, a análise de campos magnéticos em materiais supercondutores ou a modelagem de antenas complexas.

Além disso, a integração do GNU-Octave com outras ferramentas de simulação e visualização pode ampliar ainda mais as possibilidades de análise e exploração dos fenômenos eletromagnéticos. Além disso, seria benéfico considerar a implementação efetiva do software GNU-Octave no ensino superior para o ensino de eletromagnetismo.

Ao introduzir essa ferramenta aos alunos, eles terão a oportunidade de aplicar conceitos teóricos em situações práticas, aprimorando seu entendimento e habilidades na área. O uso do GNU-Octave como uma plataforma de ensino pode proporcionar uma abordagem mais interativa e envolvente, permitindo que os alunos visualizem e manipulem dados reais, além de experimentarem cenários mais complexos.

Essa integração poderia ser complementada com exemplos de problemas do mundo real e exercícios que desafiam os estudantes a resolver desafios práticos de eletromagnetismo utilizando o GNU-Octave como uma ferramenta fundamental. Dessa forma, além de explorar as possibilidades avançadas de simulação e análise do GNU-Octave no campo do eletromagnetismo, a implementação do software no ensino superior contribuiria para uma formação mais completa e prática dos estudantes, preparando-os melhor para enfrentar desafios reais na área.

REFERÊNCIAS

CHABAY, Ruth W.; SHERWOOD, Bruce A. **Matéria e Interações**. 4ª edição. Editora Wiley, 2015.

Eka Ardianto dkk. 2012. Objeto de Realidade Aumentada 3 Dimensões com Perangkat **Ar toolkit e Blender** **Jurnal Teknologi Informasi Dinamik** Volume 17, nº 2, julho de 2012. 107- 117, ISSN: 0854-9524.

Eka, D. (2018). Usando modelagem computacional e simulação para aprimorar o aprendizado em física. **Journal of Physics: Conference Series**, 1006(1), 012009.

GNU-Octave Wiki: https://wiki.octave.org/Main_Page . Acesso em maio, 2023

Google Sala de Aula. Recuperado de <https://www.physicsclassroom.com/404>. Acesso em junho, 2023.

Gilat, A. Matlab. **Uma Introdução com Aplicações**. John Wiley & Sons, Inc. 4ª ed. 2011.

HALLIDAY, David.; RESNICK, Robert. **Fundamentos da física** – Vol. 3: 10. ed. Editora LTC.

Hewitt, PG. **Física conceitual**. 12. ed. Porto Alegre: Bookman, 2015.

MORO, F. T.; NEIDE, I. G.; REHFELDT, M. J. H. Atividades experimentais e simulações computacionais: integração para a construção de conceitos de transferência de energia térmica no ensino médio. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 33, n. 3, p. 987-1008, dez. 2016.

Nasir, M. 2016. Design e Análise empírica Programa de análise de movimento e vetor de visualização Como Aprendizagem de Física Multimídia Interativa no Sênior High School, Pekanbaru, Indonésia Internacional Revista Aplicada Desde e Tecnologia. IJCST.

Oliveira, V. R., et al. (2019). Contribuições da simulação computacional para o ensino de eletromagnetismo. ENPEC - **Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências**, 14.)

Palm, William J. **Introduction to Matlab for Engineers**. Mc Graw Hill, 2011.

Redish, E. F. (2003). **Ensinar física com o conjunto de física**. John Wiley & Sons, Inc.

SANTANA, José Rogério; OLIVEIRA, Antonia E. A.; CUNHA, Redomarck B.; OLIVEIRA, Francisco K. **Novas perspectivas para o ensino e aprendizagem de geometria**, 2010.

Silva, J. M., & Santos, E. P. (2020). A utilização de softwares computacionais no ensino de física: uma revisão sistemática. **REVISTA DE ENSINO DE CIÊNCIAS E MATEMÁTICA**, 11(3), 59-77.)

TIPLER, Paul.; MOSCA, Gene. **Física para Cientistas e Engenheiros** – Volume 3, 8.ed. Editora LTC, 2016.

TEIXEIRA, Mariane Mendes. **Eletromagnetismo**; Brasil Escola. Disponível em: <https://brasilescola.uol.com.br/fisica/eletromagnetismo.htm>. Acesso em 03 de dezembro de 2022.

YOUNG, Hugh. D., FREEDMAN, Roger A.; Física – **Eletromagnetismo**, 14. ed..Pearson, 2016.