



Engenharia Moderna: Soluções para Problemas da Sociedade e da Indústria 3

Fábio Andrijauskas
Annete Silva Faesarella
Laira Lucia Damasceno de Oliveira
(Organizadores)

Atena
Editora
Ano 2022



Engenharia Moderna: Soluções para Problemas da Sociedade e da Indústria 3

Fábio Andrijauskas
Anete Silva Faesarella
Laira Lucia Damasceno de Oliveira
(Organizadores)

Atena
Editora
Ano 2022

Editora chefe

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Editora executiva

Natalia Oliveira

Assistente editorial

Flávia Roberta Barão

Bibliotecária

Janaina Ramos

Projeto gráfico

Bruno Oliveira

Camila Alves de Cremo

Daphynny Pamplona

Luiza Alves Batista

Natália Sandrini de Azevedo

Imagens da capa

iStock

Edição de arte

Luiza Alves Batista

2022 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do texto © 2022 Os autores

Copyright da edição © 2022 Atena Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.

Open access publication by Atena Editora



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição *Creative Commons*. Atribuição-Não-Comercial-Não-Derivativos 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0).

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores, inclusive não representam necessariamente a posição oficial da Atena Editora. Permitido o *download* da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

Todos os manuscritos foram previamente submetidos à avaliação cega pelos pares, membros do Conselho Editorial desta Editora, tendo sido aprovados para a publicação com base em critérios de neutralidade e imparcialidade acadêmica.

A Atena Editora é comprometida em garantir a integridade editorial em todas as etapas do processo de publicação, evitando plágio, dados ou resultados fraudulentos e impedindo que interesses financeiros comprometam os padrões éticos da publicação. Situações suspeitas de má conduta científica serão investigadas sob o mais alto padrão de rigor acadêmico e ético.

Conselho Editorial**Ciências Exatas e da Terra e Engenharias**

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto

Profª Drª Alana Maria Cerqueira de Oliveira – Instituto Federal do Acre

Profª Drª Ana Grasielle Dionísio Corrêa – Universidade Presbiteriana Mackenzie

Profª Drª Ana Paula Florêncio Aires – Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro

Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás

Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná



Prof. Dr. Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás
Prof. Dr. Douglas Gonçalves da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Profª Drª Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Profª Dra. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho
Prof. Dr. Juliano Bitencourt Campos – Universidade do Extremo Sul Catarinense
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Luciana do Nascimento Mendes – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá
Prof. Dr. Marco Aurélio Kistemann Junior – Universidade Federal de Juiz de Fora
Prof. Dr. Miguel Adriano Inácio – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Profª Drª Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Sidney Gonçalo de Lima – Universidade Federal do Piauí
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista



Engenharia moderna: soluções para problemas da sociedade e da indústria 3

Diagramação: Camila Alves de Cremo
Correção: Yaiddy Paola Martinez
Indexação: Amanda Kelly da Costa Veiga
Revisão: Os autores
Organizadores: Fábio Andrijauskas
Annete Silva Faesarella
Laira Lucia Damasceno de Oliveira

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

E57 Engenharia moderna: soluções para problemas da sociedade e da indústria 3 / Organizadores Fábio Andrijauskas, Annete Silva Faesarella, Laira Lucia Damasceno de Oliveira. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2022.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-258-0095-0

DOI: <https://doi.org/10.22533/at.ed.950221105>

1. Engenharia. 2. Sociedade. 3. Indústria. I. Fábio Andrijauskas (Organizador). II. Annete Silva Faesarella (Organizadora). III. Laira Lucia Damasceno de Oliveira (Organizadora). IV. Título.

CDD 620

Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

Atena Editora

Ponta Grossa – Paraná – Brasil

Telefone: +55 (42) 3323-5493

www.atenaeditora.com.br

contato@atenaeditora.com.br



Atena
Editora
Ano 2022

DECLARAÇÃO DOS AUTORES

Os autores desta obra: 1. Atestam não possuir qualquer interesse comercial que constitua um conflito de interesses em relação ao artigo científico publicado; 2. Declaram que participaram ativamente da construção dos respectivos manuscritos, preferencialmente na: a) Concepção do estudo, e/ou aquisição de dados, e/ou análise e interpretação de dados; b) Elaboração do artigo ou revisão com vistas a tornar o material intelectualmente relevante; c) Aprovação final do manuscrito para submissão.; 3. Certificam que os artigos científicos publicados estão completamente isentos de dados e/ou resultados fraudulentos; 4. Confirmam a citação e a referência correta de todos os dados e de interpretações de dados de outras pesquisas; 5. Reconhecem terem informado todas as fontes de financiamento recebidas para a consecução da pesquisa; 6. Autorizam a edição da obra, que incluem os registros de ficha catalográfica, ISBN, DOI e demais indexadores, projeto visual e criação de capa, diagramação de miolo, assim como lançamento e divulgação da mesma conforme critérios da Atena Editora.



DECLARAÇÃO DA EDITORA

A Atena Editora declara, para os devidos fins de direito, que: 1. A presente publicação constitui apenas transferência temporária dos direitos autorais, direito sobre a publicação, inclusive não constitui responsabilidade solidária na criação dos manuscritos publicados, nos termos previstos na Lei sobre direitos autorais (Lei 9610/98), no art. 184 do Código Penal e no art. 927 do Código Civil; 2. Autoriza e incentiva os autores a assinarem contratos com repositórios institucionais, com fins exclusivos de divulgação da obra, desde que com o devido reconhecimento de autoria e edição e sem qualquer finalidade comercial; 3. Todos os e-book são *open access*, *desta forma* não os comercializa em seu site, sites parceiros, plataformas de *e-commerce*, ou qualquer outro meio virtual ou físico, portanto, está isenta de repasses de direitos autorais aos autores; 4. Todos os membros do conselho editorial são doutores e vinculados a instituições de ensino superior públicas, conforme recomendação da CAPES para obtenção do Qualis livro; 5. Não cede, comercializa ou autoriza a utilização dos nomes e e-mails dos autores, bem como nenhum outro dado dos mesmos, para qualquer finalidade que não o escopo da divulgação desta obra.



APRESENTAÇÃO

Nos anos de 2020 e 2021 tivemos a primeira e a segunda edição do livro “Engenharia Moderna: Soluções para Problemas da Sociedade e da Indústria” e agora, em 2022, com muito orgulho lançamos sua terceira edição. Esta edição atual provém de trabalhos desenvolvidos durante a pandemia da COVID-19, um período que nos fez refletir sobre a importância da ciência e o desenvolvimento tecnológico no mundo atual, aliados na descoberta de soluções para problemas de diferentes âmbitos, haja vista as vacinas desenvolvidas no intuito de resolver esta situação tão sensível e desafiadora. Realmente, um momento que mudou a vida de todos e que ficará para sempre em nossas lembranças.

Em tempos que, mais do que nunca, necessitam de união e paz, apresentamos este conteúdo com diversos autores, demonstrando que a diversidade de pensamento, ideias e conhecimento são pilares para o avanço da ciência. Cada capítulo foi elaborado com dedicação e comprometimento dos pesquisadores, e traz mais um resultado de sucesso para diversas áreas do conhecimento, como as Engenharias, a Saúde e o Meio Ambiente.

Mais uma vez, agradecemos à Editora Atena pela oportunidade do lançamento do nosso terceiro livro, proporcionando uma via eficaz de disseminação de conhecimento e de suas contribuições para a sociedade e para a comunidade científica.

Finalizamos com uma frase da oração de São Francisco que diz: **“Senhor, fazei de mim instrumento de vossa paz”**.

Paz e bem!

Annete Silva Faesarella

Fábio Andrijauskas

Laira Lucia Damasceno de Oliveira

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1..... 1

A MODERN PANORAMA OF THE INTERNET OF MEDICAL THINGS DEMONSTRATING ITS APPLICATION LANDSCAPE

Reinaldo Padilha França
Ana Carolina Borges Monteiro
Rangel Arthur
Francisco Fambrini
Julio Cesar Pereira
Vicente Idalberto Becerra Sablón
Yuzo Iano

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.9502211051>

CAPÍTULO 2..... 20

PRODUÇÃO E APLICAÇÕES DO PÓ DA CASCA DE ROMÃ EM COSMÉTICOS

Teresa de Jesus Estevam Pereira
Vanessa Cristine de Marco Matos dos Santos
Iara Lúcia Tescarollo

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.9502211052>

CAPÍTULO 3..... 36

IMAGENS DE RESSONÂNCIA MAGNÉTICA FUNCIONAL EM ESTADO DE REPOUSO APLICADAS A ESTUDO DA DOR CRÔNICA UTILIZANDO DEEP LEARNING

Sérgio Ricardo de Lima Novais
Glaucilene Ferreira Catroli
Fábio Andrijauskas

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.9502211053>

CAPÍTULO 4..... 50

BALSANET - PLATAFORMA COMPUTACIONAL MULTIPARÂMETROS CONTROLADA REMOTAMENTE PARA MONITORAMENTO DA QUALIDADE DE ÁGUAS SUPERFICIAIS

Kelvyn Souza Santana
Anderson Quintino da Fonseca
Vicente Idalberto Becerra Sablón
Annete Silva Faesarella

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.9502211054>

CAPÍTULO 5..... 67

NOVO MÉTODO DE SUPRIMENTO DE ELETROPOSTOS A PARTIR DE ENERGIA FOTOVOLTAICA

Fernando Luciano de Almeida
Julio Cesar Galves Gomes Mangini Mosqueiro Junior
Annete Silva Faesarella

Vicente Idalberto Becerra Sablón

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.9502211055>

CAPÍTULO 6..... 81

ESTUDO DA RECUPERAÇÃO DE SOLVENTES NA PRODUÇÃO DE ADESIVOS

Leonardo Dorigo de Almeida
Samyra Haryele Gimenes Silva
Monica Tais Siqueira D'Amelio

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.9502211056>

CAPÍTULO 7..... 97

DESENVOLVIMENTO, ANÁLISE E ESTUDO DA CASCA DE CAFÉ PARA REMOÇÃO DE CORANTES DE EFLUENTES INDUSTRIAIS

Enik Erica Rodrigues Godoy
Gabriela de Oliveira Ferri
Monica Tais Siqueira D'Amelio

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.9502211057>

CAPÍTULO 8..... 109

APLICAÇÃO DE CARVÃO ALTERNATIVO EM TRATAMENTO DE ÁGUA INDUSTRIAL

Bruna Ferraz Mattos de Souza
David Aguiar Ferreira Junior
Monica Tais Siqueira D'Amelio Felipe

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.9502211058>

CAPÍTULO 9..... 123

ESTUDO DA TRANSFORMAÇÃO DO LODO GERADO EM ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE EFLUENTES EM PRODUTO COMERCIAL AGRÍCOLA

Jaqueline Paz de Oliveira
Mislaini de Sá Viana
André Augusto Gutierrez Fernandes Beati
Renata Lima Moretto
Laira Lúcia Damasceno de Oliveira

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.9502211059>

CAPÍTULO 10..... 145

AUTOMAÇÃO RESIDENCIAL COM FOCO EM EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

Augusto da Silva Santos
Brurenan Rocha Silva
Geraldo Peres Caixeta

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.95022110510>

CAPÍTULO 11..... 163

ANÁLISE DE INTERFERÊNCIA ELETROMAGNÉTICA EM LINHAS DE TRANSMISSÃO E EFEITOS DE BLINDAGEM

Rafaela Steffany da Silva Kayo
William Aparecido de Oliveira
Geraldo Peres Caixeta

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.95022110511>

CAPÍTULO 12..... 183

ESTUDO DA VIABILIDADE DE RECUPERAÇÃO DE METAIS EM PLACAS DE CIRCUITO IMPRESSO

Cláudia Fernanda Spagnol Cocenza
Yasmin Abrahão Pacheco Boiago
Renato Franco de Camargo
Roberta Martins da Costa Bianchi

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.95022110512>

CAPÍTULO 13..... 202

LEVANTAMENTO DA CAUSA REFERENTE AOS DANOS E PATOLOGIAS ENCONTRADOS NA PAVIMENTAÇÃO ASFÁLTICA EM UMA VIA DE FLUXO MUITO PESADO

Caroline Fernanda Ferreira
Lillian Maria Destro
Marcelo da Silva

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.95022110513>

CAPÍTULO 14..... 220

ANÁLISE DE GESTÃO DE OBRA E IMPACTO DE CIRCUNVIZINHANÇA

Ana Carolina Marques Monteiro
Letícia Toniato Andrade
Laira Lúcia Damasceno de Oliveira
Renata Lima Moretto

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.95022110514>

CAPÍTULO 15..... 234

O DESEMPENHO TÉRMICO DAS EDIFICAÇÕES DE ENSINO FRENTE ÀS ESTRATÉGIAS ARQUITETÔNICAS, ENERGÉTICAS E OS IMPACTOS CLIMÁTICOS ATUAIS

Jane Tassinari Fantinelli
Mariana Cene da Silva
Caroline Oliveira Tartari

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.95022110515>

CAPÍTULO 16..... 248

DESENVOLVIMENTO DE UM GERADOR DE OZÔNIO DE BAIXO CUSTO PARA

TRATAMENTO DE ÁGUA CONTAMINADA COM CORANTES

Leticia Pereira Brito D'Oliveira
Marcos Vinicius Pernambuco Zeferino
Roberta Martins da Costa Bianchi
Renato Franco de Camargo

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.95022110516>

CAPÍTULO 17.....268

DETERMINAÇÃO DO TEOR DE LACTOSE POR MEIO DE GLICOSÍMETRO

Danka Ayres Carvalho da Silva
Gabriel Luís Ehrenberg Malavazzi
Filipe Alves Coelho
Roberta Martins da Costa Bianchi

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.95022110517>

CAPÍTULO 18.....280

ESTUDO DA INFLUÊNCIA DOS PARÂMETROS DE IMPRESSÃO 3D NAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DE PEÇAS TÉCNICAS IMPRESSAS

Paulo Cesar Polli
Daniel Loureiro

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.95022110518>

CAPÍTULO 19.....299

DESENVOLVIMENTO DE MODELOS DENTÁRIOS ATRAVÉS DA MANUFATURA ADITIVA

Guilherme de Faria Mendes
Vinicius Fernandes Moreira Alves
Daniel Loureiro

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.95022110519>

SOBRE OS ORGANIZADORES320

ANÁLISE DE INTERFERÊNCIA ELETROMAGNÉTICA EM LINHAS DE TRANSMISSÃO E EFEITOS DE BLINDAGEM

Rafaela Steffany da Silva Kayo

Universidade São Francisco
Campinas – São Paulo
<http://lattes.cnpq.br/2756326031615836>

William Aparecido de Oliveira

Universidade São Francisco
Campinas – São Paulo
<http://lattes.cnpq.br/6210835962567844>

Geraldo Peres Caixeta

Universidade São Francisco
Campinas – São Paulo
<http://lattes.cnpq.br/8010032658680160>

RESUMO: O trabalho apresenta um estudo dos aspectos qualitativos relacionados ao fenômeno da interferência eletromagnética, com a realização de ensaios práticos em laboratório através de linhas de transmissão. Duas linhas de transmissão idênticas, sendo uma dita como fonte de interferência eletromagnética alimentada com tensão alternada de um gerador de ondas arbitrárias com frequência definida, e outra servindo como uma vítima da tensão induzida provocada pela linha fonte, são posicionadas de modo a observar a atenuação da amplitude da tensão induzida. Conforme esta atenuação é verificada devido ao distanciamento e o posicionamento das linhas, atribui-se à diminuição do acoplamento indutivo e capacitivo provocados pela corrente e tensão do gerador, o fator determinante na incidência desse sinal indesejável. O estudo se completa com os efeitos causados pela blindagem através do papel

alumínio, onde é observado a sua eficiência em atenuar esses sinais acoplados nas linhas de transmissão.

PALAVRAS-CHAVE: Interferência eletromagnética, compatibilidade eletromagnética, linhas de transmissão, acoplamento eletromagnético, blindagem eletromagnética.

ANALYSIS OF ELECTROMAGNETIC INTERFERENCE IN TRANSMISSION LINES AND SHIELD EFFECTS

ABSTRACT: The paper presents a study of the qualitative aspects related to the phenomenon of electromagnetic interference, with the accomplishment of practical tests in the laboratory through transmission lines. Two identical transmission lines, one being said to be a source of electromagnetic interference fed with alternating voltage from an arbitrary wave generator with a defined frequency, and the other serving as a victim of the induced voltage caused by the source line, are positioned so as to observe the attenuation of the amplitude of the induced voltage. As this attenuation is verified due to the distance and positioning of the lines, it is attributed to the decrease in inductive and capacitive coupling caused by the current and voltage of the generator, the determining factor in the incidence of this undesirable signal. The study is completed with the effects caused by the shielding through aluminum foil, where its efficiency in attenuating these signals coupled in

the transmission lines is observed.

KEYWORDS: Electromagnetic interference, electromagnetic compatibility, transmission lines, electromagnetic coupling, electromagnetic shielding.

1 | INTRODUÇÃO

As questões relacionadas às interferências eletromagnéticas (EMI) já são antigas, tendo chamado a atenção de pesquisadores na medida em que a velocidade da evolução tecnológica ganhou proporções inimagináveis até a pouco tempo, notadamente com o crescimento das faixas de frequências estabelecidas em sistemas de comunicações, e o desenvolvimento de uma gama de componentes eletrônicos digitais, cuja velocidade de processamento é cada vez maior. Dada à complexidade de conceitos envolvidos no processo, geralmente esse assunto faz parte apenas de programas de pós-graduação, instigando em estudantes do curso de engenharia elétrica a busca de conhecimentos mais aprofundados antes mesmo de finalizar a graduação PAUL (2006b).

A interferência eletromagnética é uma parte de um contexto mais amplo, vinculada à área de compatibilidade eletromagnética. Todo equipamento eletroeletrônico está sujeito, em maior ou menor grau, a interferências de natureza eletromagnética, prejudicando seu desempenho para a atividade fim para a qual foi projetado, além de prejuízos de ordem financeira. Todo fabricante de equipamento que atua na área se preocupa com o assunto, muitas vezes investindo em ensaios compulsórios, que são controlados por órgãos governamentais (PAUL, 2006b). Por isso, é de suma importância que engenheiros tenham um conhecimento fundamentado na teoria eletromagnética, capacitando-os no desenvolvimento de dispositivos cada vez mais imunes a esse tipo de interferência. Um dos princípios básicos relacionados ao tema é muito bem conhecido na literatura e foi expressa na terceira equação de Maxwell – Lei de Faraday – e complementada pela Lei de Ampère, a quarta equação¹ (PAUL, 2006a).

Conforme mencionado em PAUL (2006a) as ondas eletromagnéticas são ricas em conteúdo espectral, ou seja, possuem altos níveis de frequências, podendo assim causar interferências ou ruídos em vários equipamentos eletroeletrônicos e assim provocar um funcionamento indesejável ou fora dos padrões desses equipamentos. Por isso a preocupação é crescente, uma vez que dispositivos fundamentados em eletrônica digital estão sendo cada vez mais utilizados, sendo que sua velocidade de processamento e frequência de trabalho é cada vez maior (hoje na faixa de dezenas GHz). Segundo PAUL (2006b) um pulso digital enviado em trilhas de placas de circuito impresso gera campos elétricos e magnéticos que poderão induzir sinais de amplitude e frequência suficientes para interferir em sinais de outras trilhas. Esse acoplamento entre os pares de trilhas pode acarretar em erros lógicos em computadores e equipamentos digitais e causar prejuízos

¹ As quatro equações foram publicadas no ano de 1861.

inestimáveis.

Transmissões de rádio e TV, sinais de telecomunicações e radares apresentam também uma problemática de interferências eletromagnéticas em dispositivos. Embora algumas dessas transmissões não sejam digitais, podem se acoplar em dispositivos digitais, gerando assim sinais induzidos no disposto em questão, prejudicando o seu funcionamento. Amplamente essas questões são abordadas dentro do campo da compatibilidade eletromagnética (EMC) e basicamente, quando se fala em um sistema ser compatível com o seu meio, ele deve atender critérios como não causar interferência em outros sistemas, não estar suscetível a receber interferência de outros sistemas e não causar interferência a si mesmo PAUL (2006b). Essas interferências eletromagnéticas são perturbações presentes nos circuitos, causadas por fontes externas, que podem ser classificadas em naturais ou artificiais, de origem de fenômenos da natureza ou por ação do homem, através de outros equipamentos (PRESTES, 2010).

1.1 Indução eletromagnética: Acoplamento Magnético e as Equações de Maxwell

De acordo com DREWNIK (2015) o princípio fundamental da lei de Faraday, que diz que um campo magnético variável no tempo que atravessa uma superfície delimitada por um caminho circuital, induz tensão elétrica no mesmo, tem aplicação nos efeitos de acoplamento parasitário entre *hardwares* eletrônicos. PAUL (2006a) afirma que quando um sinal (corrente ou tensão) de um par de condutores se acopla com um par de condutores adjacentes há um efeito chamado *crosstalk*, que causa uma repetição indesejada daquele sinal nos condutores adjacentes.

Como exemplo, DREWNIK (2015) ilustra na figura 1, um circuito emissor com uma fonte V_{es} , através da corrente circulante no circuito I_e , produz um campo magnético variável no tempo, que se acopla com o circuito de área A_v de fonte V_{vs} induzindo um sinal de tensão (fem) no circuito “vítima”, que por sua vez dá origem a uma corrente parasita através desse circuito. Uma tensão de ruído é observada sobre a carga do segundo circuito.

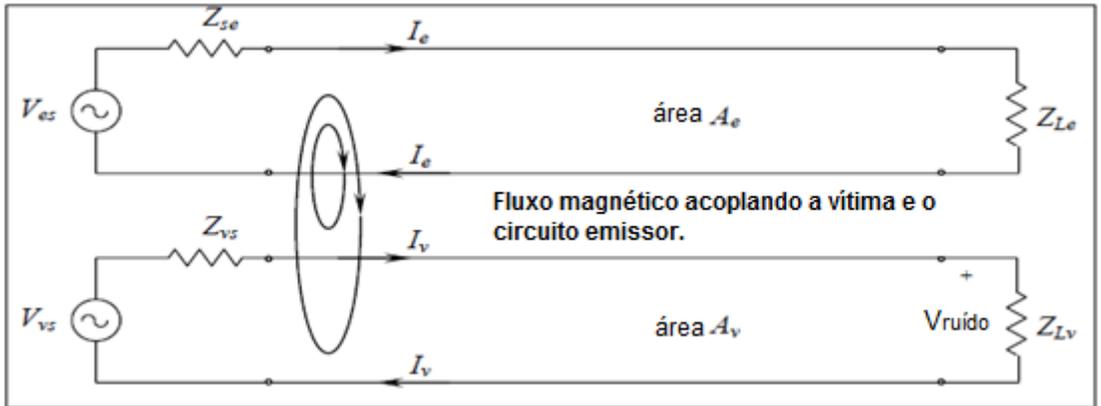


Figura 1 – Representação esquemática do acoplamento de ruído através de uma variação temporal do campo magnético e a tensão de ruído induzida na carga no circuito da vítima.

Fonte: Adaptado de DREWNIAK (2015, p.2)

PAUL (1990) descreve que correntes e tensões associados com sinais transmitidos em um par de fios paralelos, gera campos elétricos e magnéticos nas proximidades desses fios. Esses campos eletromagnéticos interagem com quaisquer fios condutores e induzem tensões e correntes em linhas de transmissão, e conforme destacado pelo autor, parte desses sinais são percebidos na carga no final da linha como sinais indesejáveis, que podem causar degradação no desempenho dos circuitos.

Como já mencionado, esse fenômeno conhecido como *crosstalk* (PAUL, 1990), possui dois mecanismos associados: a corrente (I_1) do gerador produz um campo magnético que é acoplado à linha receptora por meio da indutância mútua (L_m) - fenômeno conhecido como acoplamento indutivo; similarmente, a tensão (V_1) do gerador produz um campo elétrico que é acoplado à linha receptora por meio da capacitância mútua (C_m) - fenômeno conhecido como acoplamento capacitivo. A tensão induzida (V_2) é diretamente proporcional a ambas as impedâncias mútuas, que variam conforme a distância das linhas, sendo que as impedâncias diminuem com o aumento da distância (L) entre elas, como mostrado na figura 2. Frequências mais altas também elevam o valor da tensão induzida, conforme previsto pela lei de Faraday (tensão induzida diretamente proporcional à frequência do sinal).

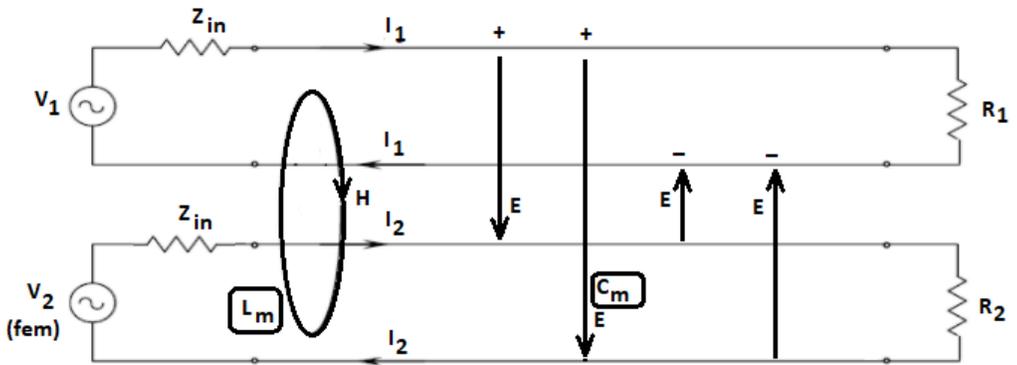


Figura 2 – Acoplamento magnético (indutância mútua L_m) e acoplamento elétrico (capacitância mútua)

Fonte: adaptado de DREWNIAK (2015) e PAUL (2006a).

De acordo com PAUL (2006a) as ondas eletromagnéticas têm a sua fundamentação na combinação das leis de Faraday e de Ampère, cujas equações são mostradas na tabela 1.

Lei	Forma integral	Forma pontual
Faraday	$\oint_C \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l} = -\frac{d}{dt} \int_S \mathbf{B} \cdot d\mathbf{s}$	$\nabla \times \mathbf{E} = -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t}$
Ampère	$\oint_C \mathbf{H} \cdot d\mathbf{l} = \int_S \mathbf{J} \cdot d\mathbf{s} + \frac{d}{dt} \int_S \mathbf{D} \cdot d\mathbf{s}$	$\nabla \times \mathbf{H} = \mathbf{J} + \frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t}$
Gauss (campo elétrico)	$\oint_S \mathbf{D} \cdot d\mathbf{s} = \int_V \rho_v dV$	$\nabla \cdot \mathbf{D} = \rho_v$
Gauss (campo magnético)	$\oint_S \mathbf{B} \cdot d\mathbf{s} = 0$	$\nabla \cdot \mathbf{B} = 0$

Tabela 1 - As 4 Equações de Maxwell na forma integral (ou espacial) e na forma pontual.

Fonte: PAUL (2006a, p.163).

Como mencionado por SADIKU (2012), Michael Faraday estabeleceu experimentalmente que um campo magnético estático não produz fluxo de corrente, mas um campo magnético variável no tempo produz uma tensão induzida em um circuito fechado, causando um fluxo de corrente. O autor assim descreve:

“Faraday descobriu que a **fem induzida**, V_{fem} (em volt), em qualquer circuito fechado, é igual à taxa de variação no tempo do fluxo magnético enlaçado pelo circuito.” (SADIKU, 2012)

$$\oint_C \vec{E} \cdot d\vec{l} = -\frac{d}{dt} \int_S \vec{B} \cdot d\vec{s} \quad (1)$$

$$V_{\text{fem}} = \oint_C \vec{E} \cdot d\vec{l} = -\frac{d}{dt} \int_S \vec{B} \cdot d\vec{s} \quad (2)$$

Sendo que:

$$\varphi = \int_S \vec{B} \cdot d\vec{s} \quad (3)$$

Em que \vec{E} é o vetor de intensidade de campo elétrico, \vec{B} é o vetor densidade de fluxo magnético. Sendo V_{fem} a tensão induzida pela variação temporal do fluxo magnético φ , essa lei pode ser matematicamente traduzida pela equação 4:

$$V_{\text{fem}} = -\frac{d\varphi}{dt} \quad (4)$$

Uma corrente ou um fluxo de cargas elétricas que atravessam uma superfície aberta produz uma circulação de campo magnético ao redor do caminho que cerca a superfície FLEISCH (2008), como mostrado na equação 5.

$$\oint_C \vec{H} \cdot d\vec{l} = \int_S \vec{j} \cdot d\vec{s} + \frac{\partial}{\partial t} \int_S \vec{D} \cdot d\vec{s} \quad (5)$$

Em que \vec{H} é o vetor intensidade de fluxo magnético, \vec{j} é o vetor densidade de corrente elétrica e \vec{D} é o vetor densidade de fluxo elétrico. Segundo PAUL (2006a), o termo à esquerda da equação refere-se à força magnetomotriz, e os dois termos à direita são correntes de condução e de deslocamento, respectivamente. Ou seja, a equação 5 pode ser reescrita como:

$$\oint_C \vec{H} \cdot d\vec{l} = I_{\text{cond}} + I_{\text{desl}}. \quad (6)$$

PAUL (2006a) descreve que para um elemento de corrente de comprimento infinito, o vetor densidade de fluxo magnético é calculado pela equação 7.

$$\vec{B} = \frac{\mu_0 I}{2\pi R} \hat{\phi} \quad (7)$$

Em que $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ é a permeabilidade no vácuo e R o raio da circunferência formada pelo campo magnético em torno do condutor. O vetor intensidade de fluxo magnético no vácuo é dado pela equação 8.

$$\vec{H} = \frac{\vec{B}}{\mu_0} \quad (8)$$

1.2 Blindagens a interferências eletromagnéticas

Segundo GEETHA (2008) uma onda eletromagnética quando atravessa uma blindagem, sofre absorção e reflexão, restando ainda uma energia residual que não é nem absorvida e nem refletida pela blindagem, mas emergida dela. PAUL (2006b) aborda que o termo blindagem geralmente se refere a um gabinete metálico que envolve o circuito, ou parte dele, com o propósito de evitar as emissões de componentes eletrônicos irradiam para fora dos limites do circuito, ou seja, evitar que o circuito provoque interferência em outros equipamentos ou circuitos, e evitar que emissões irradiadas externas ao circuito blindado sofram possíveis acoplamentos de outros componentes externos.

PAUL (2006b) ainda menciona que a eficácia de uma blindagem é a razão entre a magnitude de um campo eletromagnético incidente e a magnitude do campo eletromagnético transmitido pela barreira. A eficácia de blindagem da barreira é definida em decibéis, considerando o fator de blindagem com o sinal trocado, mostrada na equação 9.

$$S(dB) = -168 + 10 \log \frac{f \mu r}{\sigma r} - 0,1314 \cdot e(mm) \sqrt{f \mu r \sigma r} \quad (9)$$

Em que S é o fator de blindagem, f é a frequência do sinal, μr e σr são a permeabilidade e condutividade relativa do material, respectivamente. GEETHA (2008) descreve que os metais podem absorver, refletir e transmitir EMI, por isso equipamentos são protegidos contra radiação eletromagnética de altas frequências por escudos de metal, sendo a liga de mu-metal o material mais comum na construção de invólucros para blindagem devida a sua elevada permeabilidade magnética a baixas intensidades de campos magnéticos. PAUL (2006b) menciona que materiais ferrimagnéticos, como as ferrites, tem uso crescente em dispositivos eletrônicos para prevenção de EMI, por sua alta resistividade e perdas que aumentam à medida que a frequência do campo magnético aplicado aumenta.

2 | MATERIAIS E MÉTODO

A proposta deste trabalho foi realizar um levantamento bibliográfico sobre o tema, considerando os principais meios de consulta disponibilizados pela Universidade, como a própria biblioteca física, a biblioteca digital, artigos científicos disponíveis na plataforma Scielo e outros meios de acesso livre. Em princípio, foi dada ênfase aos princípios básicos

e teóricos relacionados ao tema de interferências eletromagnéticas e, na medida de sua evolução, buscar o aprofundamento no assunto, com novas referências bibliográficas.

Concomitante a isso, foi desenvolvido um protótipo para realização de ensaios sobre interferência eletromagnética, visando comprovar na prática a teoria estudada. A proposta é a construção de linhas de transmissão bifilar com fios de cobre esmaltado em suporte de madeira, onde será considerada uma linha fixa com fonte e outras configurações de linhas como receptoras (vítimas); com a utilização de um gerador de ondas arbitrárias para emitir sinais de determinada faixa de frequências na linha tida como fonte, e com um osciloscópio poder obter a medida do sinal induzido nas linhas receptoras, relacionando-o como sendo uma interferência indesejável. A configuração final dessas linhas de transmissão será definida futuramente, de forma a buscar a melhor maneira de obter resultados que possam ser analisados. A partir dessas configurações e medidas iniciais, pretende-se explorar os conceitos envolvidos e análises de blindagens no sistema de acoplamento. A motivação deste trabalho é abordar uma área de aplicação do eletromagnetismo em suas teorias físicas e matemáticas e comprovar o fenômeno em laboratório, dando uma visão menos abstrata de fenômenos ligados a esse campo da física e da engenharia, contribuindo também para despertar o interesse por aulas mais práticas e melhor entendimento por parte dos estudantes, sabendo-se que a supracitada disciplina provoca certo desconforto nos estudantes de engenharia elétrica pelos seus conceitos abstratos e complexidade matemática.

3 | METODOLOGIA

Nesta seção será apresentada a metodologia adotada, descrevendo os ensaios a serem realizados, recursos necessários, procedimentos para execução, preparação de amostras e roteiros de ensaio. Os ensaios para medição e análise dos parâmetros da EMI são realizados considerando uma modelagem pela teoria de linhas de transmissão, onde duas linhas são prototipadas e dispostas em algumas configurações, sendo a primeira denominada por linha fonte, onde o sinal será aplicado e a segunda denominada por linha “vítima”, que atuará com o papel de receptora, onde são registrados os efeitos causados condicionados a interferência de forma irradiada, através dos níveis de frequência e tensão. São três configurações primárias de ensaio: distanciamento, posicionamento e colocação de blindagem. Dentro dessas configurações, existirão ainda as configurações secundárias: variação de distâncias, variação de posicionamento e teste com blindagem. Os materiais para confecção das linhas e equipamentos para os ensaios são apresentados nas tabelas 2 e 3 a seguir:

Componente	Especificação	Unidade de Medida	Quantidade
Fio de cobre esmaltado	AWG18 – Ø1mm	Metros	2
Resistores	100Ω	Peça	2
Base de madeira	Madeira MDF 60cmx10cm	Peça	2
Blindagem	Papel alumínio 110cmx25cm	Peça	1

Tabela 2 - Materiais utilizados para montagem das linhas de transmissão

Fonte: Próprio autor.

Equipamento	Marca	Modelo	Capacidade
Osciloscópio digital	Tektronix	TBS 1052B	50MHz 1GS/s
Gerador de Ondas Arbitrárias	Agilent	33220A	20MHz

Tabela 3 - Equipamentos utilizados nos ensaios

Fonte: Próprio autor.

A seguir é apresentado o processo de montagem do protótipo e o roteiro de ensaios. Após o levantamento dos materiais e equipamentos, a construção do protótipo é baseada no esquema elétrico apresentado na figura 3.

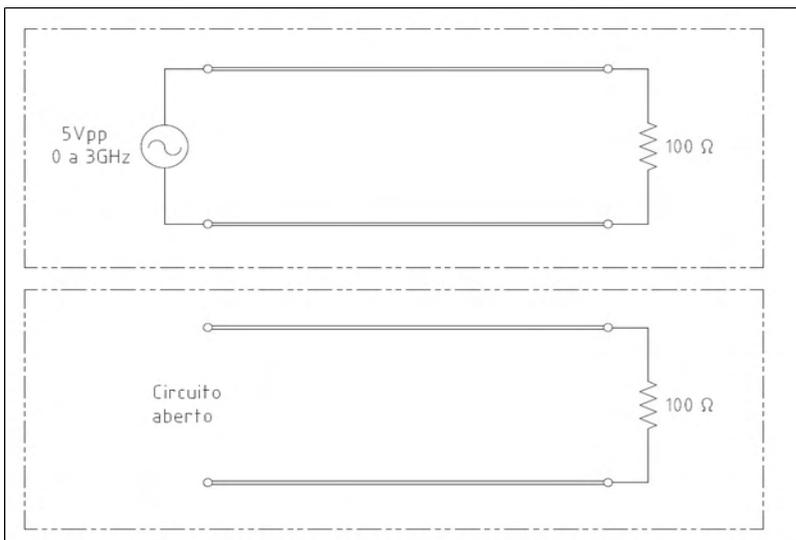


Figura 3 – Esquema elétrico da linha de transmissão fonte (acima) e da linha de transmissão “vítima” (abaixo)

Fonte: Próprio autor..

Conforme o esquema, a linha de transmissão que servirá como fonte de interferência eletromagnética é montada a partir de um par de fios de cobre esmaltados, de comprimento de 50cm, postos paralelamente a uma distância de aproximadamente 3cm um do outro sobre o suporte de madeira. No suporte 1 com dimensões de 60cm x 10cm, o par de fios é posicionado de maneira que fique alocado em uma das extremidades do suporte, deixando um espaço na lateral maior do lado oposto ao posicionamento da linha de transmissão. Os fios já posicionados são presos com fita isolante, de maneira a ficarem com a mesma distância ao longo de toda sua extensão.

Após o posicionamento e fixação dos fios no suporte, um resistor de 100Ω será soldado com estanho na extremidade direita da linha, que servirá como carga resistiva da linha de transmissão. Na extremidade esquerda da linha será conectado o gerador de ondas arbitrárias que fornecerá a alimentação de aproximadamente 5 V pico a pico ao circuito com faixas de frequências ajustáveis conforme o ensaio a ser empregado.

A linha de transmissão que servirá como “vítima” de interferência eletromagnética, seguirá os mesmos passos de montagem, agora no suporte 2, a única diferença é que a extremidade esquerda ficará em aberto para que sejam conectados os instrumentos de medição, como o osciloscópio e o analisador de espectro, para aferição dos sinais parasitas que estão sendo transmitidos sobre a carga resistiva provenientes do circuito tido como fonte de interferência. O esquema de montagem geral é apresentado na figura 4.

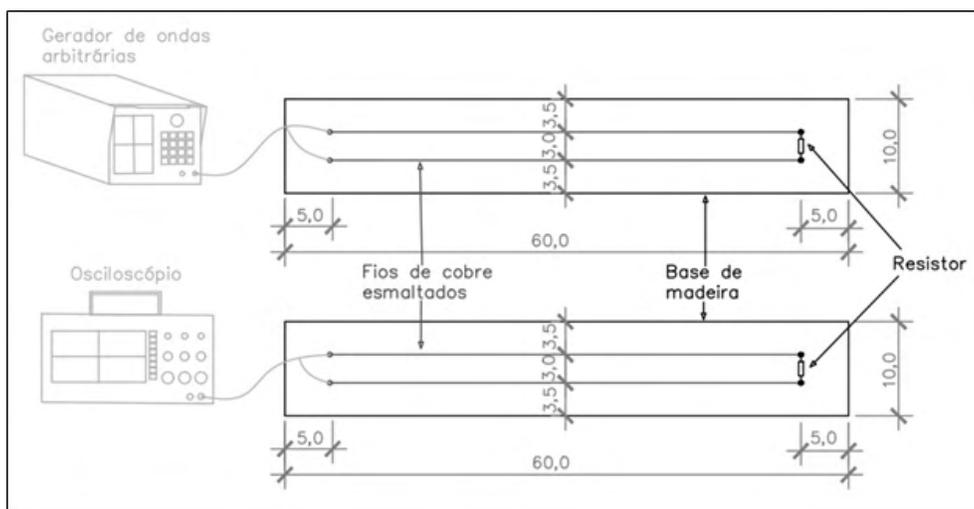


Figura 4 – Ilustração do esquema de montagem do protótipo, com medidas em centímetros.

Fonte: Próprio autor.

3.1 Roteiros de Ensaios

Neste tópico são apresentados no detalhe, os ensaios de distanciamento, posicionamento e blindagem. Para isso, são tomadas as seguintes ações:

- **Preparação do equipamento de alimentação:** Ligar o gerador de onda arbitrária e configurar uma alimentação de 20MHz - Tensão senoidal 5Vpp. Essa preparação será utilizada em todos os ensaios.
- **Medições:** realizar medições utilizando o osciloscópio no ponto destacado nas figuras, seguindo as orientações de distanciamento e anotar os resultados.

Primeiramente, o ensaio de distanciamento é realizado com o intuito de observar os níveis de EMI no circuito vítima a diferentes distâncias do circuito fonte. Para isso, as linhas são separadas em diferentes distâncias uma da outra como na figura 5.

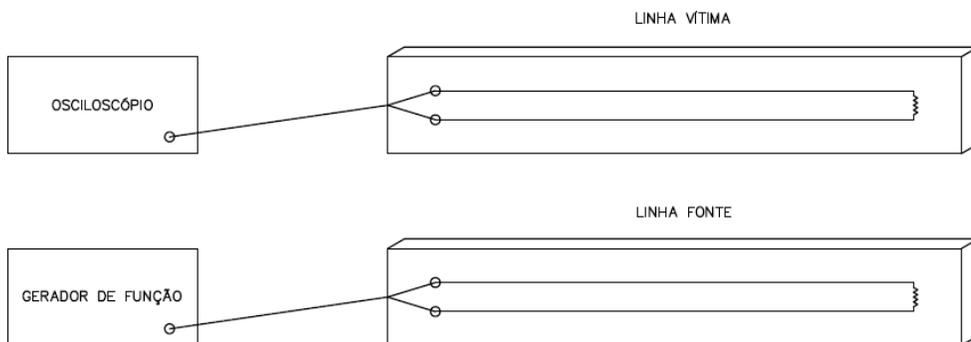


Figura 5 – Ilustração do esquema de posição das bases distanciadas entre si.

Fonte:Próprio autor.

O ensaio de posicionamento é realizado com o intuito de observar os níveis de EMI no circuito vítima a diferentes posições em relação ao circuito fonte. Para isso, as linhas são posicionadas da seguinte maneira, respectivamente: primeiro perpendicularmente a 90 graus, depois verticalmente sobrepostos distanciados a 20cm e, por último, de forma cruzadas sobrepostas sem distanciamento, conforme ilustrado nas figuras 6, 7 e 8.

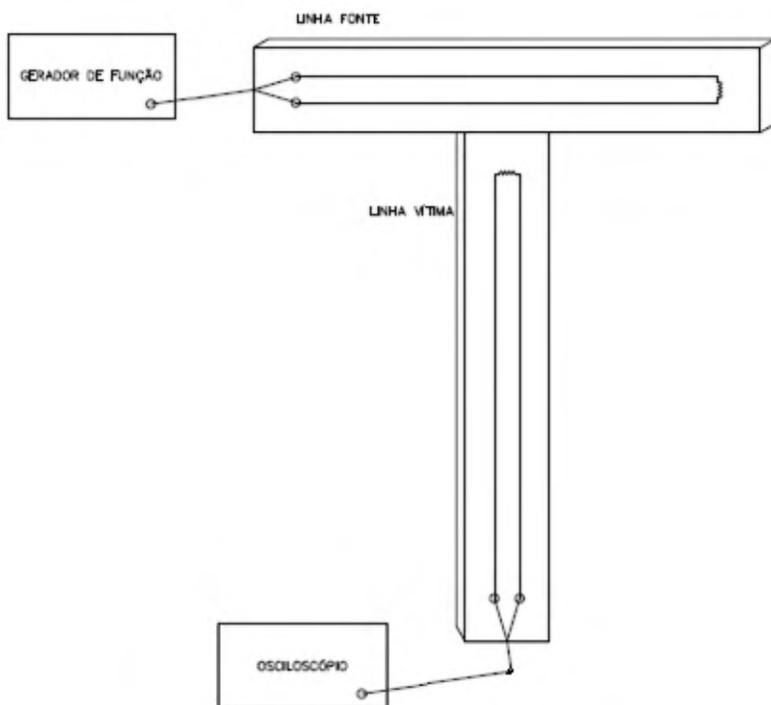


Figura 6 – Ilustração do esquema de posição das bases a 90 graus.

Fonte: Próprio autor.

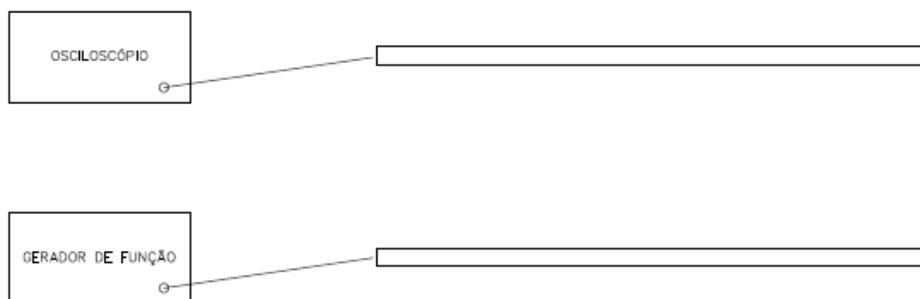


Figura 7 – Ilustração do esquema de posição das bases posicionadas verticalmente sobrepostas com 20cm de distância.

Fonte: Próprio autor.

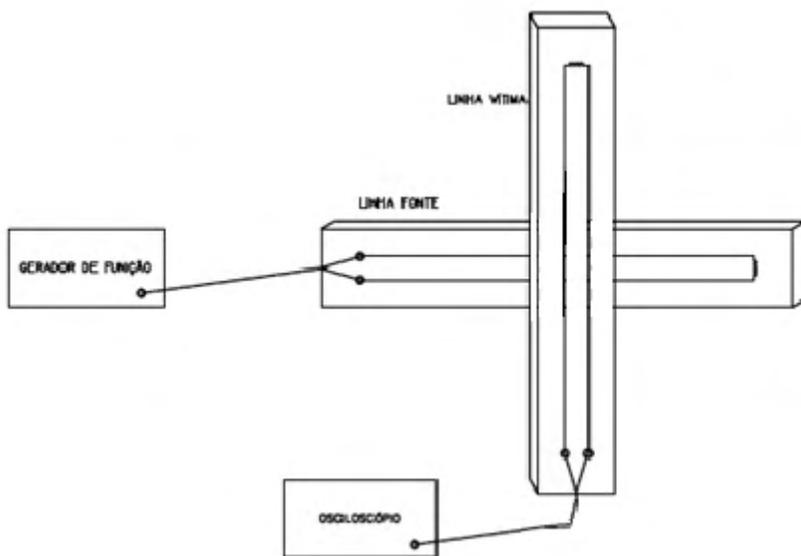


Figura 8 – Ilustração do esquema de posição de forma cruzada

Fonte: Próprio autor.

3.2 Ensaios de Blindagem com Alumínio

Esse ensaio é realizado visando observar a eficiência do alumínio em atenuar o sinal acoplado na linha de transmissão. A ideia é utilizar uma folha de papel alumínio e envolver as linhas de transmissão e verificar a eficiência dessa blindagem para cada situação. A folha de papel alumínio será recortada nas dimensões aproximadas de 130cm x 25cm, que envolverá, em um primeiro instante, a linha de transmissão receptora de sinais de EMI, recobrindo-a como um envoltório. Depois será recoberto também a linha fonte de interferências.

Após cobrir a linha com o papel alumínio, foram efetuados os seguintes passos:

- Posicionou-se as linhas fonte e receptora em paralelo a uma distância onde já foi efetuado algum teste de interferência anterior, e se tem o valor da amplitude do sinal conhecido.
- Aplicou-se a mesma frequência do sinal do teste anterior;
- Verificou-se a amplitude do sinal medido e a frequência na linha receptora, agora com ela blindada;
- Realizou-se comparações dos resultados obtidos.

4 | RESULTADOS

Inicialmente, os dois pares de linhas foram montados sobre as bases conforme instrução do roteiro, considerando linha fonte e linha vítima com o sinal devidamente aplicado, posicionadas com uma distância de 10cm entre si. Porém, nenhum resultado pôde ser observado na leitura do osciloscópio.

Diante disso, algumas investigações foram realizadas, partindo do princípio da relação do comprimento de onda com a frequência do sinal, baseado na expressão $\lambda = \frac{v_0}{f}$, em que λ é o comprimento de onda, considerando $v_0 = 3 \times 10^8$ m/s velocidade de propagação no ar e $f = 20$ MHz - frequência do sinal; obteve-se que $\lambda = 15$ m. Para PAUL (2006a) uma dimensão física menor do que 1/10 do comprimento de onda é dita eletricamente pequena de modo que o deslocamento de fase do sinal, à medida que a onda se propague é desprezível. Por isso, os fenômenos eletromagnéticos são ignorados e o circuito é analisado usando parâmetros concentrados. Como no primeiro instante, tendo as linhas 50cm de comprimento, ou seja, um terço menor do que foi estabelecido pelo autor, e não foi possível tratar esses fenômenos, o tamanho da linha foi alterado para 110cm mantendo a mesma frequência de 20MHz, aproximando assim o comprimento das linhas a 1/10 ao comprimento de onda para possibilitar as medições dos ensaios.

Esse novo circuito das linhas de transmissão será identificado como circuito 1; na tabela 4 é apresentado o resultado dos ensaios de distanciamento, como ilustrado na figura 5.

d(cm)	Tensão do Gerador (Vpp)	Tensão Induzida (Vpp)	Frequência (MHz)
10	5,00	3,36	20,00
50	5,00	2,84	20,00
100	5,00	1,52	20,00

Tabela 4 - Registro dos parâmetros medidos para o distanciamento do circuito 1.

Fonte: Próprio autor.

A tabela 5 mostra os resultados obtidos dos ensaios de posicionamento das linhas de transmissão, como ilustrados nas figuras 6, 7 e 8 respectivamente.

Posição das linhas	Tensão do Gerador (Vpp)	Tensão Induzida (Vpp)
Perpendicular a 90 graus	5,00	0,90
Verticais sobrepostas	5,00	2,18
Cruzadas sobrepostas	5,00	1,44

Tabela 5 - Registro dos parâmetros medidos para posicionamento do circuito 1.

Fonte: Próprio autor.

Na tabela 6 apresenta-se os resultados referentes a comparações de medidas das linhas distanciadas entre si, sem blindagem e com a blindagem com papel alumínio.

Distância/blindagem	Frequência do sinal recebido sem blindagem (MHz)	Tensão Induzida sem blindagem (Vpp)	Tensão Induzida com blindagem (Vpp)
5,50m entre as linhas	20,00	0,52	0,00
1,00m entre as linhas	20,00	1,20	0,00
1,00 m/somente a fonte blindada	20,00	1,20	0,00
1,00 m/ambas as linhas blindadas	20,00	1,20	0,00

Tabela 6 - Registro dos parâmetros medidos do ensaio de blindagem com papel alumínio do circuito 1.

Fonte: Próprio autor.

Ao longo da execução dos testes, surgiu a necessidade de avaliar os níveis da interferência com uma diferente fonte de ruído. Após uma avaliação minuciosa dos recursos disponíveis em laboratório, um novo teste foi realizado com o mesmo circuito, porém utilizando um gerador eletrostático de correia, conhecido como gerador de Van der Graaff. Os resultados são apresentados na tabela 7

Distância entre a linha e o gerador Van der Graaff (cm)	Frequência captada	Tensão induzida (Vpp)
10	~ 23,0 KHz	0,2
50	~ 4,5KHz	0,2

Tabela 7 – Registro do ensaio usando o Gerador de Van der Graaff como fonte de interferência eletromagnética.

Fonte: Próprio autor.

A fim de enriquecer o estudo, um novo ensaio foi executado baseado no artigo escrito por PAUL (1990) intitulado “*Crosstalk in Cable*”, sendo desenvolvido um ensaio de distanciamento e blindagem. Esse novo arranjo será identificado como circuito 2, que como pode ser visto na figura 9, possui fios de cobre com aproximadamente 1,5m de comprimento e resistência de carga de 10Ω . A linha em que será medido o sinal induzido é fechada nas duas extremidades com resistores de 10Ω , diferentemente da linha montada para os ensaios anteriores, que era aberta na extremidade oposta a carga.

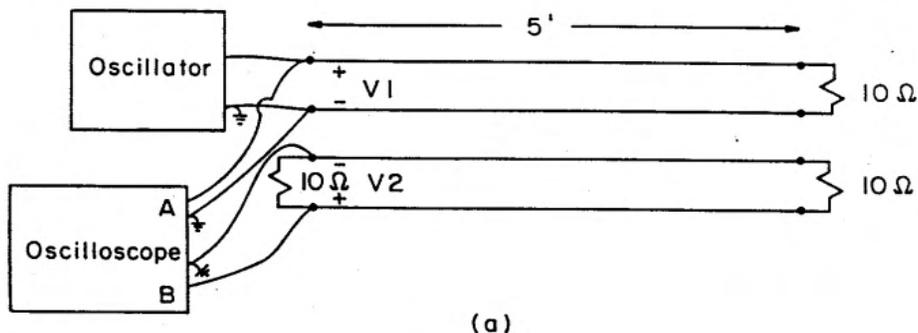


Figura 9 – Circuito 2.

Fonte: PAUL (1990).

Em relação ao sinal aplicado, foram considerados os mesmos parâmetros do estudo já iniciado. A partir daí, foram determinadas um maior número de distâncias para uma análise mais minuciosa sobre o comportamento das tensões induzidas em cada ponto. Na tabela 8 foram anotados os resultados desse ensaio.

d1 (cm)	V1 (Vpp)	I1 (mA)	V2 (mVpp)
4	5	8,33	470
10	5	8,33	440
20	5	8,33	408
30	5	8,33	320
60	5	8,33	307
120	5	8,33	281
240	5	8,33	246

Tabela 8 - Registro do ensaio de distanciamento realizado a partir do circuito 2.

Fonte: Próprio autor.

Na tabela 9 é apresentado o resultado do ensaio usando blindagem com papel alumínio recobrimdo a linha receptora totalmente.

d1 (cm)	V1 (Vpp)	I1 (mA)	V2 (mVpp)
4	5	8,33	0
10	5	8,33	0
20	5	8,33	0
30	5	8,33	0
60	5	8,33	0
120	5	8,33	0
240	5	8,33	0

Tabela 9 – Registro do ensaio de blindagem com a linha receptora recoberta com papel alumínio.

Fonte: Próprio autor.

Após os ensaios realizados anteriormente e também com o conceito de propagação de sinal de forma angular em torno de um condutor reto e longo, foi testada também uma nova configuração de blindagem, com o mesmo papel alumínio, mas em forma de barreira entre as duas linhas, para que o comportamento do sinal pudesse ser observado à medida que as linhas eram distanciadas. A tabela 10 mostra os resultados obtidos e anotados a partir da leitura do osciloscópio, em comparação com os resultados sem a barreira.

d1 (Cm)	V1 (Vpp)	V2 - sem blindagem (mVpp)	V2 - com a barreira de blindagem (mVpp)
4	5	470	218
10	5	440	234
20	5	408	246
30	5	320	264
60	5	307	280
120	5	281	284

Tabela 10 - Registro do ensaio de blindagem da linha receptora com barreira de papel alumínio

Fonte: Próprio autor.

5 | DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Conforme pode ser visto na tabela 5, onde o sinal aplicado de 5V pico a pico e frequência de 20MHz na linha fonte, produziu tensões induzidas na linha receptora na ordem de 3,36V, 2,84V e 1,52V pico a pico a distâncias de 10, 50 e 100cm, respectivamente, ficando bem evidente que a distâncias maiores o sinal vai perdendo sua amplitude de acoplamento. Os ensaios de posicionamento apresentados na tabela 6, onde há três configurações distintas de posicionamento entre as linhas, percebe-se a atenuação da tensão induzida com a linha receptora posicionada perpendicularmente a 90 graus (em formato de um “T”), resultando em um sinal de menor amplitude, 980mV pico a pico, do que as outras posições. Na posição com as linhas verticais e sobrepostas, há o maior acoplamento induzido de 2,18V pico a pico podendo ser comparado aos resultados das linhas distanciadas na horizontal próxima; com elas cruzadas e sobrepostas há influência do posicionamento a 90 graus, que faz com que o sinal induzido seja atenuado significativamente em relação à posição anterior, resultando em 1,44V pico a pico, mesmo estando uma linha sobreposta a outra.

Na tabela 7, é apresentado um comparativo do sinal resultante explorando a blindagem com papel alumínio e o circuito sem a blindagem. O que pode ser visto é que há a blindagem total do sinal induzido quando a blindagem envolve a linha “vítima”, em distâncias mais próximas e razoavelmente maiores entre ambas, e também existe blindagem do sinal propagado pela linha fonte quando ela está totalmente envolvida pela blindagem. Na tabela 8 há os resultados do ensaio feito usando o Gerador de Van der Graff como fonte de interferências eletromagnéticas, que mostram o aparecimento de sinais parasitas que se acoplam na linha receptora quando as descargas elétricas são provocadas pelo bastão, com frequências que variaram com a distância, sendo para 4,5kHz em 10cm para 50cm, mas manteve a mesma amplitude do sinal induzido de 200mV.

Os resultados da tabela 9 mostraram que da mesma maneira que aconteceu no ensaio com o circuito 1, o distanciamento entre as linhas diminuiu a amplitude do sinal de interferência no circuito 2. O ensaio com mais variações na distância, é possível perceber que as variações não seguiram uma linha coerente, como por exemplo, no par de distâncias dobradas - 10 para 20 centímetros e 30 para 60 centímetros – que resultou variações na ordem de 32mV e 13mV pico a pico respectivamente. Utilizando o mesmo circuito das linhas de transmissão para o ensaio de blindagem, os resultados da tabela 10 mostram que a blindagem com papel alumínio, envolvendo a linha receptora, atenua totalmente o sinal como foi visto no ensaio do circuito 1.

Utilizando ainda o circuito 2 das linhas de transmissão para blindagem utilizando o papel alumínio como barreira, os resultados da tabela 11 mostram que há atenuação do sinal induzido na linha receptora quando as distâncias entre as linhas e a barreira são menores – 4, 10, 20 e 30cm - produzindo sinais significativamente menores comparados com o

ensaio sem blindagem, de 218mV, 234mV, 246mV e 264mV pico a pico respectivamente. Conforme o aumento da distância entre as linhas e a barreira, a diferença entre as tensões induzidas sem a barreira e com a barreira vai diminuindo até que a blindagem perca sua total eficiência, como pode ser visto na distância de 120cm.

6 | CONCLUSÃO

A partir do primeiro ensaio executado como relatado nos resultados, houve impossibilidade em obter as medições com as linhas de transmissão menores (50cm), devido à frequência insuficiente do gerador disponível no laboratório, o que fez com que elas tivessem de ser aumentadas em comprimento. Apesar disso, de maneira geral, os resultados mostraram o que era esperado a partir do que foi estudado na teoria, que houvesse tensões induzidas na linha de prova a partir do fluxo das linhas de propagação de campo magnético provocado pela variação de corrente elétrica no tempo, conduzida nos fios da linha geradora. A diminuição desta tensão induzida com o distanciamento, baseado no que foi descrito por PAUL (1990) que cita sobre como a distância entre as linhas de transmissão causam diminuição nos coeficientes de acoplamento indutivo e capacitivo provocados pela tensão e corrente aplicados pelo gerador de ondas arbitrárias, também era um resultado esperado e conclusivo. Nisso, os resultados dos ensaios com o circuito 1 (tabela 5) e do circuito 2 (tabela 9), conseguiram mostrar que há relação entre os acoplamentos indutivo e capacitivo com a distância entre as linhas, conforme mais longe uma da outra menor a amplitude do sinal, até que não seja mais válida essa relação e não haja mais tensão induzida na linha receptora. A de se observar que esses valores podem não ser tão exatos levando em consideração que há imprecisão dos equipamentos, as condições do ambiente, os erros nos arredondamentos e etc.

Os resultados do ensaio de posicionamento (tabela 6) foram positivos e serviram para concluir que o acoplamento do sinal obedece à geometria na qual as linhas estão dispostas em um determinado plano. A linha receptora posicionada a 90 graus tem um campo maior para a variação negativa do fluxo magnético, por isso menor o sinal acoplado.

Os resultados dos ensaios de blindagem com a linha envolvida em papel alumínio, apresentaram no geral um comportamento esperado que foi a blindagem total do sinal parasita. Por outro lado, para o ensaio de blindagem utilizando o papel alumínio como barreira, havia uma expectativa de blindagem total do sinal, o que não ocorreu, mas sim uma atenuação do sinal significativa para as distâncias mais próximas entre as linhas e a barreira. Analisando os resultados e a disposição dos componentes do ensaio, chegou-se à conclusão que essa atenuação deu-se a partir da propagação das linhas de campo magnético de maneira angular em torno dos condutores e a menor distância entre as linhas e a barreira, onde há o bloqueio das componentes de maior módulo de campo magnético,

diminuindo significativamente o valor da tensão induzida. Concluiu-se que seria muito difícil a blindagem total com uma barreira de blindagem relativamente pequena devido ao grande raio de propagação das componentes de menor valor das linhas de campo magnético que vão ultrapassando a barreira e se acoplam a linha de transmissão, além de outras interferências provocadas por fontes externas que acabaram sendo vistas em algumas partes do laboratório.

As interferências de fontes externas foram algumas das dificuldades encontradas durante os ensaios, sendo que o laboratório da Universidade não é o mais adequado a esse tipo de investigação. O ideal seria realizar ensaios em locais onde houvesse isolamento a ruídos e contenção de reflexão de sinais, como em câmaras anecóicas.

Por fim, conclui-se que o trabalho atendeu as expectativas e mostrou-se ser uma ferramenta interessante para o aprendizado e a consolidação dos conhecimentos aprendidos em sala de aula, sobre eletromagnetismo básico e aplicado na engenharia, abrindo espaço para outras investigações e estudos que não foram o foco deste trabalho, como por exemplo, os parâmetros e propagação das ondas guiadas por linhas de transmissão.

REFERÊNCIAS

DREWNIAK, J. L. **Coupling Through the Magnetic Field - Faraday's Law**. 2015; EMC Laboratory - University of Missouri-Rolla. 9p.

DREWNIAK, J. L.; DUBROFF, R. E. **Transmission Lines with Reactive Terminations**. 2015; EMC Laboratory - University of Missouri-Rolla. 6p.

DREWNIAK, J.L.; HUBING, T. H.; VAN DOREN, T. P.; SHA, F. **Integrating electromagnetic compatibility**. 2015; Laboratory exercises into undergraduate electromagnetics. 40p.

FLEISCH, D. **A Student Guide to Maxwell's Equations**. New York: Cambridge University Press, 2008. 134p.

GEETHA, S. et al. EMI Shielding: Methods and Materials - A Review. **Wiley InterScience [online]**. vol. 112, 14p., 2008.

PAUL, C. R. Crosstalk in Cables. **EMC Educational Manual**. Lexington: EMC Society, 1990. Pp. 5 - 12.

PAUL, C. R. **Eletromagnetismo para Engenheiros** – Com aplicações a Sistemas digitais e Interferência Eletromagnética. Rio de Janeiro: LTC, 2006. 379p [a].

PAUL, C. R. **Introduction to Electromagnetic Compatibility**. New Jersey: John Wiley, 2006. 989p [b].

PRESTES, D. P. **Plataforma para injeção de ruído eletromagnético conduzido em circuitos integrados**. 2010. 98 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

SADIKU, M. N. O. **Elementos de Eletromagnetismo**. 5ed. Porto Alegre: Bookman, 2012. pp.114-119 e 334-335.



Engenharia Moderna: Soluções para Problemas da Sociedade e da Indústria 3

-  www.atenaeditora.com.br
-  contato@atenaeditora.com.br
-  [@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)
-  www.facebook.com/atenaeditora.com.br



Engenharia Moderna: Soluções para Problemas da Sociedade e da Indústria 3

-  www.atenaeditora.com.br
-  contato@atenaeditora.com.br
-  [@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)
-  www.facebook.com/atenaeditora.com.br