



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

Filipe Alves Coelho  
Iara Lúcia Tescarollo  
Vicente Idalberto Becerra Sablon  
(Organizadores)

**Atena**  
Editora  
Ano 2020



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

Filipe Alves Coelho  
Iara Lúcia Tescarollo  
Vicente Idalberto Becerra Sablon  
(Organizadores)

**Atena**  
Editora  
Ano 2020

**Editora Chefe**

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

**Assistentes Editoriais**

Natalia Oliveira

Bruno Oliveira

Flávia Roberta Barão

**Bibliotecário**

Maurício Amormino Júnior

**Projeto Gráfico e Diagramação**

Natália Sandrini de Azevedo

Camila Alves de Cremo

Karine de Lima Wisniewski

Luiza Alves Batista

Maria Alice Pinheiro

**Imagens da Capa**

Shutterstock

**Edição de Arte**

Luiza Alves Batista

**Revisão**

Os Autores

2020 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do Texto © 2020 Os autores

Copyright da Edição © 2020 Atena Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição *Creative Commons*. Atribuição-Não-Comercial-NãoDerivativos 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.

A Atena Editora não se responsabiliza por eventuais mudanças ocorridas nos endereços convencionais ou eletrônicos citados nesta obra.

Todos os manuscritos foram previamente submetidos à avaliação cega pelos pares, membros do Conselho Editorial desta Editora, tendo sido aprovados para a publicação.

**Conselho Editorial**

**Ciências Humanas e Sociais Aplicadas**

Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas

Prof. Dr. Alexandre Jose Schumacher – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Paraná

Prof. Dr. Américo Junior Nunes da Silva – Universidade do Estado da Bahia

Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof. Dr. Antonio Gasparetto Júnior – Instituto Federal do Sudeste de Minas Gerais

Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília

Prof. Dr. Carlos Antonio de Souza Moraes – Universidade Federal Fluminense  
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa  
Prof. Dr. Daniel Richard Sant’Ana – Universidade de Brasília  
Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia  
Profª Drª Dilma Antunes Silva – Universidade Federal de São Paulo  
Prof. Dr. Edvaldo Antunes de Farias – Universidade Estácio de Sá  
Prof. Dr. Elson Ferreira Costa – Universidade do Estado do Pará  
Prof. Dr. Eloi Martins Senhora – Universidade Federal de Roraima  
Prof. Dr. Gustavo Henrique Cepolini Ferreira – Universidade Estadual de Montes Claros  
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice  
Prof. Dr. Jadson Correia de Oliveira – Universidade Católica do Salvador  
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense  
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins  
Prof. Dr. Luis Ricardo Fernandes da Costa – Universidade Estadual de Montes Claros  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Marcelo Pereira da Silva – Pontifícia Universidade Católica de Campinas  
Profª Drª Maria Luzia da Silva Santana – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul  
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Rita de Cássia da Silva Oliveira – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Prof. Dr. Rui Maia Diamantino – Universidade Salvador  
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará  
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande  
Prof. Dr. William Cleber Domingues Silva – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

#### **Ciências Agrárias e Multidisciplinar**

Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano  
Profª Drª Carla Cristina Bauermann Brasil – Universidade Federal de Santa Maria  
Prof. Dr. Antonio Pasqualetto – Pontifícia Universidade Católica de Goiás  
Prof. Dr. Cleberton Correia Santos – Universidade Federal da Grande Dourados  
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná  
Profª Drª Diocléa Almeida Seabra Silva – Universidade Federal Rural da Amazônia  
Prof. Dr. Écio Souza Diniz – Universidade Federal de Viçosa  
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul  
Prof. Dr. Fágner Cavalcante Patrocínio dos Santos – Universidade Federal do Ceará  
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Prof. Dr. Jael Soares Batista – Universidade Federal Rural do Semi-Árido  
Prof. Dr. Júlio César Ribeiro – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Profª Drª Lina Raquel Santos Araújo – Universidade Estadual do Ceará  
Prof. Dr. Pedro Manuel Villa – Universidade Federal de Viçosa  
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão  
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará  
Profª Drª Talita de Santos Matos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Prof. Dr. Tiago da Silva Teófilo – Universidade Federal Rural do Semi-Árido  
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas

## **Ciências Biológicas e da Saúde**

Prof. Dr. André Ribeiro da Silva – Universidade de Brasília  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Anelise Levay Murari – Universidade Federal de Pelotas  
Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Débora Luana Ribeiro Pessoa – Universidade Federal do Maranhão  
Prof. Dr. Douglas Siqueira de Almeida Chaves -Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Prof. Dr. Edson da Silva – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Eleuza Rodrigues Machado – Faculdade Anhanguera de Brasília  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Eysler Gonçalves Maia Brasil – Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira  
Prof. Dr. Ferlando Lima Santos – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Gabriela Vieira do Amaral – Universidade de Vassouras  
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria  
Prof. Dr. Helio Franklin Rodrigues de Almeida – Universidade Federal de Rondônia  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Iara Lúcia Tescarollo – Universidade São Francisco  
Prof. Dr. Igor Luiz Vieira de Lima Santos – Universidade Federal de Campina Grande  
Prof. Dr. Jefferson Thiago Souza – Universidade Estadual do Ceará  
Prof. Dr. Jesus Rodrigues Lemos – Universidade Federal do Piauí  
Prof. Dr. Jônatas de França Barros – Universidade Federal do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. José Max Barbosa de Oliveira Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará  
Prof. Dr. Luís Paulo Souza e Souza – Universidade Federal do Amazonas  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Magnólia de Araújo Campos – Universidade Federal de Campina Grande  
Prof. Dr. Marcus Fernando da Silva Praxedes – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Maria Tatiane Gonçalves Sá – Universidade do Estado do Pará  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Mylena Andréa Oliveira Torres – Universidade Ceuma  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Natiéli Piovesan – Instituto Federaci do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Paulo Inada – Universidade Estadual de Maringá  
Prof. Dr. Rafael Henrique Silva – Hospital Universitário da Universidade Federal da Grande Dourados  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Regiane Luz Carvalho – Centro Universitário das Faculdades Associadas de Ensino  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Renata Mendes de Freitas – Universidade Federal de Juiz de Fora  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande

## **Ciências Exatas e da Terra e Engenharias**

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto  
Prof. Dr. Alexandre Leite dos Santos Silva – Universidade Federal do Piauí  
Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná  
Prof. Dr. Douglas Gonçalves da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia  
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro  
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará  
Prof<sup>ª</sup> Dra. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho  
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  
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. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

### **Linguística, Letras e Artes**

Profª Drª Adriana Demite Stephani – Universidade Federal do Tocantins  
Profª Drª Angeli Rose do Nascimento – Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro  
Profª Drª Carolina Fernandes da Silva Mandaji – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Profª Drª Denise Rocha – Universidade Federal do Ceará  
Prof. Dr. Fabiano Tadeu Grazioli – Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões  
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná  
Profª Drª Keyla Christina Almeida Portela – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Paraná  
Profª Drª Miranilde Oliveira Neves – Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará  
Profª Drª Sandra Regina Gardacho Pietrobon – Universidade Estadual do Centro-Oeste  
Profª Drª Sheila Marta Carregosa Rocha – Universidade do Estado da Bahia

### **Conselho Técnico Científico**

Prof. Me. Abrãao Carvalho Nogueira – Universidade Federal do Espírito Santo  
Prof. Me. Adalberto Zorzo – Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza  
Prof. Me. Adalto Moreira Braz – Universidade Federal de Goiás  
Prof. Dr. Adailson Wagner Sousa de Vasconcelos – Ordem dos Advogados do Brasil/Seccional Paraíba  
Prof. Dr. Adilson Tadeu Basquerote Silva – Universidade para o Desenvolvimento do Alto Vale do Itajaí  
Prof. Me. Alexsandro Teixeira Ribeiro – Centro Universitário Internacional  
Prof. Me. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão  
Profª Ma. Andréa Cristina Marques de Araújo – Universidade Fernando Pessoa  
Profª Drª Andreza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico  
Profª Drª Andrezza Miguel da Silva – Faculdade da Amazônia  
Profª Ma. Anelisa Mota Gregoleti – Universidade Estadual de Maringá  
Profª Ma. Anne Karynne da Silva Barbosa – Universidade Federal do Maranhão  
Prof. Dr. Antonio Hot Pereira de Faria – Polícia Militar de Minas Gerais  
Prof. Me. Armando Dias Duarte – Universidade Federal de Pernambuco  
Profª Ma. Bianca Camargo Martins – UniCesumar  
Profª Ma. Carolina Shimomura Nanya – Universidade Federal de São Carlos  
Prof. Me. Carlos Antônio dos Santos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Prof. Ma. Cláudia de Araújo Marques – Faculdade de Música do Espírito Santo  
Profª Drª Cláudia Taís Siqueira Cagliari – Centro Universitário Dinâmica das Cataratas  
Prof. Me. Clécio Danilo Dias da Silva – Universidade Federal do Rio Grande do Norte  
Prof. Me. Daniel da Silva Miranda – Universidade Federal do Pará  
Profª Ma. Daniela da Silva Rodrigues – Universidade de Brasília

Profª Ma. Daniela Remião de Macedo – Universidade de Lisboa  
Profª Ma. Dayane de Melo Barros – Universidade Federal de Pernambuco  
Prof. Me. Douglas Santos Mezacas – Universidade Estadual de Goiás  
Prof. Me. Edevaldo de Castro Monteiro – Embrapa Agrobiologia  
Prof. Me. Eduardo Gomes de Oliveira – Faculdades Unificadas Doctum de Cataguases  
Prof. Me. Eduardo Henrique Ferreira – Faculdade Pitágoras de Londrina  
Prof. Dr. Edwaldo Costa – Marinha do Brasil  
Prof. Me. Eliel Constantino da Silva – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita  
Prof. Me. Ernane Rosa Martins – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás  
Prof. Me. Euvaldo de Sousa Costa Junior – Prefeitura Municipal de São João do Piauí  
Profª Ma. Fabiana Coelho Couto Rocha Corrêa – Centro Universitário Estácio Juiz de Fora  
Prof. Dr. Fabiano Lemos Pereira – Prefeitura Municipal de Macaé  
Prof. Me. Felipe da Costa Negrão – Universidade Federal do Amazonas  
Profª Drª Germana Ponce de Leon Ramírez – Centro Universitário Adventista de São Paulo  
Prof. Me. Gevair Campos – Instituto Mineiro de Agropecuária  
Prof. Me. Givanildo de Oliveira Santos – Secretaria da Educação de Goiás  
Prof. Dr. Guilherme Renato Gomes – Universidade Norte do Paraná  
Prof. Me. Gustavo Krahl – Universidade do Oeste de Santa Catarina  
Prof. Me. Helton Rangel Coutinho Junior – Tribunal de Justiça do Estado do Rio de Janeiro  
Profª Ma. Isabelle Cerqueira Sousa – Universidade de Fortaleza  
Profª Ma. Jaqueline Oliveira Rezende – Universidade Federal de Uberlândia  
Prof. Me. Javier Antonio Albornoz – University of Miami and Miami Dade College  
Prof. Me. Jhonatan da Silva Lima – Universidade Federal do Pará  
Prof. Dr. José Carlos da Silva Mendes – Instituto de Psicologia Cognitiva, Desenvolvimento Humano e Social  
Prof. Me. Jose Elyton Batista dos Santos – Universidade Federal de Sergipe  
Prof. Me. José Luiz Leonardo de Araujo Pimenta – Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria Uruguay  
Prof. Me. José Messias Ribeiro Júnior – Instituto Federal de Educação Tecnológica de Pernambuco  
Profª Drª Juliana Santana de Curcio – Universidade Federal de Goiás  
Profª Ma. Juliana Thaisa Rodrigues Pacheco – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Kamilly Souza do Vale – Núcleo de Pesquisas Fenomenológicas/UFGA  
Prof. Dr. Kárpio Márcio de Siqueira – Universidade do Estado da Bahia  
Profª Drª Karina de Araújo Dias – Prefeitura Municipal de Florianópolis  
Prof. Dr. Lázaro Castro Silva Nascimento – Laboratório de Fenomenologia & Subjetividade/UFPR  
Prof. Me. Leonardo Tullio – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Ma. Lillian Coelho de Freitas – Instituto Federal do Pará  
Profª Ma. Liliani Aparecida Sereno Fontes de Medeiros – Consórcio CEDERJ  
Profª Drª Lívia do Carmo Silva – Universidade Federal de Goiás  
Prof. Dr. Lucio Marques Vieira Souza – Secretaria de Estado da Educação, do Esporte e da Cultura de Sergipe  
Prof. Me. Luis Henrique Almeida Castro – Universidade Federal da Grande Dourados  
Prof. Dr. Luan Vinicius Bernardelli – Universidade Estadual do Paraná  
Prof. Dr. Michel da Costa – Universidade Metropolitana de Santos  
Prof. Dr. Marcelo Máximo Purificação – Fundação Integrada Municipal de Ensino Superior

Prof. Me. Marcos Aurelio Alves e Silva – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo

Profª Ma. Maria Elanny Damasceno Silva – Universidade Federal do Ceará

Profª Ma. Marileila Marques Toledo – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri

Prof. Me. Ricardo Sérgio da Silva – Universidade Federal de Pernambuco

Profª Ma. Renata Luciane Polsaque Young Blood – UniSecal

Prof. Me. Robson Lucas Soares da Silva – Universidade Federal da Paraíba

Prof. Me. Sebastião André Barbosa Junior – Universidade Federal Rural de Pernambuco

Profª Ma. Silene Ribeiro Miranda Barbosa – Consultoria Brasileira de Ensino, Pesquisa e Extensão

Profª Ma. Solange Aparecida de Souza Monteiro – Instituto Federal de São Paulo

Prof. Me. Tallys Newton Fernandes de Matos – Faculdade Regional Jaguaribana

Profª Ma. Thatianny Jasmine Castro Martins de Carvalho – Universidade Federal do Piauí

Prof. Me. Tiago Silvio Dedoné – Colégio ECEL Positivo

Prof. Dr. Welleson Feitosa Gazel – Universidade Paulista



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

**Editora Chefe:** Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira  
**Bibliotecário** Maurício Amormino Júnior  
**Diagramação:** Camila Alves de Cremo  
**Correção** Mariane Aparecida Freitas  
**Edição de Arte:** Luiza Alves Batista  
**Revisão:** Os Autores  
**Organizadores:** Filipe Alves Coelho  
Iara Lúcia Tescarollo  
Vicente Idalberto Becerra Sablon

### Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)

E57 Engenharia moderna [recurso eletrônico] : soluções para problemas da sociedade e da indústria / Organizadores Filipe Alves Coelho, Iara Lúcia Tescarollo, Vicente Idalberto Becerra Sablon. – Ponta Grossa, PR: Atena, 2020.

Formato: PDF  
Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader  
Modo de acesso: World Wide Web  
Inclui bibliografia  
ISBN 978-65-5706-446-7  
DOI 10.22533/at.ed.467202809

1. Engenharia – Pesquisa – Brasil. I. Coelho, Filipe Alves. II. Tescarollo, Iara Lúcia. III. Sablon, Vicente Idalberto Becerra.

CDD 620

Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422

### Atena Editora

Ponta Grossa – Paraná – Brasil  
Telefone: +55 (42) 3323-5493  
[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)  
contato@atenaeditora.com.br

## APRESENTAÇÃO

Enquanto esta obra era produzida, a humanidade via-se diante de uma de suas maiores crises recentes: a pandemia do novo coronavírus. Este cenário escancarou a importância da ciência como ferramenta e um dos pilares da evolução da sociedade. Ao lado da ciência, a engenharia implementa o conhecimento desenvolvido na forma de produtos e serviços, tornando real e sustentável o conhecimento científico.

Sem dúvida, o que tornou possível verdadeiras revoluções na ciência e na engenharia foram os conhecimentos desenvolvidos na interface entre distintas áreas do conhecimento. As ciências biológicas e a engenharia ambiental produziram equipamentos para tratamento de efluentes empregando microrganismos. A computação e a engenharia de processos permitem que um funcionário monitore e controle uma fábrica mesmo estando a quilômetros de distância. A medicina, física e engenharia elétrica produzem equipamentos que enxergam o interior do corpo humano em alta resolução.

Neste sentido, esta obra é uma coletânea de trabalhos de professores cientistas e engenheiros, com vasto conhecimento em suas áreas de atuação, que destaca como a ciência e a tecnologia são empregadas para resolver problemas da sociedade. Em comum, além dos esforços para tornar a sociedade e a indústria mais sustentáveis, está o fato de todos os trabalhos terem sido desenvolvidos na cidade de Campinas ou em cidades próximas.

A multidisciplinaridade presente nesta obra é reflexo de um trabalho em construção no sentido de agregar o conhecimento acumulado e condensá-lo em produtos e serviços ou mesmo um fim em si, visando informar a sociedade de que temos pesquisa de boa qualidade sendo feita no Brasil.

Com o compromisso de incentivar a pesquisa acadêmica, divulgar e disseminar o conhecimento, a Editora Atena, através dessa obra, traz um rico material pelo qual será possível atender aos anseios daqueles que buscam ampliar seus estudos nas temáticas aqui abordadas. Boa leitura!

Dilnei Giseli Lorenzi  
Pró-Reitor de Ensino Pesquisa e Extensão  
Universidade São Francisco  
Filipe Alves Coelho  
Iara Lúcia Tescarollo  
Vicente Idalberto Becerra Sablón  
Organizadores

## SUMÁRIO

### **CAPÍTULO 1..... 1**

#### **GENERAL ASPECTS OF TELEMEDICINE: FROM EMERGENCE TO USE IN THE COVID PANDEMIC 19**

Ana Carolina Borges Monteiro

Reinaldo Padilha França

Giulliano Paes Carnielli

Yuzo Iano

Rangel Arthur

**DOI 10.22533/at.ed.4672028091**

### **CAPÍTULO 2..... 14**

#### **DISAGGREGATION OF LOADS IN THE SMART GRID CONTEXT**

Jézer Oliveira Pedrosa

Júlio Cesar Pereira

Ana Carolina Borges Monteiro

Reinaldo Padilha França

Yuzo Iano

Rangel Arthur

**DOI 10.22533/at.ed.4672028092**

### **CAPÍTULO 3..... 26**

#### **COMPUTAÇÃO DE ALTO DESEMPENHO EDINÂMICA MOLECULAR**

Fábio Andrijauskas

Glaucilene Ferreira Catroli

**DOI 10.22533/at.ed.4672028093**

### **CAPÍTULO 4..... 39**

#### **DISPOSITIVO PARA AUXÍLIO À PESSOAS COM DEFICIÊNCIA AUDITIVA**

Vicente Idalberto Becerra Sablon

Bruno Penteado Evangelista

Annete Silva Faesarella

**DOI 10.22533/at.ed.4672028094**

### **CAPÍTULO 5..... 53**

#### **FATURAMENTO PRÉ-PAGO DE ENERGIA ELÉTRICA: PANORAMA DA MODALIDADE E ANÁLISE DA EXPERIÊNCIA BRASILEIRA**

Annete Silva Faesarella

Amanda de Oliveira Ferri

Ednan Ferreira da Silva

Vicente Idalberto Becerra Sablon

**DOI 10.22533/at.ed.4672028095**

**CAPÍTULO 6..... 66**

**EXPRESSÕES ANALÍTICAS DO CAMPO ELETROMAGNÉTICO NO DOMÍNIO DO TEMPO PROVOCADO POR TRANSITÓRIOS DE CORRENTE ELÉTRICA**

Geraldo Peres Caixeta

**DOI 10.22533/at.ed.4672028096**

**CAPÍTULO 7..... 83**

**DESEMPENHO DE MICRORREACTORES FABRICADOS POR MANUFATURA ADITIVA EM REAÇÃO DE SAPONIFICAÇÃO DO ACETATO DE ETILA**

Katherine Oliveira Alves

Vanessa de Souza Rocha

Filipe Alves Coelho

**DOI 10.22533/at.ed.4672028097**

**CAPÍTULO 8..... 95**

**AVALIAÇÃO DA BIODEGRADAÇÃO E ENVELHECIMENTO ACELERADO POR RADIAÇÃO ULTRAVIOLETA NA BLENDAS PBAT/TPS**

Fernanda Andrade Tigre da Costa

Marcelo Augusto Gonçalves Bardi

**DOI 10.22533/at.ed.4672028098**

**CAPÍTULO 9..... 116**

**ESTUDO DA EFICIÊNCIA DA REMOÇÃO DA PRATA SOLÚVEL EM EFLUENTES UTILIZANDO FIBRA DE COCO IN NATURA E ATIVADA**

Jaqueline Cristina de Souza

Núbia de Moura Dias Sousa

Pollyanna Oliveira Coutinho

Danielle Matias Rodrigues

Rafael Augusto Valentim da Cruz Magdalena

André Augusto Gutierrez Fernandes Beati

**DOI 10.22533/at.ed.4672028099**

**CAPÍTULO 10..... 137**

**AVALIAÇÃO DE SISTEMAS EMULSIONADOS FORMULADOS COM ÓLEO DE BURITI**

Jeane Caroline Oliveira

Ludmila de Oliveira Maia

Iara Lúcia Tescarollo

**DOI 10.22533/at.ed.46720280910**

**CAPÍTULO 11..... 152**

**EMBALAGEM CARTONADA: METODOLOGIA PARA SEPARAÇÃO E RECICLAGEM DE SEUS COMPONENTES**

Mayara Elizabeth Pereira

José Fernando Marin Junior

Roberta Martins da Costa Bianchi

**DOI 10.22533/at.ed.46720280911**

<b>CAPÍTULO 12.....</b>	<b>168</b>
DESAFIOS DA DRENAGEM URBANA NO ESTADO DE SÃO PAULO	
Ana Caroline Ross Mateo	
Angélica Sampaio dos Santos	
Renata Lima Moretto	
<b>DOI 10.22533/at.ed.46720280912</b>	
<b>CAPÍTULO 13.....</b>	<b>180</b>
DESENVOLVIMENTO DE SISTEMA DE FILTRAÇÃO PARA MELHORIA DA QUALIDADE DA ÁGUA DE RIBEIRINHOS	
Gabriela Consoline Pires	
Liliani Alves da Silva	
Monica Tais Siqueira D'Amelio Felipe	
<b>DOI 10.22533/at.ed.46720280913</b>	
<b>SOBRE OS ORGANIZADORES.....</b>	<b>192</b>
<b>ÍNDICE REMISSIVO.....</b>	<b>194</b>

# CAPÍTULO 6

## EXPRESSÕES ANALÍTICAS DO CAMPO ELETROMAGNÉTICO NO DOMÍNIO DO TEMPO PROVOCADO POR TRANSITÓRIOS DE CORRENTE ELÉTRICA

*Data de aceite: 26/08/2020*

**Geraldo Peres Caixeta**

Universidade São Francisco

<http://lattes.cnpq.br/8010032658680160>

**RESUMO:** O presente trabalho faz uma reapresentação do desenvolvimento de expressões analíticas para o cálculo do campo eletromagnético provocado pelos transitórios de corrente elétrica, no domínio do tempo e em coordenadas Cartesianas. O principal objetivo dessa reapresentação está na própria conclusão da tese de doutorado, apresentada no ano de 2000, quando foi sugerida a sua utilização em outras aplicações, além daquelas para as quais foram aplicadas inicialmente. Apesar da validação dos resultados apresentados àquela época, poucos trabalhos foram produzidos posteriormente, possivelmente ocasionados pela falta de uma melhor divulgação dos resultados em meios científicos mais adequados. Com essa reapresentação, espera-se que tais expressões sejam úteis à comunidade científica que desenvolvem trabalhos na área de interesse aqui considerada. O desenvolvimento dessas expressões parte das quatro equações de Maxwell e fazem todas as considerações particulares e constitutivas do ambiente físico e temporal necessárias aos casos de transitórios de corrente elétrica, em geometrias quaisquer, empregando o conceito de linhas de transmissão e com os seus respectivos parâmetros distribuídos. Com o emprego de softwares,

tanto para determinar o transitório da corrente elétrica na linha de transmissão, que poderia ser simplesmente um cabo condutor disposto numa configuração geométrica arbitrária, como também para o emprego dessas expressões, acredita-se numa grande contribuição no estudo e projetos de mecanismos de proteção na área de compatibilidade eletromagnética. Os resultados aqui apresentados mostram a coerência dos termos já explorados em outras literaturas clássicas na área e abrem possibilidades de outros trabalhos futuros com a aplicação dessas expressões.

**PALAVRAS-CHAVE:** Compatibilidade Eletromagnética, Transitórios Eletromagnéticos, Eletromagnetismo, Equações de Maxwell, Descargas Atmosféricas.

### ANALYTICAL EXPRESSION OF THE ELECTROMAGNETIC FIELD IN THE TIME DOMAIN CAUSED BY ELECTRIC CURRENT TRANSIENT

## 1 | INTRODUÇÃO

Expressões analíticas de cálculo do campo eletromagnético devido a sinais em linhas de transmissão são bem conhecidas e encontradas em qualquer livro de eletromagnetismo. A maioria dos autores apresenta tais expressões de forma separada, conforme a distância do ponto à fonte, em campo distante e campo próximo. Por se tratar de estudos em regime permanente, o desenvolvimento de equações



no domínio da frequência é suficiente, além de ser de mais fácil obtenção, já que envolve considerações pela análise fasorial. Por outro lado, em casos de transitórios de sinais e de fenômenos não lineares, o estudo desses sinais no domínio do tempo se torna menos enfadonho e mais eficiente quando comparado com o domínio da frequência. Além disso, quando se trata de transitórios envolvendo geometrias mais complexas, o sistema de coordenadas Cartesianas muitas vezes é preferível, do ponto de vista da lógica computacional. Apesar das limitações de domínios, no caso de haver respostas em um domínio e seja necessário conhecer a resposta no outro, basta aplicar o método da Transformada Rápida de Fourier. Este trabalho busca revisitar o desenvolvimento de expressões para o cálculo de campo eletromagnético, bem como as considerações feitas desde as 4 equações de Maxwell até a sua solução analítica, desenvolvido durante o trabalho publicado pelo autor (Caixeta, 2000). Essa revisita às expressões propostas no ano de 2000 se justifica, pelo hiato de trabalhos considerando essas expressões ao longo de vários anos desde a sua publicação, apesar das diversas publicações alcançadas à época (Caixeta, 1997) (Caixeta, 1998).

A quantidade de softwares para o estudo envolvendo fenômenos de transitórios eletromagnéticos na área de compatibilidade eletromagnética é muito grande, principalmente quando são considerados aqueles comerciais e de alto custo financeiro. Esses softwares utilizam rotinas internas que aplicam diferentes métodos numéricos, a depender do tipo de aplicação e análise desejada (SADIKU, 2000), (TESCHE, 1997), (TAFLOVE, 1995). Métodos numéricos como FDTD, Elementos Finitos, Método dos Momentos, dentre outros, apresentam limitações em análise de fenômenos em que as fronteiras do domínio do espaço estudado seja de difícil definição, como por exemplo, desde análises de transitórios provocados por descargas atmosféricas nuvem-terra, até descargas eletrostáticas em placas de circuito impresso (TAFLOVE, 1998). Particularmente, para este primeiro caso, o canal de uma descarga atmosférica pode ser modelado como uma linha de transmissão com distribuição dos parâmetros ao longo do canal, com a fonte da descarga conectada à base/terra ou ao topo/nuvem (UMAN, 1975). Se se deseja conhecer o comportamento do campo eletromagnético numa determinada região distante deste canal, a aplicação dos softwares comerciais se torna falha ou muito pesada do ponto de vista de recursos computacionais. Assim, conhecendo uma expressão analítica para o cálculo do campo a partir do transitório da corrente elétrica presente no canal da descarga, se torna extremamente útil (CAIXETA, 1997). Esse tipo de análise se torna ainda mais útil quando se deseja levar em consideração o transitório das correntes elétricas presentes em estruturas de proteção contra descargas atmosféricas, geralmente envolvendo geometricamente prédios comerciais ou mesmo casas residenciais. Essas estruturas também podem ser tratadas pela

teoria de linhas de transmissão, considerando cabos interconectados terminados em outros cabos em diferentes configurações geométricas. Nessas situações, a disposição geométrica de cada linha de transmissão que compõe a estrutura não é bem definida.

Uman (1975), desenvolveu uma expressão analítica, no domínio do tempo e em coordenadas cilíndricas, para a expressão de campo eletromagnético gerado por descargas atmosféricas (RUBINSTEIN, 1989). A expressão foi largamente utilizada por outros autores e mostrou ser muito eficiente em diversas aplicações (DEGAUQUE, 1993).

Thomas e Christopoulos (1994) desenvolveram uma outra expressão analítica, só que em coordenadas Cartesianas, com o mesmo propósito de determinar campos eletromagnéticos gerados por uma descargas atmosféricas no domínio do tempo. Essa expressão mostrou ser mais eficiente que a de Uman, apresentando maior flexibilidade por trabalhar em coordenadas Cartesianas. Apesar dessa flexibilidade quando aplicada a campos gerados por linhas de transmissão em uma única direção, a mesma não apresentou o mesmo desempenho quando aplicada em casos de estruturas formadas por outras linhas de transmissão dispostas em configurações geométricas distintas. Para se determinar campos em estruturas de proteção formadas pela conexão de várias linhas, dispostas em geometrias arbitrárias, a expressão de Thomas tornou-se enfadonha. Foi então desejável o desenvolvimento de novas expressões analíticas, em coordenadas Cartesianas, no domínio do tempo, considerando um cabo condutor disposto numa geometria qualquer (figura 1), modelado a partir da teoria de linhas de transmissão para a obtenção do transitório de corrente. Será apresentado a seguir, o desenvolvimento dessas expressões a partir das quatro equações de Maxwell e pelas considerações constitutivas do ambiente a ser modelado.

Partindo das quatro equações de Maxwell, e considerando o conceito de vetor potencial magnético  $\vec{A}$  e a relação constitutiva, sabe-se que (PAUL, 1992) e (KRAUS, 1988):

$$\vec{B} = \vec{\nabla} \times \vec{A} \quad \Rightarrow \quad \vec{H} = \frac{1}{\mu} \vec{\nabla} \times \vec{A} \quad (1)$$

Assegurando verdadeira a lei de Gauss, considerando a segunda-equação de Maxwell, pela expressão:

$$\vec{\nabla} \cdot (\vec{\nabla} \times \vec{A}) = 0 \quad (2)$$

Substituindo essa expressão na terceira equação de Maxwell (lei de Faraday), relaciona-se a variação espacial do campo elétrico com a variação no espaço e no

tempo com o vetor potencial magnético:

$$\vec{\nabla} \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \quad \Rightarrow \quad \vec{\nabla} \times \vec{E} = -\frac{\partial (\vec{\nabla} \times \vec{A})}{\partial t} \quad \Rightarrow \quad \vec{\nabla} \times \vec{E} = -\vec{\nabla} \times \frac{\partial \vec{A}}{\partial t}$$

Passando tudo para o primeiro membro, resulta:

$$\vec{\nabla} \times \left( \vec{E} + \frac{\partial \vec{A}}{\partial t} \right) = 0 \quad (3)$$

Com alguns passos de álgebra vetorial, chega-se à já conhecida expressão de campo elétrico, vetorialmente no sentido contrário ao gradiente do potencial elétrico adicionado à taxa de variação temporal do potencial magnético:

$$\vec{E} = -\vec{\nabla}V - \frac{\partial \vec{A}}{\partial t} \quad (4)$$

Para efeito de generalização da configuração geométrica de um cabo condutor, como comentado acima, será considerado o segmento de uma linha de transmissão disposto numa geometria qualquer, no sistema de coordenadas Cartesianas, como ilustrado na figura 1.

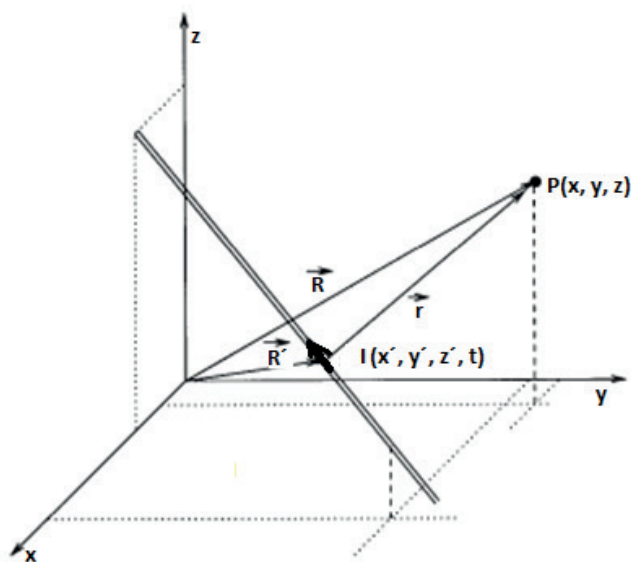


Figura 1 – Segmento de um cabo condutor disposto numa geometria qualquer.

Fonte: Adaptado de Caixeta (2000).

A definição do vetor potencial magnético será aplicada como passo intermediário para cálculo da expressão do campo magnético. De acordo com a Figura 1, o vetor potencial magnético, considerando retardo no tempo, pode ser expresso por:

$$\vec{A}(R, t) = \frac{\mu_0}{4\pi} \int \frac{I(r', t - r/c)}{r} d\vec{L}' \quad (5)$$

Onde:

$R$  = posição do ponto onde calcular  $\vec{A}(R, t)$ .

$r$  = distância do ponto do elemento de corrente até o ponto onde calcular  $\vec{A}(R, t)$ .

$r'$  = posição do elemento de corrente.

$d\vec{L}'$  = elemento diferencial indicando a direção do vetor densidade de corrente  $\vec{J}(r')$  associado à corrente  $I(r')$ .

Sabendo-se que:

$$I(r', t - r/c) = \int_{S'} \vec{J}(r', t - r/c) \cdot d\vec{S}' = \int_{S'} J(r', t - r/c) dS'$$

Com isso, a expressão do vetor potencial magnético, se torna:

$$\vec{A}(R, t) = \frac{\mu_0}{4\pi} \int_{V'} \frac{\vec{J}(r', t - r/c)}{r} dV' \quad (6)$$

Em coordenadas Cartesianas, e na forma diferencial:

$$d\vec{A}(R, t) = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{\vec{J}(r', t - r/c)}{r} dx' dy' dz'$$

Simplificando para densidade de corrente filamental, uma vez que o comprimento dos condutores é muito maior que a seção transversal, e já considerando uma distribuição espacial dos elementos diferenciais, tem-se:

$$d\vec{A}(R, t) = [dA_x(R, t)\hat{a}_x + dA_y(R, t)\hat{a}_y + dA_z(R, t)\hat{a}_z] \quad (7)$$

Com:

$$dA_x(R, t) = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{i_x(r', t - r/c)}{r} dx' \quad (8.1)$$

$$dA_y(R, t) = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{i_y(r', t - r/c)}{r} dy' \quad (8.2)$$

$$dA_z(R, t) = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{i_z(r', t - r/c)}{r} dz' \quad (8.3)$$

## 2 I EXPRESSÃO PARA AS COMPONENTES DA INTENSIDADE DO CAMPO MAGNÉTICO

A forma diferencial da equação (1), fica:

$$d\vec{H}(R, t) = \frac{1}{\mu_0} \vec{\nabla} \times [ d\vec{A}(R, t) ]$$

Em coordenadas Cartesianas, o rotacional dessa expressão, fica:

$$d\vec{H}(R, t) = \frac{1}{\mu_0} \left\{ \left[ \frac{\partial(dA_z)}{\partial y} - \frac{\partial(dA_y)}{\partial z} \right] \hat{a}_x + \left[ \frac{\partial(dA_x)}{\partial z} - \frac{\partial(dA_z)}{\partial x} \right] \hat{a}_y + \left[ \frac{\partial(dA_y)}{\partial x} - \frac{\partial(dA_x)}{\partial y} \right] \hat{a}_z \right\} \quad (9)$$

As derivadas parciais dos termos diferenciais do vetor potencial magnético, conforme equações (8.1 – 8.3), são:

$$\begin{aligned} \frac{\partial(dA_z)}{\partial y} &= \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{i_z(r', t - r/c)}{r} dz' \right) \\ \Rightarrow \frac{\partial(dA_z)}{\partial y} &= -\frac{\mu_0}{4\pi r} \left[ \frac{1}{c} \frac{\partial i_z(r', t - \frac{r}{c})}{\partial t} + \frac{i_z(r', t - \frac{r}{c})}{r} \right] \frac{\partial r}{\partial y} dz' \\ \Rightarrow \frac{\partial(dA_z)}{\partial y} &= -\frac{\mu_0}{4\pi r} \left[ \frac{1}{c} \frac{\partial i_z(r', t - \frac{r}{c})}{\partial t} + \frac{i_z(r', t - \frac{r}{c})}{r} \right] \frac{(y - y')}{r} dz' \quad (10) \end{aligned}$$

Adotando o mesmo procedimento para o restante das derivadas parciais da expressão do rotacional, e substituindo na equação (9), chega-se às expressões diferenciais da intensidade do campo magnético ( $dH_x$ ;  $dH_y$ ;  $dH_z$ ):

$$dH_x(R, t) = -\frac{1}{4\pi r^2} \left\{ \left[ \frac{(y - y')}{c} \frac{\partial i_z(r', t - \frac{r}{c})}{\partial t} + \frac{i_z(r', t - \frac{r}{c})}{r} \right] dz' - \left[ \frac{(z - z')}{c} \frac{\partial i_y(r', t - \frac{r}{c})}{\partial t} + \frac{i_y(r', t - \frac{r}{c})}{r} \right] dy' \right\} \quad (11.1)$$

$$dH_y(R, t) = -\frac{1}{4\pi r^2} \left\{ \left[ \frac{(z - z')}{c} \frac{\partial i_x(r', t - \frac{r}{c})}{\partial t} + \frac{i_x(r', t - \frac{r}{c})}{r} \right] dx' - \left[ \frac{(x - x')}{c} \frac{\partial i_z(r', t - \frac{r}{c})}{\partial t} + \frac{i_z(r', t - \frac{r}{c})}{r} \right] dz' \right\} \quad (11.2)$$

$$dH_z(R, t) = -\frac{1}{4\pi r^2} \left\{ \left[ \frac{(x-x')}{c} \frac{\partial i_y(r', t - \frac{r}{c})}{\partial t} + \frac{i_y(r', t - \frac{r}{c})}{r} \right] dy' - \left[ \frac{(y-y')}{c} \frac{\partial i_x(r', t - \frac{r}{c})}{\partial t} + \frac{i_x(r', t - \frac{r}{c})}{r} \right] dx' \right\} \quad (11.3)$$

Substituindo essas três componentes na equação (9), tem-se a expressão diferencial do vetor intensidade de campo magnético, em função do espaço e do tempo:

$$d\vec{H}(R, t) = dH_x(R, t)\hat{a}_x + dH_y(R, t)\hat{a}_y + dH_z(R, t)\hat{a}_z \quad (12)$$

Cuja integral, resulta nas três componentes vetoriais:

$$\vec{H}(R, t) = H_x(R, t)\hat{a}_x + H_y(R, t)\hat{a}_y + H_z(R, t)\hat{a}_z \quad (13)$$

Ou, substituindo os termos:

$$\begin{aligned} \vec{H}(R, t) = & - \int \frac{1}{4\pi r^2} \left\{ \left[ \frac{(y-y')}{c} \frac{\partial i_z(r', t - \frac{r}{c})}{\partial t} + \frac{i_z(r', t - \frac{r}{c})}{r} \right] dz' \right. \\ & - \left. \left[ \frac{(z-z')}{c} \frac{\partial i_y(r', t - \frac{r}{c})}{\partial t} + \frac{i_y(r', t - \frac{r}{c})}{r} \right] dy' \right\} \hat{a}_x \\ & - \int \frac{1}{4\pi r^2} \left\{ \left[ \frac{(z-z')}{c} \frac{\partial i_x(r', t - \frac{r}{c})}{\partial t} + \frac{i_x(r', t - \frac{r}{c})}{r} \right] dx' \right. \\ & - \left. \left[ \frac{(x-x')}{c} \frac{\partial i_z(r', t - \frac{r}{c})}{\partial t} + \frac{i_z(r', t - \frac{r}{c})}{r} \right] dz' \right\} \hat{a}_y \\ & - \int \frac{1}{4\pi r^2} \left\{ \left[ \frac{(x-x')}{c} \frac{\partial i_y(r', t - \frac{r}{c})}{\partial t} + \frac{i_y(r', t - \frac{r}{c})}{r} \right] dy' \right. \\ & - \left. \left[ \frac{(y-y')}{c} \frac{\partial i_x(r', t - \frac{r}{c})}{\partial t} + \frac{i_x(r', t - \frac{r}{c})}{r} \right] dx' \right\} \hat{a}_z \quad (14) \end{aligned}$$

### 3 I EXPRESSÃO PARA O CAMPO ELÉTRICO

A forma diferencial da expressão (4), reescrita, fica:



$$d\vec{E} = -\vec{\nabla}dV - \frac{\partial d\vec{A}}{\partial t}$$

O gradiente do elemento diferencial do potencial elétrico em coordenadas Cartesianas, é:

$$\vec{\nabla}dV = \frac{\partial(dV)}{\partial x} \hat{a}_x + \frac{\partial(dV)}{\partial y} \hat{a}_y + \frac{\partial(dV)}{\partial z} \hat{a}_z \quad (15)$$

A relação entre o vetor potencial magnético e o potencial elétrico, pela condição de Lorentz, é:

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{A} = -\mu_0 \varepsilon_0 \frac{\partial V}{\partial t} \quad \Rightarrow \quad V = -\frac{1}{\mu_0 \varepsilon_0} \int_0^t (\vec{\nabla} \cdot \vec{A}) d\tau$$

Na forma diferencial, tem-se que:

$$dV = -\frac{1}{\mu_0 \varepsilon_0} \int_0^t (\vec{\nabla} \cdot d\vec{A}) d\tau \quad (16)$$

O divergente do elemento diferencial do vetor potencial magnético, considerando as expressões 7 e 8, fica:

$$\vec{\nabla} \cdot (d\vec{A}) = \frac{\partial(dA_x)}{\partial x} + \frac{\partial(dA_y)}{\partial y} + \frac{\partial(dA_z)}{\partial z}$$

A derivada de cada componente nos respectivos eixos coordenados fica:

$$\begin{aligned} \frac{\partial(dA_x)}{\partial x} &= \frac{\partial}{\partial x} \left[ \frac{\mu_0}{4\pi r} i_x(r', t - r/c) \right] dx' \\ &= \frac{\mu_0}{4\pi r^2} \left[ \frac{\partial i_x(r', t - r/c)}{\partial x} r - \frac{\partial r}{\partial x} i_x(r', t - r/c) \right] dx' \\ &= \frac{\mu_0}{4\pi r^2} \left[ -\frac{r}{c} \frac{\partial i_x(r', t - r/c)}{\partial t} \frac{\partial r}{\partial x} - i_x(r', t - r/c) \frac{\partial r}{\partial x} \right] dx' \end{aligned}$$

Resultando em:

$$\frac{\partial(dA_x)}{\partial x} = -\frac{\mu_0}{4\pi r^2} \left[ \frac{(x-x')}{c} \frac{\partial i_x(r', t - \frac{r}{c})}{\partial t} + \frac{(x-x')}{r} i_x(r', t - \frac{r}{c}) \right] dx' \quad (17.1)$$

As componentes do divergente com relação aos eixos “y” e “z” são deduzidas de maneira semelhante, e resultam em:

$$\frac{\partial(dA_y)}{\partial y} = -\frac{\mu_0}{4\pi r^2} \left[ \frac{(y-y')}{c} \frac{\partial i_y(r', t - \frac{r}{c})}{\partial t} + \frac{(y-y')}{r} i_y(r', t - \frac{r}{c}) \right] dy' \quad (17.2)$$

$$\frac{\partial(dA_z)}{\partial z} = -\frac{\mu_0}{4\pi r^2} \left[ \frac{(z-z')}{c} \frac{\partial i_z(r', t - \frac{r}{c})}{\partial t} + \frac{(z-z')}{r} i_z(r', t - \frac{r}{c}) \right] dz' \quad (17.3)$$

Substituindo as equações (17.1 - 17.3) na equação (16), tem-se o termo em função de “x”:

$$dV(x) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0 r^2} \left[ \frac{(x-x')}{c} \int_0^t \frac{\partial i_x(r', t - \frac{r}{c})}{\partial t} dt + \frac{(x-x')}{r} \int_0^t i_x(r', t - \frac{r}{c}) dt \right] dx'$$

Fazendo o mesmo para as componentes “y” e “z”, o diferencial do potencial elétrico total, fica:

$$\begin{aligned} dV = \frac{1}{4\pi\epsilon_0 r^3} & \left\{ (x-x') \left[ \frac{r}{c} i_x(r', t - \frac{r}{c}) + \int_0^t i_x(r', t - \frac{r}{c}) dt \right] dx' \right. \\ & + (y-y') \left[ \frac{r}{c} i_y(r', t - \frac{r}{c}) + \int_0^t i_y(r', t - \frac{r}{c}) dt \right] dy' \\ & \left. + (z-z') \left[ \frac{r}{c} i_z(r', t - \frac{r}{c}) + \int_0^t i_z(r', t - \frac{r}{c}) dt \right] dz' \right\} \quad (18) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} dV = \frac{1}{4\pi\epsilon_0 r^3} & \left\{ (x-x') \left[ \frac{r}{c} i_x(r', t - \frac{r}{c}) + \int_0^t i_x(r', t - \frac{r}{c}) dt \right] dx' + \right. \\ & + (y-y') \left[ \frac{r}{c} i_y(r', t - \frac{r}{c}) + \int_0^t i_y(r', t - \frac{r}{c}) dt \right] dy' + \\ & \left. + (z-z') \left[ \frac{r}{c} i_z(r', t - \frac{r}{c}) + \int_0^t i_z(r', t - \frac{r}{c}) dt \right] dz' \right\} \quad (18) \end{aligned}$$

Aplicando o gradiente nesta expressão do diferencial do potencial elétrico, de acordo com a expressão (15), a componente “x” desse gradiente, fica:

$$\frac{\partial(dV)}{\partial x} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \left\{ \frac{1}{r^3} \left[ \frac{\partial f(x)}{\partial x} + \frac{\partial f(y)}{\partial x} + \frac{\partial f(z)}{\partial x} \right] - \frac{3}{r^4} \frac{\partial r}{\partial x} [f(x) + f(y) + f(z)] \right\} \quad (19)$$

Onde a derivada parcial da função f(x) com relação a “x” é:

$$\begin{aligned}
\frac{\partial f(x)}{\partial x} &= (x-x') \left[ \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{r}{c} i_x \left( r', t - \frac{r}{c} \right) + \int_0^t i_x \left( r', t - \frac{r}{c} \right) d\tau \right) \right] + \frac{r}{c} i_x \left( r', t - \frac{r}{c} \right) \\
&\quad + \int_0^t i_x \left( r', t - \frac{r}{c} \right) d\tau \\
\Rightarrow \frac{\partial f(x)}{\partial x} &= (x-x') \left[ \frac{1}{c} \frac{\partial r}{\partial x} i_x \left( r', t - \frac{r}{c} \right) + \frac{r}{c} \frac{\partial i_x \left( r', t - \frac{r}{c} \right)}{\partial x} + \int_0^t \frac{\partial i_x \left( r', t - \frac{r}{c} \right)}{\partial x} d\tau \right] + \\
&\quad + \frac{r}{c} i_x \left( r', t - \frac{r}{c} \right) + \int_0^t i_x \left( r', t - \frac{r}{c} \right) d\tau \\
\Rightarrow \frac{\partial f(x)}{\partial x} &= (x-x') \left[ \frac{1}{c} \frac{\partial r}{\partial x} i_x \left( r', t - \frac{r}{c} \right) - \frac{r}{c^2} \frac{\partial i_x \left( r', t - \frac{r}{c} \right)}{\partial t} \frac{\partial r}{\partial x} - \frac{1}{c} \int_0^t \frac{\partial i_x \left( r', t - \frac{r}{c} \right)}{\partial t} \frac{\partial r}{\partial x} d\tau \right] \\
&\quad + \frac{r}{c} i_x \left( r', t - \frac{r}{c} \right) + \int_0^t i_x \left( r', t - \frac{r}{c} \right) d\tau \\
\Rightarrow \frac{\partial f(x)}{\partial x} &= \frac{(x-x')^2}{rc} i_x \left( r', t - \frac{r}{c} \right) - \frac{(x-x')^2}{c^2} \frac{\partial i_x \left( r', t - \frac{r}{c} \right)}{\partial t} - \frac{(x-x')^2}{rc} i_x \left( r', t - \frac{r}{c} \right) \\
&\quad + \frac{r}{c} i_x \left( r', t - \frac{r}{c} \right) + \int_0^t i_x \left( r', t - \frac{r}{c} \right) d\tau \\
\Rightarrow \frac{\partial f(x)}{\partial x} &= \frac{r}{c} i_x \left( r', t - \frac{r}{c} \right) - \frac{(x-x')^2}{c^2} \frac{\partial i_x \left( r', t - \frac{r}{c} \right)}{\partial t} + \int_0^t i_x \left( r', t - \frac{r}{c} \right) d\tau \quad (20.1)
\end{aligned}$$

Com o mesmo procedimento para as funções  $f(y)$  e  $f(z)$ , duas derivadas parciais com relação à “ $x$ ”, resulta:

$$\frac{\partial f(y)}{\partial x} = - \frac{(y-y')(x-x')}{c^2} \frac{\partial i_y \left( r', t - \frac{r}{c} \right)}{\partial t} \quad (20.2)$$

$$\frac{\partial f(z)}{\partial x} = - \frac{(z-z')(x-x')}{c^2} \frac{\partial i_z \left( r', t - \frac{r}{c} \right)}{\partial t} \quad (20.3)$$

Substituindo as expressões (20.1 – 20.3) em (19), e desenvolvendo, tem-se:  
Componente  $\hat{a}_x$ :

$$\begin{aligned}
4\pi\epsilon_0 \frac{\partial(dV)}{\partial x} = & \left\{ \left[ \frac{1}{r^2c} - \frac{3(x-x')^2}{r^4c} \right] i_x \left( r', t - \frac{r}{c} \right) - \frac{(x-x')^2}{r^3c^2} \frac{\partial i_x \left( r', t - \frac{r}{c} \right)}{\partial t} \right. \\
& \left. + \left[ \frac{1}{r^3} - \frac{3(x-x')^2}{r^5} \right] \int_0^t i_x \left( r', t - \frac{r}{c} \right) d\tau \right\} dx' \\
- & \left\{ \frac{3(x-x')(y-y')}{r^4c} i_y \left( r', t - \frac{r}{c} \right) + \frac{(y-y')(x-x')}{r^3c^2} \frac{\partial i_y \left( r', t - \frac{r}{c} \right)}{\partial t} \right. \\
& \left. + \frac{3(x-x')(y-y')}{r^5} \int_0^t i_y \left( r', t - \frac{r}{c} \right) d\tau \right\} dy' \\
- & \left\{ \frac{3(x-x')(z-z')}{r^4c} i_z \left( r', t - \frac{r}{c} \right) + \frac{(z-z')(x-x')}{r^3c^2} \frac{\partial i_z \left( r', t - \frac{r}{c} \right)}{\partial t} \right. \\
& \left. + \frac{3(x-x')(z-z')}{r^5} \int_0^t i_z \left( r', t - \frac{r}{c} \right) d\tau \right\} dz' \quad (21.1)
\end{aligned}$$

Seguindo o mesmo procedimento, chega-se à expressão da componente “y” e “z” do gradiente do diferencial do potencial elétrico:

Componente  $\hat{a}_y$ :

$$\begin{aligned}
4\pi\epsilon_0 \frac{\partial(dV)}{\partial y} = & - \left\{ \frac{3(x-x')(y-y')}{r^4c} i_x \left( r', t - \frac{r}{c} \right) + \frac{(x-x')(y-y')}{r^3c^2} \frac{\partial i_x \left( r', t - \frac{r}{c} \right)}{\partial t} \right. \\
& \left. + \frac{3(x-x')(y-y')}{r^5} \int_0^t i_x \left( r', t - \frac{r}{c} \right) d\tau \right\} dx' \\
& + \left\{ \left[ \frac{1}{r^2c} - \frac{3(y-y')^2}{r^4c} \right] i_y \left( r', t - \frac{r}{c} \right) - \frac{(y-y')^2}{r^3c^2} \frac{\partial i_y \left( r', t - \frac{r}{c} \right)}{\partial t} \right. \\
& \left. + \left[ \frac{1}{r^3} - \frac{3(y-y')^2}{r^5} \right] \int_0^t i_y \left( r', t - \frac{r}{c} \right) d\tau \right\} dy' \\
- & \left\{ \frac{3(y-y')(z-z')}{r^4c} i_z \left( r', t - \frac{r}{c} \right) + \frac{(z-z')(y-y')}{r^3c^2} \frac{\partial i_z \left( r', t - \frac{r}{c} \right)}{\partial t} \right. \\
& \left. + \frac{3(y-y')(z-z')}{r^5} \int_0^t i_z \left( r', t - \frac{r}{c} \right) d\tau \right\} dz' \quad (21.2)
\end{aligned}$$

Componente  $\hat{a}_z$ :

$$\begin{aligned}
4\pi\epsilon_0 \frac{\partial(dV)}{\partial z} = & - \left\{ \frac{3(x-x')(z-z')}{r^4 c} i_x \left( r', t - \frac{r}{c} \right) + \frac{(x-x')(z-z')}{r^3 c^2} \frac{\partial i_x \left( r', t - \frac{r}{c} \right)}{\partial t} \right. \\
& \left. + \frac{3(x-x')(z-z')}{r^5} \int_0^t i_x \left( r', t - \frac{r}{c} \right) d\tau \right\} dx' \\
& - \left\{ \frac{3(y-y')(z-z')}{r^4 c} i_y \left( r', t - \frac{r}{c} \right) + \frac{(x-x')(z-z')}{r^3 c^2} \frac{\partial i_y \left( r', t - \frac{r}{c} \right)}{\partial t} \right. \\
& \left. + \frac{3(y-y')(z-z')}{r^5} \int_0^t i_y \left( r', t - \frac{r}{c} \right) d\tau \right\} dy' + \\
& + \left\{ \left[ \frac{1}{r^2 c} - \frac{3(z-z')^2}{r^4 c} \right] i_z \left( r', t - \frac{r}{c} \right) - \frac{(z-z')^2}{r^3 c^2} \frac{\partial i_z \left( r', t - \frac{r}{c} \right)}{\partial t} \right. \\
& \left. + \left[ \frac{1}{r^3} - \frac{3(z-z')^2}{r^5} \right] \int_0^t i_z \left( r', t - \frac{r}{c} \right) d\tau \right\} dz' \quad (21.3)
\end{aligned}$$

Falta ainda determinar a derivada do vetor diferencial do potencial magnético com relação ao tempo, para que a expressão do campo elétrico fique completa (equação 4). Das expressões (7) e (8.1 – 8.3), tem-se que:

$$\begin{aligned}
\frac{\partial(dA_x(R, t))}{\partial t} &= \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{\partial}{\partial t} \left[ \frac{i_x(r', t - r/c)}{r} dx' \right] \\
&= \frac{\mu_0}{4\pi} \left[ \frac{1}{r} \frac{\partial i_x(r', t - r/c)}{\partial t} - \frac{1}{r^2} i_x(r', t - r/c) \frac{\partial r}{\partial t} \right] dx' \\
\Rightarrow \frac{\partial(dA_x(R, t))}{\partial t} &= \frac{\mu_0}{4\pi r} \left[ \frac{\partial i_x \left( r', t - \frac{r}{c} \right)}{\partial t} - \frac{c}{r} i_x \left( r', t - \frac{r}{c} \right) \right] dx' \quad (22.1)
\end{aligned}$$

Tomando o mesmo procedimento para as componentes “y” e “z”:

$$\frac{\partial(dA_y(R, t))}{\partial t} = \frac{\mu_0}{4\pi r} \left[ \frac{\partial i_y \left( r', t - \frac{r}{c} \right)}{\partial t} - \frac{c}{r} i_y \left( r', t - \frac{r}{c} \right) \right] dy' \quad (22.2)$$

$$\frac{\partial(dA_z(R, t))}{\partial t} = \frac{\mu_0}{4\pi r} \left[ \frac{\partial i_z \left( r', t - \frac{r}{c} \right)}{\partial t} - \frac{c}{r} i_z \left( r', t - \frac{r}{c} \right) \right] dz' \quad (22.3)$$

Finalmente, substituindo as expressões 21.1 - 21.3 e 22.1 – 22.3 na expressão (4) do campo elétrico, como se segue:

$$\vec{E}(R, t) = \int_R dE_x(R, t)\hat{a}_x + \int_R dE_y(R, t)\hat{a}_y + \int_R dE_z(R, t)\hat{a}_z \quad (23)$$

Onde:

### Componente “x” do campo elétrico

$$\begin{aligned} 4\pi\epsilon_0 dE_x(R, t) = & \left\{ \left[ \frac{3(x-x')^2}{r^4c} - \frac{1}{r^2c} \right] i_x \left( r', t - \frac{r}{c} \right) + \left[ \frac{(x-x')^2}{r^3c^2} - \frac{1}{rc^2} \right] \frac{\partial i_x \left( r', t - \frac{r}{c} \right)}{\partial t} \right. \\ & \left. + \left[ \frac{3(x-x')^2}{r^5} - \frac{1}{r^3} \right] \int_0^t i_x \left( r', t - \frac{r}{c} \right) d\tau \right\} dx' \\ & + \left\{ \frac{3(x-x')(y-y')}{r^4c} i_y \left( r', t - \frac{r}{c} \right) + \frac{(y-y')(x-x')}{r^3c^2} \frac{\partial i_y \left( r', t - \frac{r}{c} \right)}{\partial t} \right. \\ & \left. + \frac{3(x-x')(y-y')}{r^5} \int_0^t i_y \left( r', t - \frac{r}{c} \right) d\tau \right\} dy' \\ & + \left\{ \frac{3(x-x')(z-z')}{r^4c} i_z \left( r', t - \frac{r}{c} \right) + \frac{(z-z')(x-x')}{r^3c^2} \frac{\partial i_z \left( r', t - \frac{r}{c} \right)}{\partial t} \right. \\ & \left. + \frac{3(x-x')(z-z')}{r^5} \int_0^t i_z \left( r', t - \frac{r}{c} \right) d\tau \right\} dz' \quad (24.1) \end{aligned}$$

### Componente “y” do campo elétrico

$$\begin{aligned} 4\pi\epsilon_0 dE_y(R, t) = & \left\{ \frac{3(x-x')(y-y')}{r^4c} i_x \left( r', t - \frac{r}{c} \right) + \frac{(y-y')(x-x')}{r^3c^2} \frac{\partial i_x \left( r', t - \frac{r}{c} \right)}{\partial t} \right. \\ & \left. + \frac{3(x-x')(y-y')}{r^5} \int_0^t i_x \left( r', t - \frac{r}{c} \right) d\tau \right\} dx' \\ & + \left\{ \left[ \frac{3(y-y')^2}{r^4c} - \frac{1}{r^2c} \right] i_y \left( r', t - \frac{r}{c} \right) + \left[ \frac{(y-y')^2}{r^3c^2} - \frac{1}{rc^2} \right] \frac{\partial i_y \left( r', t - \frac{r}{c} \right)}{\partial t} \right. \\ & \left. + \left[ \frac{3(y-y')^2}{r^5} - \frac{1}{r^3} \right] \int_0^t i_y \left( r', t - \frac{r}{c} \right) d\tau \right\} dy' \\ & + \left\{ \frac{3(y-y')(z-z')}{r^4c} i_z \left( r', t - \frac{r}{c} \right) + \frac{(z-z')(y-y')}{r^3c^2} \frac{\partial i_z \left( r', t - \frac{r}{c} \right)}{\partial t} \right. \\ & \left. + \frac{3(y-y')(z-z')}{r^5} \int_0^t i_z \left( r', t - \frac{r}{c} \right) d\tau \right\} dz' \quad (24.2) \end{aligned}$$



## Componente “z” do campo elétrico

$$\begin{aligned}
 4\pi\epsilon_0 dE_z(R, t) = & \left\{ \frac{3(x-x')(z-z')}{r^4 c} i_x \left( r', t - \frac{r}{c} \right) + \frac{(z-z')(x-x')}{r^3 c^2} \frac{\partial i_x \left( r', t - \frac{r}{c} \right)}{\partial t} \right. \\
 & \left. + \frac{3(x-x')(z-z')}{r^5} \int_0^t i_x \left( r', t - \frac{r}{c} \right) dt \right\} dx' \\
 & + \left\{ \frac{3(y-y')(z-z')}{r^4 c} i_y \left( r', t - \frac{r}{c} \right) + \frac{(z-z')(y-y')}{r^3 c^2} \frac{\partial i_y \left( r', t - \frac{r}{c} \right)}{\partial t} \right. \\
 & \left. + \frac{3(y-y')(z-z')}{r^5} \int_0^t i_y \left( r', t - \frac{r}{c} \right) dt \right\} dy' \\
 & + \left\{ \left[ \frac{3(z-z')^2}{r^4 c} - \frac{1}{r^2 c} \right] i_z \left( r', t - \frac{r}{c} \right) + \left[ \frac{(z-z')^2}{r^3 c^2} - \frac{1}{r c^2} \right] \frac{\partial i_z \left( r', t - \frac{r}{c} \right)}{\partial t} \right. \\
 & \left. + \left[ \frac{3(z-z')^2}{r^5} - \frac{1}{r^3} \right] \int_0^t i_z \left( r', t - \frac{r}{c} \right) dt \right\} dz' \quad (24.3)
 \end{aligned}$$

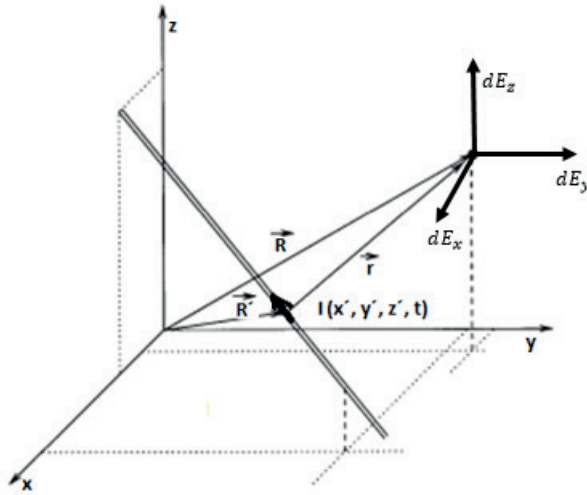


Figura 2 – Componentes do campo elétrico em coordenadas Cartesianas.

Fonte: Adaptado de Caixeta (2000).

Assim, conhecida a corrente em um dipolo qualquer em um instante  $t - r / c$ , o campo eletromagnético pode ser calculado no instante  $t$ , em um ponto  $P(x, y, z)$  a uma distância  $r$  do centro do dipolo.

Nas expressões de (24.1 – 24.3), pode-se verificar a presença dos termos de campo próximo e de campo distante. Assim, é possível observar que:

- Os termos das equações acima, expressos em função da carga, que são aqueles que aparecem nas integrais temporais da corrente:

$$\int_0^t i_x \left( r', t - \frac{r}{c} \right) d\tau \quad (C),$$

se referem às componentes de campo eletroestático, consideradas de campo próximo, que são funções inversas com a distância ao cubo  $1/r^3$ .

- Os termos em função direta da corrente, na forma:

$$i(r', t - r/c) \quad (A)$$

se referem às componentes de campo elétrico indutivo, os quais são funções inversas com a distância ao quadrado  $1/r^2$ .

- Já os termos que estão em função do diferencial da corrente, na forma:

$$\frac{\partial i \left( r', t - \frac{r}{c} \right)}{\partial t} \quad (A/s)$$

se referem às componentes de campo elétrico irradiado, consideradas de campo distante, os quais são funções da distância na forma inversa da distância  $1/r$ .

- Como era de se esperar, nas expressões da intensidade de campo magnético, observa-se apenas as componentes em função direta da corrente elétrica e de seu diferencial no tempo. A ausência de componente em função da integral da corrente no tempo - relacionada ao conceito de carga elétrica, se justifica pela própria lei de Faraday.

## 4 | CONCLUSÃO

Foram apresentadas as expressões de campo eletromagnético provocado por transitórios de corrente elétrica, no domínio do tempo e em coordenadas Cartesianas. Foi demonstrado, em trabalhos anteriores, que essas expressões são muito úteis em estudos na área de interferências eletromagnéticas provocadas pelos transitórios de corrente elétrica em situações em que a disposição geométrica do caminho da corrente não esteja bem definida, quando então, foi proposto o desenvolvimento dessas expressões. Além disso, objetivando cobrir todo o espectro de frequência dos sinais, notadamente daqueles de origem transitória, foi considerado o domínio do tempo e não da frequência, como ocorre na maioria dos trabalhos de outros autores.

Vale ainda ressaltar que as expressões aqui desenvolvidas, podem ser aplicadas tanto no caso de campo eletromagnético gerado pelo transitório de corrente provocados pela incidência de descargas atmosféricas em estruturas, como também pelo transitório de corrente em linhas de transmissão em alta tensão, dentre outras aplicações, desde que seja possível considerar uma configuração de distribuição filamentar da corrente elétrica

As expressões de campo elétrico e de campo magnético, aqui apresentadas, foram aplicadas na solução de campo devido ao transitório de corrente em estruturas de proteção contra descargas atmosféricas, validadas tanto com medições em campo, realizadas por outros autores e disponíveis na literatura, quanto com os resultados obtidos pelos autores das expressões analíticas citadas acima.

## REFERÊNCIAS

CAIXETA, G. P. Simulação Computacional de Descargas Atmosféricas em Estruturas de Proteção Visando Análises de Compatibilidade Eletromagnética. Tese de doutorado. Universidade Estadual de Campinas – Unicamp, abril de 2000.

CAIXETA, G. P. and J. Pissolato Filho, Electromagnetic fields generated by lightning on protection structures of telecommunication centers, in IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility, August 1997.

CAIXETA, G. P. and J. Pissolato Filho, Calculation of electromagnetic fields from arbitrary conductors configurations in time-domain simulations, in International Symposium on Electromagnetic Compatibility, EMC'RomaS8, September 1998.

SADIKU, M.N.O. Numerical Techniques in Electromagnetics, Second Edition 2nd Edition, CRC Press, 2000.

TESCHE, F. M, Michel V. Ianoz and Torbjorn K. EMC Analysis Methods and Computational Models. John Wiley & Sons, 1997.

TAFLOVE, A. Computational Electrodynamics – The Finite-Difference Time-Domain Method. Artech House, 1995.

TAFLOVE, A. Advances in Computational Electrodynamics – The Finite-Difference Time-Domain Method. Artech House, 1998.

UMAN M.A., D.K. McLain, and E.P. Krider. The electromagnetic radiation from a finite antenna. American J. Phys., 43:33–38, Jan., 1975.

RUBINSTEIN M. and M.A. Uman. Methods for calculating the electromagnetic fields from a known source distribution: Application to lightning. *IEEE - Trans. on EMC*, 31(2):183–189, may, 1989.

DEGAUQUE P. and Joel Hamelin. Electromagnetic Compatibility. Oxford University Press, 1993.

THOMAS D.W.P., C. Christopoulos, and E.T. Pereira. Calculation of radiated electromagnetic

fields from cables using time-domain simulation. *IEEE Transaction on Electromagnetic Compatibility*, 36(3) :201–205, August 1994.

PAUL C.R. *Introduction to Electromagnetic Compatibility*. John Wiley & Sons, 1992.

KRAUS J.D. *Electromagnetics*. McGraw-Hill, second edition, 1988.

## ÍNDICE REMISSIVO

### A

Acessibilidade 41, 63  
Aguapé 180, 181, 184, 185, 187, 188, 190, 191  
Águas Pluviais 176, 177, 178, 179  
Amido 95, 97, 98, 99, 104, 107, 115  
Auditiva 39, 40, 41, 42, 51, 52

### B

Bacia hidrográfica 169, 177  
Balanço hídrico 169  
Biodegradação 95, 97, 99, 100, 101, 102, 103, 104, 108, 109, 110, 111, 112, 114, 115  
Biofiltros 183  
Blenda 95, 99, 100, 102, 104, 110, 112  
Buriti 137, 138, 139, 140, 141, 144, 146, 147, 148, 149, 150, 151

### C

Campo Eletromagnético 66, 67, 68, 79, 80, 81  
Coliformes 180, 182, 189, 190  
Computadores 27, 32, 33, 34, 35, 86  
Computer 1, 2, 14, 26, 33, 37, 85  
Condutividade 180, 185, 187  
Contaminada 182  
Corrente elétrica 61, 66, 67, 80, 81, 152, 164  
COVID-19 1, 8, 9, 13

### D

Dados demográficos 172  
Deep Learning 2, 11, 12  
Deficiência 39, 40, 41, 42, 50, 51, 52  
Degradação 95, 97, 99, 100, 102, 104, 108, 109, 113, 114, 152, 155, 162, 175, 177  
Dermocosméticos 138, 139, 150, 151  
Desempenho 26, 29, 30, 32, 33, 34, 64, 68, 83, 88, 89, 91, 92, 93, 124, 126, 127, 184  
Dinâmica Molecular 26, 27, 28, 30, 31, 34, 36

Disaggregation of loads 14, 24

Dispositivo 39, 40, 41, 44, 45, 47, 48, 49, 50, 51, 55

Drenagem 168, 170, 171, 172, 175, 176, 177, 178, 179

## **E**

Embalagem 152, 154, 155, 156, 159

Emulsão 137, 142, 143, 144, 147

Estabilidade 137, 140, 141, 142, 143, 144, 145, 146, 147, 148, 150

Experiências 40, 60, 64

## **F**

Faturamento 53, 54, 55, 56, 57, 60, 61, 64

Filtração 122, 180, 181, 182, 183, 184, 185, 186, 187, 188, 189, 190, 191

## **H**

Health 1, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 149, 181

## **I**

Internet 2, 3, 5, 6, 11, 15, 25, 56, 58

## **M**

Machine Learning 2, 10

Manufatura 83, 85, 87, 92, 93

Medidores 55, 56, 57, 58, 59, 60, 63, 64

memória 29, 31, 32, 33, 34, 35, 48

Microrreatores 83, 84, 85, 87, 88, 89, 90, 91, 92, 93

## **N**

Neural Networks 2, 14, 15, 24

## **O**

Órteses 41

## **P**

Pandemic 1, 8, 9, 10

Polímeros 97, 98, 115, 167

Processos 25, 30, 33, 34, 35, 55, 84, 85, 86, 97, 102, 116, 118, 121, 128, 132, 165, 177, 183, 192

Protótipo 39, 50, 51, 83, 86, 155, 156, 160, 165

## **R**

Reciclagem 118, 152, 153, 154, 155, 159, 165, 166, 167

## **S**

Saponificação 83, 88, 89, 94

Simulação 26, 27, 28, 30, 31, 32, 34, 35, 81, 134, 192

Smart Grid 14, 15, 24, 25, 65

## **T**

Tecnologia assistiva 39, 40, 51

Telecommunications 1, 2, 4





Telemedicine 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13

## **U**

Urbana 168, 169, 170, 171, 172, 174, 175, 176, 177, 178, 179





## **V**

Viscosidade 137, 143, 147, 148, 149

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

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



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

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