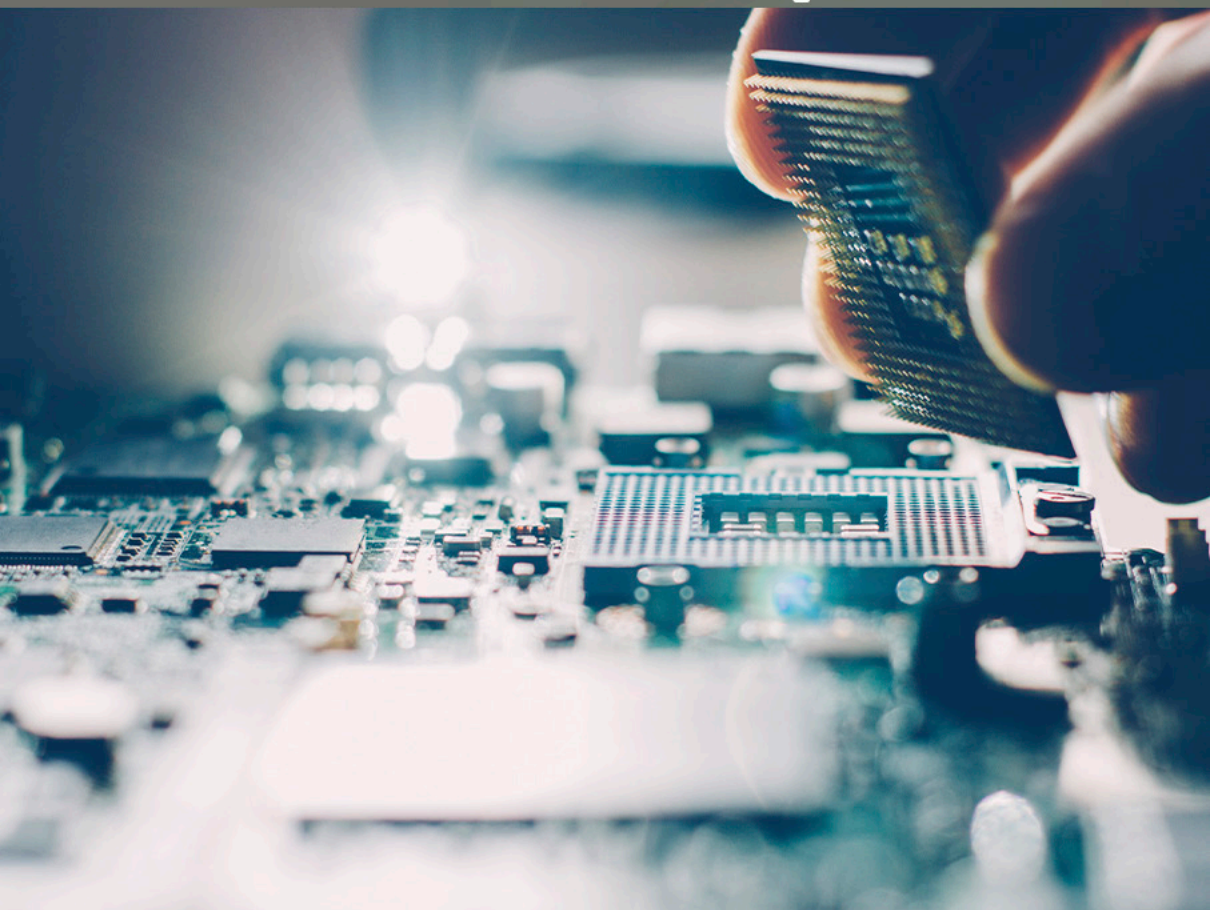


COLEÇÃO

DESAFIOS DAS ENGENHARIAS:

ENGENHARIA DE COMPUTAÇÃO

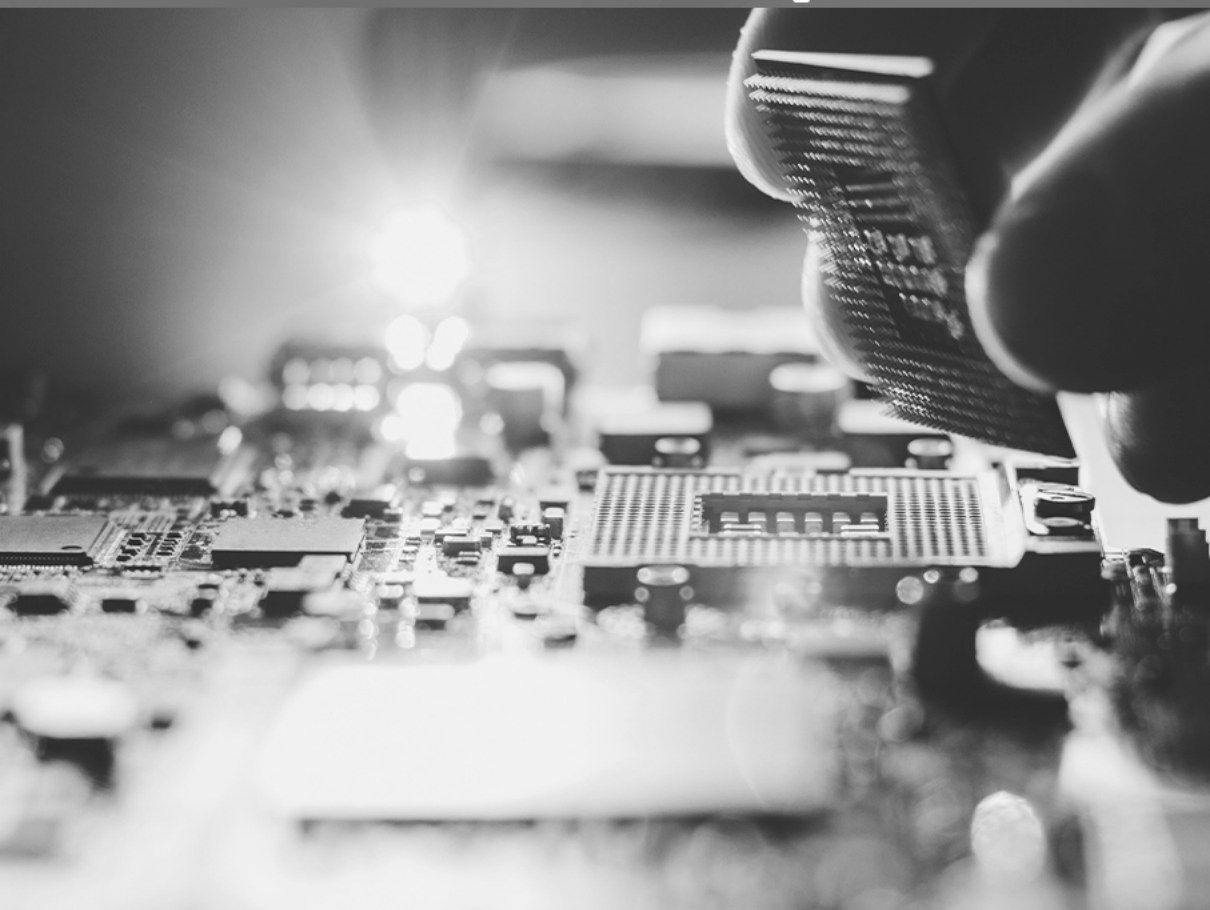


ERNANE ROSA MARTINS
(ORGANIZADOR)

 **Atena**
Editora
Ano 2021

COLEÇÃO
DESAFIOS
DAS
ENGENHARIAS:

ENGENHARIA DE COMPUTAÇÃO



ERNANE ROSA MARTINS
(ORGANIZADOR)

Atena
Editora
Ano 2021

Editora chefe

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Assistentes editoriais

Natalia Oliveira

Flávia Roberta Barão

Bibliotecária

Janaina Ramos

Projeto gráfico

Natália Sandrini de Azevedo

Camila Alves de Cremona

Luiza Alves Batista

Maria Alice Pinheiro

Imagens da capa

iStock

Edição de arte

Luiza Alves Batista

Revisão

Os autores

2021 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do Texto © 2021 Os autores

Copyright da Edição © 2021 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-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.

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 Humanas e Sociais Aplicadas

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

Profª Drª Andréa Cristina Marques de Araújo – Universidade Fernando Pessoa

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. Arnaldo Oliveira Souza Júnior – Universidade Federal do Piauí
Prof. Dr. Carlos Antonio de Souza Moraes – Universidade Federal Fluminense
Prof. Dr. Crisóstomo Lima do Nascimento – 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
Prof. Dr. Humberto Costa – Universidade Federal do Paraná
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice
Prof. Dr. Jadson Correia de Oliveira – Universidade Católica do Salvador
Prof. Dr. José Luis Montesillo-Cedillo – Universidad Autónoma del Estado de México
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
Prof. Dr. Miguel Rodrigues Netto – Universidade do Estado de Mato Grosso
Prof. Dr. Pablo Ricardo de Lima Falcão – Universidade de Pernambuco
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. Saulo Cerqueira de Aguiar Soares – Universidade Federal do Piauí
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Vanessa Ribeiro Simon Cavalcanti – Universidade Católica do Rio de Janeiro
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
Prof. Dr. Arinaldo Pereira da Silva – Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará
Prof. Dr. Antonio Pasqualetto – Pontifícia Universidade Católica de Goiás
Profª Drª Carla Cristina Bauermann Brasil – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. Cleberton Correia Santos – Universidade Federal da Grande Dourados
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. Jayme Augusto Peres – Universidade Estadual do Centro-Oeste
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
Profª Drª Anelise Levay Murari – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás
Profª Drª Daniela Reis Joaquim de Freitas – Universidade Federal do Piauí
Profª Drª 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
Profª Drª Elizabeth Cordeiro Fernandes – Faculdade Integrada Medicina
Profª Drª Eleuza Rodrigues Machado – Faculdade Anhanguera de Brasília
Profª Drª Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina
Profª Drª Eysler Gonçalves Maia Brasil – Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira
Prof. Dr. Ferlando Lima Santos – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Profª Drª Fernanda Miguel de Andrade – Universidade Federal de Pernambuco
Prof. Dr. Fernando Mendes – Instituto Politécnico de Coimbra – Escola Superior de Saúde de Coimbra
Profª Drª 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
Profª Drª 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
Profª Drª Magnólia de Araújo Campos – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. Marcus Fernando da Silva Praxedes – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Profª Drª Maria Tatiane Gonçalves Sá – Universidade do Estado do Pará
Profª Drª Mylena Andréa Oliveira Torres – Universidade Ceuma
Profª Drª 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
Profª Drª Regiane Luz Carvalho – Centro Universitário das Faculdades Associadas de Ensino
Profª Drª Renata Mendes de Freitas – Universidade Federal de Juiz de Fora
Profª Drª Vanessa da Fontoura Custódio Monteiro – Universidade do Vale do Sapucaí
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Welma Emidio da Silva – Universidade Federal Rural de Pernambuco

Ciências Exatas e da Terra e Engenharias

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto
Profª Drª Ana Grasielle Dionísio Corrêa – Universidade Presbiteriana Mackenzie
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 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
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 Gonçalves de Lima – Universidade Federal do Piauí
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
Profª Drª Edna Alencar da Silva Rivera – Instituto Federal de São Paulo
Profª Drª Fernanda Tonelli – Instituto Federal de São Paulo,
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

Coleção desafios das engenharias: engenharia de computação

Diagramação: Camila Alves de Cremo
Correção: Maiara Ferreira
Indexação: Gabriel Motomu Teshima
Revisão: Os autores
Organizador: Ernane Rosa Martins

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

C691 Coleção desafios das engenharias: engenharia de computação / Organizador Ernane Rosa Martins. - Ponta Grossa - PR: Atena, 2021.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-5983-387-0

DOI: <https://doi.org/10.22533/at.ed.870211808>

1. Engenharia da computação. I. Martins, Ernane Rosa (Organizador). II. Título.

CDD 621.39

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

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

A Engenharia de Computação tem como definição ser o ramo da engenharia que se caracteriza pelo projeto, desenvolvimento e implementação de sistemas, equipamentos e dispositivos computacionais, segundo uma visão integrada de hardware e software, apoiando-se em uma sólida base matemática e conhecimentos de fenômenos físicos. O objetivo é a aplicação das tecnologias de computação na solução de problemas de Engenharia.

Deste modo, este livro, aborda diversos aspectos tecnológicos computacionais, tais como: o desenvolvimento de um jogo de RPG acessível em LIBRAS; uma reflexão quanto à necessidade de aplicação de supressores de surto como proteção de transformadores devido a eventos transitórios em manobras de disjuntores; um algoritmo para geração de contorno 2D envolvendo regiões irregulares; avaliação da influência das tensões residuais e imperfeições geométricas iniciais em colunas de aço submetidas à flexão em torno do eixo de menor inércia; os esforços em estruturas laminares, de características de geometria e carregamentos diversos através da implementação computacional de um elemento finito sólido hexaédrico de 8 nós programado com uma linguagem computacional de alto nível; uma análise computacional realizada através do programa SAP2000; a estabilidade e as vibrações de anéis e tubulações apoiados em uma fundação elástica de Pasternak; um controlador neural para dois elos de um robô manipulador de três graus de liberdade (3 GDL); uma ferramenta de autoria para livros relacionados a área da educação; um aplicativo com propósito de aumentar a taxa de reciclagem e minimizar os danos ambientais devido ao descarte incorreto de resíduos na natureza; a conscientização de crianças e adolescentes sobre as ocorrências de bullying; uma aplicação web interativa, de fácil utilização e interface amigável, por meio do pacote Shiny, destinada aos tópicos de intervalo de confiança e dimensionamento de amostra para o parâmetro proporção; segmentar e detectar, por meio de redes neurais convolutivas, as pás dos raspadores de escória em painéis de ferro gusa do Reator Kambara de uma siderúrgica; integrar a Biblioteca Digital de Artigos (IFPublica) e a Plataforma de Digital de Inscrição e Administração de Projetos (PDIAP), por meio de adaptações nos dois projetos, para impedir erros humanos e automatizar o processo de cadastro de artigos do PDIAP na base de dados do IFPublica.

Assim, espero que a presente obra venha a se tornar um guia aos estudantes e profissionais da área de Engenharia de Computação, auxiliando-os em diversos assuntos relevantes da área, fornecendo a estes novos conhecimentos para poderem atender as necessidades informacionais, computacionais e de automação das organizações de uma forma geral. Por fim, agradeço aos autores por suas contribuições na construção desta importante obra e desejo muito sucesso a todos os nossos leitores.

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1..... 1

A ELASTO-PLASTIC CONSTITUTIVE MODEL BASED ON CHABOCHE KINEMATIC HARDENING OF ALUMINUM ALLOY 7050-T7451

Renzo Fernandes Bastos

Daniel Masarin

Ernesto Massaroppi Junior

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.8702118081>

CAPÍTULO 2..... 11


ACANNO: UM JOGO DE RPG COM UMA PROPOSTA DE ACESSIBILIDADE USANDO LIBRAS

Gabriel Barroso da Silva Lima

Marcos Roberto dos Santos

Almir de Oliveira Costa Junior

Jucimar Maia da Silva Junior

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.8702118082>

CAPÍTULO 3..... 23

A IMPORTÂNCIA ATUAL DE ESTUDOS DE TRANSITÓRIOS ELETROMAGNÉTICOS PARA DEFINIÇÃO DE SISTEMAS DE PROTEÇÃO DE TRANSFORMADORES CONTRA SOBRETENSÕES E AS APLICAÇÕES RECENTES COM A INSTALAÇÃO DE SUPRESSORES DE SURTO

Nelson Clodoaldo de Jesus


João Roberto Cogo

Luiz Marlus Duarte

Luis Fernando Ribeiro Ferreira

Éverson Júnior de Mendonça

Leandro Martins Fernandes

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.8702118083>

CAPÍTULO 4..... 38

ALGORITMO PARA GERAÇÃO DE CONTORNO DE MALHAS RETANGULARES PARA CÁLCULO DE DIFERENÇAS FINITAS

Pedro Zaffalon da Silva


Neyva Maria Lopes Romeiro

Rafael Furlanetto Casamaximo

Iury Pereira de Souza

Paulo Laerte Natti

Eliandro Rodrigues Cirilo


 <https://doi.org/10.22533/at.ed.8702118084>

CAPÍTULO 5..... 53

ANÁLISE DA RESISTÊNCIA DE PILARES DE AÇO SOB A INFLUÊNCIA DE TENSÕES RESIDUAIS E IMPERFEIÇÕES GEOMÉTRICAS INICIAIS

Jefferson Alves Ferreira


Giovani Vitório Costa
Harley Francisco Viana
Renata Gomes Lanna da Silva

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.8702118085>

CAPÍTULO 6..... 70

ANÁLISE DE ESTRUTURAS LAMINARES UTILIZANDO UM ELEMENTO SÓLIDO DE BAIXA ORDEM ENRIQUECIDO COM MODOS INCOMPATÍVEIS


Erijohnson da Silva Ferreira
William Taylor Matias Silva
Sebastião Simão da Silva
Adenilda Timóteo Salviano
José Lucas Pessoa de Oliveira

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.8702118086>

CAPÍTULO 7..... 84

ANÁLISE ESTRUTURAL DO EDIFÍCIO SEDE DA PROCURADORIA GERAL DA REPÚBLICA: O ESTUDO DE CASO DO BLOCO “A”


Stefano Galimi
Márcio Augusto Roma Buzar
Marco Aurélio Bessa
Leonardo da Silveira Pirillo Inojosa

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.8702118087>

CAPÍTULO 8..... 103

ANÁLISE ESTRUTURAL DO EDIFÍCIO SEDE DA PROCURADORIA GERAL DA REPÚBLICA: O ESTUDO DE CASO DO BLOCO “B”


Stefano Galimi
Márcio Augusto Roma Buzar
Marco Aurélio Bessa
Marcos Henrique Ritter de Gregorio

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.8702118088>

CAPÍTULO 9..... 119

APPLICATION OF A MULTI-OBJECTIVE OPTIMIZATION PARETO APPROACH TO DESIGN THE SDRE CONTROLLER FOR A RIGID-FLEXIBLE SATELLITE

Luiz Carlos Gadelha de Souza







 <https://doi.org/10.22533/at.ed.8702118089>







CAPÍTULO 10..... 131

APPLICATION OF DEEP LEARNING FOR ANALYSIS OF CRACKS IN PELLET FALLING TESTS

Marconi Junio Henriques Magnani
Jorge José Fernandes Filho
Thyago Rosa Souza
Marco Antonio de Souza Leite Cuadros

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.87021180810>

CAPÍTULO 11	143
FLAMBAGEM E VIBRAÇÃO DE ANÉIS E TUBULAÇÕES ESBELTAS EM UMA FUNDAÇÃO ELÁSTICA	
Mariana Barros dos Santos Dias Paulo Batista Gonçalves	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.87021180811	
CAPÍTULO 12	155
CALIDAD ÁGIL: PATRONES DE DISEÑO EN UN CONTEXTO DE DESARROLLO DIRIGIDO POR PRUEBAS	
Anna Grimán Padua Manuel Capel Tuñón Eladio Garví	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.87021180812	
CAPÍTULO 13	168
CONTROLE NEURAL DE DOIS ELOS DE UM ROBÔ DE TRÊS GRAUS DE LIBERDADE	
José Antonio Riul Paulo Henrique de Miranda Montenegro	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.87021180813	
CAPÍTULO 14	181
SUBOPTIMAL CONTROL ON NONLINEAR SATELLITE SIMULATIONS USING SDRE AND H-INFINITY	
Alessandro Gerlinger Romero Luiz Carlos Gadelha de Souza	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.87021180814	
CAPÍTULO 15	193
CREATE REALITY IN BOOKS (CRINB) - PROPOSTA DE FERRAMENTA DE AUTORIA DE LIVROS COM REALIZADADE AUMENTADA	
Lucas Velho Gomes Felipe Zunino Gabriel Abreu Freire Sidney Ferreira Coutinho Rogério Grijo Biazotto Eduardo Henrique Gomes Nelson Nascimento Júnior	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.87021180815	
CAPÍTULO 16	198
DESENVOLVIMENTO DE ATIVIDADES DE ORIENTAÇÃO E CAPACITAÇÃO EM SISTEMAS DE COMPUTAÇÃO - RECYCLING IS BETTER	
Líbero Passador Neto Dimitre Moreira Ort	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.87021180816	

CAPÍTULO 17	206
DESENVOLVIMENTO DE UM JOGO DIGITAL (2D) PARA CONSCIENTIZAÇÃO DE CRIANÇAS CONTRA O BULLYING	
Rafael Guedes da Silva	
Anderson Fabian Melo Nakanome	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.87021180817	
CAPÍTULO 18	215
DESENVOLVIMENTO DE UMA APLICAÇÃO WEB PARA PROPORÇÃO E DIMENSIONAMENTO DE AMOSTRA POR MEIO DO PACOTE SHINY	
Pablo Fellipe de Souza Almeida	
Cristina Henriques Nogueira	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.87021180818	
CAPÍTULO 19	226
DESIGN PATTERNS FOR SOFTWARE EVOLUTION REQUIREMENTS	
Anna Grimán Padua	
Manuel Capel Tuñón	
Eladio Garví	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.87021180819	
CAPÍTULO 20	240
DETECTION AND SEGMENTATION OF PIG IRON SLAG SCRAPERS USING MASK RCNN FOR WEAR CONTROL	
Carlos Eduardo Oliveira Milanez	
Marco Antonio de Souza Leite Cuadros	
Gustavo Maia de Almeida	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.87021180820	
CAPÍTULO 21	252
DIMENSIONAMENTO DE BLOCOS SOBRE ESTACAS METÁLICAS	
Fernanda Calado Mendonça	
Bernardo Horowitz	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.87021180821	
CAPÍTULO 22	268
ESTIMATION OF STELLAR PARAMETERS FOR J-PLUS SURVEY WITH MACHINE LEARNING	
Carlos Andres Galarza Arevalo	
Simone Daflon	
Vinicius Moris Placco	
Carlos Allende-Prieto	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.87021180822	
CAPÍTULO 23	279
ESTUDO ANALÍTICO E NUMÉRICO VIA MÉTODO DOS ELEMENTOS FINITOS DA	

RIGIDEZ DOS PILARES DE PONTES EM CONCRETO ARMADO

Sávio Torres Melo
Rebeka Manuela Lobo Sousa
Pablo Juan Lopes e Silva Santos
Francisca Itaynara de Souza Araújo
Thiago Rodrigues Piauilino Ribeiro
Amanda Evelyn Barbosa de Aquino
Diogo Raniere Ramos e Silva
Tiago Monteiro de Carvalho
Carlos Henrique Leal Viana
João Paulo dos Santos Silva
Madson Nogueira da Silva
Ilanna Castelo Branco Mesquita

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.87021180823>

CAPÍTULO 24..... 290

ESTUDO ANALÍTICO E NUMÉRICO VIA MÉTODO DOS ELEMENTOS FINITOS DOS EFEITOS DE SEGUNDA ORDEM EM PILARES DE PONTES EM CONCRETO ARMADO


Sávio Torres Melo
Rebeka Manuela Lobo Sousa
Pablo Juan Lopes e Silva Santos
Francisca Itaynara de Souza Araújo
Thiago Rodrigues Piauilino Ribeiro
Amanda Evelyn Barbosa de Aquino
Diogo Raniere Ramos e Silva
Tiago Monteiro de Carvalho
Carlos Henrique Leal Viana
João Paulo dos Santos Silva
Madson Nogueira da Silva
Ilanna Castelo Branco Mesquita

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.87021180824>

CAPÍTULO 25..... 311

ESTUDO DO MOVIMENTO DOS CORPOS MOEDORES NO PROCESSO DE MOAGEM UTILIZANDO O MÉTODO DOS ELEMENTOS DISCRETOS


Wladimir José Gomes Florêncio
Neilor Cesar dos Santos



 <https://doi.org/10.22533/at.ed.87021180825>

CAPÍTULO 26..... 329

FLUID FLOW SUMMARIZATION USING DYNAMIC MULTI-VECTOR FEATURE SPACES

Renato José Policani Borseti
Leandro Tavares da Silva
Gilson Antonio Giralaldi

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.87021180826>

CAPÍTULO 27	351
GESTÃO DE PROCESSOS: ALINHAMENTO ESTRATÉGICO ENTRE TI E NEGÓCIO COM BPMN	
Aryel Evelin Vieira Garcia Rodrigo Elias Francisco	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.87021180827	
CAPÍTULO 28	359
IFINTEGRA - INTEGRADOR DA PLATAFORMA DE REGISTRO DE PROJETOS COM A BIBLIOTECA DIGITAL DE ARTIGOS DE UM CAMPUS DO IFSUL	
Mateus Roberto Algayer Geovane Griesang	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.87021180828	
SOBRE O ORGANIZADOR	366
ÍNDICE REMISSIVO	367

A IMPORTÂNCIA ATUAL DE ESTUDOS DE TRANSITÓRIOS ELETROMAGNÉTICOS PARA DEFINIÇÃO DE SISTEMAS DE PROTEÇÃO DE TRANSFORMADORES CONTRA SOBRETENSÕES E AS APLICAÇÕES RECENTES COM A INSTALAÇÃO DE SUPRESSORES DE SURTO

Data de aceite: 02/08/2021

Data de submissão: 25/06/2021

Nelson Clodoaldo de Jesus

GSI - ENGENHARIA E CONSULTORIA LTDA
Taubaté (SP)

João Roberto Cogo

GSI - ENGENHARIA E CONSULTORIA LTDA
Taubaté (SP)

Luiz Marlus Duarte

GSI - ENGENHARIA E CONSULTORIA LTDA
Taubaté (SP)

Luis Fernando Ribeiro Ferreira

GSI - ENGENHARIA E CONSULTORIA LTDA
Taubaté (SP)

Éverson Júnior de Mendonça

GSI - ENGENHARIA E CONSULTORIA LTDA
Taubaté (SP)

Leandro Martins Fernandes

GSI - ENGENHARIA E CONSULTORIA LTDA
Taubaté (SP)

RESUMO: Este Informe Técnico tem como objetivo apresentar uma reflexão quanto à necessidade de aplicação de supressores de surto como proteção de transformadores devido a eventos transitórios em manobras de disjuntores. Após uma série histórica de queimas de transformadores no Brasil e posterior identificação da causa sistêmica, foram estabelecidos critérios de projeto de forma a mitigar tais perturbações,

sendo a interação transitória associada aos transformadores um tema altamente relevante e desafiador. Serão apresentados os principais conceitos relacionados às sobretensões de manobras, tipos, formas de mitigação, resultados de medições, simulações e tendências de aplicação de supressores de surto contra eventuais sobretensões transitórias.

PALAVRAS-CHAVE: Transitórios Eletromagnéticos, Sobretensões de Manobras, Transformadores, Simulações, Supressores de Surto.

THE CURRENT IMPORTANCE OF ELECTROMAGNETIC TRANSIENTS STUDIES FOR DEFINING TRANSFORMER PROTECTION SYSTEMS AGAINST OVERVOLTAGES AND RECENT APPLICATIONS WITH THE INSTALLATION OF SURGE SUPPRESSORS

ABSTRACT: This Technical Report aims to present a reflection on the need to apply surge suppressors as transformer protection due to transient events in circuit breaker operations. After a historical series of transformer burns in Brazil and subsequent identification of the systemic cause, design criteria were established in order to mitigate such disturbances, with the transient interaction associated with transformers being a highly relevant and challenging topic. The main concepts related to maneuver overvoltages, types, forms of mitigation, measurement results, simulations and trends in the application of surge suppressors against possible transient overvoltages will be presented.

KEYWORDS: Electromagnetic Transients,

1 | INTRODUÇÃO

Disjuntores a vácuo apresentam características e capacidades de extinção de arco que resultam em sua viabilidade e eficiência para sistemas elétricos de média tensão. Entretanto, a comutação destes dispositivos durante a realização de manobras pode resultar em sobretensões transitórias e, por consequência, as solicitações impostas aos enrolamentos dos transformadores aumentam os riscos de falhas nesses equipamentos. Serão apresentados os principais conceitos relacionados às sobretensões de manobras durante a operação de disjuntores a vácuo, os quais são amplamente utilizados em diversas aplicações. Atualmente mais de 80% das novas instalações em média tensão empregam disjuntores com meio de extinção do arco à vácuo (1). Sobretensões associadas às manobras com disjuntores têm sido observadas por muitos anos na operação de sistemas elétricos. Recentemente, diversos problemas operacionais estão sendo atribuídos a um número significativo de falhas de transformadores envolvendo manobras de chaveamentos de disjuntores no lado do circuito primário (5), (10). De um modo geral, estas falhas de transformadores apresentam parâmetros e características relativamente comuns, tais como os fatores de aplicação de disjuntores a vácuo ou SF₆, cabos curtos ou conexão por barramentos e aplicações envolvendo principalmente tensões de operação em 34,5 kV e transformadores com meio isolante sólido (a seco).

Entre 2012 e 2013 ocorreram no Brasil diversas queimas consecutivas de transformadores. Este foi um marco nacional em termos de aplicação de transformadores a seco em indústrias do ramo de produção de celulose, conforme relatado em (7), (8). Desde então, tem sido recomendada a realização de estudos, análises e simulações de transitórios eletromagnéticos envolvendo manobras de disjuntores para a definição e instalação de protetores de surto. Diferentes tipos de sobretensões podem ocorrer em sistemas elétricos, sendo as relacionadas às manobras de disjuntores o objetivo principal deste trabalho. Será apresentado como um exemplo ilustrativo da importância atual deste tipo de estudo os resultados da análise do desempenho de um sistema elétrico industrial em 34,5 kV, sendo modelado por meio da utilização do Programa de Transitórios Eletromagnéticos ATP.

As manobras de chaveamentos de disjuntores podem ser divididas em manobras de circuitos capacitivos (cabos, linhas aéreas, bancos de capacitores, filtros de harmônicos), indutivos (transformadores em vazio, motores, reatores, fornos a arco, sistemas de tração elétrica, bobinas de supressão de arco “Peterson”) e circuitos controlados (geradores e inversores) (1). Foram realizadas simulações de manobras de energização e desenergização, com e sem supressão das correntes (Chopping), analisando-se também eventos de altas frequências para definição do grau de proteção e configuração necessária à redução das sobretensões transitórias. Este tipo de análise é recomendada para sistemas elétricos que

possuam transformadores com meio isolante sólido (seco), especialmente com tensões de operação em 34,5 kV, sendo necessária, nestes casos, uma verificação mais detalhada quanto à instalação de supressores de surto, conforme relatado posteriormente.

2 I SOBRETENSÕES RESULTANTES DE MANOBRAS DE DISJUNTORES

As sobretensões também podem ser classificadas em função de sua forma de onda e duração. No caso desta análise, serão apresentadas sobretensões de manobras relacionadas aos chaveamentos de disjuntores à vácuo em circuitos indutivos, como nas manobras de disjuntores associados a transformadores em vazio (1), (5), (10), (8). Apresentam-se, a seguir, os principais tipos e características de eventos envolvendo as sobretensões de manobras, considerando condições de desenergização e energização de disjuntores a vácuo na alimentação de transformadores.

2.1 Supressão de corrente (“chopping”)

Em um sistema ideal, os disjuntores interrompem a corrente exatamente na passagem pelo zero natural. Entretanto, quando uma corrente relativamente pequena for interrompida por um disjuntor, a ação dos dispositivos internos de supressão de arco pode fazer com que a corrente seja levada a zero abrupta e prematuramente antes de seu zero normal. Denominado de corte de corrente (“Current Chopping”), este fenômeno é uma forma de supressão da corrente que pode dar origem a sobretensões em virtude da energia magnética armazenada no circuito equivalente, conforme mostra a Figura 1. Esta condição pode ocorrer naturalmente quando a corrente de um reator ou transformador (corrente de magnetização) é interrompida pelo disjuntor. Considerando a corrente I_C como o valor no instante do corte, a energia magnética armazenada é equivalente a $(\frac{1}{2} \cdot L_M \cdot I_C^2)$. Esta energia armazenada é então transferida como forma de energia eletrostática na capacitância, dada por $(\frac{1}{2} \cdot C_P \cdot U_{TR}^2)$.

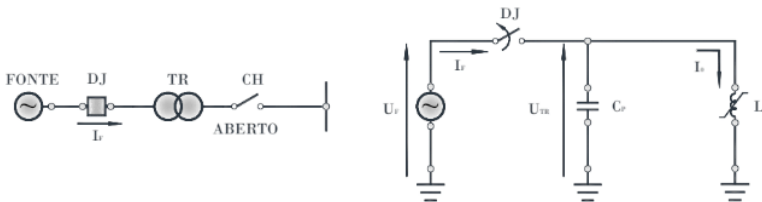


Figura 1 - Circuito equivalente durante a condição de desenergização de transformador em vazio.

Para o caso monofásico, tem-se a seguinte tensão máxima resultante:

$$U_{TR} = Z_0 \cdot I_0 = \sqrt{\frac{L_M}{C_P}} \cdot I_0 \quad (1)$$

Portanto, a tensão de pico no capacitor, ou a aplicada aos enrolamentos do transformador, é função do produto da corrente instantânea cortada ($I_0=I_C$) pelo valor da impedância de surto do transformador (Z_0). Um fato notável é que a tensão máxima resultante (U_{TR}) independe da tensão de operação do sistema. A Figura 2 a seguir mostra o conceito de supressão instantânea da corrente de operação (corrente de corte ou corrente cortada) e o respectivo efeito das sobretensões resultantes. Destaca-se que em termos práticos, as próprias perdas a vazio do transformador (histerese e “foucault”) contribuem para um maior ou menor amortecimento das sobretensões.

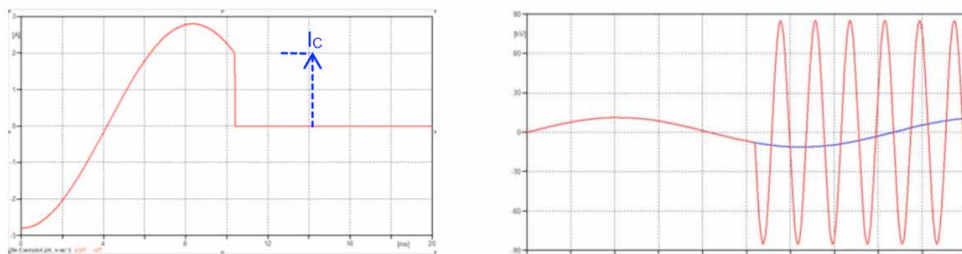


Figura 2 - Supressão de corrente e sobretensões durante manobra de desligamento.

2.2 Múltiplas reignições (“restrike”)

Na realização de manobras de chaveamentos de pequenas correntes indutivas podem ser geradas sobretensões elevadas se ocorrer a reignição do arco após a primeira interrupção da corrente e se o dispositivo de manobra for capaz de interromper correntes transitórias de altas frequências, as quais se estabelecem após as ocorrências de reignições. Este processo sempre inclui uma relação transitória entre as capacitâncias do sistema e do lado da carga. Se este processo ocorrer repetidamente, será definido como múltiplas reignições. As amplitudes tendem a aumentar a cada reignição e, com o escalonamento de tensão, severas sobretensões elevam o risco da operação e dos equipamentos. A Figura 3 - (a) esclarece o comportamento típico das taxas de rigidez dielétrica de disjuntores e as possíveis ocorrências de múltiplas reignições durante o processo de abertura do mesmo.

2.3 Supressão de correntes induzidas (“virtual current chopping”)

Este fenômeno pode ocorrer durante o processo de interrupção de dispositivos de manobras devido à dispersão entre os pólos do sistema trifásico. Este tipo de evento é fortemente dependente dos parâmetros do sistema e mais raro que os demais eventos apresentados anteriormente (1). Durante uma manobra de abertura com aumento das amplitudes das tensões, causadas por reignições, tem-se como resultado sobrecorrentes de altas frequências. Se este evento transitório das correntes estiver acoplado por meio magnético ou eletrostático, devido às indutâncias e capacitâncias parasitas do sistema, têm-

se supressões das correntes induzidas nas demais fases. Após a interrupção do primeiro pólo do disjuntor, as correntes nas demais fases, que ainda conduzem as componentes da frequência fundamental, passam a conter também em sua forma de onda, correntes transitórias superpostas. Se o disjuntor interromper uma dessas componentes de alta frequência, estas serão então denominadas de “Virtual Current Chopping”. A interrupção dessas correntes com a carga ainda conduzindo a corrente na frequência fundamental tem similaridade ao mesmo efeito da supressão da corrente. Em decorrência deste conceito e devido ao tipo de comportamento, a tensão máxima e a frequência também serão função dos parâmetros L e C do circuito equivalente. Entretanto, comparado com o fenômeno de supressão de corrente, os cortes das correntes induzidas poderão ser maiores. A Figura 3 - (b) a seguir ilustra o conceito deste tipo de fenômeno. A ação de interrupção das correntes em altas frequências, característica típica de disjuntores a vácuo, pode gerar severas sobretensões sequenciais no sistema. Destaca-se que este tipo de evento tem sido pouco explorado na literatura, sendo mais um motivo que corrobora com a necessidade atual da realização de estudos associados a manobras de disjuntores.

2.4 Múltiplas pré-ignições (“pré-strike”)

Os eventos descritos anteriormente estavam relacionados diretamente às sobretensões durante manobras de desligamentos. Diferentemente dos demais, este item aborda as sobretensões transitórias para manobras de energização. Durante o processo da manobra de fechamento dos pólos de um disjuntor, o circuito equivalente está quase completo para os instantes antes do toque mecânico final entre os seus contatos. Nestas condições, a tensão imposta pelo sistema força a redução do “gap”, criando um aumento da sollicitação dielétrica (“stress”) entre os contatos. Se a tensão entre os pólos superar a característica fria do disjuntor (tensão de ruptura dielétrica), conforme mostra a Figura 3 - (c), pré-ignições do arco elétrico serão estabelecidas, com possibilidade de sobretensões transitórias repetitivas (1), (5), (10), (7).

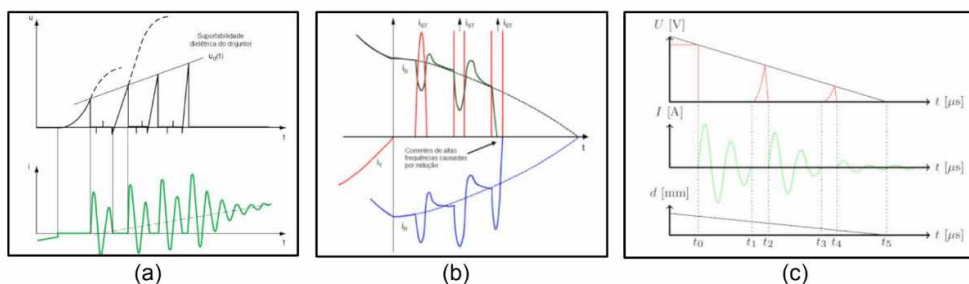


Figura 3 - (a) - Múltiplas Reignições (“Restrike”)

Figura 3 - (b) - Supressão de correntes induzidas (“Virtual Current Chopping”)

Figura 3 - (c) - Múltiplas Pré-ignições (“Pré-Strike”)

3 | RESULTADOS DE MEDIÇÕES DE MANOBRAS EM SISTEMAS INDUSTRIAIS

Os resultados apresentados neste item foram obtidos com medições realizadas em campo através de medidores com capacidade de registros de eventos transitórios (1 MHz), instalados nos secundários de TPs. Portanto, apesar de serem considerados como qualitativos, esclarecem e mostram as tendências características de alguns dos tipos de fenômenos relatados (8). A Figura 4 a seguir mostra o resultado de medição das tensões entre fases, obtidas na avaliação do sistema de média tensão em uma instalação industrial, comprovando-se a ocorrência e o comportamento de múltiplas reignições (“Restrike”) durante a manobra de abertura do disjuntor.

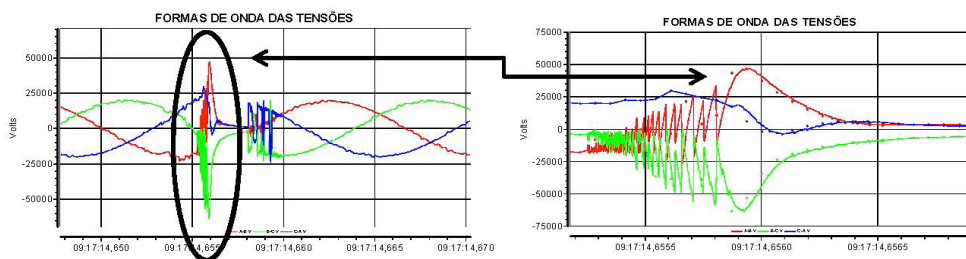


Figura 4 - Medição de sobretensões devido a ocorrência de múltiplas reignições (“Restrike”).

Também com resultados qualitativos, mas, sobretudo, notadamente comprobatórios, a Figura 5 apresenta o tipo de evento que estava ocorrendo durante as manobras de energização de disjuntores a vácuo na alimentação de transformadores, quando as falhas de grande impacto tiveram origem e se manifestaram no referido projeto, com a tomada de decisão de substituição de transformadores em líquido isolante (a óleo) por sistemas de isolamento do tipo sólido (a seco). Os sistemas implantados em indústrias de celulose, com cabos isolados, para distâncias relativamente curtas (inferiores a 80 m), apresentaram causa sistêmica com inúmeras falhas consecutivas nas referidas instalações. A partir desta identificação, com impulsos repetitivos durante as manobras de disjuntores a vácuo, instalados em painéis isolados a gás (SF₆), foram inicialmente propostas alternativas técnicas envolvendo a aplicação de supressores de surto para a proteção dos transformadores, conforme descrito em (8).

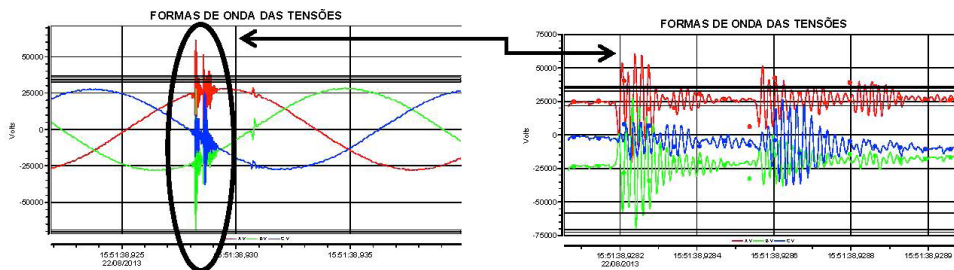


Figura 5 - Medição de sobretensões devido a ocorrência de múltiplas Pré-ignições (“Pre-Strike”).

4 | PROTEÇÃO CONTRA SOBRETENSÕES

Para a proteção de equipamentos em sistemas elétricos que apresentem riscos de ocorrências de sobretensões devido aos efeitos transitórios, basicamente, de forma tradicional, são normalmente utilizados para-raios (PR), capacitores de surto (CS) e supressores de surto (SS). A Figura 6 ilustra os possíveis tipos de montagens de protetores de surto, sendo, os três últimos exemplos, denominados de supressores de surto. A Figura 7 apresenta os pontos preferenciais para a instalação de supressores contra sobretensões de manobras. Tem-se verificado que na maioria dos casos onde é prudente a inclusão de supressores de surto, a configuração preferencial se refere a do item (a) da Figura 7, ou seja, instalação próxima aos terminais do equipamento a ser protegido.

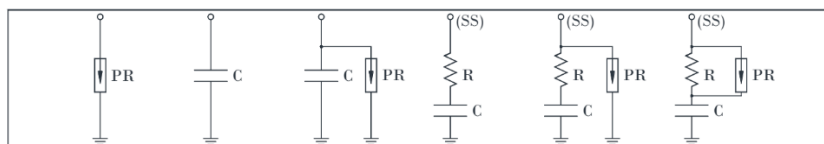


Figura 6 - Configurações e tipos de protetores de surto.

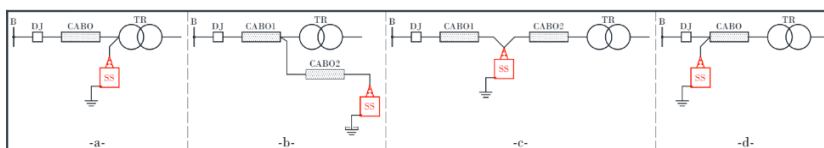


Figura 7 - Possíveis locais de instalação de supressores de surto.

Para chaveamentos em circuitos indutivos, onde múltiplas pré-ignições ou reignições podem ocorrer, capacitores puros não são considerados como favoráveis. Supressores de Surto constituídos por circuitos RC formam um caminho de baixa impedância para correntes de altas frequências, desviando os possíveis efeitos transitórios ao equipamento. Deste modo, amortecem ondas viajantes e previnem sua amplificação por reflexões nos cabos que alimentam a carga, reduzindo as solicitações de impulsos repetitivos no sistema de isolamento

e possíveis excitações de ressonâncias internas aos enrolamentos dos transformadores, em caso de múltiplas reconduções. Além destes, existem equipamentos comerciais que utilizam varistores em paralelo com o resistor ao invés do conjunto RC, normalmente para tensões inferiores a 34,5 kV. Os capacitores normalmente adotados nestas aplicações estão na faixa entre 0,1 a 0,5 mF. Para a definição básica do resistor (R) do supressor de surto na proteção de transformadores ou motores, em função da impedância de surto (Z_c) dos cabos que alimentam o equipamento a ser protegido, recomenda-se verificar o comportamento e as solicitações impostas, considerando a seguinte faixa:

$$Z_c \leq R \leq 3 Z_c \quad (2)$$

Para eventos de múltiplas reconduções verifica-se a ocorrência de sobretensões de curtíssima duração e elevadas taxas de crescimento das tensões (Very Fast Transient Overvoltage) (5). De acordo com estudos e análises realizadas, observa-se, para manobras de desenergização, que o capacitor de surto (CS) e o supressor de surto (RC) apresentam desempenhos semelhantes, proporcionando amortecimento das sobretensões. Entretanto, para eventos de pré-ignições, o capacitor de surto apresenta desempenho bem inferior ao supressor de surto, composto por um circuito RC. De um modo geral, destaca-se que os para-raios protegem os equipamentos somente frente às altas intensidades como no caso de descargas atmosféricas. Entretanto, não os protegem contra outras sobretensões de manobras, pois os mesmos tem a função de limitar o valor de pico, sendo eficazes na maioria das aplicações, exceto onde as taxas de elevação das sobretensões (dv/dt) e a excitação de oscilações ressonantes não ocorrem ou não são críticas (9), (4). Já os capacitores de surto, amplamente empregados em conjunto com para-raios em motores e geradores de grande porte, reduzem as taxas de elevação das sobretensões devido ao aumento da capacitância fase-terra, sendo especialmente aplicados e eficazes para manobras de desligamentos, mesmo com possíveis reignições. A utilização de supressores de surto (RC) reduz as taxas de crescimento das tensões (dv/dt), assimetrias (DC offset) e fornecem amortecimento, sendo esta configuração, em conjunto com para-raios, a que vem sendo recomendada e empregada atualmente no Brasil em aplicações para as condições consideradas nesta avaliação (5), (7), (8).

5 | SIMULAÇÕES DE TRANSITÓRIOS DE MANOBRAS DE DISJUNTORES

Em função das ocorrências de sobretensões transitórias de altas frequências e possíveis impactos no sistema de isolamento de transformadores, são realizadas modelagens e simulações específicas de manobras de disjuntores, incluindo elementos com o objetivo de atenuar tais eventos e, assim, proteger o transformador contra tais sobretensões. Este item apresenta resultados de simulações de manobras de chaveamentos envolvendo a energização e desenergização de disjuntor a vácuo associado ao transformador de um sistema industrial, com potência nominal de 3 MVA em 34,5 kV. A

modelagem do sistema foi realizada através do programa de transitórios eletromagnéticos ATP (7). Para tanto, foram representados os dados desde a entrada do sistema até o ponto de conexão ao transformador. Além disso, considerou-se a modelagem detalhada dos cabos e um modelo de disjuntor específico para simulações de pré-ignições (“pre-strike”) e reignições (“restrike”), conforme sequência apresentada a seguir. Em função da avaliação dos resultados, torna-se possível verificar os efeitos e o desempenho do sistema durante manobras de disjuntores a vácuo, que são amplamente utilizados tanto em sistemas elétricos industriais, quanto em sistemas de geração de energias renováveis, como em centrais de energia eólica ou fotovoltaica.

5.1 Manobras de energização do transformador

A Figura 8 apresenta as formas de onda das correntes e tensões transitórias obtidas na simulação de manobra de energização. A corrente de magnetização apresentou um valor máximo de 460 A, ou seja, aproximadamente 6,5 vezes o valor de pico nominal, observando-se também o efeito proveniente dos cabos do sistema, para os instantes anteriores ao estabelecimento das correntes de magnetização do transformador (correntes de “inrush”). O valor máximo da sobretensão fase-terra obtido na simulação foi de 43,20 kV, que corresponde a 1,53 pu em relação ao valor de pico nominal. As oscilações verificadas nas tensões do sistema em vazio estão relacionadas às reflexões dos cabos isolados considerados na modelagem do sistema equivalente.

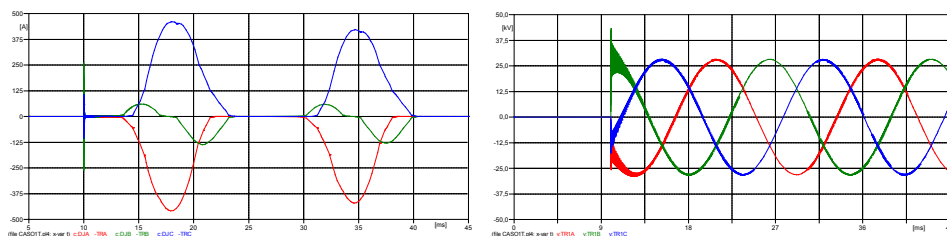


Figura 8 - Simulação das correntes e tensões transitórias na energização do transformador.

5.2 Manobras de desenergização do transformador

Este caso mostra os resultados de simulação da manobra de desligamento do disjuntor, estando o transformador operando em vazio. Para esta condição, foram consideradas as respectivas perdas a vazio e a interrupção da corrente em seu valor de pico, como ilustra a Figura 9.

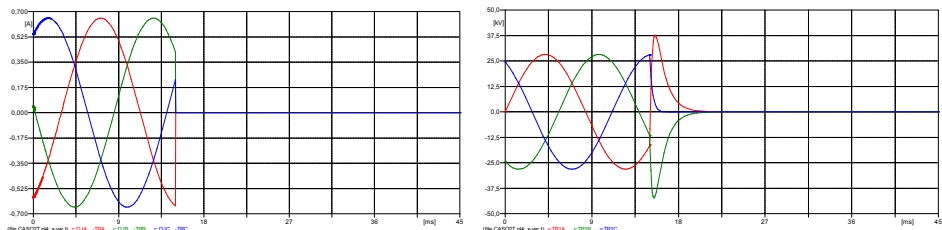


Figura 9 - Simulação das correntes e tensões transitórias na desenergização do transformador.

5.3 Manobras de energização do transformador com pré-ignições (“pré-strike”)

Este item apresenta os resultados obtidos no caso de simulação da manobra de energização do transformador considerando a ocorrência de pré-ignições, onde foram representados os modelos com as características dielétricas do disjuntor e as capacitâncias parasitas equivalentes, informadas por fabricantes. A Figura 10 mostra as correntes e tensões transitórias resultantes de manobra de energização com a ocorrência de pré-ignições e múltiplas interrupções do disjuntor a vácuo.

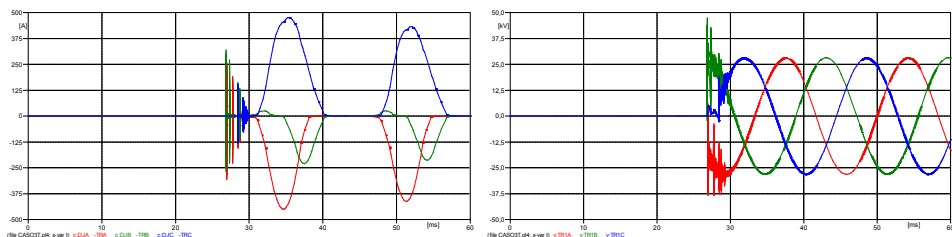


Figura 10 - Simulação das correntes e tensões transitórias com pré-ignições do disjuntor na manobra de energização do transformador.

5.4 Manobras de desenergização do transformador com reignições (“restrrike”)

A Figura 11 mostra as correntes e tensões transitórias obtidas durante a simulação da manobra de desenergização, com a ocorrência de reignições, cujos resultados são típicos do comportamento de sobretensões impulsivas e repetitivas, relacionadas a ocorrências de múltiplas reconduções após a abertura do disjuntor.

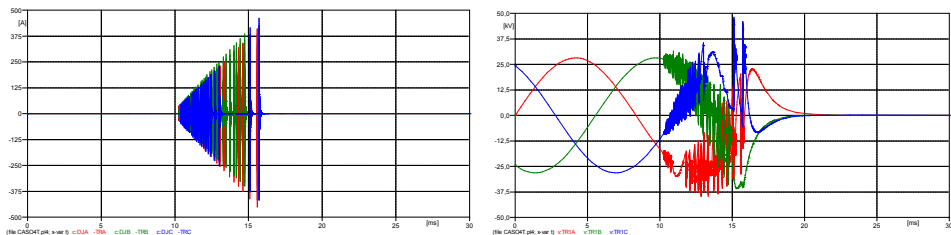


Figura 11 - Simulação das correntes e tensões transitórias com reignições do disjuntor na manobra de desenergização do transformador.

5.5 Manobras com supressores de surto

A partir da modelagem do sistema para as manobras de energização e desenergização, considerando as ocorrências de pré-ignições e reignições, foram inseridos Supressores de Surto (SS) do tipo RC, em conjunto com Para-Raios. Para este caso específico, foram adotados supressores de surto com resistores de 60Ω , capacitores de $0,2 \mu\text{F}$, além de para-raios complementares com tensão nominal de 36 kV. As Figuras 12 e 13 a seguir mostram as correntes e tensões obtidas nestas condições, observando-se melhorias significativas em relação ao comportamento transitório, comparando-se com os casos anteriores, destacando-se o amortecimento das tensões e reduções dos eventos transitórios repetitivos nas tensões e correntes, cujos resultados foram obtidos tanto nas simulações das manobras de energização, quanto nas manobras de desenergização do transformador.

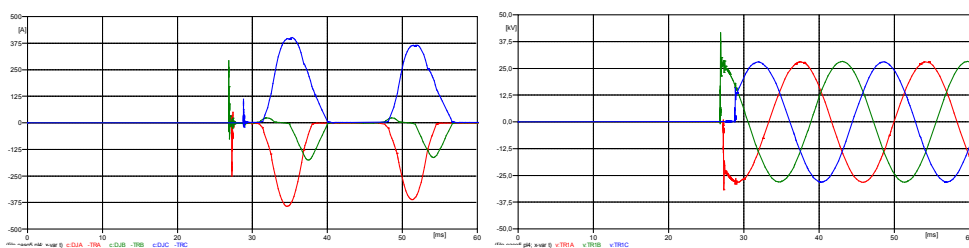


Figura 12 - Simulação das correntes e tensões transitórias com pré-ignições do disjuntor na manobra de energização do transformador com a inclusão de supressores de surto e para-raios.

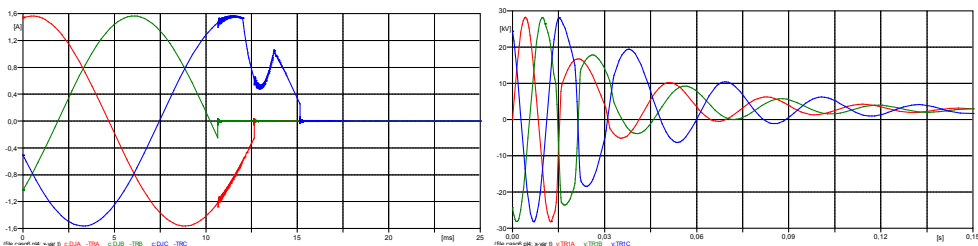


Figura 13 - Simulação das correntes e tensões transitórias com reignições do disjuntor na manobra de desenergização do transformador com a inclusão de supressores de surto e para-raios.

6 | EXEMPLOS DE APLICAÇÕES DE SUPRESSORES DE SURTO

Apesar das dificuldades e incertezas nas medições de transitórios em instalações já operacionais, os resultados mostram o efeito pertinente à operação de supressores de surto, do tipo RC, em conjunto com para-raios (8). Os comportamentos obtidos nessas medições retratam os resultados de uma instalação com a utilização de protetores de surto, desde a concepção de seu projeto, relacionado a uma linha de produção de celulose, com a utilização de supressores de surto em todos os transformadores de distribuição, conectados junto aos terminais dos transformadores a seco, com tensão de operação em 34,5 kV. Nos casos anteriores, os sistemas de proteção foram instalados em caráter emergencial após as respectivas falhas. Ficou comprovada a efetiva mitigação dos problemas com transformadores a seco devido aos eventos transitórios, pois nenhum tipo de avaria foi identificada desde a energização do primeiro transformador. A Figura 14 mostra resultados de medições de manobras com supressores de surto e para-raios conectados aos terminais dos transformadores (8), sendo verificadas reduções com amortecimentos das sobretensões a cada entrada em operação dos conjuntos de supressores de surto.

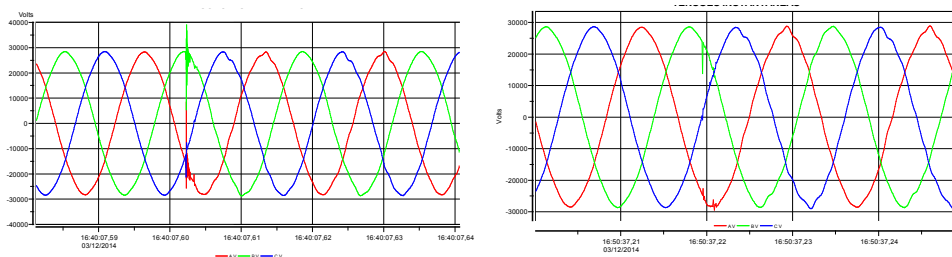


Figura 14 - Medição de tensões em manobras de energização de transformadores com supressores de surto.

A Figura 15 a seguir ilustra alguns exemplos práticos recentes que demonstram os modos de instalação de supressores de surto (RC) para proteção de transformadores a seco em 34,5 kV, frente as sobretensões transitórias resultantes de manobras de disjuntores a vácuo, instalados em sistemas elétricos industriais (7), (8).

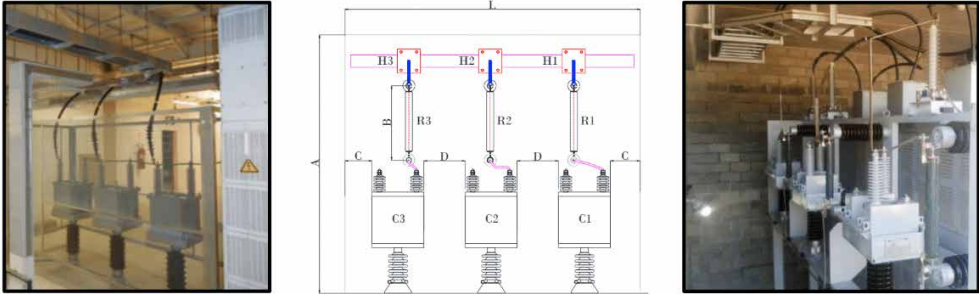


Figura 15 - Exemplos de supressores de surto instalados na proteção de transformadores em 34,5 kV.

71 CONCLUSÕES

As manobras de disjuntores em determinadas condições do sistema podem contribuir para ocorrências de sobretensões transitórias, podendo resultar em problemas operacionais e o comprometimento do desempenho de sistemas elétricos. A modelagem detalhada dos disjuntores, com a inclusão de suas características dielétricas e capacidades de interrupção de correntes em altas frequências, bem como a representação adequada do sistema, é de fundamental importância para análise dos possíveis impactos de transitórios de manobras. Neste sentido, atenção especial deve ser dada à representação dos modelos de transformadores e cabos isolados que compõem os sistemas elétricos em relação as suas respostas em frequência. Foram apresentados os conceitos relacionados às sobretensões resultantes de manobras de chaveamentos de disjuntores, medições durante a ocorrência de fenômenos transitórios, resultados de simulações e exemplos de aplicações com a utilização de supressores de surto. Para eventos de múltiplas reconduções verificam-se a presença de sobretensões repetitivas e de curtíssima duração (Very Fast Transient Overvoltage - VFTO), relacionadas a determinadas condições do sistema, ou seja, eventos de múltiplos pré-arcos durante as manobras de energização (Pré-Strike) e reignições durante as manobras de desenergização (Restrike). Foi devidamente verificado que os supressores de surto do tipo (RC) em conjunto com para-raios reduzem a possibilidade de ocorrências de sobretensões prejudiciais aos transformadores.

Este tema ainda requer muita dedicação e pesquisas aplicadas, pois, sob o aspecto do impacto em equipamentos, existem muitas dúvidas a serem esclarecidas, tais como se as falhas de campo seriam meramente aleatórias, quais as características e configurações do sistema que causam os maiores impactos aos transformadores, como melhorar a representação para avaliação e previsão de possíveis falhas, além de sua efetiva proteção. Diversas pesquisas e estudos correlacionados aos tipos de eventos analisados estão em pleno desenvolvimento, inclusive para sistemas de geração de energias renováveis, como nos casos de centrais de energia fotovoltaicas e eólicas (6), (2). Pode-se citar como exemplo desta tendência a análise e aplicação de indutores de bloqueio em série com o

lado primário dos transformadores, visando reduzir as respectivas taxas de crescimento das tensões (3). Portanto, à medida que as análises estão sendo apuradas nos estudos de casos, proposição e validação de novos modelos, alguns desenvolvimentos estão sendo propostos por fabricantes, como forma de contramedida em relação às possíveis solicitações impostas aos equipamentos, como no caso do aumento de suas suportabilidades para sobretensões transitórias ou a inclusão de um novo conceito, com para-raios localizados em pontos estratégicos nos enrolamentos. De qualquer forma, conclui-se que tanto o desenvolvimento das proteções, seja de ordem interna ou externa, quanto os estudos dedicados apresentam fortes desafios, sendo que um dos principais objetivos é a busca em se determinar quando os dispositivos de proteção são realmente necessários, devido às características probabilísticas da interação transitória com transformadores durante as manobras de disjuntores.

REFERÊNCIAS

- (1) A. Mueller; D. Saemann, **“Switching Phenomena in Medium Voltage Systems - Good Engineering Practice on the Application of Vacuum Circuit-Breakers and Contactors”**, PCIC EUROPE - Petroleum and Chemical Industry Conference Europe Conference Proceedings, 2011.
- (2) Cappai, G.; Heinrich, B.; Simioli, G.; Trevisan, L.; **“Transformers Fault Analysis - A Multidisciplinary Approach”**, Trafotech Workshop, New Delhi, 2016.
- (3) D. Smugala, W. Piasecki, M. Ostrogorska, M. Florkowski, M. Fulczyk; **“Distribution Transformers Protection Against High Frequency Switching Transients”**, Przegląd Elektrotechniczny, reference R. 88 NR 5a/2012.
- (4) E. P. Sutherland, **“Analysis of Integral Snubber Circuit Design for Transformers in Urban High Rise Office Building”**, reference 978-1-4673-0651-5/12, 2012.
- (5) IEEE Std C57.142-2010. **IEEE Guide to Describe the Occurrence and Mitigation of Switching Transients Induced by Transformers, Switching Device, and System Interaction**. New York, IEEE.
- (6) J. Glasdam; C.L. Bak; J. Hjerrild, **“Transient Studies in Large Offshore Wind Farms Employing Detailed Circuit Breaker Representation”**, Energy, 2012.
- (7) N. C. Jesus; J. R. Cogo, L.M. Duarte; L.F.R. Ferreira, **“Modelagem, Simulação e Análise de Transitórios de Manobras para Definição de Supressores de Surto Como Proteção de Transformadores”**, XII CBQEE - Conferência Brasileira sobre Qualidade da Energia Elétrica, Curitiba (PR), 2017.
- (8) N. C. Jesus; J. R. Cogo, L.M. Duarte; L.F.R. Ferreira, et al, **“Medições de Manobras de Energização de Transformadores Considerando a Instalação de Supressores de Surto”**, XI CBQEE - Conferência Brasileira sobre Qualidade da Energia Elétrica, Campina Grande (PB), 2015.
- (9) Peter E. Sutherland , Marcelo Valdes, Gary H. Fox, PE, **“Snubber Design For Transformer Protection”**, IEEE Transactions on Industry Applications, Vol. 52, 2016.

(10) Shipp, D.D., Dionese, T.J., Lorch, V., and MacFarlane, B.G., "**Transformer Failure Due to Circuit-Breaker-Induced Switching Transients**", IEEE Transactions on Industry Applications, Vol. 47, No. 2, March/April 2011.

ÍNDICE REMISSIVO

A

Algoritmo 38, 40, 42, 44, 46, 48, 50, 70, 82, 120, 168, 169, 182, 257, 262, 265, 322, 330

Análise avançada 53, 54, 55, 68

Análise computacional 84, 103

Análise estrutural 55, 71, 82, 84, 85, 92, 93, 94, 95, 97, 103, 109, 110, 111

Aprendizado 13, 174, 193, 194, 197, 208, 215, 224, 268

B

Bullying 206, 207, 208, 210, 211, 212, 213, 214

C

Carga crítica 143, 144, 147, 148, 149, 152, 153

Computational fluid dynamics 329, 330, 350

Constitutive model 1, 2, 5, 6, 10

Contorno 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 49, 50, 51, 71, 299

Controlador neural 168, 169, 170, 171, 172, 173, 174, 175, 179

Controle 19, 119, 120, 131, 168, 169, 171, 173, 174, 175, 176, 177, 178, 179, 180, 181, 182, 240, 295, 312, 352, 353, 356, 358

D

Deep learning 131, 132, 134, 135, 136, 137, 138, 141, 142

Descarte adequado 198

Desenvolvimento 11, 12, 14, 15, 17, 20, 21, 35, 36, 40, 44, 82, 83, 193, 194, 195, 197, 198, 199, 200, 205, 206, 208, 209, 210, 211, 215, 216, 217, 221, 225, 226, 227, 254, 260, 265, 281, 294, 327, 352, 354, 357, 359, 361, 362, 363, 364

Design patterns 155, 156, 166, 167, 226, 227, 228, 230, 231, 234, 238

Diferenças finitas 38, 39, 40, 45, 50, 51, 52, 315

Digital 167, 197, 206, 207, 210, 213, 239, 243, 319, 320, 358, 359, 360, 362, 363, 365

Drop test 131, 132, 133, 134, 135, 141

E

Educação 12, 13, 14, 21, 53, 68, 70, 191, 193, 195, 197, 208, 212, 215, 225, 279, 290, 311, 326, 359, 366

Educacional 14, 82, 206, 208, 209

Elemento hexaédrico 70, 72, 75, 77

Elementos finitos 53, 55, 69, 70, 71, 72, 83, 279, 280, 281, 285, 286, 290, 291, 294, 297,

299, 303, 306, 309, 321

Equações diferenciais 39, 40, 44, 51, 71, 294

Estabilidade estrutural 143

Estatística 21, 215, 216, 217, 218, 224, 225

Estrutura 17, 38, 54, 71, 72, 75, 77, 78, 81, 82, 84, 85, 87, 89, 90, 91, 97, 98, 99, 101, 102, 103, 104, 106, 112, 113, 114, 115, 116, 117, 118, 152, 218, 221, 253, 266, 279, 280, 281, 282, 283, 284, 286, 288, 291, 292, 293, 297, 298, 302, 309, 362, 363

F

Ferramenta 15, 18, 22, 39, 193, 194, 195, 196, 200, 204, 210, 211, 216, 224, 294, 313, 354, 356, 360, 361, 363

Frequências naturais 143, 144, 146, 147, 149, 150, 151, 152, 153

Fundação elástica 143

G

Geometria irregular 38

Gestão de processos 351, 352, 354, 355, 358

I

Imperfeições geométricas iniciais 53, 54, 55, 62, 64, 67, 69

Inclusão 29, 33, 35, 36, 67, 68, 197, 359, 360

Industrial process 131

Informação 12, 21, 193, 205, 216, 351, 354, 355, 356, 357, 358, 360, 366

Inovação 86, 104, 105, 193, 366

Interfaces 215, 216, 225, 231, 232, 233, 234, 235, 361

J

Jogo 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 206, 207, 209, 210, 211, 212, 213

L

Layout 221, 222, 359, 360, 362

Libras 11, 12, 13, 14, 17, 18, 19, 20, 21, 22

M

Malha 38, 39, 40, 44, 45, 46, 49, 50, 72, 79, 108, 182, 285, 299, 303, 304, 313, 321, 322, 326

Modelagem 31, 33, 35, 36, 38, 39, 70, 72, 149, 194, 251, 255, 268, 280, 285, 294, 295, 299, 305, 351, 352, 353, 354, 356, 357, 358

Modos incompatíveis 70, 72, 75, 76, 77, 79, 80, 82, 83

O

Oscar Niemeyer 84, 85, 86, 87, 89, 101, 102, 103, 104, 105, 118

P

Pasternak 143, 144, 145, 149, 151, 153, 154

Processos 82, 171, 240, 312, 351, 352, 353, 354, 355, 356, 357, 358, 359, 361

Programação 72, 211, 215, 224, 361

Programas 55, 205, 206, 210, 214, 294, 359

Projeto socioambiental 198

R

Realidade aumentada 193, 194, 195, 196, 197

Rede neural 168, 169, 171, 175

Resistência 53, 54, 55, 56, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 89, 96, 131, 145, 255, 256, 258, 261, 262, 263, 280, 294, 314

Robô 168, 169, 170, 173, 174, 175, 176, 177, 178, 179

Robótica 168

RPG 11, 12, 15, 16, 18

RStudio 215, 216, 217, 218, 220, 224, 225

S

Shiny 215, 216, 217, 218, 220, 221, 224, 225

Simulações 23, 24, 30, 31, 33, 35, 38, 44, 50, 168, 169, 175, 181, 311, 312, 326, 329

Sobretensões de manobras 23, 24, 25, 29, 30

Software 1, 6, 12, 18, 40, 53, 55, 66, 70, 71, 72, 77, 79, 80, 82, 103, 155, 156, 157, 158, 159, 166, 167, 196, 210, 215, 216, 217, 218, 220, 224, 225, 226, 227, 228, 229, 230, 231, 232, 233, 235, 237, 238, 239, 256, 257, 263, 265, 266, 267, 281, 285, 297, 299, 300, 311, 320, 321, 330, 356, 357, 359, 360, 363, 364

Stable hysteresis cycle 1, 3, 9

Summarization 329, 330, 331, 332, 343, 349, 350

Supressores de surto 23, 25, 28, 29, 30, 33, 34, 35, 36

Sustentabilidade 198, 199

T

Tecnologia 11, 12, 21, 54, 70, 168, 193, 194, 196, 197, 206, 208, 215, 279, 290, 311, 326, 351, 355, 358, 359, 362, 366

Tensão 1, 24, 25, 26, 27, 28, 33, 34, 59, 62, 63, 66, 67, 75, 170, 255, 256, 258, 260, 261,

266, 295

Tensões residuais 53, 54, 55, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69

Transformadores 23, 24, 25, 28, 30, 34, 35, 36

Transitórios eletromagnéticos 23, 24, 31

W

Web 54, 194, 195, 196, 200, 215, 216, 217, 218, 221, 222, 225, 355, 359, 360, 361, 362, 363, 365

COLEÇÃO

DESAFIOS DAS ENGENHARIAS:






ENGENHARIA DE COMPUTAÇÃO

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

COLEÇÃO

DESAFIOS DAS ENGENHARIAS:

ENGENHARIA DE COMPUTAÇÃO

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