



Atena
Editora

Ano 2020

João Dallamuta
Henrique Ajuz Holzmann
Marcelo Henrique Granza
(Organizadores)

**Engenharia Elétrica
e de Computação:
Atividades Relacionadas com
o Setor Científico e Tecnológico**

2

A black and white photograph of a hand holding a square microchip. The chip is densely packed with small components and has a grid of pins around its perimeter. The background is a blurred workshop or laboratory setting with various electronic components and tools.

Atena
Editora

Ano 2020

João Dallamuta
Henrique Ajuz Holzmann
Marcelo Henrique Granza
(Organizadores)

**Engenharia Elétrica
e de Computação:
Atividades Relacionadas com
o Setor Científico e Tecnológico**

2

2020 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do Texto © 2020 Os autores

Copyright da Edição © 2020 Atena Editora

Editora Chefe: Prof^a Dr^a Antonella Carvalho de Oliveira

Diagramação: Camila Alves de Cremo

Edição de Arte: Lorena Prestes

Revisão: Os Autores



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição *Creative Commons*. Atribuição 4.0 Internacional (CC BY 4.0).

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores. 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.

Conselho Editorial

Ciências Humanas e Sociais Aplicadas

Prof^a Dr^a Adriana Demite Stephani – Universidade Federal do Tocantins

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

Prof. Dr. Alexandre Jose Schumacher – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso

Prof^a Dr^a Angeli Rose do Nascimento – Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro

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

Prof^a Dr^a Cristina Gaio – Universidade de Lisboa

Prof^a Dr^a Denise Rocha – Universidade Federal do Ceará

Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia

Prof. Dr. Edvaldo Antunes de Farias – Universidade Estácio de Sá

Prof. Dr. Eloi Martins Senhora – Universidade Federal de Roraima

Prof. Dr. Fabiano Tadeu Grazioli – Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões

Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná

Prof. Dr. Gustavo Henrique Cepolini Ferreira – Universidade Estadual de Montes Claros

Prof^a Dr^a Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice

Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense

Prof^a Dr^a Keyla Christina Almeida Portela – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso

Prof^a Dr^a Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins

Prof. Dr. Luis Ricardo Fernandes da Costa – Universidade Estadual de Montes Claros

Prof^a Dr^a Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte

Prof. Dr. Marcelo Pereira da Silva – Universidade Federal do Maranhão

Prof^a Dr^a Miranilde Oliveira Neves – Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará

Prof^a Dr^a Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa

Prof^a Dr^a Rita de Cássia da Silva Oliveira – Universidade Estadual de Ponta Grossa

Prof^a Dr^a Sandra Regina Gardacho Pietrobon – Universidade Estadual do Centro-Oeste

Prof^a Dr^a Sheila Marta Carregosa Rocha – Universidade do Estado da Bahia

Prof. Dr. Rui Maia Diamantino – Universidade Salvador

Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará

Prof^a Dr^a 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
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. 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
Prof. Dr. Edson da Silva – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri
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
Prof. Dr. Fernando José Guedes da Silva Júnior – Universidade Federal do Piauí
Profª Drª Gabriela Vieira do Amaral – Universidade de Vassouras
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria
Profª Drª Iara Lúcia Tescarollo – Universidade São Francisco
Prof. Dr. Igor Luiz Vieira de Lima Santos – Universidade Federal de Campina Grande
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 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
Profª Drª Renata Mendes de Freitas – Universidade Federal de Juiz de Fora
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª 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^a Dr^a Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande
Prof^a Dr^a 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^a Dr^a Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba
Prof^a Dr^a Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

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. Adaylson Wagner Sousa de Vasconcelos – Ordem dos Advogados do Brasil/Seccional Paraíba
Prof. Me. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão
Prof^a Dr^a Andreza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico
Prof^a Dr^a Andrezza Miguel da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia
Prof. Dr. Antonio Hot Pereira de Faria – Polícia Militar de Minas Gerais
Prof^a Ma. Bianca Camargo Martins – UniCesumar
Prof^a 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
Prof^a Dr^a Cláudia Taís Siqueira Cagliari – Centro Universitário Dinâmica das Cataratas
Prof. Me. Daniel da Silva Miranda – Universidade Federal do Pará
Prof^a Ma. Daniela da Silva Rodrigues – Universidade de Brasília
Prof^a Ma. Dayane de Melo Barros – Universidade Federal de Pernambuco
Prof. Me. Douglas Santos Mezacas – Universidade Estadual de Goiás
Prof. Dr. Edwaldo Costa – Marinha do Brasil
Prof. Me. Eduardo Gomes de Oliveira – Faculdades Unificadas Doctum de Cataguases
Prof. Me. Eliel Constantino da Silva – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita
Prof. Me. Euvaldo de Sousa Costa Junior – Prefeitura Municipal de São João do Piauí
Prof^a 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
Prof^a Dr^a Germana Ponce de Leon Ramírez – Centro Universitário Adventista de São Paulo
Prof. Me. Gevair Campos – Instituto Mineiro de Agropecuária
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
Prof^a Ma. Jaqueline Oliveira Rezende – Universidade Federal de Uberlândia
Prof. Me. Javier Antonio Albornoz – University of Miami and Miami Dade College
Prof^a Ma. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho
Prof. Me. Jhonatan da Silva Lima – Universidade Federal do Pará
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 Ma. Juliana Thaisa Rodrigues Pacheco – Universidade Estadual de Ponta Grossa
 Profª Drª Kamilly Souza do Vale – Núcleo de Pesquisas Fenomenológicas/UFPA
 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. Lilian 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. Me. 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. Marileila Marques Toledo – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri
 Prof. Me. Ricardo Sérgio da Silva – Universidade Federal de Pernambuco
 Prof. Me. Rafael Henrique Silva – Hospital Universitário da Universidade Federal da Grande Dourados
 Profª Ma. Renata Luciane Polsaque Young Blood – UniSecal
 Profª Ma. Solange Aparecida de Souza Monteiro – Instituto Federal de São Paulo
 Prof. Me. Tallys Newton Fernandes de Matos – Faculdade Regional Jaguaribana
 Prof. Dr. Welleson Feitosa Gazel – Universidade Paulista

| Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG) | |
|---|---|
| E57 | <p>Engenharia elétrica e de computação [recurso eletrônico] : atividades relacionadas com o setor científico e tecnológico 2 / Organizadores João Dallamuta, Henrique Ajuz Holzmann, Marcelo Henrique Granza. – Ponta Grossa, PR: Atena, 2020.</p> <p>Formato: PDF Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader Modo de acesso: World Wide Web Inclui bibliografia ISBN 978-65-5706-168-8 DOI 10.22533/at.ed.688200707</p> <p>1. Ciência da computação – Pesquisa – Brasil. 2. Engenharia elétrica – Pesquisa – Brasil. I. Dallamuta, João. II. Holzmann, Henrique Ajuz. III. Granza, Marcelo Henrique.</p> <p style="text-align: right;">CDD 623.3</p> |
| Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422 | |

Atena Editora
 Ponta Grossa – Paraná - Brasil
www.atenaeditora.com.br
 contato@atenaeditora.com.br

APRESENTAÇÃO

Não há padrões de desempenho em engenharia elétrica e da computação que sejam duradouros. Desde que Gordon E. Moore fez a sua clássica profecia tecnológica, em meados dos anos 60, a qual o número de transistores em um chip dobraria a cada 18 meses - padrão este válido até hoje – muita coisa mudou. Permanece porém a certeza de que não há tecnologia na neste campo do conhecimento que não possa ser substituída a qualquer momento por uma nova, oriunda de pesquisa científica nesta área.

Produzir conhecimento em engenharia elétrica e da computação é, portanto, atuar em fronteiras de padrões e técnicas de engenharia. Algo desafiador para pesquisadores e engenheiros.

Neste livro temos uma diversidade de temas nas áreas níveis de profundidade e abordagens de pesquisa, envolvendo aspectos técnicos e científicos. Aos autores e editores, agradecemos pela confiança e espírito de parceria.

Boa leitura!

João Dallamuta
Henrique Ajuz Holzmann
Marcelo Henrique Granza

SUMÁRIO

| | |
|---|-----------|
| CAPÍTULO 1 | 1 |
| PARADOXOS, RISCOS E REQUISITOS DA NOVA MATRIZ DE ENERGIA ELÉTRICA BRASILEIRA | |
| Vitor Silva Duarte | |
| Mario Jorge Daher | |
| Alex Nunes de Almeida (<i>in memoriam</i>) | |
| Maria Aparecida Martinez | |
| DOI 10.22533/at.ed.6882007071 | |
| CAPÍTULO 2 | 14 |
| ANÁLISE DO IMPACTO DE GERAÇÕES RENOVÁVEIS SOBRE A MARGEM DE ESTABILIDADE DE TENSÃO POR MEIO DE REGIÕES DE SEGURANÇA | |
| Paulo Andrade Novaes | |
| Antonio Carlos Zambroni de Souza | |
| Fábio da Costa Medeiros | |
| DOI 10.22533/at.ed.6882007072 | |
| CAPÍTULO 3 | 28 |
| APLICAÇÃO DE MODELO MULTIOBJETIVO DE ALOCAÇÃO DE GERADORES DISTRIBUÍDOS EM SISTEMAS DE DISTRIBUIÇÃO CONSIDERANDO OBRAS DE CONEXÃO DA REDE | |
| Paulo Sérgio Zanin Júnior | |
| Lina Paola Garcés Negrete | |
| Gelson Antônio Andrêa Brigatto | |
| DOI 10.22533/at.ed.6882007073 | |
| CAPÍTULO 4 | 43 |
| COMPLEXIDADES DA OPERAÇÃO DO SIN E SEUS IMPACTOS NO PLANEJAMENTO DA EXPANSÃO | |
| Vinicius Ragazi David | |
| Daniela Souza | |
| Leonardo Calabro | |
| João Carlos Mello | |
| Xisto Vieira Filho | |
| Edmundo P. Silva | |
| DOI 10.22533/at.ed.6882007074 | |
| CAPÍTULO 5 | 61 |
| ESTRATÉGIAS DE O&M UTILIZADAS NA GESTÃO DE DESEMPENHO DOS PARQUES EÓLICAS, EM TEMPO REAL, PÓS OPERAÇÃO E ENGENHARIA DE MANUTENÇÃO NO CURTO E MÉDIO PRAZO, MOSTRANDO OS RESULTADOS OBTIDOS COM A UTILIZAÇÃO DE BIGDATA, BUSINESS INTELLIGENCE E MACHINE LEARNING | |
| Flávio Martins ribeiro | |
| Marcus Antonius Queiroz da Cunha | |
| DOI 10.22533/at.ed.6882007075 | |
| CAPÍTULO 6 | 72 |
| IMPACT OF HOURLY PRICES ON FUTURE WIND FARM CONTRACTS IN BRAZIL | |
| João Carlos De Oliveira Mello | |
| Cláudio Ferreira | |
| Lucas Soares | |
| André Castro | |
| Daniela Souza | |
| Evelina Neves | |
| DOI 10.22533/at.ed.6882007076 | |

| | |
|--|------------|
| CAPÍTULO 7 | 83 |
| DESAFIOS ENCONTRADOS NA IMPLANTAÇÃO DE SISTEMA DE MONITORAMENTO CONTÍNUO DE EMISSÕES ATMOSFÉRICAS NO COMPLEXO TERMELÉTRICO JORGE LACERDA | |
| Liliana Dutra dos Santos | |
| Rofferson Rosa Izidoro | |
| Daniel José Schmitz de Aguiar | |
| Fábio Silveira Costa | |
| Juceli Locks Junior | |
| DOI 10.22533/at.ed.6882007077 | |
| CAPÍTULO 8 | 96 |
| AVALIAÇÃO DE ESFORÇOS DINÂMICOS EM FUNÇÃO DA VARIAÇÃO DE PARÂMETROS ENVOLVIDOS NO CÁLCULO PARA ESTRUTURAS DE SUBESTAÇÕES | |
| Rafael Faria da Silva | |
| DOI 10.22533/at.ed.6882007078 | |
| CAPÍTULO 9 | 108 |
| ESTUDO E SIMULAÇÃO DE PROTEÇÃO DE ZONA MORTA EM SUBESTAÇÃO DE TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA | |
| Rodrigo Niederauer da Silva | |
| DOI 10.22533/at.ed.6882007079 | |
| CAPÍTULO 10 | 121 |
| ELETROENCEFALÓGRAFO DE BAIXO CUSTO: CONCEITOS E PROJETO | |
| Vitor Nestro Rauffmann | |
| Pedro Bertemes Filho | |
| DOI 10.22533/at.ed.68820070710 | |
| CAPÍTULO 11 | 135 |
| FONTES DE CORRENTE EM TOMOGRAFIA DE IMPEDÂNCIA ELÉTRICA MULTIFREQUENCIAL: ESTADO DA ARTE | |
| Lucas Cordeiro Butzke | |
| Pedro Bertemes Filho | |
| DOI 10.22533/at.ed.68820070711 | |
| CAPÍTULO 12 | 148 |
| TEORIA E ESTUDOS DE APLICAÇÕES DA TRANSFORMADA FRACIONAL DE FOURIER | |
| Leonardo Audalio Ferreira do Nascimento | |
| Adailton Braga Júnior | |
| Beatriz Cristina Reis Cordeiro | |
| Marcelo Luiz de Carvalho Ribeiro | |
| Pierre Teixeira Rodrigues | |
| Petrus Luiz Luna Pequeno | |
| Antônio Carlos Duarte Ricciotti | |
| Viviane Barrozo da Silva Duarte Ricciotti | |
| DOI 10.22533/at.ed.68820070712 | |

| | |
|--|------------|
| CAPÍTULO 13 | 166 |
| RELÉ INTELIGENTE BASEADO NA LÓGICA PARACONSISTENTE ANOTADA DE 4 VALORES MULTIFUNCIONAL - RI LPA4V | |
| Viviane Barrozo da Silva Ghendy Cardoso Júnior Antonio Carlos Duarte Ricciotti Pierre Teixeira Rodrigues Marcelo Luiz De Carvalho Ribeiro | |
| DOI 10.22533/at.ed.68820070713 | |
| CAPÍTULO 14 | 179 |
| OPEN SOURCE MODULAR DIDACTIC PLATFORM FOR POWER ELECTRONICS TEACHING | |
| Lucas Koleff Gustavo Soares Valentim Luciana da Costa Marques Victor Praxedes Rael Adrian D'Lucas Cardoso Gonçalves Wilson Komatsu Lourenço Matakas Junior | |
| DOI 10.22533/at.ed.68820070714 | |
| CAPÍTULO 15 | 204 |
| AUTOMAÇÃO DA CABINE DE LIMPEZA DE IMPRESSÃO 3D BINDER JETTING | |
| João Batista Machado Silva Leonardo Bevilaqua dos Santos Lucas Leandro Gomes Mariana Silva do Nascimento Gonçalves Vinícius de Moares Barboza Rogério Luis Spagnolo da Silva | |
| DOI 10.22533/at.ed.68820070715 | |
| CAPÍTULO 16 | 218 |
| USO DE REDES NEURAIS ARTIFICIAIS PARA OBTENÇÃO DE UM SENSOR AR/COMBUSTÍVEL VIRTUAL APLICADO A UM MOTOR MONOCILÍNDRICO | |
| Leonardo Faure Nardini Paschoa Sergio Ribeiro Augusto | |
| DOI 10.22533/at.ed.68820070716 | |
| CAPÍTULO 17 | 229 |
| INVESTIGAÇÃO DOS MÉTODOS NORMATIVOS PARA O CÁLCULO E ESTIMAÇÃO DA TEMPERATURA DO TOPO DO ÓLEO EM TRANSFORMADORES DE POTÊNCIA | |
| Daniel Carrijo Polonio Araujo Gabriel De Souza Pereira Gomes Mateus Batista De Moraes Rafael Prux Fehlberg | |
| DOI 10.22533/at.ed.68820070717 | |
| CAPÍTULO 18 | 242 |
| MELHORIA DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA COM A UTILIZAÇÃO DE MANTA TÉRMICA: ESTUDO DE CASO DE UMA INJETORA DE PEÇAS PLÁSTICAS | |
| Ivo Carlos Guarato Júnior Lúcio Rogério Júnior Antônio Manoel Batista da Silva Guilherme Henrique Alves | |
| DOI 10.22533/at.ed.68820070718 | |

| | |
|---|------------|
| CAPÍTULO 19 | 254 |
| DESENVOLVIMENTO E ANÁLISE DE UM SISTEMA PARA PESQUISA DE PRODUTOS DE SUPERMERCADO Marcelo Garcia Palma DOI 10.22533/at.ed.68820070719 | |
| SOBRE OS ORGANIZADORES | 271 |
| ÍNDICE REMISSIVO | 272 |

INVESTIGAÇÃO DOS MÉTODOS NORMATIVOS PARA O CÁLCULO E ESTIMAÇÃO DA TEMPERATURA DO TOPO DO ÓLEO EM TRANSFORMADORES DE POTÊNCIA

Data de aceite: 01/06/2020

Data de submissão: 06/03/2020

Daniel Carrijo Polonio Araujo

Treetech

Atibaia – São Paulo

<http://lattes.cnpq.br/1537435469399482>

Gabriel De Souza Pereira Gomes

Treetech

Atibaia – São Paulo

<http://lattes.cnpq.br/8939339011412533>

Mateus Batista De Moraes

Treetech

Atibaia – São Paulo

<http://lattes.cnpq.br/7679523540529839>

Rafael Prux Fehlberg

Treetech

Atibaia – São Paulo

<http://lattes.cnpq.br/8374623802071665>

RESUMO: Nos dias atuais, uma boa parte dos transformadores possui monitoramento de temperatura do topo do óleo e do ponto mais quente do enrolamento. O monitoramento dessas temperaturas torna possível a aplicação de sobrecargas nos transformadores sem ocasionar defeitos, falhas e suas nefastas consequências, por meio dos dados do sistema

de monitoramento.

Uma notável aplicação é o cálculo e análise on-line da eficiência do sistema de resfriamento de um transformador de potência comparando-se a temperatura do topo do óleo medida diretamente com a calculada. Para que essas análises sejam válidas, o cálculo da temperatura do topo do óleo deve ser preciso e exato. Para realização desses cálculos, existem métodos normativos. Aqueles apresentados pela comunidade nacional são, em geral, os mesmos da comunidade internacional, e nem sempre refletem a realidade climática e de perfil de carregamento do Brasil, onde a temperatura ambiente pode variar mais de 20 °C em apenas um dia e o carregamento de 20 a 110 %. Assim sendo, é de suma importância que a temperatura ambiente utilizada nos cálculos seja sempre medida e não um apenas um parâmetro de entrada fixa, evitando assim erros que venham a comprometer este caro e importante ativo.

Como nos métodos vigentes e normativos são indicadas duas abordagens de análise - uma através de equações exponenciais e outra através de equações diferenciais - este artigo mostra o resultado de ambas quando aplicadas nos mais diversos contextos do Brasil, desde as baixas temperaturas da região sul às temperaturas mais altas da região nordeste,

além de situações de alto e baixo carregamento. Também é proposta de uma nova abordagem em desenvolvimento, que possa corresponder a nossa realidade e servir de ferramenta útil para os operadores de sistema.

PALAVRAS-CHAVE: Temperatura do Topo do Óleo; Imagem Térmica; IEC 60076-7; Eficiência do Resfriamento; Carregamento de Transformadores de Potência;

ABSTRACT: Nowadays, there are many transformers with top oil and hot-spot winding temperature monitoring. The monitoring of these temperatures makes it possible to apply overloads to the transformers without causing failures and their serious consequences, through the data of the monitoring system.

A notable application is the online calculation and analysis of the power transformer cooling system efficiency by comparing the measured top oil temperature directly with the calculated top oil temperature. For these analyses to be valid, the calculation of the oil top temperature must be precise and accurate. In order to perform these calculations, there are normative methods. Those presented by the national community are, in general, the same as those presented by the international community. These normative methods do not always reflect the climate and loading profile of Brazil where the ambient temperature can vary more than 20 °C in just one day whilst the loading can vary from 20 to 110 %. Therefore, the ambient temperature used in the calculations must be always measured and not just a fixed input parameter, thus avoiding errors that may compromise this expensive and important asset.

In the current normative methods, two analytical approaches are indicated - one using exponential equations and the other using differential equations. This article shows the result of both when applied in the most diverse contexts in Brazil, from the lowest temperatures in the south to the highest temperatures in the northeast region, in addition to high and low loading situations. It is also proposed a new developing approach, which can correspond to Brazilian reality and suit as a useful tool for system operators.

KEYWORDS: Top Oil Temperature; Thermal Image; IEC 60076-7; Cooling Efficiency; Power Transformer Loading.

1 | INTRODUÇÃO

No cenário do sistema elétrico brasileiro é cada vez mais essencial que os transformadores que o compõem sejam bem manuseados operacionalmente, uma vez que cada falha operacional em um transformador gera prejuízos exorbitantes tanto do ponto de vista do sistema, pela indisponibilidade do ativo, possivelmente sobrecarregando outros ativos e podendo levar a outras falhas consecutivas ou degradação (PREVOST, 2006, p.28-35) acelerada desses, quanto do ponto de vista econômico, pela multa cobrada pelo órgão regulador brasileiro, a Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL.

Visando reduzir esses riscos, a ANEEL (AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2016, p.1-6) estipula procedimentos e diretrizes obrigatórias para a colocação

de ativos em operação, como a instalação de relés de proteção, para segurança ante a faltas no sistema ou no ativo, e de sistemas de monitoramento contínuo por meio do uso de sensores como o termômetro digital ou analógico. A utilização desses sensores, quando construídos baseados nas normas brasileiras e mundiais, se adequa aos mesmos critérios balizadores da construção do próprio ativo, permitindo que este seja utilizado em seu máximo potencial sem danos ou prejuízos de curto ou longo prazo.

Dentre os diversos fatores que se podem monitorar de um transformador, a temperatura é tida como uma das mais importantes, sendo o fator preponderante para a determinação da vida útil restante de um transformador. Geralmente, a temperatura do topo do óleo é medida utilizando um sensor de temperatura (composto por um transdutor e um sistema de condicionamento) e então a partir do cálculo de imagem térmica estima-se a temperatura do ponto mais quente do enrolamento.

Uma notável aplicação é o cálculo e análise on-line da eficiência do sistema de resfriamento de um transformador de potência comparando-se a temperatura do topo do óleo medida diretamente com a calculada. Ademais, em alguns casos especiais a temperatura do topo do óleo é calculada e não medida diretamente. O motivo geralmente advém de alguma dificuldade ou mesmo impedimento mecânico para a instalação do transdutor de temperatura.

É nesse âmbito que este artigo propõe investigar os modelos presentes nas três principais normas sobre transformadores isolados a óleo: IEEE C57.91, IEC 60076-7 e NBR 5416/NBR 5356-7, bem como trazer simulações e análises matemáticas considerando o impacto que cada variável no cálculo traz no modelamento térmico, quando comparado com a realidade, e trazer a comparação entre cada método das normas.

2 | O CONTEXTO DE APLICAÇÃO DA ESTIMAÇÃO DA TEMPERATURA DE TOPO DO ÓLEO

Atualmente, transformadores de potência necessitam de um monitoramento contínuo de certas variáveis que indicam o seu estado operacional, como temperatura do óleo, temperatura do enrolamento, isolação das buchas, gases e umidade no óleo e funcionamento de ventiladores e bombas. Monitorando esses e outros fatores, os responsáveis pela operação obtêm subsídios para tomar decisões operativas de desligamento ou de manutenção preventiva e preditiva, baseando-se na condição observável pelos equipamentos de monitoração. Além disso, o transformador conta com sistemas de proteção no caso de falhas internas, para impedir o dano dos equipamentos adjacentes e o agravamento da falha do próprio ativo.

A monitoração da temperatura do enrolamento de um transformador é mais custosa se for realizada diretamente por meio de fibra ótica, uma vez que as fibras de medição

são inseridas na construção do ativo e são muito mais difíceis de serem mantidas, especialmente na ocorrência de danos na parte interna dessas fibras. Por isso, a solução mais utilizada para o monitoramento da temperatura do enrolamento é o cálculo feito pelo método da imagem térmica. Esse método baseia-se em ensaios de fábrica que determinam os parâmetros térmicos do transformador e, assim, tendo os valores de temperatura ambiente e do óleo, multiplicado por um fator que considera que o enrolamento possui pontos de maior aquecimento, é possível calcular a temperatura do enrolamento. A Figura 01 ilustra o modelo térmico mais básico utilizado para o cálculo das temperaturas do transformador.

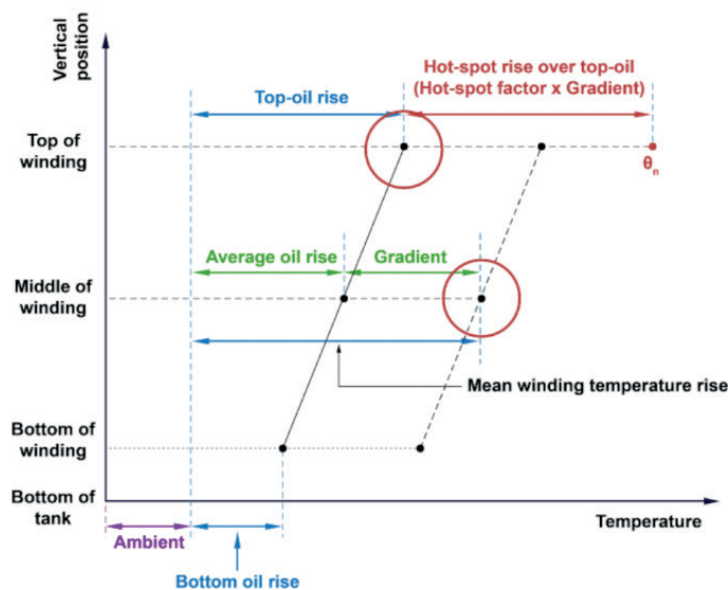


Figura 01: Diagrama básico do modelamento térmico do transformador (IEC 60076-7:2018)

O modelamento acima é realizado considerando a carga máxima em regime permanente, que são os valores utilizados no ensaio para determinação do gradiente óleo-ambiente, gradiente enrolamento-óleo entre outros valores construtivos do transformador. Entretanto, de modo geral, as cargas de um transformador variam ao longo do dia, assim como a temperatura ambiente, onde numa janela de 24 horas, podem haver variações maiores que 20 °C, dependendo da região do Brasil. Somado ao fato de que, fisicamente, o transformador é um corpo maciço que possui uma constante de tempo térmica (inércia), ou seja, os efeitos de propagação do calor no transformador são retardados, faz-se necessário lançar mão de um modelamento térmico temporal, que possa descrever o comportamento do transformador em tempo real levando em conta as variações do ambiente e da carga. As normas propõem um modelamento bem similar para os cálculos do transformador, como pode-se ver nas respectivas equações para o cálculo de temperatura do óleo a partir da temperatura ambiente medida (INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION, 2018, p.1-94), (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1997, p.1-92),

(ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2017, p.1-78), em cada uma delas.

O modelamento matemático das normas apresenta a elevação de temperatura do topo do óleo como sendo uma função da carga no transformador e outros parâmetros de ensaio, como perdas, tipo de resfriamento e o gradiente óleo-ambiente nominal para carga nominal. Com um modelamento bem apurado e com constantes determinadas corretamente, as temperaturas calculadas do transformador irão se assemelhar muito às temperaturas reais do ativo. Nesse sentido, considerando o modelamento das normas e comparando a temperatura do óleo medida com a temperatura do óleo calculada, é possível inferir se o sistema de resfriamento do ativo, composto pelos radiadores, ventiladores e bombas estão operando corretamente, uma vez que a temperatura calculada depende apenas da carga e temperatura ambiente, medida diretamente. Por exemplo, considerando uma carga constante, ao fechar-se um registro do radiador, o que se espera é que a temperatura do óleo medida comece a aumentar, enquanto a calculada permanece constante.

Considerando então a temperatura do óleo como objeto do monitoramento no ponto de vista do resfriamento, para que o cálculo e a comparação de temperaturas funcionem corretamente, é necessário que a temperatura do óleo seja medida por um transdutor de temperatura, como o RTD (*Resistance Temperature Detector*). Dentre os RTDs existentes, destacam-se o Pt100 (feito de platina, com uma resistência de 100 ohms a 0 °C), o mais comum em aplicações de potência é o Pt100.

2.1 O detalhe: A temperatura ambiente

Outro ponto a ser observado é a temperatura ambiente. Uma vez que a temperatura do óleo é obtida a partir da temperatura ambiente, somando-se a ela o gradiente óleo-ambiente para uma determinada carga, é imprescindível que esse valor de temperatura ambiente seja também medido, para não ocorrer uma sobrestimação ou subestimação da temperatura do óleo, dado que o gradiente já é uma parcela da equação que é calculada. Apesar de existir a possibilidade de se considerar a temperatura ambiente fixa para o cálculo, a norma IEEE C57.91 apresenta a estimativa da temperatura ambiente considerando dados meteorológicos anuais para uma melhor estimativa da temperatura ambiente em um determinado mês ou período do ano, mas encoraja esse uso apenas para previsões de carregamentos relativas ao planejamento seguro da operação do transformador, e não para a monitoração on-line (INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS, 2011, p.1-112). Considerar a temperatura ambiente fixa para o cálculo dificilmente aplicar-se-ia no contexto do Brasil, uma vez que as variações diárias em cada estação do ano e em cada região do país podem ser bem distintas.

Ainda sobre a temperatura ambiente, vale apontar que, para um cálculo realmente

expressivo da temperatura do topo do óleo do transformador, a medição de temperatura do ambiente deve ser em um ponto mais próximo ao transformador, para que seja considerado o lugar em que o transformador está da maneira mais fiel possível à realidade. Entretanto, mesmo assim, o cálculo da temperatura do topo do óleo deve ser utilizado apenas para diagnosticar possíveis defeitos no sistema de resfriamento do transformador. Para o cálculo da imagem térmica do enrolamento, a temperatura do topo do óleo deve ser medida, minimizando os erros de cálculo que serão discutidos posteriormente.

3 | DOS EQUACIONAMENTOS POSSÍVEIS PARA O CÁLCULO DA TEMPERATURA DE TOPO DO ÓLEO: EXPONENCIAL E DIFERENCIAL

As normas mais antigas, como a NBR-5416 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1997, p.1-92), IEEE C57.91 de 1995 (INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS, 1995, p.1-112) e IEC 60076-7 de 2005 (INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION, 2005, p.1-94), tratam o equacionamento de temperatura de forma exponencial, em que qualquer variação no gradiente óleo-ambiente ou na temperatura ambiente é refletida no topo do óleo por meio de uma curva exponencial que leva em conta a constante térmica do transformador. A Figura 02 exemplifica esse fenômeno.

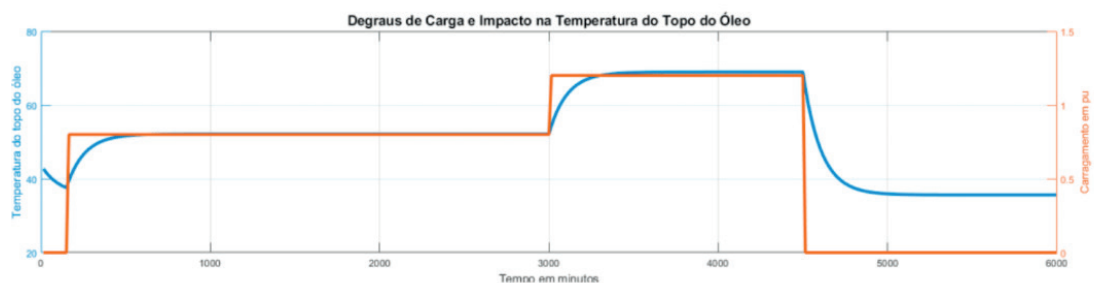


Figura 02: Um degrau na carga e o respectivo impacto na temperatura do topo do óleo

Aplicando a um transformador real, temos a seguinte resposta, mostrada na Figura 03.

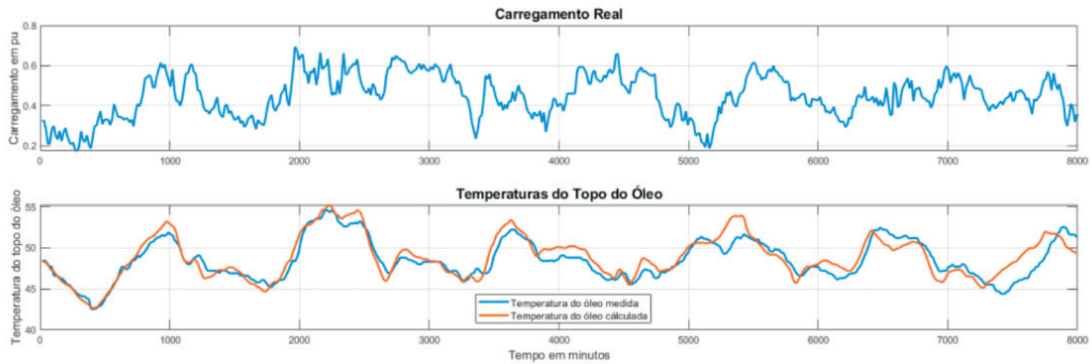


Figura 03: Carregamento real de um transformador e o respectivo impacto na temperatura do topo do óleo

Recentemente, a norma NBR 5356-7 de 2017 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2017, p.1-72) trouxe uma abordagem já mencionada na IEC 60076-2005 (INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION, 2005, p.1-94) para o cálculo temporal da temperatura do óleo e do enrolamento por meio de equações de diferenças, que é um método numérico para calcular a resposta de equações diferenciais, enquanto a nova IEEE C57.91 de 2011 (INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS, 2011, p.1-112) manteve seu método exponencial. Essas equações diferenciais, quando resolvidas analiticamente, recaem no método das equações exponenciais. Aplicando-se o método das equações de diferenças, comparando com o método exponencial, tem-se o seguinte resultado, mostrado na Figura 04.

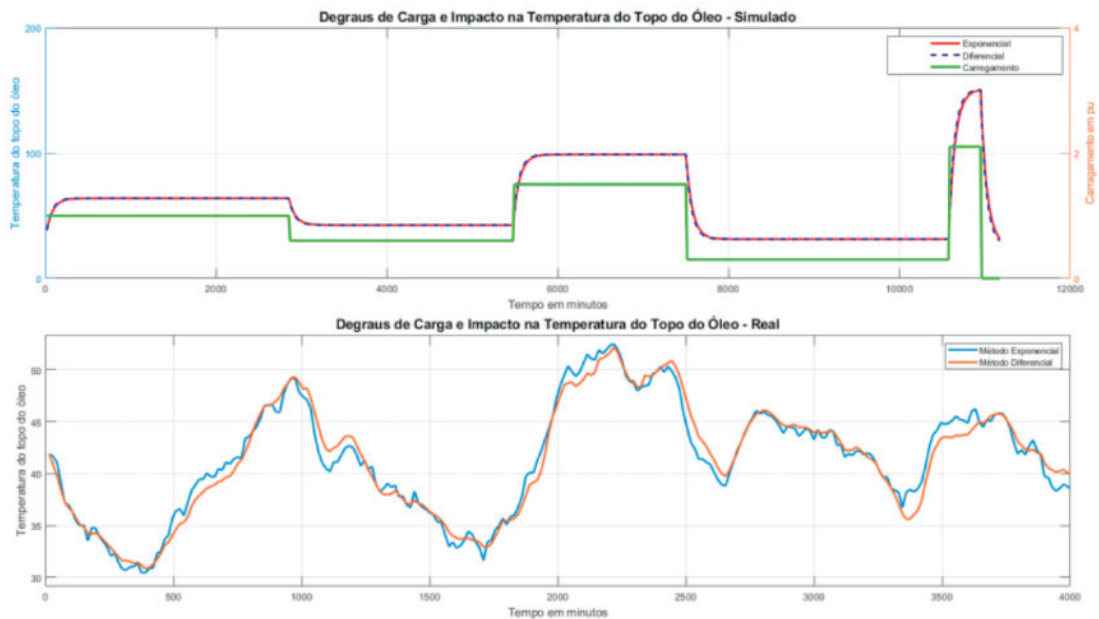


Figura 04: Comparação entre o método exponencial e diferencial para diferentes perfis de carregamento

Como é possível observar, o método das equações de diferenças apresenta um cálculo um pouco mais filtrado. Isso se dá devido a melhor dinâmica (provida pela

derivada) da equação de diferenças em relação ao método das exponenciais, como pode ser percebido no diagrama de controle mostrado a seguir, na Figura 05.

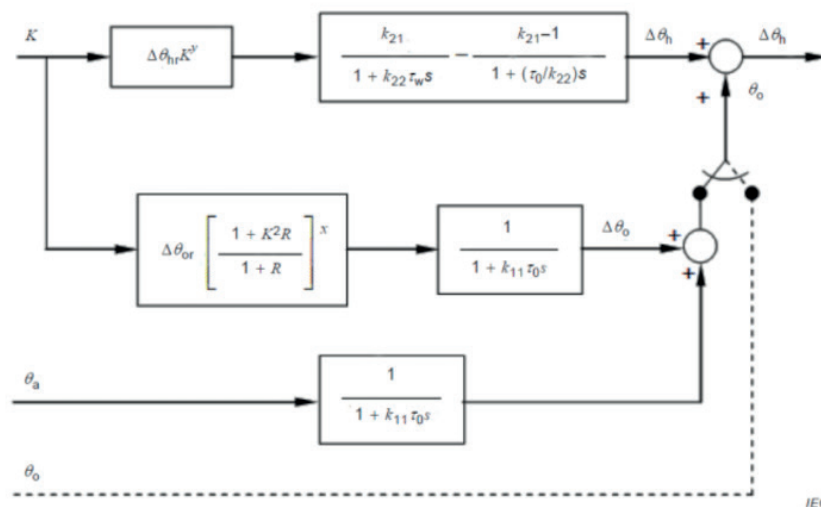


Figura 05: Fluxograma das equações da IEC 60076-7:2018, mostrando as duas origens possíveis para a temperatura do topo do óleo, medida ou calculada

Como se pode ver na Figura 05, os blocos têm um modelamento semelhante a um filtro de primeira ordem. Esse efeito de filtragem representa a resposta inercial do óleo a variações rápidas de carga. Também é possível notar a chave de seleção do diagrama, que indica a possibilidade de realizar o cálculo da temperatura do enrolamento a partir da temperatura do óleo oriunda do cálculo, considerando-se para tal a temperatura ambiente, ou por medição direta, por meio do transdutor de temperatura. Note que, na opção pelo cálculo a partir da temperatura ambiente, se esta não for medida, mas estimada ou fixa, o modelo dificilmente irá refletir as condições reais de óleo e enrolamento, um sério limitante para efeitos de operação em tempo real.

4 | VALIDAÇÃO DOS MODELOS: A APLICAÇÃO EM TRÊS CASOS REAIS

Para validar esses modelos, foram utilizados dados de três transformadores no período de uma semana. Esses dados, são de transformadores em condições normais de operação, com o sistema de resfriamento funcionando perfeitamente. Com a temperatura do óleo medida, o carregamento e a temperatura ambiente de cada transformador, foi possível estudar o comportamento de cada método da norma e comparar com a temperatura do óleo medida. Para isso, também foram levantados os resultados do ensaio de temperatura destes transformadores, a fim de que fosse possível o correto funcionamento dos modelos. A Tabela 01 apresenta estes dados de ensaio.

| | T1 | T2 | T3 |
|---|------|------|------|
| Potência (MVA) | 100 | 25 | 250 |
| Perdas CC (kW) | 320 | 216 | 610 |
| Perdas em vazio (kW) | 45 | 17 | 65 |
| Refrigeração | ONAF | ONAF | ONAF |
| GOA (do último estágio de resfriamento) | 30 | 35,1 | 36,7 |

Tabela 01: Dados dos transformadores (T1, T2, T3) analisados

Abaixo, na Figura 06, temos os resultados das simulações dos modelos exponencial e diferencial para cada um dos transformadores. A Tabela 02, a seguir, mostra a distribuição das diferenças entre as temperaturas medida e calculada para cada simulação.

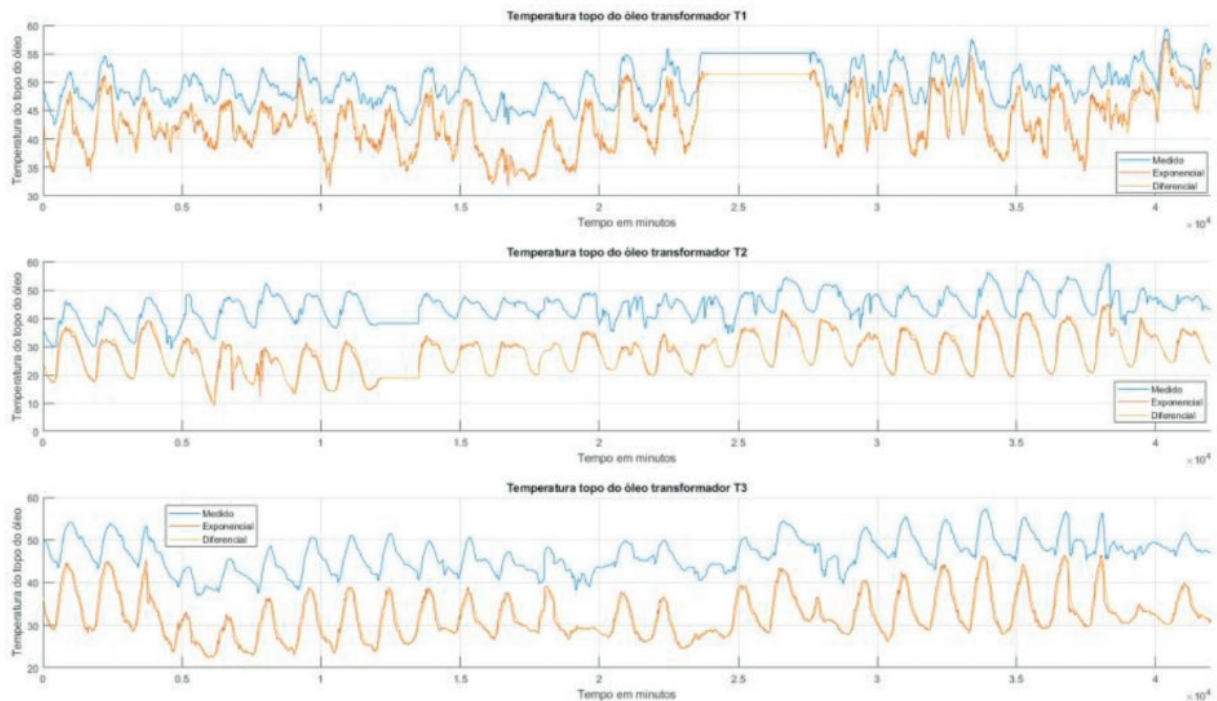


Figura 06: Resultados do modelo diferencial e exponencial para cada transformador estudado

| T1 | Exponenci al | Diferenci al | T2 | Exponenci al | Diferenci al | T3 | Exponenci al | Diferenci al |
|----------------------|-----------------|-----------------|----------------------|-----------------|-----------------|----------------------|-----------------|-----------------|
| Máxim o | 15,3 | 13 | Máxim o | 34,26 | 26,26 | Máxim o | 21,33 | 19,32 |
| Mínim o | 0,30 | 1,75 | Mínim o | 3,33 | 3,88 | Mínim o | 5,31 | 7,36 |
| Média | 6,27 | 6,26 | Média | 16,33 | 16,33 | Média | 14,35 | 14,35 |
| Desvio Padrã o | 2,40 | 2,22 | Desvio Padrã o | 4,05 | 3,94 | Desvio Padrã o | 3,18 | 2,60 |

Tabela 02: Resultados analíticos condensados para cada transformador estudado

Observando os gráficos, nota-se que para cargas baixas (abaixo de 40 %), existe uma diferença de temperatura aproximadamente constante, como um offset em torno de 10 °C, utilizando-se puramente o modelo proposto nas normas. Isso pode ocorrer devido a alguns fatores não considerados, como correntes de ar, chuvas, imprecisões nos ensaios entre outros. Estes fatores, além de alterarem a temperatura ambiente, alteram a quantidade de calor trocada pelo tanque e o ambiente. Na tabela 03, retirada da própria norma, é possível observar uma diferença de 11,5 °C com 0,3 de fator de carga (INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION, 2018, p.1-94).

| Tempo (min)/Fator de carga | Temperatura do topo do óleo (°C) | | Temperatura do ponto mais quente do enrolamento (°C) | |
|----------------------------|----------------------------------|--------|--|--------|
| | Calculado | Medido | Calculado | Medido |
| 190/1,0 | 61,8 | 58,8 | 83,8 | 82,2 |
| 365/0,6 | 44,4 | 47,8 | 54,9 | 58,6 |
| 500/1,5 | 89,7 | 80,8 | 127,5 | 119,2 |
| 710/0,3 | 35,3 | 46,8 | 39,5 | 49,8 |
| 735/2,1 | 67,0 | 65,8 | 138,2 | 140,7 |
| 750/0,0 | 59,5 | 68,2 | 59,5 | 82,4 |

Tabela 03: Erro de cálculo estimado pela norma IEC 60076-7:2018

Outra maneira possível para o cálculo da temperatura de topo do óleo, é através da estimação de parâmetros em condições saudáveis do transformador, utilizando métodos como o gradiente descendente estocástico. Porém, isso implica que no momento da estimação dos parâmetros, o transformador deve estar em condições operacionais perfeitas, sem nenhum tipo de deficiência em seu resfriamento ou condições anormais

em seu ambiente, a fim de minimizar os erros durante o período posterior de cálculo da temperatura do topo do óleo.

A Figura 07 considera um período de uma semana para estimar os parâmetros do transformador e depois aplica os parâmetros encontrados no restante dos dados. Observe o comportamento do erro.

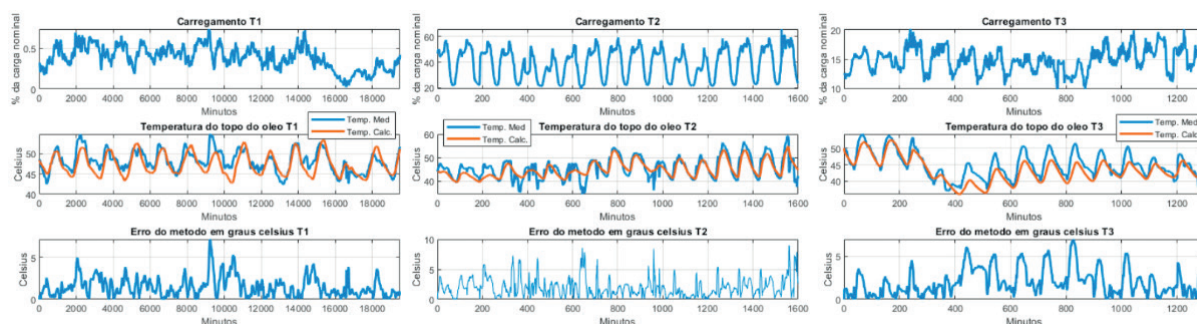


Figura 07: Resultados do método de estimação de parâmetros

5 | O IMPACTO DA VISCOSIDADE NA ACURÁCIA DO MODELO

Uma explicação plausível para o efeito de baixas cargas pode ser encontrada em (ROSLAN, 2017, p. 1843), onde a viscosidade do óleo varia de acordo com a temperatura. Como a viscosidade do óleo influencia na convecção deste dentro do transformador, a troca de calor com o tanque e posteriormente com o ambiente é afetada, ocorrendo com maior ou menor velocidade. Isso, em termos de modelo, impacta diretamente nos parâmetros térmicos do transformador.

Considerando-se o efeito convectivo, em baixas temperaturas, o óleo encontra-se mais viscoso, e sua “mobilidade” dentro do tanque do transformador é menor, trocando menos calor com o ambiente ao passar pelos radiadores. Já em temperaturas mais altas, a viscosidade diminui, fluindo mais facilmente pelo tanque e, conseqüentemente, trocando mais calor com o ambiente. Modelando esse efeito, é possível realizar alterações nas equações propostas nas normas e obter um cálculo mais apurado. A Figura 08 compara os resultados obtidos pelo modelo diretamente retirado da norma e pelo modelo considerando a viscosidade do óleo.

Pela Figura 09, é possível perceber, para esses dados analisados, a melhora significativa no método, com a diminuição significativa do erro das estimativas. Isso embasa o fato da influência da viscosidade no modelamento térmico dos transformadores, principalmente para perfis de carregamentos e temperatura ambiente do Brasil, que podem possuir variações grandes ao longo de um dia.

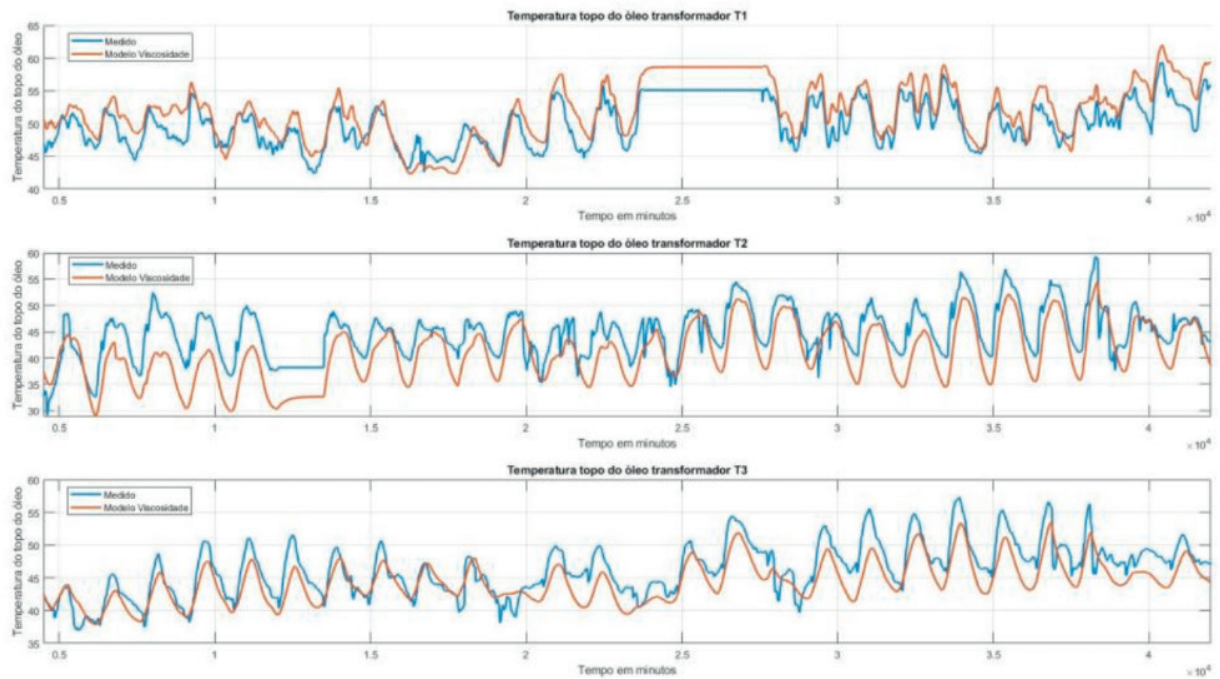


Figura 08: Resultados do modelo diferencial considerando-se os efeitos da variação da viscosidade do óleo com a temperatura, para os três transformadores estudados

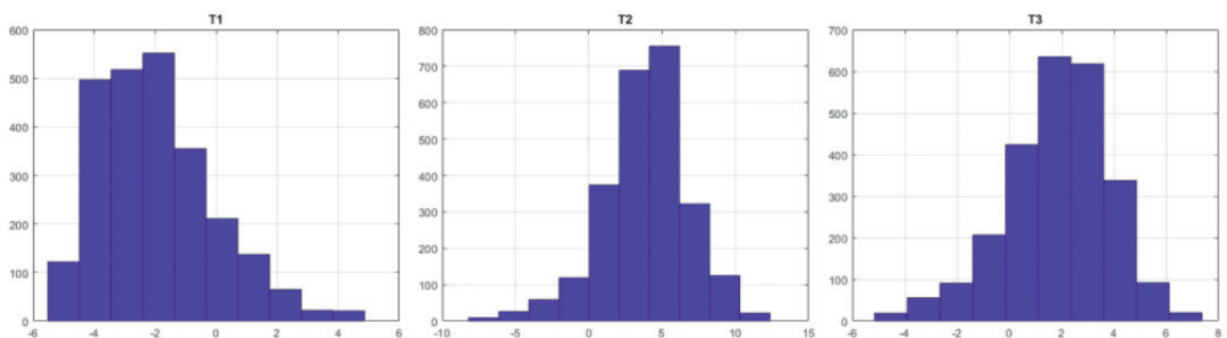


Figura 09: Erro médio do modelo diferencial considerando-se os efeitos da variação da viscosidade do óleo com a temperatura, para os três transformadores estudados

6 | CONCLUSÃO

Neste artigo foram discutidos os métodos hoje existentes para cálculo da temperatura do topo do óleo, evidenciando as questões mais relevantes para o cenário brasileiro, como grande variação de temperatura ambiente e carregamento ao longo de um dia. Devido a essa variação, conclui-se que o melhor a ser feito para o cálculo da temperatura do enrolamento é iniciar o cálculo com a temperatura do óleo medida, pois a temperatura do óleo calculada pode contar com um erro inerente ao próprio cálculo proposto pela norma, por não levar em consideração fatores que fogem do controle do modelo matemático.

Também pode-se concluir que a temperatura ambiente, deve ser medida e, de preferência, o mais próximo do ativo monitorado, para melhor representar as condições do ambiente em que ele está. Estimar a temperatura ambiente em um valor fixo gera um cálculo pouco representativo, especialmente no cenário do Brasil.

Por fim, foram exibidas as limitações no cálculo hoje existente modelado pelas normas atuais. As normas exibem no texto normativo diferenças de até 10 °C para carregamentos baixos, diferença essa que foi observada maior nos transformadores utilizados para as simulações. Com isso, foram apresentadas possíveis soluções para melhor descrever os cálculos térmicos de um transformador, dentre os quais está um método que considera a viscosidade do óleo, fator este que influencia grandemente no modelamento térmico do transformador. Pelos resultados obtidos, foi detectado que o erro diminuiu consideravelmente. Todas essas melhorias devem ser observadas, especialmente na aplicabilidade das normas para transformadores no Brasil, a fim de se obter um melhor monitoramento do ativo e a efetiva proteção e melhor estimativa e controle de sua vida útil.

REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Resolução Normativa ANEEL n. 729. Brasília, p. 1-6, 2016.
- PREVOST, Thomas A.; OOMMEN, T. V. Cellulose insulation in oil-filled power transformers: Part I-history and development. IEEE electrical insulation magazine, v. 22, n. 1, p. 28-35, 2006.
- INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS. IEEE Std C57.91 IEEE guide for loading mineral-oilimmersed transformers. New York, p. 1-112, 1995.
- INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. IEC 60076-7: Power transformer-Part7: Loading guide for oil-immersed power transformers. Geneva, p. 1-94. 2018.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5416: Aplicação de cargas em transformadores de potência - Procedimento. Rio de Janeiro, p. 1-92. 1997.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5356-7: Transformadores de potência Parte 7: Guia de carregamento para transformadores imersos em líquido isolante. Rio de Janeiro, p. 1-78. 2017.
- INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS. IEEE Std C57.91 IEEE guide for loading mineral-oilimmersed transformers. New York, p. 1-112, 2011.
- INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. IEC 60076-7: Power transformer-Part7: Loading guide for oil-immersed power transformers. Geneva, p. 1-94. 2005.
- ROSLAN, Muhammad Hakirin et al. A simplified top-oil temperature model for transformers based on the pathway of energy transfer concept and the thermal-electrical analogy. Energies, v. 10, n. 11, p. 1843, 2017.

ÍNDICE REMISSIVO

A

Automação 10, 64, 94, 120, 133, 165, 204, 216, 256

C

Compulsória 1, 12

Confiabilidade 2, 18, 43, 45, 47, 94, 95, 133, 163, 166, 167, 173, 176

E

Eficiência energética 10, 242, 243, 244, 250, 252

Energética 10, 1, 2, 3, 8, 13, 37, 42, 43, 44, 45, 46, 48, 58, 59, 242, 243, 244, 250, 252, 253

G

Geração 1, 2, 3, 4, 5, 8, 9, 10, 11, 12, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 28, 29, 31, 33, 34, 35, 36, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 53, 55, 56, 57, 59, 61, 64, 67, 83, 166, 167, 168, 173, 177, 243, 256

Geração distribuída 28, 31, 42, 45, 166, 173, 177

Grau 1, 4, 5, 10, 30, 32, 65, 66, 137, 162, 169, 170, 171, 172, 173, 175, 263

I

Ilhamento 149, 150, 161, 163, 164, 166, 167, 168, 169, 171, 172, 173, 174, 175, 176, 177

Impressão 3D 10, 204, 206

Intermitência 2, 8, 15, 16, 17, 31, 40, 43, 45, 47, 49, 50

J

Jateamento 204, 207, 212, 213, 217

M

Manta térmica 10, 242, 244, 246, 248, 249, 250, 251, 252, 253

Máquina injetora 242, 245, 246, 251

Matriz de energia elétrica brasileira 8, 1, 2

N

Novas fontes 2, 43, 49

O

Oferta 1, 3, 8, 9, 10, 16, 29, 44, 45, 48, 49, 50, 52, 53, 54, 57, 59, 167, 255

P

Paraconsistente 10, 166, 168, 169, 170, 171, 172, 173, 175, 176, 178

Pesquisa 7, 11, 6, 13, 37, 42, 44, 106, 120, 165, 204, 243, 244, 253, 254, 255, 256

Processamento 129, 130, 132, 133, 134, 137, 149, 150, 161, 163, 164, 165, 177, 243, 259, 261

Produtos 11, 44, 50, 206, 253, 254, 255, 256, 264, 265, 266

Proteção 9, 24, 29, 30, 34, 108, 109, 110, 111, 112, 113, 114, 116, 117, 118, 119, 120, 166, 167, 172, 177, 231, 241, 242, 244, 246, 248, 250, 251, 252

Proteção térmica 242, 244, 246, 248, 250, 251, 252

R

Rede neural 166, 169, 173, 175, 176, 219, 220, 223, 224

Regularização 1, 2, 4, 5, 6, 7, 9, 10, 11, 12, 220, 225

Relé inteligente 10, 166, 168, 169, 171, 174, 175

S

Sazonalidade 1, 2, 5, 8, 9, 10, 29

Segurança 8, 5, 8, 9, 10, 12, 14, 15, 17, 18, 19, 21, 23, 25, 26, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 59, 88, 91, 92, 93, 94, 138, 166, 167, 171, 217, 231, 246

Sinais 11, 121, 122, 123, 126, 127, 128, 129, 130, 131, 132, 133, 134, 136, 137, 148, 149, 150, 158, 159, 160, 161, 162, 163, 164, 165, 168, 169, 172, 174, 175, 214, 245

Supermercado 11, 254, 255, 256, 268

T

Térmica 10, 1, 4, 8, 10, 11, 12, 21, 23, 44, 46, 47, 48, 50, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 206, 230, 231, 232, 234, 242, 244, 246, 247, 248, 249, 250, 251, 252, 253

Transformada de Fourier 149, 152

Transformada fracional de Fourier 9, 148, 149, 150, 157, 159, 161, 165

 **Atena**
Editora

2 0 2 0