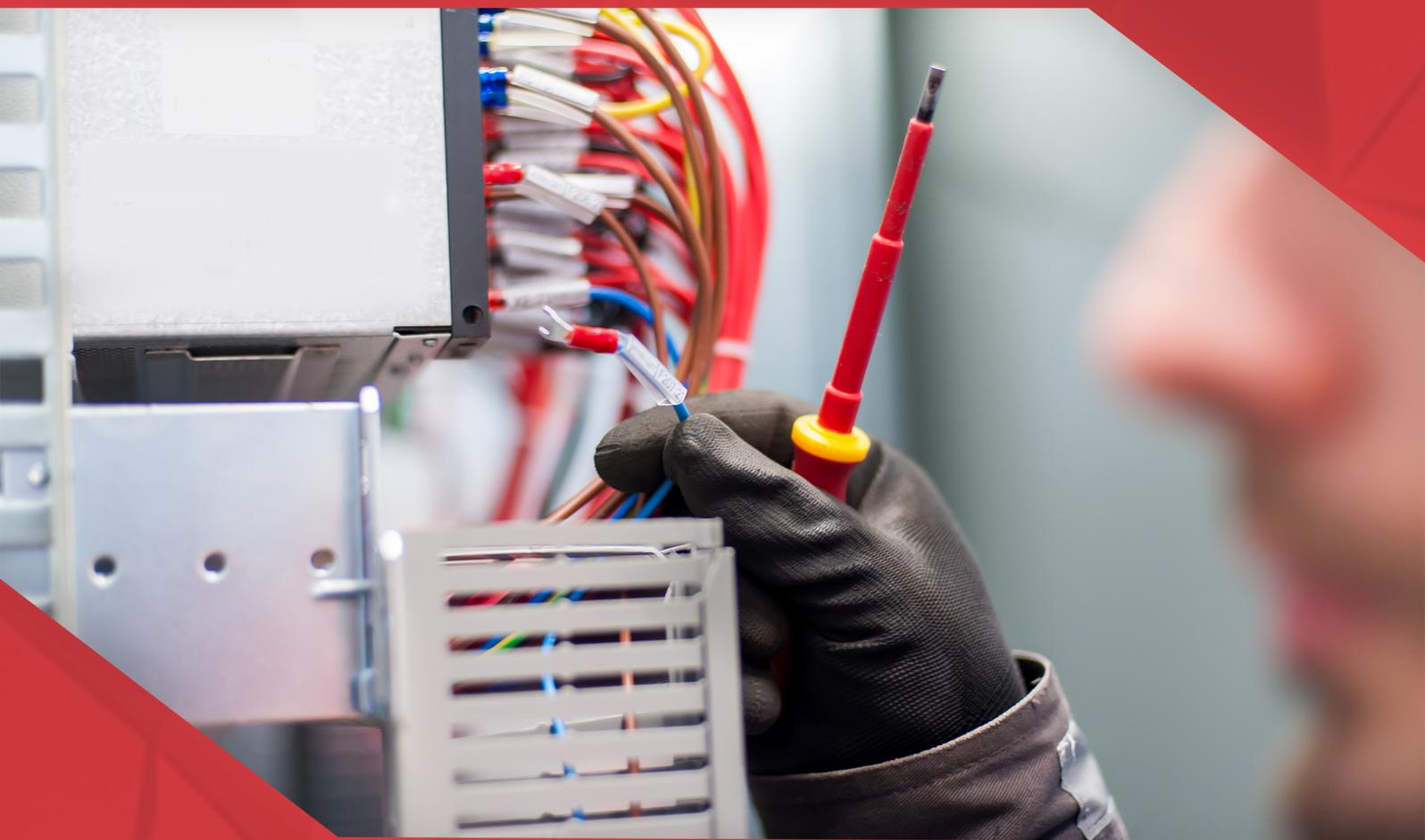


A Aplicação do Conhecimento Científico na Engenharia Elétrica

João Dallamuta
Henrique Ajuz Holzmann
(Organizadores)



A Aplicação do Conhecimento Científico na Engenharia Elétrica

João Dallamuta
Henrique Ajuz Holzmann
(Organizadores)



2020 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do Texto © 2020 Os autores

Copyright da Edição © 2020 Atena Editora

Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Diagramação: Karine de Lima

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

Profª Drª 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. 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. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa
Profª Drª 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
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionale delle Figlie di Maria Ausiliatrice
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense
Profª Drª Keyla Christina Almeida Portela – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Marcelo Pereira da Silva – Universidade Federal do Maranhão
Profª Drª Miranilde Oliveira Neves – Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Rita de Cássia da Silva Oliveira – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Sandra Regina Gardacho Pietrobon – Universidade Estadual do Centro-Oeste
Profª Drª 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
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. William Cleber Domingues Silva – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

Ciências Agrárias e Multidisciplinar

Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano
Prof. Dr. Antonio Pasqualetto – Pontifícia Universidade Católica de Goiás
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
Prof. Dr. Ferlando Lima Santos – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria
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
Profª Drª Magnólia de Araújo Campos – Universidade Federal de Campina Grande
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 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
Profª Drª 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. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá
Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

Conselho Técnico Científico

Prof. Msc. Abrãao Carvalho Nogueira – Universidade Federal do Espírito Santo
Prof. Msc. Adalberto Zorzo – Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza
Prof. Dr. Adailson Wagner Sousa de Vasconcelos – Ordem dos Advogados do Brasil/Seccional Paraíba
Prof. Msc. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão
Profª Drª Andreza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico
Profª Msc. Bianca Camargo Martins – UniCesumar
Prof. Msc. Carlos Antônio dos Santos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Msc. Cláudia de Araújo Marques – Faculdade de Música do Espírito Santo
Prof. Msc. Daniel da Silva Miranda – Universidade Federal do Pará
Profª Msc. Dayane de Melo Barros – Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Edwaldo Costa – Marinha do Brasil
 Prof. Msc. Eliel Constantino da Silva – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita
 Prof. Msc. Gevair Campos – Instituto Mineiro de Agropecuária
 Prof. Msc. Guilherme Renato Gomes – Universidade Norte do Paraná
 Prof^a Msc. Jaqueline Oliveira Rezende – Universidade Federal de Uberlândia
 Prof. Msc. José Messias Ribeiro Júnior – Instituto Federal de Educação Tecnológica de Pernambuco
 Prof. Msc. Leonardo Tullio – Universidade Estadual de Ponta Grossa
 Prof^a Msc. Lilian Coelho de Freitas – Instituto Federal do Pará
 Prof^a Msc. Liliani Aparecida Sereno Fontes de Medeiros – Consórcio CEDERJ
 Prof^a Dr^a Lívia do Carmo Silva – Universidade Federal de Goiás
 Prof. Msc. Luis Henrique Almeida Castro – Universidade Federal da Grande Dourados
 Prof. Msc. Luan Vinicius Bernardelli – Universidade Estadual de Maringá
 Prof. Msc. Rafael Henrique Silva – Hospital Universitário da Universidade Federal da Grande Dourados
 Prof^a Msc. Renata Luciane Polsaque Young Blood – UniSecal
 Prof^a Msc. Solange Aparecida de Souza Monteiro – Instituto Federal de São Paulo
 Prof. Dr. Welleson Feitosa Gazel – Universidade Paulista

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

A642 A aplicação do conhecimento científico na engenharia elétrica [recurso eletrônico] / Organizadores João Dallamuta, Henrique Ajuz Holzmann. – Ponta Grossa, PR: Atena Editora, 2020.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-85-7247-932-5

DOI 10.22533/at.ed.325201701

1. Engenharia elétrica – Pesquisa – Brasil. I. Dallamuta, João.
II. Holzmann, Henrique Ajuz.

CDD 623.3

Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422

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

APRESENTAÇÃO

A engenharia elétrica tornou-se uma profissão há cerca de 130 anos, com o início da distribuição de eletricidade em caráter comercial e com a difusão acelerada do telégrafo em escala global no final do século XIX.

Na primeira metade do século XX a difusão da telefonia e da radiodifusão além do crescimento vigoroso dos sistemas elétricos de produção, transmissão e distribuição de eletricidade, deu os contornos definitivos para a carreira de engenheiro eletricitista que na segunda metade do século, com a difusão dos semicondutores e da computação gerou variações de ênfase de formação como engenheiros eletrônicos, de telecomunicações, de controle e automação ou de computação.

Produzir conhecimento em engenharia elétrica é portando pesquisar em uma gama enorme de áreas, subáreas e abordagens de uma engenharia que é onipresente em praticamente todos os campos da ciência e tecnologia.

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

João Dallamuta
Henrique Ajuz Holzmann

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	1
PANORAMA ATUAL E CENÁRIO 2025 DA ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA NO BRASIL	
Isabela Valpecovski Urbanetz Allana de Moura Netto Bruno Scolari Vicente Leite Jair Urbanetz Junior	
DOI 10.22533/at.ed.3252017011	
CAPÍTULO 2	10
GESTÃO EFICIENTE DAS ANUIDADES REGULATÓRIAS NA CEMIG DISTRIBUIÇÃO	
Rosane de Pinho Matos Viviane Fernanda de Aguiar Pereira	
DOI 10.22533/at.ed.3252017012	
CAPÍTULO 3	21
DESAFIOS DA REVISÃO PERIÓDICA DE AJUSTES DE GRANDES SISTEMAS -NORMAS, PROCEDIMENTOS E FERRAMENTAS	
Rodrigo A. Benes Ferreira Mario Roberto Bastos Nilson José Francischetti Júnior	
DOI 10.22533/at.ed.3252017013	
CAPÍTULO 4	36
AVALIAÇÃO ECONÔMICA E ENERGÉTICA DE UM SISTEMA INTEGRANDO MÁQUINA BIOPEIXES E REATOR MULTIFUNCIONAL PARA PRODUÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA	
Francisco de Assis da Silva Mota Francisco Francielle Pinheiro dos Santos Paula Cristina de Amorim Andrade	
DOI 10.22533/at.ed.3252017014	
CAPÍTULO 5	48
ANÁLISE DE PERDAS TÉCNICAS EM SISTEMAS DE DISTRIBUIÇÃO	
Francisco Jeandson Rodrigues da Silva Ailson Pereira de Moura Adriano Aron Freitas de Moura Douglas Aurélio Carvalho Costa Obed Leite Vieira	
DOI 10.22533/at.ed.3252017015	
CAPÍTULO 6	61
CARACTERIZAÇÃO E ESTRATIFICAÇÃO DOS SFVCR NO BRASIL: CENÁRIO ATUAL E PERSPECTIVAS FUTURAS	
Diego Piazza Hilgert Jair Urbanetz Junior	
DOI 10.22533/at.ed.3252017016	

CAPÍTULO 7	75
GECORTE CEMIG D: SELEÇÃO ÓTIMA DE ALVOS DE CORTE USANDO GEORREFERENCIAMENTO: DESENVOLVIMENTO SAP/CCS	
Wellington Fazzi Cancian Andre Luiz Soares Charles Ramos Pimenta	
DOI 10.22533/at.ed.3252017017	
CAPÍTULO 8	89
ÍNDICES DE REFERÊNCIA PARA APLICAÇÃO DA TECNOLOGIA CABOS PARA-RAIOS ENERGIZADOS	
José Ezequiel Ramos Alexandre Piantini Ary D'Ajuz Valdemir Aparecido Pires Paulo Roberto de Oliveira Borges	
DOI 10.22533/at.ed.3252017018	
CAPÍTULO 9	96
A EXPERIÊNCIA DA COPEL COM RELIGADORES MONOFÁSICOS	
Maurício Varassim Hernandes Oscar Kim Júnior Fausto Aurélio Portella Garcia Guilherme Fernandes Gonçalves	
DOI 10.22533/at.ed.3252017019	
CAPÍTULO 10	108
SISTEMA DE MONITORAMENTO DA REDE DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA COM VISTAS A MELHORIA DA QUALIDADE DE SERVIÇO	
Klendson Marques Canuto Avilez Batista de Oliveira Lima Paulo Roberto de Oliveira Braga Juraci Gomes de Aguiar Filho André Ribeiro da Costa	
DOI 10.22533/at.ed.32520170110	
CAPÍTULO 11	122
TÉCNICA DE RESGATE PARA TRABALHOS EM INSTALAÇÕES ENERGIZADAS – MÉTODO AO POTENCIAL	
Fernando César Pepe Wlademir Braido	
DOI 10.22533/at.ed.32520170111	
CAPÍTULO 12	128
MONITORAMENTO DE DESGASTE DE CONTATOS DOS DISJUNTORES DA SUBESTAÇÃO ISOLADA À GÁS DA UHE BELO MONTE	
Davi Carvalho Moreira	
DOI 10.22533/at.ed.32520170112	

CAPÍTULO 13 139

COMPARAÇÃO ENTRE TRANSFORMADORES A ÓLEO E A SECO

Marco Antonio Ferreira Finocchio
Márcio Mendonça
Lucas de Oliveira Antunes
Jeferson Gonçalves Ferreira

DOI 10.22533/at.ed.32520170113

CAPÍTULO 14 147

OTIMIZAÇÃO POR ENXAME DE PARTÍCULAS APLICADA A CONTROLADORES DE CORRENTE PARA INVERSORES CONECTADOS À REDE

Lucas Cielo Borin
Iury Cleveston
Caio Ruviaro Dantas Osorio
Gustavo Guilherme Koch
Fabricio Moretto Bottega
Vinicius Foletto Montagner

DOI 10.22533/at.ed.32520170114

CAPÍTULO 15 161

OTIMIZAÇÃO DA CONFIABILIDADE PELA ALOCAÇÃO DE CHAVES AUTOMÁTICAS E USO DE GERAÇÃO DISTRIBUÍDA EM ILHAMENTO

Railson Severiano de Sousa
Camilo Alberto Sepúlveda Rangel
Criciéle Castro Martins
Mauricio Sperandio
Luciane Neves Canha

DOI 10.22533/at.ed.32520170115

CAPÍTULO 16 175

COMO SELECIONAR TRANSISTORES DE POTÊNCIA PARA APLICAÇÕES EM CONVERSORES ESTÁTICOS?

Edemar de Oliveira Prado
Pedro Cerutti Bolsi
Mateus José Tiburski
Éder Bridi
Hamiltom Confortin Sartori
José Renes Pinheiro

DOI 10.22533/at.ed.32520170116

CAPÍTULO 17 190

METODOLOGIA DE PROJETO DE CONVERSORES BOOST PARA APLICAÇÕES DE ALTA EFICIÊNCIA E ELEVADO GANHO DE TENSÃO

Mateus José Tiburski
Éder Bridi
Edemar Oliveira Prado
Pedro Cerutti Bolsi
Hamiltom Confortin Sartori
José Renes Pinheiro

DOI 10.22533/at.ed.32520170117

CAPÍTULO 18	203
INFLUÊNCIA DO PONTO DE OPERAÇÃO DE CONVERSORES ESTÁTICOS NO VOLUME E PERDAS DE DIFERENTES MATERIAIS MAGNÉTICOS	
<ul style="list-style-type: none"> Pedro Cerutti Bolsi Edemar de Oliveira Prado Mateus José Tiburski Éder Bridi Hamiltom Confortin Sartori José Renes Pinheiro 	
DOI 10.22533/at.ed.32520170118	
CAPÍTULO 19	218
WIRELESS CHARGER MANUFACTURING USING INDUCTIVE METHOD	
<ul style="list-style-type: none"> Maryam Liaqat Sulman Joseph Shamsa Maqsood Ali Raza Sana Aslam Waseem Imtiaz Muhammad Furqan Shoukat 	
DOI 10.22533/at.ed.32520170119	
CAPÍTULO 20	235
TRANSFORMADOR DE ATERRAMENTO EM REDE DE DISTRIBUIÇÃO	
<ul style="list-style-type: none"> Djair Pamplona dos Santos 	
DOI 10.22533/at.ed.32520170120	
CAPÍTULO 21	248
OTIMIZAÇÃO DE CONVERSORES BOOST INTERCALADO DE ALTO GANHO DE TENSÃO E ALTA EFICIÊNCIA	
<ul style="list-style-type: none"> Éder Bridi Mateus José Tiburski Edemar Oliveira Prado Pedro Cerutti Bolsi Hamiltom Confortin Sartori José Renes Pinheiro 	
DOI 10.22533/at.ed.32520170121	
CAPÍTULO 22	262
DETERMINAÇÃO DE PROCEDIMENTO PARA AVALIAR A INCERTEZA NA PREVISÃO DE PRECIPITAÇÃO E VAZÃO AFLUENTE POR SISTEMAS HIDRO METEOROLÓGICOS PARA AUXÍLIO NA OPERAÇÃO DOS RESERVATÓRIOS E PLANEJAMENTO HIDROENERGÉTICO	
<ul style="list-style-type: none"> Reinaldo Bomfim da Silveira Anderson Nascimento de Araujo Mino Viana Sorribas Camila Freitas Rafael Schinoff Mércio Pereira Ângelo Breda José Eduardo Gonçalves 	
DOI 10.22533/at.ed.32520170122	
SOBRE OS ORGANIZADORES	276

COMPARAÇÃO ENTRE TRANSFORMADORES A ÓLEO E A SECO

Data de submissão: 31/10/2019

Data de aceite: 03/01/2020

Marco Antonio Ferreira Finocchio

Universidade Tecnológica Federal do Paraná,
Departamento Acadêmico de Engenharia Elétrica
(DAELE)
Cornélio Procópio – PR
<http://lattes.cnpq.br/8619727190271505>

Márcio Mendonça

Universidade Tecnológica Federal do Paraná,
Departamento Acadêmico de Engenharia Elétrica
(DAELE)
Cornélio Procópio – PR
<http://lattes.cnpq.br/5415046018018708>

Lucas de Oliveira Antunes

Universidade Tecnológica Federal do Paraná,
Departamento Acadêmico de Engenharia Elétrica
(DAELE)
Cornélio Procópio – PR
<http://lattes.cnpq.br/4443266718969346>

Jeferson Gonçalves Ferreira

Universidade Tecnológica Federal do Paraná,
Programa de Pós-Graduação em Engenharia
Mecânica (PPGEM)
Cornélio Procópio – PR
<http://lattes.cnpq.br/4013858734001440>

RESUMO: O crescente consumo de energia elétrica conduziu ao aumento na quantidade de transformadores instalados. Gerando um crescimento de consumo energético em todos os setores das atividades produtivas. Mas um fator passa despercebido, ou seja, qual o tipo de transformador será utilizado, pois essa preferência pode conjecturar num impacto ambiental. Geralmente os transformadores eleitos são os a óleo por desconhecimento tecnológico de soluções ecológicas mais corretas. Este artigo sugere a utilização de transformadores a seco no lugar dos transformadores a óleo, como uma alternativa ambiental. Os transformadores a seco apresentam menores dimensões, sendo indicado para instalações abrigadas que exigem segurança e confiabilidade, e sua manutenção é mais simples não oferecendo riscos ao meio ambiente que os transformadores a óleo.

PALAVRAS-CHAVE: Transformador a óleo, Transformador a seco, Isolamento.

COMPARISON OF TRANSFORMERS OIL AND DRY

ABSTRACT: The increasing consumption of electricity led to an increase in the amount of installed transformers. Generating growth of energy consumption in all sectors of productive activities. But a factor goes unnoticed, or what

type of processor is used, as this can only conjecture preferably an environmental impact. Usually elected transformers are oil by technological ignorance more correct ecological solutions. This article suggests the use of dry transformer in place of transformer oil, as an alternative. The dry-type transformers have smaller, being suitable for indoor installations that require security and reliability, and maintenance is simpler not offering risk to the environment than oil transformers.

KEYWORDS: Transformer oil, Dry transformer, Insulation.

1 | INTRODUÇÃO

O transformador é um instrumento usado para registrar ou mudar a energia elétrica de um nível de tensão para outro, seja superior ou inferior, mantendo a frequência constante, por meio da ação de campo magnético. Ele também é relevante para o transporte da energia de um local para outro por conta da sua eficiência, transmissão e rapidez (CHAPMAN, 2012).

No cenário atual, tanto grandes indústrias, como empresas de distribuição de energia, shopping centers, hospitais, aeroportos e metrô precisam de um número considerável de transformadores de tensão. Com a larga utilização de energia elétrica em edifícios comerciais, shoppings, estádios de futebol, estações de metrô e trem necessita-se que os transformadores sejam instalados o mais próximo possível das cargas permitindo também uma redução de custos com cabos de alimentação, melhor regulação de tensão e proteções contra fogo (STIGANT, FRANKLIN, 1983). Porém, para estas instalações internas é recomendada a utilização de transformadores secos, pois não possuem óleo, apresentam dimensões reduzidas, baixa necessidade de manutenção, simplicidade de instalação e ausência do risco de explosão (SANTOS, COVACIC, GEROMEL, 2011).

Com o objetivo de responder a esta demanda, tais empresas têm a sua disposição dois tipos de transformadores, os isolados a óleo e os transformadores isolados a seco.

Estes dois tipos de transformadores possuem grandes diferenças que superam fatores econômicos, como sua manutenção, local adequado para a instalação e, os impactos ambientais, são critérios a se considerar na escolha. Mas, geralmente a maioria das empresas predomina tão somente comparação entre os custos financeiros para tomada de decisão. Outros fatores deveria compor o rol de decisão somado a questão econômica tais como, os possíveis impactos que uma escolha inadequada poderia gerar em termos sociais e ambientais. Considerando isto, o presente artigo procura contribuir através da comparação entre os dois tipos de transformadores, primeiramente às empresas que precisam realizar a escolha de maneira consciente e lúcida, e em segundo momento, à sociedade que deve estar atenta aos impactos ambientais que esta escolha possa gerar.

2 | COMPARATIVO TÉCNICO

Nesse estudo, foram tratados os dados das cinco maiores empresas para a comparação dos dois tipos de transformadores nos aspectos manutenção, vida útil, obras civis, segurança, proteção, restrições ambientais, ambiente e certificação ISO 14000 e NR-10, a qual está vinculada com a gestão ambiental em empresas. As vantagens e desvantagens dos dois tipos de isolamento são apresentadas na Tabela 1 conforme (FINOCCHIO, 2010).

Item	Material isolante	
	Óleo isolante	Resina epóxi (seco)
Manutenção	Deve ser periódica. Necessitando de substituições de óleo isolante, juntas, guarnições e acessórios.	Isento
Vida útil	30 anos	30 anos ou superior
Obras civis	Demanda de paredes e portas corta-fogo, sistema contra incêndio e poço para recolhimento de fluido em caso de vazamento.	Não demanda obras especiais.
Segurança	Risco de explosão e incêndio, vazamentos e contaminação do ambiente.	Não explode, não alimenta ou propaga incêndios.
Proteção	Vários acessórios para proteção e controle.	Apenas sensores de temperatura para alarme, desligamento e medição de temperatura.
Restrições ambientais	Risco de contaminação pelo vazamento do líquido isolante.	Sem restrições
Ambiente	São afetados pela umidade, salinidade, oxidante, etc.	Insensível à umidade e outros fatores ambientais
Certificações ISSO 14000 e NR10	Recomenda cuidados com este tipo de equipamento. Tendência a se evitar esta execução.	Não oferecer riscos ao ser humano e ao meio ambiente.

Tabela 1 - Comparação entre transformadores.

Em pesquisa recente revelou que 89% das pessoas conhecem o transformador a óleo, e apenas 11% o a seco. Observou-se ainda que 26% das pessoas conhecem os riscos que transformadores podem gerar (CAVALHEIRO, PAVAN, 2013).

A Figura 1 são apresentados os dois tipos de transformadores de 300kVA. Na Figura 1 (b), a cor vermelha se deve ao pigmento adicionado a que envolve as suas bobinas. Essa resina é constituída de pó de quartzo que diminui a quantidade de metal no transformador fazendo com que sua massa, volume e susceptibilidade a oxidação diminuam. O transformador da Figura 1 (a) é um equipamento a óleo compostos seu núcleo basicamente de metal. Além de todo o metal usado na estrutura do transformador, há uma grande quantidade extra de metal utilizada na fabricação dos radiadores dos transformadores a óleo.



(a)



(b)

Figura 1 - Transformadores 300kVA: (a) a óleo e (b) a seco.

Os transformadores apresentam alto rendimento, devido às baixas perdas em relação à potência elétrica nominal. Na Tabela 2 são mostrados os valores típicos de rendimento para transformadores trifásicos respectivamente, os imersos em fluido isolante e a seco (GEROMEL, 2003). Ainda referente à Tabela 2 os rendimentos encontram-se classificados de acordo com a potência e a classe de tensão do equipamento (ABNT, 2014) e (ABNT, 2010).

Transformadores Trifásicos imersos em óleo								
Classe (kV)	Potência (kV)							
	15	30	45	75	112,5	150	225	300
15	96,52	97,07	97,35	97,66	97,88	98,04	98,15	98,27
24,2	96,08	96,74	96,06	97,40	97,65	97,81	98,01	98,15
Transformadores Trifásicos a seco								
Classe (kV)	Potência (kV)							
	75	112,5	150	225	300	500	750	1000
15	97,68	97,91	98,05	98,30	98,39	98,52	98,76	98,80
24,2	97,40	97,91	97,94	98,00	98,23	98,44	98,72	98,74

Tabela 2 - Rendimentos típicos para transformadores trifásicos.

Os valores de rendimentos apresentados na Tabela 2 consideram o transformador operando com 100% de sua carga nominal e à temperatura de 115°C (FINOCCHIO, 2010).

A Figura 3 representam os rendimentos percentuais médios de um lote de 30 transformadores para cada uma das seguintes potências: 75kVA, 112,5kVA, 150kVA, 225kVA e 300kVA.

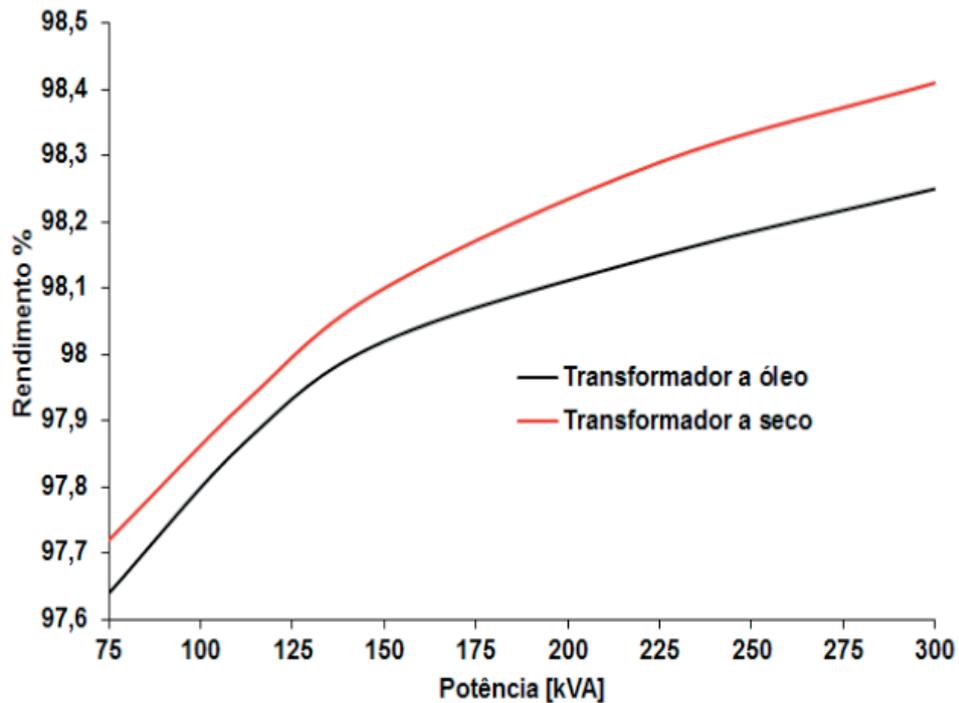


Figura 3 - Valores de rendimento % de transformadores.

A essência de um sistema isolante depende, do tempo e da temperatura que o mesmo está exposto. A conexão entre tempo e temperatura e seus efeitos na isolação é estudado a décadas. Em 1930, Montsinger disse que a vida útil do sistema isolante se reduz à metade para cada aumento de 10oC da temperatura da isolação (MONTISINGER, 1913).

Em (FUCHS, ROESLER, KOVACS, 1988), a estimativa da vida útil dos materiais isolantes é feita através da teoria clássica de “Arrhenius-Darkin”. Que afirma que a vida útil da isolação está ligada à temperatura de serviço, e ao tempo de exposição da mesma. O fenômeno de deterioração do isolante baseia-se num processo químico, onde uma oxidação lenta e gradual causa o endurecimento do verniz isolante, resina epóxi ou óleo.

Desta forma, quebradiço, levando à perda da rigidez dielétrica e da flexibilidade mecânica. Isto retrata o envelhecimento gradativo do isolante no tempo, que vai perdendo suas propriedades isolantes (PIERCE, 1994), até não mais suporta a tensão aplicada e ocorrer um curto-circuito entre as partes energizadas.

Segundo (PACHECO, 2002), a degradação térmica de materiais orgânicos e inorgânicos de um equipamento elétrico, pode ser avaliada pela equação da taxa de reação formulada por Arrhenius, dada pela Equação 1:

$$\frac{dE_{vu}}{dt} = A \cdot e^{\frac{-E}{k \cdot T}} \quad (1)$$

onde:

$\frac{dE_{vu}}{dt}$: taxa de redução da vida útil em relação ao tempo;

E_{vu} : vida útil do isolamento do enrolamento;

t : tempo de vida em anos;

A : constante do material;

k : constante de Boltzmann igual a $0,8617 \cdot 10^{-4}$ [eV];

T : temperatura absoluta do ponto mais quente em graus Celsius;

E : energia de ativação da reação de envelhecimento [eV].

A Figura 4 sintetiza diminuição da vida útil do transformador de acordo com o aumento a temperatura. Comprovando que o transformador a seco apresenta uma vida útil maior.

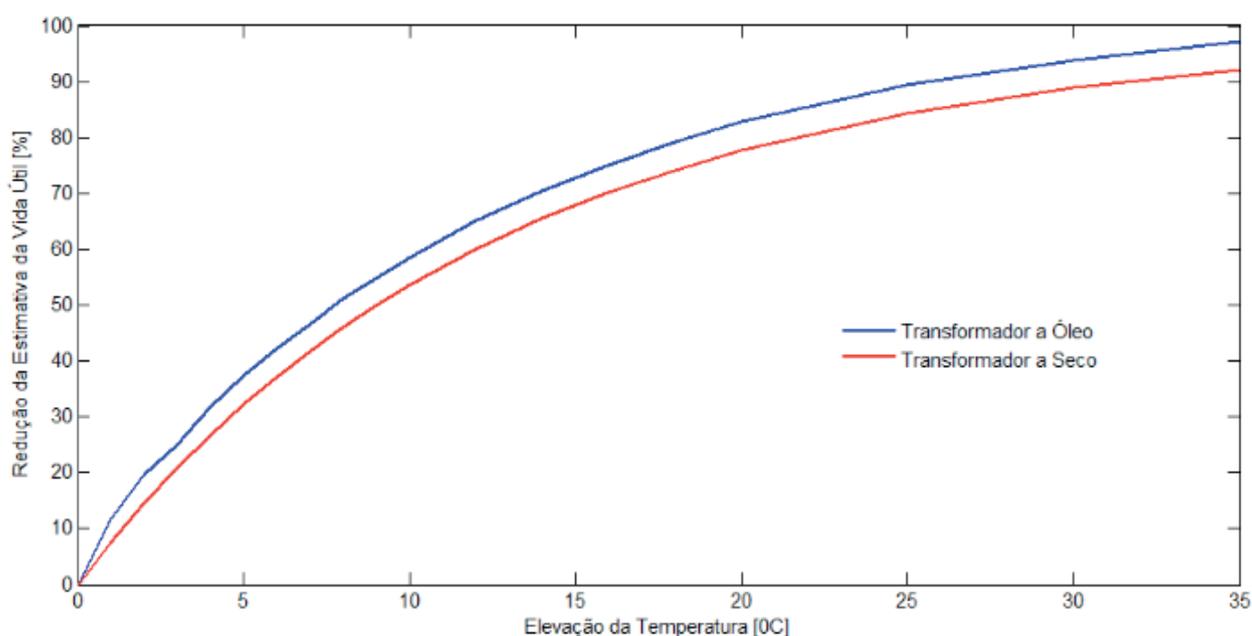


Figura 4 - Redução de vida útil com adicional de temperatura.

A Equação 1 fornece valores absolutos da vida útil de certo sistema isolante. Reconhece-se que o cálculo da vida útil a partir da temperatura de operação da isolamento é trabalhoso. O motivo disto está na necessidade de se aguardar um longo período de tempo, até que a isolamento sofra a primeira degradação, para poder avaliar o tempo de vida da mesma.

Evidências apontam que os transformadores a óleo não são perigosos apenas por causa do risco de explosão, mas também pelo risco iminente de vazamento de óleo e contaminação do ambiente. Até início dos anos 80, o óleo utilizado em transformadores era o Ascarel que foi proibido em 1981. Isto por apresentar na sua composição PCB's (Bifenila Policloradas) que pode causar lesões dermatológicas, alterações no fígado e rins, alterações psíquicas, perda da libido e cancerígenos (FINOCCHIO, 1997). Atualmente são utilizados outros óleos isolantes como silicone, óleo isolante mineral. Mesmo esses óleos oferecem risco de vazamentos, explosões e incêndios.

3 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

Atualmente, as empresas procuram a ISO-14001, que é uma norma internacionalmente reconhecida que define o que deve ser feito para estabelecer um Sistema de Gestão Ambiental (SGA). Portanto, é importante os requisitos e condições mínimas objetivando a implementação de medidas de controle e sistemas preventivos, para garantir a segurança e a saúde dos trabalhadores que, direta ou indiretamente, interajam em instalações elétricas e serviços com eletricidade. Desta forma vê-se que as empresas têm optado por transformadores a seco fazendo com que a escolha do equipamento transcenda apenas a questão de custo.

Quanto a segurança, o transformador a óleo possui maior suscetibilidade a falhas, oferecendo risco de explosão. Devido ao próprio funcionamento do transformador, o óleo isolante passa a conter alta concentração de gases dissolvidos, que se expandem rapidamente pelo corpo interno do transformador. Devido à presença do fluxo magnético devido a passagem de corrente elétrica, há a presença de calor dissipado pelo equipamento, que pode gerar risco de explosão destes gases.

Para o transformador a óleo, são gerados gastos com projeto, construção e montagem de alvenaria para compartimento separado por paredes corta-fogo, de bacia de contenção de óleo, de estruturas que permitam a coleta de eventuais vazamentos, com a construção de poço de contenção coletivo e com manutenção do equipamento.

A alternativa para substituição dos transformadores a óleo é os a seco, que não tem risco de vazamento, incêndio ou explosões, pois não tem material isolante líquido e são fabricados com material auto extingüível. Os transformadores a seco apresentam alta confiabilidade por terem maior vida útil e rendimento superior ao a óleo. Portanto, indicados para áreas com a presença de pessoas, como indústrias em geral, edifícios, prédios residenciais, hospitais, shopping centers.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5356-3: Transformadores de Potência. Rio de Janeiro, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5440: Transformadores de Distribuição. Rio de Janeiro, 2010.

CAVALHEIRO, RENATO D.; PAVAN, ANDERSON D.. Estudo Comparativo entre Transformadores a Óleo e a Seco. Instituto de Biologia Animal. Campinas: UNICAMP, 2013.

CHAPMAN, S. J. Electric Machinery Fundamentals. 5ª ed. Nova York: McGraw-Hill, 2012.

DOS SANTOS, Elton Jeser Diniz; COVACIC, Márcio Roberto; GEROMEL, Luiz Henrique. Análise do Encapsulamento de Bobinas de Alta Tensão Utilizando Medição de Descargas parciais e Sistemas Inteligentes. DINCON 2011: 11ª Conferência Brasileira de Dinâmica, Controle e Aplicações. Águas de Lindóia, São Paulo, 2011.

GEROMEL, Luiz Henrique. Aplicação de Sistemas Inteligentes em Projetos de Transformadores de Potência. Tese de Doutorado. Campinas: UNICAMP, 2003.

FINOCCHIO, Marco Antonio Ferreira. Determinação da Temperatura de Enrolamentos de transformadores a Seco e de suas Perdas Totais Baseado em Redes Neurais Artificiais. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual de Londrina. Londrina, 2010.

FINOCCHIO, Marco Antonio Ferreira. Ascarel um Risco Ocupacional e suas Alternativas de Substituição. Monografia de Pós-graduação. Universidade Estadual de Londrina. Londrina, 1997.

FUCHS, E. F.; ROESLER, D. J.; KOVACS, K. P., "Aging of Electrical Appliances due to Harmonics of the Power Systems Voltage", IEEE Transactions on Power Delivery, vol. PWRD-1 no 3, July 1988.

MONTSINGER, V. M., "Loading Transformers by Temperature", AIEE Transaction, vol. 32, 1913.

PIERCE, Linden W.. Thermal Considerations in Specifying Dry-Type Transformers. IEEE Transactions on Industry Applications, Vol. 30, no 4, July/August 1994.

PACHECO, Cláudio R.. Modelagem e Análise do Desempenho Térmico de Cabos Elétricos Isolados no Contexto da Qualidade da Energia Elétrica. Tese de Doutorado. Uberlândia: UFU, Abril/2002.

STIGANT, A. S.; FRANKLIN, J. S. C. The J&P Transformer Book. Butterworth-Heinemann Ltd, Oxford, 1983.

ÍNDICE REMISSIVO

A

AIS 10, 13
Ajustes de proteção 22, 28, 34, 103
Alocação de Recursos 161
Anarede 48, 49, 52, 54, 60
Anuidades 10, 11, 12, 13, 14, 15, 17, 18, 19, 20

B

BAR 10, 225
Biodiesel 36, 37, 38, 39, 40, 41, 43, 44, 45, 46, 47
BRR 10

C

CAIMI 10, 12, 13, 15, 19
Capacidade Instalada 1, 2, 3, 8
Célula combustível 190, 191, 192, 196
Cenário Energético 1
Chave fusível 96, 98, 110, 114
Chaves Automáticas 161, 162, 163, 164, 167, 168, 171
Comunidades isoladas 36, 38
Confiabilidade 20, 22, 24, 27, 49, 50, 53, 60, 84, 90, 121, 130, 136, 139, 145, 161, 162, 163, 165, 166, 167, 171, 172, 174, 192, 243
Continuidade do Fornecimento 108, 163
Conversor Boost 190
Conversores 147, 148, 175, 176, 190, 191, 192, 201, 203, 204, 209, 248, 249, 252, 258, 259, 260
Conversores conectados à rede 147
Custo operacional 15, 96, 102

D

DEC 90, 91, 92, 93, 94, 96, 97, 100, 101, 105, 106, 107, 111, 119, 164, 171
Densidade de Corrente 193, 196, 197, 198, 200, 201, 203, 205, 211, 213, 214, 248, 252, 256
Descargas atmosféricas 89, 90, 92, 93, 94
Desgaste de Contatos 128, 131

E

Energia Solar Fotovoltaica 1, 2, 3, 6, 7, 8, 61

F

Filtro LCL 147, 148, 149
Fluxo de Potência 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 148
Frequência 90, 97, 140, 147, 148, 151, 156, 163, 164, 175, 176, 177, 178, 181, 184, 185, 187, 191, 193, 196, 200, 201, 203, 204, 205, 207, 208, 209, 212, 216, 250, 251, 252, 260

G

Geração de energia 3, 36, 38, 43, 45, 46, 263

Geração Distribuída 2, 3, 4, 6, 9, 61, 62, 64, 65, 72, 73, 161, 162, 167, 172

I

Ilhamento de Geração Distribuída 161

Indicadores de Qualidade de Serviço 108, 118

Índices operacionais 89, 94

Interrupções 89, 90, 91, 92, 93, 94, 105, 106, 108, 118, 120, 134, 135, 163

Isolamento 124, 130, 139, 144, 164, 206, 207, 235, 238, 245

M

Manutenção Preditiva 128, 129, 136

Monitoramento de Disjuntor 128

Monitoramento Digital 108

Monitoramento On-line 128, 129

N

NERC PRC-027-1 21, 22

Núcleos Magnéticos 203, 252, 253, 257

O

Otimização por enxame de partículas 147, 148, 152

P

Perdas 48, 49, 50, 52, 53, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 142, 146, 175, 176, 177, 178, 179, 180, 181, 182, 183, 184, 185, 186, 187, 190, 191, 192, 193, 194, 195, 196, 197, 198, 199, 200, 201, 203, 204, 209, 210, 211, 212, 213, 214, 215, 216, 249, 250, 251, 252, 254, 255, 256, 257, 258

Perdas Técnicas 48, 49, 50, 52, 53, 55, 57, 58, 60

Proteção de Sistemas Elétricos 21, 22

PSS Sincal 21, 22, 30, 31, 32, 35

Q

Qualidade de Energia 96, 97, 107, 108, 109, 121

R

Religador monofásico 96, 98, 99, 105

Rendimento 142, 143, 145, 176, 184, 186, 187, 190, 192, 193, 199, 200, 201, 248, 249, 252, 259

Resolução Normativa ANEEL N° 482/2012 61

S

Siguard PSA 21, 22, 30, 31, 33

T

Tecnologia PRE 89

Transformador a óleo 139, 141, 145

Transistores de potência 175, 177

V

Vísceras de peixes 36, 43, 46

Volume 43, 57, 141, 188, 191, 193, 196, 199, 202, 203, 204, 207, 210, 211, 213, 214, 215, 216, 228, 250

