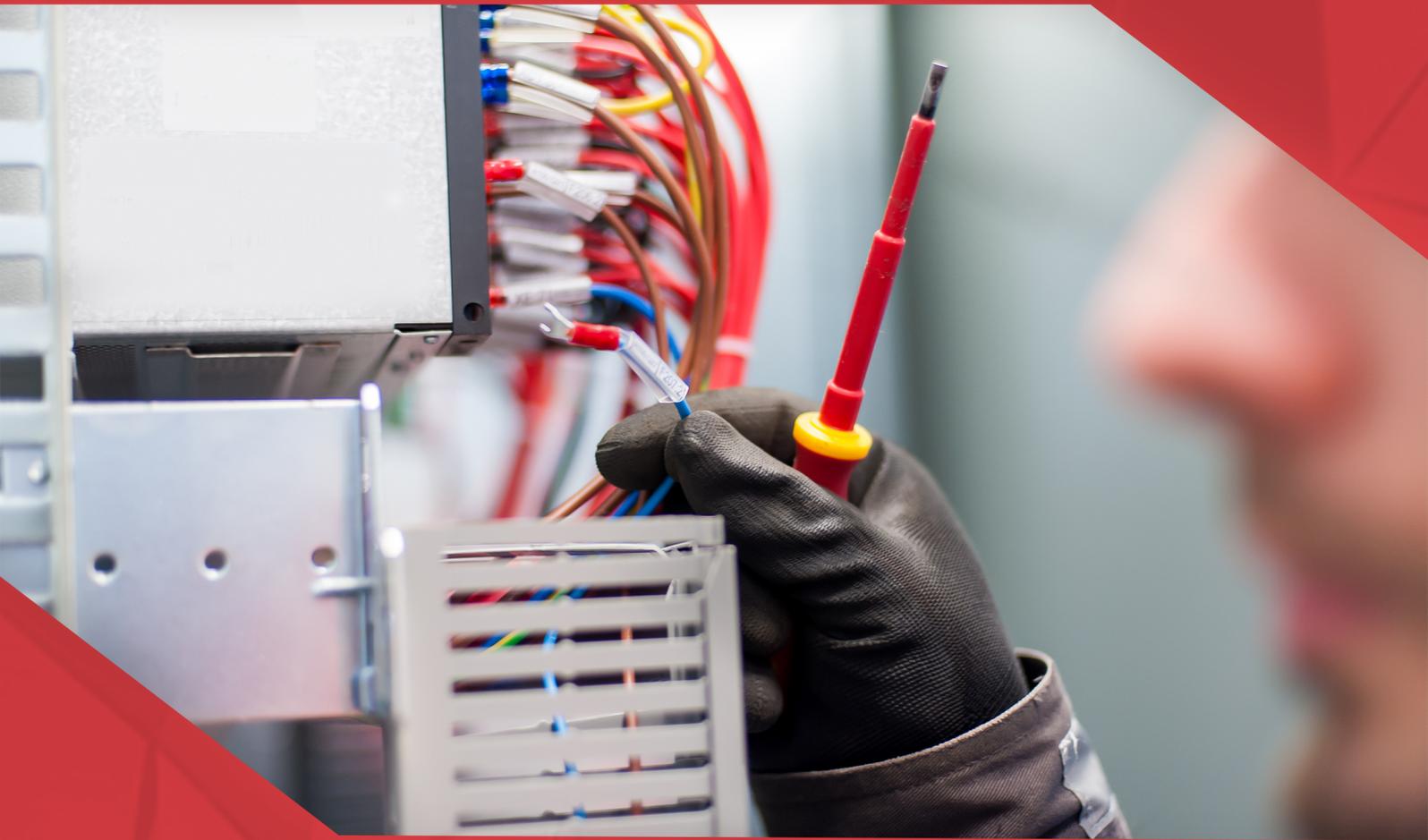


# A Aplicação do Conhecimento Científico na Engenharia Elétrica

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<sup>a</sup> 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<sup>a</sup> Msc. Lilian Coelho de Freitas – Instituto Federal do Pará  
Prof<sup>a</sup> Msc. Liliani Aparecida Sereno Fontes de Medeiros – Consórcio CEDERJ  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> 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<sup>a</sup> Msc. Renata Luciane Polsaque Young Blood – UniSecal  
Prof<sup>a</sup> 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](http://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

<b>CAPÍTULO 1</b> .....	<b>1</b>
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	
<b>DOI 10.22533/at.ed.3252017011</b>	
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	<b>10</b>
GESTÃO EFICIENTE DAS ANUIDADES REGULATÓRIAS NA CEMIG DISTRIBUIÇÃO	
Rosane de Pinho Matos Viviane Fernanda de Aguiar Pereira	
<b>DOI 10.22533/at.ed.3252017012</b>	
<b>CAPÍTULO 3</b> .....	<b>21</b>
DESAFIOS DA REVISÃO PERIÓDICA DE AJUSTES DE GRANDES SISTEMAS -NORMAS, PROCEDIMENTOS E FERRAMENTAS	
Rodrigo A. Benes Ferreira Mario Roberto Bastos Nilson José Francischetti Júnior	
<b>DOI 10.22533/at.ed.3252017013</b>	
<b>CAPÍTULO 4</b> .....	<b>36</b>
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	
<b>DOI 10.22533/at.ed.3252017014</b>	
<b>CAPÍTULO 5</b> .....	<b>48</b>
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	
<b>DOI 10.22533/at.ed.3252017015</b>	
<b>CAPÍTULO 6</b> .....	<b>61</b>
CARACTERIZAÇÃO E ESTRATIFICAÇÃO DOS SFVCR NO BRASIL: CENÁRIO ATUAL E PERSPECTIVAS FUTURAS	
Diego Piazza Hilgert Jair Urbanetz Junior	
<b>DOI 10.22533/at.ed.3252017016</b>	

<b>CAPÍTULO 7</b> .....	<b>75</b>
GECORTE CEMIG D: SELEÇÃO ÓTIMA DE ALVOS DE CORTE USANDO GEORREFERENCIAMENTO: DESENVOLVIMENTO SAP/CCS	
Wellington Fazzi Cancian Andre Luiz Soares Charles Ramos Pimenta	
<b>DOI 10.22533/at.ed.3252017017</b>	
<b>CAPÍTULO 8</b> .....	<b>89</b>
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	
<b>DOI 10.22533/at.ed.3252017018</b>	
<b>CAPÍTULO 9</b> .....	<b>96</b>
A EXPERIÊNCIA DA COPEL COM RELIGADORES MONOFÁSICOS	
Maurício Varassim Hernandes Oscar Kim Júnior Fausto Aurélio Portella Garcia Guilherme Fernandes Gonçalves	
<b>DOI 10.22533/at.ed.3252017019</b>	
<b>CAPÍTULO 10</b> .....	<b>108</b>
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	
<b>DOI 10.22533/at.ed.32520170110</b>	
<b>CAPÍTULO 11</b> .....	<b>122</b>
TÉCNICA DE RESGATE PARA TRABALHOS EM INSTALAÇÕES ENERGIZADAS – MÉTODO AO POTENCIAL	
Fernando César Pepe Wlademir Braido	
<b>DOI 10.22533/at.ed.32520170111</b>	
<b>CAPÍTULO 12</b> .....	<b>128</b>
MONITORAMENTO DE DESGASTE DE CONTATOS DOS DISJUNTORES DA SUBESTAÇÃO ISOLADA À GÁS DA UHE BELO MONTE	
Davi Carvalho Moreira	
<b>DOI 10.22533/at.ed.32520170112</b>	

**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**

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



## DESAFIOS DA REVISÃO PERIÓDICA DE AJUSTES DE GRANDES SISTEMAS -NORMAS, PROCEDIMENTOS E FERRAMENTAS

Data de aceite: 03/01/2020

### **Rodrigo A. Benes Ferreira** SIEMENS

Nasceu em Volta Redonda - RJ em 1982, graduou-se em Engenharia Elétrica pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ – 01/2008) possui pós-graduação em Proteção de Sistemas Elétricos pela Universidade Santa Cecília (UNISANTA – 12/2010) e atualmente trabalha na SIEMENS EM DG (Energy Management – Digital Grid) em projetos de proteção e controle de sistemas de energia de concessionárias e Indústrias. Possui experiência em comissionamento, projetos e estudos de Sistema Elétricos.

### **Mario Roberto Bastos** CTEEP

Nasceu em Franca – SP, graduou-se em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI-1985), possui MBA em Tecnologia da Informação (2002) e Mestrado em Engenharia Elétrica (2006), ambos pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Atualmente trabalha no Departamento de Estratégia e Inovação da Companhia de Transmissão de Energia Elétrica Paulista (CTEEP) e possui 31 anos de experiência na área de supervisão e controle. É Membro IEEE/PES e CIGRE.

### **Nilson José Francischetti Júnior** CTEEP

Nasceu em São Paulo - SP em 1972, graduou-

se em Engenharia Elétrica pela Faculdade de Engenharia São Paulo (FESP-1998), possui pós-graduação em Administração para Engenheiros pela Escola de Administração e Negócios (ESAN-2000) e Pós Graduação em Sistema de Proteção pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ–2004). Atualmente trabalha na Companhia de Transmissão de Energia Elétrica Paulista (CTEEP) e possui 27 anos de experiência da área de estudos de proteção.

**RESUMO:** O artigo proposto tem o objetivo de discutir a realidade brasileira em relação aos processos para revisão dos ajustes empregados atualmente, as modificações propostas pela NERC PRC-027-1 para o mercado americano, e ferramentas disponíveis que possibilitam um gerenciamento das informações e automatização do processo de revisão de ajustes com o objetivo de diminuir o trabalho da equipe e evitar erros humanos. Será apresentado um estudo de caso utilizando o software SIGUARD PSA demonstrando a verificação automática da coordenação das proteções. O sistema elétrico e os relés de proteção são modelados no software PSS Sincal. Os resultados são apresentados de uma forma visual, possibilitando a identificação da região com problema e minimizando o trabalho do especialista que poderá focar seus esforços na revisão dos ajustes.

**PALAVRAS-CHAVE:** Proteção de Sistemas Elétricos, Ajustes de proteção, NERC PRC-027-1, Siguard PSA, PSS Sincal.

## 1 | INTRODUÇÃO

Está em processo de aprovação regulatória, nos Estados Unidos, a revisão da norma PRC-027-1 (Coordination of Protection System Performance During Faults) editada pelo NERC (North American Electric Reliability Corporation's), autoridade internacional reguladora sem fins lucrativos que é responsável por assegurar a confiabilidade do sistema interligado norte americano, denominado BES (Bulk Electric System). Esta norma estabelece requisitos para coordenação de proteção e em sua revisão determina que os agentes de transmissão, geração e distribuição que fazem parte do BES devem desenvolver um processo para revisão periódica dos ajustes de proteção com o objetivo de garantir a confiabilidade do sistema, isolando corretamente a falta, reduzindo o risco de instabilidades e desligamentos em cascata, deixando o restante do sistema operacional e mais capaz de suportar a próxima contingência. Atualmente, os ajustes de proteção são revisados e atualizados devido a substituição do dispositivo de proteção, novas conexões do sistema, alterações em equipamentos primários, alterações de topologia, evolução do nível de curto-circuito, atuações indevidas, etc., porém, com uma abrangência limitada devido a limitação de tempo e disponibilidade das equipes de estudos elétricos e proteção.

A revisão da norma Americana traz à tona a revisão periódica dos ajustes como uma questão fundamental para a confiabilidade do sistema. Alguns trabalhos relacionados ao gerenciamento, revisão dos ajustes e avaliação da performance do sistema de proteção também vêm sendo abordado pelo Cigre, como por exemplo a brochura técnica B5.31 (Life-time Management of Relay Settings) e pelo grupo de trabalho, em atividade, B5-47 (Network Protection Performance Audits) demonstrando a atualidade e relevância do tema.

## 2 | O SISTEMA ELÉTRICO AMERICANO

Como o sistema elétrico americano apresenta diferenças em relação ao sistema elétrico brasileiro torna-se necessária uma breve descrição dos agentes responsáveis pela normatização, regulação e operação deste sistema.

### 2.1 Normatização

O NERC desenvolve e impõe padrões de confiabilidade, avalia anualmente a confiabilidade sazonal e de longo prazo, monitora o BES através da conscientização do sistema, assim como educa, treina, e certifica o pessoal da indústria. A área de responsabilidade do NERC abrange os Estados Unidos, o Canadá e a porção norte da Baja California, no México. O NERC é a organização de confiabilidade elétrica

(ERO) para a América do Norte, sujeita à supervisão da Comissão Federal Reguladora de Energia (FERC-Federal Energy Regulatory Commission) e às autoridades governamentais no Canadá. A jurisdição do NERC inclui usuários, proprietários e operadores do BES, que atende a mais de 334 milhões de pessoas (1).

O BES Norte Americano é dividido em oito entidades regionais distribuídas conforme a Figura 1. A Tabela 1 descreve as siglas de cada entidade.

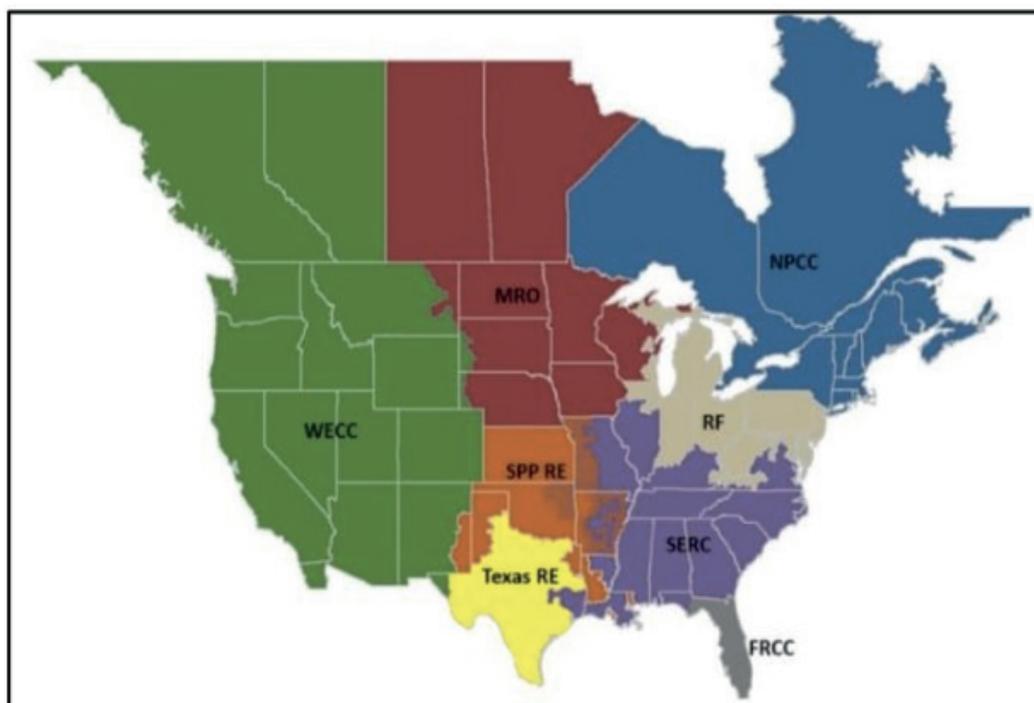


Figura 1 – Entidades Regionais do BES (1)

FRCC	Florida Reliability Coordinating Council
MRO	Midwest Reliability Organization
NPCC	Northeast Power Coordinating Council
RF	Reliability First
SERC	SERC Reliability Corporation
SPP RE	Southwest Power Pool Regional Entity
Texas RE	Texas Reliability Entity
WECC	Western Electricity Coordinating Council

Tabela 1 – Siglas das Entidades Regionais do BES

Estas entidades regionais são conhecidas como RRO (Regional Reliability Organizations) e são delegadas pelo NERC para fazerem auditorias nos operadores e aplicarem multas por não cumprimento das normas.

A definição de BES foi aprovada pela FERC em 2014 e define o seguinte: BES (Bulk Electric System) são todos elementos de transmissão operados em 100kV ou acima e os recursos de potência ativa ou reativa conectados em 100kV ou acima. Isto não inclui equipamentos utilizados na distribuição local de energia elétrica (2).

## 2.2 Regulação

A regulação do mercado de transmissão de energia norte americano é feita pela FERC (Federal Energy Regulatory Commission) que tem a função de Regular a transmissão de energia, gás natural e óleo. No mercado de energia elétrica ela tem como principais funções regular toda venda de eletricidade, revisar fusões e aquisições das empresas de eletricidade, monitorar e investigar este mercado, licenciar novos projetos e aprovar as normas para o sistema (3).

## 2.3 Operação

As empresas que atuam no mercado podem ser donas do ativo, operadoras ou ambos. Os proprietários de sistemas de transmissão são fragmentados em centenas de proprietários. Os proprietários podem ser entidades privadas ou públicas.

Com o objetivo de tornar o sistema elétrico mais confiável e mais eficiente em termos econômicos, foi criado um Mercado organizado que é gerido por entidades de supervisão regional chamadas de RTO (Regional Transmission Organization) e ISO (Independent System Operator), criadas pelas partes interessadas regionais em resposta às ordens 2000 do FERC e 888, respectivamente. Estas entidades fazem o planejamento, operação e comercialização da energia. RTO e ISO têm funções similares, porém, a ISO é responsável por uma área menor e usualmente opera em um único estado. Este modelo de mercado representa dois terços da energia transmitida nos Estados Unidos (4).

Há, porém, uma parte que ainda não aderiu ao mercado organizado onde são seguidos acordos bilaterais tradicionais na comercialização de energia.

## 3 | A NORMA NERC-PRC-027-1

### 3.1 Introdução

O NERC iniciou em 2007 o projeto 2007-06 com o objetivo de substituir a norma PRC-001-1.1(ii) que trata da coordenação da proteção do sistema. Esta revisão atendeu à necessidade da indústria envolvida no sentido de que a coordenação de proteção entre os sistemas interconectados envolvendo diferentes proprietários é fundamental para a confiabilidade do sistema interligado americano (BES).

O projeto se deu em duas fases, sendo a primeira destinada à elaboração da nova norma de confiabilidade PRC-027-1 para estabelecer a performance da coordenação de proteção durante faltas. Estes novos requisitos substituíram os requisitos R3 e R4 da norma substituída PRC-001-1.1. A segunda fase atualizou os requisitos restantes R1, R2, R5 e R6, apresentou novas definições para OPA (Operational Planning Analysis), RTA (Real-time Assessment) e propôs a PER-006-1 que trata do treinamento dos profissionais ligados a operação em tempo real do sistema.

Em 2016 o projeto foi encaminhado para aprovação da FERC. A norma passará

a vigorar 24 meses após aprovação. Até o momento de elaboração do artigo a norma ainda encontra-se em tramitação (5).

A norma PRC-027-1 tem o seguinte título: Coordenação do sistema de proteção para performance durante faltas

O objetivo da norma é manter a coordenação do sistema de proteção instalado, detectar e isolar faltas nos elementos do sistema interligado americano (BES) de forma que tais proteções operem em uma sequência adequada durante faltas, tornando o sistema mais confiável e reduzindo o risco de instabilidades e atuações em cascata. O Foco da norma está nas principais proteções para eliminação de falta (21/21, 50/51, 67). Outras funções são tratadas em outras normas e não foi objetivo do projeto NERC 2007-06.

A norma é aplicada aos proprietários de ativos de transmissão, geração e distribuição (sistemas de proteção destinado a eliminação de falta no BES). Nesta revisão, a NERC modificou a responsabilidade da coordenação da proteção que conforme a norma anterior PRC-001 era do operador, passou agora a ser do proprietário do sistema.

### 3.2 DESTAQUES DA NORMA NERC-PRC-027-1

A seguir serão abordados os principais pontos da norma.

#### Requisito R1:

*“Cada proprietário de sistemas de transmissão geração e distribuição deve estabelecer um processo para desenvolver novos ajustes e atualizar os existentes de modo que o sistema de proteção opere na sequência pretendida durante a ocorrência de faltas. O processo deve incluir:*

*1.1 A revisão e atualização do modelo de curto-circuito para o elemento do BES sob estudo*

*1.2 A revisão dos ajustes do sistema de proteção*

*1.3 Para sistemas de proteção que estão eletricamente unidos por diferentes entidades devem:*

*1.3.1 Fornecer a proposta de ajuste para a entidade conjunta*

*1.3.2 Responder a qualquer proprietário que fornecer sua proposta de ajuste de acordo com o item 1.1.3 identificando qualquer questão de coordenação ou afirmando sua conformidade com o mesmo”*

#### Medida M1:

*“Evidências aceitáveis podem incluir, mas não limitadas a, dados eletrônicos ou documentações físicas para demonstrar que a entidade responsável estabeleceu um processo para desenvolver configurações para o sistema de proteção de acordo com*

### *o requisito R1”*

O requisito R1 formaliza o objetivo da norma estabelecendo um processo para que ocorra a correta coordenação da proteção. O primeiro item, 1.1, assegura que os dados utilizados para o cálculo do curto-circuito reflitam precisamente o sistema de potência em questão, formando uma base confiável para os estudos de coordenação de proteção. A responsabilidade de atualização do modelo fica prioritariamente com as entidades de transmissão, sendo que as entidades de geração e distribuição podem não manterem os modelos de curto-circuito, e neste caso devem solicitar os dados de curto-circuito à entidade transmissora.

O item 1.2 estabelece a revisão dos ajustes que através do processo elaborado deve reduzir a probabilidade de erros humanos e garantir que os padrões estabelecidos sejam seguidos. Os critérios para desenvolvimento de ajustes podem variar entre as entidades responsáveis, conforme a topologia do sistema, tecnologia de proteção utilizada e o conhecimento histórico do sistema. Um critério único para a coordenação de proteção não foi considerado prático, portanto cada entidade deve elaborar o seu critério. Neste item a norma deixa em aberto a utilização de ferramentas e programas que possam facilitar este processo.

O item 1.3 destaca a importância da comunicação entre entidades que se interligam no sistema identificando possíveis problemas de coordenação antes de sua implementação.

#### *Requisito R2:*

*“Cada proprietário de transmissão, geração e distribuição, para cada elemento do BES com funções de proteção identificados no anexo A, deve:*

*Opção 1: Executar um estudo de coordenação de proteção do sistema em um intervalo que não exceda 6 anos; ou*

*Opção 2: Comparar o valor da corrente de falta atual com uma estabelecida corrente de falta base e executar o estudo de coordenação de proteção quando a comparação identificar um desvio maior que 15% nos valores de corrente de falta (trifásicos ou fase-terra) em um barramento ao qual o elemento do BES está conectado. Todo processo não deve ultrapassar 6 anos; ou*

*Opção 3: usar uma combinação das duas opções anteriores.”*

#### *Medida M2:*

*“Evidências aceitáveis podem incluir, mas não limitadas a, dado eletrônico ou documentação física que demonstre a que a entidade responsável executou o estudo de coordenação de proteção e/ou comparação da corrente de falta conforme o requisito R2.”*

O requisito R2 estabelece como deve ser executado o item 1.2 do requisito

R1. Ele apresenta três opções que seriam: realizar o estudo de coordenação a cada período ou avaliar a variação do do curto-circuito comparando o valor atual com a base (último estudo de coordenação) e só realizar o estudo de coordenação caso esta variação seja maior que 15% ou uma terceira opção que seria uma combinação das duas opções anteriores.

Foi estabelecido também a periodicidade de 6 anos que este processo deve ocorrer. Este tempo foi escolhido como um balanço entre os recursos necessários para a elaboração do estudo e o potencial impacto na confiabilidade criados pelas modificações no sistema que aumentam a corrente de curto circuito com o tempo.

O Anexo A, citado, define as funções que devem ser observadas no estudo de coordenação, são elas:

21 – Distância

50 – Sobrecorrente instantânea (tempo definido)

51 – Sobrecorrente temporizada (curva de tempo inverso)

67 – Sobrecorrente direcional (se usada em um sistema sem teleproteção)

A corrente de base de comparação citada na opção dois deve ser definida quando um novo elemento do BES é instalado ou após o estudo de coordenação de proteção ter sido feito. Outro detalhe importante é que ao escolher a opção dois, ela deve efetuar a verificação da evolução da corrente de curto e se ela ficar abaixo de 15%, nenhuma outra ação é necessária dentro do período, porém, se for detectado uma variação maior que 15% na corrente de curto, o estudo de coordenação de proteção deve ser realizado ainda dentro do período de 6 anos.

A opção 3 pode ser utilizada por exemplo para aplicar uma metodologia diferente de acordo com a criticidade da instalação: Em uma instalação mais crítica seria utilizado a opção 1 e em uma instalação menos crítica poderia ser utilizado a opção 2.

### Requisito R3

*“Cada Proprietário de transmissão, geração ou distribuição deve utilizar o processo estabelecido no requisito R1 para desenvolver novos e revisar os ajustes do sistema de proteção para elementos do BES.”*

### Medida M3

*“Evidências aceitáveis podem incluir, mas não limitadas a, dado eletrônico ou documentação física que demonstre que a entidade responsável utilizou o processo de desenvolvimento de ajustes estabelecido no requisito R1 como especificado no requisito R3.”*

O requisito R3 tem o objetivo de estabelecer o uso dos critérios elaborados conforme o requisito R1.

## 4 | A REALIDADE BRASILEIRA

Regulamentando o Sistema de Transmissão Brasileiro, temos o submódulo 11.5 do ONS que trata do Diagnóstico dos Sistemas de Proteção e Controle e tem o objetivo estabelecer diretrizes e responsabilidades para a avaliação e adequação dos sistemas de proteção e controle das instalações e consequente aumento da segurança do SIN (6).

Neste submódulo é destacado a importância da coordenação dos ajustes de proteção e a revisão periódica do mesmo, conforme o item 1.2 abaixo:

*“1.2: ...Logo é necessário que as avaliações das coordenações dos ajustes das proteções instaladas na Rede Básica e nas instalações que se conectam ao barramento de transformador de fronteira sejam realizadas periodicamente.”*

O acompanhamento da evolução dos níveis de curto-circuito é citado no item 1.3:

*“1.3 A importância dos sistemas de proteção e controle justifica o cuidado no estabelecimento de requisitos mínimos definidos nos Submódulos 2.6, 2.7 e 3.6, no acompanhamento dos desempenhos conforme os Submódulos 11.2, 22.7, 25.9 e 25.12 e no acompanhamento da evolução do SIN por meio da avaliação dos níveis de curto-circuito (Submódulo 11.3).*

A análise das perturbações também são importantes para a melhoria do desempenho de proteção e é citada no item 1.4:

*“1.4 As perturbações ocorridas no SIN são analisadas sistematicamente, objetivando-se determinar as causas de anormalidades e estabelecer recomendações para a correção das deficiências identificadas.”*

As responsabilidades do ONS e das concessionárias são tratadas no item 5 do submódulo 11.5. O ONS é o responsável pela definição de quais instalações serão objeto de análise e os critérios para o diagnóstico do sistema de proteção e controle. A elaboração do diagnóstico e do plano de ação para implementação das adequações nos sistemas de proteção e controle e o plano de ajustes de proteção deve ser feito pelo ONS em conjunto com os agentes. Os agentes devem fornecer as informações do sistema de proteção e controle, as filosofias de atuação das proteções, propor prazos e prioridades para implementação do plano de ação e executar o plano de ação nas instalações de sua responsabilidade. O ONS deve acompanhar a execução do plano de ação e tratar como não conformidade os descumprimentos das obrigações estabelecidas no plano.

A priorização é dada conforme o item 7.1 descrito abaixo. Este item também

estabelece uma variação mínima de 10% do curto-circuito no horizonte de 3 anos a frente bem como a avaliação do desempenho da proteção para a elaboração do diagnóstico e plano de ação e ajuste.

*“7.1 O ONS deve priorizar as subestações da Rede Básica, incluindo as instalações que se conectam ao barramento de transformador de fronteira, que serão objeto do Diagnóstico dos sistemas de proteção e controle, do Plano de ação para implementação de adequações nos sistemas de proteção e controle e do Plano de ajustes das proteções, considerando no mínimo:*

*(a) variação maior ou igual a 10% (dez por cento) do nível de curto-circuito em cada barra da Rede Básica ou em cada barra de transformador de fronteira, no horizonte de três anos à frente;*

*(b) desempenho dos sistemas de proteção conforme Submódulo 11.2;*

*(c) demandas oriundas de estudos específicos realizados pelo ONS e agentes;*

*(d) solicitação da ANEEL ou MME; ou*

*(e) relatórios de análises de perturbações.”*

O item 7.2 define as instalações e a periodicidade para elaboração do diagnóstico e do plano;

*“7.2 Todas as subestações da Rede Básica, incluindo as instalações que se conectam ao barramento de transformador de fronteira, deverão ser objeto do Diagnóstico dos sistemas de proteção e controle, do Plano de ação para implementação de adequações nos sistemas de proteção e controle e do Plano de ajustes das proteções com uma periodicidade máxima de 6 (seis) anos, independente da priorização do item (7.1).”*

Neste processo, as seguintes práticas são geralmente adotadas:

- Quando há modificação de equipamento primário (transformador, linha, etc.)

É executada uma avaliação nas contribuições de curto-circuito identificando a necessidade de revisão no estudo de seletividade da proteção a fim de atender a substituição do equipamento ou alteração de topologia e se garantir a perfeita coordenação das proteções no SIN.

- Na ocorrência de atuação indevida

Identificada uma atuação indevida, inicia-se um processo de revisão dos ajustes e caso constate que o problema é restrito ao bay será corrigido apenas este bay, porém, se detectado que o problema é sistêmico (vários bay's) todos os equipamentos afetados terão os seus estudos revisados.

O uso de softwares de curto-circuito que permitam a modelagem dos ajustes e que tenham interface com a base de dados de ajustes sinaliza com a possibilidade de

melhorias neste processo de revisão de ajustes, apesar de não serem utilizados por todos os agentes.

Devido à evolução do sistema elétrico e equipes mais enxutas nas empresas do setor, as demandas de manutenção, engenharia e revisões podem levar a necessidade de contratação de serviço externo, para elaboração de estudos de proteção.

Processos totalmente automatizados para avaliação das necessidades de alteração de ajustes por evolução do sistema elétrico também não são de uso habitual, assim como se tem que a aplicação dos ajustes é efetuada de modo manual.

## 5 | AVALIAÇÃO AUTOMÁTICA DE AJUSTES

Diante do desafio da revisão periódica de ajustes proposto pela norma NERC-PRC-027-1 às equipes de estudos elétricos responsáveis por grandes sistemas elétricos de potência, surge a necessidade de ferramentas que possam auxiliar o trabalho dos especialistas otimizando seu tempo e reduzindo possíveis erros humanos.

Dentro deste contexto uma das ferramentas existentes, foi desenvolvida pela Siemens, o software SIGUARD PSA (Protection Security Assessment) simula e avalia a performance do sistema de proteção em todo sistema modelado, possibilitando a avaliação automática de diversas condições de falta (7)

Primeiramente é necessário que o sistema esteja modelado em um software de curto circuito que possibilite a inclusão do dispositivo de proteção e sua simulação diante dos diversos tipos de falta. A Figura 2 mostra um sistema exemplo modelado no software PSS SINCAL (8).

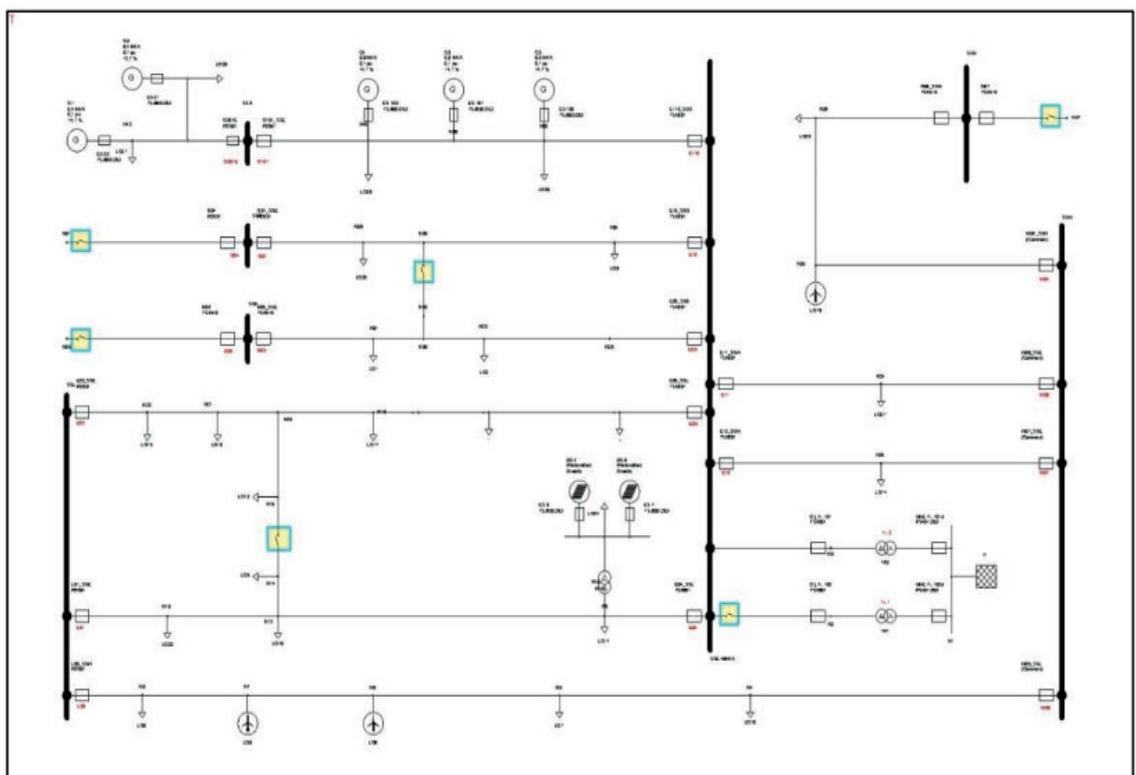


Figura 2 – Sistema Exemplo

Os elementos em retângulo na Figura 2, localizados nos terminais das linhas e saídas de geradores representam os relés de proteção. Foram modelados funções de distância, sobretensão, subtensão e sobrecorrente.

Com o modelo no PSS SINCAL, é possível executar simulações variando-se a impedância de falta, a localização da falta e outras condições operacionais, porém neste caso, o processo é feito um a um, a partir da modificação de parâmetros e execução da simulação. O SIGUARD PSA possibilita a importação destes dados, a execução automática de uma grande quantidade de simulações e a visualização do resultado de forma gráfica ou relatório.

Na Tabela 2, observamos os resultados para a avaliação da proteção principal para o curto-circuito trifásico, com resistência de falta zero e com uma variação em passos de 10% da localização da falta nas linhas. Cada linha representa uma zona de proteção e cada coluna representa a porcentagem da zona onde foi aplicada a falta. A cor verde indica que o sistema está seletivo, a cor amarela indica que ocorreu sobrealcançe de alguma proteção, a cor laranja subalcançe e vermelho indica que a falta não foi eliminada.

Fault Path	Lines											Transformers		ID
	1%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	99%	1%	99%	
Zone1:B05_SSE-1-L33	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green			1
Zone1:E09_SSB-1-L33	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green			2
Zone1:B05_SSE-1-E09_SSB	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green			3
Zone2:B08-1-L2	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Yellow	Yellow			4
Zone5:E04_SSL-1-LO24	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Red	5
Zone5:E04_SSL-1-L23	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green			6
Zone5:E04_SSL-1-L01_SSE	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green			7
Zone5:L01_SSE-1-LO24	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Red	8
Zone5:L01_SSE-1-L23	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green			9
Zone6:E05_SSL-1-LO12	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green			10
Zone6:E05_SSL-1-L02_SSE	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green			11
Zone6:L02_SSE-1-LO12	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green			12
Zone7:E10_SSO-1-O01_SSE	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green			13
Zone8:E110_SSO-1-O101_SSE	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green			14
Zone9:E11_SSW-1-W06_SSE	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green			15
Zone10:E12_SSW-1-W07_SSE	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green			16
Zone11:L03_SSW-1-W05_SSL	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green			17
Zone12:N03_SSW-1-W04_SSN	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green			18
Zone13:N07-1-L4	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Yellow	Yellow			19
Zone14:O04-1-L3	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Yellow	Yellow			20
Zone15:O201E-1-LO27	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow			21
Zone15:O201E-1-LO28	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green			22
Zone16:UMZ Tr. 101d-1-N3												Green	Green	23
Zone17:UMZ Tr. 102d-1-N2												Green	Green	24

Tabela 2 – Resultado Curto Trifásico, resistência de falta 0.0 Ω

Nas linhas de ID 5 e 8 da Figura 2, verifica-se que uma falta na baixa do

transformador não foi eliminada (sinalização vermelha a 99% do transformador). Simulando a mesma falta no PSS-Sincal observa-se que realmente a falta não é eliminada, pois, apesar dos relés ES7 e ES8 terem atuado, os relés E04\_SSL e L01\_SSE não atuaram, conforme Figura 3. Para correção do problema foi adicionado um relé de sobrecorrente no primário do transformador para que esta falta fosse eliminada corretamente.

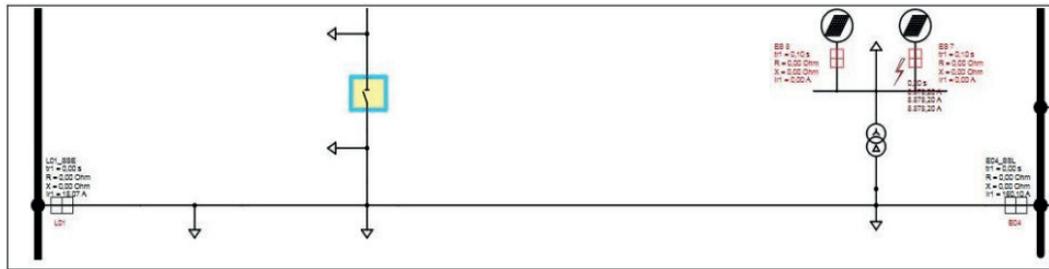


Figura 3 – Caso 1 (Falta não eliminada)

Na linha de ID 4 da Tabela 2 temos um sobrealcance e um subalcance em 90 e 99% da linha L2. Simulada falta nestas distâncias no PSS Sincal confirma-se que, para a falta em 90% da linha L2 ocorre atuação indevida do relé E09\_SSB, em sobrealcance (Figura 4) e em 99% da linha o relé B08 não atua, subalcance (Figura 5). Neste caso foi efetuada a revisão do ajuste da zona 2 de ambos os relés, obtendo a correta seletividade.

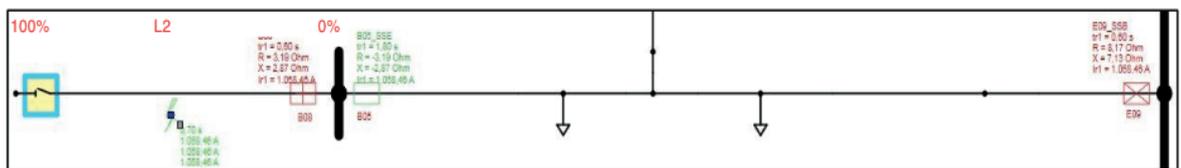


Figura 4 – Caso 2 (sobrealcance)

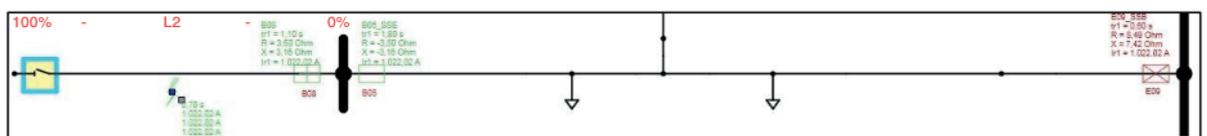


Figura 5 – Caso 2 (subalcance)

Na linha de ID 14 da Tabela 2 temos um subalcance nos primeiros 30% da linha. No PSS Sincal confirma-se que o relé O101\_SSE realmente não atua para esta região (Figura 6), portanto, neste caso foi adicionado um esquema de teleproteção: um TDD é enviado pelo relé E110\_SSO para o relé O101\_SSE quando ocorrer trip de zona1.

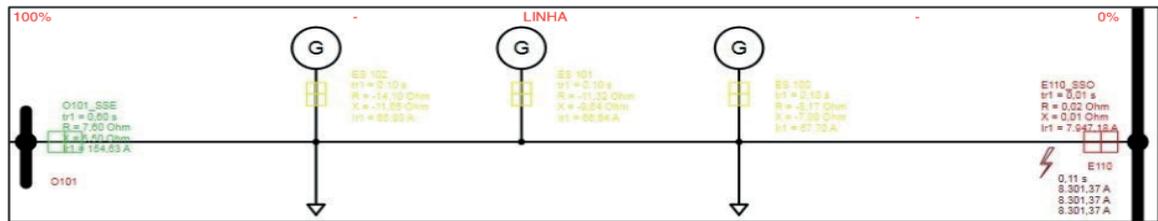


Figura 6 – Caso 2 (sublance)

As soluções adotadas para os casos apresentados têm o objetivo de exemplificar os passos para a solução do problema, mas não esgotam todas as avaliações necessárias para revisão definitiva do sistema de proteção, porém, com eles é possível ter uma avaliação do processo e observar as seguintes otimizações:

- Redução de tempo na simulação e avaliação do sistema como um todo. A Tabela 2 gerada pelo Siguard PSA resume a simulação e avaliação de 272 casos.
- Localização imediata dos pontos críticos, possibilitando o foco do especialista na solução do problema e não na busca dos problemas.
- Facilidade de se obter uma reavaliação global a qualquer momento para verificar se um determinado ajuste modificado não gerou outro problema que não havia inicialmente.

Finalizando as soluções de todos os problemas indicados na Tabela 2 e avaliando o sistema final com o Siguard PSA, obtemos o resultado da Tabela 3.

Fault Path	Lines											Transformers		ID	
	1%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	99%	1%	99%		
Zone1:B05_SSE-1-E09_SSB															1
Zone1:B05_SSE-1-L33															2
Zone1:E09_SSB-1-L33															3
Zone2:B08-1-L2															4
Zone5:E04_SSL-1-L23															5
Zone5:E04_SSL-1-N10															6
Zone5:L01_SSE-1-N10															7
Zone5:E04_SSL-1-L01_SSE															8
Zone5:L01_SSE-1-L23															9
Zone6:E05_SSL-1-LO12															10
Zone6:E05_SSL-1-L02_SSE															11
Zone6:L02_SSE-1-LO12															12
Zone7:E10_SSO-1-O01_SSE															13
Zone8:E110_SSO-1-O101_SSE															14
Zone9:E11_SSW-1-W06_SSE															15
Zone10:E12_SSW-1-W07_SSE															16
Zone11:E13_TR3-1-LO24															17
Zone12:L03_SSW-1-W05_SSL															18
Zone13:N03_SSW-1-W04_SSN															19
Zone14:N07-1-L4															20
Zone15:O04-1-L3															21
Zone16:O201E-1-LO27															22
Zone16:O201E-1-LO28															23
Zone17:UMZ Tr. 101d-1-N3															24

Tabela 3 – Resultado Curto Trifásico, resistência de falta 0.0  $\Omega$ , após reavaliação da proteção.

Além da avaliação da proteção principal, variando-se a resistência de falta, sua localização e o seu tipo, é possível também avaliar, de forma semelhante, a proteção de retaguarda (backup). Neste caso, é simulada a falha de um relé e avaliado o comportamento dos demais relés diante desta falta. Os resultados podem ser visualizados em forma de relatórios ou tabelas.

## 6 | CONCLUSÃO

A revisão periódica de ajustes de proteção continua sendo um desafio para profissionais e empresas do setor elétrico de todo o mundo. Uma solução única não é possível, pois esta depende da organização de cada mercado e das especificidades de cada sistema, porém, avaliando as realidades americana e brasileira, identificamos como uma boa prática a realização da avaliação da evolução do curto-circuito, seja de forma periódica ou diante de uma modificação do sistema, e a sua comparação com o valor de curto obtido na última realização do estudo de coordenação de proteção. Outra constatação importante é que uma avaliação global do sistema de proteção, em destaque para as funções de sobrecorrente direcional e para zonas de sobre alcance (zonas 2 e 3 caso utilizada) da proteção de distância, que tem forte impacto devido a evolução do curto-circuito, é fundamental para a manutenção da seletividade do sistema, e neste sentido, os softwares que automatizam etapas deste processo são fundamentais para execução deste trabalho, viabilizando uma análise mais completa e mais ágil.

## REFERÊNCIAS

NERC - North American Electric Reliability Corporation, “Bulk Electric System - Public Case Notes,” 2016.

NERC - North American Electric Reliability Corporation, “Bulk Electric System Definition Reference Document,” 2014.

FERC - Federal Energy Regulatory Commission, 2017. Disponível: <https://www.ferc.gov>.

IRC ISO/RTO COUNCIL, 2017. Disponível: <http://www.isorto.org>.

NERC - North American Electric Reliability Corporation, “Petition of the North American Electric Reliability Corporation for Approval of Proposed Reliability Standards PRC-027-1 and PER-006-1 and retirement of PRC-001-1.1(ii),” 2016.

Operador Nacional Do Sistema Elétrico (ONS), “Submódulo 11.5 - Diagnóstico dos Sistemas de Proteção e Controle,” 2016.

SIEMENS AG, “SIGUARD - Power System Supervision,” 2017. Disponível: <http://www.siemens.com/>

siguard.

SIEMENS AG, "PSS SINCAL - Integrated Power System Engineering Software," 2017. Disponível: <http://www.siemens.com/sincal>.

SIEMENS AG, "Power Technologies International," 2017. Disponível: [www.siemens.com/power-technologies](http://www.siemens.com/power-technologies).

## 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

