

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 eletricista 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

TRANSFORMADOR DE ATERRAMENTO EM REDE DE DISTRIBUIÇÃO

Data de aceite: 03/01/2020

Djair Pamplona sos Santos

CENTRAIS ELÉTRICAS DO PARÁ S.A.

BELÉM-PARÁ-BRASIL

djair.pamplona@gmail.com

04/11/2019

RESUMO: Este artigo apresenta estudo, projeto de implantação e acompanhamento da operação de um transformador de aterramento instalado em um alimentador rural de 34,5kV, com objetivo de diminuir queimas de transformadores de distribuição. A Região Amazônica, no Estado do Pará, onde foi instalado o transformador de aterramento, apresenta particularidades com relação à eletrificação rural por possuir alimentadores de distribuição 34,5 kV bastante longos com muitos circuitos Monofásicos com Retorno pela Terra (MRT) e que apresentam números excessivos de queimas de transformadores de distribuição. Entre 2012 e 2013, o alimentador RN-11 com 2.541 km de extensão, somando o tronco com todos os ramais, foi o que mais apresentou queimas, 446. Deste total 88,4% foram queimas de transformadores monofásicos instalados em ramais monofásicos. Baseado na premissa técnica de que os parâmetros de impedância

zero de um alimentador de distribuição cresce mais do que o de sequência positiva à medida que se distancia de subestação de potência, a tendência é que no final do alimentador a relação $X0/X1$ torna-se maior que 3. A partir deste ponto ocorrem sobretensões nas fases, durante faltas fase à terra, próximas de 1,4 p.u., principalmente se ramais MRT destes locais tiverem baixo carregamento. A partir da localidade de Casa de Tábua no final do alimentador, constatou-se os maiores valores de $X0/X1$ onde ocorrem maiores sobretensões, menores correntes de curtos circuitos e maior quantidade de transformadores queimados. A solução vislumbrada com os resultados dos estudos foi a de alterar as impedâncias de sequência zero do alimentador no local, para isto foi utilizado um transformador de aterramento do tipo utilizado em subestações, $V_n=34,5/\sqrt{3}$ kV, $I_n=4.500$ A, $P_n(10s)=2.700$ kVA, ligação zig-zag e impedância de sequência zero de 5,29 Ω .

PALAVRAS-CHAVE: Transformador de Aterramento, Alimentador, Isolamento de Neutro, Sobretensões, Relação $X0/X1$.

GROUND TRANSFORMER IN DISTRIBUTION NETWORKS

ABSTRACT: This paper presents the analysis, implementation project and operation monitoring

of a ground transformer installed in a 34,5 kV rural feeder, aiming to reduce failure in distribution transformers. The Amazon region, Para State, where the transformer is installed, presents particularities in relation to other rural electrification for having long distance 34,5 kV distribution feeders with many ground return monophasic circuit which presents excessive cases of failuring of distribution transformers. Between 2012 and 2013, the 2.541 km range feeder RN-11, counting the main circuit with its branch-lines, has presented the most frequent failures, 446 total. Which 88,4% were from monophasic transformers installed in monophasic branch-lines. Based on the technical premise that the impedance parameters zero of a feeder increases more than the positive sequence as the distances increases from the power substation, the trend is that in the end of the feeder the ratio X_0/X_1 becomes greater than 3, where overvoltages occurs in phases not affected during phase and ground shortcut, close to 1,4 p.u., mostly if ground return monophasic circuit from those places having low loading. From the end of the feeder, at Casa de Tábua locality, was observed that the highest values of X_0/X_1 happens where most of overvoltages occurs, less short-circuit current and more failed transformers. The solution proposed with the results of this analysis is to change the sequence zero impedances of the feeder in the location. For this was used a ground transformer $V_n=34,5/\sqrt{3}$ kV, $I_n=4.500$ A, $P_n(10s)=2.700$ kVA, and zero-sequence impedance of $5,29 \Omega$

KEYWORDS: Ground transformer, Feeder, neutral isolation, overvoltages, ratio x_0/x_1

1 | INTRODUÇÃO

Grande parte das redes (alimentadores) de distribuição 34,5 kV e 13,8 kV implantadas no Estado do Pará, Região Amazônica do Norte do Brasil, foram construídas através do Programa de Eletrificação Rural Luz Para Todos (PLPT) do Governo Federal. Estas redes trifásicas são bastante extensas, geralmente com baixo carregamento e com muitos ramais monofásicos MRT; sendo atendidas por subestações de força que apresentam transformadores abaixadores cujo tipo de ligação é delta na alta tensão (69 kV ou 138 kV) e estrela aterrada solidamente na média tensão (34,5 kV ou 13,8 kV) ou por transformadores elevadores 13,8/34,5 kV-5/6,3 MVA, ligação estrela aterrada solidamente.

As implantações e expansões destes alimentadores são constituídas, inicialmente para atender localidades habitacionais rurais próximas às subestações de força, contudo com o passar dos anos foram crescendo muito em extensão e se distanciando cada vez mais das subestações.

As regiões por onde passam os alimentadores, são constituídas de florestas tropicais com grande quantidade de árvores e arbustos e outras com florestas abertas em função de desmatamentos para o plantio de pastagens destinadas à atividade pecuária e extração de minérios. Toda esta região tem em comum a alta densidade pluviométrica, principalmente durante o inverno amazônico, período de novembro a maio, quando acontece a maior incidência de curtos circuitos nas redes.

O solo da região apresenta resistividade bastante variável, onde podemos encontrar áreas com resistividade do solo abaixo de 700 Ω .m e outras acima de 2.000 Ω .m. Geralmente nas regiões de predominância de florestas densas de solos úmidos a resistividade é baixa, contudo é alta nas áreas de florestas abertas usadas para formação de pasto e extração mineral.

Somam-se ainda muitas dificuldades de trafegabilidade nas estradas vicinais que são de péssimas qualidades e por onde passam as redes de distribuição. Neste caso torna-se, extremamente dificultoso fazer serviços de manutenção no menor tempo possível e que não prejudiquem os índices de conformidade e continuidade de atendimento dos consumidores.

Dependendo da região por onde esteja situado o alimentador de distribuição 34,5 kV ou 13,8 kV, os aspectos citados contribuem para que sua extensão longa, com vários ramais MRT, apresente um número elevado de queima de transformadores de distribuição monofásicos.

O objetivo deste artigo será apresentar as experiências obtidas com a implantação de um transformador de aterramento (padrão estação) em local determinado de um alimentador 34,5 kV para diminuir a queima de transformadores de distribuição.

2 | ESTATÍSTICA DE QUEIMAS DE TRANSFORMADORES

Levantamento feito entre os meses de setembro de 2012 a agosto de 2013 apresentou uma quantidade excessiva de queima de transformadores de distribuição, principalmente em alimentadores de 34,5 kV de grande extensão, conforme Tabela I.

Do total dos 135.678 transformadores de distribuição existentes nas redes 13,8 kV e 34,5 kV da rede elétrica do Estado do Pará, 5.352 transformadores foram danificados no período, o que representa uma taxa de 3,94 % de queima.

Alimentador	Transformadores queimados (Set/12 a Ago/13)	Tensão (kV)	Extensão MT (km)	Tronco (km)	Bitola Tronco
RN-11	624	34,5	2541	152	4/0
RV-01	279	34,5	2932	165	336,4
AB-15	209	34,5	987	141	336,4
RM-05	195	34,5	1762	83	4/0
TM-05	178	34,5	2019	149	4/0
TI-16	154	34,5	1582	100	4/0
MB-11	100	34,5	2935	278	4/0
XN-10	93	34,5	1513	63	1/0
...
...
AE-02	1	13,8	8	3,5	1/0
Total	5.352				

Tabela I. Transformadores Queimados

Destes 5.352 transformadores, 1.832 (34,23%) ocorreram somente em 8 alimentadores de 34,5 kV e 3.520 no restante dos 387 alimentadores da concessionária. O alimentador RN-11 com 2.541 km de extensão, somando o tronco com todos os ramais, foi o que mais apresentou queimas, 446. Deste total 88,4% foram queimas de transformadores monofásicos de 19,918 kV/230-115 V-5, 10 e 15 KVA ou 19,918 kV/254-127 V-5, 10 e 15 KVA instalados em ramais monofásicos MRT.

3 | ESTUDOS ELÉTRICOS

Face às evidências de queimas exageradas no alimentador RN-11, passou-se a investigar as causas das mesmas através de estudos de análises com utilização de ferramentas computacionais de programa de cálculo de curto circuito. Procurou-se avaliar e quantificar os níveis de correntes na fase em falta e sobretensões sustentadas nas fases sãs, quando da ocorrência de curtos circuitos fase terra nas extremidades do alimentador, principalmente nos locais onde havia maior incidência das queimas.

O aterramento do sistema de distribuição, a partir dos barramentos 34,5 kV ou 13,8 kV das subestações, tende a ficar comprometido com o distanciamento da subestação e, dependendo da bitola do cabo, pode provocar o isolamento do neutro para o final do alimentador [1].

Sistemas de distribuição com tendência ao isolamento de neutro apresentam sobretensões sustentadas e transitórias que provocam queima de equipamentos, assim como diminuição das correntes de falta à terra com baixa sensibilidade das proteções.

O isolamento de neutro começa a ser evidenciado quando a relação X_0/X_1 no alimentador torna-se maior ou igual a 3 [2]. A partir deste ponto ocorrem sobretensões

nas fases sãs, durante faltas fase à terra, próximas de 1,4 p.u.

Baseado nesta premissa técnica, idealizamos e concretizamos a instalação de um transformador de aterramento [3] em determinado ponto de um alimentador, com objetivo de diminuir a relação X_0/X_1 antes e após o local de sua instalação para diminuirmos as sobretensões nas fases sãs e aumentar a sensibilidade das proteções de neutro dos religadores da rede de 34,5 kV.

3.1 O Alimentador RN-11

O alimentador RN-11, situado na região sudeste do Estado do Pará, tem seu caminhamento passando por áreas de florestas densas e abertas, propensas à incidência elevada de curtos circuitos, principalmente na época da estação de chuvas.

Atendido em 34,5 kV pela Subestação Redenção 138/13,8/34,5 kV, possui tronco com aproximadamente 152 km, cabo 4/0 AWG e diversos ramais MRT de até 20 km em cabo 2 e 4 CA. Possui 2.410 transformadores, onde somente 92 são trifásicos (3,81%) e o restante 2.318 monofásicos (96,19%).

Na Fig.1 é mostrada a Região Amazônica do Brasil onde está localizado o alimentador RN-11 e na Fig.2 a topologia do alimentador com a indicação da subestação Redenção e a localidade de Casa de Tábua.

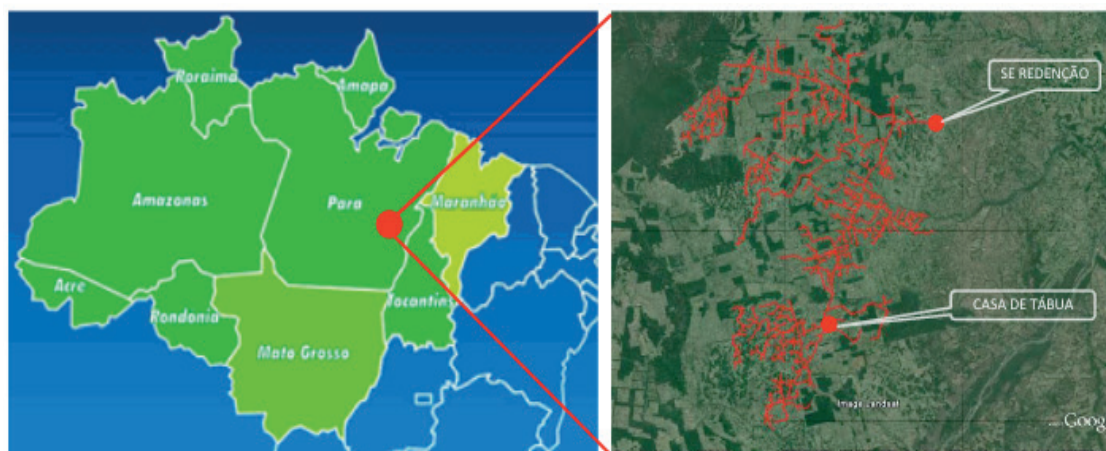


Fig.1. Região Amazônica do Brasil

Fig.2. Topologia do alimentador RN-11

Como na maioria dos troncos trifásicos dos alimentadores rurais da região, o RN-11 não possui condutor neutro multiterrestrado[4], o que favorece as seguintes desvantagens:

- Elevação de potencial de neutro de transformadores monofásicos;
- Condição desfavorável para escoamento de surtos de tensão;
- Curtos circuitos de alta impedância no alimentador;
- Falta de sensibilidade para as proteções de terra;
- Potenciais de toque e passo próximo ao aterramento de transformadores;

- Transformadores monofásicos com baixo carregamento.

Os problemas aumentam ainda mais nos ramais monofásicos MRT ligados ao tronco do alimentador, considerando as dificuldades em obter resistências de aterramento baixa para os transformadores, uma vez que na região a resistividade do solo está acima de 2.000 $\Omega.m$.

A região abaixo da localidade de Casa de Tábua é onde ocorrem 70% da totalidade de queimas dos transformadores do RN-11.

3.2 Resultado dos Estudos de Curto Circuito

A modelagem do alimentador RN-11, no programa de cálculo de curto circuito, foi representada todo o tronco principal e somente os ramais monofásicos MRT mais representativos, principalmente os mais longos. Consideraram-se as impedâncias equivalentes no barramento de 34.5 kV da SE Redenção 138/13,8/34,5 kV.

Vale observar que a modelagem utilizada nos cálculos de curto circuito não considerou nenhum valor de impedância de retorno pela terra, ou seja, a terra é ideal com impedância zero; assim como o sistema foi representado em vazio, sem carga, o que favoreceu obtermos valores de corrente e tensão um pouco conservativos.

Os resultados com valores de corrente, tensão e impedâncias de curto circuito e diagrama unifilar simplificado do alimentado RN-11, são mostrados na Tabela II.

RELATORIO DE RESULTADOS DE CURTO CIRCUITO							DIAGRAMA UNIFILAR SIMPLIFICADO	
ALIMENTADOR RN-11								
IDENTIFICACAO	Z1		Z0		RELAÇÕES	TRIFASICO	MONOFASICO	TENSÃO
LOCAL DO CURTO	MOD(pu)	MOD(pu)	MOD(pu)	MOD(pu)	X0/X1	MOD(MVA)	MOD(MVA)	FASE SÃ
	ANG(gr)	ANG(gr)	ANG(gr)	ANG(gr)	R0/X1	ANG(gr)	ANG(gr)	$\Phi-T$ (KV)
100	3.1227	5.1453	1.66	32.02	26.35	32.02	26.35	22.19
	79.60	82.41	0.22	-79.60	-80.87	-79.60	-80.87	
200	6.8259	21.9106	3.46	14.65	8.49	14.65	8.49	26.42
	65.30	78.64	0.70	-65.30	-73.53	-65.30	-73.53	
300	7.8307	26.3352	3.67	12.77	7.20	12.77	7.20	26.75
	63.81	78.44	0.75	-63.81	-73.00	-63.81	-73.00	
400	10.8528	32.0806	3.78	9.21	5.70	9.21	5.70	27.16
	48.32	72.92	1.16	-48.32	-63.03	-48.32	-63.03	
500	8.9970	30.1918	3.80	11.11	6.30	11.11	6.30	27.03
	59.58	77.24	0.86	-59.58	-70.66	-59.58	-70.66	
600	10.5970	34.2464	3.89	9.44	5.50	9.44	5.50	27.26
	53.52	75.26	1.02	-53.52	-66.98	-53.52	-66.98	
700	4.9205	13.4312	2.86	20.32	12.93	20.32	12.93	25.27
	69.85	79.37	0.54	-69.85	-75.34	-69.85	-75.34	
800	6.6232	19.2186	3.27	15.10	9.33	15.10	9.33	26.25
	59.68	76.24	0.80	-59.68	-69.49	-59.68	-69.49	
1000	2.4904	2.0400	0.82	40.15	42.74	40.15	42.74	19.61
	86.86	90.00	0.00	-86.86	-87.77	-86.86	-87.77	

Tabela II. Resultados de Curto Circuito e Diagrama Unifilar Simplificado

Avaliando os valores resultantes de corrente, tensão e relações X0/X1 e R0/X1 para curtos circuitos fase terra em locais a partir de Casa de Tábua, pode-se concluir:

- Correntes de curto circuito fase terra – muito baixas para sensibilidade adequada das proteções de neutro dos religadores existentes no alimentador.
- Tensões nas fases sãs quando da ocorrência do curto circuito fase terra –

muito elevadas para o funcionamento adequado dos para-raios e transformadores de distribuição, principalmente os monofásicos.

Pelo fato de não termos modelado as impedâncias de faltas nos cálculos de curto dos ramais MRT, espera-se que na prática as correntes sejam bem menores do que as calculadas; o que impõe maiores tempos de eliminação de defeito e conseqüentemente maior exposição a tensões elevadas aos equipamentos.

Os resultados de tensão com a não representação das cargas nos cálculos das tensões nas fases são; afetam bem pouco aos valores obtidos pelo fato dos transformadores monofásicos do MRT apresentarem carregamentos muito baixos.

Para resolvermos os problemas de tensão e corrente apresentados, teríamos a opção de estendermos o sistema 138 kV de Redenção até Casa de Tábuas, onde seria construído uma subestação abaixadora 138/34,5 kV; contudo os custos de implantação seriam muitos elevados e sem viabilidade econômica em frente ao montante de demanda a ser atendido.

A opção encontrada foi a da instalação de um transformador de aterramento com objetivo de alterar os parâmetros elétricos da rede 34,5 kV do alimentador, diminuindo a relação X_0/X_1 nos locais de maiores queimas de transformadores e, em conseqüência diminuindo as sobretensões e aumentando as correntes de curto circuito fase terra para dar maior sensibilidade e menor tempo de atuação para as proteções de neutro.

O transformador de aterramento empregado foi um do tipo utilizado em subestações de força, possuindo as seguintes características elétricas: $V_n=34,5/\sqrt{3}$ kV, $I_n=4.500$ A, $P_n(10s)=2.700$ kVA, ligação zig-zag e impedância de sequência zero de $5,29 \Omega$.

O local escolhido do alimentador, para instalar o transformador de aterramento, foi na localidade de Casa de Tábuas, distante de 108 km da cidade de Redenção e da subestação de mesmo nome 138/13,8/34,5 kV.

Apresentamos Na Tabela III, os resultados com valores de corrente, tensão e impedâncias de curto circuito e diagrama unifilar simplificado do alimentado RN-11, para esta condição.

RELATORIO DE RESULTADOS DE CURTO CIRCUITO						DIAGRAMA UNIFILAR SIMPLIFICADO
ALIMENTADOR RN-11 c/ TRANSFORMADOR DE ATERRAMENTO EM CASA DE TÁBUA (200)						
IDENTIFICACAO LOCAL DO CURTO	Z1	Z0	RELAÇÕES	TRIFASICO	MONOFASICO	TENSÃO
	MOD(pu)	MOD(pu)	X0/X1	MOD(MVA)	MOD(MVA)	FASE SÃ
	ANG(gr)	ANG(gr)	R0/X1	ANG(gr)	ANG(gr)	Φ-T (KV)
100	3.1227	3.9635	1.28	32.02	29.39	20.97
	79.60	81.35	0.19	-79.60	-80.28	
200	6.8259	0.4353	0.07	14.65	21.35	17.64
	65.30	89.78	0.00	-65.30	-66.04	
300	7.8307	4.8516	0.68	12.77	14.71	19.90
	63.81	78.58	0.14	-63.81	-67.29	
400	10.8528	10.8916	1.19	9.21	9.26	21.30
	48.32	62.04	0.63	-48.32	-52.89	
500	8.9970	8.7240	1.08	11.11	11.31	21.28
	59.58	74.33	0.30	-59.58	-64.39	
600	10.5970	12.8498	1.42	9.44	8.90	22.30
	53.52	69.98	0.52	-53.52	-59.72	
700	4.9205	12.2551	2.60	20.32	13.62	24.77
	69.85	78.73	0.52	-69.85	-74.78	
800	6.6232	18.0520	3.06	15.10	9.68	25.90
	59.68	75.60	0.79	-59.68	-68.87	
1000	2.4904	1.8576	0.75	40.15	43.87	19.25
	86.86	88.89	0.01	-86.86	-87.41	

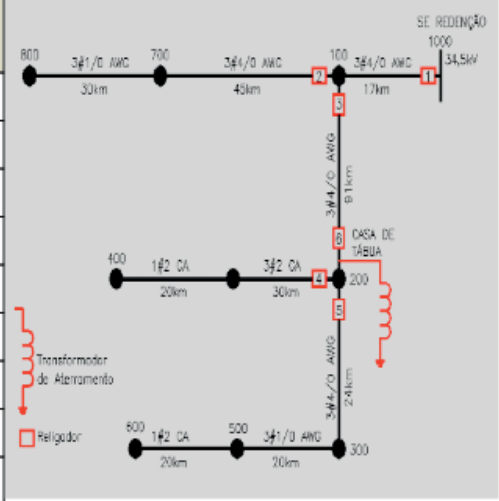


Tabela III. Resultados de Curto Circuito e Diagrama Unifilar Simplificado

Após a instalação do transformador de aterramento em Casa de Tábua podemos comparar, em relação ao alimentador sem o transformador, os valores resultantes de corrente, tensão e relações $X0/X1$ e $R0/X1$ para curtos circuitos fase terra em todo alimentador, onde se destaca:

Correntes de curto circuito fase terra – 151% superior em Casa de Tábua (200) e 62% superior nos finais dos ramais (400) e (600). Possibilitando melhor sensibilidade para as proteções de neutro dos religadores existentes nos ramais.

Tensões nas fases sãs quando da ocorrência do curto circuito fase terra – 33% inferior em Casa de Tábua, 21,6% inferior no final do ramal (400) e 18,2% inferior no final do ramal (600). Possibilitando o funcionamento adequado dos para-raios abaixo de sua máxima tensão de operação contínua.

Pelo exposto, a instalação do transformador de aterramento interferiu diretamente nas relações $X0/X1$ de cada ponto do alimentador em curto circuito, com isso se garantiu um adequado retorno de correntes de curto circuito pela terra; principalmente para defeitos de alta impedância que trazem problemas com a falta de sensibilidade para as proteções de terra.

O aumento da sensibilidade das proteções de neutro permitiu abertura dos religadores em menor tempo, propiciando a diminuição de tempo com tensões elevadas nos transformadores de distribuição.

3.3 Análise da Proteção

O sistema de proteção do alimentador RN-11 é constituído, além do religador na saída da subestação, por outros religadores 34,5 kV com relés de tensão e corrente instalados em pontos estratégicos, conforme diagramas unifilares das Fig's II e III.

Estes religadores devem estar coordenados uns com os outros para prover seletividade e sensibilidade da proteção, quando da ocorrência de curtos circuitos.

Neste sentido, houve necessidade de instalarmos mais um religador 34,5 kV (№ 6) a partir da implantação do transformador de aterramento, uma vez que as correntes de sequência zero a montante dele diminuíram bastante, fazendo com que o religador № 3 perdesse sensibilidade da proteção de neutro para defeitos próximos ao religador № 6, entretanto para as proteções de fase não houve alteração da sensibilidade.

O religador № 6 tem importância fundamental no desempenho da seletividade da proteção do alimentador, considerando que ele providencia a proteção de retaguarda aos religadores (№ 4 e 5, tabela) para o caso de curtos circuitos a jusante do transformador de aterramento.

Outro esquema de proteção foi pensado sem considerar a instalação do religador № 6; tal como a utilização das funções de proteção de fase e de sequência negativa do religador № 3 para proteção de neutro de curtos a montante do transformador de aterramento, contudo não acionamos esta opção por falta de confiabilidade do relé de sequência negativa do religador.

Após a instalação do transformador de aterramento em Casa de Tábua podemos comparar, em relação ao alimentador sem o transformador, os valores resultantes de corrente, tensão e relações $X0/X1$ e $R0/X1$ para curtos circuitos fase terra em todo alimentador, onde se destaca:

Correntes de curto circuito fase terra – 151% superior em Casa de Tábua (200) e 62% superior nos finais dos ramais (400) e (600). Possibilitando melhor sensibilidade para as proteções de neutro dos religadores existentes nos ramais.

4 | PROJETO ELETROMECÂNICO, CONSTRUÇÃO E MONTAGEM

Concluído os estudos elétricos com os resultados apresentados, passamos a elaborar o projeto eletromecânico executivo para instalação do transformador de aterramento.

O transformador escolhido foi um do tipo utilizado em subestações de força, que a concessionária possui em reserva técnica, cujo peso total é de 8.000 kg.

Como teríamos de ligá-lo na rede do alimentador sobre a via pública, inicialmente pensamos em instalá-lo em plataformas suspensas entre dois postes, contudo não seria possível devido ao peso elevado do mesmo. Como solução, tivemos de alugar um terreno nas margens da via pública com dimensões compatíveis para instalação em base apropriada no chão. O diagrama unifilar da conexão do transformador no alimentador é apresentado na Fig. 3.

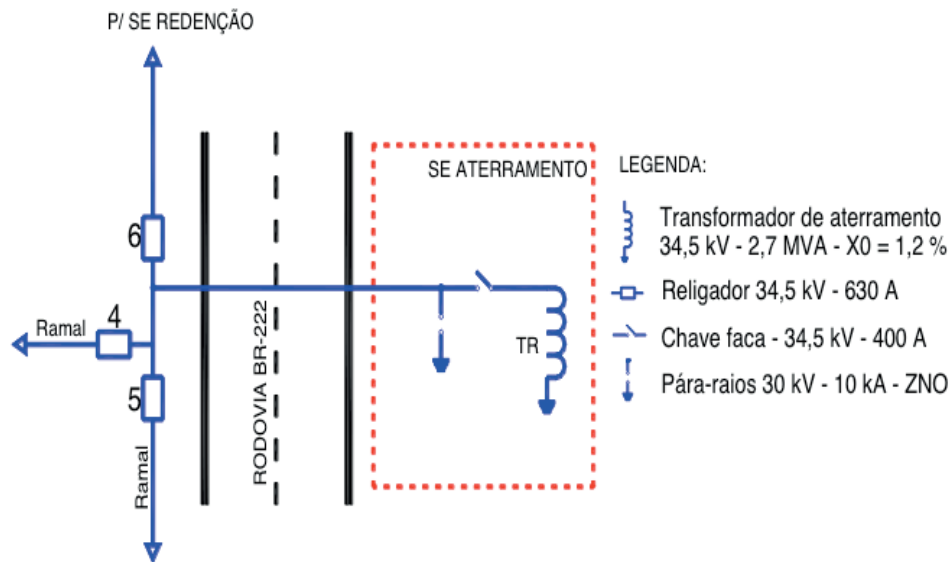


Fig.3. Conexão do transformador de aterramento no alimentador

O projeto concebeu terreno com dimensões (10x10m) para assentar em base no chão o transformador, e em poste foram instalados 03 para-raios de 30 kV-10 kA e 03 chaves tipo faca 34,5 kV-400 A.

As proteções inerentes do transformador não foram acionadas, ficando o religador №6 fazendo esta função. Na Fig. 4, são mostrados o arranjo básico e cortes da instalação.

As especificações dos equipamentos (para-raios e chaves) e materiais foram projetadas em padrão distribuição, com exceção do transformador de aterramento que é de padrão subestação.

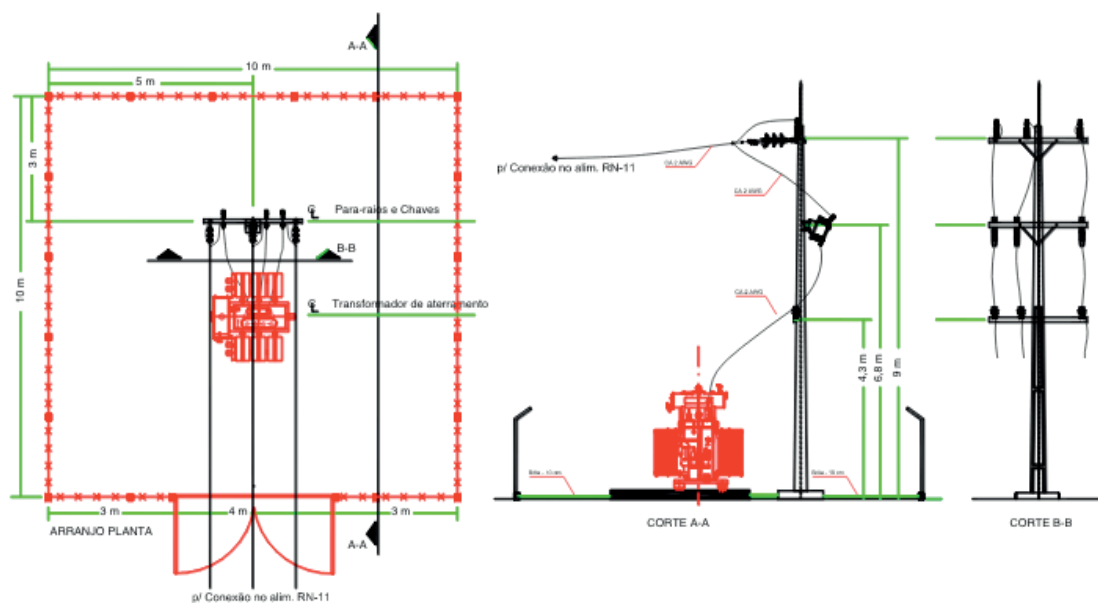


Fig.4. Arranjo básico e corte da instalação do transformador de aterramento

De fundamental importância no projeto de concepção da “pequena subestação”

foi à malha de aterramento para conexão dos equipamentos, principalmente a do transformador.

Considerando que o solo da região apresenta alta resistividade ($>2.000 \Omega.m$), foram feitas medições da resistência do solo no local para dimensionamento da malha de aterramento através de programa computacional de cálculos de malhas.

Visando assegurar menores valores possíveis para a resistência da malha, foram especificados materiais do tipo utilizados em subestações. Tais como: Cabos de cobre nu 70 mm^2 ; conectores de cobre estanhados; haste cobreada para aterramento de $\varnothing 3/4" \times 3,00\text{m}$; conexões exotérmicas e etc..

Estando o projeto executivo concebido partimos para execução dos serviços de terraplenagem, construção civil do pátio, implantação da malha de aterramento e montagem eletromecânica dos equipamentos, conforme Fig.5.



Fig.5. Fotos da instalação do transformador de aterramento

5 | ACOMPANHAMENTO DOS RESULTADOS OBTIDOS

Com a colocação em serviço do transformador, no dia 08 de maio de 2014, passamos a acompanhar as ocorrências de queimas de transformadores no alimentador RN-11, principalmente a partir da localidade de Casa de Tábua, local de implantação.

Na Fig.6, apresentamos os registros das queimas de transformadores no alimentador desde o ano de 2013 até o mês de abril de 2016.

Em relação a 2013, a diminuição de queima de transformadores de distribuição, a partir da instalação do transformador de aterramento, mostra que já em 2014 o total de queima reduziu em mais de 56%, em 2015 a redução de 71% foi ainda maior e, para 2016 espera-se diminuir muito mais. Mostrando a eficiência do aterramento do alimentador em local onde ocorria situação de isolamento de neutro.

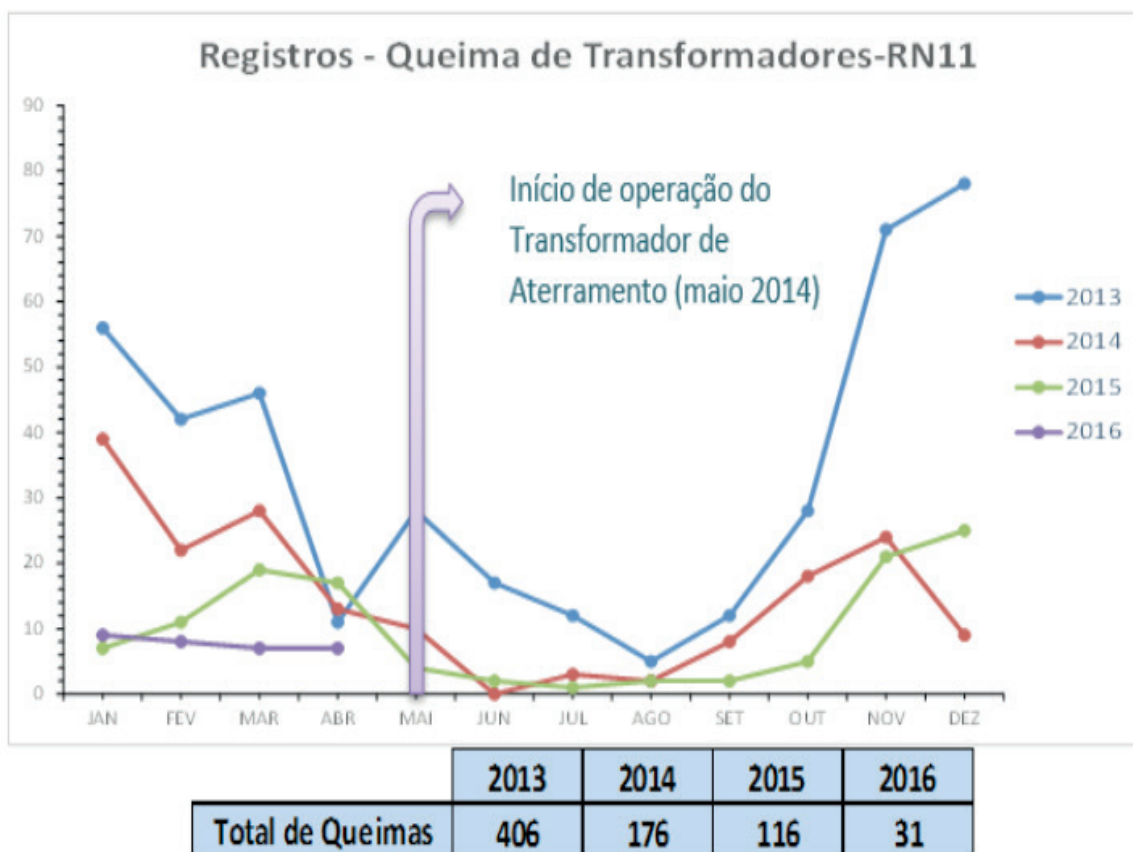


Fig.6. Registros das queimas de transformadores antes e após instalação do transformador de aterramento

O gráfico revela uma maior incidência de queimas durante o inverno amazônico, período que vai de novembro a maio do ano seguinte, quando acontece a maior quantidade de curtos circuitos nas redes.

Vale ressaltar que antes da instalação do transformador de aterramento, nos meses entre janeiro e maio de 2013 e 2014 a redução de queima foi devida a serviços de poda de vegetação no alimentador.

6 | CONCLUSÕES

Este trabalho apresentou uma proposta para diminuir as queimas de transformadores de distribuição e para-raios em um alimentador de 34,5 kV através da instalação de um transformador de aterramento.

Os resultados das queimas, nos períodos, a partir da instalação do transformador de aterramento, mostram uma diminuição em quantidade expressiva em relação ao que ocorria anteriormente.

Ressalta-se que os períodos de maiores queimas ocorrem em época de chuva na região Amazônica, aonde está implantada a rede do alimentador.

O enfoque teórico que apresentamos como os causadores das queimas, se confirmaram com os resultados dos estudos, assim como foram comprovados na prática com os resultados apresentados.

Deveremos, de acordo com a eficácia dos resultados da aplicação do transformador, a partir da chegada do inverno amazônico, implantar mais transformadores em outros alimentadores. Contudo, estaremos desenvolvendo novas especificações do tipo padrão distribuição com dimensões e pesos apropriados para estes transformadores; considerando suas instalações em plataforma suspensa entre dois postes, como utilizado para bancos de reguladores de tensão em redes de distribuição.

REFERÊNCIAS

- [1] S.B. Griscom, “**Grounding of Power-System Neutrals**”, Electrical Transmission and Distribution-Reference Book, 1964.
- [2] E.J. Robba, “**Introdução a Sistemas Elétricos de Potência**”, São Paulo, 1973.
- [3] A.E. Barros, “**Seleção de Transformadores de Aterramento**”, Revista Mundo Elétrico, Fev. 1973.
- [4] M.R. da Silva, “**Avaliação de alternativa para eletrificação rural no contexto dos programas de universalização do atendimento de energia no Brasil**” Abr. 2006.

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

