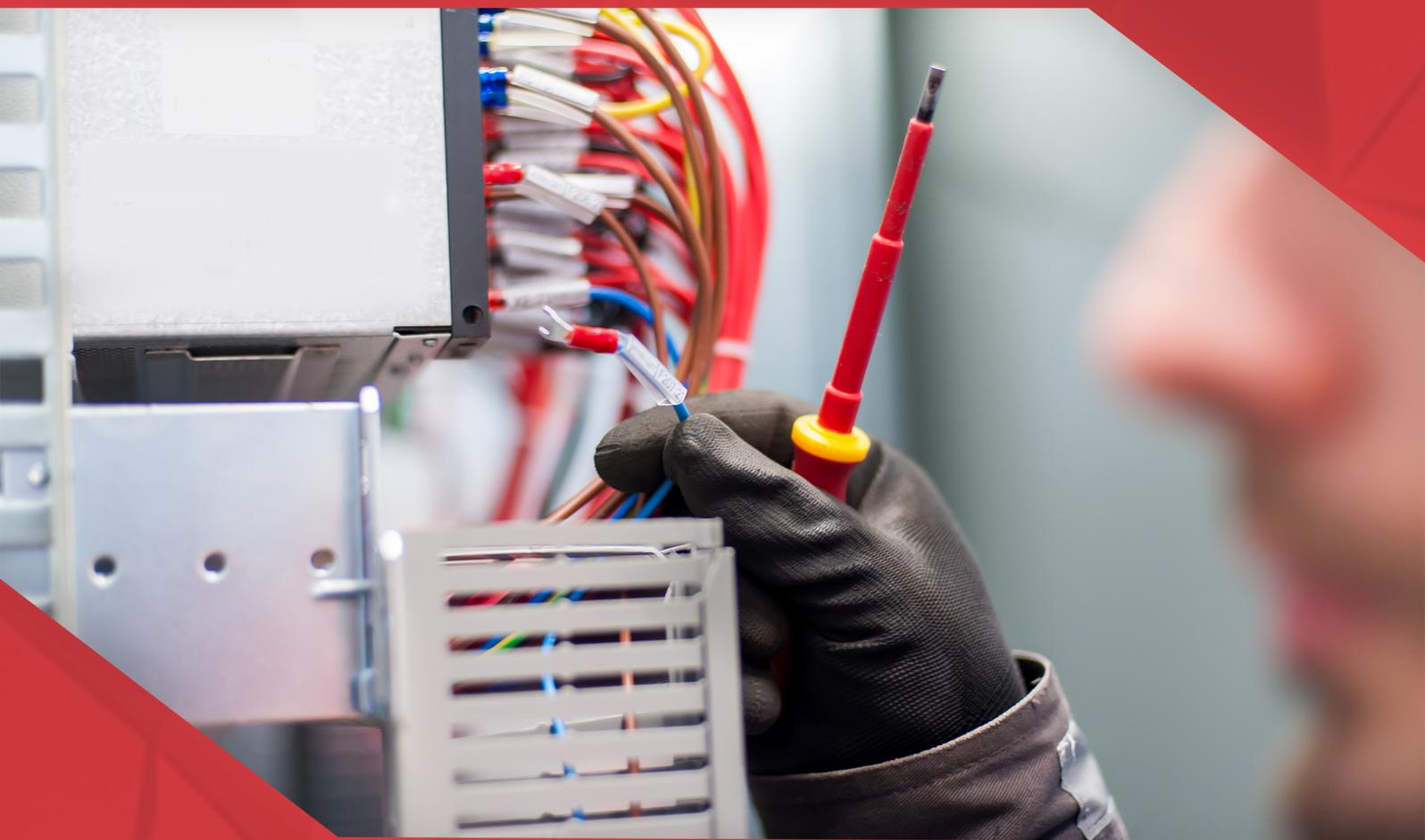


# A Aplicação do Conhecimento Científico na Engenharia Elétrica

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>	

**CAPÍTULO 7 ..... 75**

GEOCORTE 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**

<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>



## ANÁLISE DE PERDAS TÉCNICAS EM SISTEMAS DE DISTRIBUIÇÃO

Data de aceite: 03/01/2020

### **Francisco Jeandson Rodrigues da Silva**

Professor do Centro Universitário 7 de Setembro (Uni7) e do Centro Universitário UniFanor Wyden (UniFanor). Aluno de doutorado do programa de pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Ceará (UFC)

Fortaleza – Ceará

<http://lattes.cnpq.br/9254887329263444>

### **Ailson Pereira de Moura**

Professor da Universidade Federal do Ceará (UFC)

Fortaleza – Ceará

<http://lattes.cnpq.br/7100954284070403>

### **Adriano Aron Freitas de Moura**

Professor da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA)

Mossoró – Rio Grande do Norte

<http://lattes.cnpq.br/7699437598190399>

### **Douglas Aurélio Carvalho Costa**

Professor do Instituto Federal de Ensino, Ciência e Tecnologia do Ceará – Campus Cedro

Cedro – Ceará

<http://lattes.cnpq.br/8501411209058844>

### **Obed Leite Vieira**

Universidade Federal do Ceará (UFC)

Fortaleza – Ceará

<http://lattes.cnpq.br/4112562673257492>

**RESUMO:** Tradicionalmente, a análise de perdas técnicas em sistemas de distribuição é feita usando um programa de fluxo de carga. No entanto, a aplicação de uma metodologia usando dados de medição e simulação juntos não foi feita. Este artigo utiliza a demanda média de um dia representativo, medida no secundário dos transformadores de 69/13.8 kV de um alimentador do regional Sobral do sistema elétrico da Enel Distribuição Ceará, para calcular as perdas técnicas nesse alimentador. Os programas utilizados foram o de análise de redes elétricas (ANAREDE) e o programa Form do centro de pesquisas de energia elétrica (CEPEL). Os resultados mostram que o fluxo de potência ativa obtido nas oitos linhas primárias referente as simulações realizadas nos meses de agosto e setembro se aproximaram das medições de demanda das fronteiras. As variações em todas as linhas primárias ficaram abaixo 1 MW, consideradas normais. Já as variações de demanda em algumas linhas secundárias obtiveram grandes distorções, algumas chegando a valores acima de 1 MW, consideradas anormais. A partir das análises feitas criou-se um plano de projeto de obras e investimentos que tem data prevista para execução entre os anos de 2017 e 2021, visando a melhoria das perdas técnicas da regional SBD.

## ANALYSIS OF TECHNICAL LOSSES IN DISTRIBUTION SYSTEMS

**ABSTRACT:** Traditionally, the analysis of technical losses in distribution systems is done using a load flow program. However, the application of a methodology using measurement and simulation data together was not done. This paper uses the average demand of a representative day, measured on the secondary of the 69 / 13.8 kV transformers of an Enel Distribuição Ceará regional electric system Sobral feeder, to calculate the technical losses in this feeder. The programs used were the analysis of electrical networks (ANAREDE) and the program form of the Center for research of electric energy (CEPEL). The results show that the active power flow obtained in the eight primary lines referring to the simulations performed in August and September approached the border demand measurements. Variations in all primary lines were below 1 MW, considered normal. Demand variations in some secondary lines had great distortions, some reaching values above 1 MW, considered abnormal. Based on the analyzes made, a project plan for works and investments was created, which is scheduled to be executed between 2017 and 2021, aiming at improving the technical losses of the regional SBD.

**KEYWORDS:** Power Flow, Anarede, Technical Losses.

### 1 | INTRODUÇÃO

No contexto atual em que vivemos, a energia elétrica deixou de apenas proporcionar conforto e passou a ser um produto essencial para o funcionamento e desenvolvimento de todos os setores. Todo o desenvolvimento, expansão e modernização do país está diretamente vinculado e dependente ao setor elétrico. Desse modo, torna-se necessário aumentar a eficiência dos sistemas de energia, elevando seu nível de confiabilidade através da redução de perdas aliado a diminuição dos custos provenientes das mesmas (FISCHER & PAIXÃO & SAUSEN, 2017, p. 2).

Os métodos para a resolução do problema de fluxo de potência nos sistemas de distribuição começaram a serem criados na década de 1950, com o método de (WARD & HALE, 1956, p. 398-404). Pouco tempo depois surgiu o método de Newton-Raphson (VAN NESS, 1959, p. 583-588) & (TINNEY & HART, 1967, p. 1449-1456). Em seguida, na década de 1970 foram surgindo novos métodos, como por exemplo, os métodos desacoplados, já com base no método de Newton-Raphson (STOTT & ALSAÇ, 1974, p. 859–869). Atualmente, já existem programas computacionais que rapidamente resolvem problema de fluxo de carga, como por exemplo, o ANAREDE e PSCAD. Desta forma, os métodos de análises de fluxo potência vem cada vez mais se aperfeiçoando.

Os estudos de fluxo de potência para distribuição eram realizados com pouca ênfase, por esse motivo, os sistemas de distribuição eram superdimensionados. Com

o passar dos anos, as redes elétricas foram submetidas a um aumento constante de demanda de carga, fazendo com que estes sistemas chegassem a sua capacidade máxima e impactando no aumento das perdas por efeito joule (MARTINS, 2018, p. 6).

Os estudos de fluxos de potência são de muita importância no planejamento e desenho dos sistemas de potência como também na determinação das melhores condições de operação, controle e supervisão dos sistemas existentes. A determinação do estado da rede é essencial a qualquer sistema de energia elétrica. O fluxo de carga ou fluxo de potência consiste em determinar os módulos e ângulos da tensão em todas as barras ou nós do sistema, para uma determinada condição de geração e carga. O cálculo do fluxo de potência é a base da análise de um sistema de potência, sendo utilizado desde o planejamento até operação em tempo real (MARTINS, 2018, p. 1).

As concessionárias devem ter como meta central manter o fornecimento contínuo de energia e para isto precisam ampliar seus sistemas e melhorar a confiabilidade, o que implica em grandes investimentos. Se violarem os indicadores de continuidade, definidos pela ANEEL, pagam multas elevadas. Logo, se preocupam, quando na realização do planejamento da expansão da rede, não somente em minimizar custos de investimentos, mas também em considerar o atendimento aos critérios de confiabilidade requeridos para o sistema (MILOCA, 2012, p. 3).

Em estudos de planejamento voltados para perdas, é usual que se represente o carregamento do transformador como sendo um carregamento equivalente global, sem distinguir as suas parcelas constituintes, ou seja, o consumo de energia faturado, as perdas comerciais, e as perdas técnicas. As perdas técnicas são relativamente conhecidas e monitoradas, e se originam da circulação de correntes nos elementos das redes elétricas, sendo calculadas sistematicamente nos estudos de planejamento da operação (OLIVEIRA et. al., 2016, p. 2).

Todas estas mudanças trazem novos desafios aos profissionais que atuam nas empresas do setor elétrico, particularmente aqueles que atuam nas empresas de distribuição, que constitui o elo de conexão dos consumidores com o sistema (KAGAN & OLIVEIRA & ROBBA, 2010, p. 1-325).

A motivação surgiu durante um estudo realizado quando o cálculo do balanço de energia em alta tensão estava em fase de desenvolvimento, cujo objetivo principal era criar uma metodologia que pudesse de fato ser aplicada ao sistema real e que envolvesse critérios para detectar em quais trechos estavam as maiores perdas, de modo que o planejador da concessionária pudesse utilizá-la de forma a auxiliar de modo eficiente no seu trabalho de planejamento da expansão da rede.

O objetivo deste trabalho é demonstrar as etapas de uma simulação do fluxo de potência das linhas primárias e secundárias, utilizando a demanda média de um dia representativo e observar em quais trechos possuem as maiores perdas técnicas da regional SBD que compõe o sistema na Enel Distribuição Ceará.

O trabalho está dividido em cinco tópicos, descritos a seguir: Metodologia Aplicada, Análise dos Resultados, Projeto de Obras e Investimento, Conclusões

e Referências Bibliográficas. O segundo tópico aborda em detalhes a metodologia utilizada. O tópico três mostra os resultados e as análises das simulações. O tópico quatro mostra as ações tomadas para planejamento de obras e investimentos. Na conclusão são apresentados os resultados encontrados e as considerações finais do estudo e nas referências bibliográficas são citadas as principais fontes utilizadas.

## 2 | METODOLOGIA APLICADA

Para o desenvolvimento dessa técnica foram realizadas pesquisas bibliográficas sobre fluxo de potência e em manuais dos programas utilizados. Inicialmente foram consideradas todas as medições de fronteiras das linhas de distribuição (LD) em 69 kV da regional SBD e as respectivas medições de saída dos transformadores de 69/13,8 kV conectadas no seu secundário. Portanto, as LD's em 69 kV primárias consideradas foram a SBD – 02J1, SBD – 02J2, SBD – 02J3, SBD – 02J4, SBD – 02J5, SBD – 02J6, SBD – 02J7 e SBD – 02J8 e para a segmentação por eixo secundário foram considerados todos os trechos que estão conectadas com as mesmas. As linhas atendem as cargas do interior do estado do Ceará, conforme é mostrado na Figura 1.



Figura 1 – Mapa elétrico da rede básica do regional Sobral (SBD)

Após escolher as linhas para a realização do estudo, foi necessário obter alguns dados do sistema para realizar as comparações entre as potências medidas e as potências simuladas das medições de fronteira e também para a análise segmentada das perdas técnicas por eixo. As medições de fronteira primárias das LD's (Input do sistema) foram adquiridas através do sistema de Telemetria PIM (Plataforma Integrada de Medição), enquanto que os dados medidos de demanda (Output do sistema – saída dos Trafos) foram adquiridos pela plataforma *Enterprise*, ambos sistemas corporativos da Enel.

As simulações foram realizadas usando o programa ANAREDE e Form que são utilizados nas áreas de planejamento e operação das concessionárias de energia elétrica. O ANAREDE é o mais utilizado no Brasil para análise de sistemas elétricos de potência em regime permanente. Reúne programas de fluxo de potência, equivalente de redes, análise de contingências, análise de sensibilidade de tensão e de fluxo, e análise de segurança de tensão (CEPEL, 2017).

As simulações tiveram foco apenas na regional SBD devido ao alto índice de perdas técnicas em alta tensão, quando comparado com as outras regionais existentes. Foram utilizadas as demandas médias de um dia representativo de cada um dos dois meses analisados (agosto e setembro de 2016) para minimizar os efeitos de possíveis transferências de cargas que interferem nos resultados.

Após definido o dia mais próximo da demanda média dos meses citados foi alimentado a planilha (ver Figura 2) para gerar os casos com extensão PWF e logo depois processado o fluxo de carga no ANAREDE. Em seguida, foi gerado o relatório form a partir dos dados medidos das medições de saídas do secundário dos transformadores 69/13,8 kV para a análise das linhas primárias.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	
1	Número de Barras de 69:	354		MÊS HORIZONTE	ANO HORIZONTE	TIPO DE DIA	GERAR PWF			
2	Número de Barras de 13,8:	224		NOV	2016	DUT				
3	Número de Circuitos:	731								
4	Hora da Carga:	13:00								
5	Título:	SISTEMCO_CCELCE_13h_NOV_2016_DUT								
6	Nome do Arquivo do Deck:	SISTEMCO_CCELCE_13h_NOV_2016_DUT								
7	Caminho:									
8	Caminho Visual Anarede:									
9	Dados de Constantes do Programa									
11	Máximo de Iterações (ACIT):			90		ACIT				
12	Tolerância de convergência do erro de potência reativa na barra (TEPR):			1		TEPR				
13	Tolerância para tensões controladas (TLVC):			1		TLVC				
14	Tolerância para limite de tap de transformador (TLTC):			0		TLTC				
15	Tolerância para capacidade de carregamento dos circuitos (TLPP):			1		TLPP				
16	Título da contingência:	DECK SISTEMCO								
17	Circuitos em contingências:									
18	Dados Limite de tensão:	0	0,300	1,200	0,800	1,200				
19	Relatórios:	RELA	RLIN	1,200	RCAR	RPER				
20	Dados Limite de tensão ANAREDE:	0,981	1,065	2	0,940	1,062				
21										
22										
23	<b>Dados de Barra de 69</b>			Número da Barra	Operação	ESTADO	Tipo da Barra	Grupo de Base de Tensão	Nome da Barra	Grupo de Lin
24				5	M	1	1	1	2	12
25	CHESF	3	MLG-69	5413	M				MLG-69	
26	CHESF	3	TAQ-69	5813	M				TAQ-69	
27	CHESF	3	ICO-69	5833	M				ICO-69	
28	CHESF	3	RSD-69	5433	M				RSD-69	
29	CHESF	3	BMB-69	5423	M				BMB-69	
30	CHESF	3	AQD-69	5383	M				AQD-69	

Por fim, após adquiridos todos os dados realizou-se o fluxo de potência referente a cada trecho primário e secundário da regional e observou-se no diagrama elétrico as perdas detalhadas por eixo para as análises das linhas.

### 3 | ANÁLISE DOS RESULTADOS

Para a análise das perdas técnicas das linhas de distribuição primárias foi necessário realizar simulações em dois meses, com o objetivo também de garantir que as medições de fronteira das respectivas linhas estejam sem nenhum problema com o registro de demanda e não venha a interferir nos resultados simulados nas linhas secundárias. Neste período iniciou-se as análises através da metodologia descrita no capítulo 2 e a partir daí identificou-se que a regional SBD possui um alto índice de perdas em algumas linhas secundárias, assim foi possível mostrar com mais detalhes a confiabilidade da sistemática de análise através da metodologia aplicada.

O Gráfico 1 mostra as perdas acumuladas/ano de 2016 das 11 regionais que compõem o sistema da companhia. A regional SBD acumulou uma perda de 84,3 GWh correspondente a 5,51%, sendo muito superior as outras regionais, desta forma motivou um estudo detalhado da respectiva região.

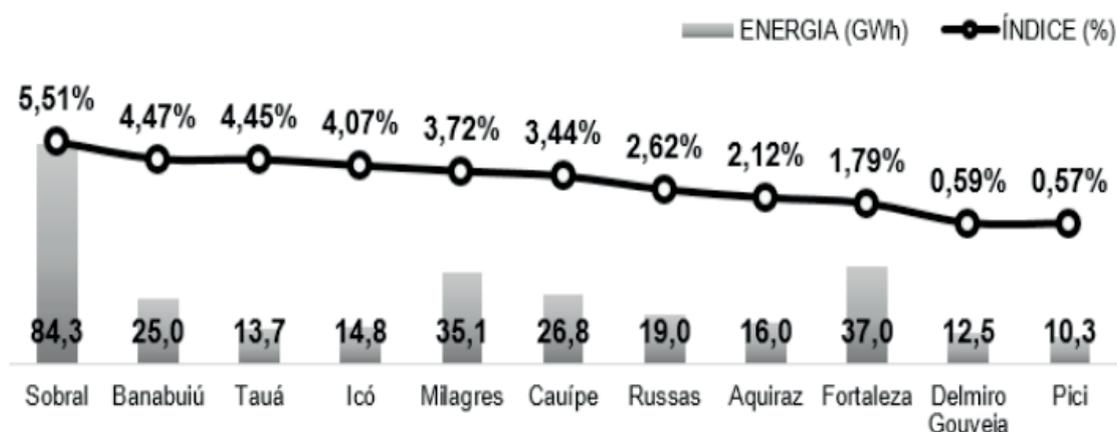


Gráfico 1 – Perdas técnicas acumuladas do ano de 2016 das regionais

O sistema de alta tensão da companhia possui 173 medições no secundário dos transformadores de 69/13,8 kV, 11 geradoras alternativas conectadas diretamente no barramento de 69 kV das subestações, 35 clientes livres e 24 clientes cativos todos com tensão de fornecimento de 69 kV. O diagrama unifilar mostrado na Figura 3 resume a localização das medições do sistema em alta tensão.

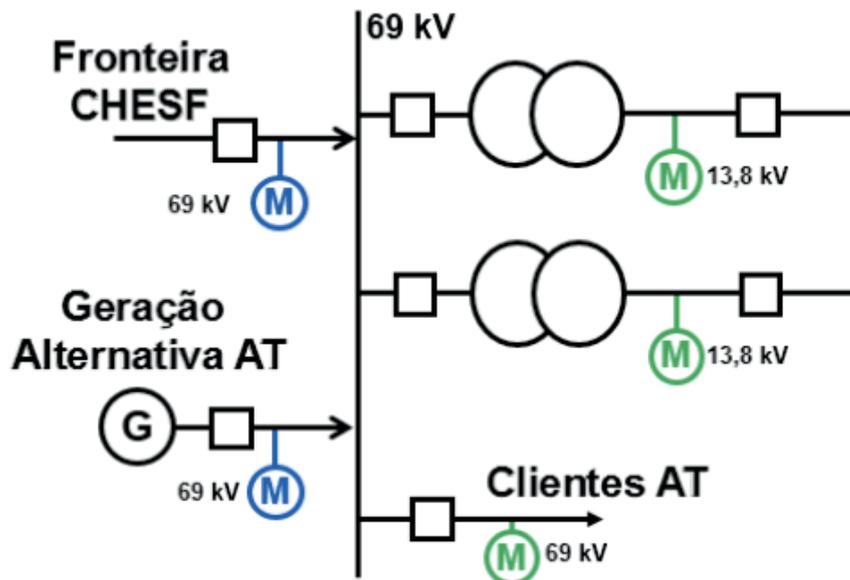


Figura 3 – Diagrama unifilar do sistema de alta tensão da Enel Ceará

Na Tabela 1 é destacado os resultados do ANAREDE dos fluxos de potência ativa referente à simulação realizada no mês de agosto das linhas primárias da regional SBD, que foram estimadas a partir dos dados medidos das cargas de saídas conectadas nas respectivas linhas.

ANAREDE					Medição	
Nome da barra 'DA'	Nome da barra 'PARA'	LDAT	Número do circuito	Fluxo de potência ativa entre as barras K e M [MW]	Balanco AT	Varição
SBD-69	CRE - 69	02J1	1	22,7064	23,3336	0,6272
SBD-69	SBU - 69	02J3	2	38,0687	37,5697	-0,4990
SBD-69	SBU - 69	02J4	1	37,9237	37,5417	-0,3820
SBD-69	MSP - 69	02J5	1	20,6363	20,8529	0,2166
SBD-69	Div1.CRE- 69	02J6	1	20,8600	20,8325	-0,0275
SBD-69	CRE - 69	02J7	2	20,7503	20,5004	-0,2499
SBD-69	CRC - 69	02J2	2	14,5574	14,7071	0,1497
SBD-69	CRC - 69	02J8	1	14,5008	14,3553	-0,1455

Tabela 1 – Comparação do fluxo de potência gerado pelo relatório form e as medições de fronteira das linhas primárias referente ao mês de agosto

Os resultados do fluxo de potência ativa das oitos linhas primárias referente as simulações realizadas no mês de agosto se aproximaram das medições de demanda das fronteiras. As variações em todas as linhas ficaram abaixo 1 MW, consideradas normais.

No mês de setembro os resultados também foram satisfatórios, apesar das linhas 02J3 e 02J4 apresentarem uma variação maior que no mês de agosto, mas ainda ficou com um patamar de variação normal. As demais linhas ficaram com variações abaixo de 1 MW, conforme é mostrado na Tabela 2.



índices. O trecho que chamou atenção foi o Massapê (MSP) – Granja (GRJ) com valores de perdas em porcentagem (%) de 4,62 e 5,95 para os meses de agosto e setembro respectivamente.

EIXO Sobral/Massapê				AGOSTO/2016				SETEMBRO/2016				DIST. (KM)			
CIRCUITO	LT - Front.	LT - 69	LT - 69	PONTO 1	PONTO 2	PERDA (MW)	PERDA (%)	PONTO 1	PONTO 2	PERDA (MW)	PERDA (%)				
CHESF	2	----->	SBD - 02J3	----->	SBU	38,1	38,0	0,1	0,26%	35,0	34,9	0,1	0,29%	2,81	
	3	----->	SBD - 02J4	----->	SBU	37,9	37,8	0,1	0,26%	34,8	34,8	0,0	0,00%	2,81	
	4	----->	SBD - 02J5	----->	MSP	18,9	18,6	0,3	1,59%	21,4	20,9	0,5	2,34%	22,25	
	14			CRU	----->	VCS	3,4	3,4	0,0	0,00%	3,7	3,7	0,0	0,00%	0,00
	15			Dev2.P	----->	CRU	6,5	6,4	0,1	1,54%	7,7	7,6	0,1	1,30%	22,80
	16			Dev2.P	----->	PDR	0,1	0,1	0,0	0,00%	0,1	0,1	0,0	0,00%	0,00
	17			Dev1.P	----->	Dev2.PDR	6,5	6,5	0,0	0,00%	7,8	7,7	0,1	1,28%	14,68
	18			Dev1.S	----->	Dev1.PDR	6,6	6,5	0,1	1,52%	7,8	7,8	0,0	0,00%	14,91
	19			Dev1.S	----->	SBQ	3,3	3,3	0,0	0,00%	4,8	4,8	0,0	0,00%	2,41
	20			SBU	----->	Dev1.SBQ	9,8	9,8	0,0	0,00%	12,6	12,6	0,0	0,00%	0,63
	21			SBU	----->	GRN	12,8	12,8	0,0	0,00%	4,2	4,2	0,0	0,00%	3,92
	22			SBU	----->	MSP	18,9	18,6	0,3	1,59%	20,3	19,9	0,4	1,97%	18,96
	23			MSP	----->	GRJ	13,0	12,4	0,6	4,62%	16,8	15,8	1,0	5,95%	70,54
	24			GRJ	----->	CMM	7,1	6,9	0,2	2,82%	7,6	7,3	0,3	3,95%	24,00
	25			MSP	----->	MRC	9,9	9,6	0,3	3,03%	8,1	7,9	0,2	2,47%	53,44
	26			MSP	----->	MRC	10,4	10,2	0,2	1,92%	8,6	8,4	0,2	2,33%	50,64
	27			MRC	----->	ACA	17,2	16,7	0,5	2,91%	19,9	19,2	0,7	3,52%	33,70
	28			ACA	----->	CRZ	4,7	4,6	0,1	2,13%	6,2	6,1	0,1	1,61%	39,46
	29			MRC	----->	Dev2.BXD	6,3	6,3	0,0	0,00%	5,8	5,8	0,0	0,00%	3,18
	30			EJA	----->	MRC	8,7	8,5	0,2	2,30%	13,4	12,9	0,5	3,73%	53,44
	31			Dev2.B	----->	BXU	0,0	0,0	0,0	#DIV/0!	0,0	0,0	0,0	#DIV/0!	0,99
	32			Dev2.B	----->	BXD	6,3	6,3	0,0	0,00%	5,8	5,7	0,1	1,72%	7,69

443,26

Tabela 3 – Resultados do relatório form com os fluxos de potência ativa das linhas primárias e secundárias da regional SBD referente ao mês de setembro e agosto

Para o eixo Cariré que possui as linhas primárias 02J1, 02J6 e 02J7 a quantidade de trechos com perdas elevadas foi maior que no eixo Sobral/Massapê. Os que mais se destacaram foram o Cariré (CRE) – Ibiapina (IBP) com valor de 5,03% e a derivação do barramento existente entre Nova Russas (NVR) e Araras do Norte (ARU) que é o fct.NVR com índice de 4,17% e no mês de setembro os resultados foram 4,86% e 5,41% respectivamente, como especificado na Tabela 4.

EIXO Cariré				AGOSTO/2016				SETEMBRO/2016				DIST. (KM)			
CIRCUITO	LT - Front.	LT - 69	LT - 69	PONTO 1	PONTO 2	PERDA (MW)	PERDA (%)	PONTO 1	PONTO 2	PERDA (MW)	PERDA (%)				
CHESF	1	----->	SBD - 02J1	----->	CRE	22,7	21,9	0,8	3,52%	24,4	23,5	0,9	3,69%	31,80	
	5	----->	SBD - 02J6	----->	Drv1.CRE	20,9	20,6	0,3	1,44%	22,4	22,1	0,3	1,34%	34,62	
	6	----->	SBD - 02J7	----->	CRE	20,8	20,0	0,8	3,85%	22,3	21,5	0,8	3,59%	36,12	
	7			CRE	----->	CRE	2,2	2,2	0,0	0,00%	2,7	2,7	0,0	0,00%	0,00
	8			CRE	----->	IBP	19,9	18,9	1,0	5,03%	18,5	17,6	0,9	4,86%	49,00
	9			CRE	----->	MCB	18,0	17,3	0,7	3,89%	17,3	16,6	0,7	4,05%	40,00
	10			MCB	----->	IBP	12,8	12,6	0,2	1,56%	10,8	10,7	0,1	0,93%	19,33
	11			IBP	----->	INH	11,1	10,9	0,2	1,80%	10,7	10,5	0,2	1,87%	23,50
	12			IBP	----->	TNG	11,4	11,2	0,2	1,75%	11,3	11,1	0,2	1,77%	26,70
	13			TNG	----->	Disq.VCS	0,0	0,0	0,0	#DIV/0!	0,0	0,0	0,0	#DIV/0!	27,91
	33			CRE	----->	ARU	10,7	10,5	0,2	1,87%	13,5	13,3	0,2	1,48%	27,16
	34			CRE	----->	ARU	11,4	11,2	0,2	1,75%	14,4	14,2	0,2	1,39%	29,00
	35			ARU	----->	Fct.NVR	2,4	2,4	0,0	0,00%	3,7	3,7	0,0	0,00%	3,33
	36			Fct.NV	----->	NVR	2,4	2,3	0,1	4,17%	3,7	3,5	0,2	5,41%	66,00
	37			ARU	----->	NVR	4,9	4,8	0,1	2,04%	6,7	6,5	0,2	2,99%	67,40
	38			ARU	----->	SQT	3,2	3,2	0,0	0,00%	3,3	3,3	0,0	0,00%	38,41
	39			ARU	----->	IPU	4,9	4,8	0,1	2,04%	4,9	4,8	0,1	2,04%	29,63

549,91

Tabela 4 – Resultados do relatório form com os fluxos de potência ativa das linhas primárias e secundárias da regional SBD referente ao mês de setembro e agosto do eixo Cariré

Já o eixo Caracará que entre os três é o de menor extensão (214,12 Km) as linhas primárias são a SBD 02J2 e a SBD 02J8 que estão conectadas diretamente no barramento de 69 kV da subestação de Caracará (CRC). O trecho que apresentou a maior variação em MW foi o Caracará (CRC) - Itapajé (ITE) com valor de 1,1 e em porcentagem (%) de 5,39 para o mês de agosto e em setembro as variações foram 0,9 MW e 4,74%, conforme a Tabela 5.

EIXO Caracará				AGOSTO/2016				SETEMBRO/2016				DIST. (KM)			
CIRCUITO	LT - Front.	LT - 69	LT - 69	PONTO 1	PONTO 2	PERDA (MW)	PERDA (%)	PONTO 1	PONTO 2	PERDA (MW)	PERDA (%)				
CHESF	1	----->	SBD - 02J2	----->	CRC	14,5	14,1	0,4	2,76%	14,5	14,1	0,4	2,76%	43,00	
	2	----->	SBD - 02J8	----->	CRC	14,6	14,1	0,5	3,42%	14,6	14,1	0,5	3,42%	44,86	
	3			CRC	----->	CRC	3,4	3,4	0,0	0,00%	3,8	3,8	0,0	0,00%	0,00
	4			CRC	----->	AMT	4,5	4,4	0,1	2,22%	5,4	5,3	0,1	1,85%	43,22
	5			CRC	----->	ITE	20,4	19,3	1,1	5,39%	19,0	18,1	0,9	4,74%	50,00
	6			ITE	----->	ITK	12,0	11,7	0,3	2,50%	10,6	10,4	0,2	1,89%	33,04
	7			ITE	----->	ITE	0,0	0,0	0,0	#DIV/0!	0,0	0,0	0,0	#DIV/0!	0,00
	8			ITE	----->	ITE	7,3	7,3	0,0	0,00%	7,4	7,4	0,0	0,00%	0,00
												214,12			

Tabela 5 – Resultados do relatório form com os fluxos de potência ativa das linhas primárias e secundárias da regional SBD referente ao mês de setembro e agosto do eixo Caracará

No eixo Sobral/Massapê observou-se que a linha secundária que apresentou o maior índice de perdas técnicas foi a de maior distância (70,54 Km), no entanto não foi a linha que circulou a maior magnitude de demanda em ambos os meses. Contudo essa mesma análise não se concretizou no eixo Cariré que para o mês de agosto a maior perda não foi na linha de maior distância e nem na que circulou o maior volume de demanda, já no mês de setembro a maior perda foi na linha de maior distância (66 Km) que foi a derivação do barramento fct.NVR existente entre ARU para NVR, porém não foi a que circulou o maior volume de demanda. A Tabela 6 mostra um resumo das linhas com as maiores perdas.

EIXO Sobral/Massapê				AGOSTO/2016				SETEMBRO/2016				DIST. (KM)	
CIRCUITO	LT - Front.	LT - 69	LT - 69	PONTO 1	PONTO 2	PERDA (MW)	PERDA (%)	PONTO 1	PONTO 2	PERDA (MW)	PERDA (%)		
23		MSP	----->	GRJ	13,0	12,4	0,6	4,62%	16,8	15,8	1,0	5,95%	70,54
27		MRC	----->	ACA	17,2	16,7	0,5	2,91%	19,9	19,2	0,7	3,52%	33,70
EIXO Cariré				AGOSTO/2016				SETEMBRO/2016				DIST. (KM)	
8		CRE	----->	IBP	19,9	18,9	1,0	5,08%	18,5	17,6	0,9		4,86%
36		Fct.NVR	----->	NVR	2,4	2,3	0,1	4,17%	3,7	3,5	0,2	5,41%	66,00
EIXO Caracará				AGOSTO/2016				SETEMBRO/2016				DIST. (KM)	
2	----->	SBD - 02J8	----->	CRC	14,6	14,1	0,5	3,42%	14,6	14,1	0,5		3,42%
5		CRC	----->	ITE	20,4	19,3	1,1	5,39%	19,0	18,1	0,9	4,74%	50,00

Tabela 6 – Resumo das linhas que obtiveram as maiores perdas técnicas

Para o eixo Caracará a linha secundária CRC para ITE foi a que se destacou com maior índice, a mesma tem a maior distância (50 Km) e também foi a que circulou o maior volume de demanda quando comparado com as outras linhas em ambos os meses analisados.

## 4 I PROJETO DE OBRAS E INVESTIMENTO

A partir das análises feitas, foi desenvolvido um plano de projeto de obras e investimentos que tem data prevista para execução entre os anos de 2017 e 2021, visando a redução das perdas técnicas da regional SBD. No esquema mostrado na Figura 5, a linha azul mostra o sistema atual do eixo Sobral/Massapê e a linha em vermelho as modificações elétricas planejadas. Está previsto entrar em operação do ponto de suprimento Acaraú II a construção de duas linhas de distribuição de alta tensão (LDAT) ACD I/ACA e ACD II/MRC. O investimento previsto para as obras no eixo é de MMR\$ 0,525 (meio milhão e vinte e cinco mil reais).

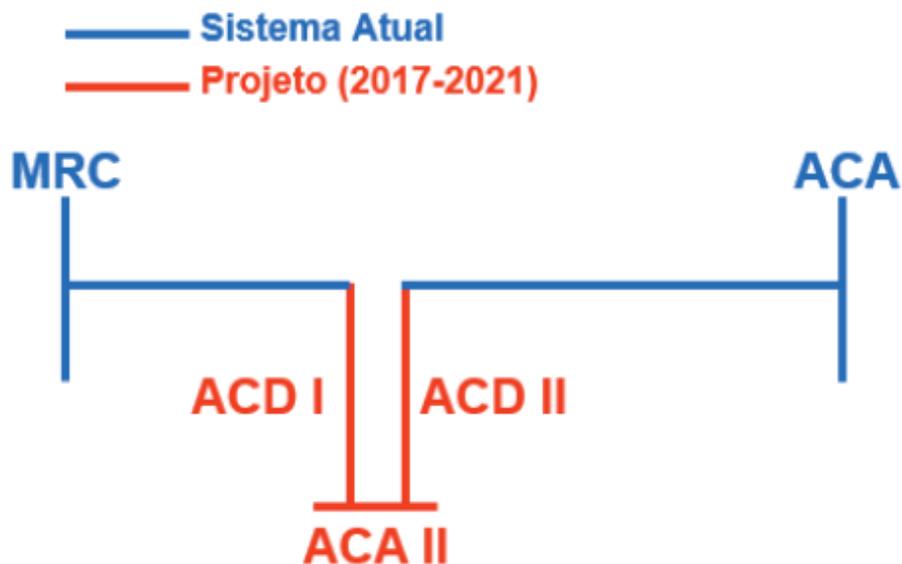


Figura 5 - Diagrama elétrico do sistema atual e das obras previstas para a melhoria da rede do eixo Sobral/Massapê

Já para o eixo Caracará (CRC) as obras previstas são de energizar a SED SBV, utilizando os dois circuitos de SBD/CRC; realizar a transferências da SED SBV para a linha de distribuição de alta tensão (LDAT) SBD/CRE para o recondutoramento do trecho SBD/SBV; construir uma nova LDAT SBD/CRC (terceiro Circuito); construir outra LDAT de Amontada (AMT) para Itapipoca (ITK) (fechamento do anel) e entrar uma nova LDAT CRC – ITE (segundo circuito). Na Figura 6 é mostrado o diagrama planejado das obras do eixo. Está estimado um investimento de MMR\$ 59,1 (cinquenta e nove milhões e cem mil reais).

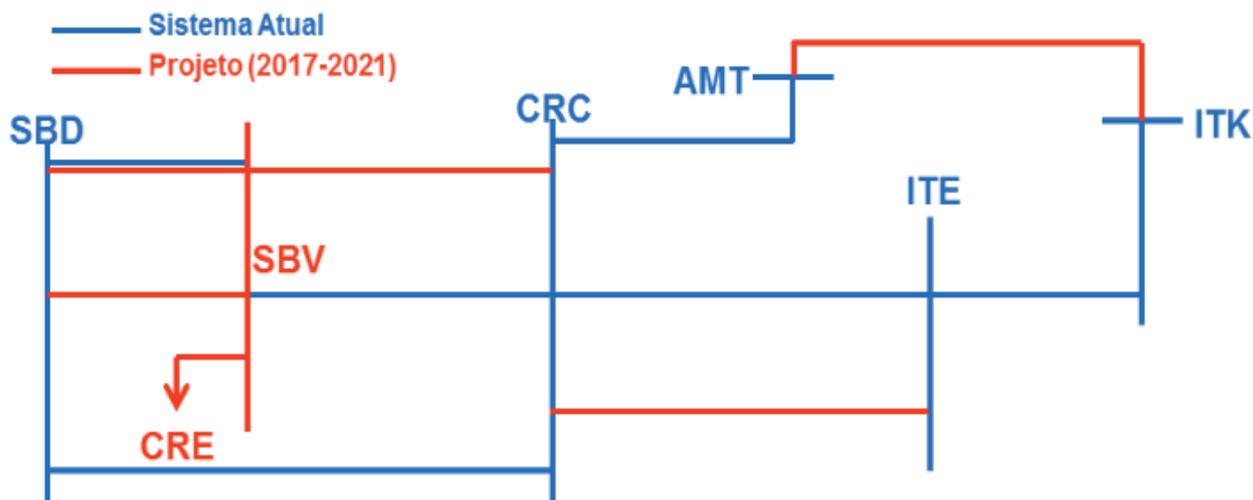


Figura 6 - Diagrama elétrico do sistema atual e das obras prevista para melhoria da rede do eixo CRC

Para o eixo Cariré está previsto a entrada em operação da LDAT Ibiapina (IBP II) para Ibiapina (IBP) e Ibiapina (IBP II) para Tianguá (TNG). Na Figura 7 a linha azul são as LD's atuais e em vermelho são as LD's previstas para construção. A aplicação para a criação das linhas é de MMR\$ 21,5 (vinte e um milhões e quinhentos mil reais).

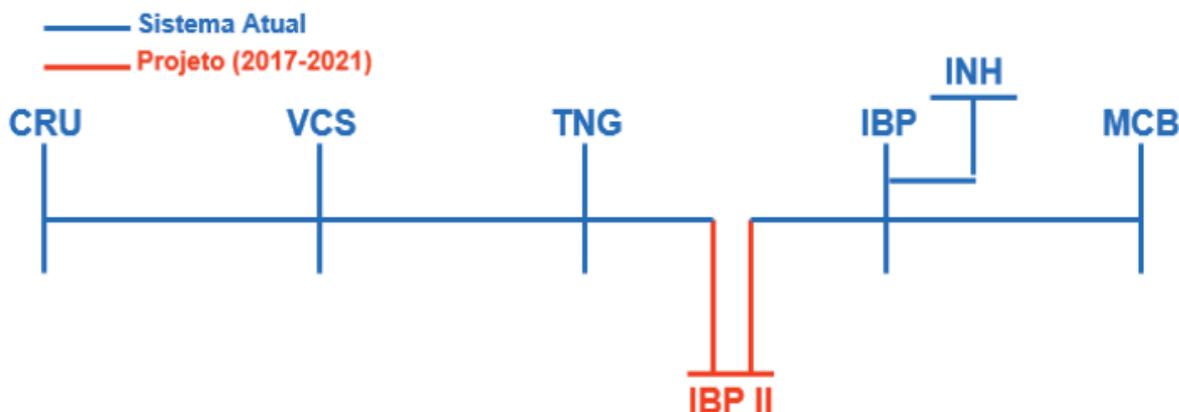


Figura 7 - Diagrama elétrico do sistema atual e das obras previstas para a melhoria da rede do eixo Cariré

No cenário sem obras, considerando todas as linhas de entrada correspondentes do regional SBD, possui o valor de demanda/ano de 290,4 MW para o input e de 261,9 MW para output resultando em uma perda de 28,5 MW. No cenário com a obra do eixo Sobral/Massapê o input é estimado em 286,2 MW e uma carga de 263,8 MW resultando em uma perda de 22,4 MW. No eixo CRC o input previsto é de 287,3 MW e um output de 262,7 MW com perda de 24,6 MW e para o eixo CRE um input de 285,6 MW e um output de 266,7 MW resultando em uma perda de 18,9 MW. Portanto, percebe-se que as perdas em todos os eixos tendem a reduzir com as realizações das obras. O total de investimento para as obras dos três eixos é de MMR\$ 81,125 (oitenta e um milhões e cento e vinte e cinco mil reais).

## 5 | CONCLUSÕES

A utilização direta de programas computacionais de fluxo potência em conjunto com a criação de novas metodologias de análises ainda são bastantes usados na solução de problemas de distribuição de energia elétrica. Neste caso, tem-se uma aplicação direta entre um método proposto utilizando dados de medições reais e um simulador de fluxo de carga. A partir desta técnica, foi possível determinar os trechos com as maiores perdas técnicas e melhor assertividade na criação de novas linhas de distribuição em pontos críticos, visando minimizar as perdas elétricas.

Com isso, conclui-se com este estudo que a metodologia proposta mostrou resultados satisfatórios. Foi possível traçar um planejamento de obras e investimentos para os pontos mais críticos da regional SBD para ser executado entre os anos de 2017 e 2021. O payback para o investimento citado no capítulo 4 foi estimado em 24,43 anos.

## REFERÊNCIAS

FISCHER, D. R.; PAIXÃO, J. L.; SAUSEN, J. P. **Minimização de Perdas em uma Rede de Distribuição Através do Problema de Transporte**. Revista Científica Semana Acadêmica. Fortaleza, ano MMXVII, Nº. 000110, 11/08/2017, p. 2. Disponível em: <<https://semanaacademica.org.br/artigo/minimizacao-de-perdas-em-uma-rede-d>>.

WARD, J. B. and HALE, H. W. **Digital computer solution of power flow problems**. AIEE Transactions on Power Apparatus and Systems, vol. i5, p. 398-404, 1956.

VAN NESS, J. E. **Iteration methods for digital load flow studies**. Transactions IEEE (Power Apparatus and Systems). v. 78A, pt. III, p. 583-588, 1959.

TINNEY, W. F. and HART, C. E. **Power flow solution by Newton's method**. IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, vol. PAS-86, pp. 1449-1456, 1967.

STOTT, B.; ALSAÇ, O. **Fast Decoupled Load Flow**. IEEE Transactions on Power Systems, v. PAS-93, n. 3, p. 859-869, 1974.

MARTINS, C. C. C. **Fluxo de Carga em Redes de Distribuição Operação em Emergência**. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Eletricidade (PPGEE), Universidade Federal do Maranhão (UFMA), p. 1 e 6, São Luís - MA, Brasil, janeiro de 2018.

MILOCA, S. A. **Planejamento da Expansão em Redes de Distribuição de Energia Elétrica com Indicadores de Confiabilidade e Base de Dados Georreferenciada**. Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Métodos Numéricos em Engenharia da Universidade Federal do Paraná, 2012, p. 3.

OLIVEIRA, R. C.; MANITO, A. R. A.; VIEIRA, J. P. A.; SOARES, T. M.; BEZERRA, U. H.; TOSTES, M. E. L.; JUNIOR, P. R. A. V.; NUNES, M. V. A. **Metodologia para Cálculo de Perdas Comerciais em Redes de Distribuição via Estudos de Fluxo de Carga**. XXII Seminário Nacional de Distribuição de Energia Elétrica (SENDI), Curitiba - PR - Brasil, 2016, p. 2.

KAGAN, N.; OLIVEIRA, C.; ROBBA, E. J. **Introdução aos Sistemas de Energia Elétrica**. 2nd. ed. São Paulo: Blucher, 2010, p. 1-325.

Brasil. CEPEL. ANAREDE - Análise de Redes Elétricas, website. Acessado em: 23/02/2018, disponível em: <<http://www.cepel.br/produtos/anarede-analise-de-redes-eletricas.htm>>.

## 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

