

Energia Elétrica e Sustentabilidade 2

Jaqueline Oliveira Rezende
(Organizadora)



Atena
Editora

Ano 2018

JAQUELINE OLIVEIRA REZENDE

(Organizadora)

Energia Elétrica e Sustentabilidade

2

Atena Editora
2018

2018 by Atena Editora

Copyright © da Atena Editora

Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Diagramação e Edição de Arte: Geraldo Alves e Natália Sandrini

Revisão: Os autores

Conselho Editorial

Prof. Dr. Alan Mario Zuffo – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná
Profª Drª Deusilene Souza Vieira Dall’Acqua – Universidade Federal de Rondônia
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense
Prof. Dr. Jorge González Aguilera – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)	
E56	Energia elétrica e sustentabilidade 2 [recurso eletrônico] / Organizadora Jaqueline Oliveira Rezende. – Ponta Grossa (PR): Atena Editora, 2018. – (Energia Elétrica e Sustentabilidade; v. 2) Formato: PDF Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader Modo de acesso: World Wide Web Inclui bibliografia ISBN 978-85-85107-46-8 DOI 10.22533/at.ed.468180110 1. Desenvolvimento energético – Aspectos ambientais. 2. Desenvolvimento sustentável. 3. Energia elétrica. I. Rezende, Jaqueline Oliveira. CDD 338.4
Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422	

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

2018

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.

www.atenaeditora.com.br

APRESENTAÇÃO

A sustentabilidade pode ser entendida como a capacidade de o ser humano utilizar os recursos naturais para satisfazer as suas necessidades sem comprometer esses recursos para atender as gerações futuras. Nesse contexto, a sustentabilidade está inter-relacionadas em diversos setores, sendo os principais o social, o ambiental e o econômico. Dessa forma, constitui um dos desafios da sociedade moderna o desenvolvimento sustentável que objetiva preservar o meio ambiente durante a realização de outras atividades.

A energia elétrica representa um dos principais pilares para o progresso econômico de uma nação e, conseqüentemente, para o atendimento de inúmeras necessidades da humanidade. Portanto, esse setor também tem se preocupado com a geração, a transmissão, a distribuição de energia elétrica e a construção de novos empreendimentos, como as usinas hidrelétricas, de maneira a preservar o meio ambiente. Logo, a Engenharia Elétrica tem apresentado significativas pesquisas e resultados de ações pautadas na sustentabilidade.

Neste ebook é possível notar que a relação da Engenharia Elétrica e a Sustentabilidade é de preocupação de diversos profissionais envolvidos nesse setor, sendo esses advindos da academia, das concessionárias de energia elétrica e do governo. Dessa forma, são apresentados trabalhos teóricos e resultados práticos de diferentes formas de aplicação da preservação do meio ambiente na engenharia elétrica.

Inicialmente são apresentados artigos que discorrem sobre o desenvolvimento sustentável e a sustentabilidade ambiental, custos ambientais em empreendimentos de geração de energia elétrica, recuperação ambiental, conservação da fauna, políticas administrativas e direcionamento de resíduos eletrônicos.

Em seguida, são descritos estudos sobre formas de geração de energia elétrica renováveis não convencionais, sendo apresentadas a energia eólica e a energia solar fotovoltaica. Essas formas de geração contribuem para o desenvolvimento sustentável, uma vez que geram energia elétrica utilizando recursos naturais não finitos, o vento na geração eólica e o sol na geração fotovoltaica.

Além disso, neste exemplar são expostos artigos que contemplam diversas áreas da engenharia elétrica, como redes smart grids, sistema de proteção, operação remota de usinas hidrelétricas, inteligência computacional aplicada a usina termelétrica, transformadores de potência, linhas de transmissão, tarifa horária, lâmpadas led, prevenção de acidentes em redes de média tensão e eficiência energética.

Jaqueline Oliveira Rezende

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	1
PROSPECÇÃO DE PARQUES HIDROKINÉTICOS ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE PROJETOS NOS RIOS IGUAÇU E PARANÁ	
<i>Marcos Aurélio de Araujo</i>	
CAPÍTULO 2	10
TROCADOR DE CALOR – INOVAÇÃO NO AQUECIMENTO DE ÁGUA, FUNCIONAMENTO, RESULTADOS E COMPARAÇÃO COM TECNOLOGIAS SEMELHANTES	
<i>Odair Deters</i>	
<i>Paulo Valdocci Pereira</i>	
<i>Valério Monteiro</i>	
CAPÍTULO 3	23
SISTEMA ÓPTICO CWDM COMO PLATAFORMA DE MONITORAÇÃO DE ATIVOS E DE COMUNICAÇÃO DE DADOS PARA REDES SMART GRIDS	
<i>João Batista Rosolem</i>	
<i>Danilo César Dini</i>	
<i>Claudio Antonio Hortêncio</i>	
<i>Eduardo Ferreira da Costa</i>	
<i>Rivael Strobel Penze</i>	
<i>João Paulo Vicentini Fracarolli</i>	
<i>Carlos Alexandre Meireles Nascimento</i>	
<i>Vítor Faria Coelho</i>	
CAPÍTULO 4	37
PORTAL OPERACIONAL DE EQUIPAMENTOS ESPECIAIS DA REDE DE DISTRIBUIÇÃO - UMA FERRAMENTA PARA GESTÃO DA CONFORMIDADE E DA CONTINUIDADE NO FORNECIMENTO DE ENERGIA ELÉTRICA	
<i>Rafael Cassiolato de Freitas</i>	
<i>Sadi Roberto Schiavon</i>	
CAPÍTULO 5	46
MODERNIZAÇÃO DOS SISTEMAS DE PROTEÇÃO, CONTROLE E SUPERVISÃO DA USINA HIDRELÉTRICA DE SAMUEL	
<i>Davi Carvalho Moreira</i>	
<i>Daniel Simões Pires</i>	
<i>Danilo Gomes Matias</i>	
<i>Heleno Fülber</i>	
<i>Bruno Merlin</i>	
CAPÍTULO 6	62
OPERAÇÃO REMOTA DE USINAS PELO CENTRO DE OPERAÇÃO DA GERAÇÃO DA ELETROBRAS ELETRONORTE	
<i>Davi Carvalho Moreira</i>	
<i>Daniel Simões Pires</i>	
<i>Danilo Gomes Matias</i>	
<i>Juliano Cortes de Souza</i>	
<i>Leonardo Siqueira Rodrigues</i>	
<i>Heleno Fülber</i>	
<i>Bruno Merlin</i>	
CAPÍTULO 7	70
ABORDAGEM DE INTELIGÊNCIA COMPUTACIONAL APLICADA PARA MODELAGEM PREDITIVA DE EMISSÕES DE NOX E CO DE UMA TURBINA A GÁS DE UMA USINA TERMELÉTRICA DE CICLO COMBINADO	
<i>Eduardo Massashi Yamao</i>	
<i>Juliano Pierezan</i>	

João Paulo Silva Gonçalves
Marcos Cesar Gritti
Luís Gustavo Tomal Ribas
Flávio Chiesa
Victor Manuel Lopes dos Santos
Marcos de Freitas
André da Silva Orlandi
Leandro dos Santos Coelho

CAPÍTULO 8 82

CONFIRMAÇÃO DA EFICÁCIA DO ENSAIO DE RESPOSTA DO DIELÉTRICO DE TRANSFORMADORES DE POTÊNCIA E BUCHAS CAPACITIVAS COMO TÉCNICA DE MANUTENÇÃO PREDITIVA

Hugo Rafael Freitas Negrão
Fernando de Souza Brasil
Bárbara Medeiros Campos
Maria Emília de Lima Tostes
Jorge Augusto Siqueira Tostes
Paulo Roberto Moutinho de Vilhena

CAPÍTULO 9 96

A EXPERIÊNCIA DA ELETRONORTE NA IMPLANTAÇÃO DA ANÁLISE DE RESPOSTA EM FREQUÊNCIA PARA DIAGNÓSTICO DE REATORES E TRANSFORMADORES DE POTÊNCIA

Vanessa de Cássia Viana Martins Beltrão

CAPÍTULO 10 113

ANÁLISE DE DESEMPENHO DA LINHA DE TRANSMISSÃO 230 KV DO SISTEMA DE TRANSMISSÃO DE RONDÔNIA OPERANDO COM CABOS PARA-RAIOS ISOLADOS E ENERGIZADOS EM MÉDIA TENSÃO

José Ezequiel Ramos
Alexandre Piantini
Ary D'Ajuz
Valdemir Aparecido Pires
Paulo Roberto de Oliveira Borges

CAPÍTULO 11 126

ESTUDO DE APLICAÇÃO DO DISPOSITIVO SVC NA LINHA DE TRANSMISSÃO MESQUITA VIANA II

Alcebíades Rangel Bessa
Lucas Frizera Encarnação
Paulo José Mello Menegáz

CAPÍTULO 12 143

IMPLANTAÇÃO DA LINHA DE TRANSMISSÃO SUBTERRÂNEA 230KV CIRCUITO DUPLO DA COPEL

Márcio Tonetti
Ilmar da Silva Moreira
João Nelson Hoffmann

CAPÍTULO 13 153

TRANSMISSÃO DE ENERGIA SEM FIO: ESTUDO POR INDUÇÃO ELETROMAGNÉTICA E ACOPLAMENTO MAGNÉTICO RESSONANTE

Guilherme Hideki Shibukawa
Eric Eduardo Goveia Pandolfo
Ricardo Andreola
Emerson Charles Martins da Silva

CAPÍTULO 14 168

TARIFAS HORÁRIAS PARA SISTEMA DE TRANSMISSÃO CONSIDERANDO O SINAL LOCACIONAL

Marcio Andrey Roselli
André Meister

Denis Perez Jannuzzi
Robson Kuhn Yatsu
André Veiga Gimenes
Miguel Edgar Morales Udaeta

CAPÍTULO 15..... 178

AVALIAÇÃO DAS LÂMPADAS LED NO MERCADO BRASILEIRO (ARTIGO APRESENTADO NO XXIV SNPTEE)

Alessandra da Costa Barbosa Pires de Souza
Maurício Barreto Lisboa
Willians Felipe de Oliveira Rosa

CAPÍTULO 16..... 185

AVALIAÇÃO DO MÉTODO INDEPENDENTE DE MEDIÇÃO DE PERTURBAÇÕES RADIADAS – ANEXO B DA CISPR 15 (ARTIGO APRESENTADO NO XXIV SNPTEE)

Alessandra da Costa Barbosa Pires de Souza
Maurício Barreto Lisboa
Willians Felipe de Oliveira Rosa

CAPÍTULO 17 193

PADRÕES DE QUALIDADE PARA SERVIÇOS DE PINTURA ANTICORROSIVA APLICADOS AO SETOR ELÉTRICO

Alberto Pires Ordine
Cristina da Costa Amorim
Marcos Martins de Sá
Elber Vidigal Bendinelli

CAPÍTULO 18..... 209

AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO, PRODUTIVIDADE E CUSTOS DE TECNOLOGIAS DE PROTEÇÃO ANTICORROSIVA PARA ESTRUTURAS ENTERRADAS DE LINHAS DE TRANSMISSÃO

Cristina da Costa Amorim
Alberto Pires Ordine
Marcos Martins de Sá
Wendell Porto de Oliveira

CAPÍTULO 19..... 221

ANÁLISE DE QUASE-ACIDENTES, OCORRIDOS NA ATIVIDADE DE MANUTENÇÃO DE REDES DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA DE MÉDIA TENSÃO, COMO MEIO EFICAZ E PROATIVO NA PREVENÇÃO DE ACIDENTES

Cristiano José Gober
Cresencio Silvio Segura Salas

CAPÍTULO 20..... 235

PORTAL R3E COMO FERRAMENTA INDUTORA E DISSEMINADORA DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES

Clara Ovídio de Medeiros Rodrigues
Marcelo Bezerra de Melo Tinoco
Aldomar Pedrini
Edison Alves Portela Junior
João Queiroz Krause
Marco Aurélio Ribeiro Gonçalves Moreira
Fernando Pinto Dias Perrone

CAPÍTULO 21..... 246

HIERARQUIA DAS NECESSIDADES E RESILIÊNCIA NO PAGAMENTO DE SERVIÇOS PÚBLICOS UTILIZADOS: UM ESTUDO DE CASO VOLTADO A ENERGIA ELÉTRICA RESIDENCIAL

Ana Lúcia Rodrigues da Silva
Fernando Amaral de Almeida Prado Jr.
Carolina Rodrigues de Almeida Prado

CAPÍTULO 22 258

PROJETO PILOTO PARCELAMENTO PRÓ-ATIVO DE DÉBITOS DE IRREGULARIDADE

Diego Rivera Mendes

Julio Eloi Hofer

Rafael Luís de Avila

CAPÍTULO 23 267

MODELAGEM ESTRATÉGICA PARA A CARACTERIZAÇÃO DAS CONDIÇÕES DE ANTECIPAÇÃO DO ATENDIMENTO AO CLIENTE PARA A MELHORIA OPERACIONAL E DE SERVIÇOS

Carlos Alberto Fróes Lima

Anderson Diego Machiaveli

Luciano E. A. Peres

Tales Neves Anarelli

SOBRE A ORGANIZADORA 287

MODERNIZAÇÃO DOS SISTEMAS DE PROTEÇÃO, CONTROLE E SUPERVISÃO DA USINA HIDRELÉTRICA DE SAMUEL

Davi Carvalho Moreira

Centrais Elétricas do Norte do Brasil S/A -
Eletrobras Eletronorte
Tucuruí – Pará

Daniel Simões Pires

Centrais Elétricas do Norte do Brasil S/A -
Eletrobras Eletronorte
Porto Velho – Rondônia

Danilo Gomes Matias

Centrais Elétricas do Norte do Brasil S/A -
Eletrobras Eletronorte
Brasília – Distrito Federal

Heleno Fülber

Universidade Federal do Pará – UFPA
Tucuruí – Pará

Bruno Merlin

Universidade Federal do Pará – UFPA
Tucuruí – Pará

RESUMO: este artigo apresenta a desafios, nas fases de projeto, inspeção e comissionamento, enfrentados pela Eletrobras Eletronorte na modernização dos Sistemas de Proteção e Controle da Usina Hidrelétrica de Samuel, incluindo um sistema de supervisão local e remoto. Apresenta também a solução de engenharia implementada para realizar integração entre sistemas de tecnologia digital com sistemas de tecnologia convencional (eletromecânica e eletrônica) de forma simples e de baixo custo. Neste artigo é abordada

a busca por soluções de engenharia que não causam dependência tecnológica e ainda possibilitam a interoperabilidade dos sistemas digitais. O projeto de modernização foi concluído dentro dos prazos estabelecidos pelo Operador Nacional do Sistema Elétrico se mostrou vantajoso financeiramente com retorno dos investimentos observados em médio prazo. **PALAVRAS-CHAVE:** Modernização, Proteção, Controle, Supervisão, Hidrelétrica.

ABSTRACT: This paper presents the challenges faced by Eletrobras Eletronorte during project, inspection and commissioning phases, in the modernization of the Protection and Control Systems of Samuel Hydroelectric Power Plant, including a local and remote supervision system. It also presents the engineering solution implemented to integrate digital technology systems with systems of conventional (electromechanical and electronic) technology in a simple and low-cost way. In this paper, the search for engineering solutions that do not cause technological dependence and, still, allow the interoperability of the digital systems, is approached. The modernization project was completed within the deadlines established by the National Operator of the Electric System proved to be financially profitable with medium-term return on investments.

KEYWORDS: Modernization, Protection,

1 | INTRODUÇÃO

A Eletrobras Eletronorte (ELB/ELN) possui a concessão da Usina Hidrelétrica de Samuel (UHE Samuel), com 216MW de potência nominal, teve seu início operacional das unidades geradoras no ano de 1989 e foi conectada ao Sistema Interligado Nacional (SIN) em 2012. Esta interligação exigiu diversas adequações da instalação aos procedimentos de rede do Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS), principalmente no que se refere aos requisitos de telessupervisão descritos no submódulo 2.7.

Em um cenário com restrições orçamentárias, medidas de governo com redução de receita e ainda num ambiente competitivo, a ELB/ELN buscou uma solução estratégica para: (i) minimizar os investimentos; (ii) atender os requisitos dos procedimentos de rede do ONS; (iii) realizar a operação remota; (iv) reduzir os custos de operação e manutenção da usina e (v) manter a disponibilidade das unidades geradoras.

Os desafios encontrados para a realização deste projeto estão relacionados aos prazos curtos estabelecidos pelo ONS após a interligação da usina com o SIN e a busca por soluções de engenharia que não causam dependência tecnológica, principalmente relacionada aos protocolos e padrões proprietários, e ainda garantam a interoperabilidade dos sistemas. Destacam-se também as dificuldades encontradas devido à complexidade do empreendimento, sendo que não foi apenas a instalação de novos equipamentos e sim a integração dos sistemas de proteção e controle digitais com vários sistemas ainda eletromecânicos e eletrônicos.

A solução adotada pela ELB/ELN foi a modernização dos sistemas de proteção e controle, incluindo um sistema de supervisão local e remoto, havendo a integração destes sistemas digitais com o sistema de regulação de velocidade, sistema regulação de tensão, sistema de excitação, sincronismo, sistemas de lubrificação entre outros sistemas que também possuem uma tecnologia convencional.

Serão descritos neste trabalho as principais atividades das fases de inspeção em fábrica e comissionamento, bem como examinadas as características e fragilidades da convivência com diferentes gerações tecnológicas.

2 | PROJETO

O projeto de modernização da UHE Samuel foi elaborado de acordo com o padrão da ELB/ELN, diretrizes do ONS e inclusões de melhorias relatadas nas experiências anteriores (Modernização do SPCS da UHE Curuá-Una, UHE Coaracy Nunes e UHE Tucuruí). Neste projeto, a ELB/ELN optou por elaborar uma única especificação contendo a contratação dos serviços de projeto, fornecimento de equipamentos e serviços de montagens.

Antes da modernização, em cada função geração, a proteção do gerador,

transformador elevador, linha curta e transformador de excitação eram compostos de proteções convencionais eletromecânicas e eletrônicas de diversos fabricantes, sem redundância de funções, como mostrado na Figura 1.

Um dos benefícios oriundo desse projeto foi o aumento da confiabilidade do sistema de proteção, devido à redundância de funções de proteção através de apenas dois relés e o fato de haver um único modelo de relé digital que pode ser intercambiável entre unidades geradoras ou entre função primária e secundária, como mostrado na Figura 2.

Algumas proteções permaneceram com tecnologia convencional, como foi o caso das proteções elétricas 87NT, 51BF e 27-3 que ficaram para serem modernizadas no projeto da equipe de transmissão da ELB/ELN.

Os relés de proteção que foram instalados são micro processados, possui lógica programável, comunicação por diversos protocolos encontrando-se no estado atual da arte de tecnologia digital.

Optou-se pela utilização de protocolo baseado na Norma IEC61850 para a rede de proteção, sem que haja nenhum equipamento intermediário entre o relé digital e a estação de operação, com exceção dos switches para realizar a rede de comunicação em anel, conforme mostrado na Figura 3.

A utilização da Norma IEC61850 é uma tendência no setor elétrico que tem se mostrado vantajosa por possuir um conjunto de requisitos técnicos necessários para permitir que sistemas e equipamentos de diferentes fabricantes e gerações tecnológicas possam se comunicar.

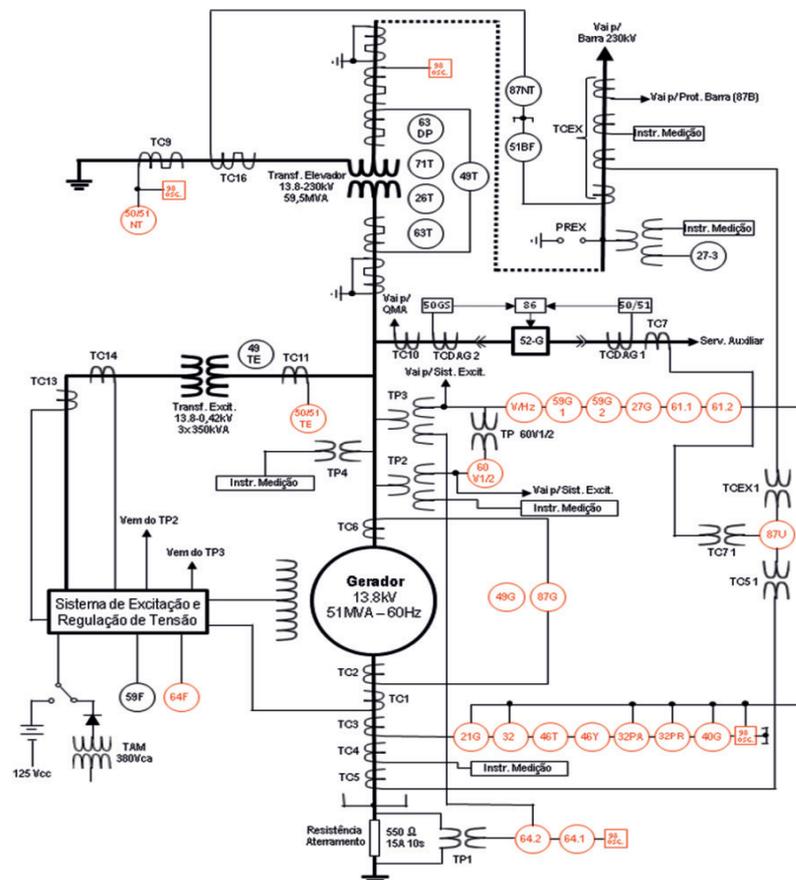


Figura 1: Diagrama Unifilar do Sistema de Proteção (Antes da Modernização)

Uma das dificuldades encontradas no desenvolvimento do projeto foi na definição da arquitetura de rede dos sistemas de proteção e controle, para possibilitar uma integração com diferentes sistemas e com diferentes gerações tecnológicas destes sistemas. Baseado na experiência da ELB/ELN buscou-se uma arquitetura de rede dos sistemas de proteção e controle sem equipamentos, do tipo *front-end* e/ou *gateway* e/ou *Redbox* outro algum outro equipamento que seja intermediário entre a *Intelligent Electronic Device* (IED) e o sistema supervisor. Importante ressaltar que deve-se exigir a utilização de protocolos abertos a fim de resguardar a empresa de uma dependência tecnológica de um determinado fabricante. Verifica-se na Figura 3, uma rede de *switch* em anel simples e cada IED (proteção e controle) ligada em dois *switches*.

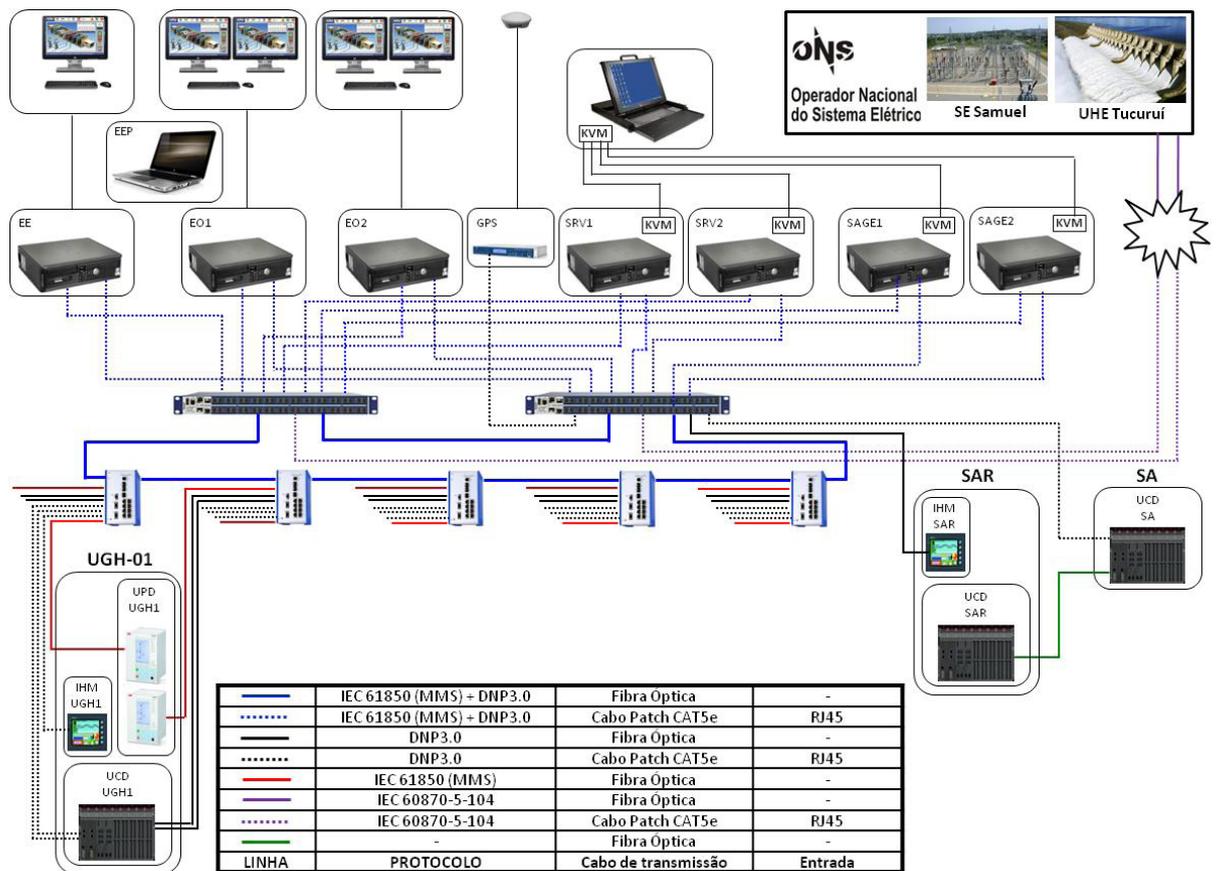


Figura 3: Arquitetura de Rede

Para a rede de proteção foi utilizado a Norma IEC 61850 com os protocolos *Manufacturing Message Specification* (MMS) para comunicação com o sistema supervisor e o protocolo *Generic Object Oriented Substation Event* (GOOSE) para comunicação com o oscilógrafo. Ressalta-se que padronização do modelo de dados dos atributos e funções do relé digital (REG670 – ABB) foi baseada na Norma IEC 61850 com os seus agrupamentos em dispositivo lógico, nó lógico e objeto de dados.

Para a rede de controle foi utilizado o protocolo *Distributed Network Protocol Version 3.0* (DNP 3.0) para comunicação com o sistema supervisor, devido o CLP fornecido (Série Hadron XTORM – Altus) estar em fase de validação da Norma

IEC61850.

Neste projeto, até o presente momento, toda a comunicação dos sinais advindos do campo com o sistema supervisor é realizada pelos sistemas de controle e proteção, os demais sistemas com tecnologia convencional utilizam estes *hardwares* para possibilitar processamento de lógica e/ou visualização de grandezas analógicas e/ou sinais digitais nas telas do supervisor.

Ainda na fase de projeto, para cada sistema que permanecerá com tecnologia convencional, foi realizado o levantamento dos sinais de entrada/saída analógica e digital, este levantamento se fez necessário e foi condição básica para possibilitar a integração entre os sistemas. A ELB/ELN tem como padrão prever uma quantidade 10% de entrada/saída analógica e digital reserva cabeada para implementação de melhorias e/ou eventuais necessidades.

3 | INSPEÇÃO EM FÁBRICA

Nas inspeções em fábrica dos sistemas de proteção e controle, o padrão da ELB/ELN é realizar testes elétricos, testes de subsistemas e testes de sistemas.

Nos testes elétricos de todos os painéis e placas de montagem foram realizados: (i) inspeção visual e dimensional; (ii) ensaio de pintura (espessura e aderência); (iii) verificação das plaquetas, disposição dos componentes e placa de identificação; (iv) verificação das anilhas; (v) ensaio de continuidade e fiação; (vi) funcionamento dos equipamentos. Os ensaios de tensão aplicada e resistência de isolamento foram realizados apenas nos painéis fornecidos, pois para as placas de montagem a instalação completa com todas as fiações nas canaletas e borneiras ocorreu no comissionamento. Nesta etapa da inspeção houve retrabalhos, por parte do fornecedor, relacionados à identificação de anilhas e fiação invertida, sendo normalizadas todas as não conformidades durante o período de inspeção. Uma das principais preocupações da ELB/ELN foram as verificações dos desenhos dimensionais das placas de montagem, para que não houvesse modificações quando da instalação nos painéis existentes.

Os testes de subsistemas foram realizados em todas as UCD e UPD das unidades geradoras e na UCD do serviço auxiliar, compreendendo: (i) testes de subida de pontos, incluindo diagnósticos e falhas; (ii) testes de comando; (iii) testes de lógicas; (iv) verificação de comunicação, inicialização e energização; (v) ensaio nos circuitos de corrente e tensão. Nesta etapa da inspeção ganhou-se tempo pelo fato dos testes (i), (ii) e (iii) terem sido feito por amostragem, em torno de 25% de cada tipo sinal. A ELB/ELN concordou com os testes por amostragem, devido ter sido realizado em fábrica antes da inspeção, em uma UCD de unidade geradora e na UCD do serviço auxiliar, a subida de todos os pontos de entrada digital e analógica, inclusive verificando sua respectiva sinalização no sistema supervisor e simulação de todos os comandos e lógicas dos sistemas de controle. O acompanhamento da confecção de

telas do sistema supervisor, da programação da lógica da UCD e UPD e a realização dos testes anteriores à inspeção em fábrica são atividades que aconselhamos, pois facilitou e minimizou os trabalhos, sem perda de qualidade, na fase de inspeção em fábrica e principalmente agregou conhecimento teórico e prático dos equipamentos para a equipe da ELB/ELN.



Figura 4 :Painel do Controlador Lógico Programável (antigo)



Figura 5: Placa de Montagem Painel da Unidade de Controle Digital (novo)

A última etapa da inspeção em fábrica foram os testes de sistemas, também chamado de Certificação Funcional Integrada (CFI). Foi montada em fábrica uma rede de equipamentos, muito semelhante à arquitetura da Figura 3, sendo ligadas todas as UPD, todas as UCD, todas as IHM, um GPS, duas estações de operação, dois servidores de banco de dados e dois servidores SAGE, nas Figuras 4 e 5 são apresentadas fotos do painel antigo e da nova placa de montagem da unidade de controle, respectivamente. Nas Figuras 6 e 7 são apresentadas fotos do painel antigo e da nova placa de montagem dos relés de proteção.

Os testes realizados foram: (i) teste de sincronismo; (ii) teste de redundância; (iii) teste de comunicação com centro remoto; (iv) teste de avalanche. Essa etapa da inspeção foi importante tanto para averiguar se os recursos fornecidos e a arquitetura proposta com os protocolos de comunicação atendem, na sua totalidade, aos requisitos técnicos funcionais exigidos pela ELB/ELN. Nesta etapa as dificuldades encontradas foram relacionadas a ajustes nas bases de dados para o perfeito funcionamento do sistema.



Figura 6: Painel dos Relés Proteção (antigo)



Figura 7: Painel da Unidade de Proteção Digital (novo)

4 | COMISSONAMENTO

Com base no padrão de comissionamento da ELB/ELN, neste projeto o

comissionamento consistiu em: (i) desmontagem e montagem de painéis; (ii) lançamento de cabos de força, controle e comunicação; (iii) instalação dos equipamentos de supervisão, controle e proteção; (iv) ensaio funcional nos painéis e placas de montagens; (v) ensaio de perda de comunicação; (vi) ensaio de atuação das proteções; (vii) ensaio de subida de eventos com sincronismo de tempo; (viii) adequação das bases de dados para ONS, SE Samuel e UHE Tucuruí (Comando Remoto).

Três grandes desafios encontrados neste projeto foram a minimização do tempo de indisponibilidade da unidade geradora, a compatibilização dos cronogramas com SE Samuel, devido a subestação também estar sendo modernizada e as adequações realizadas nos painéis para conviver com diferentes gerações tecnológicas e ainda possibilitar toda a supervisão e comandos remotos necessários para o telecomando da usina.

Para a minimização do tempo de indisponibilidade, foram realizados diversos serviços com a unidade em operação. Destaca-se que os serviços executados não causaram desligamento e os riscos foram minimizados com um planejamento e análise dos desenhos funcionais adequadas. Ressalta-se que os sistemas de controle das unidades geradoras já estavam inoperantes, ou seja, a usina estava operando em modo local e a desativação do sistema de controle não causava risco de desligamento. Antes de cada parada de máquina, todos os equipamentos do sistema de controle foram retirados dos seus respectivos painéis, foi realizado o encaminhamento de cabos de comunicação e ainda foram deixadas próximo ao local todas as placas de montagens e os novos painéis.

A instalação dos equipamentos do sistema de supervisão, na sala de operação, foi realizada sem intervenção nas unidades geradoras e no início da fase de comissionamento, pois o próprio sistema supervisor foi utilizado nesta fase.

O tempo médio de indisponibilidade das unidades geradoras foi de 30 (trinta) dias, destaca-se que neste período houve aproveitamento para realização das manutenções anuais e quinquenais, conforme Programa de Manutenção Planejada (PMP) de cada unidade. Nos equipamentos proteção, a intervenção iniciou-se apenas quando da máquina parada e as condições de segurança satisfeitas.

Devido neste projeto terem sido aproveitados os cabos derivados dos sensores e equipamentos de campo, foi muito importante a fiscalização da ELB/ELN, que foi executada por técnicos da própria usina e que conheciam completamente o serviço executado, orientando a contratada na desmontagem e montagem dos painéis.

Outra dificuldade encontrada na fase do comissionamento foi a compatibilização dos cronogramas que envolveram o desligamento da função geração por parte da usina e do bay de entrada por para da subestação. O fato de haver duas empresas contratadas com prazos distintos de entrega de equipamentos, sendo que os desligamentos de uma instalação afetam a disponibilidade da outra instalação e que a gestão de cada instalação é realizada por diferentes áreas dentro da ELB/ELN, ocasionou diversas reuniões de planejamento para compatibilizar as datas de início

e fim de serviço. A área de transmissão da ELB/ELN optou por realizar os serviços nos bay de entrada da SE Samuel quando da indisponibilidade de sua respectiva unidade geradora, mesmo tendo que adequar o seu cronograma de fornecimento com a contratada.

Outro desafio superado nesta fase de comissionamento, foram os testes de cada adequação realizada nos painéis de comando dos sistemas de excitação, regulação de tensão, regulação de velocidade e sincronismo para que houvesse uma integração entre os sistemas eletromecânicos e eletrônicos com os sistemas digitais. Cabe ressaltar a importância da fase de projeto, para análise e alterações nos desenhos funcionais a fim de minimizar o tempo gasto no comissionamento em que a unidade geradora está indisponível.

O sistema de proteção e controle modernizado está em fase de garantia contratual e sendo avaliado pela equipe da ELB/ELN. Foi estabelecido um período de aproximadamente 20 (vinte) dias para estabilização dos sistemas de proteção e controle, este período foi o intervalo entre os desligamentos das unidades geradoras.

5 | INTEGRAÇÃO ENTRE SISTEMAS

A solução implementada pela ELB/ELN para integração entre os sistemas com tecnologia convencional e tecnologia digital, baseou-se na centralização das informações nos sistemas de proteção e controle de sua respectiva unidade geradora.

Destaca-se que foram previstos equipamentos e arquitetura de rede, para obter uma solução de engenharia de que garanta a interoperabilidade dos sistemas de proteção e controle, tendo em vista que futuramente poderá ser modernizado outros sistemas.

Como exemplo de integração entre sistemas, citamos 03 (três) casos: (i) sistema de excitação e regulação de tensão; (ii) sistema de regulação de velocidade; (iii) sistema de sincronismo.

5.1 Sistemas de Excitação e Regulação de Tensão

Para a integração do sistema de regulação de tensão no sistema de controle, houve a necessidade do envio de informações analógicas (tensão, corrente e temperatura) e digitais (estado de disjuntores e proteções) através de cabos de controle.

Para as grandezas digitais, utilizou-se saídas reservas dos relés auxiliares ou foram acrescentados relés multiplicadores de contatos para envio das informações ao CLP. Para as grandezas analógicas, foi-se utilizado os sinais dos medidores pertencentes ao painel local da respectiva unidade geradora, fazendo-se uma ligação em série com CLP para manter em funcionamento os medidores analógicos. Destaca-se que foi possível realizar a ligação dessa forma, pelo fato dos painéis estarem fisicamente próximos.

Neste projeto, além de toda a supervisão dos sistemas de excitação e regulação de tensão, o sistema supervisor também tem a possibilidade de executar comandos de aumento/diminuição de tensão e abertura/fechamento da contatora de excitação.

A solução implementada foi inserir no relé auxiliar que efetua o comando do equipamento uma saída digital do CLP. Esta adequação prevista no projeto foi simples, eficaz e não onerou custos ao projeto (Figuras 8 e 9).

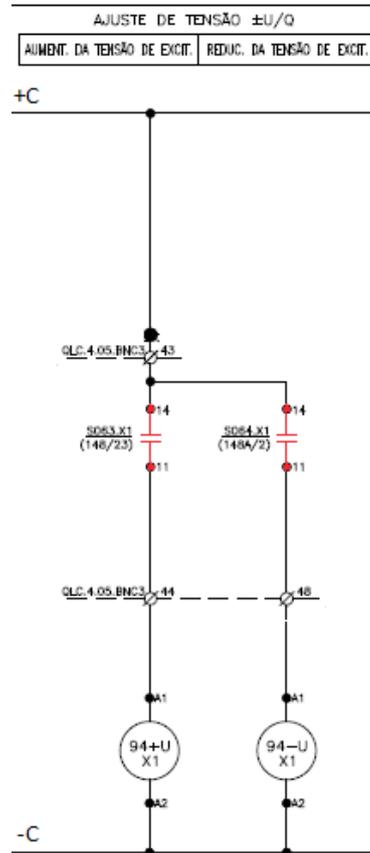


Figura 8: Ajuste de Tensão da UGH

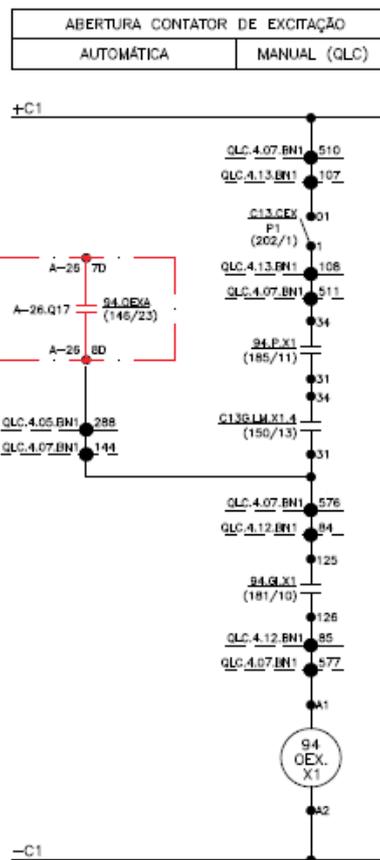


Figura 9: Abertura da Contatora de Excitação

5.2 Sistema de Sincronismo

A integração do sistema de sincronismo com os sistemas de controle e supervisão foi realizada através da habilitação da ordem de fechamento do disjuntor e da habilitação de sincronismo em barra morta. A saída digital do CLP que faz comunicação com o relé de sincronismo é disparada através de lógica interna baseada nas entradas analógicas e digitais.

A Figura 10 apresenta o diagrama funcional do relé de sincronismo, onde está destacado de vermelho as saídas digitais do CLP que habilitam ações do relé de sincronismo.

ALIMENTAÇÃO E ENTRADAS DIGITAIS DO SINCRONIZADOR – 25-G											
ALIMENTAÇÃO	DISJUNTOR		BLACK START/OP. ISOL.	CONJ. PARÂMETROS B	FREQUÊNCIA		TENSÃO		COMANDO	MESSAGE	SINCRONIZADOR
125Vcc	HABILITADO	ABERTO	HABILITADO	HABILITADO	AUMENTAR	DIMINUIR	AUMENTAR	DIMINUIR	FECHAMENTO DI.	CONNECT 2	PRONTO P/ OPERAR

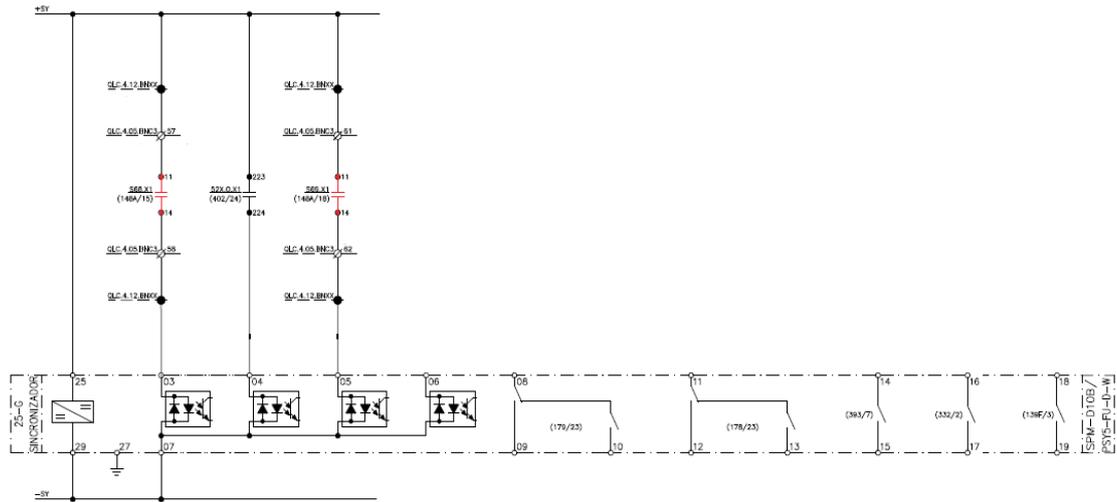


Figura 10: Comandos para Habilitar Ações no Relé de Sincronismo

5.3 Sistemas de Regulação de Velocidade

O sistema de regulação de velocidade foi integrado ao sistema de controle da mesma forma que os sistemas de excitação e regulação de tensão.

Alguns instrumentos necessitaram ser adquiridos para que o monitoramento do sistema de regulação de velocidade fosse ampliado. Para evitar que houvesse problemas de comunicação, dependência tecnológica e ainda visando custo do instrumento, não inserimos instrumentos com comunicação através de protocolos, ou seja, mantivemos a filosofia de projeto que é o envio das informações por cabo de controle, temperatura (RTD), pressão e nível (4 a 20mA).

Desta forma o sistema de regulação de velocidade ficou todo supervisionado e ainda possibilitando comando de aumento/diminuição de potência ativa, além de comandos das motobombas e eletroválvulas. Nas Figuras 11 e 12 são apresentados apenas os diagramas funcionais dos comandos de aumento/diminuição de potência ativa e comando da eletroválvula de isolamento do acumulador Ar-Óleo.

A arquitetura de rede dos sistemas de proteção e controle com protocolos abertos e padronizados por normas, possibilitou implementar instalar equipamentos intercambiáveis e que não causam dependência tecnológica, permitindo ainda integração com futuros sistemas que serão modernizados.

Os adiamentos dos desligamentos das unidades geradoras foram motivados basicamente pelas condições energéticas desfavoráveis do SIN, devido a UHE Samuel ser uma importante fonte de geração para o estado e Rondônia.

A integração das equipes de projeto e manutenção das áreas de geração e transmissão foi fundamental na fase do comissionamento dos sistemas de proteção, ensaio de comando de equipamentos e configuração das bases de dados.

A convivência com diferentes gerações tecnológicas se mostrou uma solução vantajosa financeiramente e não causam transtornos a operação e manutenção, desde que sejam bem projetadas.

Os gastos totais (projeto, equipamento e serviço) com a modernização dos sistemas de proteção e controle ficaram em torno de 4 milhões de reais, apesar dos consideráveis gastos iniciais, as vantagens da modernização e o retorno dos investimentos serão observados em médio.

Um dos resultados da modernização foi a supervisão local e remota de todas as grandezas analógicas/digitais e ainda possui comandos de todos os equipamentos necessários para operação comercial da instalação.

Sendo o processo de modernização um trabalho multidisciplinar e ainda havendo interação com diversos órgãos (internos e externos à ELB/ELN), conseguiu-se desenvolver e executar as diversas fases deste complexo empreendimento com bastante êxito.

REFERENCIAS

MOREIRA, D. C., PIRES, D. S., MATIAS, D. G., FÜLBER, H., MERLIN, B., **Modernização dos Sistemas de Proteção e Controle da UHE Samuel: Desafios Encontrados**, Convivência com Diferentes Gerações Tecnológicas. XXIII Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica. Foz do Iguaçu: CIGRÉ-Brasil. 2015.

MOREIRA, D. C., PIRES, D. S., MATIAS, D. G., FÜLBER, H., MERLIN, B., **Solução Eletronorte para Modernização da UHE Samuel: Convivência com Diferentes Gerações Tecnológicas**, XI Simpósio de Automação de Sistemas Elétricos. Campinas: Cigré-Brasil. 2015.

SOBRE A ORGANIZADORA

Jaqueline Oliveira Rezende Possui graduação em Engenharia Elétrica, com certificado de estudos em Engenharia de Sistemas de Energia Elétrica e mestrado em Engenharia Elétrica, ambos pela Universidade Federal de Uberlândia (UFU). Atualmente é aluna de doutorado em Engenharia Elétrica, no Núcleo de Dinâmica de Sistemas Elétricos, pela Universidade Federal de Uberlândia. Atuou como professora nos cursos de Engenharia Elétrica e Engenharia de Controle e Automação. Tem realizado pesquisas em Sistemas de Energia Elétrica, dedicando-se principalmente às seguintes áreas: Energia Solar Fotovoltaica; Curvas Características de Painéis Fotovoltaicos; Dinâmica de Sistemas Elétricos; Geração Distribuída; Simulação Computacional; Algoritmo Genético.

Agência Brasileira do ISBN
ISBN 978-85-85107-46-8

