

# 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

<b>Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)</b> <b>(eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)</b>	
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
<b>Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422</b>	

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](http://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

<b>CAPÍTULO 1</b> .....	<b>1</b>
PROSPECÇÃO DE PARQUES HIDROKINÉTICOS ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE PROJETOS NOS RIOS IGUAÇU E PARANÁ	
<i>Marcos Aurélio de Araujo</i>	
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	<b>10</b>
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>	
<b>CAPÍTULO 3</b> .....	<b>23</b>
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>	
<b>CAPÍTULO 4</b> .....	<b>37</b>
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>	
<b>CAPÍTULO 5</b> .....	<b>46</b>
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>	
<b>CAPÍTULO 6</b> .....	<b>62</b>
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>	
<b>CAPÍTULO 7</b> .....	<b>70</b>
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**

## OPERAÇÃO REMOTA DE USINAS PELO CENTRO DE OPERAÇÃO DA GERAÇÃO DA ELETROBRAS ELETRONORTE

### **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

### **Daniilo Gomes Matias**

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

### **Juliano Cortes de Souza**

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

### **Leonardo Siqueira Rodrigues**

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

conectadas ao Sistema Interligado Nacional. Neste trabalho é apresentada a forma de integração dos Sistemas de Proteção, Controle e Supervisão de cada usina para propiciar operação remota pelo Centro de Operação da Geração, destacando o baixo custo de implantação e a simplicidade da solução tecnológica baseada em relés digitais, controladores lógicos programáveis e sistema supervisorio. Por fim são apresentados os ganhos com a implantação da operação remota de um importante sistema de geração.

**PALAVRAS-CHAVE:** Operação Remota, Hidrelétrica, Sistema de Supervisão, Centro de Operação da Geração.

**ABSTRACT:** This paper aims to present the technical and operational solution implemented by Eletrobras Eletronorte for remote operation of its hydroelectric power plants connected to the National Interconnected System. The integration of the Protection, Control and Supervision Systems of each power plant to provide remote operation by the Generation Operation Center is presented, highlighting the low cost of implantation and the simplicity of the technological solution based on digital relays, programmable logical controllers and supervisory system. Finally, the gains from implanting the remote operation of an important generation system are presented.

**RESUMO:** Este trabalho tem como objetivo apresentar a solução técnica e operacional implementada pela Eletrobras Eletronorte para operação remota de suas usinas hidrelétricas

**KEYWORDS:** Remote Operation, Hydroelectric, Supervision System, Generation Operation Center.

## 1 | INTRODUÇÃO

A Eletrobras Eletronorte (ELB/ELN), desde 2000, investe na automação de suas usinas hidrelétricas com foco principal na digitalização dos sistemas de proteção, controle e supervisão.

A partir da década de 80, foram implantadas as primeiras salas de controle dos centros de operação, das empresas de energia elétrica, que tinham foco na funcionalidade dos sistemas SCADA (*Supervisory Control and Data Aquisition*) e tinham como principal objetivo a observação por parte dos operadores dos diagramas unifilares disponíveis nestes sistemas (FREITAS et al, 2007). Nesta época, iniciou-se a utilização dos microprocessadores, dos módulos de processamento de sinais e de lógicas e algoritmos complexos, com taxas de transmissão de dados suficientes para realização de controle e supervisão de maneira segura e confiável.

A automatização de usinas existentes é uma tendência atual, indispensável para que se atinja o máximo potencial de uma instalação. A automação deve ser entendida como um sistema integrado, que envolve não apenas o sistema de supervisão e controle, mas também os reguladores de velocidade e tensão, as proteções elétricas e mecânicas, instrumentação e atuadores (elétricos e hidráulicos) (GORGA, 2003).

Hoje em dia, em que os sistemas de supervisão e controle das usinas atingiram sua maturidade, o aproveitamento da inteligência distribuída conforme as instalações são digitalizadas, permite a operação remota além de ser uma necessidade empresarial para efficientização dos custos de operação é uma ferramenta para simplificação das atividades e aumentar a confiabilidade operacional (STRASBACH E POZAVSKI, 2010).

O Centro de Operação da Geração (COG) da ELB/ELN localiza-se na Usina Hidrelétrica de Tucuruí (UHE Tucuruí) e realiza a operação remota de três usinas hidrelétricas (UHE Tucuruí, UHE Samuel e UHE Curuá-Una), correspondendo a 8.642 MW, quase 6,65% da capacidade instalada do sistema interligado brasileiro.

## 2 | REDE DE AUTOMAÇÃO DAS USINAS

A topologia da rede de automação e os protocolos de comunicação de cada usina foi estabelecida de acordo com o solução tecnológica que se tinha na época de sua respectiva modernização. Dessa forma o SPCS de cada usina da ELB/ELN possui uma topologia de rede diferente, com tipos protocolos diferente, mas não interfere na solução de engenharia adotada para operação remota.

## 2.1 UHE Samuel

O projeto de modernização da UHE Samuel, iniciado em 2015, teve em seu escopo a substituição dos relés de proteção eletromecânicos por relés de proteção digitais, a substituição das unidades terminais remotas por controladores lógicos programáveis e ainda a implantação de um sistema de supervisão SCADA.

A rede de automação da UHE Samuel é baseada em protocolos de comunicação Ethernet aberto e normatizado, sendo utilizado para rede de proteção o protocolo *Manufacturing Message Specification* (MMS) fundamentado na Norma IEC 61850 para comunicação com o sistema supervisor e para rede de controle foi utilizado o protocolo *Distributed Network Protocol Version 3.0* (DNP 3.0) para comunicação entre o Controlador Lógico Programável (CLP) e o sistema supervisor. Na Figura 1 é apresentada a rede de automação da UHE Samuel com topologia em anel simples de switch e as *Intelligent Electronic Device* (IED) sendo conectadas radialmente na rede em anel.

A integração entre as redes de automação da UHE Samuel e da SE Samuel é realizada por servidores SAGE e comunicação por protocolo IEC 60870-5-104, possibilitando a supervisão e o controle de toda a função geração (bays de entrada da subestação) através do sistema de supervisão da usina (MOREIRA et al, 2015).

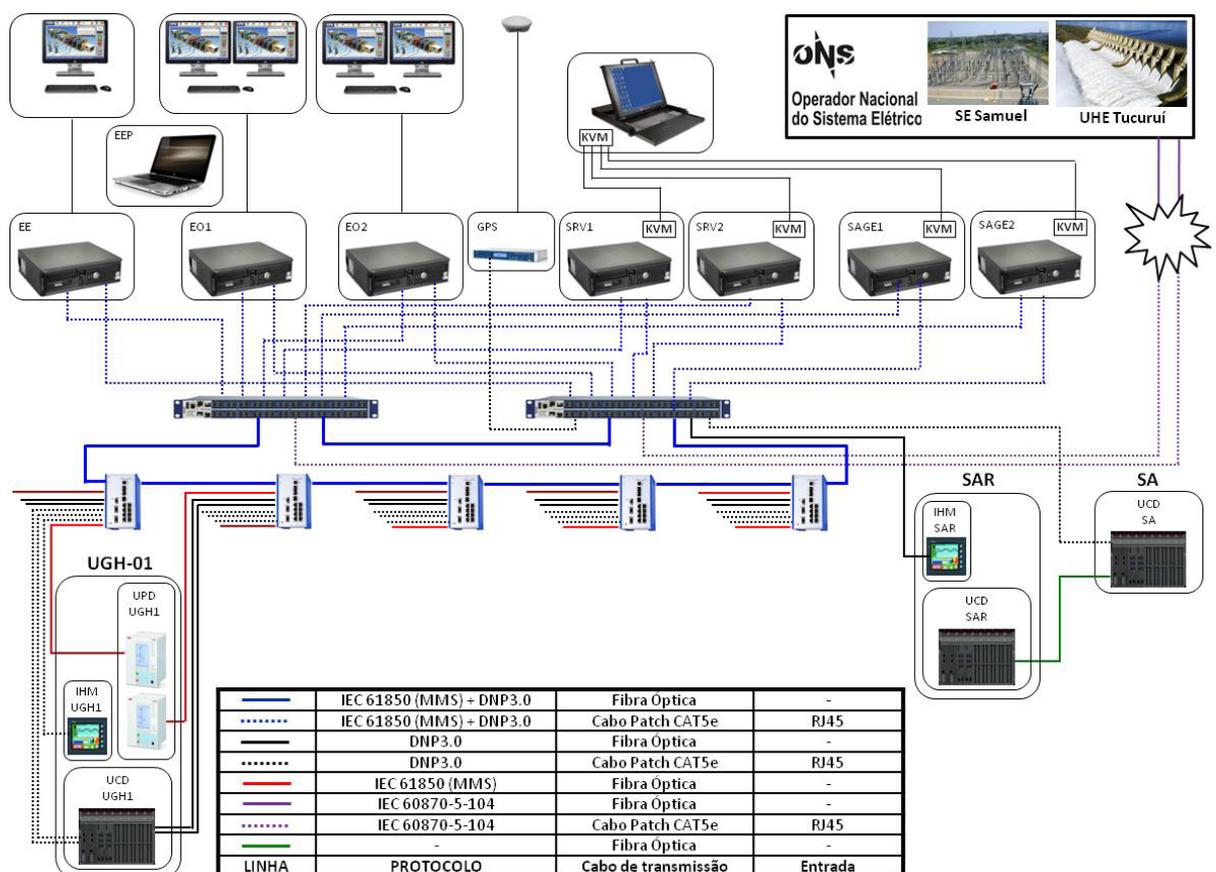


Figura 1: Arquitetura de Rede do SPCS da UHE Samuel

## 2.2 UHE Curuá-Una

O projeto de modernização da UHE Curuá-Una, iniciado em 2013, teve em seu

escopo a substituição da instrumentação de diversos sistemas, dos relés de proteção eletromecânicos por relés de proteção digitais, instalação de controladores lógicos programáveis, digitalização do sistema de regulação de velocidade e tensão e ainda a implantação de um sistema de supervisão SCADA.

A rede de automação da UHE Curuá-Una tem uma topologia em barra dupla com dois protocolos para comunicação com o sistema supervisor, os protocolos Modbus TCP e o IEC 60870-5-104, como pode ser observado na Figura 2.

Os relés de proteção se comunicam com o concentrador de dados da proteção por protocolo proprietário e este se integra a rede de automação da usina. Esta solução teve que ser adotada devido o modelo do relé não possuir protocolos de comunicação Ethernet aberto e normatizado.

Os módulos de aquisição de dados dos sistemas de regulação de velocidade e tensão fazem comunicação com o CLP através do protocolo CanOpen. O CLP além de processar toda a lógica do sistema de regulação de velocidade e tensão também faz a integração com a rede de automação da usina.

No sistema de controle existem módulos de aquisição de dados que se comunicam com o CLP através do protocolo CanOpen e Modbus RTU, vale destacar que a instrumentação que foi modernizada estão presentes no sistema de supervisão através do sistema de controle. O CLP além de processar toda a lógica do sistema de controle também faz a integração com a rede de automação da usina.

Os dados de supervisão e comando da SE Curuá-Una são realizados pelo sistema supervisor da usina, no entanto o meio físico de comunicação continua sendo cabos de cobre, pois a subestação ainda não passou por modernização e não possui rede de automação, Dessa forma, ainda não foi instalado servidores SAGE para realizar a interface de comunicação entre a subestação, usina e Centro de Operação Regional (COR/PA). A interface de comunicação para envio de dados para o COR/PA e Operador Nacional de Sistemas (ONS) é realizada pelos servidores SAGE da UHE Tucuruí.

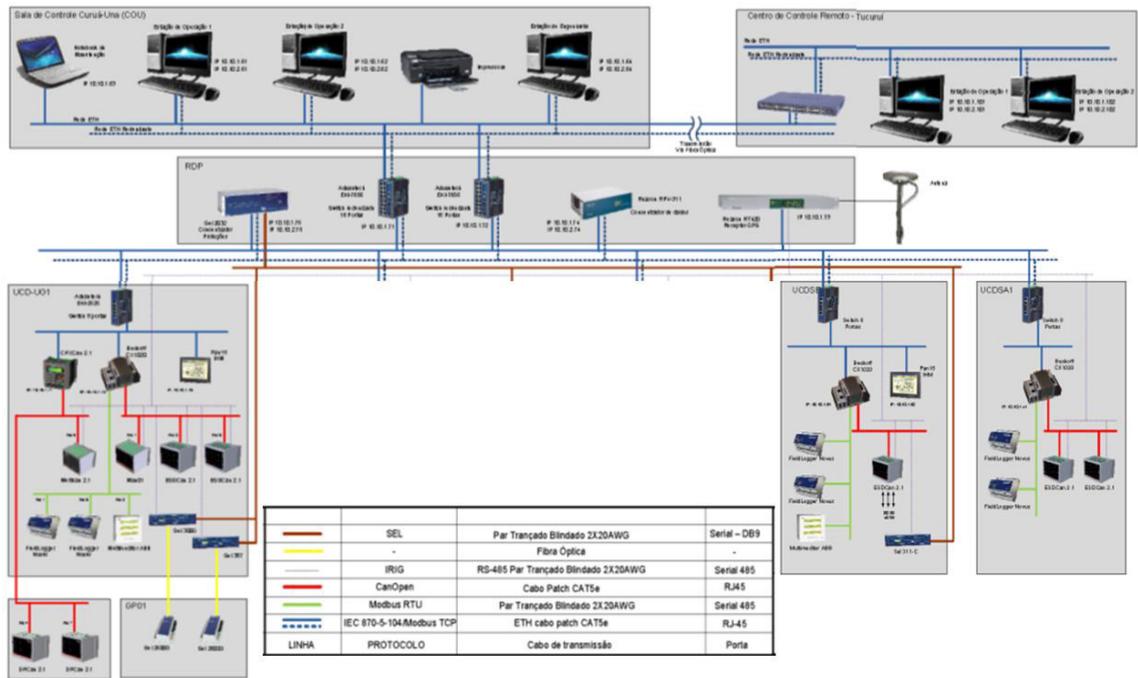


Figura 2: Arquitetura de Rede do SPCS da UHE Curuá-Una

### 2.3 UHE Tucuruí

Durante o processo de estudos, pesquisa de mercado e projeto para um novo sistema de proteção, controle e supervisão da 1ª Etapa, ocorreu o início do projeto para construção da 2ª Etapa da UHE Tucuruí. Este fato levou a ELB/ELN a incorporar o projeto de modernização do SPCS da 1ª Etapa com o projeto de construção da 2ª Etapa (SILVA e FARIA, 2003).

Houve a padronização de equipamentos e do projeto dos sistemas de proteção, controle e supervisão facilitando a integração entre as redes de automação da 1ª e 2ª Etapa com o sistema supervisorio da usina.

A rede de automação de cada etapa da UHE Tucuruí tem uma topologia em anel duplo no nível dos equipamentos. Para realizar a integração da rede de automação com o sistema supervisorio, houve a necessidade de utilização *Front-End* que trabalham como um *Gateway* convertendo os protocolos proprietários dos relés de proteção e CLP para o protocolo de comunicação Modbus. Segundo o fornecedor, esta era a solução de engenharia que havia em meados de 2002.

Como pode ser observado na Figura 3, as redes de automação dos equipamentos (1ª e 2ª etapa) se interligam com a rede do sistema de supervisão por *switches*, ficando as estações de operação conectadas em uma rede com topologia de barra dupla.

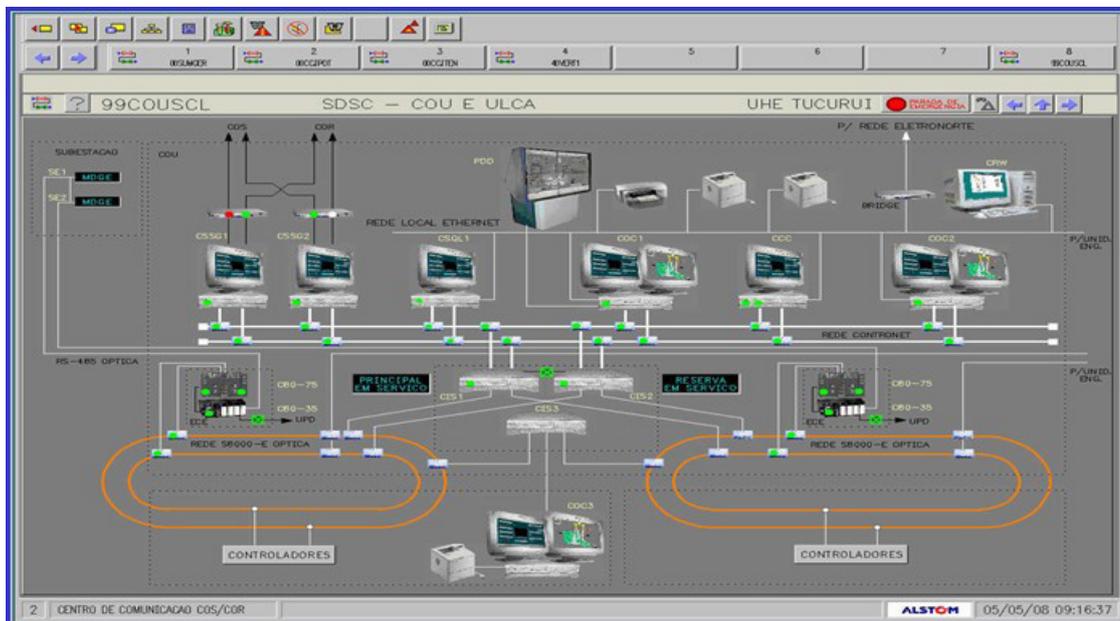


Figura 3: Arquitetura de Rede do SPCS da UHE Tucuruí

### 3 | REDE DE OPERAÇÃO REMOTA

A simplicidade da solução adotada pela ELB/ELN para operação remota das usinas evitou gastos significativos em infraestrutura, equipamentos e serviços de engenharia.

A comunicação entre as estações de operação do COG e os servidores de aplicação das usinas é realizada pela rede operativa da ELB/ELN, exclusiva para supervisão e controle de subestação e usinas, com uma estrutura física em fibra ótica, redundância por satélite e um link 2MB disponível para cada usina. Destaca-se que em operação normal as medições de tráfego de dados ficaram em torno de 120kbps por usina e mesmo nos ensaios de avalanche as respostas foram satisfatórias.

A supervisão e o controle de cada usina, realizado no COG, é efetuado por estações de operação independentes e que são as mesmas telas de controle da operação local, numa visão geral, as estações de operação, instaladas na sala de operação do COG, é uma extensão do sistema de controle de cada usina telecontrolada, conforme apresentado na Figura 4.

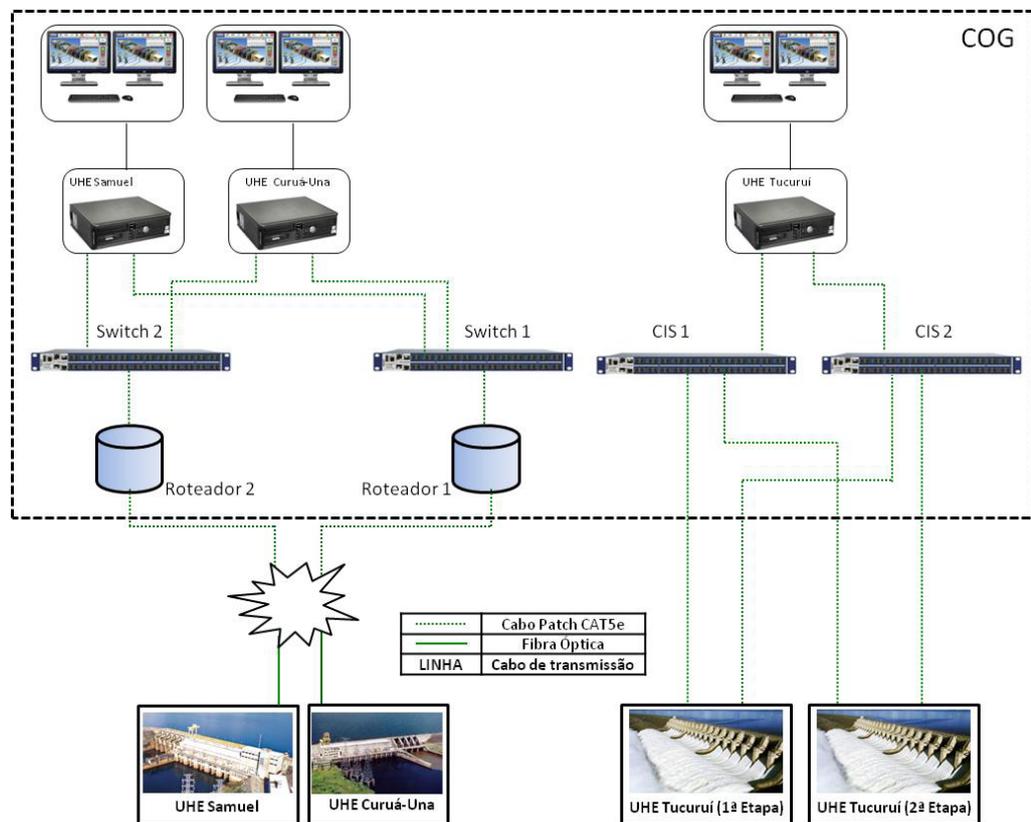


Figura 4: Arquitetura de Rede Simplificada do COG

## 4 | CONCLUSÃO

O principal resultado do trabalho foi a implantação do COG, com uma solução tecnológica de baixo custo.

Podemos verificar que diversas soluções técnicas de modernização de usinas, podem ser adaptadas para proporcionar operação remota, desde que não hajam funcionalidades adicionais ao que já existe na operação local. As particularidades da operação remota, que houver em cada usina, devem ser tratada de maneira isolada e poderá depender de outros recursos técnicos.

De maneira geral, esta solução tecnológica pode ser aplicada a qualquer empresa de energia elétrica e a solução do modelo funcional de operação dependerá do modelo organizacional de cada empresa e a relação hierárquica com o ONS.

Verificou-se que houve uma mudança na visão de individualidade que se tinha no passado e evoluiu para uma visão de conectividade, integração, simultaneidade, tempo real e foco no desempenho. Isso tem permitido uma prestação de serviços de operação e manutenção em nível de excelência às usinas e a clientes externos da ELB/ELN obtendo-se uma maior agilidade no controle de tensão e de geração, melhoria no desempenho geral das instalações, com implantação de automatismos locais, redução de custos operacionais, com otimização do quadro de operação de usinas, sem comprometimento da segurança operacional e uma transição mais suave para o modelo de operação de novas tecnologias.

## REFERENCIAS

FREITAS, Y., AMARAL, W. F., TRAVASSOS, C. L. P. F., JUNIOR, A. B. R. M., CARDOSO, M. C., SANTOS, H. T., **Automação de Centros de Operação e de Atendimento: Aspectos a serem Considerados em Modernização de Salas de Controle e Operação**, VII Simpósio de Automação de Sistemas Elétricos, Salvador: Cigré-Brasil, 2007.

GORGA, E. H. V., **A Experiência da Voith Siemens Hydro em Projetos de Automação de Usinas Existentes**, V Simpósio de Automação de Sistemas Elétricos, Recife: Cigré-Brasil, 2003.

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.

MOREIRA, D. C., PIRES, D. S., MATIAS, D. G., RODRIGUES, L. S., FÜLBER, H., MERLIN, B., **Operação Remota de Usinas pelo COG da Eletrobras Eletronorte**, XIV Encontro para Debates para Assuntos de Operação, São Paulo: Cigré-Brasil, 2016.

MOREIRA, D. C., PIRES, D. S., MATIAS, D. G., SOUZA, J. C., RODRIGUES, L. S., FÜLBER, H., MERLIN, B., **Operação Remota de Usinas pelo COG da Eletrobras Eletronorte**, XIII Seminário Técnico de Proteção e Controle, Brasília: Cigré-Brasil, 2016.

SILVA, A. J. S., FARIA, N. P., **Modernização do Sistema de Supervisão Controle e Proteção da Usina Hidrelétrica de Tucuruí**, XVII Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica, Uberlândia: Cigré-Brasil, 2003.

STRASBACH, G., POZAVSKI, S. Z., **Sistema Digital de Supervisão e Controle para Usinas Hidrelétricas**, V Simpósio de Automação de Sistemas Elétricos, Recife: Cigré-Brasil, 2003.

## **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

