



**XXIII SNPTEE
SEMINÁRIO NACIONAL
DE PRODUÇÃO E
TRANSMISSÃO DE
ENERGIA ELÉTRICA**

FI/GPC/05
18 a 21 de Outubro de 2015
Foz do Iguaçu - PR

GRUPO – V

**GRUPO DE ESTUDO DE PROTEÇÃO, MEDIÇÃO, CONTROLE E AUTOMAÇÃO EM SISTEMAS DE POTÊNCIA
- GPC**

**MODERNIZAÇÃO DOS SISTEMAS DE PROTEÇÃO E CONTROLE DA UHE SAMUEL: DESAFIOS
ENCONTRADOS**

Davi Carvalho Moreira(*)
Eletrobras Eletronorte

Daniel Simões Pires
Eletrobras Eletronorte

Danilo Gomes Matias
Eletrobras Eletronorte

Heleno Fülber
UFPA

Bruno Merlin
UFPA

RESUMO

Este Informe Técnico tem como objetivo apresentar os desafios encontrados pela Eletrobras Eletronorte (ELB/ELN) na modernização dos Sistemas de Proteção e Controle da Usina Hidrelétrica de Samuel (UHE Samuel) nas fases de projeto, inspeção e comissionamento. Relata a busca por soluções de engenharia que não causam dependência tecnológica e ainda garantam a interoperabilidade dos sistemas. Ilustra as vantagens obtidas com a modernização de cada sistema e aborda os fatores que motivaram a realização deste projeto.

PALAVRAS-CHAVE

Modernização, Proteção, Controle, Hidrelétrica, Desafios.

1.0 - INTRODUÇÃO

A ELB/ELN possui a concessão da Usina Hidrelétrica de Samuel, construída na década de 80, com 216MW de potência nominal que está situada ao rio Jamari, da bacia hidrográfica do rio Amazonas e sub-bacia do rio Madeira.

O projeto da UHE Samuel é da década de 70, tendo o início operacional das unidades geradoras no ano de 1989 e foi conectada ao Sistema Interligado Nacional (SIN) em 2012. Neste mesmo ano a ELB/ELN definiu que haveria a modernização dos sistemas de proteção e controle desta usina devido à necessidade de adequação aos procedimentos de rede do ONS, inexistência de sobressalentes para manutenção corretiva, encerramento do período de garantia, necessidade de realizar operação remota pela UHE Tucuruí e redução dos custos de operação e manutenção da usina.

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 principalmente motivada pela 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.

Serão descritos neste trabalho as fases de inspeção em fábrica e comissionamento, onde houve diversas modificações no projeto lógico da Unidade de Controle Digital (UCD) e na Unidade de Proteção Digital (UPD), para adequar às necessidades da operação local.

A experiência de ELB/ELN em processos de modernização de sistemas de proteção e controle permitiu

(*) Rod. BR 422, Km 13, Canteiros de Obras da UHE Tucuruí – CEP 68464-000 Tucuruí, PA – Brasil
Tel.: (+55 94) 3787-7251 – Email: davicarvalhomoreira@hotmail.com.br

desenvolver e executar as atividades deste projeto, alcançando os resultados com eficácia.

2.0 - PROJETOS

A especificação técnica foi elaborada de acordo com o padrão da ELB/ELN, diretrizes do Operador Nacional do Sistema – ONS e inclusões de melhorias relatadas nas experiências anteriores (Modernização do SPCS da UHE Curuá-Una, UHE Coaracy Nunes e UHE Tucuruí). A ELB/ELN optou por elaborar uma única especificação contendo a contratação dos serviços de projeto, fornecimento de equipamentos e serviços de montagens. Destaca-se que esta alternativa de especificação/contratação se mostrou vantajosa em relação as alternativas que optam por dividir a especificação/contratação.

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, podendo observar na Figura 1 que não havia redundância das funções.

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, conforme se observa na Figura 2.

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. De uma forma inovadora optou-se pela utilização, em usina hidrelétrica, da 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.

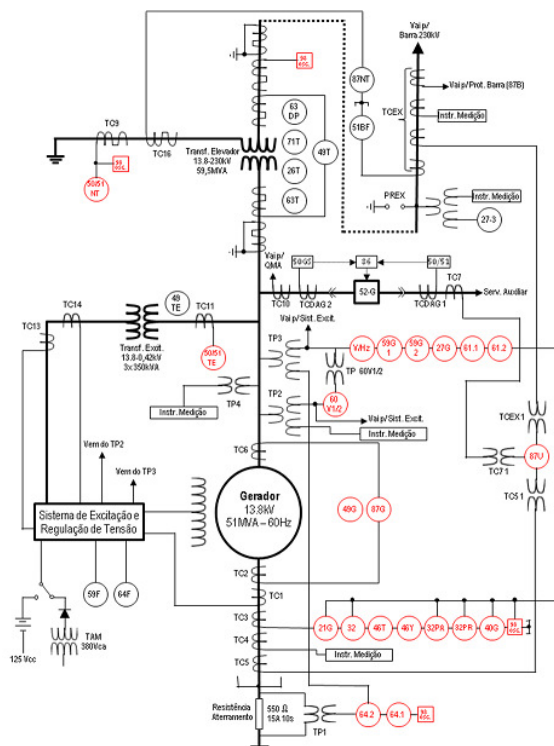


FIGURA 1 – Diagrama Unifilar do Sistema de Proteção (Antes da Modernização)

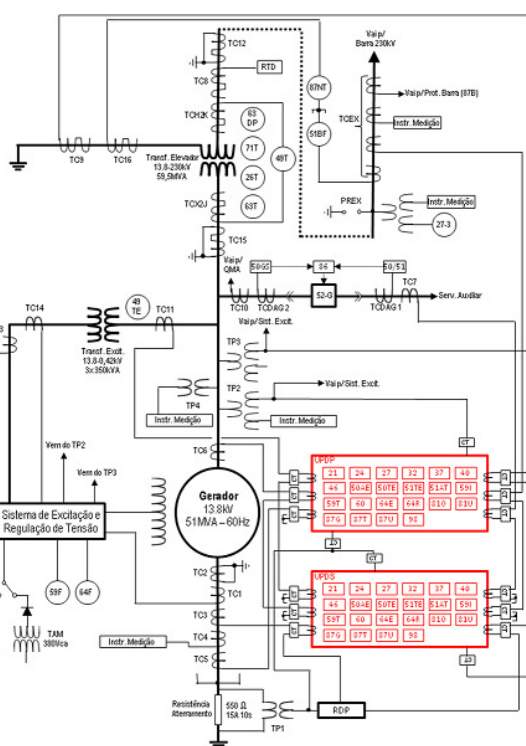


FIGURA 2 – Diagrama Unifilar do Sistema de Proteção (Após a Modernização)

No sistema de controle, antes da modernização, havia apenas uma Unidade Terminal Remota (UTR) que imprimia os eventos da respectiva unidade geradora e um Controlador Lógico Programável (CLP) que não dispunha de canal de comunicação e realizava basicamente a partida da unidade geradora pelo centro de comando da usina.

Com a modernização dos controladores lógicos programáveis e a implantação de sistema supervisor, também no estado atual da arte de tecnologia digital, foi possível obter dados de supervisão controle e proteção, níveis de alarmes diferenciados, interfaces gráficas de alta definição, imagens e comandos customizados conforme necessidade da ELB/ELN, atualização da lógica de partida e parada, implementação de várias outras lógicas inclusive controle conjunto de tensão e de potência, uma grande capacidade de armazenamento de dados históricos para análise pós-operação e consulta ao banco de dados históricos via Internet e Intranet, facilidade na reposição dos equipamentos e ainda o controle remoto da UHE Samuel através do Centro de Operação da

Geração (COG) localizado na UHE Tucuruí.

Na fase de desenvolvimento de projeto, para as definições dos equipamentos e arquitetura de rede, buscou-se uma solução de engenharia de forma a garantir a interoperabilidade dos sistemas de proteção e controle tendo em vista uma futura modernização dos sistemas de regulação de velocidade e tensão.

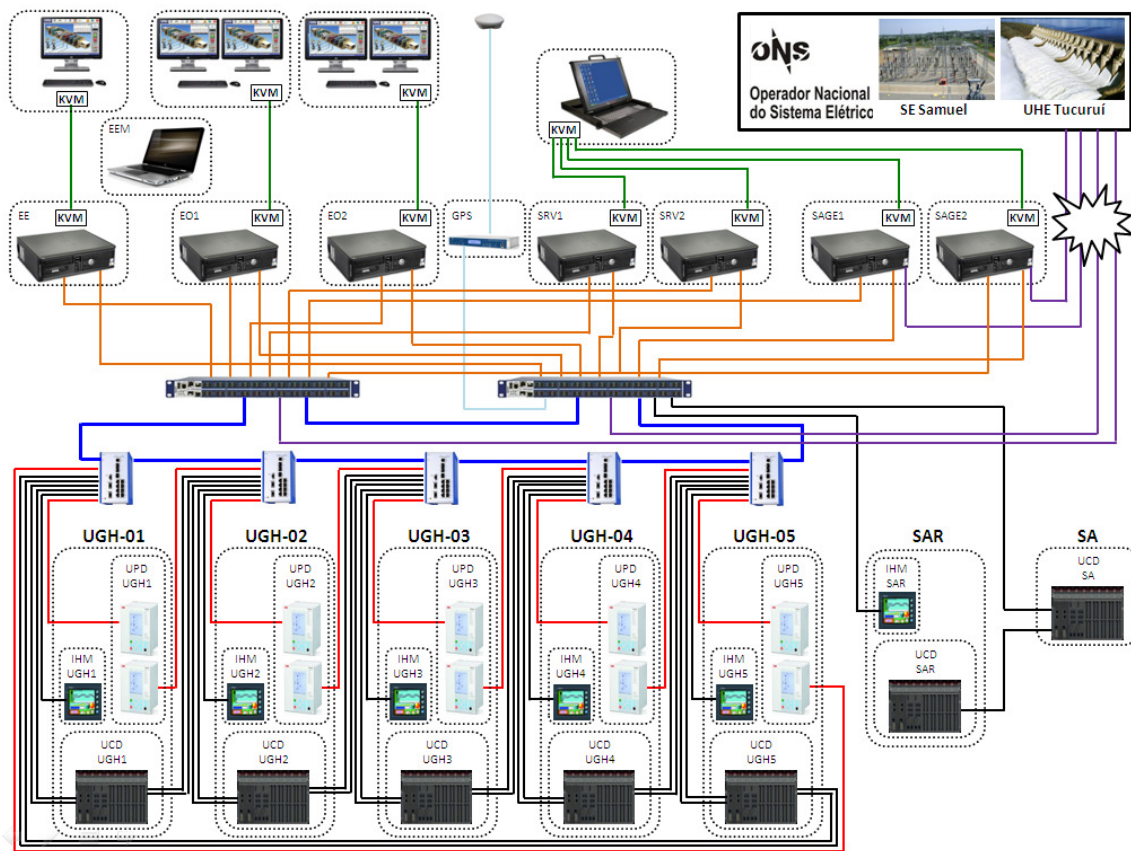


FIGURA 3 – Arquitetura de Rede

Uma das dificuldades encontradas no desenvolvimento do projeto foi na definição da arquitetura de rede dos sistemas de proteção e controle. Pela experiência da ELB/ELN, equipamentos (*front-end*, *gateway*, *Redbox*) que intermedeiam a *Intelligent Electronic Device* (IED) com o sistema supervisório e protocolos proprietários, têm grandes chances de causar dependência tecnológica. Verifica-se na Figura 3, uma rede de *switch* em anel simples e cada IED (proteção e controle) ligada em dois *switches*.

Para a rede de proteção foi utilizado a Norma IEC 61850 com os protocolos *Manufacturing Message Specification* (MMS) para comunicação com o sistema supervisório 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 supervisório, devido o CLP fornecido (Série Hadron XTORM – Altus) estar em fase de validação da Norma IEC61850.

3.0 - 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 supervisório e simulação de todos os comandos e lógicas dos sistemas de controle. O acompanhamento da confecção de telas do sistema supervisório, 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 de 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)

4.0 - COMISSIONAMENTO

Com base no padrão de comissionamento da ELB/ELN 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 supervisório 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 parte 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.

5.0 - CONCLUSÃO

O artigo abordou de forma abrangente os desafios encontrados na modernização dos sistemas de proteção e controle da usina hidrelétrica de Samuel, desde o projeto até o comissionamento.

A UHE Samuel sendo a quarta usina hidrelétrica da ELB/ELN com os sistemas de proteção e controle modernizados, a experiência adquirida nos projetos anteriores e ainda em manutenção, possibilitou estabelecer uma configuração de sistemas que não causam dependência tecnológica e garantirá a interoperabilidade 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 e curto prazo.

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.

6.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

(1) RÉGO, E.M., DUFRAYER, J. C., JUNIOR, A. D. P., FERNANDES, R. M., ZIMMERMANN, L. J., BARBOSA, W. L. S., CONCEIÇÃO, A. G. C. – “Modernização do Sistema de Proteção do Tronco de 765KV”, XXI SNPTEE, Florianópolis, 23 a 26 de Outubro de 2011.

(2) SILVA, P. C. O., PADOAN JR, A. C., UEMORI, M., RIGOLIN, R. C., ALMEIDA K., VASCONCELOS, R. – “Fundamentos para a Modernização Completa de Centrais Hidrelétricas”, XXI SNPTEE, Florianópolis, 23 a 26 de Outubro de 2011.

(3) COSTA, F. J. J., COSTA, C. A., MORAES, A. R. B., BARRA JUNIOR, W., NUNES, M. V. A., MOREIRA, D. C., “Projeto e Implementação da Instrumentação para Medição do Ângulo de Carga de um Gerador Síncrono”, XXII SNPTEE, Brasília, 13 a 16 de Outubro de 2013.

(4) IEEE Std 1147-1991 – “*IEEE Guide for the Rehabilitation of Hydroelectric Power Plants*” – Junho de 1991.

(5) ONS – “Procedimentos de Rede do ONS: Submódulo 2.7 – Requisitos de telessupervisão para a operação”, Site:http://www.ons.org.br/download/procedimentos/modulos/Modulo_2/Submodulo%202.7_Rev_1.0.pdf,

acessado em 26 de dezembro de 2014.

(6) Especificação Técnica ELETROBRAS ELETRONORTE – “Sistema de Proteção, Controle e Supervisão – SPCS”.

7.0 - DADOS BIOGRÁFICOS



Davi Carvalho Moreira nasceu em Macapá, Amapá, em 1982. Possui graduação em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Pernambuco (2004), especialização em Engenharia de Produção pela FATEC (2011), MBA em Planejamento e Gestão Estratégica (2013) e MBA em Assessoria Executiva (2014) pela UNINTER. Já atuou como gerente do setor de supervisão da qualidade (2008-2011) e gerente da divisão de engenharia (2012), ambos na UHE Tucuruí. Atualmente atua como engenheiro de manutenção elétrica coordenando o projeto de modernização do SPCS da UHE Samuel. Membro do CIGRÉ-Brasil.



Daniel Simões Pires nasceu em Porto Alegre, Rio Grande do Sul, em 1973. Possui graduação em Administração pela Faculdade São Lucas (2006), curso Técnico em Eletrônica pelo Colégio Santo Inácio em Porto Alegre (1993). Atua como técnico de manutenção eletrônica (comando, controle e proteção) na UHE Samuel desde 2005 e atualmente coordena a equipe de comissionamento do projeto de modernização do SPCS da UHE Samuel.



Danilo Gomes Matias, nasceu em Araguari, Minas Gerais, em 1983. Possui graduação em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Uberlândia (2006). Atua desde o ano de 2007 como engenheiro de projetos e construção dentro da Gerência de Engenharia Eletromecânica da Geração da Eletrobras Eletronorte, onde tem trabalhado no projeto, especificação e controle da qualidade de Sistemas de Proteção, Controle e Supervisão em Usinas Hidrelétricas, Térmicas e Eólicas.



Heleno Fülber possui graduação em Bacharelado em Ciências da Computação pela Fundação Universidade Regional de Blumenau (2001), mestrado em Engenharia de Produção e Sistemas pela Universidade Federal de Santa Catarina (2004) e doutorado em Engenharia e Gestão do Conhecimento pela Universidade Federal de Santa Catarina (2009). Tem experiência na área de Ciência da Computação, com ênfase em Análise e Desenvolvimento de Sistemas. Atualmente é professor Dr. Adjunto II da Universidade Federal do Pará (UFPA), lotado no Campus Universitário de Tucuruí (CAMTUC), diretor da Faculdade de Engenharia da Computação do CAMTUC e avaliador de cursos de graduação do SINAES do Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira (INEP).



Bruno Merlin possui graduação em Licenciatura em Matemática e Informática pela Université Paul Cézanne Aix Marseille III (1999), graduação em Bacharelado em Ciência da Computação pela Université Toulouse III Paul Sabatier (2001), mestrado em Interação Homem-Computador pela Ecole Nationale de l'Aviation Civile (2003) e doutorado em Interação Humano-Computador pela Université Toulouse III Paul Sabatier (2011). Atualmente é professor Adjunto I da Universidade Federal do Pará, lotado no Campus de Tucuruí. Tem experiência na área de Ciência da Computação, com ênfase em Interação Homem-Computador, atuando principalmente nos seguintes temas: interação homem-computador, avaliação de sistemas interativos, interação direta, multi-modalidade e visualização de informação.