

ESTUDO DE Proteção, Medição, Controle e Automação em Sistemas de Potência - GPC

Recomendações para a Implementação do Barramento de Processos em Subestações Digitais à Luz do WG B5.69

**Paulo Sergio Pereira Junior; Rodolfo Cabral Bernardino; Gustavo Silva Salge;
Cristiano Moreira Martins; Paulo Sergio Pereira; Gustavo Espinha Lourenço
CONPROVE**

RESUMO

Este trabalho realiza uma análise das recomendações do WG (Working Group) B5.69 para a implementação do Barramento de Processos em subestações digitais baseadas na norma IEC 61850, abordando aspectos técnicos, econômicos e operacionais. Desafios serão discutidos, como custos iniciais, estratégias de redes redundantes, sincronização temporal via Precision Time Protocol (PTP), segurança cibernética e a interoperabilidade.

Aspectos importantes também serão abordados, como definição de estratégias de testes na fase de comissionamento, abrangendo tanto os Testes de Aceitação de Fábrica (TAF) quanto os Testes de Aceitação de Campo (TAC), capacitação técnica e gestão de ativos.

Os benefícios da implementação do barramento de processos, incluem redução de custos e maior eficiência operacional, no entanto existem desafios com relação à interoperabilidade e sincronização de tempo quando em condições adversas de rede, tais questões também serão discutidas no artigo.

PALAVRAS-CHAVE

Subestações Digitais, Barramento de Processos, IEC 61850, PACS

1.0 INTRODUÇÃO

A implementação da norma IEC 61850 está cada vez mais presente em novas Subestações e retrofits ao redor do mundo. A norma, basicamente, padroniza a troca de informações entre IEDs (Dispositivos Eletrônicos Inteligentes) e com o Sistema Supervisório permitindo a implementação do SAS (Sistema de Automação de Subestações). Os protocolos de comunicação padronizados pela IEC 61850 são Sampled Values (SV), GOOSE, Cliente-Servidor através do MMS e sincronismo através do PTP.

A norma ainda divide a subestação em níveis hierárquicos: Processo, Bay e Estação. No Processo, encontram-se os dispositivos de entrada e saída de dados como sensores, atuadores, TCs e TPs, disjuntores e etc. No Bay, encontram-se os IEDs para desempenhar funções de proteção, medição e controle. Na Estação, encontra-se o sistema supervisório permitindo um monitoramento geral da subestação. Interligando os níveis de Processo e Bay existe o Barramento de Processos, e interligando o Bay à Estação existe o Barramento da Estação.

A implantação de uma subestação digital baseada na IEC 61850 traz alguns benefícios dentre os quais se destacam:

- Interoperabilidade: devido às padronizações das mensagens e do modelo de dados, dispositivos de diferentes fabricantes podem realizar trocas de informações entre si;
- Simplicidade nas conexões ao substituir o cabeamento rígido de cobre por cabos de rede;
- Economia: tanto pela substituição de cabos de cobre por cabos de rede, quanto pela parte estrutural. Na parte estrutural, há economia de investimentos nas fundações ao substituir TCs e TPs convencionais pelos LPITs (Low Power Instrument Transformers) no nível de Processo. Além disto, há economia referente à redução da área necessária para a construção da subestação;
- Segurança: nesse novo contexto não se trabalha mais com grandezas elétricas (tensão e corrente) e, sim, com envio de informações! Portanto, o perigo inerente de explosão ao deixar o secundário de um TC aberto não mais existe ao se trabalhar com a Merging Unit (MU) no pátio da subestação e com tráfego de dados, apenas.

Paralelamente aos benefícios, a norma IEC 61850 também traz novos desafios relacionados à mudança de paradigma que ela impõe. Numa subestação digital baseada na IEC 61850, o Barramento de Processos se destaca devido à criticidade dos protocolos de comunicação que trafegam por ele, envolvendo Sampled Values, GOOSE com informações de trip e sincronismo temporal por PTP. Além dos desafios técnicos, existem os econômicos, o que exige planejamento estratégico na implementação efetiva do Barramento de Processos.

Com relação às avaliações de custos, a implementação de soluções digitais com barramento de processo envolve custos iniciais significativos, incluindo compra, instalação, operação, manutenção, treinamento e ferramentas de teste especializadas. A redução desses custos é esperada com o aumento do volume de compras, por isso é importante considerar estratégias de longo prazo.

Relacionado ao projeto de redes no barramento de processos, a maioria dos projetos utiliza redes com redundância PRP (Parallel Redundancy Protocol), enquanto o HSR (High-availability Seamless Redundancy) é aplicado em alguns casos específicos. É importante avaliar tanto a separação física entre o barramento de estação e o barramento de processo quanto à separação lógica por VLANs, garantindo redundância e a disponibilidade. A sincronização temporal é um aspecto de alta criticidade, recomendando-se o uso de PTP (Precision Time Protocol) com BMCA (Best Master Clock Algorithm) para evitar GrandMasters (GMs) adicionais. A cybersecurity é um aspecto importante a ser considerado nesse contexto, pois é preciso equilibrar as exigências de segurança cibernética com o desempenho e a disponibilidade da rede.

Na fase inicial do projeto de uma subestação digital, utilizar uma abordagem de engenharia "top-down" pode facilitar a interoperabilidade entre os dispositivos e sistemas.

A preparação para implementações de subestações digitais em larga escala requer o desenvolvimento de políticas específicas com soluções padronizadas e treinamentos adequados para os colaboradores da área técnica, incluindo reciclagens periódicas conforme necessário.

É importante definir estratégias de testes, com foco em testes de integração e Testes de Aceitação de Fábrica (TAF), antes dos Testes de Aceitação de Campo (TAC).

Na fase de comissionamento, ferramentas especializadas de testes e diagnóstico de redes são indispensáveis para a implementação de subestações digitais, assim como a capacitação da equipe para operá-las, a fim de extrair o máximo potencial dessas tecnologias.

A implementação do barramento de processos no contexto das subestações digitais implica em uma mudança de paradigma também na gestão de ativos. A importância da rede de comunicação resulta na adoção de sistemas especializados de diagnóstico e monitoramento, que apontam e registram eventos de falha na rede. Além disso, o uso correto dos recursos da norma IEC 61850 para testes e simulação proporciona maior segurança e disponibilidade do sistema, pois os ensaios podem ser realizados sem interrupção do serviço. É fundamental manter um controle rigoroso das versões de firmware, software e hardware dos dispositivos, garantindo que qualquer alteração seja acompanhada pelos mesmos testes realizados durante a certificação anterior.

Os Low Power Instrument Transformers (LPITs) oferecem benefícios em termos de desempenho, precisão e segurança, além de reduzir o impacto ambiental. Sua implementação pode trazer economias significativas, especialmente em projetos de larga escala.

Sendo assim, este trabalho tem como objetivo abordar as recomendações do Working Group (WG) B5.69 para a implementação do Barramento de Processos, considerando aspectos técnicos, econômicos e operacionais, com base nas experiências obtidas e nas lições aprendidas em diversos trabalhos publicados sobre estudos e projetos piloto de Protection, Automation and Control Systems (PACS) em subestações digitais baseadas na norma IEC 61850.

2.0 RECOMENDAÇÕES DO WG B5.69 PARA A IMPLEMENTAÇÃO DO BARRAMENTO DE PROCESSOS NO PACS

A implementação do Barramento de Processos requer um planejamento cuidadoso para garantir sua viabilidade técnica e econômica. As recomendações a seguir são baseadas em experiências adquiridas em projetos piloto e demonstrações, bem como em uma pesquisa conduzida pelo Working Group (WG) B5.69. Essas diretrizes abordam aspectos fundamentais como avaliação de custos, projeto de redes, sincronização temporal, estratégias de testes de comissionamento, gestão de ativos e cybersecurity.

- Avaliação de Custos: a transição para as subestações digitais envolve um investimento inicial significativo. Os custos incluem aquisição de equipamentos, instalação, treinamento, manutenção, bem como ferramentas de teste e comissionamento. Contudo, à medida que a tecnologia se difunde e o volume de aquisições aumenta, espera-se uma redução progressiva desses custos. Assim, a análise do custo total deve considerar não apenas o investimento inicial, mas também os de manutenção ao longo de todo o ciclo de vida da subestação.

Existem diversos benefícios financeiros atrelados à implantação do barramento de processos. Alguns serão discutidos abaixo:

- Redução no cabeamento de cobre, valas e infraestrutura civil: os principais fatores de custo em uma subestação estão atrelados aos custos civis e mão de obra para fiação e testes de milhares de cabos de cobre. Sendo assim, quando da substituição destes por cabos de rede, libera-se também o espaço antes reservado para as valas. Além disso, a simplicidade nas conexões em subestações digitais pode reduzir de espaço físico na casa de comando.
- Uso de LPITs: os transformadores de instrumento de baixa potência trazem diversos benefícios. Devido às suas dimensões e peso reduzidos, os custos de infraestrutura são menores, por exigirem bases menores ou ainda nenhuma fundação, caso sejam montados em estruturas já existentes. Além disso, os custos de engenharia podem ser reduzidos devido a alguns fatores: como os LPITs não saturam, podem ter uma alta precisão em uma faixa ampla de medição. As saídas podem ser utilizadas tanto para proteção quanto para medição. E, também um mesmo LPIT pode ser utilizado em diversas aplicações.
- Testes: devido à evolução das ferramentas de testes, é possível automatizar os ensaios a serem realizados, criando um plano de testes. Isso permite que os testes possam ser realizados com maior agilidade e confiança nos resultados, gerando economia de tempo e financeira. Além disso, a norma IEC 61850 possui recursos para testes e simulação que permitem a realização de ensaios com a subestação energizada, garantindo a disponibilidade no fornecimento de energia. Isso também é um benefício financeiro.

- Projeto do PACS com Barramento de Processos: a norma IEC 61850 define a arquitetura de comunicação da subestação em três níveis: processo, bay e estação. No nível de processo encontram-se todos os dispositivos de interface com o sistema de proteção, no sentido de sensores e atuadores. Compreende, então, os equipamentos do pátio, como TCs, TPs e disjuntores. No nível de bay estão os IEDs. No nível de estação está o sistema de supervisão e controle. A interface de comunicação de dados entre o processo e o bay se dá através do barramento de processos, onde trafegam dados com exigência de tempo crítico como Sampled Values e GOOSE com informações de trip, além de sincronismo temporal via PTP. A interface entre o bay e a estação se dá através do barramento da estação, onde trafegam dados com informações de menor criticidade com relação ao tempo de transmissão, como lógica por GOOSE, supervisão e controle por MMS, e sincronização via SNTP (Simple Network Time Protocol). Muito mais do que definir protocolos de comunicação, a norma IEC 61850 é uma plataforma para troca de informações, modelagem de dados, definição de configuração, gerenciamento de projeto e sistema.

A estruturação da rede de comunicação é um dos aspectos mais importantes para garantir a confiabilidade do sistema. Para o barramento de processos, a maioria dos projetos adota redes PRP (Parallel Redundancy Protocol) para garantir redundância e disponibilidade, enquanto o protocolo HSR (High-availability Seamless Redundancy) é utilizado em aplicações específicas. Além disso, a topologia da rede pode envolver separação física ou lógica entre os Barramentos de Estação e de Processos, utilizando VLANs para segmentação. O gerenciamento do tráfego e o monitoramento da rede são fundamentais para garantir o desempenho do sistema.

- Sincronização Temporal: a norma de título “IEEE 1588-2002 Standard for a Precision Clock Synchronization Protocol for Networked Measurement and Control Systems” definiu originalmente o PTP. A revisão de 2008 (IEEE 1588-2008) introduziu melhorias significativas em termos de precisão e robustez, mas não era compatível com a primeira edição. A edição de 2009 (IEEE 1588-2009) é compatível com a revisão de 2008 e introduz novas funcionalidades, tais como definições para precisão em sub-nanosegundos (High Accuracy - HA), mecanismos de segurança, e portas especiais projetadas para conectar redes PTP àquelas com mecanismos integrados de temporização, como redes Wi-Fi.

O PTP atua numa relação hierárquica de mestre e escravo, onde o Grandmaster clock é a fonte mais precisa de tempo, e irá sincronizar todo o sistema. O sincronismo de tempo é imperativo para o correto funcionamento do sistema de proteção, ainda mais quando se trata do Barramento de Processos, onde

existe o tráfego de streams Sampled Values, que dependem desse sincronismo com uma precisão melhor que 1 µs, de acordo com as normas IEC 61869-9 e IEC 61850-5 (performance class T5).

O PTP é um protocolo altamente flexível e inteligível, com diversos profiles customizados para aplicações específicas, conhecidos como PTP Profiles. Para os sistemas de energia, existem três perfis particularmente relevantes:

- Power Profile v1: definido na IEEE C37.238-2011, esse profile especifica requisitos para a sincronização nos sistemas de automação de subestações, incluindo camadas de rede, tipos de mensagens e intervalos de tempo.
- Power Profile v2: definido na IEEE C37.238-2017, é baseado no Power Profile v1, porém introduz melhorias em questões de precisão, robustez e tratativas em falhas de rede, garantindo compatibilidade com a evolução das tecnologias de redes de comunicação.
- Utility Profile: definido na IEC 61850-9-3:2016, esse profile foi especificamente projetado para atender aos requisitos de tempo exigidos no Barramento de Processos, com foco na interoperabilidade e precisão.

Nesse contexto, o PTP é o protocolo de sincronização temporal por rede mais indicado, por conseguir atingir precisões na ordem de nanosegundos. Além disso, é recomendada a implementação do BMCA (Best Master Clock Algorithm) para evitar múltiplos GrandMasters (GMs) na rede e, assim, diminuir o risco de perda inesperada de sincronismo. Porém, vale ressaltar que na prática, atualmente, o comportamento das redes PTP não seguem exatamente essa recomendação. Em redes PRP, por exemplo, pode ocorrer a presença de um ou mais Mestres Ativos por LAN, cabendo ao Escravo sincronizar com o Mestre mais preciso. Sendo assim, é importante um adendo de que os dispositivos devem ser capazes de se adaptarem e sincronizarem nesse contexto. Essa flexibilidade e resiliência são essenciais para manter a sincronização confiável em redes redundantes, garantindo a robustez das aplicações de tempo crítico.

- Engenharia e Projeto: a implementação de subestações digitais requer uma abordagem de engenharia que potencialize as vantagens do Barramento de Processos. Ao invés de adaptar padrões antigos, é recomendado desenvolver especificações que explorem as capacidades da norma IEC 61850. A abordagem "top-down" facilita a interoperabilidade entre dispositivos de diferentes fabricantes e permite uma integração mais eficiente.

- Implementação em Larga Escala: para implementação em grande escala, é necessário desenvolver estratégias específicas para subestações digitais, padronizar soluções, capacitar profissionais e criar políticas de reciclagem do conhecimento. A capacitação contínua da equipe através de cursos e treinamentos específicos para o PACS é fundamental, considerando a evolução das ferramentas e tecnologias.

- Estratégia de Testes: a aplicação do Barramento de Processos permite a realização de grande parte dos testes antes da fase de aceitação em campo (TAC). Dessa forma, recomenda-se priorizar testes de integração e Testes de Aceitação de Fábrica (TAF), o que pode reduzir erros em campo.

- Comissionamento: a implementação do Barramento de Processos demanda novas ferramentas de testes. O treinamento das equipes deve ser uma prioridade para garantir o uso adequado dessas ferramentas e diminuir riscos operacionais.

- Gestão de Ativos: Com a evolução dos IEDs, funcionalidades de autodiagnóstico e automonitoramento já estão implementadas nesses dispositivos, além de logs de eventos de falha do próprio IED e registro das oscilografias de faltas. Isso diminui em parte a necessidade de equipamentos adicionais para monitorar a saúde dos IEDs. No entanto, vale ressaltar que, no contexto das subestações digitais, dispositivos especializados em monitoramento e diagnóstico da rede de

comunicação são essenciais para verificar constantemente a saúde de um dos ativos fundamentais do PACS, que é a própria rede Ethernet. Além disso, é importante a adoção dos recursos de teste e simulação que a norma IEC 61850 disponibiliza. Tais recursos permitem que sejam realizados testes de manutenção com o sistema em operação, com maior simplicidade e segurança.

- Atualização de Firmware e Software: A gestão das versões de firmware, software e hardware é fundamental para garantir a estabilidade do PACS. Todas as modificações devem ser submetidas aos mesmos testes aplicados durante os ensaios de certificação da versão original.

- Low Power Instrument Transformers (LPIT): Os LPITs oferecem vantagens em precisão, segurança e impacto ambiental reduzido. Com o aumento da adoção desta tecnologia, espera-se uma redução de custos, tornando sua implementação ainda mais atrativa.

- Cybersecurity: A IEC 61850 desempenha um papel fundamental nos sistemas de proteção, automação e controle da rede elétrica. No entanto, à medida que a complexidade desse sistema aumenta, ele se torna mais vulnerável a ataques cibernéticos. Assim, nos últimos anos a preocupação e os esforços da comunidade do PACS têm se concentrado na segurança cibernética. O maior foco se dá no barramento de processos, principalmente para o tráfego de SV e GOOSE, por serem protocolos que carregam informações de alta criticidade do sistema de proteção. De forma geral, apenas medidas isoladas, como segmentar a rede por VLANs, não é suficiente. É necessário estabelecer estratégias bem definidas e adaptadas à performance esperada no PACS, ou seja, a segurança cibernética deve ser equilibrada com a disponibilidade e o desempenho. Recomenda-se a nomeação de um responsável para avaliar as exigências de cybersecurity e decidir sobre os compromissos necessários para garantir um funcionamento seguro e eficiente do sistema.

Algumas ameaças cibernéticas relevantes de serem listadas seguem abaixo:

- Spoof (falsificação): a falsificação ocorre quando um assinante deixa de assinar a mensagem enviada pelo publicador legítimo e passa a assinar uma mensagem de um publicador intruso. Geralmente, esse tipo de ameaça é combatido por meio de mecanismos de autenticação de mensagens e state machines apropriadas, que podem ser encontradas na IEC 62351-6 para SV e GOOSE.
- Replay (repetição): o ataque de replay é um tipo de ataque de spoof, mas executado por meio de gravação de um tráfego da rede e retransmissão de um ou mais pacotes em um momento inóportuno. A IEC 62351-6 fornece uma state machine para combater esse tipo de ameaça e que também protege contra pacotes atrasados.
- Tamper (violação): esse ataque é uma variação do replay. Porém, antes de retransmitir o pacote, modifica-se o dataset. A IEC 62351-6 prevê mecanismos de proteção de integridade das mensagens.
- Information disclosure (divulgação da informação): esse é um tipo de ameaça “passivo”, ou seja, não irá causar danos imediatos ao sistema. É a habilidade de visualizar e monitorar as informações que estão sendo trafegadas. Então, dependendo da análise de segurança, é possível que essa ameaça não precise, necessariamente, ser combatida, no caso do SV, por exemplo.

Alguns aspectos a serem considerados em uma implementação segura do Barramento de Processos são listados abaixo:

- Prevenir acesso não autorizado à rede física Ethernet onde estão trafegando SV e GOOSE.

- Monitorar perda de link na rede física Ethernet, de forma a detectar potenciais brechas de segurança no barramento de processos.
- Providenciar a segmentação da rede onde está trafegando SV e GOOSE de outros tipos de tráfegos.
- Criar zonas de proteção cibernética, de acordo com a IEC 62443, para os segmentos de rede do PACS.
- Implementar mecanismos de autenticação e detecção de tamper para SV e GOOSE, de acordo com a IEC 62351-6 e 62351-9.

Essas recomendações são essenciais para a transição eficiente para subestações digitais com barramento de processos, garantindo confiabilidade, segurança e otimização de custos ao longo de todo o ciclo de vida da subestação.

Devido à importância dos temas de testes do sistema de proteção, e do monitoramento e diagnóstico de redes dentro do contexto das subestações digitais baseadas na IEC 61850, o próximo tópico será dedicado exclusivamente a abordar tais assuntos.

3.0 FERRAMENTAS DE TESTES DE PROTEÇÃO, MONITORAMENTO E DIAGNÓSTICO DE REDES NO CONTEXTO DAS SUBESTAÇÕES DIGITAIS BASEADAS NA IEC 61850

Eventualmente, um dispositivo microprocessado pode necessitar de uma atualização de firmware. Cada vez que um firmware é atualizado isto implica em uma mudança no IED, pois o software embarcado naquele hardware passa a ser outro, eliminando-se todo o histórico daquele dispositivo e exigindo que se realize um teste total novamente.

Alguns fabricantes de IEDs possuem pequenas rotinas de testes através de softwares próprios, porém não há garantia de que não exista alguma entrada queimada ou que não esteja calibrada, ou ainda que não possua resposta em frequência como especificada. Testes de hardware que envolvam abrir o IED para injetar sinais internamente, jumpeando condicionadores de sinais e/ou conversores A/D, não substituem o teste completo, pois não possuem a mesma profundidade de verificação.

Os testes no contexto das subestações digitais baseadas na norma IEC 61850 são de vital importância e devem ser efetuados com o mesmo rigor que em subestações convencionais, da forma mais próxima possível do cenário real. Do contrário, se existir algum problema e houver uma falta real no sistema, o custo será infinitamente maior.

Erros no IED podem ocorrer devido a hardware, firmware, na parametrização ou até mesmo nas conexões, que podem levar o IED a enviar uma atuação indevida ou não atuação, o que acarretará em milhões de dólares em prejuízos e até perdas de vidas humanas. Novas condições de operação exigem assim novas condições a serem analisadas, ou seja, novos testes.

Quando se analisa apenas o IED em si, o equipamento de testes passa a não necessitar mais da geração de potência, haja visto que o mesmo não precisaria reproduzir sinais de secundário analógicos V e I, apenas seria necessário que o mesmo tivesse capacidade de envio de mensagens de SV ao IED sob teste. Para testar as outras partes do sistema como a SAMU ou o TC / TP ainda é necessário que o equipamento de testes tenha capacidade de injeção de Corrente e Tensão.

Com relação ao monitoramento e diagnóstico da rede de comunicação no PACS, o conceito básico está relacionado a uma verificação sistemática em busca de anomalias que possam comprometer a saúde da rede. Desta forma, torna-se necessária durante todo o ciclo de vida da subestação digital. Isto

significa que o monitoramento deve ser realizado tanto na etapa dos testes de comissionamento (TAF / TAC), quanto de manutenção.

O monitoramento da rede é importante por realizar detecções precoces de erros, verificar as condições de operação da rede, reduzir o tempo de indisponibilidade e salvar log de eventos de rede. Desta forma, contribui para a segurança e estabilidade do sistema de proteção. Dispositivos especializados são necessários para monitorar todos os aspectos de rede, incluindo aqueles com exigência de tempo crítico. Tais aspectos estão relacionados com integridade das mensagens, configuração e segurança dos dados, sincronismo temporal do sistema, além de estatísticas como tempo entre frames, transfer time e perda de pacotes.

4.0 CONCLUSÕES

O Barramento de Processos, embora ainda em fase de implementação gradual, traz benefícios significativos para as subestações digitais. Projetos piloto têm demonstrado vantagens econômicas e operacionais, com alguns relatórios indicando economias de até 30% ao longo do ciclo de vida. No entanto, há desafios a serem superados, como a interoperabilidade entre dispositivos de diferentes fabricantes e a gestão da sincronização de tempo em condições degradadas.

A implementação do Barramento de Processos no contexto das subestações digitais baseadas na IEC 61850 representa uma mudança significativa na forma como o PACS é projetado, operado e mantido. Apesar dos benefícios, é necessário um planejamento para lidar com os desafios. A definição de estratégias para testes, sincronização temporal, gestão de ativos abrangendo o monitoramento e diagnóstico das redes de comunicação, e cybersecurity são fatores críticos para garantir a confiabilidade e eficiência do sistema.

A experiência acumulada em projetos piloto e estudos de caso reforça a necessidade de capacitação contínua dos profissionais envolvidos. Ao equilibrar os desafios e benefícios, espera-se que a adoção dessa tecnologia contribua para a evolução das subestações digitais, promovendo maior segurança, redução de custos e confiabilidade.

5.0 BIBLIOGRAFIA

- [1] Experience Gained and Recommendations for Implementation of Process Bus in Protection, Automation and Control – CIGRE WG B5.69, 2024.
- [2] Standard IEEE 1588 – IEEE Standard for a Precision Clock Synchronization Protocol for Networked Measurement and Control Systems, 2008.
- [3] Standard IEC 61850 – Communication networks and systems for power utility automation – Part 5: Communication requirements for functions and device models, Ed. 2 - 2013.
- [4] Standard IEC 61869 – Instrument transformers – Part 9: Digital interface for instrument transformers, Ed. 1 - 2016.
- [5] Pereira Junior, P.S.; Bernardino, R.C.; Salge, G.S.; Martins, C.M.; Pereira, P.S.; Lourenço, G.E.; – “Experiences and Learning on Monitoring Digital Substation Communication Networks” – CIGRE International Symposium, Cairns, 2023.
- [6] Pereira Junior, P.S.; Bernardino, R.C.; Salge, G.S.; Martins, C.M.; Pereira, P.S.; Lourenço, G.E.; – “Ensaios em Subestações Digitais Baseadas na IEC 61850: Desafios e Soluções” – X WORKSPOT, 2022.

DADOS BIOGRÁFICOS



Paulo Sergio Pereira Junior é o diretor da empresa CONPROVE, uma empresa de alta tecnologia com foco em pesquisa e desenvolvimento de instrumentos elétricos de teste. Graduou-se em Engenharia Elétrica em 2004 pela Universidade Federal de Uberlândia, UFU. Também se formou em Administração de Empresas em 2006 pela UFU, e concluiu MBA pela Fundação Getúlio Vargas, FGV, como especialista em Gestão de Projetos. Paulo tem mais de vinte anos de experiência em Desenvolvimento e Aplicação em Projetos de Software e Hardware para Proteção, Automação e Controle de Sistemas de Potência na CONPROVE.

(2) RODOLFO CABRAL BERNARDINO

Engenheiro Eletrônico, graduado pela Universidade Federal de Uberlândia (UFU). Trabalha com pesquisas e desenvolvimento, com sistemas de controle, desenvolvimento de hardware e em sistemas de proteção com IEC 61850. Possui experiência em trabalhos de desenvolvimento e pesquisa na CONPROVE. Engenheiro e Instrutor de treinamento da CONPROVE em cursos de IEC 61850.

(3) GUSTAVO SILVA SALGE

Possui graduação em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Uberlândia (UFU), concluído em 2008. Atualmente é Engenheiro de Pesquisa e Desenvolvimento da empresa Conprove, atuando principalmente nos seguintes temas: Proteção de Sistemas Elétricos de Potência e Transitório Eletromagnéticos em Sistemas Elétricos de Potência.

(4) CRISTIANO MOREIRA MARTINS

Cristiano Moreira Martins é Engenheiro Eletricista formado pela Universidade Federal de Uberlândia em 2004. Desde 2005 trabalha na Conprove com foco em pesquisa e desenvolvimento de novos produtos voltados para o setor de energia elétrica.

(5) PAULO SERGIO PEREIRA

Paulo é engenheiro Eletricista, Graduado em 1975, pela ESCOLA FEDERAL DE ENGENHARIA DE ITAJUBÁ (EFEI). Mestre em Ciências, em 1977 também pela UNIFEI e PhD, em 1980, pela UNIVERSITY OF MANCHESTER INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY (UMIST), em Manchester, Inglaterra. Atualmente é diretor da CONPROVE ENGENHARIA. Possui mais de 30 anos de experiência em Pesquisa e Desenvolvimento de Instrumentos de Testes de Relés.

(6) GUSTAVO ESPINHA LOURENÇO

Gustavo Espinha Lourenço é Engenheiro Eletricista formado pela Universidade Federal de Uberlândia em 1998 e desde então trabalha na Conprove com foco em pesquisa e desenvolvimento de novos produtos voltados para o setor de energia elétrica.