

# XXVIII Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica

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

Informe Técnico GE - GPC

**Paulo Sergio Pereira Junior**



CLASSIFICAÇÃO: PÚBLICA





- **Objetivo** do trabalho:
  - Discutir as **recomendações do WG B5.69** para a implementação do **barramento de processo**.
- Análise de aspectos **técnicos, econômicos e operacionais**.



- **Crescente adoção da norma IEC 61850 em subestações digitais e retrofits;**
- **Divisão da subestação em níveis hierárquicos e barramentos de acordo com a IEC 61850;**
- **A importância do Barramento de Processo: SV, GOOSE de trip e PTP.**
- **Benefícios da adoção da norma IEC 61850: interoperabilidade, simplicidade, economia e segurança.**



- **Interoperabilidade** entre fabricantes;
- **Substituição do cabeamento de cobre por cabos de rede;**
- **Economia em infraestrutura civil e área ocupada;**
- **Maior segurança operacional.**

# Por que implementar subestações digitais?



XXVIII Seminário Nacional  
de Produção e Transmissão  
de Energia Elétrica

XXVIII  
SNPTEE  
2025

- **Benefícios relatados em uma das pesquisas do WG B5.69:**
  - Redução de cabeamento de cobre e sistemas associados, como canaletas e eletrocalhas;
  - Projetos simplificados;
  - Redução de área construída;
  - Redução da complexidade de conexões físicas;
  - Otimização de engenharia de processos;
  - Redução do tempo de comissionamento;
  - Redução do tempo de indisponibilidade do sistema;
  - Redução dos custos de manutenção devido à evolução do sistema de monitoramento de ativos;
  - Maior segurança;
  - Economia financeira na gestão de ativos e na reposição;
  - Maior confiabilidade;
  - Melhor flexibilidade e escalabilidade.



- Discussão sobre os **desafios** e os **custos** na **implementação** do **Barramento de Processo**:
  - **Custos iniciais elevados**: **equipamentos, instalação, treinamento e ferramentas de testes e comissionamento**;
  - **Economia de escala**: diminuição dos custos com o aumento de escala.



- Considerar o **tráfego de mensagens de tempo crítico**: **Sampled Values** e **GOOSE**;
- Avaliar o tráfego das mensagens de **sincronização temporal PTP**, e a **influência** sofrida devido às **streams SV**;
- Protocolos de **redundância de rede com tempo nulo de recomposição** de rede: **PRP** (mais comum) e **HSR** (em aplicações específicas);
- Avaliar a **segmentação dos barramentos de estação e processo** por meio **físico ou lógico**, através de **VLANs**;
- Considerar o **monitoramento da rede de comunicação** e **gerenciamento de tráfego**.



- **Definição** do Precision Time Protocol (PTP):
  - Relação **Mestre/Escravo** considerando o **atraso da rede e latência** dos nós;
  - **IEEE 1588 v1** (2002);
  - **IEEE 1588 v2** (2008); **Versão mais adotada.**
  - **IEEE 1588 v2.1** (2019).
  - Discussão sobre **compatibilidade**: **v2.1 altera a estrutura do frame!**
- **Perfis** de implementação:
  - **Power Profile v1** (IEEE C37.238-2011);
  - **Power Profile v2** (IEEE C37.238-2017);
  - **Utility Profile** (IEC 61850-9-3:2016). **Versões mais adotadas.**



- O protocolo alcança **precisões extremamente altas**, e totalmente **compatíveis com as exigências** de tempo crítico do **Barramento de Processos**:
  - **Acurácia < 250 ns**;
  - **Performance class T5** (IEC 61869-9 e IEC 61850-5) < 1  $\mu$ s.
- **BMCA** (Best Master Clock Algorithm):
  - **Evitar múltiplos GrandMasters na rede**;
  - **Provocação**: e se houver um GM para cada LAN PRP?
  - **Na prática**, atualmente: **dispositivos** devem ser capazes de **lidar** com **múltiplos mestres** PTP na rede.



- Uma abordagem de engenharia “**top-down**” pode **facilitar** a **interoperabilidade**:
  - **Integração mais eficiente.**
- Pensando em uma **implementação em larga escala**:
  - **Estratégias específicas para subestações digitais:** padronizar soluções;
  - **Capacitação contínua** do pessoal no PACS;



- **Priorizar testes de integração e TAF antes do TAC:**
  - **Reducir erros em campo.**
- **Explorar os recursos da norma IEC 61850:**
  - ***Test/simulation mode*** que permite ensaios com a **subestação em operação**.



- **Novas tecnologias exigem novas ferramentas de testes:**
  - Considerar **soluções de testes** que **atendam integralmente** aos **requisitos** da **IEC 61850**.
- **Treinamento da equipe** para operar tais ferramentas é **essencial**;
- É interessante considerar **ferramentas de testes** que sejam **capazes** de **realizar diagnóstico avançado de rede**, além dos ensaios de proteção.



- **Evolução dos IEDs:**
  - Autodiagnóstico embarcado;
  - Logs de falhas.
- **Importância de dispositivos especializados de diagnóstico e monitoramento de rede:**
  - Independentes dos IEDs;
  - Monitoramento contínuo.
- **Controle de versões de softwares e firmwares dos IEDs.**



- **Benefícios:**
  - Redução de custos estruturais;
  - Precisão elevada;
  - Sem saturação;
  - Sustentabilidade;
  - Segurança.



- Foco em **mecanismos de alta criticidade** no Barramento de Processo:
  - **Sampled Values**: informações de V e I;
  - **GOOSE**: trip.
- Principais **tipos de ataques**:
  - **Spoof** (falsificação);
  - **Replay** (repetição);
  - **Tamper** (violação);
  - **Information disclosure** (divulgação da informação).



- **Estratégias de segurança:**
  - Autenticação de acesso;
  - Monitoramento contínuo da rede;
  - Segmentação de **SV** e **GOOSE** de outros tráfegos;
  - Criação de **zonas de proteção**, de acordo com a **IEC 62433**;
  - Implementação de **mecanismos de autenticação exclusivos** e **detecção de tamper** para **SV** e **GOOSE**, de acordo com a **IEC 62351-6** e **IEC 62351-9**.
- Necessário **balancear segurança x (disponibilidade e desempenho)**.



- **Abordagem das ferramentas de testes em subestações digitais:**
  - Funcionalidades híbridas (análogicas e digitais);
  - Ensaios de **primário e secundário**;
- **Importância do monitoramento contínuo da rede de comunicação;**
- **Detecção precoce de erros e falhas de rede;**
- **Logs de erros e estatística de todo o tráfego IEC 61850;**
- **Garantia de confiabilidade no PACS.**



- O Barramento de Processos é um **importante avanço tecnológico** para o PACS;
- **Benefícios:** redução de **custos, eficiência e segurança**;
- A implementação exige **planejamento, testes e capacitação**;
- Principais **desafios:** **interoperabilidade e sincronização PTP**;
- **Fatores críticos:** **testes, gestão de ativos e cybersecurity**;
- **Testes funcionais e projetos pilotos** reforçam a **viabilidade e confiabilidade** na implementação.



# OBRIGADO!

Paulo Sergio Pereira Junior



The background of the image is a dark, blue-tinted aerial photograph of a city skyline, likely Rio de Janeiro, featuring a bridge over a river and various modern buildings.

Promoção



Coordenação

