

## SUBESTAÇÕES DIGITAIS: IMPACTOS NO SISTEMA DE PROTEÇÃO E CONTROLE

RAUL OLIVEIRA SILVA NETO<sup>1</sup>, HEITOR CARLOS NASCIMENTO CELESTINO<sup>2</sup> e RAFAEL FALCÃO DE AQUINO<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Graduando em Engenharia Elétrica Eletrotécnica, UPE, Recife-PE, rosn@poli.com;

<sup>2</sup>Graduando em Engenharia Elétrica Eletrotécnica, UPE, Recife-PE, hcnc@poli.br;

<sup>3</sup>Engenheiro Eletricista, ESC Engenharia, Recife-PE, rafael@esc.com.br

Apresentado no  
Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC  
6 a 9 de outubro de 2025

**RESUMO:** Com o advento da indústria 4.0, a digitalização vem transformando diversos setores, incluindo o setor elétrico. Este artigo discute o impacto das subestações digitais no Sistema Interligado Nacional (SIN), detalhando como a substituição de cabos por redes de comunicação digitais pode tornar as obras mais econômicas, rápidas e seguras. Através da análise de dados obtidos em manuais técnicos e do Plano de Implantação das Subestações Digitais (PDIG) da CHESF, explora-se a evolução das tecnologias envolvidas e os desafios associados, como a cibersegurança. Embora o custo inicial de implementação seja semelhante ao das subestações convencionais, espera-se uma redução de custos no longo prazo devido ao aumento da eficiência e confiabilidade dos sistemas.

**PALAVRAS-CHAVE:** Engenharia Elétrica, Subestações Digitais, IEC 61850, Indústria 4.0, Process Bus, Merging Units.

### DIGITAL SUBSTATIONS: IMPACTS ON PROTECTION AND CONTROL SYSTEM

**ABSTRACT:** With the advent of Industry 4.0, digitalization is transforming multiple sectors, including the power industry. This paper discusses the impact of digital substations within Brazil's National Interconnected System (SIN), detailing how the replacement of conventional wiring with digital communication networks can make substation projects more economical, faster, and safer. By analyzing data from technical manuals and the Digital Substations Implementation Plan (PDIG) by CHESF, the evolution of the technologies involved is explored, as well as the associated challenges, particularly concerning cybersecurity. While the initial implementation costs of digital substations are currently comparable to conventional ones, long-term cost reductions are expected due to increased efficiency and system reliability.

**KEYWORDS:** Electrical Engineering, Digital Substations, IEC 61850, Industry 4.0, Process Bus, Merging Units.

### INTRODUÇÃO

Com a chegada da indústria 4.0, estamos presenciando a evolução em diversos âmbitos da ciência e tecnologia. O termo “digitalização” é cada vez mais escutado entre os profissionais e acadêmicos da área, sinalizando uma transformação profunda em como coletamos, analisamos e utilizamos dados. Este processo de digitalização vem aos poucos sendo difundido também no setor elétrico, através da digitalização das subestações, que já está se consolidando no Sistema Interligado Nacional (SIN).

As subestações, que desempenham um papel essencial na distribuição e transmissão de energia, estão evoluindo para versões mais inteligentes, conforme os padrões da norma IEC 61850. Dessa forma, essas novas subestações digitais prometem trazer benefícios significativos, como maior eficiência, segurança, e redução de custos e prazos nas obras. No entanto, mais do que apenas uma melhoria técnica, a digitalização das subestações redefine a forma como o sistema elétrico é protegido, controlado e supervisionado.

A partir desse contexto, é válido discutir a importância dessa transformação, bem como o principal risco, especialmente no que se refere à rede de comunicação, a fim de sinalizar medidas para evitar possíveis entraves.

## MATERIAL E MÉTODOS

Os dados utilizados neste estudo foram coletados de diversas fontes relevantes para a análise da digitalização das subestações. Foram consultados manuais técnicos de equipamentos da Siemens, incluindo especificações de dispositivos de proteção e controle compatíveis com a norma IEC 61850 e o barramento de processo (Process Bus). Além disso, notícias e relatórios oficiais da Companhia Hidro Elétrica do São Francisco (CHESF), com destaque para o Plano de Implantação das Subestações Digitais (PDIG), foram utilizados para contextualizar as iniciativas de digitalização no Brasil.

Também foram conduzidas entrevistas informais e consultas técnicas com especialistas da área de proteção e controle de subestações, cuja experiência prática contribuiu para a compreensão dos desafios e benefícios da digitalização no ambiente de subestações, bem como das soluções de mitigação de riscos cibernéticos.

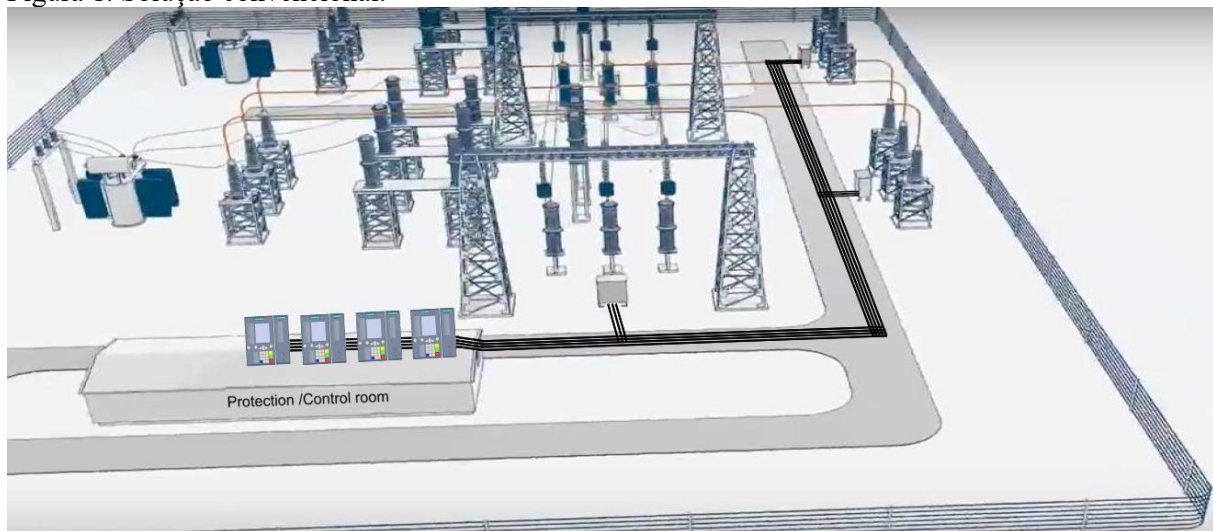
Os dados foram analisados de forma comparativa, destacando as diferenças entre as subestações convencionais e digitais, com ênfase nos impactos sobre os sistemas de proteção, controle e supervisão.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Diante dessa questão, é evidente que as subestações digitais estão revolucionando o setor elétrico, tornando as obras de subestações mais econômicas, rápidas e seguras. Isso porque, grande parte da fiação elétrica poderia ser substituída por redes de comunicação digitais, geralmente baseadas em fibra óptica, como a IEC 61850-9-2, parte da IEC 61850 que especifica o processo de digitalização dos sinais analógicos como corrente e tensão, que são usados no sistema de proteção e controle.

Para melhor visualizar essa mudança, a imagem abaixo ilustra a estrutura de uma subestação convencional, onde cada equipamento é conectado por cabos de cobre para transmitir sinais analógicos de corrente e tensão para os IED's (*Intelligent Electronic Devices*).

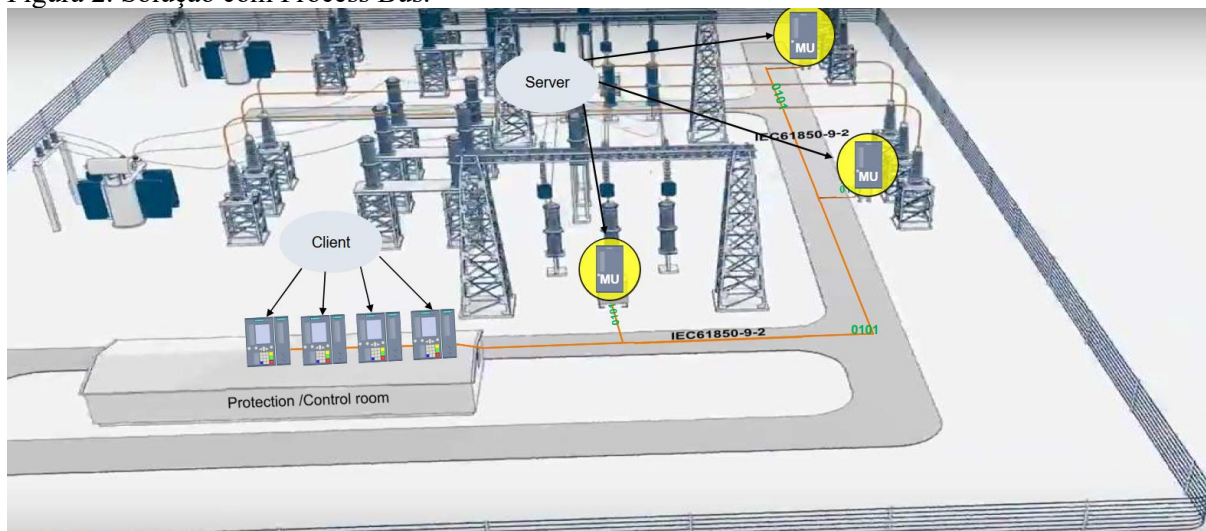
Figura 1. Solução convencional.



Fonte: Siemens, 2018.

Em contrapartida, a figura 2 apresenta a solução com Process Bus, na qual os sinais são digitalizados pelas MU's (*Merging Units*) e transmitidos através de cabos de fibra óptica até os relés de proteção, conforme a IEC 61850-9-2. Isso trará uma série de vantagens tanto para o campo, como para a sala de controle.

Figura 2. Solução com Process Bus.



Fonte: Siemens, 2018.

Para o campo, não teremos mais quase nenhum cabo de cobre, nem canaletas, ou elas serão de tamanho reduzido, o que gera menos obras civis. Também não haverá nenhum comissionamento e manutenção de cabos de cobre no campo e na sala de controle. Além disso, as fibras ópticas e as MU's possuem recursos de automonitoramento. Por fim, não teremos circuitos abertos ou fiação secundária.

Para a sala de controle, não teremos mais cabos secundários e teremos painéis menores e em menor quantidade na subestação. As funções de controle, proteção e automação serão fáceis de implementar, sem necessidade de conectar cabos de cobre. Ademais, os processos de *retrofit*, manutenção e testes serão mais fáceis de serem feitos, sem necessidade de desligar a subestação durante o comissionamento ou manutenção da proteção.

Como todos os equipamentos estariam "conversando" entre si pelo mesmo protocolo de comunicação, a troca de informações seria mais rápida e eficaz, aumentando a confiabilidade e a eficiência operacional do sistema. No longo prazo, isso também pode prolongar a vida útil dos equipamentos e reduzir os custos com manutenção, já que a detecção de falhas e a automação dos processos tornam-se mais eficazes e precisos.

Do ponto de vista de projeto elétrico de proteção e controle, os diagramas funcionais, de fiação e interligação ficarão bem mais simples. Além disso, não será mais necessário fazer o cálculo da queda de tensão. Logo, a atenção maior será para os diagramas lógicos dos relés de proteção, que ficarão maiores e mais complexos.

Ademais, os projetos precisam atender aos requisitos técnicos mínimos definidos pelos Procedimentos de Rede do ONS. Esses requisitos garantem tanto a integração operacional quanto a segurança do sistema elétrico, abrangendo diversos aspectos críticos.

Analisando o cenário atual, observa-se que o custo de implementação de uma subestação digital, em comparação com uma subestação convencional, ainda está praticamente "empatado". Isso ocorre porque essa tecnologia é relativamente nova e, por isso, ainda não se beneficia totalmente das economias de escala. As Merging Units e a infraestrutura necessária para as suas instalações ainda representam um investimento inicial elevado, mas tanto empresas quanto profissionais do setor têm expectativas de que, no longo prazo, à medida que a tecnologia amadureça e se torne mais amplamente adotada, os custos de implementação e operação diminuam consideravelmente. Isso se dará não apenas pela redução nos preços dos equipamentos, mas também pelos benefícios indiretos, como a redução nos custos de manutenção e a maior confiabilidade e vida útil dos sistemas.

A subestação digital pode ser desmembrada em 6 aspectos: digitalização nível estação, digitalização nível processo, gestão de ativos, operação da rede, engenharia integrada e cibersegurança.

O primeiro aspecto da subestação digital envolve a automação de subestações e sala de proteção, no qual temos a proteção digital e automação com barramento de estação conforme IEC 61850, permitindo uma comunicação mais eficiente e integrada entre os dispositivos.

O segundo aspecto refere-se aos transformadores de instrumentos não convencionais (LPIT's) e a utilização de *Merging Units*, que desempenham a função de converter os sinais analógicos dos LPIT's em informação digital e jogá-los na rede de comunicação digital (Process Bus), substituindo as tradicionais conexões de cabos de cobre por uma rede Ethernet, conforme IEC 61850-9-2.

Gestão de ativos, operação da rede e engenharia integrada referem-se a uma maior aquisição de dados, aplicativos descentralizados inteligentes e o uso de IoT (*Internet of Things*).

O Plano de Implantação das Subestações Digitais (PDIG) da Companhia Hidro Elétrica do São Francisco (CHESF) é um exemplo prático dessa transformação no Brasil. Segundo o diretor de Engenharia da CHESF, Reive Barros, "Temos um plano de digitalização de 83 subestações por todo o Nordeste, previsto para um horizonte de dez anos e, em paralelo, estamos desenvolvendo estudos mais abrangentes, com o objetivo de incorporar o armazenamento de energia no nosso planejamento". Esse projeto, anunciado durante o Workshop "Subestações Digitais e Armazenamento de Energia" em Recife, demonstra o comprometimento da companhia com a modernização e digitalização da sua infraestrutura elétrica.

Por outra perspectiva, a rede, que é o que torna a subestação digital tão vantajosa, também apresenta um risco significativo. Isso acontece, porque, em protocolos digitais, as subestações ficam expostas a interferências na comunicação e ataques cibernéticos. Um exemplo claro é o malware Industroyer, projetado especificamente para manipular equipamentos de infraestrutura crítica, como subestações elétricas. Em 2016, hackers russos utilizaram o vírus em um ataque à rede elétrica da Ucrânia, comprometendo diretamente componentes essenciais. Em abril de 2022, uma variação do código Industroyer foi utilizada em novos ataques contra subestações elétricas de alta tensão, evidenciando o potencial de ameaças cibernéticas contra sistemas de energia digitalizados. Porém, esses riscos podem ser mitigados com o último aspecto citado: a cibersegurança. Em outras palavras, é necessário tomar medidas adequadas de segurança, como: criptografia, firewalls, redes segmentadas e redundância.

## CONCLUSÃO

As subestações digitais representam uma verdadeira revolução para o setor elétrico, ao promoverem a integração de tecnologias modernas que aumentam a eficiência, a confiabilidade e a segurança das operações de proteção e controle. Embora o custo inicial para a implementação dessas subestações seja atualmente equivalente ao das subestações convencionais, há uma expectativa de que, no longo prazo, a redução nos custos operacionais e de manutenção, aliada à maior vida útil dos equipamentos, torne essa tecnologia mais vantajosa financeiramente.

Além disso, o Plano de Implantação das Subestações Digitais (PDIG) da CHESF exemplifica o movimento que empresas de energia no Brasil estão adotando para modernizar sua infraestrutura.

Porém, o avanço traz também desafios, como o aumento da exposição a riscos cibernéticos. Logo, o sucesso dessa transformação depende da implementação de medidas robustas de cibersegurança. Assim, as subestações digitais surgem não apenas como uma solução técnica mais avançada, mas como um caminho inevitável para a evolução do setor elétrico, em conformidade com a indústria 4.0.

## REFERÊNCIAS

LYNGAAS, Sean. A Ucrânia já sabe como resistir à guerra eletrônica russa - agora é esperar para ver se funciona. CNN, [S. l.], 22 nov. 2023. p. N/A. Disponível em:

<https://cnnportugal.iol.pt/guerra/cisco/a-ucrania-ja-sabe-como-resistir-a-guerra-eletronica-russa-agora-e-esperar-para-ver-se-funciona/20231122/655de6c9d34e65afa2f7d690>. Acesso em: 31 out. 2024.

MAMEDE FILHO, J. Proteção de Sistemas Elétricos de Potência. Rio de Janeiro: LTC, 2013.

ONS – OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO. Procedimentos de Rede - Módulo 2: Critérios e Requisitos. [S. l.], 2020. Disponível em: <https://www.ons.org.br/paginas/sobre-ons/procedimentos-de-rede/vigentes>. Acesso em: 9 maio 2025.

REDAÇÃO. Hackers ligados à Rússia atacam empresa de energia ucraniana: Suposto ciberataque à subestações de energia ucranianas teria objetivo de cortar eletricidade em regiões da Ucrânia. Veja, [S. l.], 12 abr. 2022. Mundo, p. N/A. Disponível em: <https://veja.abril.com.br/mundo/hackers-ligados-a-russia-atacam-empresa-de-energia-ucraniana>. Acesso em: 31 out. 2024.

SIEMENS. Siemens: Soluções Digitais. Disponível em: <https://www.siemens.com/br/>. Acesso em: 31 out. 2024.