aurum
Revista Multidisciplinar

ISSN: 3085-7783

NOVOS PARADIGMAS NAS SUBESTAÇÕES: AVANÇOS, PROTEÇÃO, AUTOMAÇÃO E TENDÊNCIAS EM SISTEMAS ELÉTRICOS DE POTÊNCIA

NEW PARADIGMS IN SUBSTATIONS: ADVANCES, PROTECTION, AUTOMATION AND TRENDS IN ELECTRICAL POWER SYSTEMS

https://doi.org/10.63330/armv1n9-018

Submetido em: 17/11/2025 e Publicado em: 19/11/2025

José Vicente Cardoso Santos
Docente do Departamento de Ciências Exatas e da Terra e do Curso de Licenciatura em Física da Universidade Estadual da Bahia (UNEB)

RESUMO
Essa pesquisa consubstancia a apresentação e análise dos novos sistemas integrados de proteção, supervisão, controle e automação de sistema de potência elétrica adotados no Brasil e em outros países, e, tem como objetivo geral a evidenciação das suas principais vantagens em relação aos sistemas não integrados bem como o indicativo de tendências e mega-tendêncas na área de aplicação e afins; e, como objetivos específicos o registro da evoluçao desses sistemas, a exposição sobre subestações e seus aspectos gerais da proteção de sistemas elétricos, além do registro da descrição das suas principais partes constitutivas e as novas funções de controle e monitoração disponíveis pelos equipamentos digitais. Para consolidar esses objetivos adota-se uma metodologia lastreada na revisão de literatura, de cunho documental, histórico e técnico, com pesquisa em bases indexadas na web, em livros, artigos, dissertações e teses sobre esses conteúdos e afins. Por fim, registra-se que nas descrições das vantagens e desvantagens da implantação dos sistemas de proteção e automação, são também analisadas as etapas de comissionamento de uma subestação co exposição dos conceitos, métodos, e razões para utilização de sistemas integrados de automação na proteção de subestações, bem como alguns exemplos de proteção digital em uso.

Palavras-chave: Subestação; Automação; Sistemas elétricos de potência.

ABSTRACT
This research substantiates the presentation and analysis of the new integrated systems of protection, supervision, control and automation of electric power systems adopted in Brazil and in other countries, and has as general objective the evidence of their main advantages in relation to non-integrated systems as well as the indication of trends and mega-trends in the area of application and related areas; and, as specific objectives, the record of the evolution of these systems, the exposition on substations and their general aspects of the protection of electric systems, in addition to the record of the description of their main constituent parts and the new control and monitoring functions available by digital equipment. To achieve these objectives, we adopted a methodology based on a literature review of documentary, historical, and technical nature, including research in indexed web databases, books, articles, dissertations, and theses on these and related topics. Finally, we note that the descriptions of the advantages and disadvantages of implementing protection and automation systems also analyze the steps involved in commissioning a substation, explaining the concepts, methods, and rationale for using integrated automation systems in substation protection, as well as some examples of digital protection in use.

Keywords: Substation; Automation; Electrical power systems.

1 INTRODUÇÃO

No mundo contemporâneo a eletricidade já foi incorporada derradeiramente na vida dos grandes centros em quase todos os paises, e, desde a segunda metade do século XIX, com a expansão das primeiras centrais elétricas, o setor elétrico vem se consolidando como um dos pilares fundamentais do desenvolvimento econômico e tecnológico mundial (Almeida; Prada, 2004).

Do ponto de vista histórico, desde a instalação da primeira usina termelétrica comercial no mundo, em Pearl Street (Nova York), em 1882, idealizada por Thomas Edison, marcou-se simbolicamente o início da era da eletricidade moderna, permitindo a iluminação pública e privada em escala urbana e impulsionando novas formas de produção e organização social (Hughes, 1983).

Particularmente, no Brasil, a introdução da eletricidade ocorreu em 1883, em Campos dos Goytacazes (RJ), tornando-se um elemento estratégico para a industrialização e a urbanização ao longo do século XX (Almeida; Prada, 2004), e, desde esse período histórico, a expansão desse setor esteve diretamente associada à modernização de diversas atividades produtivas e à reorganização territorial e social das regiões em que foi implantado, exigindo que empresas, governos e instituições sociais se adaptassem para garantir um fornecimento cada vez mais estável, eficiente e competitivo (Almeida; Prada, 2004).

Nesse cenário, e com o passar das décadas, essa dependência cresceu exponencialmente, pois a sociedade contemporânea tornou-se fortemente interligada ao fornecimento elétrico para praticamente todas as suas atividades econômicas, tecnológicas e culturais, desde indústrias pesadas até a vida doméstica e digital (Lages; Nogueira, 1986).

Com isso, e para atender a esse cenário de crescente complexidade e demanda, as organizações do setor elétrico passaram a adotar estratégias de modernização baseadas na agilidade operacional, na redução de custos e no aumento da confiabilidade. Entre essas estratégias, destaca-se a automação dos sistemas elétricos, que possibilita respostas mais rápidas, supervisão em tempo real e maior integração entre os diferentes segmentos do setor energético (Cascaes, 2015a).

É importante considerar que o conceito de automação elétrica refere-se, de modo geral, ao uso de tecnologias digitais para supervisão, controle, comando e proteção dos componentes que compõem os sistemas elétricos de potência (Cascaes, 2015a) e essa automação é viabilizada pela comunicação integrada entre equipamentos, permitindo a coleta de dados, análise e execução de ações automáticas e hierarquizadas, com o objetivo de assegurar maior eficiência e segurança operacional (Jardini, 1996a), e, nas últimas décadas esse processo evoluiu da automação local para sistemas integrados e remotos, viabilizados pelo avanço das redes de comunicação e da informática industrial.

Nesse contexto, as subestações elétricas assumem papel central.

No caso específico do Brasil, a primeira grande expansão de subestações ocorreu nas décadas de 1940 e 1950, acompanhando a criação das primeiras companhias públicas e privadas de energia e, posteriormente, do sistema interligado nacional (ONS, 2022).

Elas são responsáveis por transformar, controlar e distribuir a energia elétrica entre diferentes níveis de tensão, assegurando o fornecimento contínuo e seguro para consumidores residenciais, comerciais e industriais (Grupo Linha Viva, 2023).

No seu aspecto quantitativo de formação merece considerar que as subestações utilizam transformadores para elevar ou reduzir a tensão elétrica, permitindo o transporte em longas distâncias com menores perdas ou a adaptação para consumo local (Pereira, 2025). Esses equipamentos são acompanhados de sistemas de proteção e controle sofisticados, compostos por disjuntores, seccionadores, relés de proteção e dispositivos automáticos, que previnem falhas, curtos-circuitos e sobrecargas, além de possibilitarem interrupções seletivas para manutenção programada ou emergencial (Mamede Filho, 2025).

No Brasil, a densa evolução dos processos de automação dessas estruturas permitiu a criação de subestações digitais, nas quais a supervisão e o controle são realizados por meio de redes inteligentes (*smart grids*), com medições em tempo real e interoperabilidade entre equipamentos de diferentes fabricantes. Essa transformação tem sido impulsionada por protocolos de comunicação padronizados e abertos, como a norma IEC 61850, publicada pela *International Electrotechnical Commission* no início dos anos 2000, que possibilita maior flexibilidade, confiabilidade e integração de sistemas elétricos em escala global (IEC, 2003).

Com o exposto essa pesquisa tem como objetivo geral a apresentação e análisecom descrição das vantagens do uso dos novos sistemas integrados de proteção, supervisão, controle e automação de sistema de potência elétrica adotados no Brasil e em outros países, e, tem como objetivos o registro da evoluçao desses sistemas, a exposição sobre subestações e seus aspectos gerais da proteção de sistemas elétricos, além do registro da descrição das suas principais partes constitutivas e as novas funções de controle e monitoração disponíveis pelos equipamentos digitais.

Dessa maneira a pesquisa sobre os avanços tecnológicos nas subestações elétricas permite compreender a passagem de estruturas analógicas e fracionadas para sistemas totalmente integrados e digitais, redefinindo paradigmas de montagem, operação e manutenção e consolidando uma nova era para o setor elétrico contemporâneo.

2 METODOLOGIA

Para consolidar esses objetivos adota-se uma metodologia lastreada na revisão de literatura, de cunho documental, histórico e técnico quantitativa e qualitativo, com consultas em bases indexadas na web, tais como repositórios de instituições de pesquisa (USP, UNICAMP, UFRJ, UFSC, UFMG *etc*), a citar

IEEE Xplore Digital Library (https://ieeexplore.ieee.org/), ScienceDirect, Elsevier (https://www.sciencedirect.com/), SpringerLink (https://link.springer.com/), Wiley Online Library (https://onlinelibrary.wiley.com/), IEC Webstore - International Electrotechnical Commission (https://webstore.iec.ch/), IEC, incluindo a IEC 61850, norma central para automação e comunicação em subestações elétricas além da ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica - https://www.aneel.gov.br/), ONS (Operador Nacional do Sistema Elétrico - https://www.ons.org.br/), Scielo Brasil (https://www.scielo.br/), e CAPES Periódicos (https://www.periodicos.capes.gov.br/), além das consultas tradicionais em em livros, artigos, dissertações e teses sobre esses conteúdos e afins.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 O ESTADO DA ARTE SOBRE SISTEMAS ELÉTRICOS DE POTÊNCIA

3.1.1 Substações

Os avanços tecnológicos de subestações totalmente integradas vêm ganhando espaço no mercado após resultado da aprovação, em junho de 2004, do protocolo de comunicação padronizado e aberto IEC 61850.

Um sistema elétrico de potência tem como principal objetivo transferir toda energia elétrica gerada por fontes primárias de energia (hidráulica, térmica, química, etc) para os seus consumidores, garantindo qualidade e confiabilidade. Para chegar neste objetivo, o sistema elétrico de potência estar estruturado em partes qualitativamente distintas que se interagem formando o sistema elétrico como um todo: Geração, Transmissão, Distribuição e Alimentação. Sem sombra de dúvidas, uma das “partes” mais importante de um sistema elétrico de potência é a subestação. Uma subestação é um conjunto de equipamentos (disjuntor, transformadores, chaves seccionadoras, TC’s, TP’s pára-raios, compensadores síncronos e estáticos, reator, banco de capacitor, etc.) usados para controlar, modificar, comandar, distribuir e direcionar o fluxo de energia elétrica em um sistema elétrico.

Numa subestação os equipamentos são divididos em: principal, de manobra e medição, proteção, comando e controle (MPCC), e serviço auxiliar. Os equipamentos principais são aqueles que atuam diretamente no fluxo de potência. Os de manobras são aqueles responsáveis por abrir, fechar e isolar circuitos e componentes. Os de MPCC como o próprio nome já diz, são responsáveis pelo comando, controle, medição e proteção da subestação e o serviço auxiliar é responsável pelo fornecimento da energia elétrica que alimenta a própria subestação.

As subestações podem ser classificadas: quanto à função, quanto ao sistema da SE, quanto ao nível de tensão, quanto à instalação, e quanto ao tipo de isolamento, conforme elucidado no Quadro 1, a seguir:

Quadro 1: Substações e suas Classificações

Substações - Classificação	Tipo	Características
Quanto à função no sistema elétrico	Subestações elevadoras	Situadas geralmente próximas às usinas geradoras, têm a função de elevar a tensão elétrica produzida (tipicamente entre 11 kV e 34,5 kV) (Mamede Filho, 2025).
	Subestações abaixadoras	Localizadas próximas aos centros consumidores, reduzem a tensão da rede de transmissão para níveis adequados à distribuição (geralmente de 13,8 kV ou 34,5 kV) (Pereira, 2025).
	Subestações de interligação ou seccionamento	Utilizadas para conectar dois ou mais sistemas ou trechos de rede (Jardini, 1996a).
Quanto à localização no sistema elétrico	Subestações de geração	Situadas nas proximidades das usinas hidrelétricas, termelétricas ou eólicas, são responsáveis pelo primeiro passo no processo de transmissão.
	Subestações de transmissão	Localizadas ao longo das linhas de alta tensão, têm a função de interligar trechos da rede e garantir a continuidade do fornecimento em longas distâncias.
	Subestações de distribuição	Instaladas em áreas urbanas ou industriais, fazem a interface entre a rede de transmissão e o consumidor final.
Quanto ao nível de tensão	Baixa tensão	Inferior a 1 kV, normalmente encontrada em subestações internas de pequenas instalações industriais ou prediais.
	Média tensão	Entre 1 kV e 69 kV, comum em redes de distribuição urbanas e rurais.
	Alta tensão	Entre 69 kV e 230 kV, típica de subestações de transmissão regional.
	Extra-alta tensão	Superior a 230 kV, utilizada em linhas de transmissão de longa distância e integração de grandes blocos de energia (Cascaes, 2015b).
Quanto à estrutura construtiva	Subestações convencionais ou ao tempo	Construídas em áreas abertas, com equipamentos instalados externamente, o que facilita manutenção e expansão, porém exige mais espaço físico.
	Subestações abrigadas ou blindadas	Utilizam tecnologia de isolamento a gás SF_6, permitindo compactação dos equipamentos e instalação em áreas reduzidas, com alta confiabilidade operacional.
	Subestações móveis	Montadas sobre carretas ou estruturas transportáveis, utilizadas em situações emergenciais ou temporárias, garantindo flexibilidade operacional.
Quanto ao grau de automação e controle	Subestações convencionais	Operadas de forma predominantemente manual, com sistemas de proteção e controle locais.
	Subestações supervisionadas	Possuem sistemas de telemetria e supervisão remota, mas com atuação manual de operadores.
	Subestações automatizadas	Operam com sistemas digitais integrados de controle e proteção, permitindo manobras automáticas, supervisão em tempo real e comunicação padronizada (IEC 61850).
	Subestações digitais	Representam a evolução mais recente, com sensores inteligentes, comunicação baseada em rede Ethernet, integração com centros de controle e interoperabilidade plena entre equipamentos de diferentes fabricantes (IEC, 2003).
Classificação quanto ao tipo de isolamento	Subestações aéreas	Utilizam o ar como meio isolante entre condutores e equipamentos de diferentes potenciais elétricos. São mais simples e amplamente empregadas, especialmente em áreas abertas.
	Subestações blindadas	Utilizam gás hexafluoreto de enxofre (SF_6) como meio isolante. Permitem maior compactação dos equipamentos, alta confiabilidade e instalação em espaços reduzidos.
	Subestações híbridas	Combinam trechos com isolamento a ar e trechos blindados com gás. Essa solução busca reduzir a área ocupada e otimizar custos, mantendo flexibilidade construtiva e operacional (IEC, 2003)

Fonte: (Cascaes; 2015a; IEC, 2003; Jardini, 1996b; Mamede Filho, 2025; Pereira, 2025)

Assim, essa análise evidencia que as subestações elétricas, ao longo de mais de um século de evolução tecnológica, deixaram de ser apenas elementos intermediários no sistema elétrico de potência para se consolidarem como centros estratégicos de transformação, controle e proteção do fornecimento de

energia.

A classificação apresentada no Quadro 1 demonstra que a complexidade das subestações não se limita ao seu papel funcional no sistema, mas abrange também fatores como nível de tensão, estrutura construtiva, grau de automação e tipo de isolamento.

Dessa maneira, esse processo de diversificação e especialização das subestações está diretamente relacionado ao aumento da demanda por confiabilidade, flexibilidade operacional e eficiência energética. A introdução de tecnologias digitais e protocolos de comunicação abertos, como a norma IEC 61850, marcou uma ruptura paradigmática ao permitir que diferentes equipamentos e sistemas passassem a operar de forma integrada, interoperável e inteligente (De Mello, 1983).

Além disso, a evolução para subestações digitais representa não apenas um avanço técnico, mas também organizacional e estratégico, pois possibilita maior integração com centros de controle, facilita a manutenção preditiva e reduz custos operacionais. Essa tendência está alinhada com o desenvolvimento das redes inteligentes (smart grids) e com a crescente necessidade de adaptação a fontes de energia distribuída e renovável, contribuindo para a transição energética global.

Portanto, a compreensão das classificações e funções das subestações é fundamental para analisar os novos paradigmas do setor elétrico, especialmente em um cenário no qual automação, digitalização e interoperabilidade são elementos estruturantes de sistemas elétricos modernos, resilientes e eficientes. Esse conhecimento constitui base essencial para as etapas subsequentes desta pesquisa, voltadas para proteção, automação e tendências tecnológicas em subestações de potência.

3.1.2 Curtos-circuitos

A determinação das correntes de curtos-circuitos de sistemas elétricos é fundamental para o projeto de um sistema de proteção, pois, segundo preconiza Jardini (1996b), é preciso que ocorra o dimensionamento das capacidades de interrupção, os ajustes de relés de proteção e o estudo da seletividade e coordenação compõem o conjunto de sistemas elétricos trifásicos e aterrados, podento inclusive serem classificados como de quatro típos diferentes, a citar: trifásico; bifásico; bifásico-terra e fase-terra; podendo inclusive, e também, serem classificados com o tempo de duração, pois essas faltas podem ser classificadas em transitórias, que são passageiras ou de curta durações, e permanentes.

Além disso, as correntes de curtos-circuitos também são usadas para determinação dos limites de suportabilidade térmica de cabos, transformadores, chaves de manobra, etc., pelo tempo necessário para atuação dos equipamentos de proteção (De Mello, 1983).

Ocorre que as correntes de curto-circuito também são fundamentais para determinar os limites de suportabilidade térmica de cabos, de transformadores e de chaves de manobra, pois eles ocorrem em função do tempo necessário para a atuação dos dispositivos de proteção ao tempo em que a magnitude da corrente

de curto-circuito independe da potência da carga e ocorre em função da potência do gerador, pois, quanto maior for a potência disponível do sistema, maior será a corrente de curto.

Importante também considerar, que, quando ocorre o curso circuito, instaura-se um regime transitório equivalente ao fechamento simples do próprio circuito.

E merece registrar que, em sistemas elétricos de potência, os valores típicos dos tempos de duração da componente contínua, são de 1/2 a 8 ciclos de 60Hz (8,3 ms a 133,3 ms).

3.1.3 Proteção de sistemas elétricos

Com esse cenário de curto circuitos torna-se importante também considerar, ainda segundo o que preconiza Jardini (1996a), que a proteção de sistemas elétricos tem como finalidade reduzir riscos à vida e evitar danos materiais em situações anormais de operação, atuando principalmente contra sobrecorrentes (curtos-circuitos) e sobretensões (internas ou causadas por descargas atmosféricas).

Entre suas funções básicas destacam-se: garantir a segurança de pessoas e animais, minimizar prejuízos, isolar partes defeituosas do sistema, aumentar a continuidade do serviço, reduzir custos de manutenção e melhorar os índices de qualidade como DEC e FEC (Almeida; Prada, 2019).

No quesito de proteção existem, ainda segundo o que preconizam Almeida e Prada (2019), existem diferentes tipos de relés conforme a aplicação, a citar os de sobrecorrente temporizado, o instantâneo, os de sobrecorrente direcional, de distância, o diferencial, de subtensão e de sobretensão, que podem ser assim resumidos em suas funções, a citar:

Quadro 2: Tipos de Relés

Relé	**Características**
Proteção Primária	É a primeira linha de defesa contra curtos-circuitos pois na maioria dos casos, os relés primários operam dentro de alguns ciclos para iniciar a atuação do disjuntor.
Proteção de Retaguarda	É instalada para atuar no caso de falha da proteção primária. Também atuar, no caso de falha do disjuntor detectado pela proteção primária.
Seletividade e Coordenação	É uma zona seletiva pois quando cada relé protege uma zona ou equipamento específico e não operará para faltas fora dessa zona.
Proteção de transformadores	A quantidade de proteção proporcionada e a sensibilidade da proteção, assim como a proteção de outros elementos do sistema é uma questão de economia e de considerações quanto à confiabilidade a ser conferida ao sistema.
Proteção de barramento	Segue as regras gerais de proteções de equipamento, instalando-se geralmente tanto a proteção primária como a de retaguarda.
Proteção de linhas	Pode-se utilizar alguns tipos de relés que são de fundamental importância para o sistema de proteção, pois é nas linhas de transmissões que tem uma maior probabilidade de ocorrer as faltas, devido a sua longa extensão com grande possibilidade de ocorrer descargas atmosféricas sobre elas.

Fonte: (Almeida; Prada, 2019).

Assim, a proteção constitui elemento indispensável em sistemas elétricos confiáveis, garantindo o desligamento rápido de equipamentos defeituosos e a minimização de danos decorrentes de curtos-circuitos.

3.2 PROBLEMAS NOS SISTEMAS DE PROTEÇÃO

Entre os muitos problemas apresentados pelos sistemas convencionais os sistemas elétricos tradicionais apresentam diversas limitações estruturais e operacionais, como o grande número de circuitos, condutores e componentes necessários para executar funções e lógicas complexas, o que aumenta a probabilidade de falhas e dificulta a manutenção (Lages; Nogueira, 1986).

Além disso, exigem uma grande quantidade de cabos interligando a subestação aos painéis, implicando o uso de galerias, bandejas e canaletas que elevam significativamente os custos de instalação, isso sem considerar que, os altos custos de engenharia e fabricação também decorrem da diversidade de equipamentos e da dificuldade de padronização dos circuitos (Mamede Filho, 2025).

Por fim, a necessidade de múltiplos painéis de proteção, controle, supervisão, alarmes e intertravamentos exige salas de controle e de relés amplas, o que aumenta ainda mais o custo das edificações e da infraestrutura associada (Mamede Filho, 2025).

3.3 DISCUSSÃO: VANTAGENS DO USO

A tecnologia digital oferece vantagens significativas em relação aos sistemas convencionais, especialmente no aspecto operacional, pois ela proporciona maior simplicidade e rapidez nas sequências operacionais, permitindo uma avaliação mais ágil e abrangente das medições (De Mello, 1983).

O uso desses sistemas também facilita a implementação de intertravamentos e possibilita a filtragem das informações, de modo que apenas os dados realmente relevantes sejam apresentados ao operador.

Além disso, confere maior flexibilidade operacional e permite que os equipamentos funcionem mais próximos de seus limites, graças ao monitoramento mais preciso, o que resulta em economia de investimentos bem como a adaptabilidade, que possibilita aos sistemas de proteção e controle ajustarem-se automaticamente às alterações na configuração do sistema elétrico, da subestação ou da usina.

De uma forma geral a tecnologia digital apresenta inúmeras vantagens em relação aos sistemas convencionais, abrangendo aspectos operacionais, de engenharia, segurança, manutenção e economia (Cascaes, 2015b).

Já no aspecto operacional, destaca-se pela simplicidade e rapidez das sequências operacionais, pela avaliação mais completa das medições e pela facilidade na execução de intertravamentos ao tempo em que em termos de segurança, os sistemas digitais se destacam pela capacidade de reconhecer rapidamente

situações anormais, realizar autotestes e diagnósticos automáticos e operar com tolerância a falhas por meio de redundância (Cascaes, 2015b).

Por fim, merece também considerar que quanto à manutenção, elas proporcionam detecção imediata de falhas, emissão de relatórios detalhados sobre as condições dos circuitos e equipamentos, aumento da vida útil dos dispositivos e análise histórica de desempenho antes de qualquer intervenção, tornando-se assim economicamente mais viáveis pois reduzem significativamente o número de cabos e estruturas associadas, diminuem custos e prazos de instalação por meio de simulações e testes prévios.

4 CONCLUSÃO

A principal contribuição dessa pesquisa foi a evidenciação das principais vantagens em relação aos sistemas não integrados bem como o indicativo de tendências e mega-tendêncas de forma que o melhor dos mundos nos sistemas de proteção e automação de subestações e usinas pois baseia-se no uso de dispositivos eletrônicos inteligentes (IEDs) interconectados a uma Unidade Central de Processamento (UCP) e a uma Interface Homem-Máquina (IHM) por meio de uma rede local (LAN).

Nesse cenário os IEDs seriam os responsáveis pela coleta de variáveis analógicas (como correntes, tensões e temperaturas), estados de equipamentos de manobra e alarmes, registrando-as em memória interna e comunicando-as periodicamente à UCP, que as processa e atualiza no banco de dados e na interface gráfica do operador. Assim, o sistema permite execução contínua e integrada das funções de monitoramento, controle e proteção.

Dessa maneira cada IED pode desempenhar funções específicas, como proteger elementos do sistema elétrico, fornecer medições, realizar comandos, executar controles automáticos, alterar parâmetros operacionais, registrar eventos e alarmes e monitorar equipamentos críticos.

Com tudo isso espera-se que o software da UCP deva ser flexível, permitindo parametrização, criação de novas telas, inclusão de rotinas de automação e adaptação a diferentes configurações de subestações.

Não obstante a esse cenário verifica-se que, historicamente, muitos sistemas digitais foram implantados de forma não integrada, com comunicação limitada entre os equipamentos devido a protocolos distintos e projetos desenvolvidos por equipes separadas. Essa falta de padronização acarreta custos elevados de cabeamento, manutenção e comissionamento, além da ausência de redundância em diversas funções, comprometendo a confiabilidade.

Com isso a evolução tecnológica permitiu a substituição das antigas UTRs por Unidades de Aquisição e Controle (UACs) com processamento próprio, capazes de executar lógicas, intertravamentos e automatismos, reduzindo significativamente a cablagem e o uso de relés auxiliares. Entretanto, falhas na

UCP ou na comunicação podem comprometer o controle da subestação, o que levou à descentralização progressiva dos sistemas.

Apesar disso, ainda é comum que relés digitais contenham dados úteis não aproveitados nos sistemas de automação devido a dificuldades de interoperabilidade. A padronização de protocolos de comunicação tem sido um passo essencial para permitir que informações de proteção, controle e supervisão sejam compartilhadas entre subsistemas, reduzindo custos e aumentando a eficiência.

Atualmente, a integração plena dos sistemas de proteção, controle e automação representa um avanço indispensável. Ela possibilita o compartilhamento de informações críticas - como corrente, tensão, estado de disjuntores, temperatura e posição de chaves - entre diferentes dispositivos e níveis hierárquicos, tornando as operações mais seguras, econômicas e eficientes. Os novos relés digitais já incorporam funções de proteção, monitoração e controle, utilizando protocolos abertos e padronizados, o que facilita a interoperabilidade e fortalece a confiabilidade global do sistema elétrico.

A tendência para uma integração dos equipamentos digitais nasce nos novos empreendimentos, induzido pelo progresso tecnológico e pela competição acirrada no mercado, passa a fazer parte importante na rotina das empresas de energia elétrica.

Como conseqüência, um melhor rendimento tem sido solicitado dos sistemas de proteção, controle e automação, os quais permitirão maior desempenho dos sistemas elétricos com menores custos de instalação, operação e manutenção sem afetar, no entanto, a confiabilidade do sistema. O desafio acima se tornou tecnicamente realizável devido aos avanços da tecnologia digital que possibilitou o emprego de dispositivos inteligentes, multifuncionais e de grande capacidade de processamento na realização das funções de proteção, controle, automação e monitoração das subestações e usinas com custo, segurança e confiabilidade adequados.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, L.; PRADA, R. **A evolução do setor elétrico no Brasil**. Rio de Janeiro: Eletrobras, 2004.

ALMEIDA, P.C.; PRADA, R., **Esquemas de Proteção de Sistemas de Energia Elétrica**, 3ª ed., Rio de Janeiro, RJ, EPUB, 2019.

CASCAES, A.P. **Integração dos sistemas de proteção, controle e automação de subestações e usinas - Estado da Arte e Tendências**. Rio de Janeiro: UFRJ, 2015a.

CASCAES, R. **Automação em sistemas elétricos de potência**: fundamentos e aplicações. São Paulo: Edgard Blücher, 2015b.

DE MELLO, F. P. **Proteção de sistemas elétricos de potência**. 2ª Edição. Volume 7ª. Rio Grande do Sul: UFSM, 1983.

GRUPO LINHA VIVA. **Subestações elétricas**: conceitos e aplicações. Belo Horizonte: Linha Viva Engenharia, 2023.

HUGHES, T. **Networks of Power**: Electrification in Western Society, 1880-1930. Baltimore: Johns Hopkins University Press, 1983.

IEC. International Electrotechnical Commission. **IEC 61850**: Communication Networks and Systems in Substations. Geneva: IEC, 2003.

JARDINI J.A., **Sistemas Digitais para Automação da Geração, Transmissão e Distribuição de Energia Elétrica**. 1ª ed. São Paulo, SP, Brasil, Edição Universitária, USP, 1996a.

JARDINI, J. A. **Sistemas elétricos de potência e automação. São Paulo:** Edusp, 1996b.

LAGES, W.; NOGUEIRA, J. A. **A evolução da indústria elétrica no Brasil**. Rio de Janeiro: ANEEL, 1986.

MAMEDE FILHO, J. **Instalações elétricas industriais**. 11ª. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2025.

ONS - OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO. **História da expansão do sistema interligado nacional**. Brasília: ONS, 2022.

PEREIRA, A. **Subestações elétricas**: operação e manutenção. 4. ed. São Paulo: Érica, 2025.