

ESTUDO DE COORDENAÇÃO E SELETIVIDADE DA PROTEÇÃO USINA FOTOVOLTAICA

ELIOENAI DOS SANTOS SILVA, ALEXANDRE TARDELLI.

Universidade do Vale do Paraíba/Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento, Avenida Shishima Hifumi, 2911, Urbanova - 12244-000- São José dos Campos-SP, Brasil, elioenaisantos92@gmail.com, tardelli@univap.br

Resumo

O presente trabalho propõe e analisa um estudo de coordenação e seletividade da proteção em uma usina fotovoltaica (UFV) de 1,21 MWp, simulada no Bloco 10 da UNIVAP. A usina foi modelada no HelioScope, com 1.736 módulos de 695 Wp e quatro inversores de 250 kW, totalizando 1.000 kW em corrente alternada. A metodologia incluiu revisão bibliográfica, análise de modos de falha, cálculos de curto-circuito e ajustes de relés digitais (ANSI 50/51, 50N/51N, 27, 59 e 78). A simulação indicou geração anual de 2,06 GWh e fator de desempenho (PR) de 86,7%, valores compatíveis com sistemas reais. Foram desenvolvidas tabelas de parâmetros de proteção e curvas TCC, evidenciando seletividade adequada para isolar falhas e preservar equipamentos. A aplicação correta da coordenação reduziu tempos de atuação, aumentou a continuidade do fornecimento e reforçou a confiabilidade do sistema. Conclui-se que a metodologia adotada constitui referência prática e acadêmica, alinhada às normas ABNT, IEC e ANEEL, além de servir como base para futuros estudos no setor elétrico

Palavras-chave: Coordenação, Seletividade, Relés digitais, Usina fotovoltaica, Proteção elétrica.

Área do Conhecimento: Engenharia Elétrica

Introdução

O crescimento da matriz energética global está fortemente associado à busca por fontes renováveis e sustentáveis, com destaque para a energia solar fotovoltaica, que apresenta elevada taxa de expansão devido ao avanço tecnológico e à redução de custos de implementação (CAMINHA, 2010). No Brasil, esse cenário é reforçado por políticas públicas e regulamentações estabelecidas pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), que consolidam a geração distribuída como alternativa estratégica para diversificação da matriz elétrica e redução da dependência de fontes convencionais (ANEEL, 2023).

Contudo, a integração das usinas fotovoltaicas (UFVs) ao Sistema Elétrico de Potência (SEP) introduz novos desafios relacionados à proteção elétrica. Diferentemente das fontes convencionais, os inversores fotovoltaicos possuem contribuição limitada de corrente de curto-circuito e comportamento dinâmico distinto, o que dificulta a aplicação de esquemas tradicionais de proteção (SILVA, 2012). Nesse contexto, a ausência de seletividade ou de coordenação adequada entre os dispositivos pode resultar em desligamentos indevidos, redução da confiabilidade e maiores custos operacionais.

A coordenação da proteção consiste em garantir que os dispositivos atuem de forma hierárquica e ordenada, enquanto a seletividade assegura que apenas a parte defeituosa do sistema seja isolada, mantendo a continuidade no fornecimento das demais áreas (ABNT, 2019; IEC, 2013). Em usinas fotovoltaicas de médio porte, como a estudada neste trabalho, tais práticas são essenciais para preservar a integridade de módulos, inversores e equipamentos auxiliares, além de assegurar conformidade com normas técnicas nacionais e internacionais.

Diante disso, este artigo tem como objetivo propor e analisar um estudo de coordenação e seletividade da proteção em uma usina fotovoltaica simulada de 1,21 MWp, modelada na plataforma HelioScope. Busca-se, assim, oferecer uma contribuição metodológica tanto para o meio acadêmico quanto para a prática profissional, demonstrando a importância da correta aplicação de técnicas de proteção em sistemas fotovoltaicos conectados à rede.

Metodologia

A metodologia adotada neste trabalho foi estruturada em etapas que permitem avaliar, de forma progressiva, os aspectos técnicos relacionados à coordenação e seletividade da proteção em usinas fotovoltaicas de médio porte. Inicialmente, foi realizada uma revisão bibliográfica abrangente sobre sistemas fotovoltaicos e os principais dispositivos de proteção empregados, com base em normas nacionais (ABNT NBR 5410 e NBR 14039, PRODIST/ANEEL) e internacionais (IEC 60255).

Na sequência, foram analisados os modos de falha mais recorrentes em UFVs, incluindo curtos-circuitos no lado de corrente contínua (CC) e de corrente alternada (CA), bem como faltas fase-terra e situações de sobretensão e subtensão. A partir dessas condições, definiu-se um conjunto de funções de proteção a serem estudadas, entre elas: sobrecorrente instantânea e temporizada (ANSI 50/51), sobrecorrente e subtensão de neutro (50N/51N), subtensão (27), sobretensão (59) e anti-ilhamento (78).

Posteriormente, procedeu-se ao cálculo das correntes de curto-circuito em diferentes pontos do sistema elétrico, contemplando os níveis de baixa e média tensão. Com base nesses valores, foram sugeridos ajustes para disjuntores e relés digitais, de modo a assegurar coordenação entre os dispositivos e seletividade adequada para cada cenário de falha.

Por fim, foram elaborados coordenogramas de proteção no formato tempo x corrente, permitindo verificar graficamente o escalonamento da atuação dos dispositivos. Essa análise comparativa possibilitou avaliar a eficácia das configurações propostas e sua conformidade com os requisitos normativos.

Figura 1: Mostra um fluxograma simplificado de uma usina fotovoltaica.

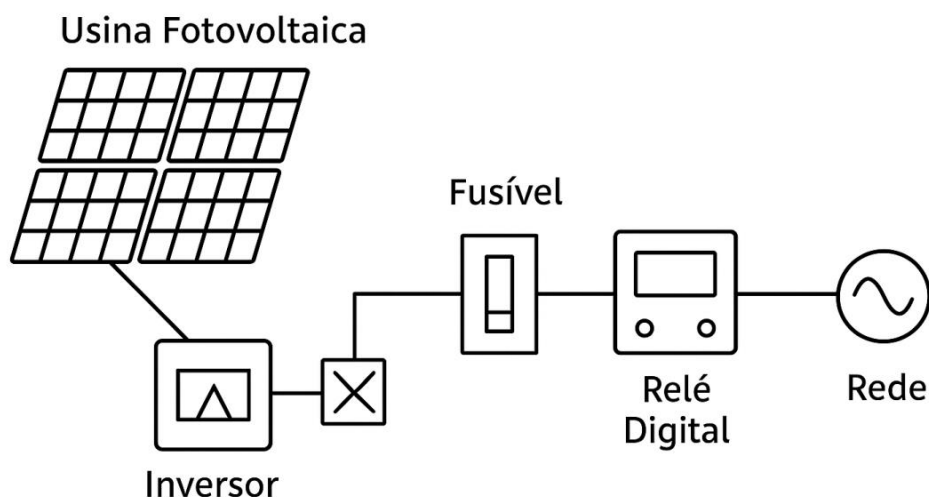
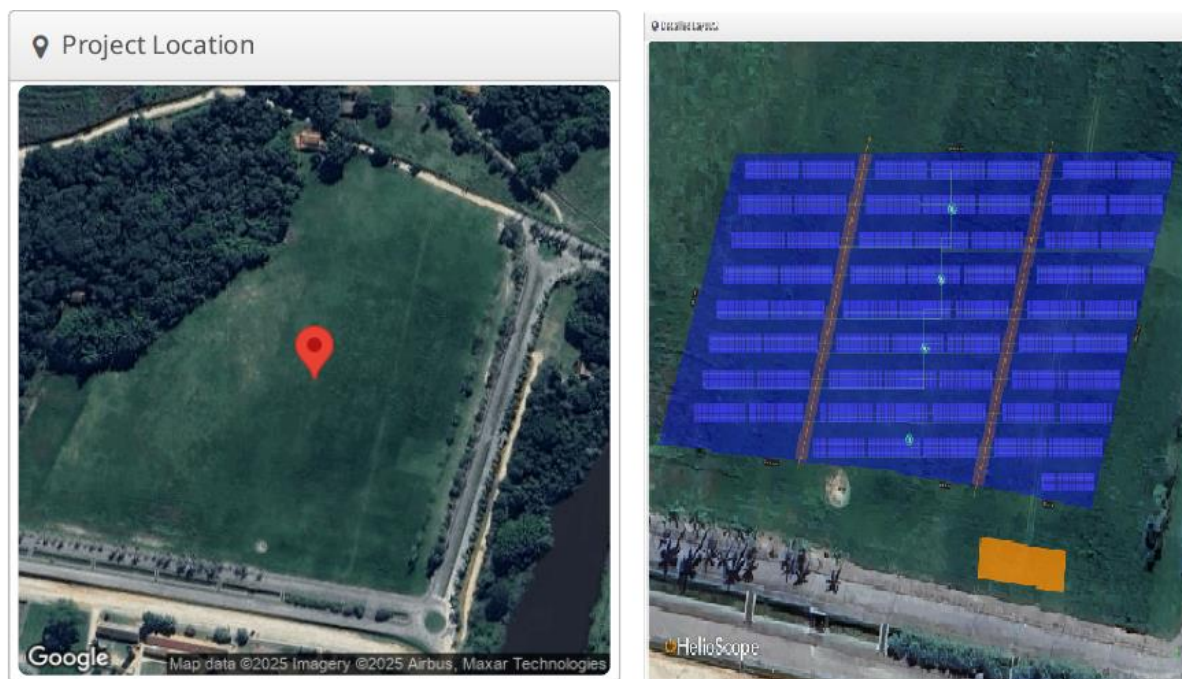


Figura 2: Localização do sistema fotovoltaico e sua distribuição na UNIVAP.



Resultados Esperados

Os resultados esperados deste estudo concentram-se na validação de ajustes de proteção que garantam seletividade e coordenação adequadas para uma usina fotovoltaica de 1,21 MWp. A simulação realizada na plataforma HelioScope indicou geração anual estimada de 2,06 GWh e fator de desempenho (PR) de 86,7%, valores condizentes com empreendimentos de porte semelhante. Com a aplicação da metodologia de coordenação e seletividade, espera-se alcançar:

- ajustes otimizados em relés digitais, considerando as características específicas dos inversores fotovoltaicos e a potência nominal de 1.000 kW;
- redução significativa dos tempos de atuação frente a curtos-circuitos, preservando módulos, inversores e equipamentos auxiliares;
- continuidade no fornecimento de energia elétrica, com impacto positivo na contribuição da usina para a matriz local;
- conformidade com normas nacionais e internacionais, assegurando seletividade mesmo em condições de perdas como mismatch, temperatura e soiling.

Esses resultados, ainda que em fase simulada, representam uma contribuição prática para o desenvolvimento de esquemas de proteção em usinas fotovoltaicas conectadas à rede, fornecendo subsídios para futuras aplicações reais.

Discussão

A análise da coordenação e seletividade em sistemas fotovoltaicos evidencia desafios particulares quando comparados a sistemas convencionais. No lado de corrente contínua, arcos elétricos e curtos à terra exigem proteção sensível, enquanto no lado de corrente alternada a baixa contribuição de corrente de curto-circuito dos inversores dificulta a atuação de dispositivos tradicionais. Nesse cenário, o uso de relés digitais com funções avançadas se mostra indispensável.

Outro ponto relevante é a necessidade de coordenação entre dispositivos instalados em diferentes níveis, desde os quadros de baixa tensão até os cubículos de média tensão. A elaboração de

A Ciência do **NANO** e seu impacto transformador no **MACRO**

coordenogramas demonstrou que a seletividade pode ser assegurada quando os ajustes são corretamente aplicados, evitando desligamentos indevidos e aumentando a confiabilidade do sistema. Do ponto de vista acadêmico, o estudo contribui como uma metodologia de referência, demonstrando de forma clara como a integração entre simulação, cálculos elétricos e aplicação normativa pode resultar em propostas eficientes para a proteção de usinas fotovoltaicas. Na prática profissional, os resultados obtidos reforçam a necessidade de planejamento criterioso para que a operação dessas usinas seja segura, contínua e eficiente.

Conclusão

Este trabalho apresentou uma proposta de estudo sobre a coordenação e seletividade da proteção em uma usina fotovoltaica de 1,21 MWp, destacando a relevância da correta aplicação de metodologias de ajuste e análise de dispositivos. Os resultados esperados apontam para benefícios significativos em termos de redução de tempos de atuação, preservação de equipamentos e manutenção da continuidade no fornecimento de energia.

Conclui-se que a utilização de ferramentas de simulação aliada às normas técnicas vigentes constitui uma abordagem eficaz para projetos de proteção em sistemas fotovoltaicos. Além disso, a pesquisa reforça a importância de estudos metodológicos na área, servindo tanto como base acadêmica quanto como referência prática para engenheiros eletricitas e projetistas.

De forma simples e objetiva, o trabalho evidencia que a coordenação e a seletividade não apenas aumentam a confiabilidade operacional das usinas, mas também promovem maior integração dessas fontes renováveis ao Sistema Elétrico de Potência de maneira segura e estável.

Referências

SILVA, José Ermani da **Coordenação da Proteção em Sistema Elétrico de Potência Industrial**.

Target (Facilitadores de Informação Engenharia Consultoria), Março 2012.

SILVA, José Ermani da. **Coordenação da Proteção**. Target (Facilitadores de Informação Engenharia Consultoria), Março 2012.

CAMINHA, Amadeu C. **Introdução à Proteção dos Sistema Elétrico**. Professor Livre docente da Escola Federal de Engenharia de Itajubá, Minas Gerais

Agradecimentos

Agradeço à Universidade do Vale do Paraíba (UNIVAP) pelo apoio institucional e ao professor Dr. Alexandre Tardelli pela orientação acadêmica.