



Desafios e Soluções para Testes em Subestações Digitais de Acordo com a Norma IEC 61850

Tema: Sistemas de Controle, Automação e Proteção

Autores: Paulo Sergio Pereira Junior

Co-Autores: Rodolfo Cabral Bernardino; Gustavo Silva Salge; Cristiano Moreira Martins; Gustavo Espinha Lourenço; Paulo Sergio Pereira

Empresa: CONPROVE

Resumo

A implementação de subestações digitais baseadas na norma IEC 61850 está avançando cada vez mais tanto no cenário nacional quanto internacional. Desta forma, criam-se novas necessidades quanto aos procedimentos de testes.

O objetivo deste trabalho será discutir os desafios de se realizar testes nesse contexto e como as novas soluções de ferramentas de testes devem se adequar ao novo paradigma que a norma trouxe.

Será apresentado um estudo de caso referente aos ensaios realizados em um Transformador de Instrumento Óptico Combinado, onde serão avaliados alguns parâmetros do TC e do TP.

1. 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, GOOSE, Cliente-Servidor através do MMS e sincronismo através do Power Profile do Precision Time Protocol (IEEE 1588).

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 TP's convencionais pelos Ópticos 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 TCs Ópticos.

Concomitantemente aos benefícios, a norma IEC 61850 também traz novos desafios relacionados à mudança de paradigma que ela impõe. Numa subestação digital da IEC 61850, o Barramento de Processos, por exemplo, altera o modo como são realizadas as leituras das grandezas de corrente e tensão do sistema de potência. Isso implica em mudar a forma como se trabalha com medições analógicas de secundários de transformadores de instrumentos há décadas, pois as saídas dos TCs e TP's não são mais analógicas, mas sinais digitalizados encapsulados em um frame Ethernet. Assim, existe, naturalmente, um receio desta nova abordagem, da mesma forma como houve na adoção dos relés microprocessados.

Esse receio está relacionado à familiaridade com a nova tecnologia e isso envolve aprender a trabalhar com novas ferramentas de testes e conceitos de Redes de Dados. Torna-se necessário migrar as ferramentas de testes que antes eram habituais, como uma chave de aferição, para ferramentas mais complexas que necessitam estar conectadas numa rede de dados.

A importância de se estruturar os ensaios que serão realizados no SAS é assegurar, de forma sistemática, que os dispositivos de proteção na subestação irão desempenhar suas funções corretamente quando houver uma falta no sistema elétrico. Desta forma, é possível garantir confiabilidade do sistema de proteção, controle e automação da subestação mesmo que entre dispositivos de diferentes fabricantes como proposto pela norma. Para tanto, é necessário que as ferramentas de testes disponíveis no mercado acompanhem toda essa evolução e estejam aptas a realizar ensaios com precisão e segurança gerando confiabilidade nos resultados dos ensaios executados.

O objetivo deste trabalho será realizar uma análise dos desafios de se executar ensaios em uma subestação digital baseada na IEC 61850 e como as ferramentas de testes devem estar inseridas nesta nova conjuntura. Para elucidar, será apresentado um estudo de caso realizado com um Transformador de Instrumento Óptico Combinado no qual foi verificada, entre outros parâmetros, a resposta em frequência do TC e do TP.

2. Desenvolvimento

IMPORTÂNCIA DOS TESTES

Os dispositivos microprocessados possuem constantes atualizações de firmwares. 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 são totalmente plenas, visto que não dão 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.

FERRAMENTAS PARA TESTES NO CONTEXTO DA NORMA IEC 61850

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.

As Figuras 1 e 2, abaixo, fazem uma analogia entre o método clássico analógico de corrente e tensão de secundário e o Barramento de Processos:

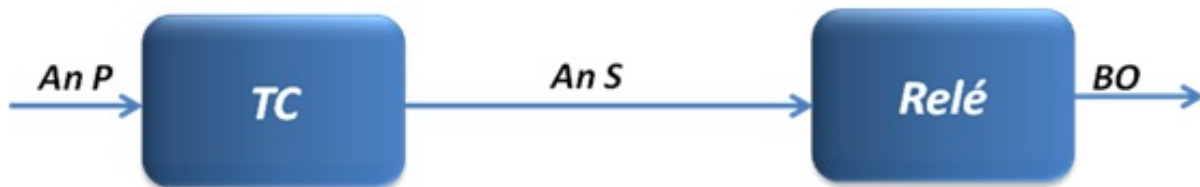


Figura 1 - Método Clássico com Fiação Tradicional de Cobre



Figura 2 - Barramento de Processos / SV

Na Figura 1, é possível observar que para o método clássico há o valor Analógico de Primário (An P) que é convertido pelo transformador de instrumentos para o valor Analógico de Secundário (An S) que chega ao relé onde será medido e poderá resultar no fechamento de uma Binary Output (BO).

Já no barramento de processos, a saída do TC é acoplada à SAMU, responsável por converter o sinal analógico de secundário para digital de acordo com a formatação SV 9-2. Os sinais digitais são entregues ao IED através da rede Ethernet e, dependendo dos valores, o dispositivo poderá alterar o dado de uma mensagem GOOSE, conforme ilustrado na Figura 2.

No que diz respeito aos testes, o Barramento de Processos pode ser abordado de forma segmentada. Os ensaios podem ser divididos em partes, sempre analisando entradas e saídas levando em conta as suas particularidades. Na Figura 3 abaixo, o sistema está dividido e são exemplificadas as diferentes condições de testes.

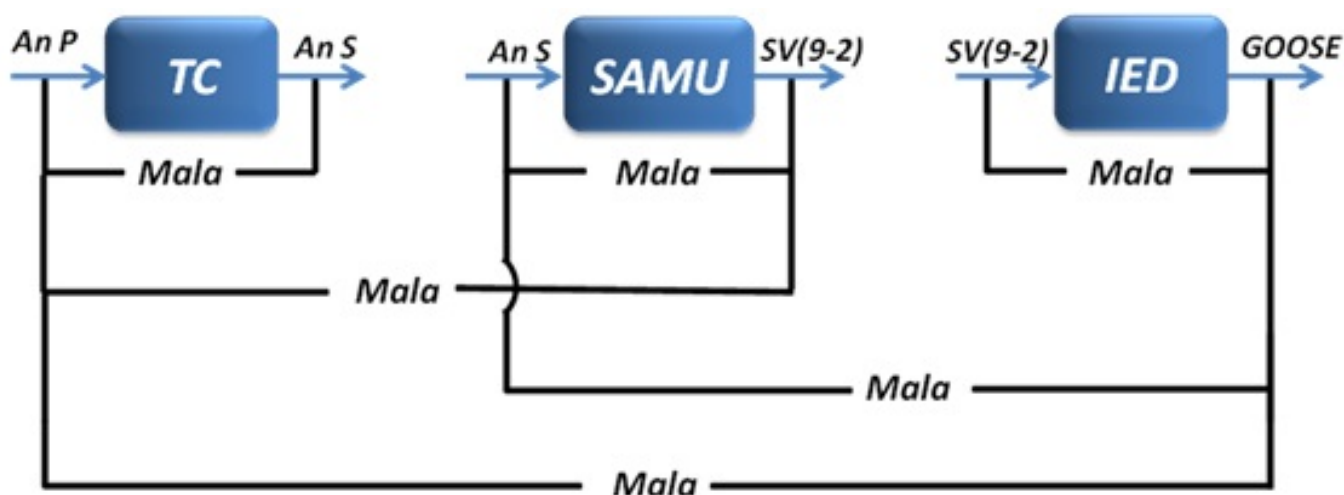


Figura 3 - Sistema Dividido: Exibindo Condições Diversas de Testes

De acordo com o esquema montado, existem 6 opções diferentes de ensaios, sendo que cada abordagem foca um objeto ou conjunto de objetos sob teste. Sendo assim, o equipamento de testes (mala) deverá possuir capacidade de injetar e medir diversos sinais para interagir com o sistema em avaliação, como descrito na Tabela 1 abaixo:

Tabela 1 - Descrição das Condições Diversas de Testes

Dispositivos Testados	Injeção	Medição
TC	Corrente Primário	Corrente Secundário
SAMU	Multiplas Correntes e Tensões de Secundário	SV (9-2)
IED	SV (9-2)	GOOSE
TC + SAMU	Corrente Primario	SV (9-2)
SAMU + IED	Multiplas Correntes e Tensões de Secundário	GOOSE
TC + SAMU + IED	Corrente de Primário	GOOSE

Dependendo do objetivo do teste, a realização do mesmo poderá ser feita de uma ou mais formas. No contexto da norma IEC 61850, as ferramentas de testes devem medir e injetar sinais binários, GOOSE, tensões e correntes analógicas e SV, conforme ilustra a Figura 4 abaixo.

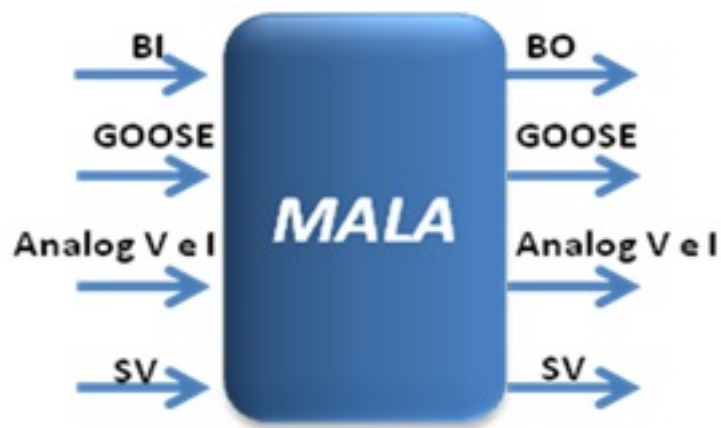


Figura 4 - Estrutura Básica do Equipamento de Testes que Implementa IEC 61850

De acordo com a estrutura de dados da IEC 61850, os equipamentos de testes deverão interagir com a implementação de funções distribuídas verificando os valores e tempos das trocas de informações entre os nós lógicos, situados em dispositivos diferentes, garantindo assim que as trocas de informações estejam ocorrendo e que o tempo esteja conforme o especificado.

Uma das inovações possibilitadas pela IEC 61850 é a quebra dos processamentos através dos Nós Lógicos (Logical Nodes), que são as menores partes de uma função que troca dados. A utilização dos nós lógicos permite o emprego de funções distribuídas, visto que se pode dividir em partes uma função de proteção em dispositivos físicos diferentes, trocando informações entre eles.

Para demonstrar a utilização de nós lógicos, é apresentado na Figura 5 um exemplo retirado da norma. Neste cenário, a função F2 é implementada através dos nós lógicos LN5 localizado no Dispositivo Físico PD2, trocando informações com o nó lógico LN3 localizado no dispositivo físico PD1, que por sua vez troca informações com o nó lógico LN6 situado no dispositivo físico PD3.

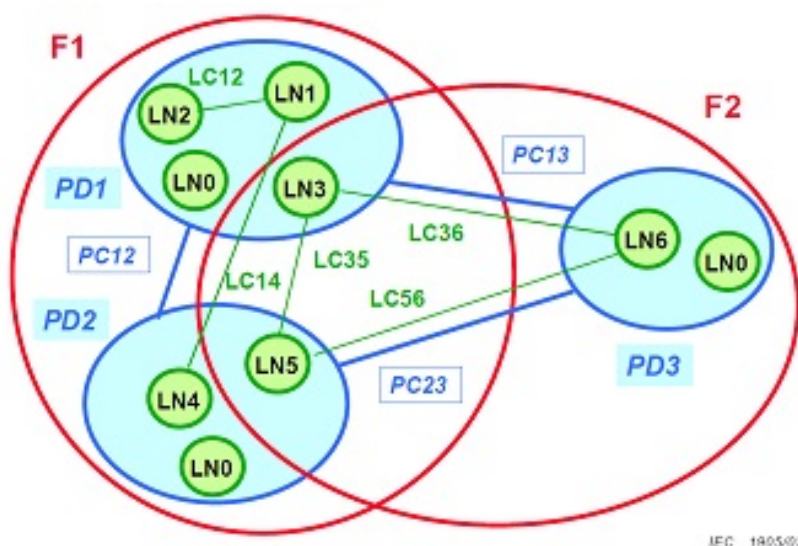


Figura 5 - Exemplo de Função Distribuída

O comissionamento dos IEDs, em geral, ocorre em duas fases: o FAT (*Factory Acceptance Test*) e o SAT (*Site Acceptance Test*).

Dependendo da utilização do IED, do nível de tensão em que será instalado, da importância daquele elemento protegido e da filosofia de cada empresa cliente, os testes podem variar.

Existem diversas formas de testes, entre os mais populares destacam-se três:

- Levantamento da Característica;
- Falta Pontual;
- Reprodução de Transitório.

Levantamento da Característica: consiste em testar vários pontos de operação e não operação até localizar a borda ou utilizar os pontos de testes dentro e fora da condição de operação, margeando-a, para que este limite garanta que o limiar de atuação esteja dentro desta diferença.

Falta Pontual (simulando uma condição de falta): ao injetar condições dinâmicas com valores RMS de Corrente e/ou Tensão de falta, verifica-se se há ou não atuação do relé, porém não se investiga a característica.

Reprodução de Transitório: através de Softwares de Simulação de Transitório, tais como PS Simul ou ATP, arquivos COMTRADE ou até mesmo no software da mala de testes que modele o sistema com condições reais e crie a forma de onda transitória de uma condição de falta.

Quando se trata de testes com a norma IEC 61850, é importante citar a norma IEC 61869. Lançada em 2016, esta é uma norma sobre Transformadores de Instrumento (TI), com quinze partes que definem os requerimentos para TCs e TPs. Em sua Parte 9 são tratadas as Interfaces Digitais para Transformadores de Instrumentos.

Ela é a substituta da norma IEC 60044-8 que foi utilizada como referência para a IEC 61850 na parte da estrutura do dataset dos valores amostrados. Desta forma a norma IEC 61869-9 é complementar a IEC 61850.

A norma 61869-9 possui forte embasamento no Guia de Implementação da UCA (Light Edition), incorporando para o interior da norma várias de suas definições, visando assim manter a compatibilidade com o que vem sendo adotado hoje.

Em seu item 7 a IEC61869-9 descreve algumas possibilidades de teste com os LPITs (*Low Power Instrument Transformers*):

Os testes mais relevantes são:

- Frequency Response Test (Resposta em frequência);
- Max Delay Time (Tempo de atraso da digitalização);
- Loss of Synchronization Test (Perda do Sincronismo);
- 1 PPS Test (Sinal de Sincronismo, se for o caso 1PPS);
- Accuracy Test (Precisão).

ESTUDO DE CASO: ENSAIO COM TRANSFORMADOR ÓPTICO

Foram realizados testes funcionais em laboratório com o LPIT GE Grid CMO, que é um TI combinado, ou seja, TP e um TC na mesma coluna, e a Merging Unit XMU, utilizando a mala de testes CONPROVE CE-7012 juntamente com as soluções de softwares: CTC (Conprove Test Center) e MultimSV.

Realizaram-se verificações de primário, nos sensores, através de testes de:

- Linearidade;
- Resposta em frequência com diferentes componentes harmônicos e porcentagens da fundamental;
- Resposta do sensor para aplicações de sincrofasores.

Realizaram-se verificações de secundário, na XMU, que estava sincronizada por PTP, através de testes de:

- Formato do frame SV;
- Cálculo do erro da relação de TP e TC;
- Tempo de digitalização;
- Erros da rede: pacote corrompido, pacote duplicado, pacote fora de ordem e perda de pacotes.

TESTE DE RESPOSTA EM FREQUÊNCIA DO TP:

Para realizar o teste de resposta em frequência do TP, foi considerado o secundário e analisou-se a medição através da oscilografia do IED e do software CONPROVE MultimSV. A Figura 6 abaixo ilustra a estrutura do teste:

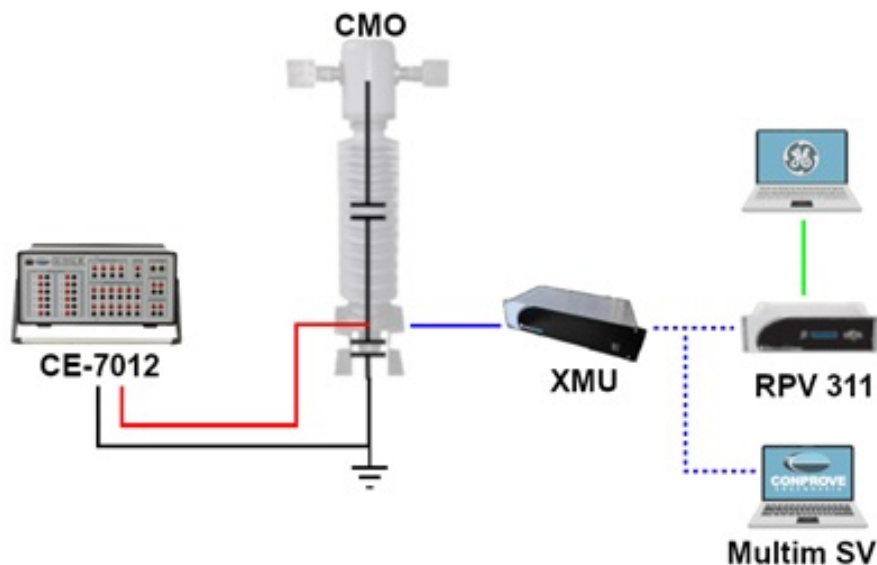


Figura 6 - Estrutura do Teste de Resposta em Frequência do TP

Como resultados, foi possível observar que a atenuação foi inferior a 10% do valor do harmônico injetado até a 23ª ordem, considerando o ponto de medição do divisor capacitivo do CMO para a saída digital. A amplitude da fundamental foi de 200V RMS e 10% em cada harmônica. O gráfico na Figura 7 abaixo demonstra o resultado:

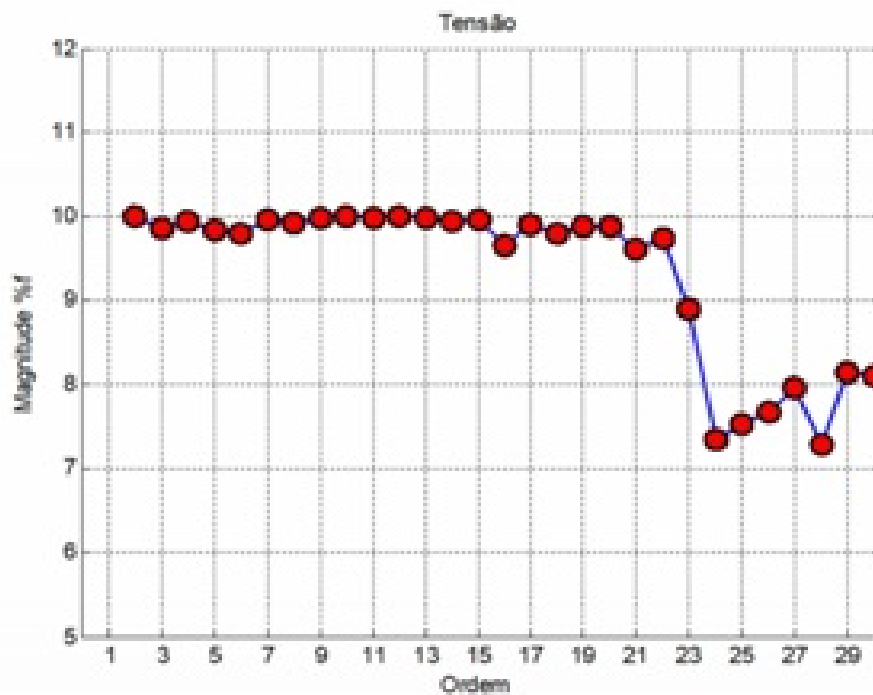


Figura 7 – Resultados de Atenuação no Teste de Resposta em Frequência do TP

Com relação aos resultados da linearidade harmônica de tensão, foram consideradas a amplitude da fundamental de 200V RMS e harmônicas de 3ª, 13ª e 23ª ordens, com 20%, 30%, 40% e 50% da fundamental. Na ordem 23, foi considerada a tensão nominal de 100V RMS. A Figura 8 abaixo demonstra os resultados:

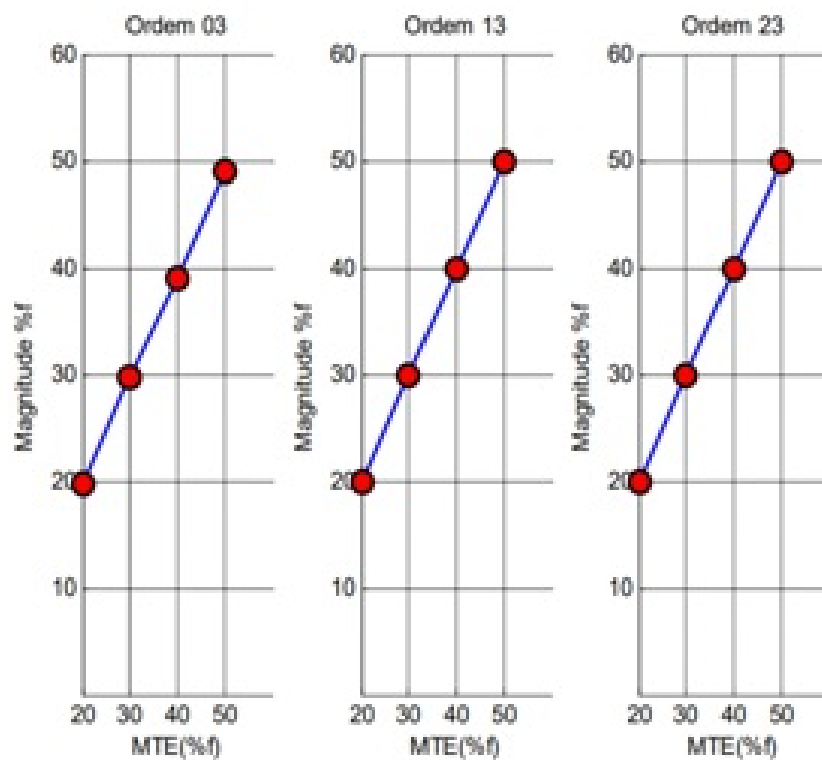


Figura 8 - Resultados da Linearidade Harmônica de Tensão no Teste de Resposta em Frequência do TP

TESTE DE RESPOSTA EM FREQUÊNCIA DO TC

Para realizar o teste de resposta em frequência do TC, foi considerado o primário e analisou-se a medição através da oscilografia do IED e do software CONPROVE MultimSV. O sistema foi sincronizado por PTP. A Figura 9 abaixo ilustra a estrutura do teste:

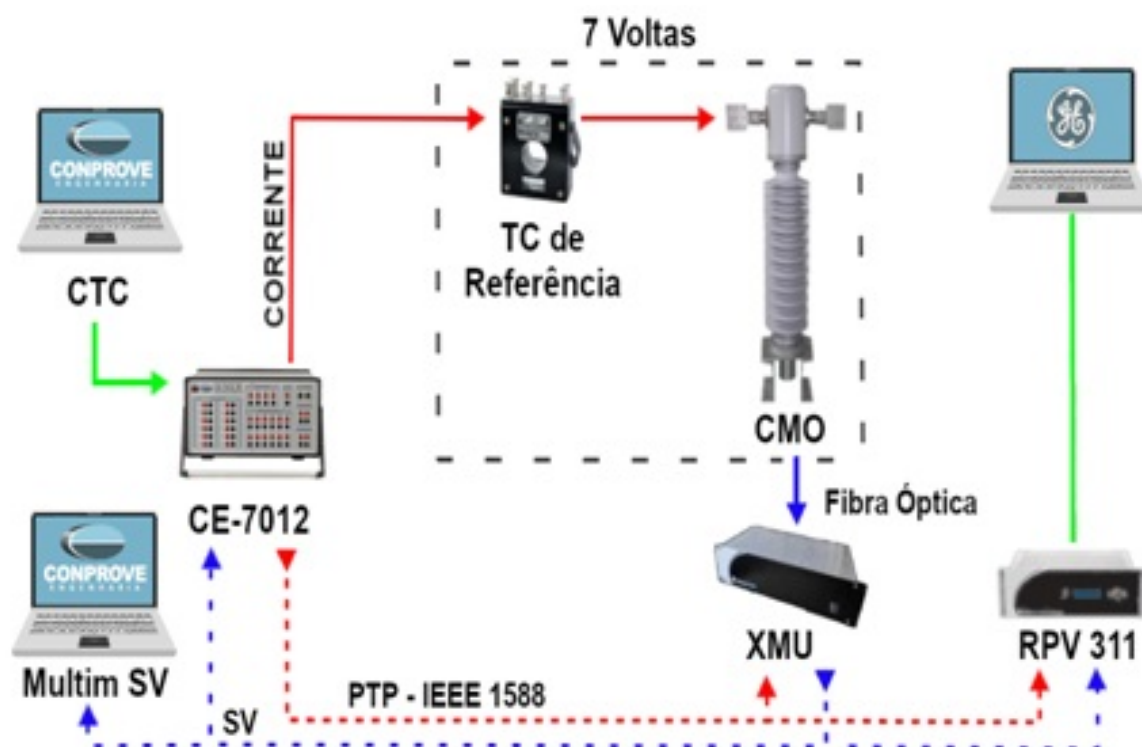


Figura 9 - Estrutura do Teste de Resposta em Frequência do TC

Como resultados, foi possível observar que não foram detectadas atenuações superiores a 5% até a 29ª harmônica. A amplitude da fundamental foi de 210A RMS e 10% em cada harmônica. O gráfico na Figura 10 abaixo demonstra o resultado:

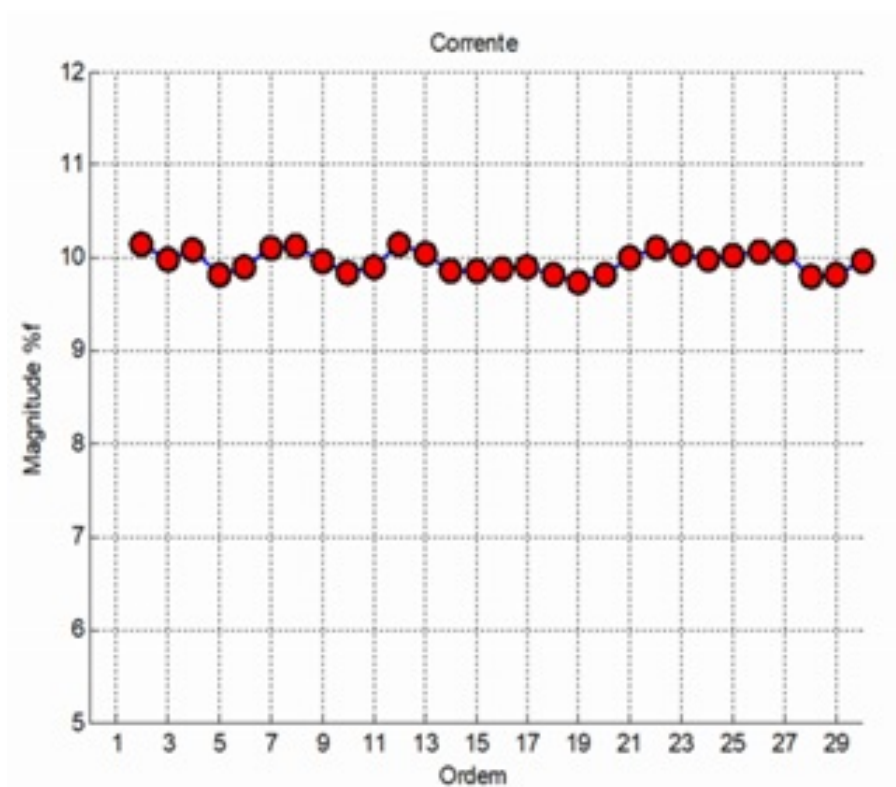


Figura 10 - Resultados de Atenuação no Teste de Resposta em Frequência do TC

Com relação aos resultados da linearidade harmônica de corrente, foram consideradas a amplitude da fundamental de 210A RMS e harmônicas de 3ª, 13ª e 23ª ordens, com 20%, 30%, 40% e 50% da fundamental. Na ordem 23, foi considerada a corrente nominal de 70A RMS. A Figura 11 abaixo demonstra os resultados:

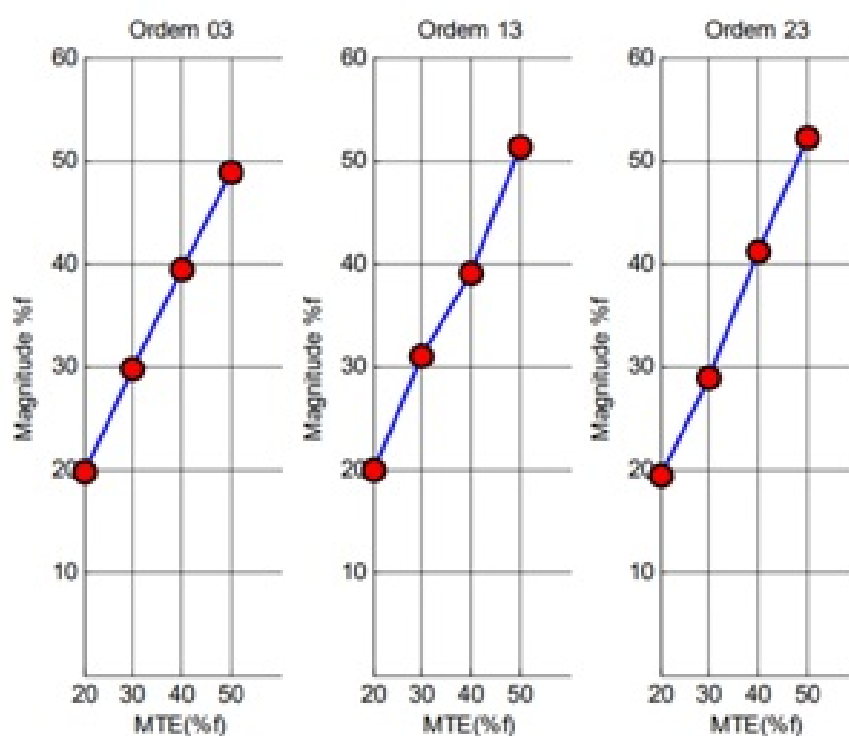


Figura 11 - Resultados da Linearidade Harmônica de Corrente no Teste de Resposta em Frequência do TC

3. Conclusão

Através deste trabalho foi possível explorar os desafios de se realizar ensaios em uma subestação digital no contexto da norma IEC 61850, sendo que as soluções de ferramentas de testes devem acompanhar essa tendência e atendê-la de forma integral.

Foram apresentados os tipos mais relevantes de testes com a norma e de que forma as ferramentas de testes devem implementar as novas funcionalidades que a IEC 61850 exige.

Também, foi apresentado um estudo de caso com o ensaio de um Transformador de Instrumento Óptico Combinado onde foi avaliado o teste de resposta em frequência do TC e do TP.

Assim, espera-se ter contribuído com a disseminação da importância de se realizar testes no universo da IEC 61850 no contexto de uma subestação totalmente digital para garantir segurança, confiabilidade e economia financeira, colaborando, assim, com a implementação da norma.

4. Referências bibliográficas

- [1] Implementation Guideline for Digital Interface to Instrument Transformers Using IEC 61850-9-2 – UCA International Users Group – 01/03/2004.
- [2] Norma IEC 61850-9-2: Specific Communication Service Mapping (SCSM) – Sampled Values over ISO/IEC 8802-3.
- [3] Norma IEC 61869-9: Digital Interface for Instrument Transformers.
- [4] Ensaios Envolvendo a Implementação Integral da Norma IEC 61850 - Pereira Junior, P. S.; Ramos, R. R.; Martins, C. M.; Pereira, P. S.; Lourenço, G. E.- XV ERIAC, 2013.
- [5] Como Testar um Transformador Óptico Combinado de Corrente e Tensão para Subestações Digitalizadas AC - João Jesus; Paulo Junior; Luis L'aiglon Martins; José Eduardo Junior; João Pestana - XV STPC, 2021.