



## IX Seminário Técnico de Proteção e Controle

1 a 5 de Junho de 2008

Belo Horizonte – Minas Gerais – Brasil

### A Importância dos Testes Funcionais e de Interoperabilidade para a Integração de Sistemas de Proteção e Automação Utilizando a Norma IEC61850

<b>A. Cascaes Pereira*</b>	<b>M. E. C. Paulino</b>	<b>I. P de Siqueira</b>
<b>UERJ/ONS</b>	<b>ADIMARCO</b>	<b>CHESF</b>
<a href="mailto:allancascaes@terra.com.br">allancascaes@terra.com.br</a>	<a href="mailto:marcelo@adimarco.com.br">marcelo@adimarco.com.br</a>	<a href="mailto:Iony@tecnix.com.br">Iony@tecnix.com.br</a>
<b>D. Cáceres</b>		<b>G. B. Rosas</b>
<b>KEMA</b>		<b>ARTECHE</b>
<a href="mailto:David.caceres@kema.com">David.caceres@kema.com</a>		<a href="mailto:gbr@artech.com.br">gbr@artech.com.br</a>

#### Palavras-chave

Norma IEC 61850, Testes Funcionais, Testes de Interoperabilidade, Sistemas Integrados de Proteção e Automação, Rede Integrada de IEDs de Proteção

#### Resumo

O presente trabalho enfoca o desenvolvimento de procedimentos para os testes funcionais e de interoperabilidade e a preparação de métodos de avaliação de desempenho de funcionalidades de um conjunto de IEDs (Intelligent Electronic Devices), à luz da norma IEC 61850. O sistema sob teste considerado corresponde a um conjunto de IEDs de proteção, controle e automação, de fabricantes diversos, interligados por uma rede LAN (Local Area Network), constituindo o futuro Laboratório de Proteção Elétrica da Universidade do Estado do Rio de Janeiro – LAPE UERJ.

Serão apresentados e analisados os procedimentos previstos para os testes funcionais e de interoperabilidade a serem realizados, considerando-se que cada IED terá sido prévia e individualmente testado pelo fabricante ou por uma terceira parte, sob os aspectos funcionais, de interoperabilidade e de conformidade com a norma IEC61850.

O ambiente de teste deverá ser capaz de gerar e analisar as diversas mensagens trocadas pelos IEDs, incluindo as mensagens verticais, entre os IEDs e a interface homem máquina (IHM), no modo cliente-servidor, assim como as mensagens horizontais de alta velocidade - GOOSE (Generic Object Oriented Substation Event), no modo editor-assinante. Será, inclusive, verificado o desempenho das diversas funções distribuídas, em diferentes condições da rede, incluindo aquelas com fluxo de dados muito elevado ou com ruído intenso na rede LAN.

#### 1.Introdução

A principal vantagem que nos oferece a norma IEC 61850 é a facilidade de expansão dos Sistemas de Automação de Subestações (SAS), em razão da característica de interoperabilidade entre os IEDs interligados, o que reduz drasticamente o custo das expansões. Entretanto, simplesmente incluir na

especificação do sistema a necessidade de ser compatível com a norma está longe de ser suficiente para garantir sua expansão futura sem problemas.

O trabalho de desenvolvimento do software interno de um IED de proteção, controle e automação envolve tarefas de extrema complexidade, sendo feito por equipes especializadas que poderão interpretar ou implementar certos detalhes definidos na norma de maneira diferente de outras equipes. Há também a possibilidade de que certas aplicações específicas não tenham sido consideradas pela norma.

A especificação do SAS, além de requerer que o mesmo seja compatível com a norma IEC 61850, deve fornecer um mínimo de definições que são fundamentais para facilitar as expansões futuras. Entre estas definições, podemos citar: a identificação precisa dos equipamentos primários indicada no diagrama unifilar, o grau de redundância desejado para a proteção e a rede LAN (alternativamente, pode-se fornecer o índice de confiabilidade desejado), a lista das funcionalidades que serão utilizadas, juntamente com sua descrição sucinta, informações sobre o desempenho das funções (tempo de resposta etc.), além de outras.

Por outro lado, mesmo que cada IED tenha sido exaustivamente submetido aos testes de conformidade com a norma, a probabilidade de que dois ou mais IEDs não consigam interoperar para certas aplicações não deve ser desconsiderada, principalmente durante os primeiros anos de aplicação da norma ou sempre que for desejado o emprego de uma nova aplicação.

Como consequência, a realização de testes funcionais e de interoperabilidade envolvendo um conjunto integrado de IEDs, de preferência, em ambiente comercialmente neutro, é fundamental para garantir a expansibilidade do sistema com IEDs de fabricantes diferentes daquele que forneceu a instalação inicial.

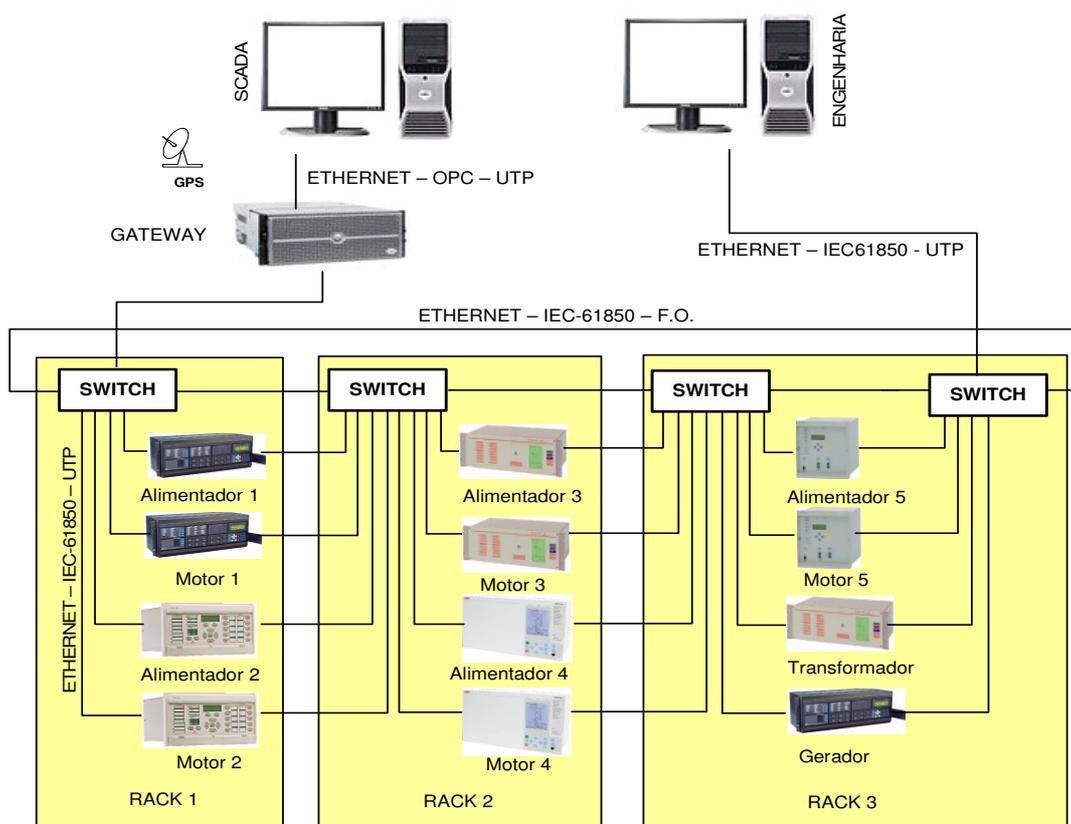
## **2. Características do LAPE UERJ e da Rede LAN**

O Laboratório de Proteção Elétrica da Universidade do Estado do Rio de Janeiro – LAPE UERJ será constituído por um conjunto de aproximadamente 12 IEDs de proteção e automação, de fabricantes diversos, ligados por uma rede LAN de fibra ótica de 10/100 Mbps ou 100/1000 Mbps, configurada para operar segundo a norma IEC 61850. Será utilizada a topologia em anel para a rede LAN. O número de *switches* e a topologia para as conexões de cada IED até as mesmas estão indicados na Figura 1. No nível estação serão utilizados um IHM SCADA e uma estação de engenharia, ambos com protocolos específicos. Na fronteira entre a rede LAN e os equipamentos no nível estação serão usados dois servidores com a função de *gateways*. A sincronização de tempo recomendada é o IRIG-B, devido a sua maior precisão em relação à oferecida pela rede Ethernet.

As seguintes funcionalidades estão previstas para serem implementadas: intertravamentos, transferência automática de fontes com ou sem paralelismo momentâneo, sincronismo entre fontes, seletividade lógica (bloqueio reverso), esquema de falha de disjuntor, descarte automático de cargas (*load shedding*), partida, parada e reaceleração de motores, controle de geração, além das funções de medição, sinalização, alarme, registro seqüencial de eventos, supervisão do circuito de disparo do disjuntor e oscilografia.

Uma vez que as redes de comunicação passarão a ter um papel de muito maior importância dentro do sistema de proteção e automação, a escolha dos componentes da rede (*switches*, roteadores, cabos de comunicação etc.) e a sua topologia deverá ser muito mais cuidadosa, devendo ser selecionados equipamentos com baixíssimo MTBF (tempo médio entre falta), adequados a ambientes com grande interferência eletromagnética e aptos a trabalhar com os sinais de alta velocidade (GOOSE, GSSE) previstos na norma IEC 61850. Outras características desejáveis para os componentes da rede, em especial as *switches*, é sua flexibilidade para a formação de redes virtuais (VLANs) e a possibilidade de trabalhar com topologia em anel. Para evitar a formação de *loops* indesejados e, ao mesmo tempo,

poder reconfigurar rapidamente o anel em caso de falha de uma das rotas, deve ser utilizado o algoritmo Rapid .Spanning Tree, que tem um tempo de reconfiguração de 5 ms.



**Figura 1 – Configuração Proposta para o Laboratório IEC 61850 da UERJ**

### 3. Informações Sobre a Norma IEC 61850

Esta norma foi desenvolvida tendo como objetivos principais permitir a integração dos diversos dispositivos de uma subestação através de uma rede de comunicação única utilizando linguagem padronizada, atendendo aos requisitos funcionais e de desempenho. Esta linguagem padronizada deverá assegurar interoperabilidade entre os IEDs da subestação.

Um outro motivo é permitir um melhor aproveitamento dos recursos oferecidos pelos IEDs, possibilitando uma drástica redução da cablagem e dos pontos de interface e, em consequência, diminuindo substancialmente os tempos e custos associados à configuração, instalação, comissionamento e manutenção. A norma deve ainda suportar desenvolvimentos tecnológicos futuros sem requerer alterações significativas no *software* e *hardware* do SAS.

Para alcançar os objetivos acima, o novo padrão utiliza abordagem orientada a objeto e subdivide as funções em objetos denominados **nós lógicos** que se comunicam entre si.

A Norma IEC 61850 define modelos de objetos, serviços, testes e protocolos padronizados para garantir níveis mais altos de interoperabilidade entre IEDs, incluindo as aplicações. Representa mais do que um novo protocolo de comunicações. É, na verdade, um novo estágio tecnológico na área de proteção e automação. Padroniza características como: aplicação de Modelos de Objetos, Serviços abstratos (ACSI): relatórios, controles, mapeamento das informações para TCP/IP e Ethernet, Uso da Linguagem de Configuração de Subestação (SCL), Testes de Conformidade etc.

São considerados três níveis hierárquicos na subestação: nível **estação**, nível **vão** e nível **processo**. As comunicações podem ser verticais, realizadas entre níveis hierárquicos diferentes, ou horizontais, que ocorrem dentro do mesmo nível.

É importante mencionar que o desenvolvimento de um SAS com o uso da norma IEC 61850 representa um grande desafio, uma vez que requer uma mudança de tecnologia para a execução das atividades de configuração, colocação em serviço e manutenção destes sistemas. Para que estas atividades possam ser realizadas com correção e com menor consumo de tempo, deverão ser usadas ferramentas computacionais específicas, utilizando linguagem SCL.

Os testes que serão realizados sobre o SAS deverão considerar como documento básico a especificação técnica do sistema. Por esta razão, é fundamental que este documento defina, de maneira clara e tão completa quanto possível, quais requisitos devem ser atendidos e quais funcionalidades são realmente necessárias para se obter uma operação ótima do sistema de potência. É também necessário fornecer informações sobre o desempenho esperado do sistema de proteção e automação e sobre a confiabilidade requerida, isto é, sobre o grau de tolerância a falha a ser adotado.

Na fase de especificação, cada IED receberá um nome que deverá relacioná-lo ao vão e disjuntor correspondentes e ter o menor número de caracteres possível para não sobrecarregar as bases de dados. É fundamental que os nomes dos dados e dos nós lógicos sejam definidos já nesta fase e que os mesmos sejam compatíveis com todos os IEDs. Lembrar que estes nomes não são configuráveis. O número de clientes que, preferencialmente, não deve ultrapassar 6, também deve ser definido na fase de especificação,

#### 4. Testes de Conformidade

A norma IEC 61850, em sua Parte 10, estabelece os requisitos para os testes de conformidade a serem realizados em um IED. O objetivo destes testes é verificar se o dispositivo sob teste (*Device Under Test* – DUT) obedece aos requisitos de comunicação definidos pela norma IEC 61850. No presente trabalho admite-se que os testes de conformidade para cada um dos IEDs que fazem parte do SAS são da responsabilidade do respectivo fabricante e, em geral, são realizados por uma organização independente. O certificado de homologação deve ser fornecido como parte da documentação do IED.

Para realizar os testes de conformidade e os testes funcionais de funções não distribuídas é necessário dispor de um conjunto de teste adequado, incluindo, pelo menos um equipamento de teste baseado na norma IEC 61850, uma rede Ethernet, um computador e as ferramentas computacionais necessárias. A Figura 2 mostra as conexões que devem ser realizadas.

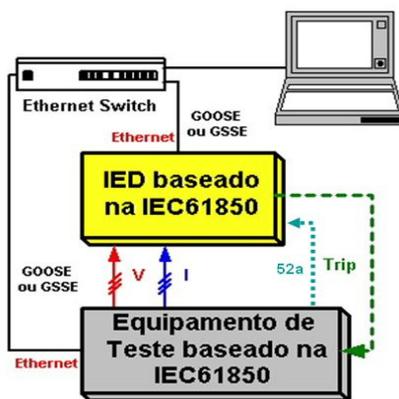


FIGURA 2 - Equipamentos Para a Realização de Testes de Conformidade e Funcionais

O equipamento de teste deve ser capaz de simular a comunicação vertical, como por exemplo, as informações de configuração e operacionais (SCADA), transferidas no modo cliente-servidor, assim como a comunicação horizontal, incluindo as mensagens GOOSE ou GSSE, no modo editor-assinante (*publisher-subscriber*). O editor realiza publicações de mensagens, ou seja, envia para o IED sob teste mensagens GOOSE. O assinante realiza subscrições, ou seja, recebe e armazena as mensagens enviadas pelo IED editor, avaliando o estado dos atributos nessas mensagens.

O sistema de teste deve ser composto por um equipamento capaz de simular o processo de um SAS, com fontes de corrente e de tensão e simulação de comandos do processo (bobina de disparo do disjuntor, estado do disjuntor e chaves, etc.). Este equipamento também deve possuir comunicação Ethernet para interagir com a rede LAN sob teste. Ainda fazem parte do sistema os *switches* para conexão dos componentes do sistema de teste simulando a rede LAN do SAS e um conjunto de ferramentas de teste para análise e simulação, em linguagem SCL.

O software (ou ferramenta computacional) de teste, certificado previamente na emissão de mensagens que sejam conformes com a norma IEC 61850, deve incluir as seguintes características:

- Implantação de todos os serviços e protocolos IEC 61850 para os quais o DUT deverá ser verificado, além de extensões de teste especiais, tais como, a capacidade de enviar mensagens corrompidas, de forma intencional;
- Função de registro para reconhecer, armazenar e fazer *playback* de todas as respostas do DUT
- Capacidade de *script* para configurar uma execução automática da transmissão de mensagens de estimulação de teste e verificação das respostas. Os *scripts* devem incluir testes positivos (comportamento correto de mensagens e respectivas respostas) e testes negativos (comportamento não esperado causado por mensagens erradas)
- Capacidade de análise para mostrar os resultados corretos e os inesperados, facilitando a verificação de problemas ou respostas incorretas.

Deve se enfatizar que não é prático nem possível testar cada variação de cada tipo de mensagem que poderia ser trocada com todos os demais IEDs de um SAS para os serviços e objetos sob teste, uma vez que o número de possibilidades é muito grande e cresce exponencialmente com o número de IEDs.. O que é prático e pode ser realizado de forma realista, é estabelecer *scripts* de cenários de teste que possuam uma alta probabilidade de apresentar algum problema e que representem as condições mais desfavoráveis esperadas. As situações de tráfego carregado poderão ser simuladas por um computador adicional conectado à rede.

É sempre recomendável realizar o Teste de Conformidade antes da integração do sistema a fim de descobrir, ainda em tempo, possíveis diferenças de interpretação e possíveis erros de software, bem como a exata funcionalidade da implementação do protocolo. Desta forma, o cliente que está adquirindo o SAS evitará comportamentos inesperados na fase operacional e poupará tempo e dinheiro nas fases de implementação e manutenção do sistema.

Antes que o teste seja iniciado é necessário efetuar os ajustes e a parametrização do IED de proteção e a configuração da rede de IEDs segundo o padrão IEC 61850. Muitos fabricantes utilizam o próprio *software* de ajuste e parametrização do relé para realizar a configuração da rede.

O Teste de Conformidade deve incluir a verificação da seguinte documentação: controle de versão, conforme IEC 61850 Parte 4; arquivo PICS – (*Protocol Implementation Conformance Statement*), que corresponde ao resumo das possibilidades de comunicação do IED ou SAS a ser testado; arquivo MICS – (*Model Implementation Conformance Statement*), que detalha o padrão dos elementos do objeto de dados suportado pelo IED ou SAS a ser testado; arquivo PIXIT – (*Protocol Implementation esXtra Information for Testing*), que contém informações específicas relativas ao IED ou SAS a ser testado e que estão fora do escopo da norma; Configuração (SCL), conforme IEC 61850 Parte 6; modelo de objeto de dados, conforme IEC 61850 Partes 7-3 e 7-4; serviços de comunicação, conforme IEC 61850 Partes 7-2, 8-1, 9-1 e 9-2.

## **5. Testes Funcionais e de Interoperabilidade**

Para o teste de interoperabilidade devem ser conectados à LAN dois ou mais IEDs, devendo ser geradas e transmitidas mensagens no padrão IEC 61850. Para isto, o equipamento de teste deve ser capaz de simular estas mensagens. Quando possível, uma solução mais realista será utilizar os próprios

equipamentos do SAS para gerar as mensagens, desde que se disponha de um analisador compatível com a norma IEC61850, capaz de analisar as mensagens GOOSE e demais mensagens geradas pelos IEDs. Uma abordagem típica de um teste de interoperabilidade estruturado inclui pelo menos o seguinte:

- Teste de interoperabilidade da LAN Ethernet (que pode ser dividida em varias redes virtuais – VLAN - para melhorar o desempenho): verificação da distribuição das mensagens GOOSE restritas a uma VLAN e assim verificar a configuração dos *switches* Ethernet.
- Teste de interoperabilidade do controlador da subestação (HMI), incluindo relatórios dos conjuntos de dados (*datasets*) configurados, envio de mensagens GOOSE, controle dos equipamentos de manobra da subestação (com intertravamento), e transferência dos arquivos de distúrbios (oscilografia, relatórios de faltas, registro sequencial de eventos etc.)
- Teste de interoperabilidade dispositivo a dispositivo: verificação da recepção das mensagens GOOSE enviadas durante o teste anterior de interoperabilidade
- Teste de interoperabilidade de *gateway*: verificação de alguma variação entre os pontos de dados e de controle expostos via IEC 61850 e o interface de comunicação IEC 60670-5-104 ou 101 (ou outro protocolo utilizado para comunicação com o Centro de Controle).
- Teste de interoperabilidade das funções de vão: verificação das funções de proteção de cada tipo de vão;
- Teste de interoperabilidade de funções entre vãos: verificação das funções distribuídas de proteção e automação (como falha de disjuntor, proteção de barra e intertravamento)
- Teste de interoperabilidade das funções entre os níveis vão e subestação: verificação das funções de supervisão e controle.

Considera-se que cada IED tenha sido previamente testado com relação à conformidade com a norma e os requisitos funcionais e que a operação das funções não distribuídas tenha sido também previamente verificada, sendo observadas as mensagens geradas e recebidas pelo IED relativamente a sinais de status, comandos, alarmes e informações para a interface homem máquina (IHM).

O teste deve começar pela montagem e configuração dos equipamentos da rede, incluindo as *switches*, roteadores, *gateways* e demais equipamentos associados. Deve-se, então, configurar as bases de dados do IHM e demais equipamentos no nível estação e iniciar os testes de comunicação.

Utilizando-se uma ferramenta computacional em linguagem SCL e incluindo as informações sobre a configuração e funcionalidades do SAS e características da rede de comunicação, obtém-se um arquivo que representa todo o SAS, o qual é denominado arquivo SSD (*System Specification Description* ou descrição da especificação do sistema).

Por outro lado, as diversas possibilidades e funcionalidades disponíveis em um determinado IED são representadas nesta linguagem através do arquivo ICD (*IED Capability Description* ou descrição das capacidades do IED), o qual é preparado pelo fabricante do IED e entregue como parte do fornecimento.

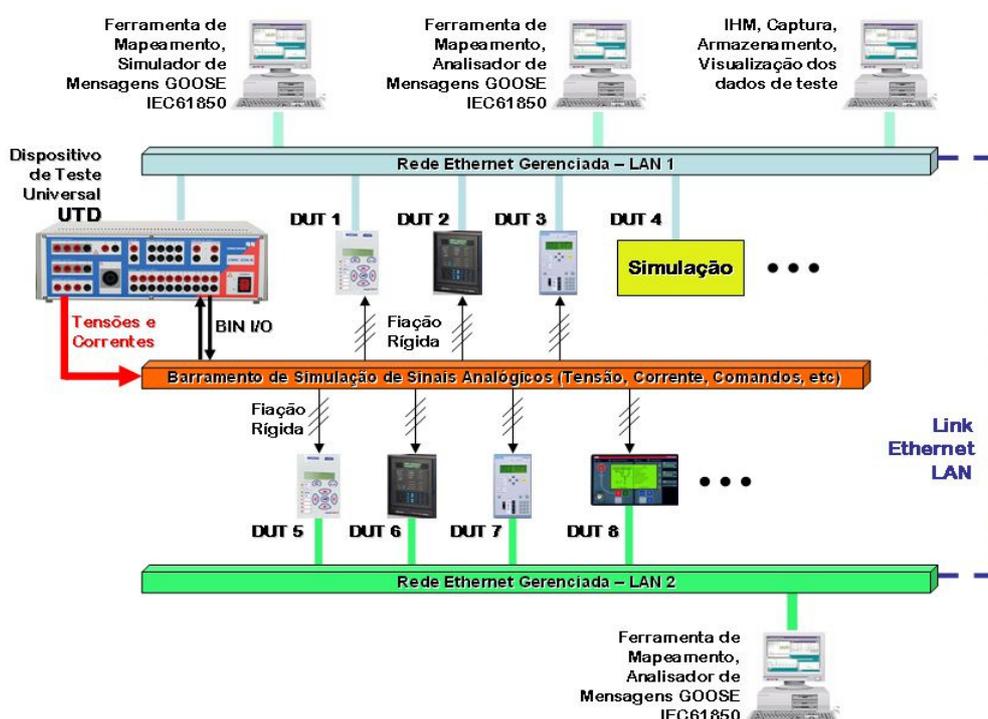
O arquivo SSD, juntamente com os arquivos ICD dos diversos IEDs, configurados, através do emprego de outra ferramenta de engenharia, dá origem ao arquivo SCD (*Substation Configuration Description* ou descrição da configuração da subestação). Este arquivo é o correspondente digital do conjunto de diagramas esquemáticos e lógicos de uma subestação e deve ser arquivado como parte da documentação desta subestação para consultas pelo pessoal de manutenção e para possibilitar futuras expansões. O arquivo de cada IED, depois de configurado para um projeto específico, passa a ser denominado arquivo CID (*Configured IED Description* ou descrição da configuração do IED) daquele IED.

Diante da grande complexidade representada por um SAS com funções distribuídas, sugere-se começar pelas situações mais simples e ir aumentando, pouco a pouco, o grau de complexidade. Como

exemplo, pode-se simular uma falta envolvendo dois ou mais IEDs de proteção ou controle e analisar as mensagens trocadas por estes IEDs, incluindo as mensagens verticais para o IHM (status, alarmes e comandos) e as mensagens horizontais (GOOSE ou GSSE). Cada uma das funções distribuídas deve ser testada, simulando-se as diversas situações que possam ocorrer. Os IEDs futuros, ou aqueles que não estiverem disponíveis por ocasião do teste, podem ser simulados por uma ferramenta computacional adequada.

A função oscilografia dos IEDs de proteção deve ser tornada operacional logo no início dos testes pois poderá ser um elemento de auxílio na análise do tempo de operação de cada unidade dos relés.

Um conjunto de IEDs conectados a uma rede LAN, juntamente com simulador de mensagens GOOSE, analisador de protocolo, IHM, armazenamento, captura e visualização dos dados de teste, além de uma fonte controladora e geradora dos sinais analógicos, está mostrado na Figura 3. O equipamento de GPS (*Global Position System*), embora não mostrado, também faz parte do conjunto.



**FIGURA 3 – Sistema Para Teste de Interoperabilidade de Vários IEDs**

Mesmo considerando que todos os IEDs componentes de um SAS foram aprovados nos testes de conformidade de responsabilidade do fabricante, poderão ocorrer diferenças entre IEDs que irão dificultar os testes de interoperabilidade. É importante lembrar que a realização dos testes funcionais e de interoperabilidade no ambiente controlado de um laboratório é muito superior à busca de defeitos e sua correção no campo. No laboratório, os testes são feitos passo a passo e se dispõe de ferramentas computacionais de análise que facilitam a identificação de problemas. No campo, poderão aparecer defeitos simultâneos, que irão dificultar muito sua localização e reparo, podendo prolongar de forma não controlada o prazo de realização dos testes de campo.

## 6. Testes de Desempenho do Sistema de Comunicação

Os testes de desempenho de um SAS destinam-se a verificar se o desempenho de cada função se mantém dentro dos limites especificados, mesmo quando a rede de comunicação é submetida a condições críticas de tráfego de mensagens ou ruído. Durante os testes de desempenho são verificados os tempos máximos de operação de funções, assim como os tempos máximos que cada mensagem

(especialmente as mensagens GOOSE) irá levar desde sua geração em um IED até que seja recebida pelos IEDs subscritores que irão utilizar a informação.

De modo a se representar as situações mais desfavoráveis ou de maior *stress* na rede deve-se considerar a simulação de falhas que evoluam para incluir multiplas zonas de proteção na subestação, juntamente com falhas de disjuntor. O teste deve mostrar se a LAN pode operar corretamente durante as avalanches de mensagens GOOSE nesta situação, com todas as funções e interações dos IEDs.

A IEC 61850 Parte 10 requer o teste de tempos de resposta das solicitações de objeto de controle de cliente. Também descreve a metodologia para verificação da sincronização de tempo utilizando os serviços SNTP ou IRIG-B especificados na IEC 61850, se suportados nos DUT.

## **7. Conclusão**

A utilização de IEDs baseados na norma IEC 61850 requer o emprego de novos equipamentos e metodologias de teste. O uso da linguagem SCL para os IEDs de uma subestação permite o desenvolvimento de novas ferramentas computacionais e a adaptação de outras já existentes, facilitando enormemente e automatizando a realização dos testes. Através desta linguagem, os IEDs podem se auto-descrever. Dessa forma, ocorre uma acentuada diminuição da quantidade de erros decorrentes do trabalho de configuração manual.

Além dos testes de conformidade de cada IED específico, os testes do SAS completo, incluindo IEDs de diferentes fabricantes interligados por uma rede de comunicação, deve ser realizado em laboratório, de modo a identificar e corrigir possíveis problemas, tornando mais rápida a fase de testes de campo e o início da operação do SAS.

Tendo em vista a importância e complexidade do assunto, os autores chamam a atenção para a necessidade de preparação adequada dos técnicos e engenheiros que estarão envolvidos com as áreas de proteção, controle e automação de subestações, comunicação e sistemas de computação para que o padrão IEC 61850 possa ser mais rapidamente assimilado e utilizado nas diversas aplicações. Às Universidades cabe um importante papel neste processo.

## **4. Referências bibliográficas**

- (1) International Standard IEC 61850 – Communication Networks and Systems in Substations – Part 10: Conformance Testing, 2005
- (2) VANDIVER, B. and APOSTOLOV, A. – Functional Testing of IEC 61850 Based Substation Automation Systems - CIGRÉ SC B5 Colloquium, Calgary, CA, 2005
- (3) PAULINO, M. E. C. – Testes de IEDs Operando Com Redes de Comunicação Baseados na IEC 61850 –XII ERIAC – Foz do Iguaçu, maio 2007
- (4) CASCAES PEREIRA, A. - Rede de IEDS de Proteção – Como Obter o Máximo Benefício Para Proteção e Automação de Subestações Utilizando a Norma IEC 61850 – XII ERIAC – Foz do Iguaçu, maio 2007.
- (5) PETER BRAND, K. et al. – Requirements of Interoperable Distributed Functions and Architectures in IEC 61850 AS Systems.
- (6) ALZATE J. & DOLEZILEC D. – Estudo de Caso: Projeto e Implementação do Protocolo IEC 61850 de Diversos Fabricantes em La Venta II, CFE, VI SIMPASE, Salvador – BA, agosto, 2007.
- (7) M. P. Pozzuoli & Ricardo Moore – Ethernet in the Substation – IEEE 2006