Paulo S. Pereira Junior, Cristiano M. Martins, Rodrigo R. Rosa	**Paulo S. Pereira, Gustavo E. Lourenço**	**Denys Lellys, Diego Makiyama**
Conprove Indústria e Comercio	**Conprove Engenharia**	**Alstom Brasil**
conprove@conprove.com.br	conprove@conprove.com.br	

APLICAÇÃO DO BARRAMENTO DE PROCESSO DA IEC 61850-9-2 (PROCESS BUS) E TESTES COM O CARREGAMENTO DA REDE ETHERNET

Palavras- Chaves

Testes
IEC 61850
Barramento de Processo (Process Bus)
Sampled Values
Carregamento da Rede
Proteção de Linha

Resumo

Este trabalho apresenta resultados de testes reais, realizados em IED comercial que já opera utilizando Barramento de Processo (Process Bus), para verificação de desempenho.

Os testes iniciaram com o IED e apenas uma MU (Merging Unit), fornecendo amostras de Tensão e Corrente, conectados à Rede Ethernet (LAN – Local Area Network). Estas amostras foram utilizadas pelo IED para medir a impedância da linha podendo, então, decidir sobre operar (trip) ou não. Após exaustivos testes utilizando este arranjo o número de Merging Units conectados à Rede (LAN) foi elevado, e os testes foram repetidos para investigar os efeitos do carregamento da Rede sobre o desempenho do sistema (até 10 MUs foram conectadas simultaneamente). As condições de falta foram injetadas por uma mala de testes de relés e os tempos de operação (trip) foram medidos para cada condição.

Para avaliar o comportamento do Barramento de Processo (Process Bus) foram realizadas mais de mil faltas. A Rede (LAN) foi gradualmente carregada à medida que se aumentou o número de MUs conectadas. Dessa forma, foi avaliado se o tempo de operação (trip) foi afetado com o aumento do número de Merging Units.

Os resultados dos testes apresentados estão organizados no formato de tabelas e histogramas, utilizados para apresentar o resumo das análises estatísticas. Este trabalho oferece informações práticas para profissionais das áreas de Proteção, Automação e Controle interessados nesta nova tecnologia.

1. Introdução

A IEC 61850 está cada vez mais presente nas novas Subestações e “retrofits” de antigas Subestações ao redor do mundo.

Este padrão, basicamente, define como enviar / receber informações de três diferentes tipos: Cliente-Servidor, GOOSE (Generic Object Oriented Substations Events) e SV (Sampled Values).

A implementação da Comunicação de Relatório (Cliente-Servidor), através de MMS e a troca de mensagens GOOSE, em alta velocidade, estão consagradas e sendo amplamente utilizadas. Contudo, o tráfego de informação, de corrente e tensão digitalizados, através da Rede Ethernet, o chamado Sampled Values, ainda não foi muito explorado.

A grande diferença entre mensagens de alta velocidade, como GOOSE e SV, e as demais, como as que carregam informação de relatório, está na implementação da camada de transporte de cada tipo. As primeiras são transmitidas diretamente na segunda camada (link layer), portanto, são mais rápidas que as mensagens que utilizam a terceira camada (network layer) como o Cliente-Servidor MMS (Manufacturing Message Specification).

A aplicação do Barramento de Processo (Process Bus) fascina alguns membros da comunidade e causa temor em outros. Isto se deve justamente pelo fato deste tópico da norma tratar de uma mudança de paradigma, o que significa abandonar o método tradicional, o qual utiliza tensões e correntes secundárias obtidas de transformadores de instrumento, utilizados há décadas.

Para tornar o Sampled Values uma realidade é necessário a utilização de TCs e TPs não convencionais e/ou Merging Units (MU) ou SAMUs (Stand Alone Merging Units). Dependendo da tecnologia utilizada existem diferentes formas de se implementar o SV. Estas diferentes maneiras são tratadas na nova norma IEC 61869-9 que é complementar a norma IEC 61850-9-2.

As mudanças consistem em trabalhar com sinais de tensão e corrente digitalizados, trafegando na Rede Ethernet e sendo distribuídos aos IEDs conectados a esta rede. Portanto, o IED já irá receber os sinais no formato digitalizado (bits) não sendo mais necessário realizar a tarefa de conversão analógica para digital no equipamento. Desta forma, o conversor A/D foi removido do IED e levado para próximo do processo.

Pela definição do “frame” Sampled Values, existem três Correntes de Fase + Corrente de Neutro e também três Tensões Fase-Terra + Tensão de Neutro, dessa forma, chegamos à realidade em que uma Subestação terá várias Merging Units trabalhando no Barramento de Processo (Process Bus). Assim, a análise foi realizada com várias MUs conectadas à rede.

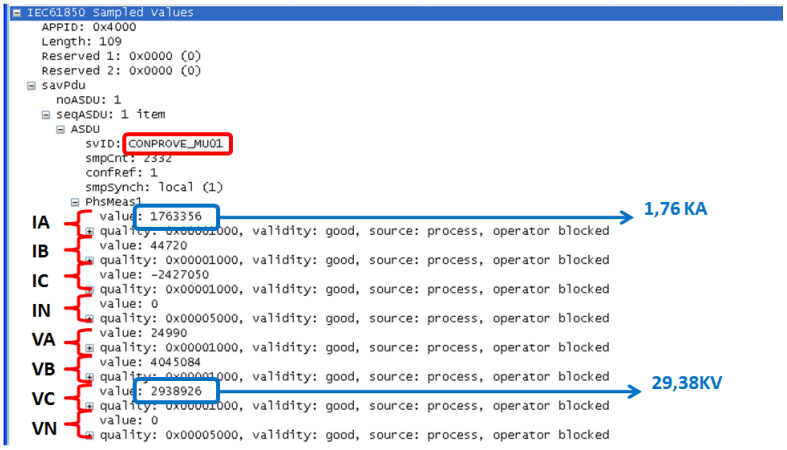


FIGURA 1: Exemplo de Frame SV, mostrando as Correntes e Tensões

Não há um consenso global de como deve ser implementado o SV. Isso ocorre pois a norma IEC 61850 deixou em aberto algumas definições, consequentemente diferentes propostas emergiram sendo a Light Edition (9-2 LE) a mais popular.

A Light Edition está definida no Guia de Implementação da UCA, entretanto nem todos adotaram este guia porque não se trata, ainda, de uma norma. Porém, isto ocorrerá quando a IEC 61869 for aprovada, a qual normaliza as definições apresentadas na Light Edition.

Com a adoção do Barramento de Processo (Process Bus) inicia-se uma nova era, visto que se trata de uma ruptura de paradigma. Com a nova tecnologia as informações de Tensão e Corrente são fornecidas através da Rede Ethernet e não mais pelo cabeamento do secundário dos transformadores de instrumento, como se tem usado há décadas.

O tráfico de informações através da Rede (LAN – Local Area Network) gera curiosidade e certa desconfiança, visto que atrasos e perdas podem levar a operação (trip) indevida ou a não operação em uma condição de falta.

Dessa maneira, este trabalho pretende explorar profundamente o Barramento de Processo (Process Bus), adotando diferentes condições de carregamento da rede (várias MU enviando Sampled Values) e realizando os testes nestas diferentes situações a fim de analisar como o comportamento do IED é afetado.

2. Desenvolvimento

O objeto do teste foi um IED de Proteção de Linha. Muitos testes de ponto foram realizados para constatar a característica de impedância comparada com a característica definida nos ajustes.

O ambiente do teste foi composto de: IED Alstom P444, Mala de Testes de Relé Conprove CE6006, com acessório SV, Unidade de Sincronismo por Satélite Conprove CE-GPS, RuggedCom Switch e um Analisador de Protocolo, ilustrados na FIGURA 2.

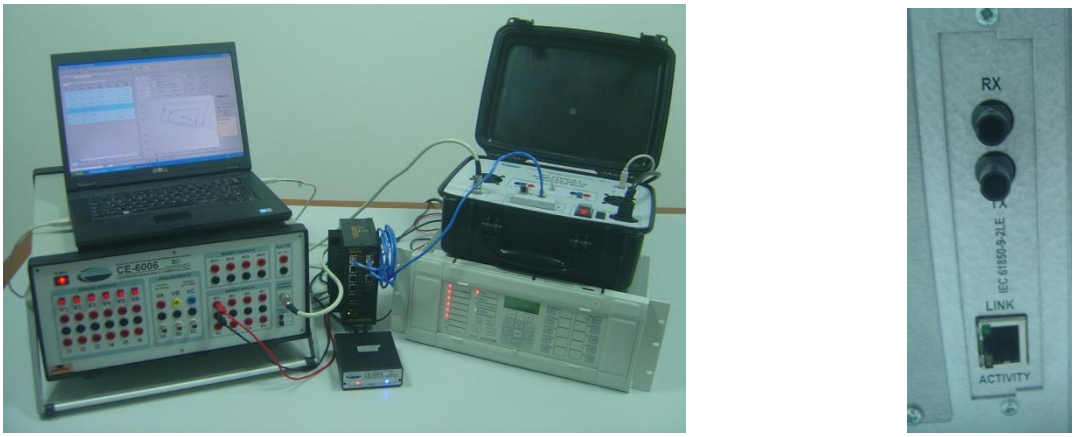


FIGURA 2 – Foto da Montagem do Teste e Detalhe da Entrada do IED

O IED Alstom Grid modelo MiCOM P444 trabalha com a taxa Sampled Values de 80 amostras por ciclo. A comunicação pode ser feita por Fibra Óptica ou Par Trançado (RJ45). Outra característica deste IED é a capacidade de trabalhar com o protocolo de redundância PRP, contudo este não é o objetivo deste trabalho.

O IED sob teste foi ajustado para a proteção de linha com 12 ohms e ângulo de 70 graus. Com as seguintes zonas: Z1 t=0s, Z2 t=200ms, Z3 t=1s (reversa), Z4 t=600ms.

Os testes foram realizados com o software “Distanc”. Este software permite realizar tanto testes de ponto como testes de busca nas Zonas de Impedância da Proteção de Linha (21 / PDIS), os ajustes podem ser programados importando-se arquivos RIO ou utilizando máscaras. O aplicativo também permite inserir os parâmetros dos principais relés existentes no mercado, alterando a tela do software de acordo com os ajustes e nomenclatura específicos de cada relé, facilitando o trabalho do usuário. (FIGURA 3)

Depois de realizado os ajustes, alguns testes de busca foram realizados para confirmação dos mesmos, sendo uma amostra destes testes ilustrada na FIGURA 4.

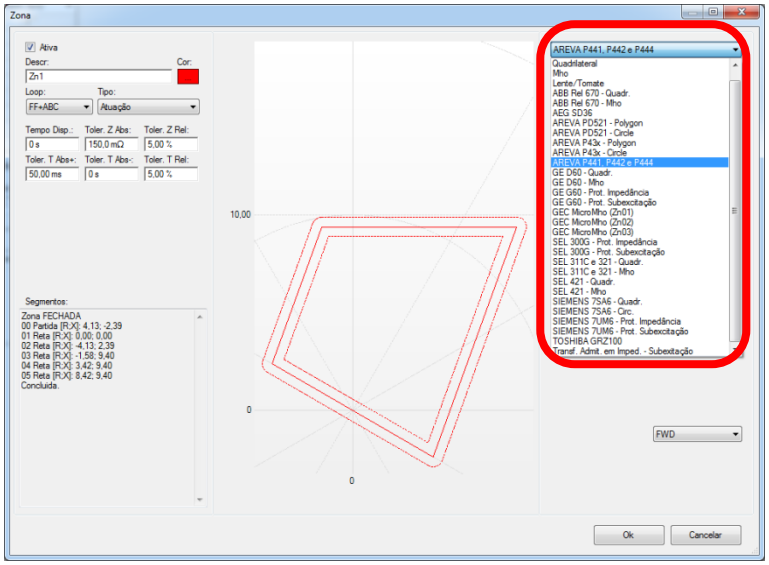


FIGURA 3 – Apresentação de algumas opções de máscaras

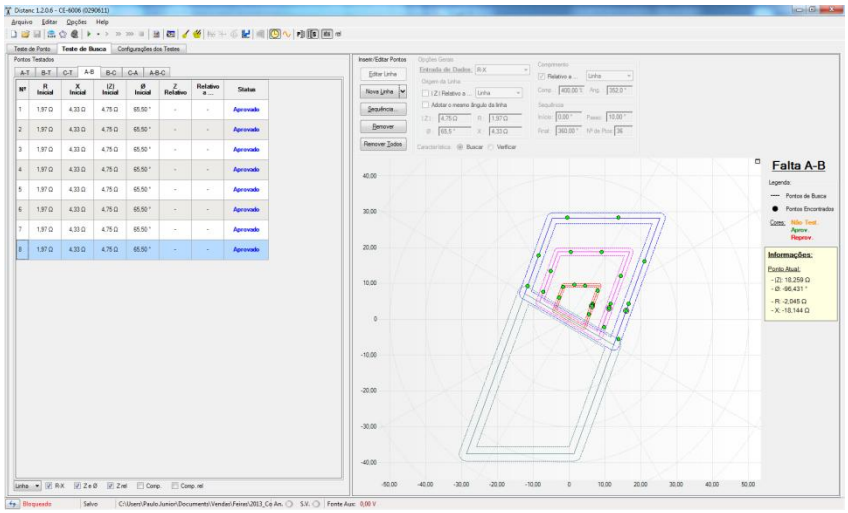


FIGURA 4 – Verificação dos ajustes com alguns testes de busca

O equipamento de teste promove as condições de falta ao IED enviando mensagens SV que transmitem as informações dos valores instantâneos de tensão e corrente. O IED envia à ferramenta de teste o sinal de operação (trip) utilizando cabeamento de cobre, que conecta a saída binária do IED à entrada binária do equipamento de teste.

Outra característica do equipamento é a capacidade de simular até 10 MUs, o que torna viável a realização de testes avançados, como os que envolvem condições de carregamento da rede.

Condições de Teste: Foram realizados testes de ponto em vários locais do plano de impedância abrangendo as quatro Zonas parametrizadas, bem como a região externa (região de não operação), portanto cinco diferentes regiões de operação. Os testes foram realizados abrangendo vários alcances de zona.

Tipos de Falta: Os testes foram realizados com três tipos de falta: LE (fase-terra), LL (bifásica) e LLL (trifásica) (sendo selecionado AE, AB e ABC), sendo que cada falta foi injetada 20 vezes para que se realizassem as análises estatísticas.

Carregamento da Rede Ethernet: o cenário dos testes foi alterado de acordo com cada condição de carregamento.

Inicialmente o teste foi realizado com uma rede livre, isto é, o único tráfego existente correspondia a MU responsável por fornecer as amostras ao IED. Assim este só precisava capturar tais amostras de tensão e corrente para calcular a impedância.

Muitas formas são possíveis para detectar que as mensagens são do emissor desejado, normalmente o IED filtra o campo SV ID do pacote (frame).

Posteriormente, introduziu-se outras MUs na rede, as quais o IED não deveria medir a impedância. Esta condição aumentou o tráfego da rede. Em cada teste foi adicionado 3 novas MUs. Portanto o segundo teste com 4 MUs, o terceiro com 7 e finalmente o quarto com 10 MUs. (FIGURA 5)

Totalizando foram 20 x 5 x 3 x 4 = 1200 testes (repetições x zonas x tipos de falta x número de MUs)

Importante mencionar que todos os testes foram realizados no ângulo da linha.

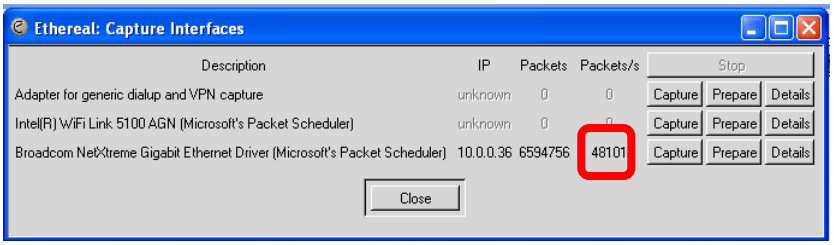


FIGURA 5 – Analisador de Protocolo Capturando Carregamento com 10 MUs

2.1. Análises e Resultados

Após encerrar a fase de testes, teve início a fase de resultados das análises e estatísticas.

Primeiramente, para cada condição de teste (repetidos 20 vezes), a tabela foi gerada para apontar os tempos de operação, mostrando tempo máximo, mínimo, média e desvio padrão. Assim foram criadas quatro tabelas, uma para cada tipo diferente de carregamento da rede. A TABELA 1, abaixo ilustra a condição com 10 MUs na rede.

TABELA 1 – Tempo de Operação (trip) para teste com 10 MUs na rede (Tempo em ms)

Zona	Tipo de Falta	Max.	Min.	Média	DP
Z1(8Ω)	LE	26.79	16.29	21.2485	1.867228
	LL	24.5	20.11	21.207	1.250836
	LLL	23.78	20.15	21.238	1.049745
Z2(17Ω)	LE	216	203.7	210.12	3.482528
	LL	217	207.4	211.575	2.478938
	LLL	215.4	204.7	211.095	3.079042
Z3(10Ω)	LE	1015.07	1003.81	1009.708	3.319545
	LL	1018	1007.63	1012.274	3.166593
	LLL	1015.37	1003.48	1009.729	3.097677
Z4(27Ω)	LE	615.3	604.6	610.47	2.726691
	LL	617.3	607.2	611.905	3.330161
	LLL	615.5	605.2	610.34	2.967083

Em seguida, a análise foi feita pelo tipo de falta. Para cada tipo de falta foi analisado o desempenho diante dos diferentes tipos de carregamento da Rede Ethernet, com o intuito de verificar a existência de alguma relação entre os atrasos na operação e o carregamento.

Os dados do teste foram organizados na forma de gráfico buscando oferecer uma maior facilidade de leitura. (GRÁFICO 1)

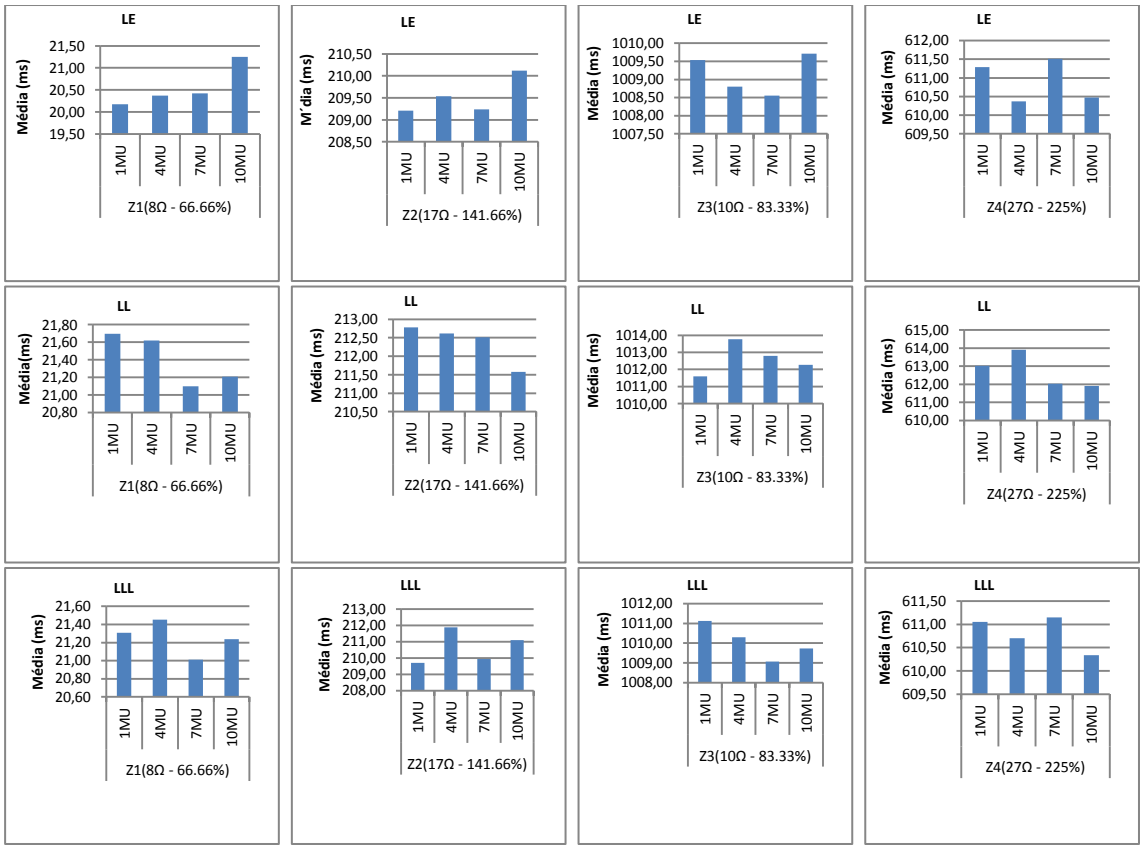
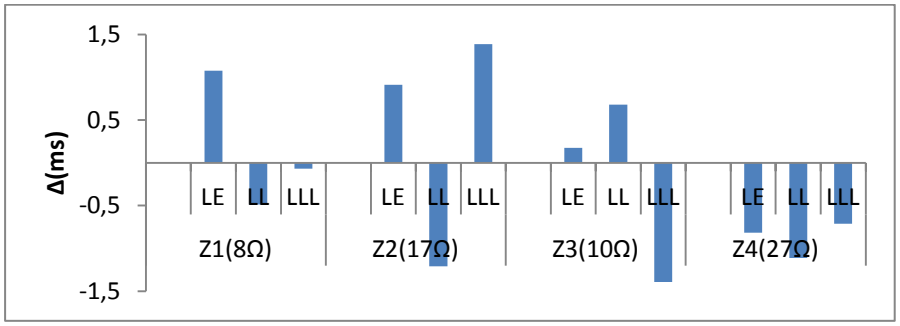


GRÁFICO 1- Histograma para cada Tipo de Falta

Como etapa final resumiu-se em um gráfico final a comparação das médias dos tempos de operação com 1 MU (rede sem carregamento) e com 10 MUs na rede em todas as zonas e tipos de falta.

O GRÁFICO 2 abaixo mostra a diferença entre as médias dos tempos de operação das duas condições mais divergentes. Mostrando o balanço da diferença de tempo: (Média do Tempo de Operação com 10 MUs – Média do Tempo de Operação com 1 MU).



GRÀFICO 2 – Histograma Final Comparando 10 MUs e 1 MU

3. Conclusões

O SV é considerado a tecnologia do futuro que vem para substituir o cabeamento de cobre no secundário dos Transformadores de Instrumento. Nos próximos anos esta tecnologia poderá ser mais usada em novas Subestações e em “Retrofits”.

Neste trabalho o sistema foi exaustivamente testado com mais de 1000 testes, e os resultados foram analisados, concluindo que nenhum padrão foi observado comparando o atraso no tempo de operação e o aumento do número de MUs na rede. Portanto nenhuma relação foi estabelecida.

Entretanto, não obstante, no pior caso se for comparado a rede livre (apenas uma MU) e a rede com 10 MUs a pior diferença entre as médias é de 1,38 ms, em outras palavras, menos que um décimo de ciclo, um atraso de operação pouco significante ou insignificante.

Este trabalho abre caminho para outros testes que podem ser realizados no futuro a fim de complementar estas análises e reforçar o conceito da norma IEC 61850 no que se refere ao Barramento de Processo (Process Bus).

4. Referências bibliográficas

[1] Standard IEC 61850– Communication networks and systems in substation — All Parts

[2] Implementação de um Sistema de Envio e Recebimento de Sampled Value (IEC 61850-9-2) - Pereira Junior, P. S,; Ramos, R. R.; Martins, C. M.; Pereira, P. S.; Lourenço, G. E.- Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica, XXI SNPTEE de 2011.

[3] Draft of the Standard IEC 61869-9 -Digital Interface for Instruments Transformers – August 2011

[4] Investigação do Funcionamento do Barramento de Processos (IEC 61850-9-2) - Uma Abordagem Prática - Pereira Junior, P. S,; Ramos, R. R.; Martins, C. M.; Pereira, P. S.; Lourenço, G. E.- Simpósio de Automação de Sistemas Elétricos, IX SIMPASE de 2011.

[5] Implementation Guideline for Digital Interface to Instrument Transformers Using IEC 61850-9-2 – UCA International Users Group – Dated 01/03/2004.

[6] IEC 61850-9-2 Avaliação e Testes De Um Barramento De Processos - Pereira Junior, P. S,; Ramos, R. R.; Martins, C. M.; Pereira, P. S.; Lourenço, G. E. - Seminário Técnico de Proteção e Controle, X STPC de 2010.

[7] Uma abordagem intensa do Barramento de Processos (IEC 61850-9-2), as inovações da segunda edição e a relação com a norma de TC´s e TP´s – IEC 61869-9 - Pereira Junior, P. S,; Ramos, R. R.; Martins, C. M.; Pereira, P. S.; Lourenço, G. E. - Seminário Técnico de Proteção e Controle, XI STPC de 2012.

[8] Experimento de Sobrecarga Com 15.000 Mensagens GOOSE por segundo em Uma Rede IEC 61850, e a Investigação de suas Consequências - Pereira Junior, P. S; Martins, C. M.; Pereira, P. S.; Lourenço, G. E.- Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica, XX SNPTEE de 2009.

[9] Testes de performance em IEDs através de ensaios utilizando mensagens GOOSE (IEC 61850) - Pereira Junior, P. S,; Martins, C. M.; Pereira, P. S.; Lourenço, G. E. - Seminário Técnico de Proteção e Controle, IX STPC de 2008.

[10] Performance assessment of an IEC 61850-9-2 based protection scheme for the mesh corner of a 400KV transmission substation – P.A. Crossley, L. Yang, H.Y. LI, U. Anombem, A. Wen R. Chatfield, J. Wright, M. Redfern, X. SUN – CIGRE 2012