



**XXIV SNPTEE
SEMINÁRIO NACIONAL DE PRODUÇÃO E
TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA**

CB/GPC/32

22 a 25 de outubro de 2017
Curitiba - PR

**GRUPO - V
GRUPO DE ESTUDO DE PROTEÇÃO, MEDIÇÃO, CONTROLE E AUTOMAÇÃO EM SISTEMAS DE POTÊNCIA -
GPC**

**EXPERIÊNCIA DE INTEROPERABILIDADE NO BARRAMENTO DE PROCESSO (*PROCESS BUS*) DA IEC
61850/IEC61869-9 E AS QUESTÕES RELATIVAS À SINCRONIZAÇÃO**

Paulo Sergio Pereira Junior(*) Conprove Indústria e Comércio	Rodolfo Cabral Bernardino Conprove Engenharia	Cristiano Moreira Martins Conprove Indústria e Comércio	Paulo Sergio Pereira Conprove Engenharia	Gustavo Espinha Lourenço Conprove Engenharia	Gustavo Silva Salge Conprove Indústria e Comércio
---	--	--	---	---	--

RESUMO

O objetivo deste trabalho é apresentar a experiência de um Barramento de Processos (*Process Bus*) funcionando com diversos fabricantes e avaliar a interoperabilidade entre eles. Também, serão abordadas questões relativas à sincronização dos dispositivos. Sendo esses tópicos abordados no contexto da IEC 61869-9 que entrou em vigor em 2016 e está intrinsecamente relacionada à IEC 61850-9-2.

Serão realizados ensaios com *Merging Units* (MUs), IEDs (*Intelligent Electronic Devices*) e equipamentos de testes de fabricantes diferentes operando em uma mesma rede *Ethernet*. Os tipos de sincronização (IRIG-B, 1PPS, SNTP e PTP), além das vantagens e desvantagens de cada um deles, também serão abordados.

PALAVRAS-CHAVE

Process Bus, Interoperabilidade, Sincronização, IEC 61850, IEC 61869-9

1.0 - INTRODUÇÃO

A IEC 61850 vem representando um grande desenvolvimento para o sistema PAC – Proteção Automação e Controle, estando cada vez mais presente nas novas subestações elétricas (SE) e *retrofits* de antigas SEs ao redor do mundo.

Dentre os principais pontos da norma, destacam-se dois mais fortes: as padronizações na modelagem dos dados (*Data Models*) e na comunicação, com o objetivo de colocar dispositivos de fabricantes diferentes trocando informações entre si, sendo esta interoperabilidade o coração da norma.

Com relação à comunicação existem três importantes formas estabelecidas pela IEC 61850: o Cliente-Servidor (MMS – *Manufacturing Message Specification*), GOOSE (*Generic Object Oriented Substation Event*) e SV (*Sampled Values*). A primeira forma não possui exigências de tempo crítico, não havendo garantias de velocidade; já a segunda e terceira formas possuem exigência de tempo crítico na troca de informações por haver necessidade de garantia de velocidades altas.

Os *Sampled Values* podem ser definidos, de maneira extremamente simplificada, como sendo a alteração física do conversor AD, que deixa de estar na entrada do IED, e passa a ser alocado no pátio da SE, trazendo assim os sinais digitalizados pela rede *Ethernet* e distribuindo-os aos IEDs na casa de comando.

Para que o SV seja implementado torna-se necessário a utilização de TCs e TPs não convencionais e/ou *Merging Units* (MUs) ou *Stand Alone Merging Units* (SAMUs). Sendo que dependendo da tecnologia utilizada, existem diferentes formas de se implementar o SV. Estas diferentes formas são tratadas na norma IEC 61869-9: *Digital Interface for Instrument Transformers*, publicada em 2016 e que é complementar à IEC 61850-9-2.

A IEC 61850-9-2 estabelece que as MUs devam estar sincronizadas para que as amostras SV sejam corretamente tratadas pelos IEDs. Com relação a esse sincronismo temporal, existem diversas formas de implementação e que foram complementadas na IEC 61869-9.

Desta forma, este trabalho vem apresentar uma experiência no *Process Bus* implementando ensaios com interoperabilidade entre diversos fabricantes, com um número tal que torna esse teste pioneiro no Brasil. Além disso, serão abordados os diversos tipos de sincronismo temporal que pode haver entre os dispositivos no barramento de processo. O conceito de *Holdover Mode* também será elucidado no trabalho devido ao fato de ser imprescindível que haja algum tipo de tratamento para o caso de perda de sincronização.

A conclusão do trabalho permitirá aos profissionais da área uma maior familiaridade com esta nova tecnologia, agregando, assim, conhecimento. Será possível responder várias questões e validar os conceitos referentes à norma IEC 61850.

2.0 - BARRAMENTO DE PROCESSO: *PROCESS BUS*

A IEC 61850 divide a arquitetura de comunicação do SAS (*Substation Automation System*) em três níveis: da estação, do *bay* e do processo, formando o barramento de estação e o barramento de processo, conforme a figura abaixo.

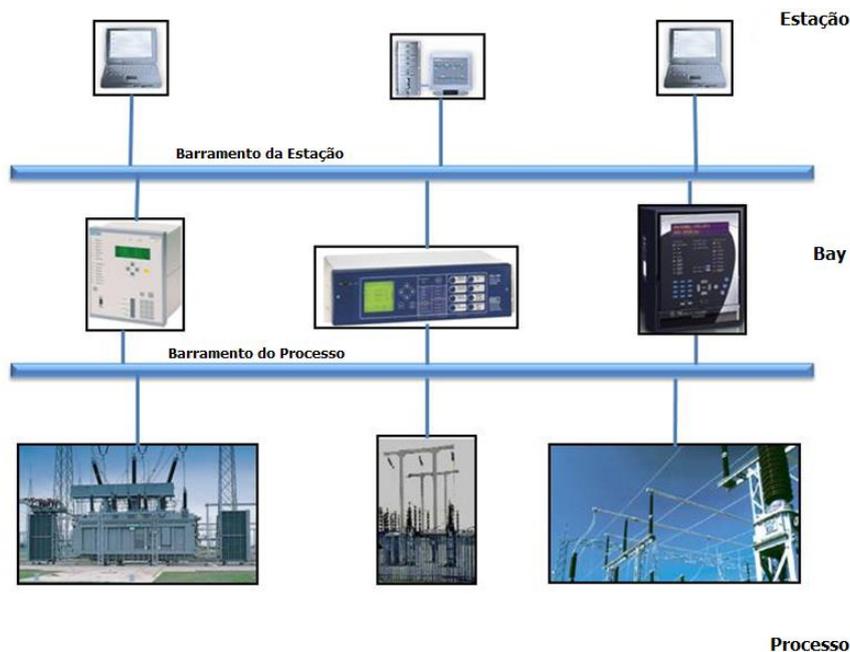


FIGURA 1 - Níveis do SAS pela IEC 61850

Como ilustrado na Figura 1, o Barramento de Processo compreende a comunicação (transmissão digital dos processos de medição) entre o pátio da subestação e os IEDs. A IEC 61850 padronizou o *Process Bus* na parte 9-2 “*Specific Communication Service Mapping (SCSM) – Sampled Values over ISO/IEC 8802-3*”, permitindo que valores analógicos de tensão e corrente pudessem ser digitalizados (*Sampled Values - SV*) e encapsulados em *frames Ethernet* padrões a serem enviados pela rede através das chamadas *Merging Units* (MUs), para então serem analisados pelos IEDs no nível de *bay*.

Pelo fato das mensagens SV serem padronizadas, o *Process Bus* traz como principal benefício a interoperabilidade, permitindo que dispositivos de diferentes fabricantes possam comunicar-se enviando e recebendo dados através de um formato previamente estabelecido.

3.0 - SINCRONIZAÇÃO

A IEC 61850-9-2 estabelece um padrão de operação no barramento de processo do SAS e, de acordo com a norma, as MUs devem estar sincronizadas no tempo para que as amostras SV sejam corretamente tratadas pelos IEDs.

Sendo que, a representação do momento em que cada amostra foi adquirida é feita pelo chamado *sample counter* (*SmpCnt*), cujo valor é incrementado a cada amostra adquirida e inserido no *frame* SV, a cada virada de segundo o *SmpCnt* é resetado. A Figura 2 demonstra o algoritmo de implementação do *SmpCnt*.

O IED que irá receber os SV utiliza o *SmpCnt* para alinhar novamente as amostras no tempo e, assim, reconstituir a forma de onda, sendo que toda a verificação de ângulo de fase se dá através deste mecanismo, tornando-se independente de qualquer atraso de transmissão do *frame* através da rede *Ethernet* que trabalha com chaveamento estatístico. Permitindo, assim, que pacotes SV possam percorrer caminhos distintos na rede e possuírem tempos de transmissão diferentes.

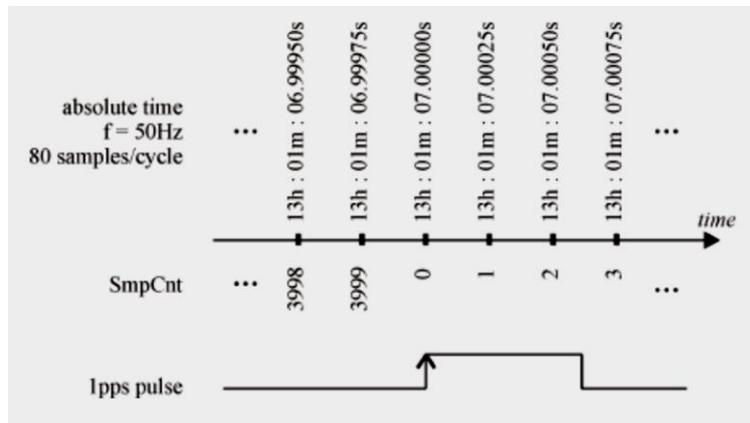


FIGURA 2 - *Sample Count* e PPS

A importância do sincronismo temporal no *Process Bus* pode ser exemplificada como no caso da função de proteção diferencial ou em arranjos do tipo disjuntor e meio, que levam a uma tomada de decisão recebendo sinais de mais de uma MU ao mesmo tempo, onde é imperativo que as amostras estejam alinhadas no tempo.

Portanto, o sincronismo de tempo é especificamente importante no caso de proteção diferencial de transformadores de força no contexto de *Process Bus* da IEC 61850. Esse é um caso importante a ser destacado, pois se as MUs da proteção diferencial não estiverem sincronizadas, o mesmo *SmpCnt* será amostrado por cada MU em momentos distintos, o que poderia levar o IED a uma atuação indevida por uma diferença de fase errônea.

Além disso, a sincronização de tempo é utilizada para alinhar precisamente os *clocks* internos de IEDs, MUs, *switches*, realizar análise de oscilografias distintas e qualquer processo que necessitar ser sincronizado no SAS. O sincronismo de tempo auxilia na precisão do controle e da análise da resposta da rede da subestação a situações do tipo: como, onde e quando ocorreu um falta.

Para gerar *clock* para as fontes de referência de sincronismo no barramento de processo é utilizado o GPS (*Global Positioning System*) que será fonte de sinais 1PPS e IRIG-B.

Abaixo serão brevemente abordados os principais tipos de sincronização de tempo no *Process Bus* do SAS:

- 1PPS

One Pulse Per Second é bastante simples conceitualmente. Essa forma de sincronização consiste no envio de um pulso a cada segundo e é bastante utilizada como base de tempo para os principais protocolos de sincronização. Sendo importante na aquisição de sinais por sincronizar a frequência de amostragem com a virada do segundo.

- IRIG-B

O IRIG-B (*Inter-Range Instrumentation Group coded B*) dentre os formatos IRIG é o mais utilizado e difundido no mercado, pois a sua taxa de atualização é de um segundo, facilmente obtida a partir do sinal PPS gerado pelos receptores GPS.

O sinal de IRIG-B pode ser transmitido de duas formas, a primeira e mais utilizada atualmente por sua simplicidade e melhor precisão é a conhecida por *DC shift (no signal carrier)* onde os pulsos são enviados em nível TTL. Já a segunda forma (*Modulated, sine wave carrier*) é mais complexa e menos utilizada atualmente, onde o sinal é modulado por amplitude numa frequência mais alta.

Até pouco tempo, a transmissão dos sinais de IRIG eram realizadas somente por par trançado ou cabo coaxial blindado. Recentemente, vem sendo adotado o uso de fibra ótica que, mesmo elevando o custo de implementação

da tecnologia, evita os problemas relacionados às interconexões elétricas entre dispositivos e otimiza a precisão da sincronização, minimizando as perdas da distribuição do sinal.

- SNTP

O SNTP (*Simple Network Time Protocol*) é largamente utilizado em LANs e na *Internet*. Permite uma precisão na sincronização de tempo na faixa de 1 ms a 10 ms. No entanto, o SNTP não possui uma precisão necessária para ser aplicado no *Process Bus* com SVs e GOOSE.

- IEEE 1588 PTP

O *Precision Time Protocol* (PTP) é um protocolo de sincronismo para redes *Ethernet*, sendo que em uma rede local alcança exatidão na faixa de nanossegundos. É adequado para aplicações onde o sincronismo é fundamental para o sistema de medição. A alta precisão do protocolo é obtida a partir da compensação do atraso de propagação da informação entre a fonte de sincronismo e o destino.

A norma IEEE 1588 - 2002 “*Standard for a Precision Clock Synchronization Protocol for Networked and Control Systems*”, definiu originalmente o protocolo PTP e sua revisão de 2008 (segunda versão) acrescentou melhorias de exatidão e robustez ao protocolo.

O protocolo é definido para uma rede de distribuição de tempo hierárquica com relações *master-slave*, onde um *clock Grandmaster* é escolhido como fonte de sincronismo para todos os outros equipamentos conectados à mesma rede.

A sincronização de tempo para o barramento da estação e para o barramento de processo tem diferentes requisitos. A figura abaixo mostra um exemplo de sincronização do SAS com os diferentes protocolos. Como pode ser analisado na figura, o GPS fornece uma fonte de *clock* precisa para os dispositivos de comunicação da subestação, como IEDs e *switches*. Para otimizar a confiabilidade do processo da sincronização, a redundância da fonte de *clock* pode ser realizada também, de acordo com o exemplo.

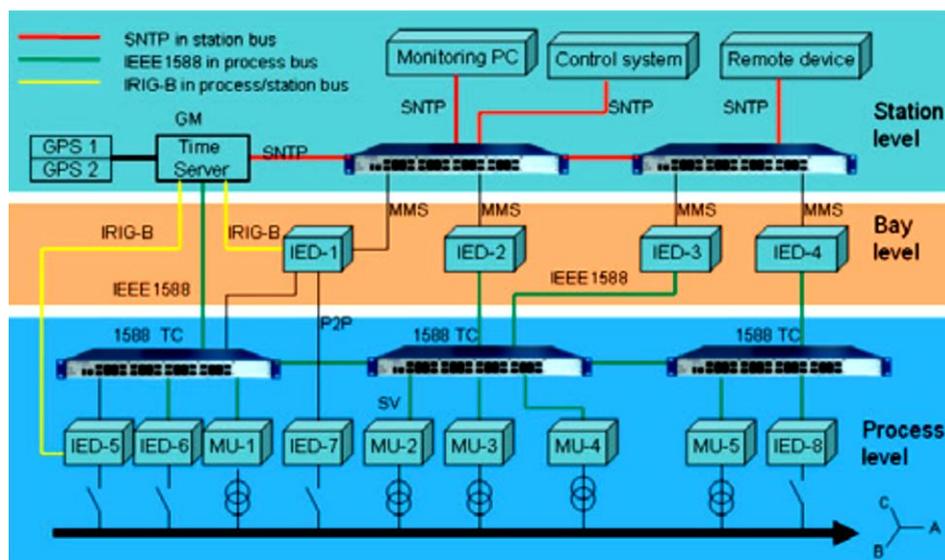


FIGURA 3 - Sincronização no SAS

A topologia em estrela é bastante comum para a sincronização tanto no barramento da estação quanto no barramento de processo. Normalmente, a sincronização para os IEDs no nível de *bay* e para o nível de processo é implementada separadamente. No entanto, a fonte de *clock* precisa deve ser aplicada de forma comum tanto no *bay* quanto no processo.

O IRIG-B e 1PPS necessitam de cabeamento separado para implementarem a sincronização. O SNTP é utilizado em situações em que não há exigência de requisitos de tempo altamente precisos. De acordo com os requisitos de precisão no barramento de processo, a sincronização de tempo por PTP (segunda versão) é aplicada através de *switches* que implementam IEEE 1588.

4.0 - IEC 61869-9 X IEC 61850-9-2

A IEC 61869 é uma norma sobre transformadores de instrumentação com quinze partes para definir requerimentos para TCs e TPs. Na parte 9 são tratadas as interfaces digitais para transformadores de instrumento. Sendo que esta norma entrou em vigor em 2016 e é a substituta da IEC 60044-8 que foi utilizada como base para a IEC 61850-9-2. Portanto, pode-se dizer que ela veio para complementar a IEC 61850.

A norma IEC 61869-9 possui forte embasamento no Guia de Implementação da UCA (*Light Edition* – IEC 61850-9-2LE), incorporando várias de suas definições, visando assim manter a compatibilidade. Além disso, trata da questão que de acordo com a tecnologia aplicada, a realização física da “digitalização” dos valores analógicos pode ocorrer de várias maneiras.

A *Merging Unit* é definida como parte do Transformador de Instrumentos (TI), podendo estar ou não em uma mesma unidade física, sendo que sua entrada pode ser Normalizada ou Proprietária. Já a concepção de *Stand Alone Merging Unit* (SAMU) trata de um produto separado, não fazendo parte dos transformadores de instrumentação, sendo que suas entradas são sempre padronizadas e podem ser da forma analógica ou digital. Esta segunda concepção pode ser usada em *retrofits*, mantendo os TCs e TPs existentes. Vale ressaltar que os dados provenientes tanto de uma MU integrada ao TI quanto a de uma SAMU deverão ser indistinguíveis um do outro.

Segundo a IEC 61869-9, o tempo de atraso de processamento pode ser definido como a diferença entre o tempo de codificação da mensagem e o tempo que a mensagem leva para aparecer na saída digital da MU e esse atraso deve ser no máximo de 2 ms para aplicações de proteção e medição. Um tempo de processamento elevado pode ser perigoso, pois este é somado ao tempo de detecção da falta pelos IEDs, gerando atrasos no *trip*.

Visando facilitar a interoperabilidade, a IEC 61869-9 traz um número limitado de variações permitidas para nomenclatura, estrutura da mensagem, número de ASDUs, taxa de amostragem, número de sinais analógicos e escala. Com relação à taxa de amostragem, a norma disponibiliza 7 possibilidades de taxas associadas a 4 valores diferentes de número de ASDUs, dando preferência para as taxas de 4800 *samples/s* com 2 ASDUs para proteção e 14400 *samples/s* com 6 ASDUs para qualidade, independente da frequência do sinal, ou seja, uma mesma taxa poderia ser utilizada em um sistema de 50Hz ou 60Hz, diferentemente da definição da *Light Edition*. No que se refere ao número máximo de canais de tensão e corrente, na 9-2LE era fixo com de 8 canais (4 correntes e 4 tensões) e na IEC 61869-9 o número máximo de canais foi para 24 não fixando a quantidade de canais divididos entre correntes e tensões.

A figura abaixo retirada da norma IEC 61869-9 mostra as taxas de amostragem disponíveis.

Digital output sample rates Hz	Number of ASDUs per frame	Digital output publishing rate frames/s	Remarks
4 000	1	4 000	For use on 50 Hz systems backward compatible with 9-2LE guideline.
4 800	1	4 800	For use on 60 Hz systems backward compatible with 9-2LE guideline, or 50 Hz systems backward compatible with 96 samples per nominal system frequency cycle.
4 800	2	2 400	Preferred rate for general measuring and protective applications, regardless of the power system frequency.
5 760	1	5 760	For applications on 60 Hz systems backward compatible with 96 samples per nominal system frequency cycle.
12 800	8	1 600	Deprecated, only for use on 50 Hz systems.
14 400	6	2 400	Preferred rate for quality metering applications, regardless of the power system frequency including instrument transformers for time critical low bandwidth d.c. control applications.
15 360	8	1 920	Deprecated, only for use on 60 Hz systems.
96 000	1	96 000	Preferred rate for instrument transformers for high bandwidth d.c. control applications.

FIGURA 4 - Taxas de Amostragem IEC 61869-9

A IEC 61869-9 padroniza a utilização da própria rede *Ethernet* para a tarefa de sincronização através da IEEE 1588, especificada na IEC/IEEE 61850-9-3. Sendo que todas as portas SV das MUs devem ser capazes de receber mensagens PTP de acordo com essa norma. O 1PPS fica como uma forma alternativa de sincronismo para questões de compatibilidade com tecnologias anteriores.

A norma também descreve o conceito de *Holdover Mode* pregando que caso haja perda do sinal de sincronização por um curto período de tempo, a *Merging Unit* deve continuar enviando a mensagem de SV normalmente, sem interrupção. O tempo mínimo de *Holdover Mode* é de 5 segundos. Este é um artifício para caso haja algum problema

temporário no sinal de sincronismo, levando em conta que a MU possui um *clock* interno de precisão, não gerando assim um escorregamento relevante até que o sinal de sincronismo seja restabelecido. A *flag SmpSynch* (*Sample Synchronism*) que sinaliza se o sincronismo está presente deve permanecer inalterada.

Já quando a MU perde a sincronização definitivamente, a norma define como *Free-running mode* e trata que os SV devem continuar sendo enviados numa taxa de amostragem com um desvio de, no máximo, $\pm 100.10^{-6}$. Mesmo sem o sincronismo externo, o contador de amostras deverá continuar sendo incrementado e zerado quando atingir o limite, como se houvesse sincronismo. Neste caso, a *flag SmpSynch* deve ser zerada indicando ausência de sincronismo.

Independentemente da presença de sincronismo temporal externo, a MU sempre envia os sinais adquiridos, por exemplo: as 3 tensões de fase e o neutro e as 3 correntes de fase e o neutro, sincronizados entre si. Ou seja, mesmo sem sincronismo externo não há erro de ângulo para sinais analógicos provenientes de uma mesma MU.

A IEC 61869-9 consolida o uso das definições do documento 9-2LE, que era considerado um documento a parte através de um consórcio de empresas e passa a fazer parte de uma norma, com algumas inclusões.

5.0 - EXPERIMENTO

Para avaliar interoperabilidade no *Process Bus* foram realizados ensaios com uma mala de testes Conprove CE-6710 com o acessório CE-GPS (*Time & Frequency Reference System*), uma *Merging Unit* MU320 da Reason, um IED *MiCOM Alstom P446*, um IED *Siemens Siprotec 5 7SL86* e um IED *ABB RES670*. Os sinais SV foram monitorados pelo *software* Conprove Multim *Sampled Values*. Para a distribuição dos *frames* foram utilizados *switches* da *Ruggedcom*: RSG2288 e RS940G. A figura abaixo mostra uma imagem do sistema de testes montado.

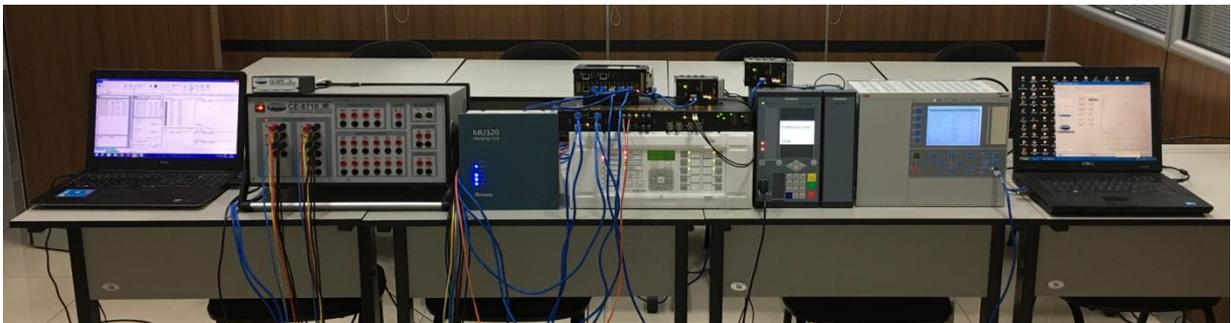


Figura 5 - Sistema Montado

Os ensaios foram realizados com a mala de testes Conprove CE-6710 injetando valores analógicos de tensão e corrente na MU Reason MU320, que enviou os *Sampled Values* para o IED *MiCOM Alstom P446*, IED *Siemens Siprotec 5 7SL86*, IED *ABB RES670* e Multim SV (Ensaio 1).

Em seguida, no Ensaio 2 foi utilizado o recurso da ferramenta de testes CE-6710 para enviar diretamente mensagens SV na rede realizando a função de uma MU, com os mesmos valores de amplitude e ângulo do ensaio anterior. Sendo que os demais dispositivos receberam e interpretaram tais mensagens.

O CE-GPS ficou responsável por gerar o sinal de sincronismo temporal e o IRIG-B foi externado para todos os equipamentos.

A avaliação e o comportamento dos dispositivos em cada ensaio foram verificados através da injeção dos SVs e a conferência dos valores medidos nos *displays* de cada um dos IEDs e comparados com os valores apresentados pelo Multim SV. As figuras abaixo mostram os diagramas de blocos dos ensaios.

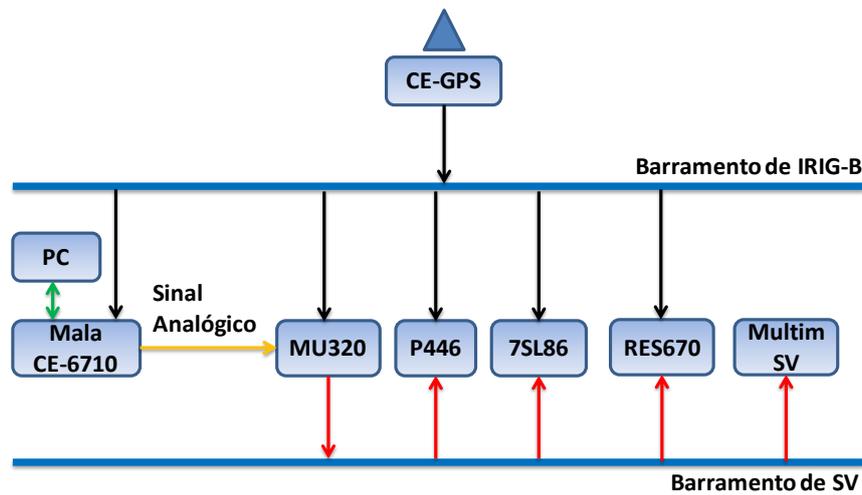


FIGURA 6 - Diagrama de Blocos – Ensaio 1

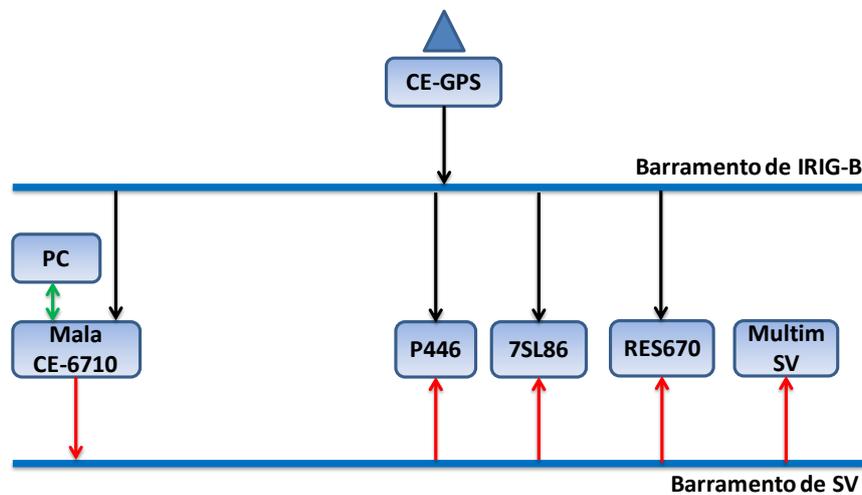


FIGURA 7 - Diagrama de Blocos - Ensaio 2

Abaixo, segue uma breve descrição da ferramenta de testes utilizada.

5.1 Mala de Testes Conprove CE-6710

O modelo CE-6710 possui suporte total à IEC 61850, sendo capaz de gerar sinais de corrente e tensão de forma analógica ou *Sampled Values*, através da funcionalidade IEC 61850-9-2LE e IEC 61869-9 que é parte integrante do equipamento, simulando uma ou mais *Merging Units* (MUs) no barramento de processo.

A mala, também, é capaz de receber mensagens SV da rede *Ethernet*, podendo monitorar MUs instaladas, emitindo um relatório de desempenho. Não obstante, podem-se testar as MUs injetando sinais analógicos e verificando a resposta obtida através de mensagens SV, sendo reportado, também, um relatório.

No barramento de processo, a mala pode ser utilizada para checar a rede, enviando e recebendo mensagens, simular sobrecargas gerando até 10 MUs simultaneamente, simular falhas (perdas de pacotes, atraso de pacotes, pacotes duplicados e pacotes corrompidos), simular erros (perda de sincronismo, alterações dos valores dos *Quality Bits*) e alterar o estado do *Bit* de simulação.

A mala permite diversas formas de sincronismo temporal, dentre eles: IEEE 1588 PTP, IRIG-B e 1PPS.

O CE-6710 é capaz de receber respostas dos IEDs tanto por mensagens GOOSE quanto por entradas binárias. O *software* de configuração da mala, CTC (*Conprove Test Center*), gerencia um conjunto de *softwares* aplicados à configuração dos diversos recursos da mala, além de suporte envolvendo toda documentação e assistência técnica para otimizar os usos do equipamento.

5.2 Consideração Importante

Quanto à sincronização, a única forma comum tanto à MU quanto aos IEDs disponíveis para os ensaios é o IRIG-B, já a mala de testes e o switch RSG2288 podem realizar sincronismo por PTP. Esta é uma importante questão a ser destacada pelo fato de na IEC 61869-9 as formas de sincronização temporal a serem consideradas são IEEE 1588 PTP e 1PPS, não fazendo menção ao IRIG-B. No entanto, os dispositivos utilizados para a realização deste trabalho não utilizam 1PPS como forma de sincronização temporal, sendo a forma mais comumente utilizada o IRIG-B.

6.0 - ENSAIOS

Uma lista de testes destacando diversos tipos de avaliações da interoperabilidade tanto em equipamentos individuais quanto para FC (*Functional Chain*) vem sendo implementada pelo *Working Group (WG) B5.53* do *CIGRE – Test Strategy for PAC (Protection, Automation and Control)*, em um trabalho que está em andamento desde 2014 e cujo representante brasileiro é o autor responsável deste trabalho. Alguns destes testes foram abordados nos ensaios.

Para os testes em equipamentos individuais podem ser destacados:

- Testes de formato de *frame* (se está de acordo ou não com a IEC 61850-9-2): MU, IED.
- Teste de atraso no tempo de processamento de amostras: NCIT (*Non-Conventional Instrument Transformers*), MU.
- Teste de erro de digitalização (erro de amplitude e de fase): NCIT, MU.
- Teste de uniformidade (diferença de tempo entre amostras): NCIT, MU.
- Teste de tempo de amostragem de SV (o tempo de amostragem depende da arquitetura do dispositivo).

Para os testes em FC podem ser destacados:

- Teste básico de comunicação (incluindo formato de *frame*, *delay* e tempo de amostragem SV).
- Teste de sincronização temporal.
- Influência do tempo de amostragem SV (tempo de amostragem depende da arquitetura do dispositivo).
- *Range* dinâmico (variação de valores de amplitude e fase de tensão ou corrente).

6.1 Ensaio 1

Neste primeiro ensaio (diagrama de blocos na Figura 6) a mala de testes (CE-6710) injetou valores analógicos de tensão e corrente para a MU320. A MU enviou SV para os IEDs e o Multim SV monitorou os valores de amplitude e ângulo de fase dos sinais. A figura abaixo mostra as imagens dos *displays* dos IEDs recebendo os SV e do monitoramento do Multim SV:

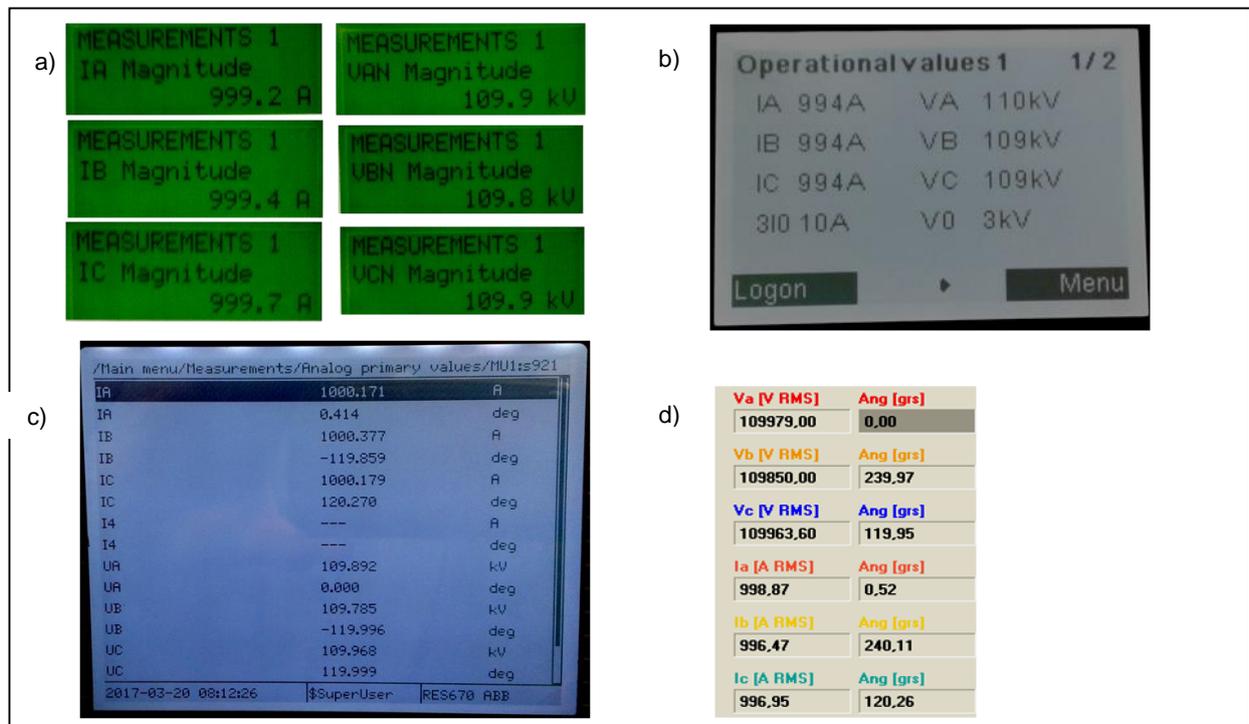


FIGURA 8 - a) P446; b) 7SL86; c) RES670; d) Multim SV

6.2 Ensaio 2

Neste segundo ensaio (diagrama de blocos na Figura 7), a MU320 foi retirada e a mala de testes passou a enviar sinais SV realizando a função de uma MU com os mesmos valores de amplitude e ângulo dos sinais analógicos do ensaio anterior. Os IEDs e o Multim SV receberam e interpretaram estes valores. A figura abaixo exhibe as imagens dos displays dos IEDs recebendo os SV e do monitoramento do Multim SV.

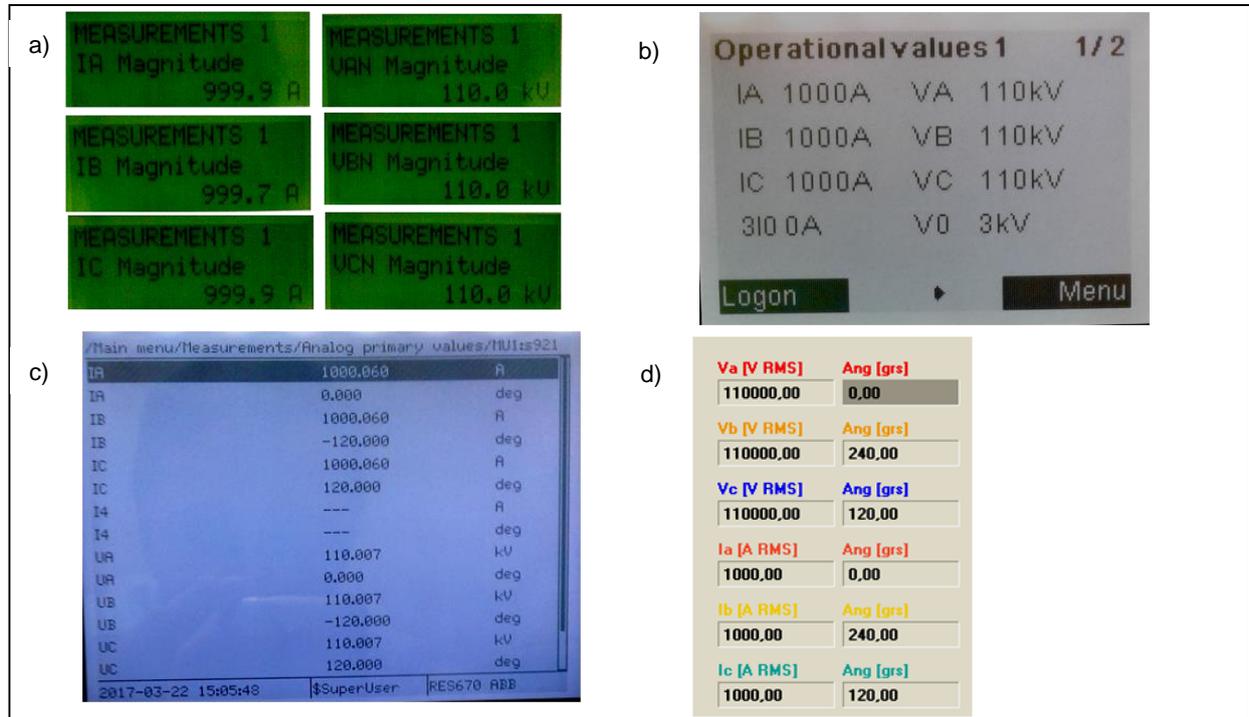


FIGURA 9 - a) P446; b) 7SL86; c) RES 670; d) Multim SV

6.3 Discussão dos Resultados

Foram realizados ensaios com três IEDs de fabricantes diversos juntamente com o monitoramento do Multim SV recebendo os *frames* SV de duas fontes diferentes (MU real e MU simulada) e com sincronismo temporal por IRIG-B. Em ambos os ensaios foi possível verificar a interoperabilidade entre os dispositivos, pois os dados foram interpretados com sucesso, provando assim a total interoperabilidade entre os fabricantes no barramento de processo. Este tipo de experimento, com cinco fabricantes distintos operando entre si, é pioneiro no Brasil.

Portanto, dois testes de interoperabilidade da lista proposta pelo WG B5 53 foram implementados: teste de formato de *frame*, pois se os pacotes SV não estivessem de acordo com a IEC 61850-9-2/IEC 61869-9, os IEDs testados não poderiam ter interpretado os dados; e o teste de erro de digitalização através da verificação dos valores de amplitude e ângulo que foi realizada.

Através dos ensaios foi possível observar o comportamento dos filtros que cada IED implementa no recebimento das mensagens SV. Cada fabricante possui suas próprias particularidades, sendo que um realiza filtro somente pelo SVID (*Sampled Value ID*), outro realiza o filtro pelo APPID (*Application ID*) e pelo SVID, e o último realiza o filtro pelo endereço MAC de destino, pelo APPID e pelo SVID.

7.0 - CONCLUSÃO

Através deste trabalho, foram realizadas importantes elucidações a respeito do *Process Bus* com considerações a respeito do sincronismo temporal e suas implicações. Também foi realizado um paralelo entre a IEC 61869-9 e a IEC 61850-9-2.

Além disso, foram executados dois testes da lista proposta pelo WG B5 53 que avaliam a interoperabilidade. Estes ensaios possibilitaram uma experiência prática da interoperabilidade no barramento de processo através do envio de mensagens SV, onde 5 dispositivos de fabricantes diferentes puderam interagir entre si enviando, lendo e interpretando os sinais corretamente, sendo comprovado com a medição dos valores de tensões e correntes.

8.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) Norma IEC 61850-9-2: *Specific Communication Service Mapping (SCSM) – Sampled Values over ISO/IEC 8802-3*.
- (2) Norma IEC 61869-9: *Digital Interface for Instrument Transformers*.
- (3) *White Paper – Data Communication in Substation Automation System (SAS) - Time synchronization in substation automation – Hirschmann (2012)*.
- (4) Igarashi G., Santos J.C. - "*Effects of Loss of Time Synchronization in Differential Protection of Transformers Using Process Bus According to IEC 61850-9-2'*".
- (5) Pereira Junior, P.S.; Ramos, R.; Martins, C.M.; Pereira, P.S.; Lourenço, G.E. - "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" – Seminário Técnico de Proteção e Controle, XI STPC de 2012.
- (6) *Implementation Guideline for Digital Interface to Instrument Transformers Using IEC 61850-9-2 – UCA International Users Group – Datada de 01/03/2004*.
- (7) Pereira Junior P. S., Martins C.M., Rosa R. R., Pereira P. S., Lourenço G. E. - "A New Approach for Test in Substation with Entire Application of IEC 61850 Including the Process Bus". Paper N0 108 - CIGRE B5 colloquium 2013, Belo Horizonte.
- (8) *Test Strategy for Protection, Automation and Control (PAC) functions in a full digital substation based on IEC 61850 applications – CIGRE, Study Committee B5, Working Group B5.53 – Draft Report – Datada de 16/05/2016*.