XXI SNPTEE
SEMINÁRIO NACIONAL
DE PRODUÇÃO E
TRANSMISSÃO DE
ENERGIA ELÉTRICA

Versão 1.0
23 a 26 de Outubro de 2011
Florianópolis - SC

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

Implementação de um Sistema de Envio e Recebimento de Sampled Value (IEC 61850-9-2)

Paulo Sergio Pereira Junior(*)	Rodrigo Ramos	Cristiano Moreira Martins	Paulo Sergio Pereira	Gustavo Espinha Lourenço
Conprove Indústria e Comércio	Conprove Indústria e Comércio	Conprove Indústria e Comércio	Conprove Engenharia	Conprove Engenharia

RESUMO

O Objetivo deste artigo é elucidar o Barramento de Processos da IEC 61850 e sua implementação no modo Light Edition (LE), explorando sua estrutura, a composição das mensagens e verificando seu comportamento.

Este trabalho visa responder as seguintes dúvidas: Como realmente funciona o Barramento de Processos e as mensagens Sampled Value na implementação 9-2LE? O que se altera com a implantação desta nova tecnologia?

O estudo resume resultados práticos alcançados em experiências reais, em laboratório, utilizando um sistema desenvolvido no Brasil com a finalidade de ilustrar todo o funcionamento das mensagens de Sampled Mensured Value.

PALAVRAS-CHAVE

IEC 61850-9-2; Sampled Measured Values (SMV); Barramento de Processo; Testes; IED´s

1.0 - INTRODUÇÃO

Através da evolução e da convergência das redes de comunicações, a Norma IEC 61850 está cada vez mais difundida e se torna, dia a dia, mais presente nas SE de todo o mundo. Sendo assim é um tópico que cada vez mais se debate.

Este paper abordada o estado da arte do mundo hoje no que diz respeito à IEC 61850-9-2, relatando o que existe em desenvolvimento de mais atual a nível mundial. O conteúdo apresentado pretende auxiliar os profissionais da área a conhecerem e interagirem mais com a norma 61850 e especificamente com o Barramento de Processos, pois hoje a comunidade carece de informações sobre tal tema.

A IEC 61850 é pautada na interoperabilidade entre os dispositivos e abrange os 3 níveis do SAS: da Estação, do Bay e do Processo. Isto ocorre por dois barramentos: o barramento da estação e o de processos, com requisitos diferentes para cada tipo de comunicação.

A implementação da norma 61850 traz várias alterações quanto às formas de troca de informações para os envolvidos nas subestações, sendo elas:

a) A comunicação vertical com destino ao Supervisório, que era feita por protocolos anteriores a Norma 61850, pode ser realizada com o serviço Cliente-Servidor.

(*) Rua Visconde de Ouro Preto, n˚ 75 – CEP 38.405-202 Uberlândia, MG, – Brasil
Tel: (+55 34) 3218-6800 – Fax: (+55 34) 3218-6810 – Email: conprove@conprove.com.br

b) As trocas de Status entre relés, em que se usava fiação de cobre para interligar as binárias (digital I/O), passaram a ter a opção da troca de mensagens GOOSE (Generic Object Oriented Substation Event), utilizada para lógicas e intertravamentos.

c) O circuito dos secundários dos transformadores de instrumentação que chega aos medidores/relés (IED´s em geral) pode ser substituído pelas mensagens de Sampled Value (SV), com o envio dos valores já digitalizados. Estas mensagens poderiam vir de TP´s e TC´s eletrônicos ou de Merging Units.

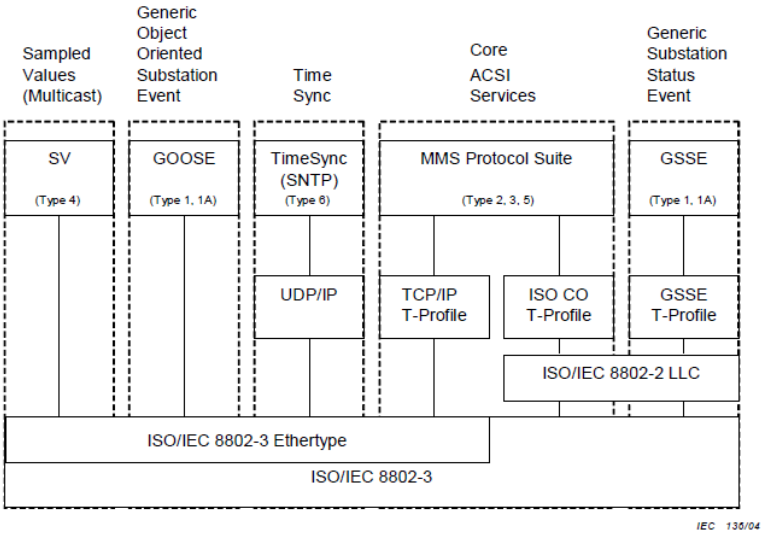

FIGURA 1 – Tipos de Comunicação Previstos pela norma IEC 61850

O artigo trata a fundo esta terceira forma de comunicação (SV), que ainda é pouco explorada, mas que gera grande expectativa a seu respeito. Serão discutidas as questões que os usuários mais querem saber sobre o tema, sendo elas: Como a tecnologia funciona? O que se altera? Quais são os ganhos?

2.0 - O BARRAMENTO DE PROCESSOS

Na essência o SV, de forma extremamente básica, pode ser definido com sendo a alteração física do conversor A/D, que deixa de estar na entrada do IED, e passa a ser situado no pátio da Subestação, já trazendo assim o sinal digitalizado via rede, distribuindo aos IEDs na casa de comando.

Vale lembrar que: Com o emprego do Barramento de Processos, já não se trabalha mais com potência/energia do secundário de TC´s e TP´s, mas somente com a sua informação na forma digital.

A norma IEC 61850 é uma norma relativamente nova e ainda não há um consenso geral sobre a maneira de implementação do Sampled Value. Ela permite interpretações, criando assim duas grandes vertentes: Process Buss Hard FIber Brick e 9-2LE (Light Edition). O Brick é utilizado nos IED´s da GE. Já o 9-2LE, segue o guia de implementação da UCA "IMPLEMENTATION GUIDELINE FOR DIGITAL INTERFACE TO INSTRUMENT TRANSFORMERS USING IEC 61850-9-2" escrito no ano de 2004. Neste artigo trataremos a implementação do modo 9-2LE.

Para que as mensagens cheguem a todos os IED´s, um Switch distribui o sinal. Uma maneira de evitar o carregamento da rede é trabalhar com Virtual LAN, evitando assim processamentos desnecessários. Outro ponto a ser destacado é que, como a rede ethernet possui um chaveamento estatístico, isso pode causar um atraso não determinístico na transmissão dos pacotes SV. De acordo com a norma o máximo aceitável é de 3ms, conforme 61850-5 P2/3.

De acordo com o guia de implementação da UCA, o 9-2LE deve seguir as seguintes definições:

- Taxas de Amostragem (60Hz): Para Proteção ululiza-se 4800 samples/s 80ppc (pontos por ciclo) e para Medição 15360 samples/s 256ppc.

- Taxa de Envios: Para Proteção utiliza-se 1ASDU (Application Service Data. Unit) gerando um tráfego de 4800 frames/s e para Medição 8ASDU gerando 1920 frames/s. Observa-se neste quesito que mesmo com uma taxa de amostragem maior, a medição possui uma taxa de envio menor que a da Proteção.

• Sincronismo: O mecanismo de sincronização deve ser 1PPS transmitido por fibra óptica e a fonte de sincronismo deve possuir precisão de ±1us. O Sample Count é incrementado a cada amostra e zerado a cada pulso de sincronismo. Este método é utilizado para garantir a sincronização da aquisição entre vários dispositivos sem perda da referência angular.

• Concatenação ASDU´s por APDU (Application Protocol Data Unit): Varia de acordo com a taxa de amostragem: para 80ppc usa-se 1ASDU, já para 256ppc usa-se 8 ASDU´s. Na Proteção utiliza-se uma mensagem de SV para carregar cada amostra, já na medição cada mensagem carrega um conjunto de 8 amostras.

• Estrutura Quality bits: Indica a confiabilidade do sinal amostrado. O documento do grupo UCA traz 12 status e adiciona mais o derived que indica se a amostra é calculada ou medida.

• Quanto a camada física, recomenda-se o uso do 100Base-FX com conector ST e como únicas alternativas o uso do 100Base-FX (MT-RJ) ou 100Base-TX (RJ-45). Hoje muito se fala sobre os conectores LC, porém nada é citado no guia.

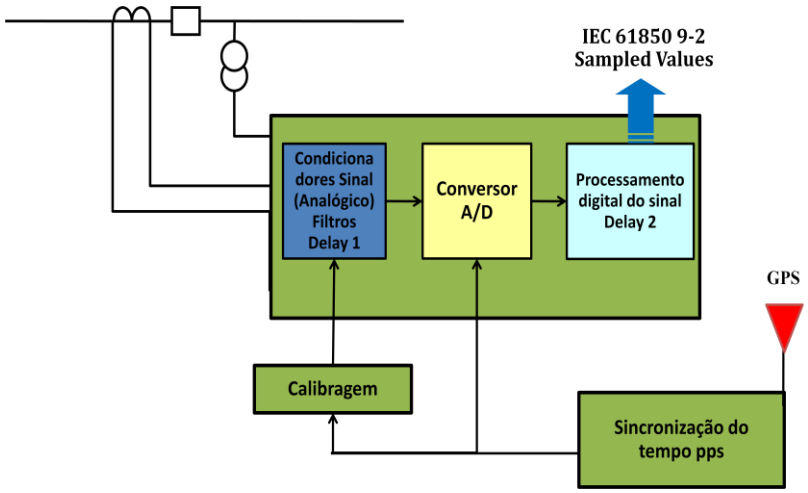

FIGURA 1 – Esboço de uma UM com TC e TP convecionais

O guia UCA deixa aberto para futuras implementações dois itens. O primeiro é a possibilidade de uso do IRIG-B como alternativa ao 1PPS na sincronização e o segundo seria a melhora do status de sincronismo que ao invés de apenas indicar se está ou não sincronizado poderia sinalizar se é um sincronismo local ou global.

2.1 Por dentro da mensagem do Sampled Value

O Frame SV roda sobre a 2ª Camada OSI de Rede (Camada de Enlace / Ethernet) para conseguir os requisitos de tempo e possuir alta velocidade. A mensagem SV é multicast e trabalha com Priority Tag e V-LAN (podendo ser parametrizado até 4096 V-LAN´s diferentes). Vale ressaltar que nos pacotes SMV não há repetições de envio; diferentemente do GOOSE.

Os quadros ethernet das mensagens de SV utilizam o código Ethertype 88BA e faixa de endereço de multicast de 01-0C-CD-04-00-00 até 01-0C-CD-04-01-FF.

A norma define que o APPID deve ser especificado dentro de uma faixa de valores reservados para as mensagens sampled values que é de 0x4000 a 0x7FFF, porém o documento do guia de implementação do Light Edition exige que seja usado o APPID 0x4000.

Em seguida encontramos mais 4 bytes que são definidos como reservados para usos futuros, cujos valores devem ser zero. Posteriormente inicia-se o mapeamento do APDU como segue abaixo.

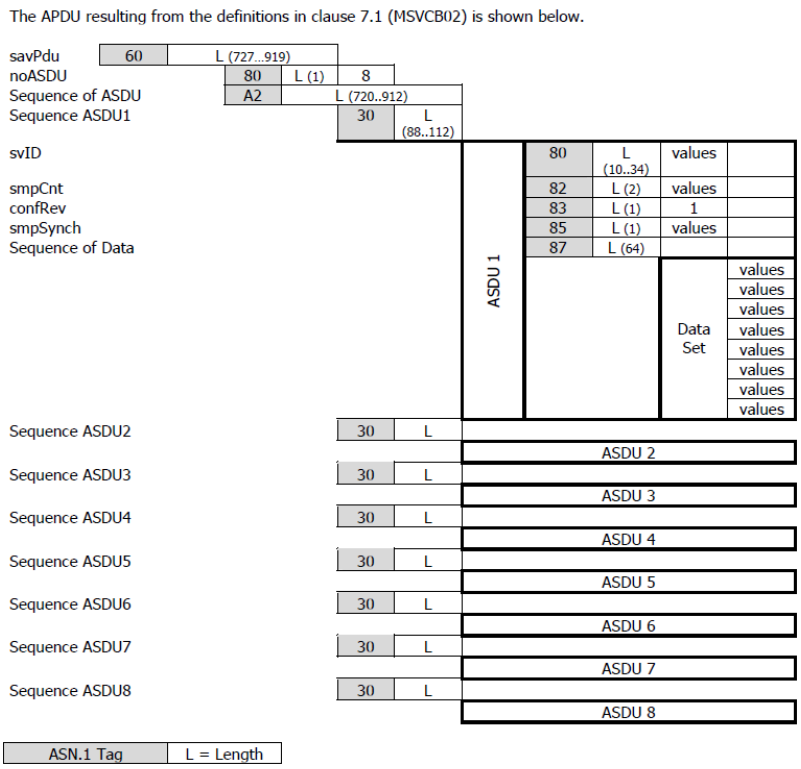

FIGURA 2 – Exemplo de SV com 8 ASDUs

Explorando o savPdu:

noASDU: Indica o número de ASDU's contidos no APDU;

seqASDU: Indica o início da seqüência de ASDU's contidos no APDU;

ASDU: Indica o início do ASDU;

svID: Identifica a mensagem SV;

smpCnt: Contador para as amostras;

confRef: Contador para o número de alterações da configuração do MSVCB;

smpSynch: Indica se as amostras estão ou não sincronizadas;

Explorando o Dataset: O dataset é basicamente composto por dois dados (para cada uma das fases mais o neutro): o Valor e parâmetro de qualidade.

O primeiro é a amostra digitalizada sendo uma medição instantânea chamada value. Esse é um inteiro de 32 bits que contém o valor da amostra. Existem 8 "value" em um ASDU que representam na ordem que aparecem: corrente da fase A, corrente da fase B, corrente da fase C, corrente de Neutro, tensão da fase A, tensão da fase B, tensão da fase C, tensão de Neutro.

Lembrando que o SV não trabalha com RMS, e sim com a medida instantânea daquele ponto.

O sinal transmitido tem por base o valor primário. O bit menos significativo (LSB) é de 1mA para corrente e 10mV para a tensão, ou seja, estes são os menores valores que se consegue quantizar.

Assim, o valor da amostra que é entregue no "pacote" SV deve ser multiplicado por 0,001 (para corrente) ou por 0,01 (para tensão) para se extrair o valor em ampéres ou volts, no primário.

Já o segundo dado é o Quality, ou Quality bits. Esta informação, composta por 4 Bytes, é apresenta na condição da amostra aquisitada. Para cada “value” existe um quality que informa a qualidade da amostra.

Quanto à validade do dado existem três condições:

Good: Indica que não há nenhuma condição anormal na função de aquisição ou da fonte de informação.

Invalid: Indica que há alguma condição anormal na função de aquisição ou da fonte de informação. O valor não deve ser definido nesta condição. Indica ao cliente que o dado pode estar incorreto e não deve ser usado.

Questionable: Indica que a função de supervisão detectou um comportamento anormal, contudo o valor pode ainda serválido. Cabe ao cliente decidir se o valor deve ou não ser usado.

DetailQual	Invalid	Questionable
Overflow	X	
Out of Range	X	X
Bad Reference	X	X
Oscillatory	X	X
Failure	X	
Old data		X
Inconsistent		X
Inaccurate		X

FIGURA 3 – Classificação dos Bits de Qualidade

```
  smpSynch: Unknown (-1)
⊟ PhsMeas1
    value: 1662528
  ⊟ quality: 0x00001000, validity: good, source: process, operator blocked
      .... .... .... .... .... .... .... ..00 = validity: good (0x00000000)
      .... .... .... .... .... .... .... .0.. = overflow: False
      .... .... .... .... .... .... .... 0... = out of range: False
      .... .... .... .... .... .... ...0 .... = bad reference: False
      .... .... .... .... .... .... ..0. .... = oscillatory: False
      .... .... .... .... .... .... .0.. .... = failure: False
      .... .... .... .... .... .... 0... .... = old data: False
      .... .... .... .... .... ...0 .... .... = inconsistent: False
      .... .... .... .... .... ..0. .... .... = inaccurate: False
      .... .... .... .... .... .0.. .... .... = source: process (0x00000000)
      .... .... .... .... .... 0... .... .... = test: False
      .... .... .... .... ...1 .... .... .... = operator blocked: True
      .... .... .... .... ..0. .... .... .... = derived: False
```

FIGURA 4 – Exemplo mostrando a sequência de bits que formam o Quality

A MU constrói o quality de acordo com os status que recebe de seu hardware, indicando ou não se há alguma inconsistência quanto à confiabilidade das amostras. Porém, cabe ao IED que está recebendo os dados realizar a análise do quality e proceder com a decisão de utilizá-los ou descartá-los.

O tamanho do frame SV pode variar de 117 a 151 Bytes. Analisaremos um frame de 123 Bytes. Com um cálculo simples obtemos o resultado de que numa rede totalmente livre, o tempo gasto para transmitir o pacote é de 9,84 Microsegundos.
123 Bytes * 8 = 984 Bits 984 / 100 M = 9,84 MicroSegundos

2.2 Descrição do Sistema

Após o embasamento sobre a norma 61850 e o estado da arte, esta etapa do artigo aborda a avaliação de um sistema de transmissão de dados de acordo com a 61850-9-2 (Barramento de Processos). Vale destacar que este sistema é um projeto com tecnologia / know how nacional.

Para a realização dos testes foram utilizados uma Mala de Testes CE6006, um sincronizador via satélite modelo CE-GPS - ambos de fabricação da Conprove -, um Switch RuggedCom, além de um hardware desenvolvido para digitalizar e enviar o SV (Merging Unit).

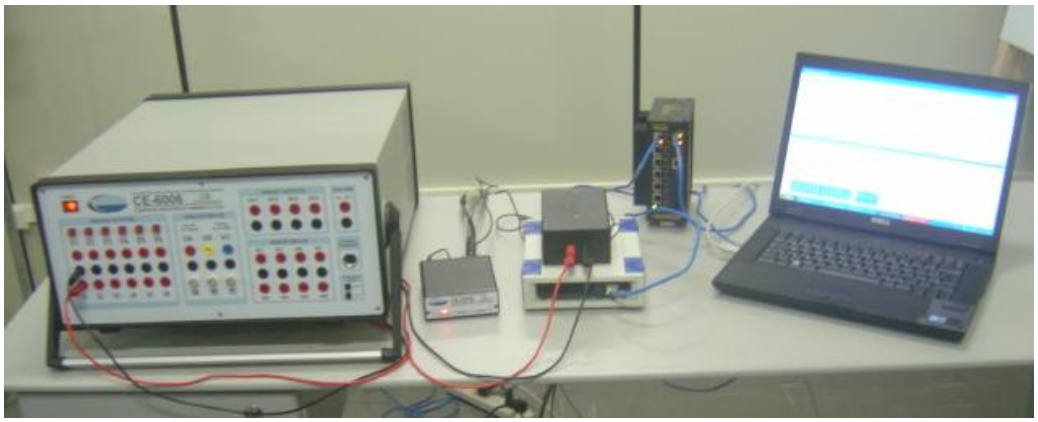

FIGURA 5 – Primeiro sistema montado realizando digitalização de uma fase.

Foi montado um sistema que envia, via rede ethernet, os valores amostrados (SV) de acordo com o formato da norma IEC 61850-9-2 LE, simulando assim uma Merging Unit. Inicialmente os testes começaram convertendo apenas uma fase; posteriormente foram realizadas simulações trifásicas com três correntes mais o neutro respectivo, além das três tensões mais o neutro respectivo, totalizando o envio de 8 sinais.

Os dados enviados pelo modelo serão analisados através de um analisador de protocolo, que decompõem o tráfego da rede fazendo a verificação de cada pacote SV, extraindo os parâmetros de qualidade (qualitybits) e as amostras dos valores de tensão e corrente. Posteriormente, as formas de onda são recriadas no computador que está recebendo as mensagens.

2.3 Funcionamento do Sistema

A estrutura consiste em um condicionador de sinal de entrada, seguido de um filtro, que alimenta o conversor A/D, digitalizando e enviando a um processador que formata o dado na estrutura do frame SV. Este frame é enviado para o controlador de rede onde a mensagem é disparada via rede ethernet.

O sistema montado usa a taxa de amostragem para proteção de 80 ppc, totalizando 4800 frames/segundo. Hoje a maioria dos relés comerciais trabalham com a taxa de 32 PPC para realizar as tarefas de proteção, ou seja, o sistema estará trabalhando em uma taxa bem maior, porém como o mecanismo do SV não permite reenvio, caso um pacote seja perdido, uma amostra deixará de chegar ao IED que está recebendo o sinal.

Um pulso de 1PPS vindo de um sistema de precisão de GPS do equipamento CE-GPS de fabricação da Conprove gera a base de sincronismo para a aquisição. No estouro de 1 segundo é sincronizado a amostra e o Samplecount é zerado.

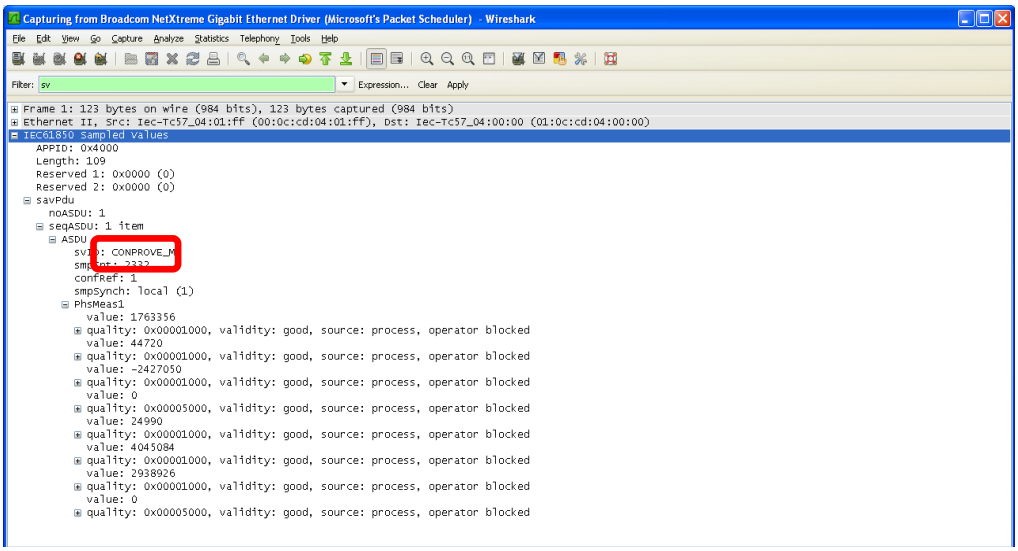

FIGURA 6 – Exemplo do frame SV capturado pelo analisador de protocolos com svID CONPROVE_MU

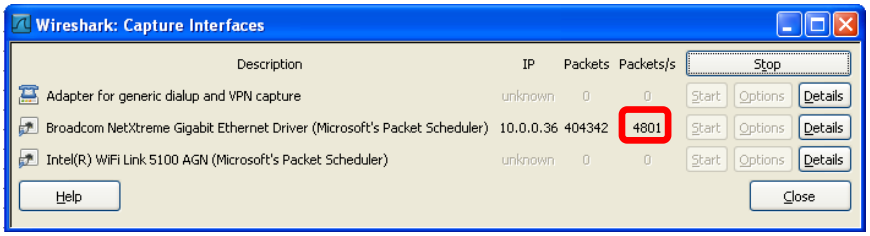

FIGURA 7 – Avaliação do Tráfego na Rede exibindo a taxa de 4.800 Frames por segundo, taxa de uma MU

O sinal analógico é convertido em digital, e encapsulado de acordo com a estrutura do pacote SV. Após esta etapa é enviado pela rede ethernet, ao chegar ao destinatário o frame é desencapsulado, e seu valor interpretado.

Na geração do stream de SV há dois tipos diferentes de fonte de atraso: a conversão A/D + Processamento Digital e posteriormente o atraso de transmissão. Portanto é importante que se distinga um atraso de outro.

O atraso de digitalização é um atraso relativamente pequeno (cerca de poucos micros segundos). Já o atraso de transmissão pode ser um atraso maior, porém de acordo com o método da sincronização com 1PPS o atraso de transmissão não afeta o ângulo de fase, visto que o momento da amostragem é controlado por um clock que é reajustado a cada segundo.

Consideremos uma proteção que possui um tempo de atuação de 20ms. Ela pode ter o seu tempo aumentado, por exemplo, para 26ms (3ms da Transmissão + 3ms de um Buffer), quando utilizado o stream de SV ao invés de utilizar o sinal V/I analógico. Situação esta sem perda de pacotes. Caso haja perdas de pacotes este tempo poderá ser ainda maior.

Uma situação mais complexa pode ser que a decisão do IED seja formada por sinais que venha de duas ou mais Merging Units diferentes, por exemplo, em uma proteção de barra. Para comparações de sinais de diferentes MU´s o IED deverá verificar o SampleCount de cada um dos sinais e comparar o mesmo Sample Count, garantindo assim que estará confrontando a mesma amostra no tempo.

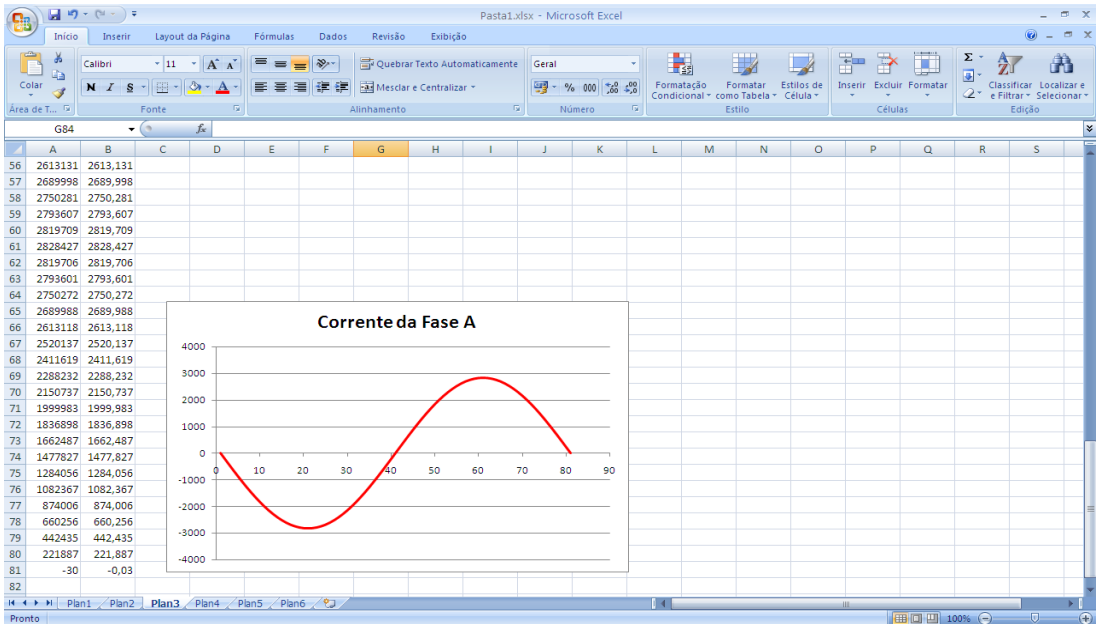

FIGURA 8 – Recomposição da Forma de onda enviada, com aplicação da escala de corrente

A possibilidade de uso da tecnologia é vasta.Ao alterar o paradigma, abre-se um universo de possibilidades. Com o uso das Merging Units e diminuindo-se a carga no secundário dos TC´s, por exemplo poderiam diminuir as saturações o que evitaria várias atuações equivocadas dos dispositivos de proteção, dispensado o uso de algoritmos de detecção de saturação de TC´s.

3.0 - CONCLUSÃO

Foi montado um sistema de envio de SV conforme a 9-2 LE, com parâmetros de proteção, que em uma primeira análise se mostrou eficaz. Evidenciou-se que o envio do sinal digital dos valores de tensão e corrente para os instrumentos que utilizam hoje o sinal de secundário poderá ser uma realidade.

Os atrasos de tempo, em uma rede não carregada, são relativamente pequenos, não gerando grandes problemas para as proteções. Não foi avaliado o Stream SV para medição/qualidade de energia, que trabalha, pela 9-2LE com 256 ppc.

Algumas dúvidas ainda persistem, pois não foram tratadas na norma, como: qual a quantidade máxima de amostras sequenciais perdidas que seria aceitável? Qual a quantidade máxima de amostras perdidas em um determinado tempo que podem ser aceitas?

Este estudo abre espaço para continuidades de avaliação do barramento de processos explorando os limites da largura de banda e verificação da performance do sistema. De forma geral, a perda de raras amostras poderão ser suprimidas devido a taxa (80ppc) bem maior do que a grande parte dos relés atuais que trabalham com 32PPC.

Conclui-se que a MU trabalha de uma forma independente digitalizando e enviando o sinal. Cabe ao IED que esteja recebendo o sinal a decisão de como tratar eventuais falhas, listadas no quality (ou não), no caso de perda de amostras ou a chegada das amostras fora de ordem. Para o caso de perda de amostras já existem discussões de como o IED deveria se comportar e se deveria calcular a amostra faltante de acordo com a forma de onda das amostras que já foram entregues.

A implementação do barramento de processos ainda é uma técnica jovem e faltam opções de equipamentos com esta tecnologia no mercado. Porém é uma tecnologia inovadora que poderá vir a ser adotada com o passar dos anos, visto que pode proporcionar economia e simplicidade no cabeamento.

4.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

(1) Norma IEC 61850– Communication networks and systems in substation – Todas as Partes - Primeira Edição.

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

(3) Implementation Guideline for Digital Interface to Instrument Transformers Using IEC 61850-9-2 – UCA International Users Group – Datada de 01/03/2004.

(4) Experimento de Sobre Carga com 15.000 Mensagens GOOSE por Segundo em uma Rede IEC 61850, e a Investigação de suas Conseqüências – 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.

(5) Testes de Performance em IED's 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 SPTC de 2008.

(4) HardFiber: Process Bus System Reference Manual – GE Publication Code: GEK-113500B de 2009.