



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

BR/GPC/20
13 a 16 de Outubro de 2013
Brasília - DF

GRUPO - V

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

ANÁLISE DE DESEMPENHO DA COMUNICAÇÃO DE MENSAGENS GOOSE NA WAN ENTRE SUBESTAÇÕES PARA TELEPROTEÇÃO DE LINHAS DE TRANSMISSÃO E DISPOSITIVOS ELÉTRICOS

Carlos Henrique Rodrigues de Oliveira (*)
CPqD

Andre Pereira Bowen
Chesf

RESUMO

A IEC 61850-90-1 estabelece a forma de uso da IEC 61850 para troca de informações entre subestações de energia elétrica com finalidade de teleproteção das linhas de transmissão e dos dispositivos elétricos utilizando protocolo padronizado sobre a camada 2 (de enlace) do modelo ISO-OSI.

Este trabalho apresenta parte do escopo do P&D em andamento da CHESF e do CPqD sobre a comunicação entre subestações para teleproteção de linhas de transmissão e dos dispositivos elétricos e investiga o desempenho de uma rede de comunicação WAN (*Wide Area Network*) com e sem fio, sob o ponto de vista do atendimento do requisito de atraso máximo fim-a-fim previsto nos procedimentos de rede do ONS (Operador Nacional do Sistema Elétrico) e no padrão IEC 61850-90-1, no envio de mensagens GOOSE (*Generic Object Oriented Substation Event*) entre roteadores na camada 3 (de rede de dados) do modelo ISO/OSI que possa proporcionar a convergência dos serviços entre subestações como, por exemplo, a teleproteção, a medição sincrofásorial, a gerência da automação e os serviços corporativos, priorizando o serviço de missão crítica (teleproteção) pelo uso dos recursos de QoS (*Quality of Service*) baseado nos protocolos IEEE 802.1p / 802.1Q.

Resultados de testes em laboratório mostraram viabilidade da proposta deste trabalho.

PALAVRAS-CHAVE

IEC 61850-90-1, GOOSE, WAN

1.0 - INTRODUÇÃO

De acordo com o padrão IEC 61850, a comunicação de mensagens GOOSE ocorre no formato *multicast* em camada 2 (de enlace) do modelo ISO-OSI. A parte 90-1 do padrão IEC 61850 trata da comunicação entre subestações para teleproteção, o que remete a possibilidade da comunicação de mensagens GOOSE em camada 3 (de rede de dados) do modelo ISO-OSI com foco na convergência de serviços. Atualmente há suporte no padrão IEC 61850 para a comunicação GOOSE em camada 3 para sincrofaseamento, mas não há suporte para a comunicação GOOSE em camada 3 para teleproteção.

As atuais redes de teleproteção baseada em mensagens GOOSE IEC 61850 operam em camada 2 entre switches (elementos de rede de dados) de subestações por meio do protocolo *ethernet* que apresenta algumas desvantagens como: a) Não ter sido elaborado para comunicação WAN (*Wide Area Network*); b) Não ser roteável fazendo com que um roteador, não configurado para esta finalidade, descarte as mensagens GOOSE de *multicast* da camada 2 e c) Estender o domínio de broadcast além da fronteira da subestação podendo desestabilizar a rede com tempos de recuperação imprevisíveis para os casos de descobertas e aprendizados de endereços MAC para preenchimento de tabelas de encaminhamento de quadros de camada 2 ou de um *loop* ocasionado por alguma

(*) R. Dr. Ricardo Benetton Martins, s/n – Parque II do Pólo de Alta Tecnologia – CEP 13086-902 – Campinas – SP – Brasil

Tel: (+55 19) 3705-6897 – Fax: (+55 19) 3705-6125 – Email: carloshe@cpqd.com.br

falha no protocolo *Spanning Tree*. Isso se torna especialmente importante quando várias subestações se conectam pela WAN e compartilham a mesma VLAN.

Há evidências baseadas em testes laboratoriais realizados por fabricante de mercado (1) de que a adição do cabeçalho IP não afeta significativamente o atraso na comunicação de mensagens GOOSE na camada de rede, concluindo que o encaminhamento de um quadro de camada 2 ou de um datagrama de camada 3 ocorre na mesma ordem de 8 a 25 microssegundos, independentemente de ser cabeçalho Ethernet ou IPv4/IPv6. Verifica-se desta forma a possibilidade que o requisito de atraso máximo fim-a-fim (*transfer time*) de 10 ms (inter-subestações) previsto na IEC 61850-90-1 possa ser alcançado na comunicação em camada 3 de mensagens GOOSE para teleproteção como, por exemplo, a mensagem *transfer tripping* (2).

O propósito deste trabalho é viabilizar serviço de teleproteção entre roteadores utilizando técnicas em camada 2 (tunelamento) ou em camada 3 (encapsulamento ou roteamento) para proporcionar convergência de serviços IP e compartilhamento do canal WAN na passagem serviços de interesse das concessionárias como, por exemplo, teleproteção (IEC 61850-90-1), comunicação entre centro de controle e subestações (IEC 61850-90-2), *condition monitoring* (IEC 61850-90-3), sincronismo (IEC 61850-90-5), corporativos e gerenciamento da rede de dados em canal WAN óptico via OPGW (*Optical Ground Wire*) ou aéreo via rádios digitais, priorizando o serviço de missão crítica (teleproteção).

2.0 - TÉCNICAS APLICÁVEIS

As técnicas aplicáveis para viabilizar a comunicação de mensagens GOOSE entre roteadores são:

- a) Em camada 2:
 - i. Tunelamento por meio do protocolo L2TP (*Layer 2 Tunneling Protocol*);
 - ii. Tunelamento por meio do protocolo VPLS (*Virtual Private LAN Service*).
- b) Em camada 3:
 - i. Encapsulamento por meio dos protocolo GRE (*Generic Routing Encapsulation*);
 - ii. Roteamento *multicast* por meio dos protocolos PIM (*Protocol Independent Multicast*) e DVMRP (*Distance Vector Multicast Routing Protocol*).

3.0 - DESEMPENHO DA COMUNICAÇÃO

Um dos requisitos na análise de desempenho é o atraso unidirecional fim-a-fim da comunicação de mensagens GOOSE de *multicast* na WAN para proteção de linha como previsto na IEC 61850-90-1.

A Figura 1 mostra as parcelas que compõem o atraso unidirecional fim-a-fim definido em (2).

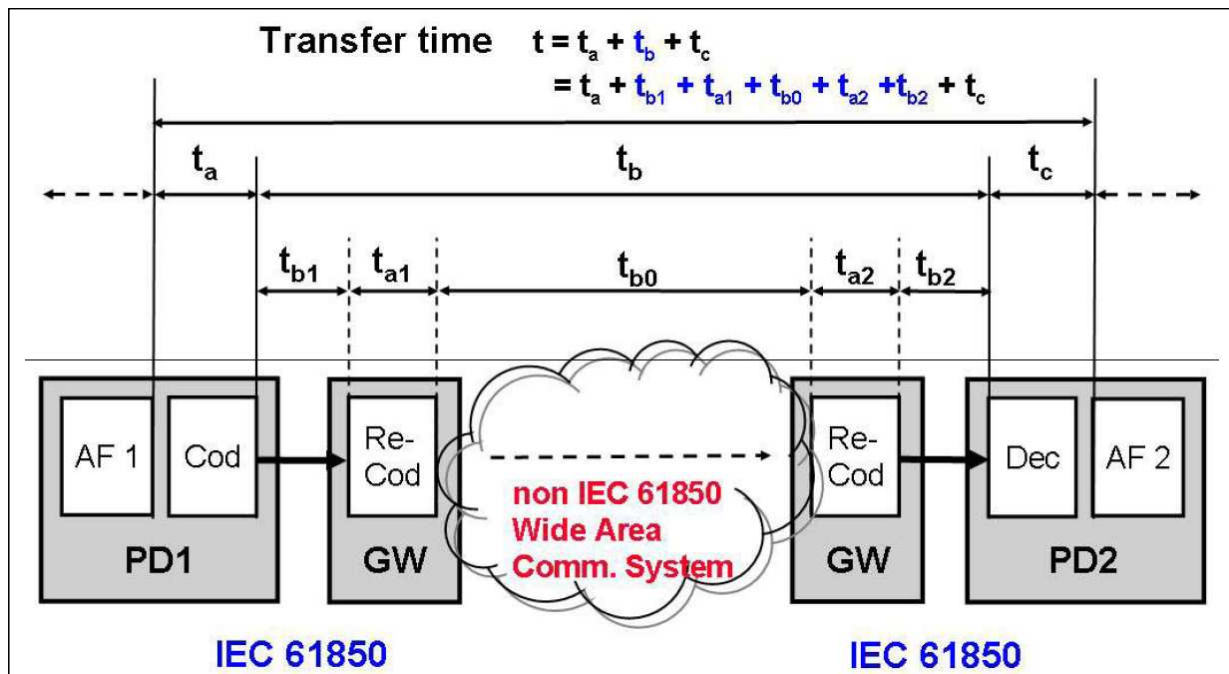


Figura 1. Definição do atraso unidirecional fim-a-fim da comunicação de mensagens GOOSE de *multicast* na WAN

O limitante superior do atraso no canal óptico é um valor teórico considerando a velocidade da luz de 5 us / km (meio fibra óptica) que implicaria na possibilidade de comunicação de até 2.000 km de distância entre subestações. O limitante inferior do atraso no canal óptico é o valor de 10 ms (inter-subestações) previsto na IEC 61850-90-1.

O limitante superior do atraso no canal aéreo é um valor teórico considerando a velocidade da luz de 3,34 us / km (meio ar) que implicaria na possibilidade de comunicação de até 3.000 km de distância entre subestações. O limitante inferior do atraso no canal aéreo é o valor de 10 ms.

4.0 - TOPOLOGIA DA REDE DE TESTES

A Figura 2 mostra a topologia da rede de testes em laboratório de atraso da comunicação de mensagens GOOSE na WAN entre roteadores.

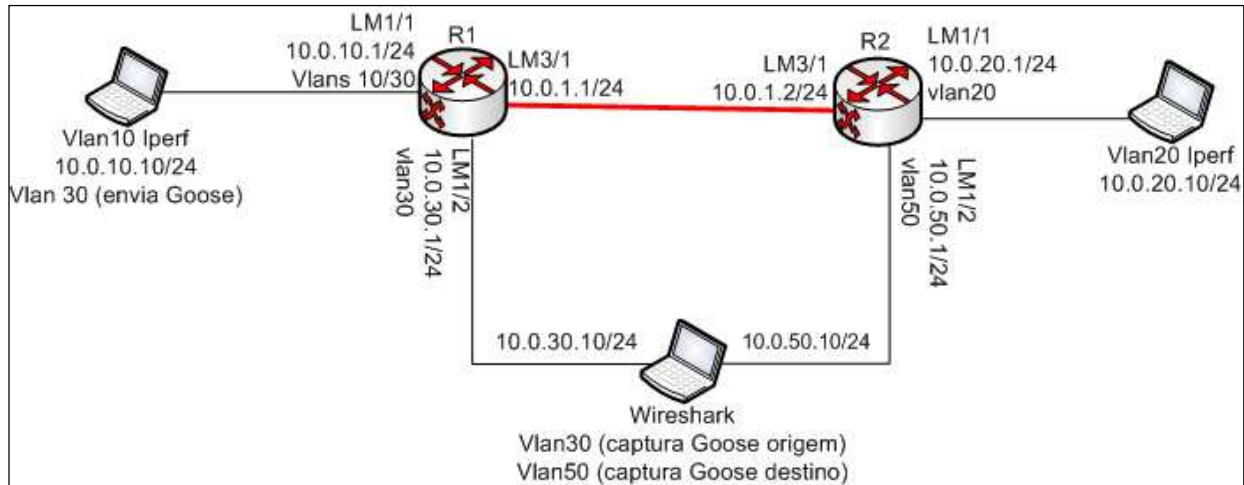


Figura 2. Topologia da rede de testes em laboratório

4.1 Resultado dos testes

A Figura 3 mostra que o atraso de tráfego de mensagens Goose entre roteadores via L2TP em canal WAN óptico 100% carregado com tráfego de dados concorrentes tendo mensagens Goose priorizadas foi em média 2,09 ms com valores de pico menores que 4,50 ms ambos abaixo dos 10 ms previstos na IEC 61850-90-1.

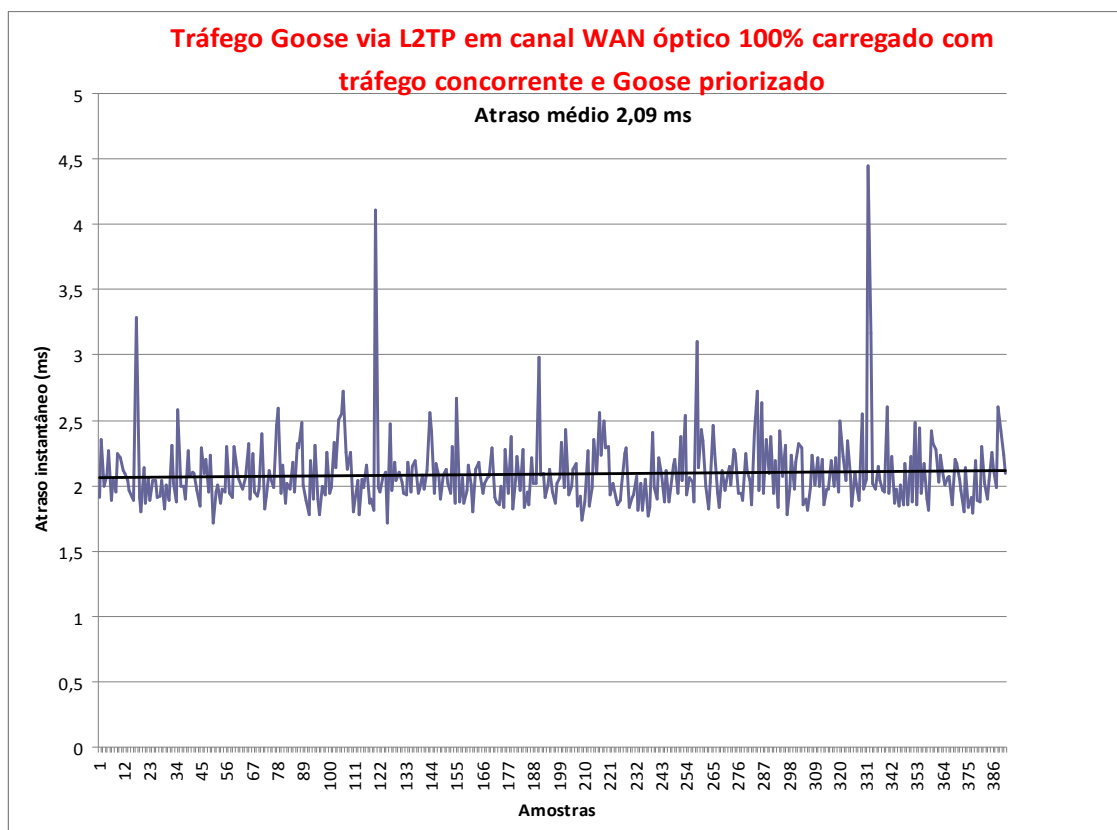


Figura 3. Resultado do teste de atraso de tráfego Goose via L2TP em canal WAN óptico com tráfego concorrente

A Figura 4 apresenta o resultado do teste de atraso de tráfego Goose via L2TP em canal WAN óptico 100% carregado com tráfego concorrente e Goose priorizado em túnel IPsec criptografado utilizando protocolo AES de 128 bits. Este resultado mostra que o atraso na comunicação Goose via túnel L2TP dentro de túnel VPN (*Virtual Private Network*) com concorrência de tráfego de dados utilizando a capacidade máxima da banda da WAN foi em média 2,53 ms com valores de pico que não ultrapassam 6 ms.

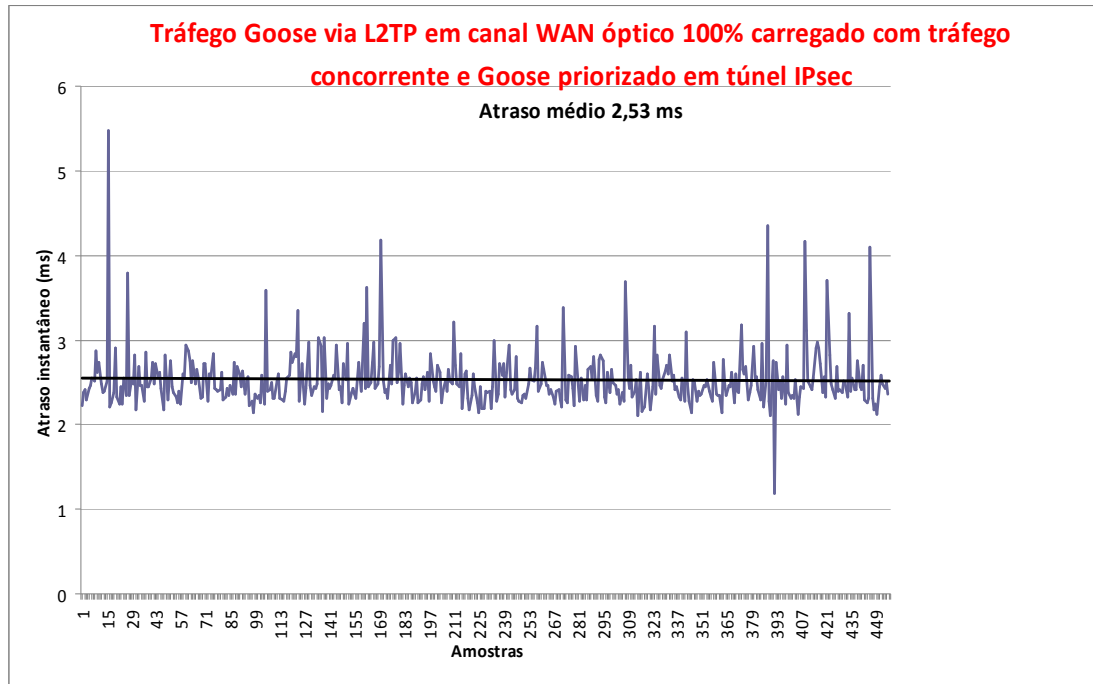


Figura 4. Resultado do teste de atraso de tráfego Goose via L2TP em canal WAN óptico 100% carregado com tráfego concorrente e Goose priorizado em túnel IPsec

A Figura 5 apresenta o resultado do teste de atraso de tráfego GOOSE via L2TP interligados em canal WAN óptico 100% carregado com tráfego concorrente e GOOSE priorizado em túnel IPsec criptografado utilizando algoritmo AES de 128 bits. Este resultado mostra que o atraso na comunicação GOOSE via túnel L2TP dentro de túnel VPN (*Virtual Private Network*) com concorrência de tráfego de dados utilizando a capacidade máxima da banda da WAN foi, em média, de 2,53 ms, com valores de pico que não ultrapassam 6 ms.

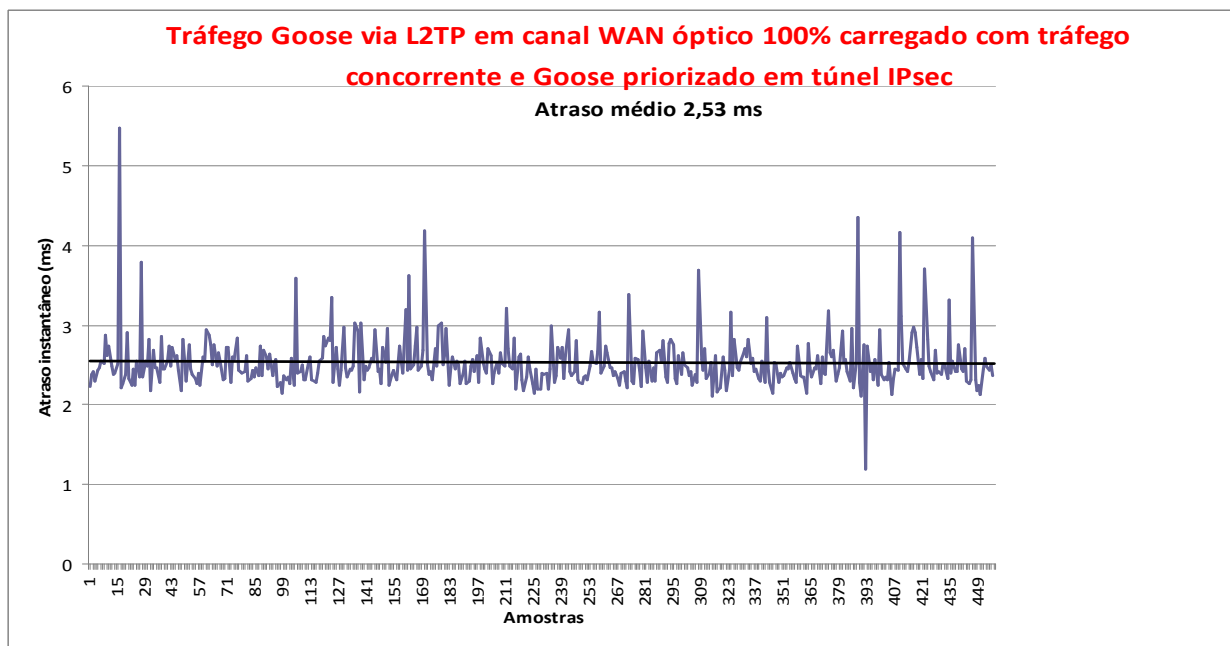


Figura 5. Resultado do teste de atraso de tráfego GOOSE via L2TP em canal WAN óptico 100% carregado com tráfego concorrente e GOOSE priorizado em túnel IPsec

5.0 - SOFTWARE DE ANÁLISE DE DESEMPENHO

Está sendo desenvolvido um software para análise de desempenho da rede de teste da Figura 6 em piloto de testes em campo a ser implantado entre duas subestações distantes 20 km com comunicação WAN em canais óptico e aéreo considerando: a) Os atrasos da comunicação de mensagens GOOSE entre roteadores baseado na captura destas mensagens e na análise dos tempos de chegada e de saída (via *time stamp*) e b) As perdas no recebimento de mensagens GOOSE. Podendo gerar alarmes e dar visibilidade destes atrasos e perdas ao administrador da rede por meio de uma interface gráfica amigável e por emissão de relatórios para conhecimento do desempenho e da confiabilidade da rede de teleproteção. Tempos de retomada de rota em falha dos IEDs e dos roteadores poderão ser analisados por meio do protocolo eRSTP (*Enhanced Rapid Reconfiguration of Spanning Tree Protocol*, evolução do protocolo IEEE 802.1w).

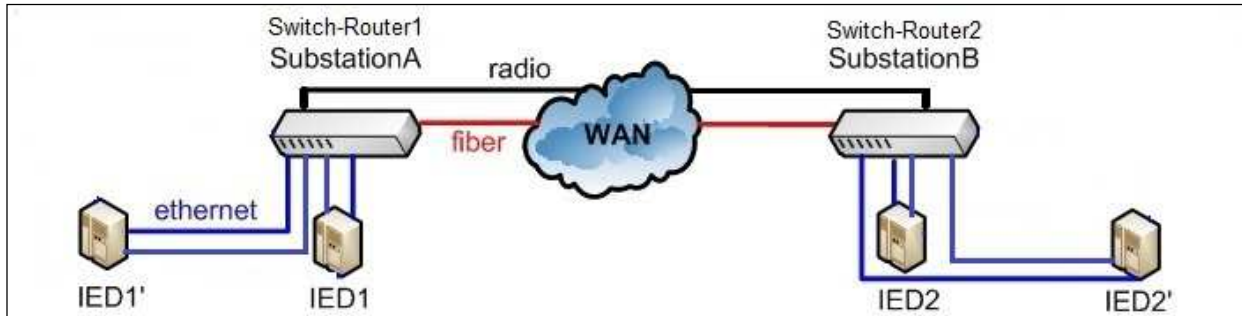


Figura 6. Topologia da rede piloto de testes em campo

A Figura 7 mostra uma janela de análise do software em desenvolvimento.

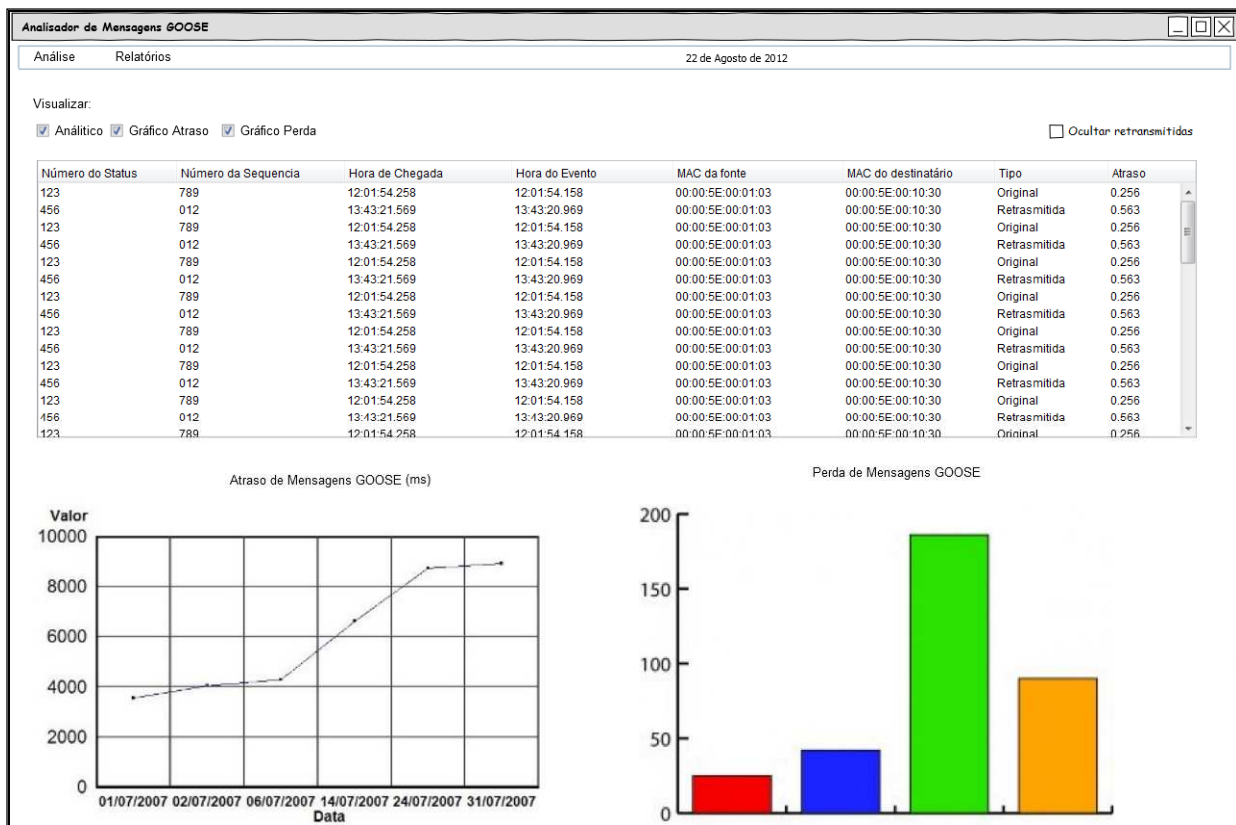


Figura 7. Analisador de Mensagens GOOSE (AMG)

6.0 - CONCLUSÕES

Experimentos feitos em ambiente laboratorial implementando a topologia apresentada na Figura 1 mostraram que o tempo da comunicação de mensagens GOOSE em canal óptico na WAN entre roteadores ficou abaixo do limite estabelecido na IEC 61850-90-1, podendo proporcionar a convergência dos serviços entre subestações mantidas as devidas prioridades da comunicação Goose.

O canal WAN foi criptografado via IPSec utilizando protocolo AES de 128 bits. O resultado dos testes mostrou que o atraso na comunicação Goose via túnel L2TP dentro de túnel VPN (Virtual Private Network) com concorrência de tráfego de dados utilizando a capacidade máxima da banda da WAN foi em média 2,53 ms com valores de pico que não ultrapassam 6 ms e aumentou em média apenas 440 μs (2,53 ms - 2,09 ms) em relação ao resultado do teste apresentado na Figura 3 sem criptografia, o que representa uma real possibilidade de comunicação de mensagens Goose com criptografia mesmo entre roteadores e não apenas entre switches como atualmente previsto na IEC 61850.

O item 4.1 “*Operational issues affecting choice of security options*” da IEC TS 62351-6 “Part 6: *Security for IEC 61850*” não recomenda a utilização de criptografia em aplicações com mensagens Goose com requisito de tempo de 4 ms (intra-subestações). O resultado obtido (em média 2,53 ms) sugere possibilidade de tráfego criptografado intra-subestações, mas pode ser proibitivo ao considerar os valores de pico.

A proposta deste trabalho é focada na possibilidade de poder ser adotado pela rede de produção das subestações dentro e fora do Brasil, na originalidade porque não se apresenta até o presente momento qualquer referência semelhante em partes e objetivos e inova porque não se encontra referência no padrão podendo contribuir para que este tema venha ser padronizado pela IEC 61850 e com teses de *latu e stricto sensus*.

7.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

(1) http://www.gridwiseac.org/pdfs/forum_papers10/kapadia_gi10.pdf

(2) IEC 61850-90-1: Communication networks and systems for power utility automation - Part 90-1: Use of IEC 61850 for the communication between substations