



## MEDIÇÕES EM SISTEMAS DE AUTOMAÇÃO DE SUBESTAÇÃO (SAS): UMA ABORDAGEM DE GERÊNCIA DE REDES

### RESUMO

Este artigo apresenta medidas do workload obtidas em uma subestação que se encontra em meio à implantação do padrão IEC 61850 - Communication Networks and Systems in Substations, considerado vital para as redes inteligentes no domínio elétrico ou smart grids. A carga real auxiliará na avaliação dos requisitos da norma e planejamento de capacidade para processos decisórios. É necessário o monitoramento contínuo da rede de comunicação que atende o SAS (Sistema de Automação de Subestação) com suas especificidades, avanços e complexidades em vista de novos requisitos de gerenciamento e segurança no que tange à disponibilidade e confiabilidade. Busca-se contribuir com a análise de carga de dados operacionais com este enfoque integrado da rede de comunicação e a rede de supervisão em uma Subestação do Setor Elétrico.

**PALAVRAS-CHAVES:** Rede SAS; IEC 61850; Interoperabilidade; Smart Grid.

## MEASUREMENT SYSTEMS IN SUBSTATION AUTOMATION (SAS): AN APPROACH TO NETWORK MANAGEMENT

### ABSTRACT

This paper presents measurements of the workload obtained at a substation that is through the implementation of IEC 61850 - Communication Networks and Systems in Substations which is considered vital to smart networking in the electrical domain or smart grids. The actual load will aid in evaluating the requirements of standard and prevention of installed capacity. It is necessary to continuously monitor the SAS's communication network with their specificities, advances and complexities. This was determined after a light was shone on new security and management requirements regarding the availability and reliability of the SAS communication network. This paper aims to contribute to the analysis of data load operations with this integrated approach to communication network and monitoring network in a substation of the Electrical Sector.

**KEYWORDS:** Network SAS; IEC 61850; Interoperability; Smart Grid.

*Revista Brasileira de Administração Científica, Aquidabã, v.4, n.2, Ago 2013.*

ISSN 2179-684X

SECTION: Articles

TOPIC: *Sistemas e Tecnologia da Informação*



*Anais do Simpósio Brasileiro de Tecnologia da Informação (SBTI 2013)*



DOI: 10.6008/ESS2179-684X.2013.002.0012

**Elza Tânia Moura de Sousa**

Universidade Federal do Pará, Brasil

<http://lattes.cnpq.br/1876029114936434>

[taniam@ufpa.br](mailto:taniam@ufpa.br)

**Itamir de Moraes Barroca Filho**

Universidade Federal do Pará, Brasil

<http://lattes.cnpq.br/7458287841862567>

[rfrances@ufpa.br](mailto:rfrances@ufpa.br)

**Gibeon Soares de Aquino Junior**

Universidade Federal do Pará, Brasil

<http://lattes.cnpq.br/1840754571733900>

[edvar@ufpa.br](mailto:edvar@ufpa.br)

Received: 07/07/2013

Approved: 05/08/2013

Reviewed anonymously in the process of blind peer.

Referencing this:

SOUSA, E. T. M.; FRANCÊS, C. R. L.; OLIVEIRA, E. L..  
Medições em sistemas de automação de subestação (SAS): uma abordagem de gerência de redes. *Revista Brasileira de Administração Científica*, Aquidabã, v.4, n.2, p.170-184, 2013. DOI:

<http://dx.doi.org/10.6008/ESS2179-684X.2013.002.0012>

## INTRODUÇÃO

Segundo o *Institute of Electrical and Electronics Engineers* (IEEE, 2012), o *smart grid* surgiu para descrever um sistema de energia elétrica de última geração que é caracterizada pelo aumento do uso de comunicações e tecnologia da informação na geração, distribuição e consumo de energia elétrica, incluindo fontes de energia renováveis. Para isto, envolve múltiplos subsistemas interconectados, capazes de prover distribuição de energia a partir de pontos inteligentes, monitorando e controlando os ativos desta rede.

A norma IEC 61850 visa garantir interoperabilidade entre Dispositivos Eletrônicos Inteligentes (IEDs) de diferentes fabricantes, fornecendo métodos de desenvolvimento das melhores práticas de engenharia de proteção, integração, controle, monitoração, medição e testes de subestação (IEC61850, 2004) e, portanto, se torna fator preponderante para a implantação do *smart grid*.

A obtenção de resultados reais e viáveis desta padronização está em pleno funcionamento em empresas do setor industrial, em especial, o elétrico. A norma define dentre outros recursos, o uso de orientação a objetos, a rede Ethernet, o uso do protocolo TCP/IP na camada de transporte, a modelagem de dados e a pilha de protocolos para a comunicação entre equipamentos de diferentes fabricantes e gerações. Deste modo, a intercomunicação é assegurada em diferentes camadas, possibilitando ganhos de desempenho, produtividade e custos associados.

O SAS (Sistema de Automação de Subestação) e as redes de comunicação entre eles são projetados para implementação de controle, proteção e tarefas de monitoramento em sistema de potência e vivem um momento de reestruturação em sua arquitetura motivada pela adoção dos IEDs e da norma IEC 61850 (APOSTOLOV, 2007; VADIATI, 2008). Este sistema está sob influência de dois expoentes em plena evolução: As Redes Elétricas e as Redes de Computadores. Supervisionar hoje estas redes exige um tratamento integrado entre dois protocolos de interoperabilidade; o TCP/IP e o IEC 61850, para que se tenha o máximo benefício mediante as novas funcionalidades proporcionadas pelos avanços das indústrias de hardware, software, telecomunicações e automação de forma a ampliar as análises de riscos e gestão de ativos, para a consolidação de dados de Engenharia e TI.

A convergência no contexto de TIC é um termo comum que envolve mesclar vários tipos de rede, protocolos e aplicações, para prover um ambiente de rede diferente do que estava disponível. Significa o uso comum da infraestrutura para que múltiplos tipos de “estilos” de rede sejam integrados em entidades comuns. O avanço das tecnologias de acesso permite que as velocidades sejam compatíveis com as demandas computacionais. Os efeitos de uma rede convergente trazem reflexos nos negócios, sistemas legados e esquema de gerenciamento (GALLO, 2003). Portanto, desempenho e planejamento da capacidade são itens fundamentais para o pleno funcionamento destas redes, bem como, a multifuncionalidade na maneira de administrar os recursos disponibilizados deve ser promovida.

O fortalecimento da integração se tornará vital para a eficácia da supervisão (PEREIRA, 2007) que não poderá mais ser tratada de forma isolada dos demais setores da empresa. A conexão com outros tipos de sistemas supervisórios, pertencentes às empresas de serviços para atividades de manutenções de emergências, previsão do tempo, segurança, suporte de telecomunicações, atendimento aos clientes, medição de cargas, por exemplo, já é uma realidade na indústria.

A motivação para o estudo sobre a norma IEC 61850 e o sistema de comunicação envolvido, consiste na percepção que ainda há certa dificuldade em se obter uma total interoperabilidade em Sistemas de Potência, tendo em vista o cenário predominante nas redes SAS, onde inúmeros protocolos de fabricantes diferentes, continuam coexistindo nos Sistemas Elétricos sem que se tenha uma real dimensão do fluxo de dados decorrentes desta nova realidade da rede. Este cenário justifica-se pelo alto tempo de vida dos equipamentos (aproximadamente 25 anos), levando as empresas à preservação do investimento com o aproveitamento do legado e pelo elevado custo de inovação e operacionalização de novos protocolos de comunicação e consequentes perdas de informação e gerência.

É necessário avaliar os efeitos em produção do que já existe e o que está por vir, em termos de gestão e monitoramento, ao associar duas redes distintas em seus funcionamentos e funcionalidades.

Destaca-se como objetivo neste trabalho avaliar a carga de um cenário real que esteja sob a norma IEC 61850 ainda em estado de migração, com relação a algumas medidas de desempenho e, em especial, às mensagens GOOSE (Generic Object Oriented Substation Events) para auxílio no planejamento da capacidade de dispositivos e subestações adicionais. Para isso, faz-se inicialmente uma explanação de um modo geral da norma e dos requisitos de comunicação envolvidos, em seguida, trata das medições do *workload* na subestação do Guamá da Eletronorte, analisando aspectos técnicos de tráfego envolvendo gerência de rede a fim de subsidiar trabalhos futuros nesta área em desenvolvimento de gerenciamento da rede elétrica a partir de uma rede convergente.

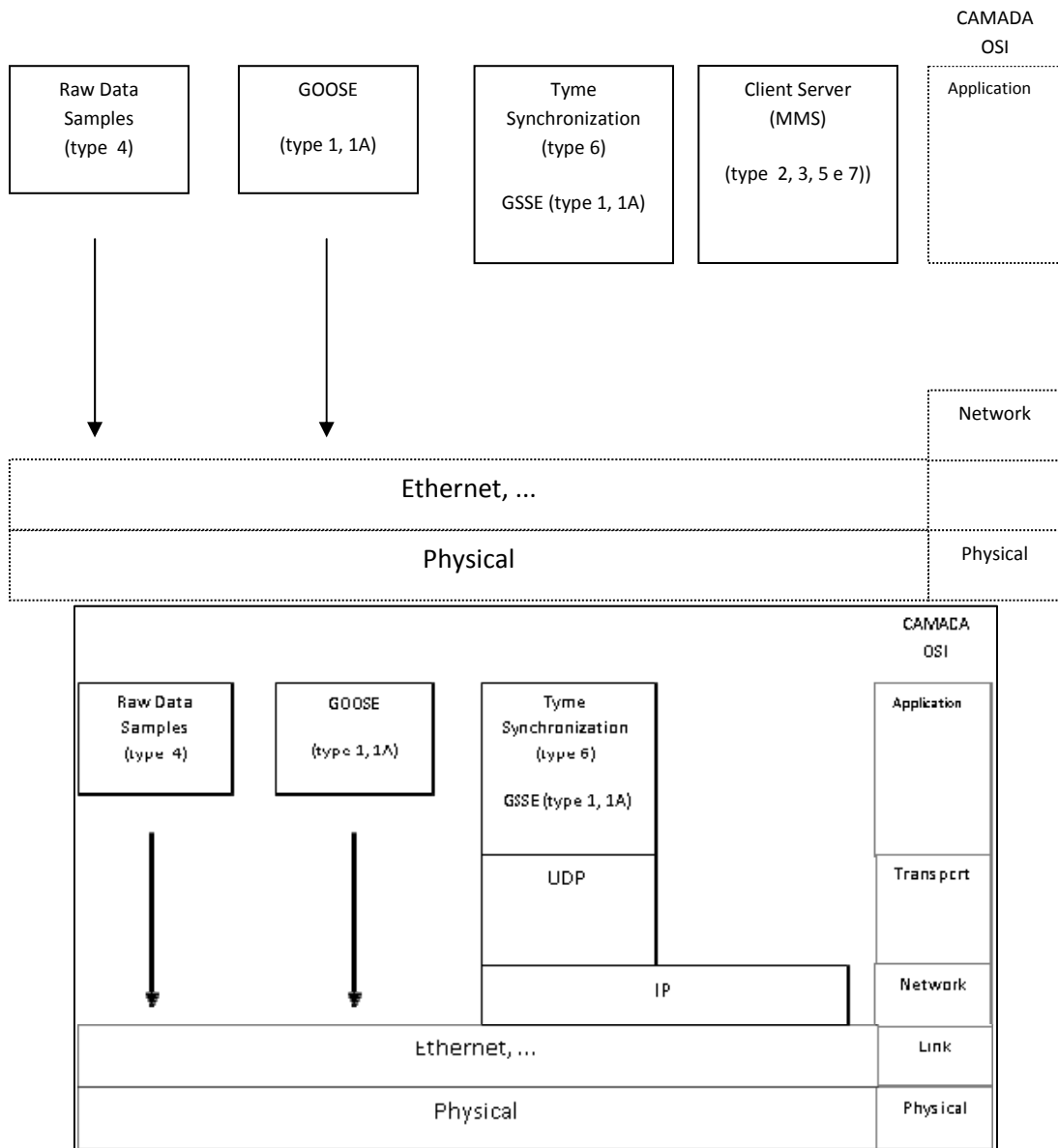
## **REVISÃO TEÓRICA**

### **A Norma IEC 61850**

A norma IEC 61850 padronizada pela IEC - International Electrotechnical Commission, tem como principal objetivo garantir o intercâmbio de Dispositivos Eletrônicos Inteligentes (IEDs) baseados em comunicação distribuídas ponto a ponto de alta velocidade em padrão aberto de interoperabilidade (IEC 61850, 2004) (GURJÃO, 2006)

As informações contidas nesta norma preveem, dentre outras especificações, conforme Santos e Pereira (2007): recomendações para gerenciamento de sistemas e projetos; modelo de

dados de domínio específico, incluindo regras para extensão funcional; serviços do sistema de domínio específico; linguagem de configuração da subestação e; testes de conformidade.



**Figura 1:** Pilha de protocolos da IEC 61850.

Cada dispositivo envia mensagens GOOSE que podem trafegar em formato binário de maior prioridade e horizontais, e que sofrem restrições de tempo (críticas a atraso). Nesta mesma rede, podem trafegar também as mensagens verticais que partem dos IEDs e seguem em direção à estação de controle, sendo esta uma das principais finalidades da supervisão e controle da subestação pelo IHM (Interface Homem Máquina).

Os requisitos de tempo das mensagens de transmissão em uma rede SAS devem ser garantidos sob algumas condições dispostas na cláusula 13 da IEC 61850-5. Para isso, são definidos na norma 7 tipos de mensagens: As mensagens tipo 1A (trip) e 1B (controles) são de alta velocidade; As mensagens tipo 2 (informações de medidas e estados) e tipo 7 (comandos) são de média velocidade; As do tipo 6A (barramento da estação) e 6B (barramento do processo) são usadas como sinais de sincronismo; As do tipo 4 correspondem aos valores amostrados de

TCs (transformadores de corrente) e TPs (transformadores de potencial) e as demais mensagens são de baixa velocidade (parâmetros, eventos, transferência de arquivos etc.).

Na cláusula 13.7.1.1, a norma define requisitos para mensagens do tipo 1A caracterizando-a como a mensagem rápida de maior importância e, portanto, com as maiores exigências de velocidade. O tempo total, neste tipo de transmissão, deve variar entre 3ms e 10ms. Para o tipo 1B – classificado como outros, deverá estar entre 20ms e 100ms de acordo com as classes de cada tipo. Para a mensagem tipo 2, considerada de média velocidade, o tempo não deverá exceder a 100ms. E para o tipo 3, é definido o limite de 500ms.

A figura 1 ilustra a classificação das mensagens e a pilha de protocolos da IEC 61850. Segundo Gurjão (2006), pode-se observar que somente a camada de enlace é comum a todas as mensagens e utiliza o protocolo Ethernet com prioridade. Mensagens com restrições de tempo são mapeadas diretamente para esta camada. As mensagens cliente-servidor (que não possuem prioridade) utilizam toda a pilha.

Sidhu & Yin (2007), Giovanini & Pereira (2010) e Kanabar (2011) demonstram que as diversas topologias de rede Lan proporcionam os limites de performance suficientes para os requisitos de comunicação da norma, entretanto sugerem que os switches proporcionem o uso de prioridades de vlans para redes com alto tráfego e aumento substancial de IEDs.

## **Sistema Supervisório**

Um sistema supervisório permite que sejam monitoradas e rastreadas informações de um processo produtivo ou instalação física. Tais informações são coletadas através de equipamentos de aquisição de dados e, em seguida, manipuladas, analisadas, armazenadas e posteriormente, apresentadas ao usuário, através de sistemas SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition).

O objetivo principal dos sistemas SCADA é propiciar uma interface de alto nível do operador com o processo, informando-o em tempo real de todos os eventos de importância da planta.

O SAGE - Sistema Aberto de Gerenciamento de Energia, desenvolvido pelo CEPEL (Centro de Pesquisas de Energia Elétrica) é um sistema que opera no modelo SCADA/EMS (Energy Management System) e vem sendo utilizado no desenvolvimento de programas computacionais aplicados à operação de sistemas de potência e análise de redes através do uso de dados em tempo real, simulação de técnicas avançadas aplicadas ao processo de automação, assim como, gerenciamento da base de dados históricos, apoio inteligente à recomposição e processamento de alarmes.

A Eletronorte adota o SAGE em seu sistema supervisório através de uma estação SAGE principal e outra auxiliar e na topologia do sistema encontra-se em um ponto central da rede apta a receber todos os dados para o controle e monitoramento do sistema;

O padrão IEC 61850 na subestação do Guamá está em fase de migração e iniciando também na subestação Utinga do total de 11 subestações do Pará.

## Trabalhos Relacionados

Skeie et al (2002), Sidhu & Yin (2007), Giovanini & Pereira (2010) e Kanabar (2011) apontam, dentre outros benefícios, que em ambiente simulado com diferentes topologias, a rede ethernet atende ao especificado nos testes de conformidade da norma para a confiabilidade na entrega de mensagens de altas e baixas prioridades.

Junior et al (2009) desenvolveu um experimento de sobrecarga em ambiente simulado em laboratório, software de geração de carga Tamarak e o Ethereal para captura, com 15.000 mensagens GOOSE por segundo em uma rede IEC 61850, objetivando investigar as consequências na performance da rede. Os testes comprovaram que este carregamento não altera, significativamente, os valores esperados de conformidade no sistema.

Schossig (2010) avaliou, matematicamente, que valores bem abaixo de 1 ms para 99,99% de 250.000 repetições são realizáveis e que, teoricamente, somente após 10 mil valores acima do intervalo de confiança considerado, ultrapassariam o aceitável. Porém, destaca que estes valores variam para cada caso específico, uma vez que o estágio de coexistência da rede IEC 61850 com o legado, a adoção de prioridades e redes virtuais (vlans), o uso de multicast, dentre outros fatores de projeto, podem interferir nos resultados, exigindo-se sempre estudos de desempenho.

Petenel & Panazio (2012) analisaram uma Rede *Smart Grid* baseada na norma IEC 61850 com dados reais obtidos em laboratórios de testes da ABB Brasil, comprovando que para um número próximo de 90 IEDs, a capacidade de transmissão já é saturada sem o uso de multicast e em intervalos curtos de transmissão, ao passo que, para intervalos maiores, pode-se chegar até 300 IEDs atendendo aos requisitos de confiabilidade da norma.

Entretanto, Wang (2012) em uma plataforma para testes funcionais avaliou as diferentes medidas de um cenário sob o padrão IEC 61850 e aponta uma série de limitações da norma no que se refere aos testes de conformidade e que não podem acontecer em projetos reais, dentre as quais são citadas: A influência das interferências provocadas por alguns equipamentos, como por exemplo, alguns tipos de transformadores; A inconsistência do entendimento dos diversos fabricantes quanto às medidas realizadas; a inerente inexistência de um único instrumento de calibração. O autor orienta que somente medidas *on site* darão a real precisão do workload dos processos de cada cenário.

Este trabalho, tal como os relacionados, procurou investigar aspectos de desempenho na rede de comunicação com protocolo IEC 61850, porém, difere das experiências relatadas, uma vez que, os dados não tenham sido obtidos em ambientes simulados ou laboratórios de testes, e sim, em uma subestação em produção a partir de uma estação central e vital para o sistema. Para este caso, é exigido um software de captura de baixo consumo de recurso computacional, análise

prévia da carga em bytes a ser medida (para não comprometer a operação), a criticidade na segurança física e lógica do sistema e disponibilidade operacional para a aferição. Desta forma, visa-se contribuir para outras análises necessárias aos projetos que envolvam a IEC 61850.

## Medições

Avaliar a capacidade instalada de uma rede (quantidade de nós, enlaces e demais equipamentos) utilizando a carga de trabalho caracterizada pelos serviços suportados (mensagens TCP/IP e GOOSE), identificando possíveis gargalos (recursos responsáveis pela degradação dos serviços), será de extrema necessidade, considerando que diferentes tecnologias podem advir da adoção da IEC 61850, desde transmitir somente sinais de controle até imagens e/ou vídeos de um determinado dispositivo monitorado, via qualquer meio de acesso, seja via ethernet, sem fio, GPS (Global Positioning System) ou PLC (Power Line Communication), dentre outras tecnologias de acesso.

Muitas ferramentas são utilizadas para auxiliar nesta avaliação. Foram utilizadas duas ferramentas de código aberto para a avaliação desta carga de trabalho: O Tcpcdump e o Wireshark. Não foram utilizadas as ferramentas SNMP (Simple Network Management Protocol) nativas do SAGE, por ainda não estarem implementadas em níveis intrasubestação, somente em níveis intersubestações para o comando nacional.

O Tcpcdump (TCPDUMP, 2010) é um software de captura de pacotes provenientes ou dirigidos à camada de enlace de uma interface de rede. Possibilita um processamento imediato e mais leve que outros sniffers (softwares farejadores) por não possuir interface gráfica dos dados capturados e, por este motivo, foi a ferramenta utilizada. Informa também o momento da captura de cada pacote (timestamp), assim como, fornece meios para armazená-los e recuperá-los através de arquivos. Utiliza-se da *libcap* (biblioteca de captura utilizada por alguns softwares).

Wireshark (antigo Ethereal) (WIRESHARK, 2010) semelhante ao tcpcdump, também se utiliza da *libcap*, mas apresenta interface gráfica (por isso um pouco mais lento e consumidor de mais recursos computacionais que o tcpcdump). Possibilita aplicação de filtros e, por conseguinte, pode-se utilizá-lo para analisar o tráfego gerado pelo tcpcdump de uma forma mais amigável e com a vantagem de se avaliar o fluxo em modo *offline*.

A caracterização da carga de trabalho (*workload*) consiste em levantar as características de um serviço estatisticamente referente à demanda de recursos de rede utilizados através do monitoramento dos eventos associados a ele. Esta caracterização é necessária para a análise de desempenho. O planejamento da capacidade é usado em complemento à Análise de desempenho quando esta constata necessidade de readequação na capacidade do sistema.

Para levantar o *workload* do período observado, foram medidos pacotes destinados à estação SAGE principal e a intercomunicação da rede no mesmo segmento em modo promíscuo (modo em que se escuta o tráfego da rede direcionada ou não para o ponto medido). O tempo

total de coleta foi de 1h, entre 15:29 e 16:30h do dia, totalizando aproximadamente 22MB de carga e sumarizado conforme quadro 1. Este tempo foi considerado satisfatório uma vez que a engenharia não aponta sazonalidade da rede de transmissão, uma vez que é recebido sempre o mesmo valor de carga de energia da geração.

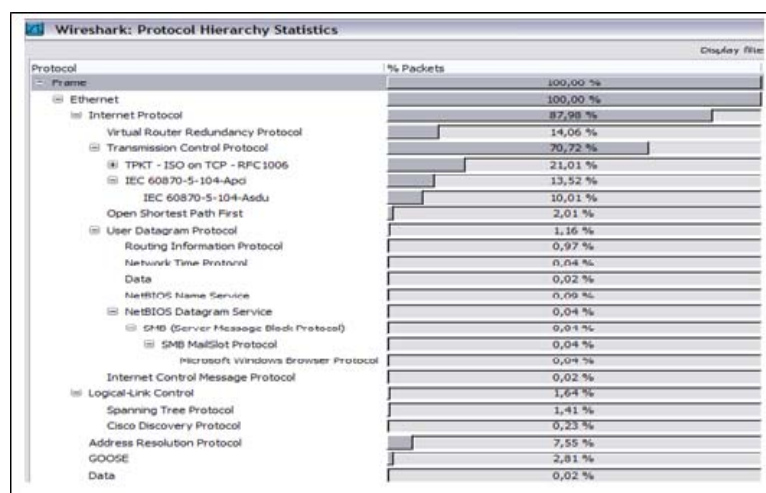
Foi utilizado o Tcpcdump na eth0 (interface de comunicação) da estação SAGE localizada no Centro de Operações da Eletronorte do Guamá a qual se comunica com diversos IEDs espalhados pela rede. A interface está ligada a um switch core (equipamento central) da rede local do SAS que durante a captura continha 8 IEDs sob a IEC-61850, com as seguintes denominações: UCD1-6CY, UCD1-4CY, UPD1-6CY, UPD2-6CY, UPD4-6CY e UPD4-4CY e 10 via protocolo IEC-104 (UCD-4AY, UCD-4AX, UCD-4BY, UCD-6BX, UCD-6BY, UCD-6EX, UCD-6EY, UCD-6FX, FRONT-END 1, FRONT-END 2).

O 2º passo após esta coleta foi a transferência dos traces (arquivo de captura) obtidos para análise através do Wireshark, objetivando fazer o cômputo das métricas.

**Quadro 1:** Sumário da Coleta.

Tamanho do arquivo gerado	21.939.145 bytes
Instante do primeiro pacote	15:29:04h
Instante do último pacote	16:30:52h
Tempo decorrido de coleta	01:01:47 ou 3707,440s
Nº de pacotes capturados	131.810
Média de pacotes por segundo	35,553
Média de Tamanho de pacote	150,445 bytes
Quantidade de Bytes trafegados	19.830.161
Média de Bytes por segundo	5348,747
Média de Mbps	0,043

A figura 2 ilustra a hierarquia de protocolos que trafegaram no instante da coleta e o quadro 2, uma relação percentual deste total do protocolo legado 104 e as mensagens GOOSE relativas ao novo padrão.



**Figura 2:** Hierarquia de protocolos passando pela rede.

**Quadro 2:** Relação percentual entre mensagens GOOSE e o legado 104.



IEC 60870-5-104-Acpi	13,52% (17.815 pacotes)
IEC 60870-5-104-Asdu	10,01% (13.191 pacotes)
GOOSE	2,81% (3707 pacotes)

Em relação à carga de I/O o gráfico da figura 3 também comprova maior atividade ainda do protocolo 104 (linha variável) em relação às mensagens GOOSE (linha constante), reforçando a ideia de um ambiente ainda com I/O bastante misto. A carga total é ilustrada na figura 4.

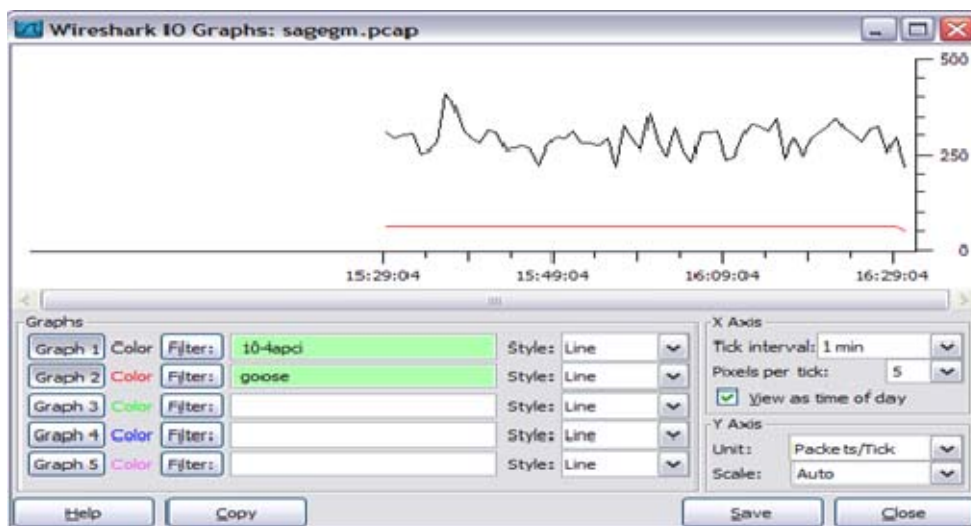


Figura 3: I/O do protocolo (104) e de mensagens GOOSE.

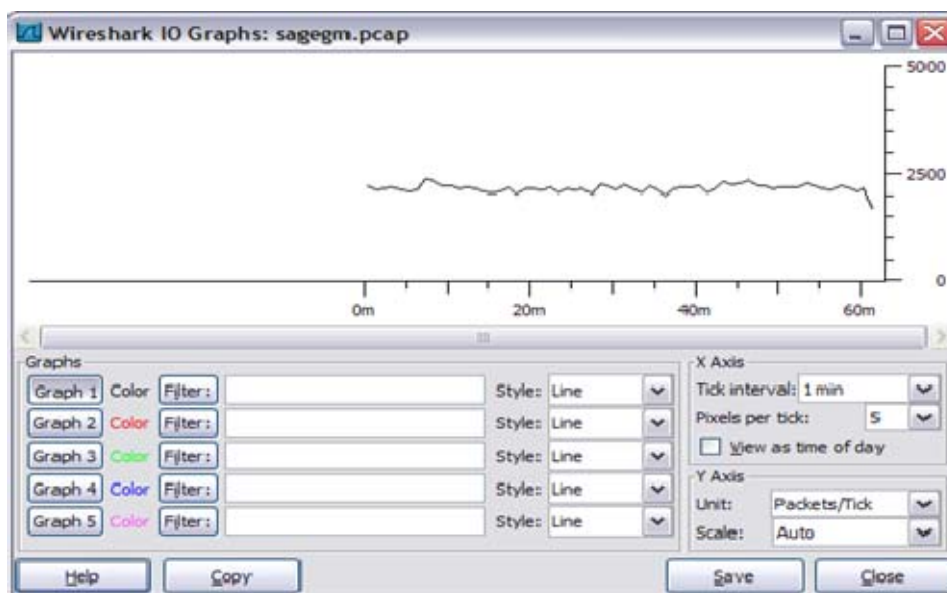
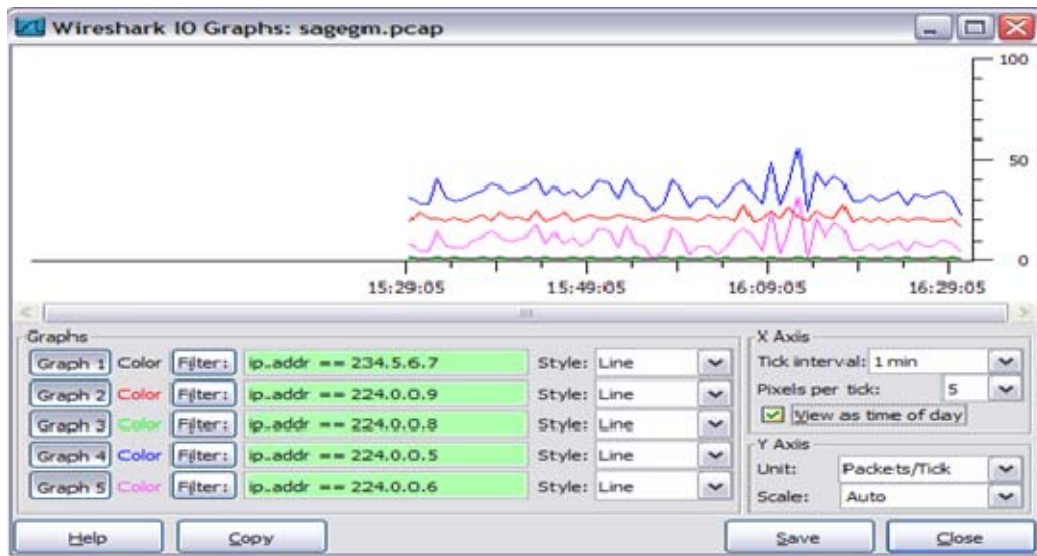


Figura 4: Gráfico de I/O total (sem filtros).

Cada IED no modelo IEC 61850 envia uma mensagem GOOSE quando ocorre um evento interno de mudança de estado. Além das mensagens por eventos é enviada também uma mensagem GOOSE como forma de monitoramento dos IEDs a uma taxa padrão de 1 vez por minuto.

Cada mensagem GOOSE possui um endereço multicasting de Ethernet (mensagens que utilizam grupos de endereçamento). Os IEDs utilizam este endereço para filtrar as mensagens

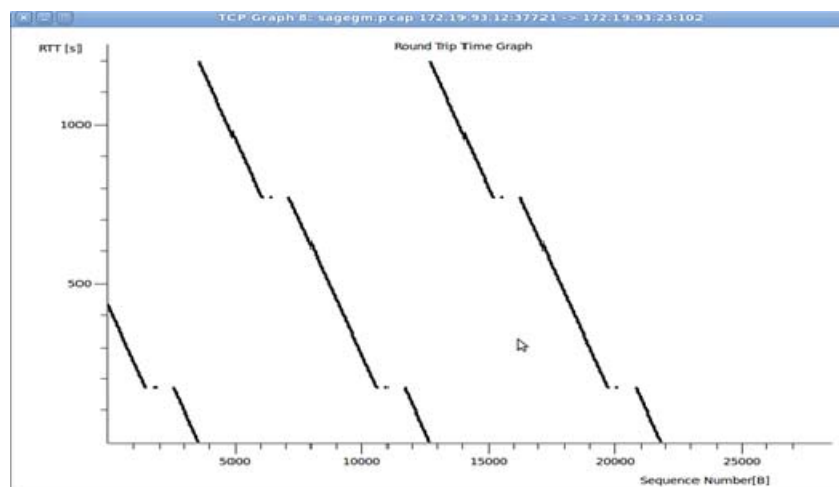
GOOSE entrantes. Cada dispositivo aceita e processa apenas as mensagens contendo informações que ele esteja preparado para utilizar. Na coleta foram verificados 6 grupos multicast, cujo tráfego é mostrado na figura 5.



**Figura 5:** Tráfego Multicast.

Para avaliar a disponibilidade do sistema foram retiradas as medidas de RTT (Round Trip Time). Ele é calculado pelo próprio wireshark através dos ACKs (Acknowledgements) ou pacotes de confirmação em redes TCP/IP, ao longo do tempo e é ilustrado na figura 6 entre a estação SAGE e um IED disposto na rede. Com isto, será fornecida uma medida do nível de prontidão da rede para a atividade do sistema, uma vez que o RTT mostra o tempo total de ida e volta de um pacote ICMP (Internet Control Message Protocol) na rede de um ponto a outro. Em casos de congestionamento, um alto valor de RTT pode indicar atrasos na rede.

A vazão (Throughput) medida entre este mesmo IED e a estação SAGE é ilustrada na figura 7 e mostra a quantidade de dados que passam pela rede na conversação entre os dois elementos dentro do intervalo de tempo coletado.



**Figura 6:** Round Trip Time (RTT) entre IED e estação SAGE.

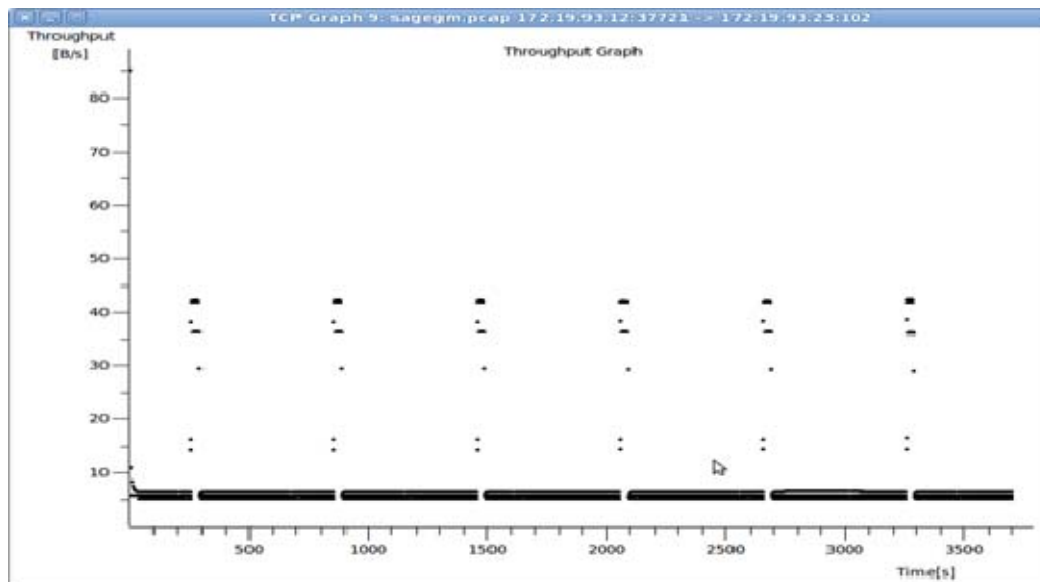


Figura 7: Throughput entre a estação SAGE e um IED.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A IEC 61850 atende aos requisitos para um gerenciamento integrado da informação evitando ilhas tecnológicas [MACEDO, 1999; BASTOS, 2004] e em seu item 13.2 da Parte 5 [IEC61850, 2004] determina os principais parâmetros considerados satisfatórios aos sistemas SAS. Testes de conformidade dos equipamentos são exaustivamente feitos em ambientes simulados [WOODWARD, 2000; SHEER&DOLEZILEK,2000; SOUTO, 2009] diferentemente deste estudo que foi em ambiente de produção.

O sumário da coleta (quadro 1) revela que pela média de pacotes por segundo (35,553) e a equivalente média de bytes por segundo (5348,747) a uma taxa de 0,043 Mbps o canal ainda não se apresenta congestionado visto que o RTT (figura 6) é calculado alto no início e decresce conforme o *time sequence*, fazendo com que o controle de congestionamento do TCP interprete como tráfego normal, dado que esta medida é uma estimativa para este controle. Pelo padrão do wireshark, a pouca difusão observada no gráfico de RTT, revela um tráfego que não excede ao *time out* e, concluindo-se, portanto, que o RTT sendo mais consistente está adequado ao tráfego.

Verifica-se que pela hierarquia de protocolos (figura 2), ainda há uma supremacia dos protocolos legados (quadro 2 e figura 3), indicando que o ambiente ainda tem muito potencial a ser explorado pela nova norma.

As figuras 3 e 4 corroboram esta supremacia quando os valores não ultrapassam 50 pacotes por minuto (figura 3), quando o total já chega a aproximadamente 2500 pacotes por minuto (figura 4)

Nesta coleta, ainda de acordo com a figura 3, observa-se que as mensagens GOOSE foram constantes levando a concluir que nenhuma mudança de estado foi verificada durante o período.

O baixo tráfego de multicast revelado na figura 5 de, no máximo, 50 pacotes por minuto para 5 grupos de dispositivos, também reforça que a rede não apresenta sinais de congestionamento, porém, sabe-se que tráfego multicast é mais otimizado que o de unicast, somando-se aos motivos pelos quais é utilizado pelo padrão IEC 61850.

O throughput medido entre a estação SAGE e o IED selecionado (figura 7), mede a vazão entre os elementos usando o número de sequência ao longo do tempo. Percebe-se que o canal ainda não está saturado devido à vazão fluir linear e normalmente conforme o padrão do wireshark, com a sequência dos pacotes sem bloqueios significativos no fluxo de dados. As imprecisões muitas vezes são causadas pela própria escala utilizada pelo software.

## CONCLUSÕES

Os resultados medidos e avaliados podem subsidiar em todas as etapas (planejamento e implementação) de projetos atuais e futuros de redes de computadores aplicados às redes SAS, com vistas à adoção de novas funcionalidades agregadas pelas redes convergentes e possibilitados pela adoção de novas versões da IEC 61850, bem como, as novas normas agregadas ao *smart grid*, contribuindo para melhores fontes de informação e menores custos de interligação, manutenções e atualizações, além do que, amplia a possibilidade de uso de gerenciamento e monitoramento cada vez mais integrado dos sistemas de energia elétrica e TICs.

O uso de softwares de monitoramento de redes também pode implicar em novos perfis desejáveis à equipe dos centros operacionais, pois será permitido, facilmente, integrar aos painéis de monitoramento do sistema supervisor do sistema elétrico visualizações gráficas de atrasos, congestionamentos, quedas de enlaces e até falta de algum IED não visível ao monitoramento de grandezas elétricas.

O fato de se ter medido o *workload* real de uma subestação, corrobora muitos testes efetuados em laboratórios e em testes de conformidade da norma visto que as medições confirmam a literatura.

A Eletronorte ainda não implementou todos os nós lógicos segundo a concepção da IEC 61850 como, por exemplo, a ausência de equipamentos *Merging Unit*, encarregados de difundir as medidas, de corrente e tensão a todas as demais funções via mensagens de rede, devido à dificuldades de mercado. Em seu lugar foram especificados dois equipamentos, um relé de proteção de distância e uma unidade controladora de *bay*, tornando estas medidas mais essenciais para o estudo em produção, visto não estar plenamente de acordo com o concebido pela norma. Os requisitos de tempo no estágio atual de migração, estão obedecendo aos patamares máximos em ms aceitáveis pelo padrão.

Como trabalhos futuros, simulações a partir destes dados aferidos e de novos dispositivos adicionados podem ser realizadas com o fim de subsidiar funcionalidades adicionais às redes de

supervisão e de comunicação aplicadas ao setor elétrico e demais setores da indústria que estão adotando este novo padrão.

Pela carga avaliada no período, e dado o cenário atual e previsto, constata-se que as novas pesquisas apontam este *workload* para o patamar de carga muito elevada na rede, também chamados *big data*, uma vez que este estudo avaliou somente a rede de transmissão. Novas pesquisas devem abranger desde a geração até a distribuição, chegando ao domínio de clientes com o *smart home*.

Estes aumentos substanciais de tráfego provenientes dos acréscimos citados exigirão que estes valores sejam sempre monitorados e ajustados para a capacidade da rede de comunicação, visando à integração com outros padrões, tais como, a norma para segurança da informação IEC 27002 e IEC 61499 proposta por Higgins (2011) e que podem vir a crescer atrasos na rede.

## REFERÊNCIAS

- APOSTOLOV, A.; PAULINO, M. E. C.. Testes de Sistemas de Automação de Subestação Complexos Baseados na IEC 61850. In: SIMPÓSIO DE AUTOMAÇÃO DE SISTEMAS ELÉTRICOS, 7. **Anais**. 2007.
- CARDOSO, C. V.; MAGRINI, L. C.; MARTINS, D. A.; JARDINI, J. A.. Automação e digitalização de usinas, subestações, redes de distribuição e instalações de grandes consumidores: experiência NA aplicação do IEC 61850 na especificação de um bay de linha. In: SIMPÓSIO DE AUTOMAÇÃO DE SISTEMAS ELÉTRICOS, 6. **Anais**. 2005.
- GALLO, M. A. et al.. Comunicação entre computadores e tecnologias de rede. São Paulo: Thomson, 2003.
- GIOVANINI; PEREIRA. Uso de ferramentas de simulação para avaliação de diferentes arquiteturas de rede LAN baseadas na IEC 61850. 2010.
- GURJÃO, E. C. et al.. Aspectos de Comunicação da Norma IEC 61850. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SISTEMAS ELÉTRICOS. 2006.
- HIGGINS, N.; VYATKIN, V.; NAIR, N. K. C.; SCHWARZ, K.. Distributed Power System Automation With IEC 61850, IEC 61499, and Intelligent Control, Systems, Man, and Cybernetics, Part C. **Applications and Reviews**, v.41, n.1, p.81-92, 2011.
- IEEE. **What is the Smart Grid?**. Disponível: <<http://smartgrid.ieee.org/ieee-smart-grid>>. Acesso: Jun 2012.
- IEC 61850. **Communications Networks and Systems in Substations**:10 parts in 14 standards documents. Geneva: International Electrotechnical Commission, 2004.
- JUNIOR, P. S.; MARTINS, C. M.; PEREIRA, P. S.; LOURENÇO, G. E.. Experimento de sobre carga com 15.000 mensagens GOOSE por segundo em uma Rede IEC 61850, e a Investigação de suas Consequências. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE PRODUÇÃO E TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA, 20. **Anais**. 2009
- KANABAR, M. G.; SIDHU, T. S.. Performance of IEC 61850-9-2 process bus and corrective measure for digital relaying. **Power Delivery**, v.26, n.2, p.725-735, 2011.
- PEREIRA, A. C. et al.. Automação de subestações e usinas: estado da arte e tendências utilizando a norma IEC 61850. In: SIMPÓSIO DE AUTOMAÇÃO DE SISTEMAS ELÉTRICOS, 7. **Anais**. 2007
- PETENEL, F. H. J. ; PANAZIO, C. M.. Análise de uma rede Smart Grid usando a norma IEC61850 e dados de medições. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TELECOMUNICAÇÕES. **Anais**. 2012.

SANTOS, L. F.; PEREIRA, M.. Uma abordagem prática do IEC 61850 para automação, proteção e controle de subestações. In: SIMPÓSIO DE AUTOMAÇÃO DE SISTEMAS ELÉTRICOS, 7. **Anais**. 2007.

SCHOSSIG, T.. Testing in IEC 61850: advanced topics and extended possibilities: Developments in Power System Protection (DPSP 2010): managing the change. In: IET International Conference, 10. **Anais**. 2010.

SIDHU, T. S.; YIN Y.. Modelling and simulation for performance evaluation of IEC61850: based substation communication systems. **IEEE Transactions on Power Delivery**, v.22, n.3, 2007.

SIDHU T. S., KANABAR, M. G.; PARIKH, P. P.. Implementation issues with IEC 61850 based substation automation systems. In: NATIONAL POWER SYSTEM CONFERENCE. **Anais**. 2008

SKEIE, T.; JOHANNESSEN, S.; BRUNNER, C.. Ethernet in substation automation. **Control System Magazine**, IEEE, 2002.

TCPDUMP. **Documentação**. Disponível: <[www.tcpdump.org/#documentation](http://www.tcpdump.org/#documentation)>. Acesso: Jul 2010.

VADIATI et al.. Future trends of substation automation system by applying IEC 61850. In: UNIVERSITIES POWER ENGINEERING CONFERENCE. **Anais**. 2008.

WANG. R.. Based on the problems of extra (ultra) high substation digitalization and smart grid. In: CHINA INTERNATIONAL CONFERENCE ON ELETRICITY DISTRIBUTION. **Anais**. 2010.

WIRESHARK. **Documentação**. Disponível: <[www.wireshark.org/docs](http://www.wireshark.org/docs)>. Acesso: Jul 2010.

WOODWARD, D.; TAO, D.. **Comparing Throughput Of Substation Networks**. 2000.