

TESTES DE DESEMPENHO E INTEROPERABILIDADE UTILIZANDO A NORMA IEC 61850¹

Allan de Oliveira Souto²
Gabriel Arthur Guieiro³
Júlio de Paula Kierulff²
Leandro Freitas de Abreu⁴
Samuel Gonçalves Carvalho³

Resumo

O número de Sistemas de Automação de Subestações (SAS) que utilizam a norma IEC 61850 vem se expandindo, devido aos benefícios proporcionados pela sua aplicação, como interoperabilidade entre IEDs (*Intelligent Electronic Devices*), redução de custo na utilização de cabos de controle, flexibilidade na implementação de funções de proteção e intertravamentos. Neste trabalho, foram realizados testes de conformidade e desempenho de uma arquitetura montada em bancada, utilizando IEDs e switches de diferentes fabricantes. A metodologia apresentada possibilita a avaliação do comportamento das mensagens de alta prioridade (GOOSE), definidas pela norma, e a disponibilização de informações para outros sistemas (e.g. SCADA, PIMS, MES). O artigo apresenta e discute os resultados obtidos nos testes e a viabilidade da aplicação da norma IEC 61850.

Palavras-chave: Norma IEC 61850; IEDs; Automação; Subestação.

PERFORMANCE AND INTEROPERABILITY TESTS USING IEC 61850 STANDARD

Abstract

The number of Substation Automation Systems (SAS) using IEC 61850 standard has been expanded, due to the benefits provided by its implementation, like IEDs (Intelligent Electronic Devices) interoperability, cost reduction with control cables, flexibility in protection functions and interlocking implementations. Conformity and performance tests were performed in a bench mounted topology, using IEDs and switches of different manufacturers. The methodology presented allows behavior evaluation of high-priority messages (GOOSE), defined by the standard, and information providing to other systems (e.g. SCADA, PIMS, MES). The paper shows and discusses tests results and IEC 61850 standard application viability.

Key words: Standard IEC 61850; IEDs; Automation; Substation.

¹ Contribuição técnica ao 13º Seminário de Automação de Processos, 7 a 9 de outubro de 2009, São Paulo, SP.

² Engenheiro Eletricista da VISION Sistemas Industriais, Belo Horizonte – Minas Gerais, Brasil – allan.oliveira@visionsistemas.com.br; julio.kierulff@visionsistemas.com.br

³ Engenheiro de Controle e Automação da VISION Sistemas Industriais, Belo Horizonte – Minas Gerais, Brasil – gabriel.guieiro@visionsistemas.com.br; samuel.carvalho@visionsistemas.com.br

⁴ Trainee de Controle e Automação da VISION Sistemas Industriais, Belo Horizonte – Minas Gerais, Brasil – leandro.freitas@visionsistemas.com.br

1 INTRODUÇÃO

Os Sistemas de Automação de Subestações (SAS) sofreram evoluções expressivas nos últimos tempos. Impulsionados pelo desenvolvimento de dispositivos eletrônicos micro-processados, os equipamentos secundários das subestações saltaram de dispositivos eletromecânicos de proteção para os modernos IEDs (*Intelligent Electronic Devices*). Antes responsáveis apenas pelas funções de proteção, os IEDs mais atuais incorporam funcionalidades de monitoração, controle e seletividade lógica, além de realizar inúmeras medições na rede elétrica. A quantidade de informações disponibilizada por esses dispositivos levou à necessidade de uma integração de dados mais eficaz com os demais sistemas (e.g. SCADA, PIMS, MES). Essa necessidade eminente fez com que diversos fabricantes apresentassem soluções fechadas para o problema, utilizando protocolos proprietários e padrões próprios.

A norma IEC 61850 surgiu para unificar o padrão de comunicação dos IEDs e garantir o desempenho dessa comunicação, padronizando a estrutura dos dados e estabelecendo requisitos mínimos de tempo na troca de mensagens na rede. Essas características básicas garantem a flexibilidade e a confiabilidade de uma aplicação que utiliza a IEC 61850. Neste trabalho foram realizados testes em bancada de um sistema composto por IEDs e switches de diferentes fabricantes, objetivando a avaliação da aplicabilidade da norma e a comprovação do bom desempenho da comunicação entre os dispositivos.

2 DESENVOLVIMENTO

O desenvolvimento deste trabalho foi realizado nos Laboratórios Vision, envolvendo dispositivos de diversos fabricantes. Foram realizados dois tipos de testes: interoperabilidade e desempenho. Neste capítulo, serão explanadas as metodologias utilizadas e o objetivo, referente a norma, de cada teste. Ao final de cada teste, serão apresentados e avaliados os resultados obtidos.

2.1 Testes de Interoperabilidade

Os testes de interoperabilidade visam analisar se as informações contidas na estrutura de dados de cada IED, de determinado fabricante, podem ser compartilhadas com IEDs de outros fabricantes e com demais sistemas (e.g. SCADA, PIMS, MES), de forma a atender os requisitos da norma. Visa também avaliar qual seria o esforço empregado na configuração da comunicação para substituir um IED de um “Fabricante A” por um IED de um “Fabricante B” em uma subestação em operação.

O teste considera uma subestação monitorada por um sistema SCADA havendo, necessariamente, um mapeamento das informações de status, alarmes, eventos e medições de cada IED.

2.1.1 Definições da norma IEC 61850

A norma IEC 61850 define a estrutura de dados e o padrão das linguagens de configuração dos IEDs, apresentados nas seções seguintes.

- **Modelo de dados**

A norma IEC 61850 modela os dados de forma a atender os requisitos de comunicação e as funcionalidades encontradas em Automação de Subestações. Para isto é utilizada uma abordagem orientada a objetos que define, dentre outros, os objetos abaixo:

- **Nós lógicos:** Agrupamento funcional de dados. Menor parte de uma função com capacidade de trocar dados com outros objetos (funções de proteção, disjuntor, medições etc). Cada tipo de nó lógico possui uma estrutura de dados definida pela norma, estes dados são compartilhados entre outros nós lógicos através de um conjunto de regras denominada **serviços**;
- **Dispositivos lógicos:** É constituído de um conjunto de nós lógicos;
- **Dispositivos físicos:** Constitui o IED propriamente dito e é formado por um conjunto de dispositivos lógicos.

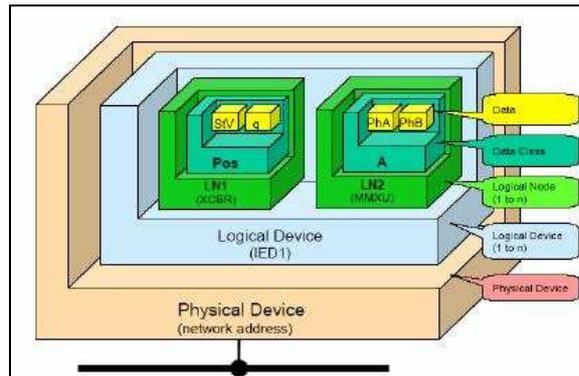


Figura 1 - Representação do modelo de dados.⁽¹⁾

- **Protocolos e tipos de mensagens**

Segundo o protocolo, em uma arquitetura baseada na IEC 61850 são possíveis tipos de mensagens diferentes, que são utilizadas de acordo com o tipo de comunicação. Dentre os principais tipos de mensagens podemos citar:

- comunicação vertical e
- comunicação horizontal.

Comunicação vertical - Este tipo de comunicação ocorre entre dispositivos pertencentes a níveis funcionais diferentes e são realizadas no modo cliente-servidor. A configuração de IEDs, informações e medições de processo são exemplos de comunicação vertical. Neste caso, o servidor corresponde aos IEDs (nível de vão), que fornecem informações para o sistema SCADA, que corresponde ao cliente da comunicação (nível de estação). Esta comunicação geralmente não tem restrições críticas de tempo. Um tipo de comunicação vertical entre IEDs e sistemas SCADA são as mensagens MMS (Manufacturing Message Specification). Essas mensagens podem ser solicitadas via pooling ou via reports (relatórios). Na leitura via pooling o sistema SCADA solicita as informações dos IEDs, já via reports estas informações são disponibilizadas pelos IEDs para o sistema SCADA, mediante ao cumprimento de condições pré-configuradas, como banda morta ou o vencimento de um tempo de integridade (tempo máximo entre amostras).

Comunicação horizontal - A comunicação horizontal acontece entre os dispositivos pertencentes à mesma camada funcional. As mensagens GOOSE (Generic Object Oriented Substation Events) e GSSE (Generic Substation Status Event) compõe esse grupo de mensagens de alta prioridade. A troca dessas mensagens é realizada no modo produtor-consumidor, em que determinado IED disponibiliza as informações na rede e o IED consumidor trata as mensagens que lhe forem necessárias.

- **Linguagem de configuração**

A norma IEC 61850-6 define a linguagem SCL (*Substation Configuration Language*) a ser utilizada para configurar a comunicação entre os IEDs de um Sistema de Automação de Subestações. Esta linguagem é baseada no padrão XML e tem como objetivo padronizar a configuração de comunicação dos IEDs com maior segurança e confiabilidade. A configuração da comunicação baseada na IEC 61850 é descrita através de vários tipos arquivos SCL, utilizados na troca de informações entre softwares de configuração de IEDs de vários fabricantes. Os tipos de arquivo são:

- **SSD** (*System Specification Description*): Arquivo utilizado pela ferramenta de configuração do sistema que descreve o diagrama unifilar da subestação e todos os nós lógicos requeridos;
- **SCD** (*Substation ConFfiguration Description*): Arquivo gerado pela ferramenta de configuração do sistema e importado pelo configurador dos IEDs com as informações configuradas para a comunicação;
- **ICD** (*IED Capability Description*): Arquivo gerado pelo configurador do IED para informar a ferramenta de configuração do sistema de suas características como tipos de nós lógicos existentes etc;
- **CID** (*Configured IED Description*): Arquivo final gerado pelo seu configurador para ser carregado em determinado IED.

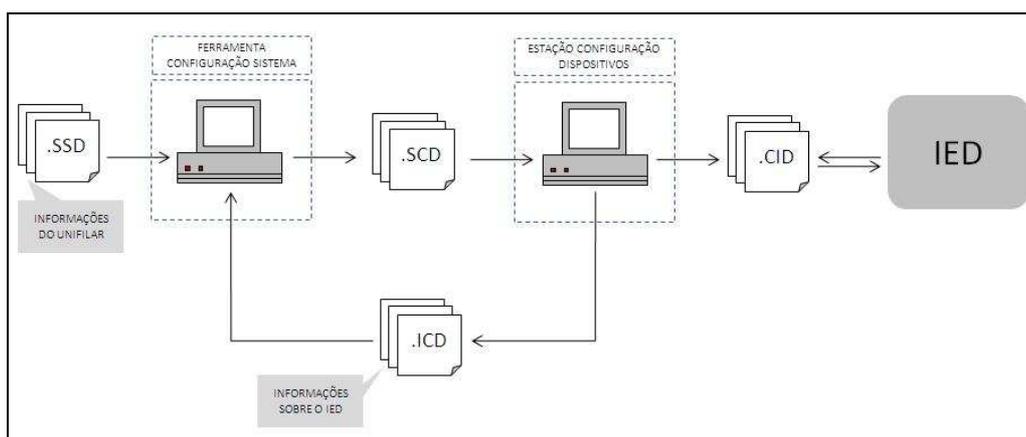


Figura 2 - Arquitetura de configuração.⁽²⁾

2.1.2 METODOLOGIA

De modo a viabilizar os testes de interoperabilidade foi montada uma plataforma de testes na qual foi utilizada equipamentos de diferentes fabricantes, entre IEDs e switches.

- **Arquitetura dos testes**

Na **Figura 3**, temos arquitetura proposta para a execução dos testes.

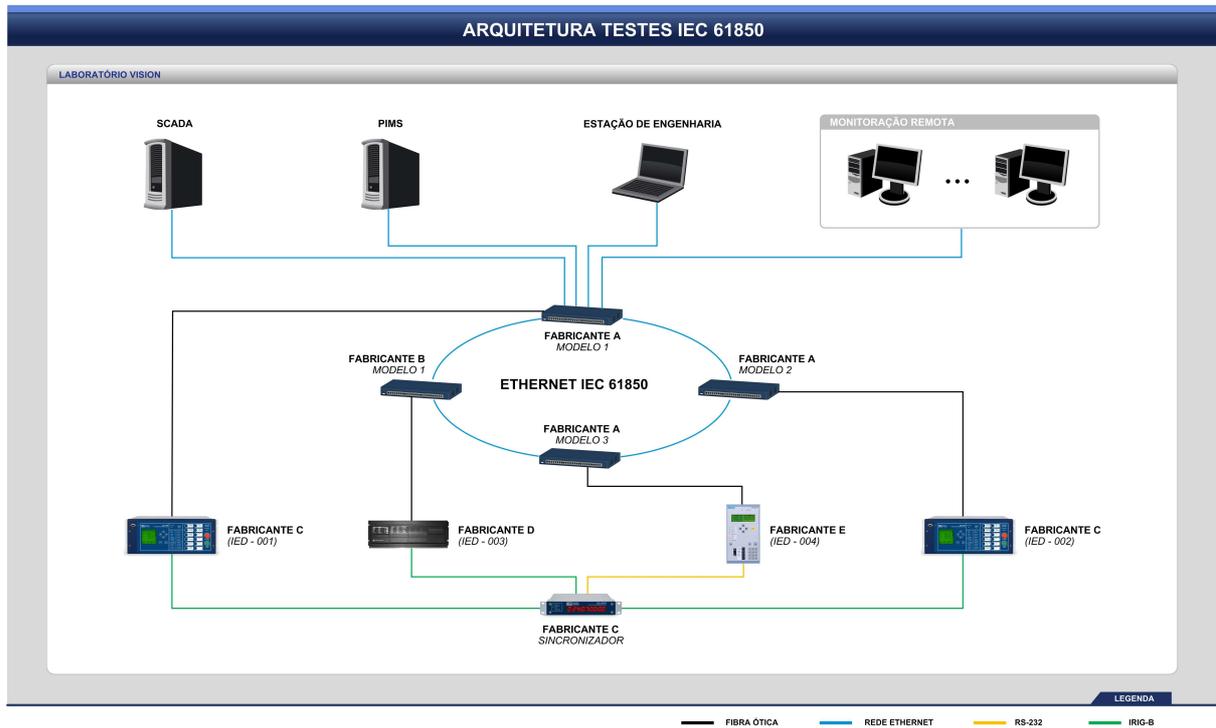


Figura 3 - Arquitetura geral.

A arquitetura é composta ainda por uma estação operando o sistema SCADA e o servidor OPC, para realizar a interface entre o nível de vão e de estação; outro servidor OPC para o sistema PIMS; uma estação de engenharia e outras estações de monitoração remota.

Na arquitetura, foram utilizados quatro switches, sendo três deles do Fabricante “A”, mas de modelos diferentes, e o quarto switch do Fabricante “B”. Todos os switches tratam a informação de prioridade das mensagens e foram testados para serem utilizados segundo o padrão IEC 61850.

Foram utilizados quatro IEDs, sendo dois do Fabricante “C”, um IED do Fabricante “D” e outro do Fabricante “E”.

Para sincronização dos IEDs na mesma base de tempo, foi utilizado o sincronizador do Fabricante “C”.

Na **Tabela 1** é especificado o número de equipamentos de cada fabricante.

Tabela 1 - Número de equipamentos por fabricante.

EQUIPAMENTOS	FABRICANTES					TOTAL
	A	B	C	D	E	
SWITCHES	3	1	-	-	-	4
IEDS	-	-	2	1	1	4
SINCRONIZADOR	-	-	1	-	-	1

- **Configuração da comunicação**

A configuração dos IEDs é feita em software proprietário de cada fabricante. Esta configuração inclui tanto a comunicação vertical quanto a horizontal. Para a comunicação vertical, é definido o IP do IED. Para a comunicação horizontal são definidos o conteúdo das mensagens Goose que serão enviadas e quais mensagens GOOSE serão recebidas.

A norma IEC 61850 define a linguagem de configuração dos IEDs. Como forma de testar a interoperabilidade entre os arquivos gerados de configuradores diferentes, deve-se fazer a configuração das mensagens Goose para cada um.

- **Configuração das mensagens goose**

Para a realização dos testes foram configuradas três mensagens saindo de cada IED e três mensagens chegando a cada um, de modo que todos os quatro IEDs enviem e recebam mensagens GOOSE de todos.

2.1.3 Resultados e discussão

Em relação à estrutura de dados, nota-se que existem algumas diferenças na estruturação dos nós lógicos entre cada fabricante o que modifica a composição da sintaxe das variáveis a serem mapeadas em outros sistemas, como sistemas SCADA e PIMS. Mesmo assim, este mapeamento pode ser feito de forma intuitiva devido à padronização dos nomes para nós lógicos do mesmo tipo.

Apesar da configuração da comunicação de cada IED ser feita em software próprio do fabricante, os parâmetros a serem verificados são padronizados facilitando assim o trabalho de integração entre IEDs. A utilização dos arquivos de transferência de informações ICDs, CIDs e SCDs facilita este trabalho e minimiza o tempo despendido devido a diferenças de interface de configuração.

Durante o envio e recebimento das mensagens GOOSE ficou comprovada a interoperabilidade, pois foi facilmente constatada a troca de mensagens entre todos os fabricantes.

2.2 Testes de Desempenho

Seguem os testes realizados para medir o desempenho das mensagens MMS e GOOSE trafegadas na rede da Figura 3.

2.2.1 Definições da norma IEC 61850

A norma IEC 61850 define os requisitos de tempo para cada tipo de mensagem e aplicação.

- **Requisitos de tempo**

Devido a heterogeneidade dos dispositivos que podem constituir a arquitetura de um SAS, a norma define requisitos para o formato da base de tempo. Desta forma trabalharemos com três tipos de mensagens utilizadas pelos IEDs:

- Eventos provenientes de cálculos internos nos IEDs onde a atribuição da estampa de tempo deverá ser feita imediatamente após a criação da mensagem;
- Eventos provenientes de mudança de estado de uma entrada binária, onde a geração da estampa de tempo deverá considerar o atraso referente à mudança de estado do contato elétrico;

- Eventos provenientes de entradas analógicas, onde o atraso referente aos filtros e circuitos de aquisição deverá ser considerado na atribuição da estampa de tempo.

O tempo gasto na transferência das mensagens GOOSE citadas anteriormente poderá ser medido considerando sua completa transmissão a partir do IED fonte até a recepção do IED destino. Para o cálculo deste tempo de transferência da mensagem considera-se a soma dos tempos individuais gastos pelos processadores de comunicação dos IEDs, conforme mostrado na **Figura 4**, e pelos dispositivos da rede como switches e roteadores.

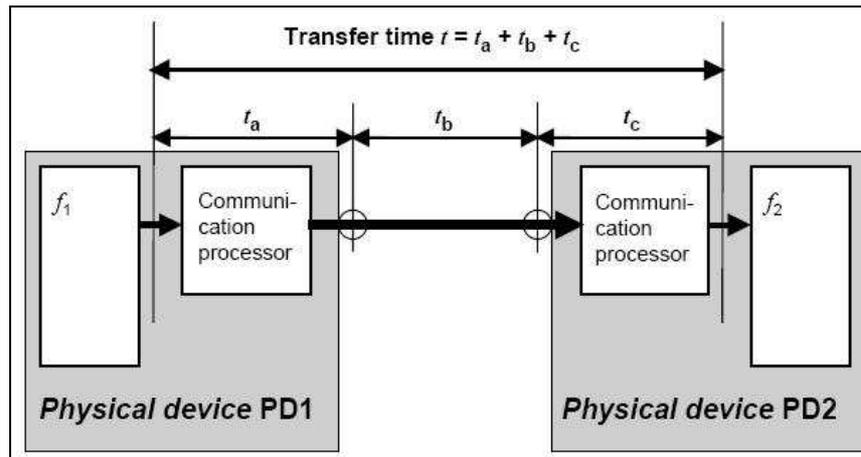


Figura 4 - Tempo de transferência de mensagens.⁽¹⁾

A **Tabela 2** apresenta de forma resumida os tipos de mensagens e o requisito de tempo de cada uma.

Tabela 2 - Requisitos de tempo para cada tipo de mensagem

TIPO	CLASSE	ORIGEM	DESTINO	TEMPO (ms)	DESCRIÇÃO
1A	P1	IED	IED	10	Trip, bloqueios e seletividade
1B	P1	IED	IED	100	Outras mensagens rápidas
2	-	IED	IHM	100	Eventos, alarmes e <i>status</i>
5	-	IHM	IED	1000	Arquivos de configuração
6	T1	STIM	IED	1	Mensagens de sincronização
7	-	IHM	IED	500	Comandos do sistema Scada

2.2.2 Metodologia

A seguir, será detalhada a metodologia utilizada para cada tipo de mensagem: MMS e Goose.

- **Mensagens MMS**

A fim de verificar o desempenho e a eficácia da comunicação MMS, foi utilizado o software *freeware* Ethernet de análise de redes, personalizado para o tratamento das mensagens padronizadas pela norma. A partir da interpretação desses protocolos somada com a informação do instante de tempo em que a mensagem é disponibilizada na saída física da placa de rede, é possível determinar o tempo entre uma solicitação de leitura e a chegada do valor lido.

- **Mensagens Goose**

Os testes de desempenho das mensagens Goose tiveram como objetivo medir o tempo gasto por esta mensagem do IED origem até o IED destino. Os IEDs foram sincronizados e desta forma foi possível utilizar o log de eventos de cada IED para calcular o intervalo de tempo gasto.

A norma define que o tempo gasto pelas mensagens Goose deve ser em geral de no máximo 10 ms para mensagens de trip, bloqueio e seletividade. Na média o resultado encontrado foi de 4,4 ms, o que garante com folga o requisito de tempo admitido pela norma para este tipo de mensagem e a interoperabilidade entre os diferentes fabricantes.

É importante ressaltar que a prioridade das mensagens Goose foi mantida em 4 para todas as mensagens, em uma escala de 0 a 7 sendo 7 a maior prioridade, logo os tempos obtidos podem ser menores para mensagens Goose de maior prioridade.

2.2.3 Resultados e discussão

Os testes foram divididos em duas frentes. Inicialmente foram medidos os tempos médios das mensagens MMS entre IEDs e sistema SCADA. Para as medidas de tempo das mensagens MMS foi utilizada a leitura via *pooling*. O segundo teste visou medir o tempo médio de troca de mensagens Goose entre IEDs.

- **Tempo médio das mensagens MMS**

A opção de leitura via *pooling* foi escolhida por entendermos que este seja o pior meio para obtenção de dados dos IEDs pelo sistema Scada, isto é, esta forma de leitura sobrecarrega a rede, pois de 1 em 1 segundo é feita uma varredura de todos as variáveis configurados para serem lidas.

Inicialmente foi medido o tempo médio gasto na solicitação e envio das mensagens MMS. O número de tags solicitados variou de 100 até aproximadamente 3200, divididos igualmente entre os 4 IEDs. Comparativamente foi feito o mesmo teste porém com taxa de ocupação da rede de 99%. A **Figura 5** apresenta o resultado de ambos os testes.

Na **Figura 6** são apresentadas as solicitações não respondidas para o teste sem sobrecarga na rede e na **Figura 7** as solicitações não respondidas para o mesmo teste com taxa de ocupação de 99% da rede.

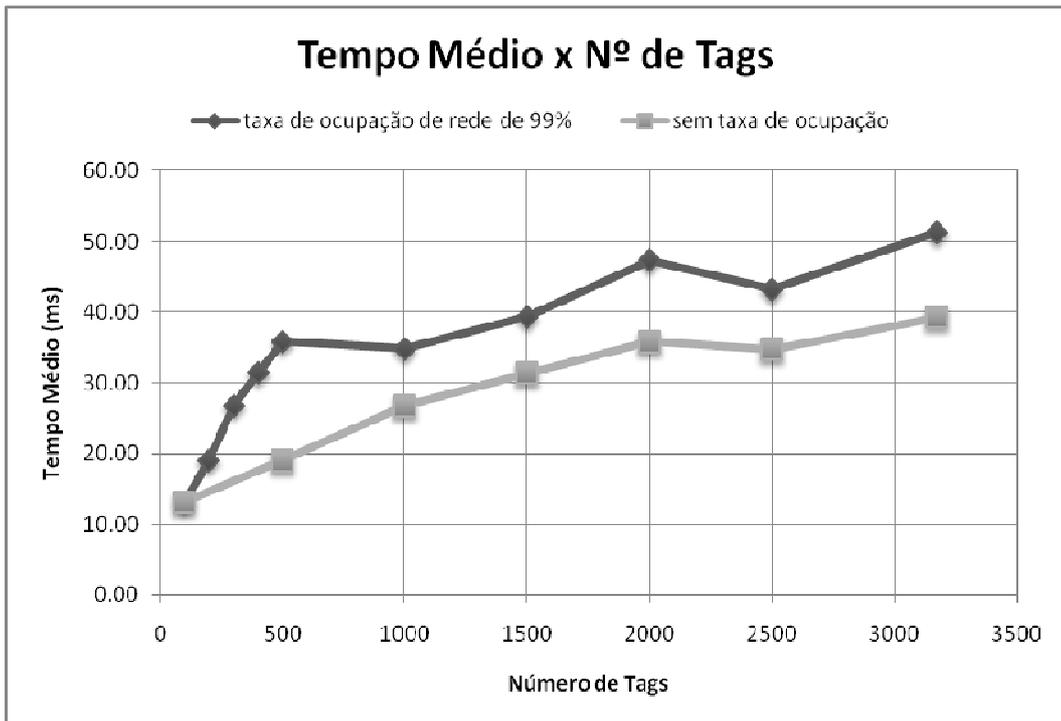


Figura 5 - Tempo médio das mensagens MMS entre IEDs e sistema SCADA em função do número de tags.

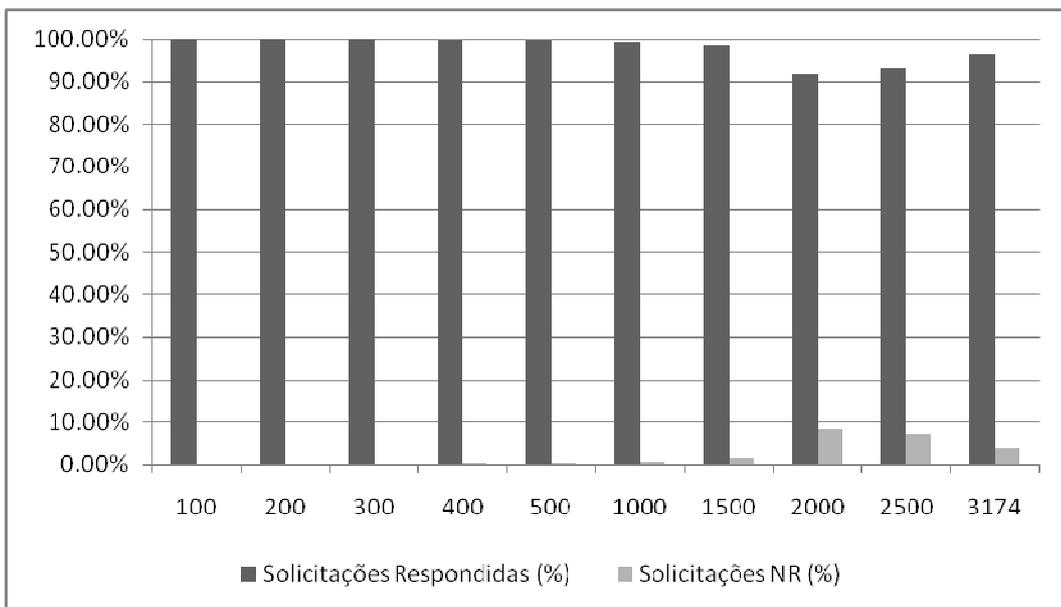


Figura 6 - Solicitações não respondidas com leitura via *pooling* sem taxa de ocupação da rede.

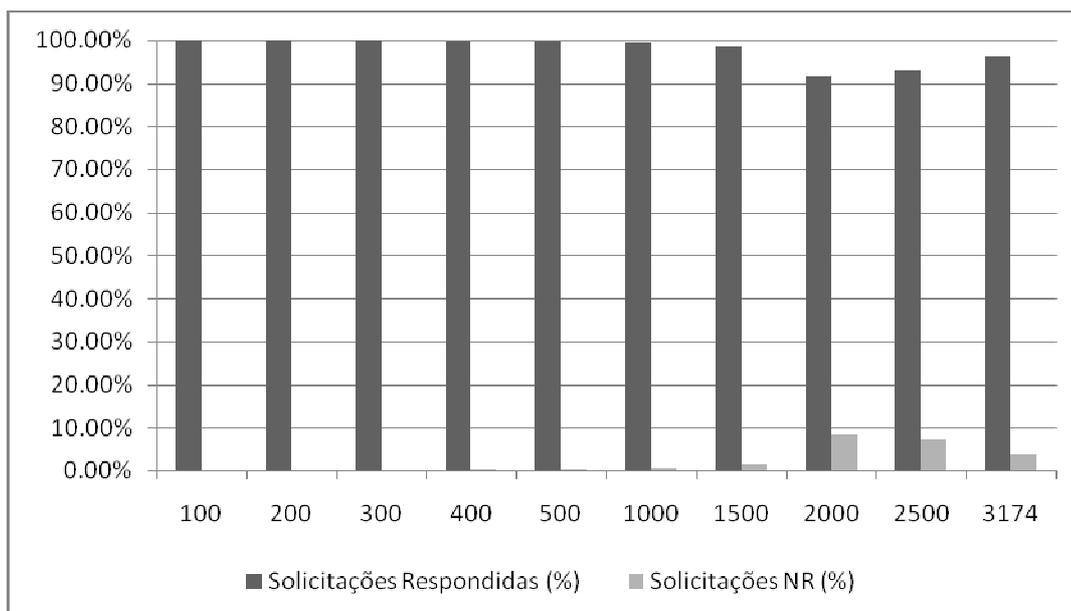


Figura 7 - Solicitações não respondidas com leitura via *pooling* com taxa de ocupação da rede em 99%.

Comparando-se os tempos obtidos com o requisito tempo definidos na **Tabela 2** para envio de mensagens dos IEDs para o sistema SCADA percebe-se que, para os dois casos analisados (com e sem taxa de ocupação da rede), o sistema foi capaz de responder dentro do tempo estipulado. É importante salientar que este tipo de comunicação não é comum em subestações de energia, já que as variações nas variáveis são extremamente rápidas, fazendo-se necessária uma troca de dados via *reports*. O teste apresenta um pior caso, em que a demanda por informação é maior.

- **Tempo médio das mensagens Goose**

Em relação às trocas de mensagens *Goose* entre IEDs foram feitos testes de modo a medir o tempo médio para envio e processamento destas mensagens. Para a medição deste tempo foi utilizado o *log* de eventos de cada IED, como os IEDs foram sincronizados bastava calcular a diferença de tempo. Na **Tabela 3** são apresentados os tempos médios de troca de mensagens *Goose* entre os IEDs.

Tabela 3 - Tempo Médio das mensagens *Goose* para topologia em anel (4 switches)

IEDs		TEMPO MÉDIO (ms)
IED-001	IED-002	4.33
IED-001	IED-003	3.30
IED-001	IED-004	4.00
IED-002	IED-003	4.67
IED-002	IED-004	4.50
IED-003	IED-004	4.67

Após os testes em operação normal foram feitos os teste com sobrecarga na rede utilizando o software IPLOAD. Na **Tabela 4** são apresentados os tempos médios de troca de mensagens *Goose* entre os IEDs com 99% de carga na rede.

Tabela 4 - Tempo Médio das mensagens Goose para topologia em anel (4 switches) com 99% de carga na rede

IEDs		TEMPO MÉDIO (ms)
IED-001	IED-002	7.10
IED-001	IED-003	7.33
IED-001	IED-004	6.12
IED-002	IED-003	5.00
IED-002	IED-004	6.60
IED-003	IED-004	6.50

Ao analisar os resultados obtidos com o tempo estipulado pela norma para a mensagem partir do IED origem até o IED destino, **Tabela 2**, foi possível constatar que estes foram totalmente satisfatórios. É importante atentar para o fato que para as mensagens Goose a prioridade das mensagens foi mantida em 4 para todas as mensagens, logo os tempos obtidos podem ser menores para mensagens Goose de maior prioridade.

3 CONCLUSÃO

A aplicação da norma IEC 61850 em Automação de Subestações traz uma série de vantagens para a arquitetura do sistema, como padronização de protocolos e infraestrutura de rede, além da flexibilidade na interação entre os dispositivos de proteção e os sistemas SCADA e gerenciamento. O atendimento aos requisitos funcionais necessários em subestações de energia deve ser previamente abordado em testes de desempenho e interoperabilidade antes da fase de comissionamento do sistema de automação em campo. A utilização da rede Ethernet como protocolo base para os demais utilizados na norma facilita a execução deste tipo de teste, devido à existência de diversos softwares de monitoração e diagnóstico da rede. O desempenho das mensagens utilizadas pelos dois principais protocolos da norma (MMS e GOOSE) deve ser bem avaliado durante todas as fases de testes. Os requisitos de tempo podem ser diferentes para aplicações mais ou menos críticas. Desta forma a mesma infraestrutura de rede pode ser utilizada para parametrização dos IEDs, sincronização, aquisição de eventos e variáveis de medição além dos *trips* e intertravamentos. Portanto a análise de sistemas em automação de subestações vem se tornando uma disciplina de extrema importância em arquiteturas baseadas na IEC 61850.

REFERÊNCIAS

- 1 IEC61850, "Communication networks and systems in substations", Partes de 1 a 10, International Electrotechnical Commission, 2003-2005;
- 2 Pereira, A.C. Filho, J. M. Corrêa, J. R. G. "Automação de Subestações e Usinas - Estado da Arte e Tendências Utilizando a Norma IEC61850", VII Simpase;

BIBLIOGRAFIA

- 1 Brand, K. P. Brunner, C. Wimmer, W. "Design of IEC 61850 Based Substation Automation Systems According to Customer Requirements", CIGRÉ, Session 2004;
- 2 Fonseca, M. O. "Desempenho de sistemas de automação - métricas e práticas", VIII Seminário de Automação de Processos, Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais.

- 3 Fonseca, M. O. Souto, A. O. "Automação de Subestações Industriais". Seminário de Automação de Processos, 10., 2006, Belo Horizonte. São Paulo: ABM, 2006.
- 4 Guieiro, G. A. Leão, J. A. Abreu, L. F. "Metodologia para Análise de Redes de Automação em Operação". ISA Show 2008;
- 5 Santos, L. F. Pereira, M. "Uma Abordagem Prática do IEC61850 para Automação, Proteção e Controle de Subestações", VII Simpase;
- 6 SISCO, "AX-S4 MMS for Windows User's Guide", revisão 11, 07/2007;