



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

BR/GTL/07
13 a 16 de Outubro de 2013
Brasília - DF

GRUPO –XV

GRUPO DE ESTUDO DE SISTEMAS DE INFORMAÇÃO E TELECOMUNICAÇÃO PARA SISTEMAS ELÉTRICOS - GTL

REDES IEC 61850 NA SUBESTAÇÃO DA MARGEM DIREITA – CRITÉRIOS DE PROJETO

Bruno Marins Fontes (*)
ITAIPU BINACIONAL

Hugo Larangeira Samaniego
ITAIPU BINACIONAL

Antonio Sertich
ITAIPU BINACIONAL

Marcos Fonseca Mendes
ITAIPU BINACIONAL

Rodrigo Ramos Galeano
ITAIPU BINACIONAL

Ladislao Aranda
ITAIPU BINACIONAL

RESUMO

Este artigo apresenta algumas diretrizes e critérios de projeto propostas pela ITAIPU para desenho e integração de redes de comunicação Ethernet dos sistemas de Automação, Proteção e Controle baseados na norma IEC 61850 para a Subestação Margem Direita (SEMD). O objetivo principal deste trabalho é chamar a atenção para a importância deste assunto e servir como ponto de partida para o desenvolvimento de um estudo mais aprofundado das questões técnicas aqui levantadas. Como meta futura, espera-se ampliar o domínio sobre o tema e criar um documento estabelecendo as diretrizes e arquiteturas de rede para especificação, projeto e integração das redes IEC 61850 *Communication Networks and Systems for Power Utility Automation* na SEMD.

Atualmente, a SEMD conta com diversos sistemas baseados na norma IEC 61850. Esses sistemas são instalados gradualmente, conforme o plano de modernização e ampliação estabelecido para a subestação. Sob o aspecto da comunicação, os sistemas atuais são isolados. Cada um tem sua rede de comunicação independente, inclusive de fabricantes diversos, dando origem ao que chamamos de "Ilhas IEC 61850". Dentre os tópicos técnicos, serão abordadas questões relativas à arquitetura referencial de rede, gestão dos ativos, aspectos de segurança, política de VLANs, redundância, requisitos para mensagens GOOSE, entre outros.

Por fim, espera-se que os sistemas de automação e proteção atuais e futuros estejam alinhados com um conceito único de engenharia de aplicação, embasados pelas melhores práticas em termos de redes de comunicação industriais.

PALAVRAS-CHAVE

Automação, Proteção, Integração, IEC 61850, Redes de Comunicação, Ethernet, Subestação.

1.0 - INTRODUÇÃO

A Subestação Margem Direita (SEMD) é a responsável pela interface da geração 50Hz da ITAIPU e o sistema elétrico Paraguaio, sob responsabilidade da ANDE (Administración Nacional de Electricidad). Atualmente, a SEMD está passando por grandes modificações em sua estrutura original. Diversos projetos de modernização e ampliação dos setores de 500/220kV estão em desenvolvimento, em consequência de um plano empresarial para fortalecimento do sistema de transmissão elétrica do Paraguai.

O ponto de partida dos trabalhos de modernização/ampliação foi a execução do *Retrofit* das proteções das linhas de 500kV e 220kV na SEMD, que deram origem aos primeiros sistemas IEC 61850 e consequentemente às primeiras ilhas de comunicação na subestação. Na sequência, foi executado o projeto de implantação do sistema de automação e proteção associado aos conjuntos auto-transformador e regulador TX/RX – T5/R5. A implantação deste sistema foi um evento crucial na subestação que evidenciou de maneira taxativa a necessidade da integração de redes discutida neste trabalho. Atualmente, dois projetos encontram-se em execução. O primeiro, que já está em fase de conclusão, é referente à implantação do sistema de automação e proteção da nova saída de linha de 500kV, que interliga a SEMD com a Subestação Villa Hayes (SEVH) em Assunção – Paraguai. O

(*) Usina Hidrelétrica de Itaipu - Av. Tancredo Neves, 6731 – CEP 85.866-900 - Foz do Iguaçu, PR – Brasil
Tel: (+55 45) 3520-3070 – Fax: (+55 45) 3520- – Email: brunomf@itaipu.com.br

segundo, relativo ao seccionamento na SEMD de duas linhas de 500kV (50Hz) que atualmente estão conectadas diretamente ao sistema de transmissão brasileiro através da Subestação Foz do Iguaçu, de FURNAS.

Todos os projetos citados anteriormente geraram um aumento considerável na quantidade de dispositivos empregados para supervisão, controle, proteção, osciloperturbografia, monitoramento e comunicação dos sistemas. Como exemplo, o sistema integrado de supervisão, controle e proteção dos conjuntos TX/RX e T5/R5 incluiu um conjunto grande de IEDs (Intelligent Electronic Device) integrados localmente conforme a norma IEC 61850. Porém, os mesmos ficaram isolados dos demais dispositivos da subestação. Este sistema foi o primeiro deste tipo a entrar em operação na ITAIPU.

2.0 - CONTEXTUALIZAÇÃO

A norma IEC 61850 trouxe uma nova estrutura para automação de subestações sob os pilares da interoperabilidade, liberdade de configuração e estabilidade de longo prazo. Dentre as principais características da norma, considerando o âmbito deste artigo, destaca-se a comunicação unificada baseada em redes Ethernet e a integração entre sistemas de automação, proteção, controle, monitoramento e medição, com liberdade para distribuição destas funções.

Analisando o cenário atual dos sistemas proteção, automação e controle na SEMD, identificamos a coexistência de sistemas convencionais legados, ainda não modernizados, e sistemas IEC 61850, alguns de gerações diferentes, sem conectividade alguma entre eles. Tecnicamente, sob o aspecto funcional, é vantajoso que todos os sistemas estejam integrados. Isto evitaria, por exemplo, a necessidade de duplicação de dispositivos para adquirir a mesma informação, reduzindo a quantidade de equipamentos na planta e consequentemente a complexidade dos sistemas. Em linhas gerais, as funções de supervisão, controle e proteção são transversais a todos os vãos da SEMD, indicando portanto que a integração, tanto sob o aspecto da aplicação quanto da rede de comunicação, é uma evolução natural para os sistemas. Para ilustrar, são apresentados abaixo alguns casos que fortalecem esta ideia:

- Bloqueio de fechamento de disjuntores: através da propagação de mensagens GOOSE é possível integrar a proteção de barra dos diferentes vãos da SEMD com o objetivo de bloquear o fechamento dos disjuntores abertos pela proteção de barras;
- Intertravamentos: existem intertravamentos entre equipamentos de manobra que se encontram em diferentes pátios, e consequentemente em diferentes ilhas. Por exemplo, o sistema TX/T5 poderia utilizar mensagens GOOSE para compartilhar os estados dos disjuntores e seccionadoras com o objetivo de evitar o fechamento das seccionadoras de aterramento, do lado de 220kV, quando os interruptores do lado de 500kV estão fechados;
- Proteções de retaguarda: muitos esquemas de proteção podem ser melhorados com a integração. Um exemplo clássico é o da atuação de um esquema de proteção contra falha de disjuntor, o qual normalmente afeta uma parte significativa da subestação;
- Trip via rede: possibilidade da propagação de sinais de trip para toda a subestação, quando necessário, em especial para proteção diferencial de barras;
- Gestão unificada dos ativos de rede: tendo todos os dispositivos de comunicação integrados e utilizando ferramentas baseadas no protocolo SNMP, por exemplo, é possível criar uma plataforma unificada para gerência e manutenção da rede;
- Sincronização de tempo: este é um serviço comum a todos os sistemas e poderia ser administrado através de um único relógio com distribuição unificada através de uma VLAN reservada;

Porém, em virtude da diversidade de sistemas citada anteriormente, o processo de integração é complexo e envolve aspectos técnicos diversos. Deve-se assegurar que a confiabilidade, o desempenho e a segurança concebidas para os sistemas isolados sejam mantidas após a integração.

Como foco deste trabalho, serão analisadas questões relacionadas a integração dos sistemas sob o aspecto específico da rede de comunicação dos dispositivos. Considera-se rede de comunicação a infraestrutura física de cabos ópticos e equipamentos de rede ethernet de camada 2 e 3, como switches e roteadores, responsável pela troca de mensagens horizontal e vertical entre os diferentes dispositivos do sistema.

3.0 - CARACTERÍSTICAS DAS ILHAS IEC 61850 INSTALADAS

As diferentes ilhas IEC 61850 existentes na SEMD possuem características muito similares em termos dos elementos da rede de comunicação. Elas são baseadas em switches de camada 2 *IEC 61850 compliant* conectados entre si em uma topologia anel com padrão de comunicação Fast-ethernet (100Mbps). Usualmente cada ilha conta com três a cinco switches. Em função da arquitetura em anel e afim de prevenir *loops* na rede, os switches possuem o protocolo eRSTP (*Enhanced Rapid Spanning-Tree*) habilitados. O arranjo típico de uma ilha pode ser visto na Figura 1.

O anel de switches é a base da comunicação local das ilhas e possibilita a troca de dados entre IEDs de funções diversas (proteção, controle, sensores e atuadores). Esta comunicação, definida como horizontal, é predominante na ilha e utiliza mensagens GOOSE, multicast. O outro tipo de comunicação trafegado pela rede é chamado de vertical, baseado em TCP/IP, que consiste no envio de informações dos dispositivos para um sistema supervisor superior, acessado usualmente através de um gateway de protocolo e, no sentido contrário, para aplicação de comandos.

Em termos de configuração da rede Ethernet, as ilhas foram implantadas sem política de segurança e mecanismos de segregação (VLAN) e/ou priorização de tráfego (CoS). Analisando sob o aspecto da comunicação de camada 2, cada ilha forma um único domínio de *broadcast*. Por fim, as ilhas são conectadas ao Sistema Integrado de Redes Industriais (SIRI) da subestação que fornece o sincronismo de tempo através do protocolo NTP (*Network Time Protocol*) e possibilita também o acesso remoto às oscilografias armazenadas na Estação de Engenharia da Ilha.

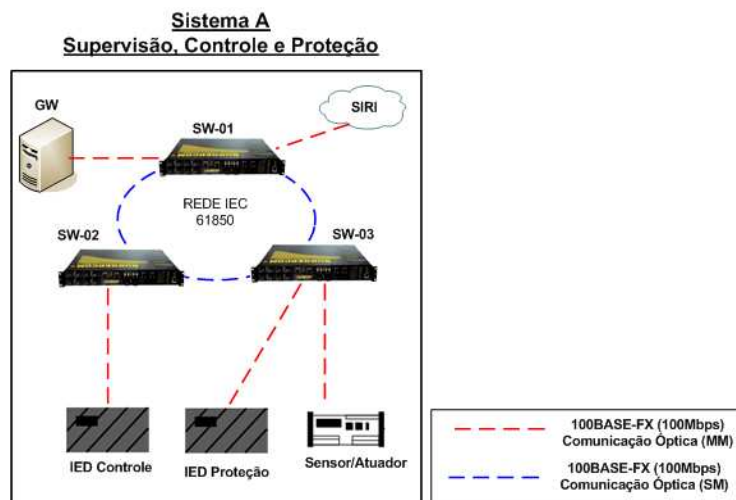


FIGURA 1 – Ilha IEC 61850 – Arranjo Típico da SEMD

4.0 - PLANEJAMENTO DA INTEGRAÇÃO

Conhecendo as características de rede de cada ilha, o primeiro passo para integração é levantar os requisitos funcionais e de desempenho que precisam ser cumpridos. Foram utilizados nesta etapa conceitos estabelecidos pela própria norma que sugerem a avaliação do sistema sob requisitos de desempenho, confiabilidade, segurança e flexibilidade:

- Desempenho: Atendimento aos requisitos da norma IEC 61850 (Ex.: tempos de transferência de mensagens GOOSE – 4 a 12 ms), e de outras aplicações críticas como PMU (*Phasor Measure Unit*), por exemplo;
- Confiabilidade: Garantia de integridade dos dados, mecanismos de redundância, tolerância a falhas, etc.;
- Segurança: Gestão e monitoramento de ativos, controle de acesso, gravação de eventos (*logs*), *cyber security*, etc.;
- Flexibilidade: Versatilidade, escalabilidade, interoperabilidade e rede a prova de futuro (*Future-proof network*).

Por fim, para desenvolver o planejamento de integração, tendo em conta os requisitos mapeados, foram utilizados conceitos de Engenharia de Redes, que envolvem em primeiro lugar a criação de políticas operacionais bem definidas para a rede e posteriormente sua aplicação através de ferramentas e funcionalidades avançadas disponíveis nos switches.

5.0 - CONSIDERAÇÕES DE PROJETO

5.1 Backbone da subestação

A primeira etapa no processo de integração seria a criação de uma rede óptica tronco em anel, padrão Gigabit-Ethernet (GbE), de alta disponibilidade denominada *backbone* da subestação. A topologia em anel para o *backbone* aparenta ser a mais viável em um primeiro momento, pois não envolveria a aquisição de novos equipamentos de rede. A rede em anel oferece um balanço equilibrado entre confiabilidade e rendimento com um custo de instalação baixo. O *backbone* englobaria todos os setores, pátios e vãos da subestação e teria como ponto central a sala de controle principal.

O procedimento para criação do *backbone* passa primeiramente pela definição de um switch de cada ilha para integrar o anel principal. Os switches eleitos são denominados switches de borda ou fronteira e tem como requisito básico a disponibilidade de portas ópticas tipo GbE. Em termos de desempenho, a arquitetura em anel exige atenção quanto ao tempo de convergência da rede em caso de falhas (*spanning-tree*), impactado diretamente pela quantidade de switches conectados, e ao compartilhamento da largura de banda.

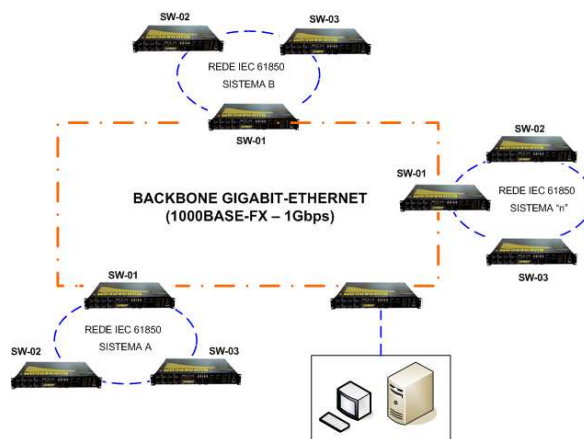


FIGURA 2 – Backbone da subestação em anel

Outra possibilidade também a ser analisada para a criação do *backbone* seria a utilização de uma arquitetura hierárquica tipo estrela (ver Figura 3). Essa arquitetura envolveria a criação de uma camada central de rede (*core*) com equipamentos de alta capacidade que seriam os responsáveis pela concentração e distribuição da comunicação entre as ilhas. Localmente as ilhas continuariam conectadas em anel, sem alteração em sua topologia original, o que representa uma vantagem para a confiabilidade da ilha.

Em comparação com o *backbone* em anel, a arquitetura em estrela demandaria de imediato um investimento adicional em equipamentos para implantar a camada de *core*. Mesmo sendo concebidos em um arranjo de alta disponibilidade, os novos equipamentos de *core* introduziriam no sistema um ponto de falha adicional, aumentando os itens a serem supervisionados e configurados pelas equipes de manutenção e operação da subestação. Como ponto positivo desta topologia, destaca-se a inexistência de loops no *backbone* e a largura de banda dedicada para cada ilha.

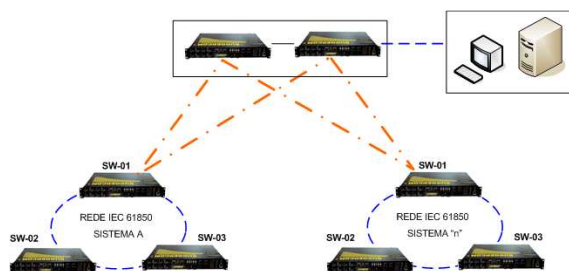


FIGURA 3 – Backbone da subestação em estrela

5.2 Planejamento do *spanning-tree*

A configuração local das ilhas já conta com o protocolo *spanning-tree* habilitado. Porém, em função da pequena quantidade de switches interconectados, o estudo mais detalhado dos mecanismos de redundância e convergência não é necessário. O padrão utilizado atualmente nas ilhas é o RSTP (IEEE 802.1w) com tempo de convergência inferior a 50ms.

Ao se criar o *backbone* da subestação, tem-se um aumento significativo na quantidade de elementos conectados no anel principal (linha laranja da Figura 2) e nos anéis secundários (linha azul da Figura 3). Consequentemente, o planejamento e controle sobre os mecanismos de convergência da rede tornam-se um item imprescindível para garantir o atendimento aos requisitos de desempenho estabelecidos. Atenção especial deve ser dada à definição do elemento *root-bridge* na rede. A definição do *root-bridge* é baseada no parâmetro *bridge ID*, que é obtido pela combinação do parâmetro *bridge priority*, configurável, e pelo endereço MAC do equipamento. O switch com menor *bridge ID* assume automaticamente o papel de *root-bridge*.

A principal consideração a ser tomada no planejamento do *spanning-tree* é a definição que os switches de borda tenham menor *bridge ID* que os switches internos das ilhas. Isso garante que o papel *root-bridge* sempre estará em um dos switches do *backbone*. Desta forma, o mapa de rotas ativas na rede será otimizado, evitando sobrecarregar sem necessidade o tráfego interno das ilhas. A continuação apresenta-se um exemplo hipotético de configuração do *spanning-tree* para a SEMD, conforme topologia indicada na Figura 2:

- Switch principal do *backbone*: configurar o *bridge priority* para 0. Isso garante que este equipamento terá preferência na definição do *root bridge*;
- Demais switches do *backbone*: configurar o *bridge priority* para 4096. Isso garante que estes equipamentos tenham preferência secundária na definição do *root bridge*, em caso de falha do elemento principal;

- Switches internos das ilhas: configurar o *bridge priority* para 12228. Desta forma, estes switches são os últimos na prioridade de definição do *root bridge*.

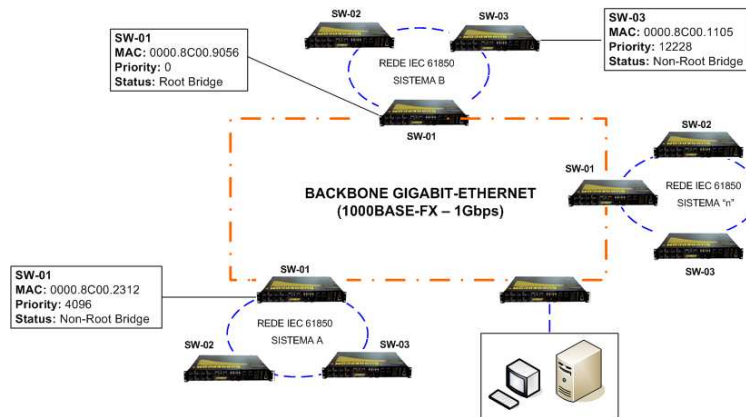


FIGURA 4 – Planejamento do *spanning-tree*

5.3 VLAN – *Virtual LAN*

VLAN é um serviço de camada 2 que permite separar logicamente a rede criando domínios de *broadcast* independentes. Elas são implementadas através da adição de um identificador (*Tag*) ao quadro Ethernet – padrão IEEE 802.1Q.

A norma IEC 61850 recomenda a utilização de VLANs para isolar diferentes serviços e desta forma assegurar um alto grau de confiabilidade e tolerância a falhas, tanto nas comunicações horizontais quanto nas verticais. A comunicação horizontal contempla a troca de mensagens GOOSE na camada 2. Já a comunicação vertical é baseada em TCP-UDP/IP.

O primeiro passo no planejamento de VLANs é a criação dos IDs para agrupar os tráfegos por função: Monitoramento, Proteção, Controle, etc. Uma recomendação importante referente à comunicação horizontal é associar as VLANs aos grupos *multicast* definidos pela solução IEC 61850. Um plano de VLANs hipotético para a SEMD poderia ser conforme abaixo:

- VLAN-01: *Default* dos equipamentos. Não deve ser utilizada;
- VLAN-10: comunicação vertical *gateway*;
- VLAN-20: comunicação *backbone* entre switches;
- VLAN-30: rede de gerência SNMP;
- VLAN-40: rede de sincronismo – NTP/PTP;
- VLAN-50: comunicação horizontal local – GOOSE interno*;
- VLAN-60: comunicação horizontal entre ilhas – GOOSE externo.

*Opcionalmente, esta VLAN poderia ser dividida em mais VLANs diferenciando mensagens de Proteção, Controle, etc.

É válido ressaltar que os IEDs aderentes à norma IEC 61850 possuem uma política de VLANs interna configurada e têm a capacidade de fazer a marcação ou *tagging* dos quadros da comunicação horizontal. Para garantir a integridade da rede é fundamental que esta política existente seja respeitada e replicada em todos os switches.

Considerações de configuração da rede:

- Comunicação horizontal: o tráfego é marcado pelo IED com diferentes VLANs. Portanto, a porta do switch deve ser configurada no modo *trunk*, permitindo o acesso a múltiplas VLANs;
- Comunicação vertical: o tráfego gerado pelos IEDs, *gateways*, etc., não é marcado localmente. A marcação dos pacotes deve ser feita pelo switch conforme parâmetro “*pvid*” (“Port VLAN ID”) definido.

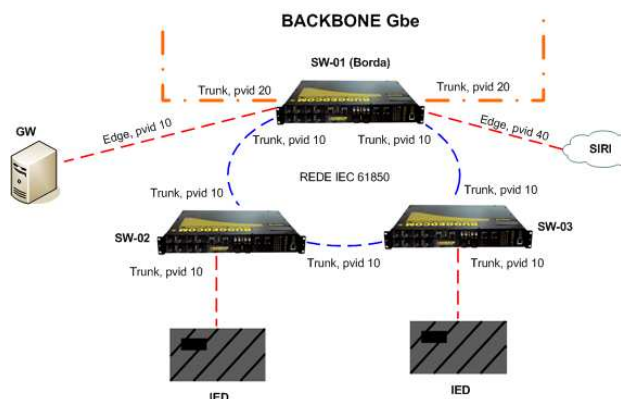


FIGURA 5 – Planejamento de VLANs

5.4 Classe de Serviço (CoS)

Classe de Serviço ou CoS é um mecanismo definido pelo padrão IEEE 802.1p (extensão do IEEE 802.1Q) que permite aos switches de camada 2 priorizar a transmissão de alguns pacotes ou portas específicas. A filosofia de priorização pode ser estática por porta ou baseada no campo de prioridade 802.1p. A utilização desta ferramenta é fundamental para garantir que serviços de missão crítica tenham prioridade de tráfego sobre serviços supervisórios ou agregados.

O Padrão CoS utiliza 3 bits para definição das prioridades, gerando oito classes distintas:

- 0 – 3: Normal;
- 4 – 7: Alta;

Ao receber um pacote, o switch realiza a inspeção (classificação) e conforme filosofia de priorização definida realiza o encaminhamento dos pacotes. Mensagens GOOSE carregam *tags* de prioridade no formato 802.1p definidos pelo IED. Essas mensagens devem ter a mais alta prioridade da rede e usualmente utilizam a classe de prioridade 4. Isso garante que mensagens GOOSE serão encaminhadas primeiro na fila *store and forward* dos switches. Porém, é necessário atentar para o fato que quadros em transmissão pelo switch não são interrompidos e portanto atrasos nas filas de transmissão podem ocorrer. Estima-se que para redes de 100Mbps este atraso possa chegar a 100µs e para redes 1 Gbps a de 10µs [1].

Geralmente o tráfego prioritário está associado a uma determinada VLAN. Portanto, torna-se vantajoso vincular as classes de prioridade aos grupos de VLANs criados. Tomando-se como exemplo o plano hipotético apresentado no item 5.3, as VLANs 50 e 60 seriam associadas ao grupo de prioridade 4-7.

5.5 Sistema de gerência da rede

A criação do backbone da subestação e a integração de todas as ilhas permite a criação de uma plataforma unificada para gerência e monitoramento dos ativos da rede. Baseado nas bibliotecas MIB disponíveis nos switches, é possível criar um sistema único que permita visualização de alarmes, backup de configurações e intervenções remotas nos equipamentos. Atualmente, os sistemas supervisórios das ilhas IEC 61850 monitoram apenas os IEDs e demais dispositivos de campo. Não há um monitoramento ativo dos equipamentos de rede.

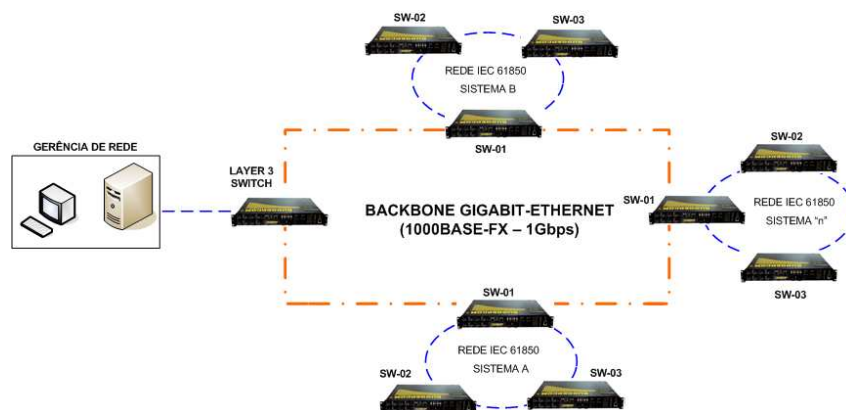


FIGURA 6 – Sistema de gerência unificado

5.6 Tráfego supervisório

A SEMD possui um sistema supervisório unificado denominado SCC. Cada ilha IEC 61850 foi concebida originalmente com um sistema supervisório local e um Gateway responsável pela interface entre o supervisório local e o SCC. A comunicação vertical, conforme visto anteriormente, é baseada em TCP/IP. Porém, o backbone da subestação proposto até o momento possui apenas elementos de camada 2. Uma opção para eliminar os gateways locais concentrando o tráfego vertical para um único ponto na rede seria instalar um equipamento de camada 3 no *backbone*. Este equipamento faria o encaminhamento do tráfego vertical conforme necessário. Entretanto, apesar da viabilidade técnica sob o aspecto de rede de comunicação, a reestruturação dos gateways envolve outros aspectos fora do escopo deste trabalho.

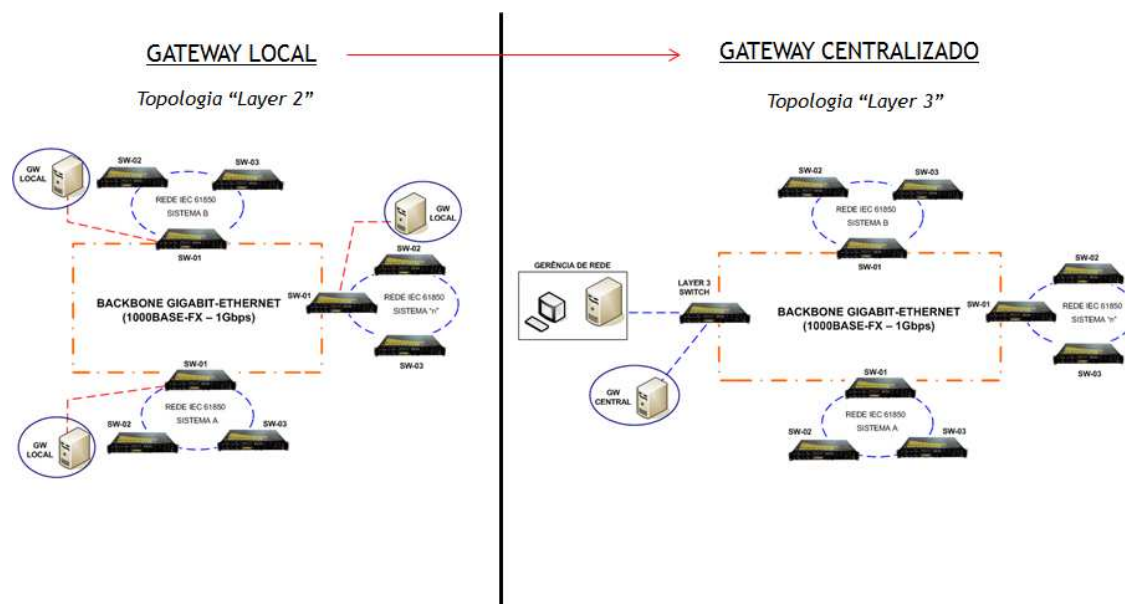


FIGURA 7 – Tráfego supervisorio

5.7 Segurança

Um aspecto fundamental da integração das ilhas é garantir a segurança física e lógica dos sistemas. A criação da política de segurança deve iniciar pelo levantamento de vulnerabilidades da rede e posteriormente evoluir para uma avaliação das ferramentas e mecanismos de prevenção disponíveis nos equipamentos.

Analizando o backbone da subestação proposto até o momento, identificamos uma série de procedimentos e ferramentas de camada 2 e 3 que poderiam ser utilizadas para garantir a segurança dos sistemas. Como recomendação para equipamentos de camada 2 temos:

- Configuração de Login/Senhas de Acesso para cada switch. Possibilidade de utilizar um servidor RADIUS (*Remote Authentication Dial In User Service*), por exemplo;
- Ativação do *BPDU Guard* para proteção da rede contra envio de falsos BPDUs (pacotes trocados pelo *spanning-tree*);
- Configuração de segurança por porta baseada em endereços MAC (*Port Security*);
- Ativação de mecanismos de limitação de broadcast para evitar inundação da rede (*Broadcast Rate Limiting*);
- Bloquear por porta o envio de tráfego unicast ou multicast desconhecido (*Port blocking*);
- Desabilitar as portas ociosas dos switches (*shutdown*);
- Configurar *Forbidden ports* para cada VLAN.

5.8 Serviços agregados

Além dos serviços de Proteção, Automação e Controle, o backbone da subestação poderia ser utilizado para tráfego de dados de outros sistemas de tempo real, como, por exemplo, aplicações voz e vídeo. Essa convergência de diferentes serviços em uma única infraestrutura já é uma realidade em redes de telecomunicações. Uma das grandes vantagens da convergência é a simplificação da rede em função da redução significativa de cabeamento e da quantidade de ativos utilizados.

Como exemplos de aplicações típicas para subestações, temos o monitoramento por imagens da subestação, permitindo a visualização de seccionadoras (estados), equipamentos de alta-tensão, etc. e serviços de telefonia IP, móvel e fixa, para cobertura do pátio.

Porém, a principal dúvida relacionada com a convergência completa de serviços ainda recai sobre os impactos no desempenho e segurança da rede, principalmente sob o ponto de vista das aplicações críticas. Faz-se necessário estudar em detalhes as implicações técnicas da convergência total de serviços, tanto sob o aspecto da rede quanto das aplicações.

6.0 - CONCLUSÃO

Com base na experiência adquirida até o momento pela ITAIPU, graças a realização dos projetos de ampliação e modernização citados neste trabalho e também a programas de capacitação desenvolvidos nos temas da norma IEC 61850 e redes industriais, fica evidente que os sistemas de proteção, automação e controle da SEMD devem ser pensados de modo integrado. A integração resultaria não apenas em uma redução de custos de manutenção mas também em um incremento de funcionalidades e benefícios para este tipo de aplicação, relacionadas diretamente com a operação da subestação.

Outro ponto crítico a ser destacado como um dos objetivos principais do trabalho é relativo à importância de ampliar o estudo e domínio técnico sobre redes industriais baseadas no protocolo Ethernet.

Em complemento ao exposto, foram apresentados neste trabalho temas relacionados ao desenho de redes de comunicação para integração de diferentes sistemas de Proteção, Automação e Controle baseados na norma IEC 61850. Foram feitas considerações referentes à definição da arquitetura de rede, VLANs, classe de serviço (CoS), segurança e outros aspectos relevantes para integração das redes. Todas as considerações apresentadas foram baseadas nos sistemas em operação na SEMD, e constituem um estudo teórico preliminar da ITAIPU para integração das redes. Como trabalhos futuros, espera-se aprofundar os estudos visando a criação de um documento estabelecendo diretrizes de projeto de redes de comunicação industrial para sistemas IEC 61850.

7.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

(1) Gigabit Campus Network Design, Principles and Architectures: Cisco Systems. Disponível em <http://www.cisco.com/en/US/products/ps6600/products_white_paper09186a00800a3e16.shtml>. Acesso em 05 de Agosto de 2012.

(2) IEC 61850, 1. Ed. Suíça: IEC Central Office, 2003

(3) MARZIO P. POZZUOLI. Ethernet in Substation Automation Applications – Issues and Requirements: RuggedCom Inc. – Industrial Strength Networks. Disponível em <http://www.ruggedcom.com/pdfs/white_papers/ethernet_in_substation_automation_applications.pdf>. Acesso em 22 de Outubro de 2012.