



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

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

**GRUPO - 15**

**GRUPO DE ESTUDO DE SISTEMAS DE INFORMAÇÃO E  
TELECOMUNICAÇÕES PARA SISTEMAS ELÉTRICOS - GTL**

**COMPARATIVO DE CARACTERÍSTICAS DE SWITCH PARA SUBESTAÇÃO E DE  
SWITCH PARA ESCRITÓRIO**

**Nestor C. Fernandes(\*) Vladimir N. Duk**  
**LINK PRECISION**

**Sérgio L. Zimath Carlos A. Dutra**  
**REASON TECNOLOGIA S.A.**

**RESUMO**

Com o advento da norma IEC 61850 e a migração das subestações na direção do uso intensivo de comunicação digital de alta velocidade entre IEDs, os engenheiros de proteção se vêem diante de um mar de informações que muitas vezes levanta dúvidas e incertezas na hora de especificar um dos componentes-chave da infraestrutura de rede, o switch. A confusão nasce do fato de existir no mercado inúmeros modelos de switch para uso em escritório em vários níveis de sofisticação que, pelo menos visualmente, poderia ser adaptado para uso em subestações. O presente artigo investiga as semelhanças e diferenças entre switches de escritório e aqueles switches desenhados especialmente para atender o setor elétrico, levando em conta as normas vigentes e as necessidades específicas das subestações.

**PALAVRAS-CHAVE**

Switch para Subestação, IEC61850, Comunicação em subestações, PTP, IEEE Std 1588-2008

**1.0 - INTRODUÇÃO**

A comunicação de dados entre máquinas é uma área da engenharia que evoluiu exponencialmente desde os anos 50, quando nasceu ainda confinada aos laboratórios de pesquisa para interligar computadores de grande porte, mais no sentido físico do que na potência de processamento, pelo menos nos termos de hoje. A partir de meados dos anos 70 com o advento dos computadores pessoais a comunicação ganhou novo impulso, intensificado quando estas máquinas começaram a equipar escritórios de empresas, mais para o final dos anos 80.

A infraestrutura de comunicação da época para interligar um escritório consistia no uso de um cabo coaxial que formava um barramento aberto que passava por todas as máquinas, fazendo com que compartilhassem o mesmo meio físico. As colisões na comunicação pelo fato de disputarem o mesmo meio físico eram uma constante, mas como a necessidade de tráfego era baixa, mesmo com perdas significativas a velocidade na transferência de informações era compatível com a capacidade de processamento.

Com o aumento da eficiência das máquinas apareceram alternativas para minimizar as perdas, como aumento da velocidade do meio físico e a segregação do tráfego. O aumento da taxa de transferência do meio físico diminuiria a chance de colisão pelo simples fato dos pacotes de dados trafegarem mais rápido e com isso cada máquina ocuparia o meio físico por um tempo cada vez menor. Seria uma solução aceitável se as máquinas e processos envolvidos mantivessem as mesmas necessidades de tráfego, o que naturalmente não aconteceu.

Um problema adicional associado à topologia da rede de comunicação da época é que um barramento aberto estava susceptível à paralisação por descasamento de impedância em qualquer nó de acesso, já que forma um guia de onda compartilhado. Simplesmente aumentar a taxa de transferência do meio físico deixaria este guia de onda mais sensível ainda, portanto seria apenas uma meia solução. Para compensar o aumento da sensibilidade, criou-se o "hub", que era um dispositivo que implementava o barramento mas com ligação em estrela. Era o equivalente ao "benjamin" ou "T" elétrico, porém aplicado à comunicação. Um circuito interno do dispositivo isolaria

a máquina que porventura provocasse o descasamento de impedância sem deixar que as demais máquinas sofressem as consequências.

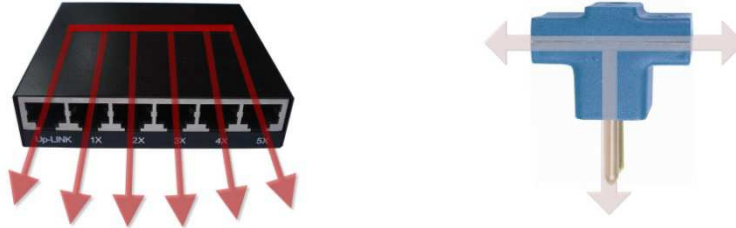


FIGURA 1 – Comparação de circuitos internos entre um hub e um benjamin.

A outra alternativa seria criar uma espécie de circuito temporário entre pares de máquinas, pois em dado momento cada máquina pode se comunicar com uma outra máquina apenas, usando uma interface única. Para implementar esta alternativa a topologia em barramento aberto teria que ser abandonada em favor de algum dispositivo que pudesse gerenciar essas ligações temporárias. Fisicamente ele deveria se parecer com o “hub”, pois este era realmente eficiente em isolar falhas, mas deveria ser dotado de inteligência suficiente para encaminhar cada pacote de dados somente para a máquina de destino daquele pacote, sem ocupar o circuito das demais máquinas que não participam daquela transferência em particular. Esta abordagem é conhecida como “segregação de tráfego”, e o dispositivo que realiza tal proeza foi batizado de “switch”.

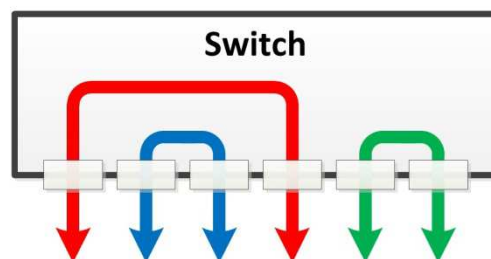


FIGURA 2 – Representação dos circuitos temporários internos do switch.

Hoje os switches que formam a infraestrutura de comunicação dos escritórios se tornaram equipamentos de prateleira do tipo “plug-n-play”, ou seja, basta conectar os cabos que ele começa a operar. Fazem bem o básico, que é a segregação de tráfego, mas nada além disso. O preço pago por eles é compatível com o que oferecem, adequado num ambiente onde existem tantos outros pontos de falha (sistemas operacionais, programas, PCs, estabilizadores de tensão, cabos e outros) que podem interromper a comunicação sem maiores consequências além do usuário ter de refazer algum procedimento manual.

Naturalmente os benefícios da tecnologia de comunicação em rede pode ser estendida para muitos outros ambientes além dos escritórios, como está ocorrendo neste momento no mundo da energia elétrica com a implementação de subestações aderentes às normas IEC 61850. A tecnologia necessária é essencialmente a mesma, porém os requisitos de confiabilidade e robustez são ordens de grandeza maiores. Se perder um ou dois comandos digitados num ambiente de escritório não gera consequências maiores do que ter que redigitá-los, perdendo com isso uns 8 ou 10 segundos de trabalho, o mesmo não pode ser dito sobre a perda de uma mensagem de intertravamento de um relé de proteção que precisa chegar no seu destino em 4 milissegundos sob pena de comprometer todo o sistema.

## 2.0 - AMBIENTES DIFERENTES, REQUISITOS DIFERENTES

O ambiente de escritório é formado por máquinas e pessoas, interligados por uma infraestrutura de comunicação que leva em conta a dinâmica do grupo para seu dimensionamento. Pessoas falham, programas falham, máquinas falham, então não adianta ter uma rede infalível pois ela é apenas mais um elo da corrente. Cada falha nesta corrente é aceita com certa normalidade quando leva até minutos para se recompor, seja com a troca de um cabo, a reinicialização do sistema operacional do PC, a restauração de um backup ou até mesmo a redigitação de parte do documento danificado pela falha. Num cenário desses, uma rede que apresente uma falha de comunicação por dia é até aceitável, então os equipamentos que a compõe podem ter custo baixo, pois sempre que der problema (e dará) basta desligar e ligar novamente para se recompor.

Por outro lado, no ambiente de subestação, seja de geração, transmissão ou distribuição de energia elétrica, o que se tem são máquinas falando com máquinas, num ritmo bem diferente do escritório e na maior parte do tempo trocando dados importantes para manter a coerência da operação da subestação. Quando um relé de proteção detecta uma anormalidade, a informação que ele emite é de emergência e precisa chegar nos demais equipamentos que monitoram este sinal no menor tempo possível.

## 2.1 Requisitos Ambientais

O ambiente de instalação da infraestrutura de rede faz toda a diferença na hora de selecionar os seus componentes, entre eles os switches. Perturbações como ruídos eletromagnéticos, vibrações, temperaturas extremas e estresse interferem na operação normal com consequência direta na confiabilidade da comunicação.

Tabela 1 – Requisitos Ambientais

Requisito	Subestação	Escritório
Interferência Eletromagnética	Muito forte	Desprezível
Gabinete	Metálico, para rack de 19" ou trilho DIN	Plástico, de mesa
Interfaces de Comunicação	Ópticas e elétricas	Elétricas
Temperatura de Operação	-40 a +85 °C por norma	0 a +40 °C em ambiente refrigerado
Alimentação	AC e/ou DC, redundante, interna	AC, simples, externa
Operação	24 / 7	Horário comercial

### 2.1.1. Imunidade a ruídos eletromagnéticos

A infraestrutura de rede de uma subestação que adota a norma IEC 61850 é implementada no mesmo ambiente que os demais IEDs, estando sujeita a forte influência de fenômenos eletromagnéticos que geram ruídos induzidos e conduzidos em todos os equipamentos. Os switches desenhados para operar em ambientes hostis como as subestações precisam passar por uma bateria de testes que atestem a sua imunidade às interferências eletromagnéticas externas. Qualquer comportamento errático provocado por tais ruídos comprometem a confiabilidade da operação da subestação como um todo, por isso os requisitos descritos na norma IEC 61850-3 são tão rígidos, muito além do que um switch desenhado para o ambiente limpo de escritório poderia suportar.

O gabinete do switch para subestação é sempre fabricado em metal para blindar o circuito interno do campo elétrico externo, geralmente com abas também metálicas para colocação em racks de 19" e sempre bem aterrado. O seu equivalente para escritório normalmente possui gabinete plástico, pois não fica sujeito a campos elétricos externos no seu local de instalação. Alguns modelos possuem abas para colocação em rack.

As interfaces de comunicação disponibilizadas em switches de escritório são quase todas no padrão ethernet para cabos de par trançado, pois os computadores a eles ligados são equipados apenas com este tipo de interface. Nas subestações, por existirem altas tensões envolvidas e principalmente por existir diferenças de potencial entre baias, a escolha de interface recai sobre a óptica, que provê alta velocidade e isolamento galvânica total. Como nem todos os IEDs possuem interface óptica, o switch precisa oferecer um mix de interfaces, sendo o mais comum ter interfaces elétricas para IEDs que estão na mesma baia e alimentadas pela mesma fonte e interfaces ópticas para conectar diferentes baias.

Adicionalmente, a norma IEEE Std 1613-2009 define padrões mínimos para redes em ambiente de subestações, abordando testes climáticos e de compatibilidade eletromagnética. Como os switches são considerados IEDs (de comunicação), também estão sujeitos a alguns testes exigidos para relés de proteção como reza a norma IEEE Std C37.90-2005.

### 2.1.2. Operação em faixa estendida de temperatura

A faixa de temperatura de operação é outro requisito importante, pois os equipamentos que operam em subestações devem usar apenas convecção natural como método de arrefecimento, qualquer ventoinha ou método mecânico de ventilação é vedado por sua baixa confiabilidade. Se a climatização da subestação falhar por qualquer motivo, os equipamentos de proteção e controle precisam continuar operando normalmente, mesmo sob maior estresse. Por este motivo os switches desenhados para operar em subestação precisam ter sua operação certificada em temperaturas tão extremas quando -40 °C e +85 °C usando apenas convecção natural. O switch de escritório, por sua vez, opera sempre no mesmo ambiente que humanos e seus componentes são dimensionados para a faixa estreita que vai de 0 °C a +40 °C, com quase todos os modelos mais sofisticados exibindo pelo menos um pequena ventoinha no painel traseiro.

Os componentes eletrônicos que formam o switch também são dimensionados de acordo com a faixa de temperatura de operação, o que se reflete diretamente no material usado para encapsulamento e preço. Processadores, memórias e outros componentes eletrônicos são classificados nas seguintes faixas básicas de temperatura de operação:

- comercial, de 0 a +70 °C
- industrial, de -40 a +85 °C
- militar e aviação, de -55 a +125 °C

A norma que rege as condições ambientais de subestações de energia elétrica é a IEC 61850-3 (*Communication networks and systems in substations - Part 3: General requirements*), que remete à norma IEC 60870-2-2 (*Telecontrol equipment and systems - Part 2: Operating conditions - Section 2: Environmental conditions (climatic, mechanical and other non-electrical influences)*), que estabelece 4 classes de locais de acordo com o ambiente atmosférico:

- Classe A: locais climatizado (interno)

- Classe B: locais fechados com aquecimento e/ou refrigeração
- Classe C: locais abrigados
- Classe D: locais abertos (externo)

A maioria das subestações se enquadra na classe “C”, que por sua vez é subdividida em 4 subclasses de acordo com a temperatura ambiente:

- Classe C1: de -5 a 45°C
- Classe C2: de -25 a 55°C
- Classe C3: de -40 a 70°C
- Classe Cx: especial

A norma IEC 60870-2-2 estabelece que para IEDs em subestações classes C2, C3 ou Cx, a faixa de temperatura requerida será de -40 to 85 °C, condizente com a classificação “industrial” da indústria eletrônica. É interessante observar que a mais restrita das subclassificações já exclui a imensa maioria dos switches de escritório, tanto por exceder as especificações de temperatura (trabalham de 0 a +40 °C) quanto pelo uso de ventoinha para arrefecimento.

### 2.1.3 Alimentação redundante

A alimentação do switch é outro ponto importante e com requisitos bem distintos entre ambiente de subestação e de escritório. Na subestação é comum existir 2 circuitos de alimentação DC separados para cada baia, criando uma redundância para evitar ponto único de falha. Os switches desenhados para uso em subestação possuem 2 fontes de alimentação separadas dentro do mesmo gabinete, com entrada AC e/ou DC independentes e capacidade em dobro de tal forma que se uma das linhas de alimentação falhar, a outra fonte consegue manter o equipamento operando com segurança. Na versão de escritório os switches são equipados com fonte de alimentação única em AC, e quase sempre externa.

### 2.1.4 Regime de operação

O tempo de operação da infraestrutura de rede também é diferente entre subestação e escritório. Neste a necessidade maior de comunicação ocorre durante o horário comercial, onde existem pessoas que podem reiniciar os switches em caso de pane. Na subestação a operação é contínua e quase sempre não supervisionada, o que implica em regime de 24 / 7 sem interação humana.

## 2.2 Requisitos de gerenciamento

Os switches de escritório são oferecidos em 2 variações: com e sem gerenciamento. O mais comum - e mais barato - é o modelo sem gerenciamento, que realiza apenas a tarefa básica de encaminhar pacotes. O modelo com gerenciamento conta com acesso aos contadores internos de desempenho via SNMP (*Simple Network Management Protocol*) e alguns controles de acesso e configuração. Dependendo do porte do switch, pode-se configurar restrições de tráfego para equilibrar determinados tipos de pacotes, no chamado controle de qualidade de serviço ou QoS (*Quality of Service*). A função básica do gerenciamento em ambiente de escritório é o mapeamento de tráfego para efeito estatístico de uso da interface que conecta com a internet.

No ambiente de subestação a preocupação é outra: por se tratar de uma infraestrutura de rede que opera sem a presença de pessoas e não tem conexão com a internet, o gerenciamento é usado para configurar parâmetros de operação que garantam o fluxo de informações mesmo em situações de estresse. Além disso, os contadores internos fornecem subsídios para análise e dimensionamento da rede, mostrando os gargalos de comunicação que precisam de ajuste fino. Neste ambiente sim, o gerenciamento é usado ativamente.

Tabela 2 – Comparativo de gerenciamento de switches

Requisito	Subestação	Escritório
Gerenciamento	Imprescindível	Dispensável
Segurança de acesso	Imprescindível	Dispensável
Configuração	Necessária e importante	Dispensável

### 2.2.1 - Segurança de acesso - autenticação e autorização

Os switches gerenciáveis permitem configurar seu comportamento em várias situações de operação, por isso o acesso a essas facilidades precisa ser restringido. Normalmente é usada uma senha de acesso única que abre as portas para a alteração. Em alguns modelos mais sofisticados, mais de uma senha pode ser exigida, extratificando o acesso e permitindo um controle mais fino de quem pode acessar o que. Neste ponto os switches mais sofisticados de escritório empatam com os switches de subestação.

Praticamente todos os switches gerenciáveis suportam autenticação e autorização remota, ou seja, um conjunto de switches pode usar um servidor único que valida as senhas de forma centralizada (autorização) e certifica-se que tanto o switch quanto o servidor são quem eles alegam ser (autenticação), facilitando a vida do administrador da rede e aumentando a segurança de acesso.

Os protocolos de autenticação e autorização mais usados nos switches gerenciáveis são:

- **TACACS** (*Terminal Access Controller Access-Control System*), definido na RFC-1492 de Julho/1993
- **TACACS+**, *Authentication Dial In User Service*), definido na RFC-2865 de Junho/2000

### 2.2.2 - Segurança de acesso - facilidades e restrições

Como os switches formam a própria infraestrutura de rede, o gerenciamento de cada um deles pode ser feito a partir de um único ponto, pois a fase de autenticação garante que tanto o switch é conhecido do servidor que valida o acesso quanto o usuário. Esta é uma facilidade oferecida para o administrador de rede.

Por outro lado, em ambientes complexos e potencialmente vulneráveis é possível configurar os switches para restringir o acesso, mesmo de pessoas validadas perante o sistema central. Neste ponto os switches de subestação se afastam novamente do seu equivalente de escritório, oferecendo as seguintes possibilidades adicionais:

- definição de uma determinada interface física para configuração ponto a ponto
- definição do endereço MAC do computador (PC ou notebook) que poderá configurar o switch

Estas restrições forçam a presença física do operador no ambiente da subestação para reconfigurar o switch, mesmo ainda recorrendo ao servidor de autenticação e autorização para validação de senha.

### 2.2.3 - Segurança de entrega

O switch é um dispositivo que recebe mensagens das máquinas a ele ligadas e as retransmitem para seus destinatários. Quando várias máquinas enviam mensagens para o mesmo destinatário é comum que uma fila se forme na interface de saída. Em casos excepcionais, quando a fila atinge um determinado tamanho, um switch de baixo custo pode simplesmente descartar as últimas mensagens por não ter onde armazená-las. É um caso extremo, mas possível em ambiente de escritório. Se o servidor do escritório não receber um determinado pacote de dados, ele certamente será repetido pelo computador que está fazendo a solicitação de forma transparente, ou seja, isso tudo ocorre sem que os usuários percebam.

No ambiente de subestação os requisitos são muito mais fortes, principalmente quando algum relé de proteção envia uma mensagem de emergência. Esta mensagem precisa ser entregue no menor tempo possível, então se entrar numa fila já é algo ruim, ter as mensagens descartadas silenciosamente é pior ainda. Para contornar esta situação, quando as IEDs detectam um problema qualquer passam a repetir a mesma mensagem em intervalos de poucos milissegundos, inundando a rede na esperança de que pelo menos uma delas chegue ao seu destino. Essa avalanche de dados, por sua vez, contribui para a formação da fila. Se por um lado esta abordagem corrige possíveis e indevidos descartes, por outro pode estar fomentando a criação justamente do cenário de fila que leva ao descarte.

Os switches desenhados para trabalhar em subestações levam essa necessidade de segurança de entrega em consideração e oferecem mecanismos que minimizam o atraso de certos tipos de mensagem, como filas estendidas e mudança dinâmica de prioridade dos pacotes de dados em trânsito dentro do switch. Um dos mecanismos mais eficientes é a criação de VLANs, que são circuitos virtuais que compartilham o mesmo meio físico sem interferência de um com outro, associado ao controle de qualidade de serviço.

### 2.2.4 - Reserva de banda em VLAN

O mecanismo de VLAN (Virtual Local Area Network) é normatizado sob a sigla IEEE Std 802.1Q, que prevê o agrupamento de estações (IEDs) em até 4095 conjuntos ou circuitos virtuais distintos. Cada conjunto consegue enxergar apenas as estações do seu grupo, como se a rede fosse exclusiva dele. Isso simplifica o gerenciamento e permite estabelecer regras de uso do meio físico, tais como a reserva de banda e prioridade de entrega.

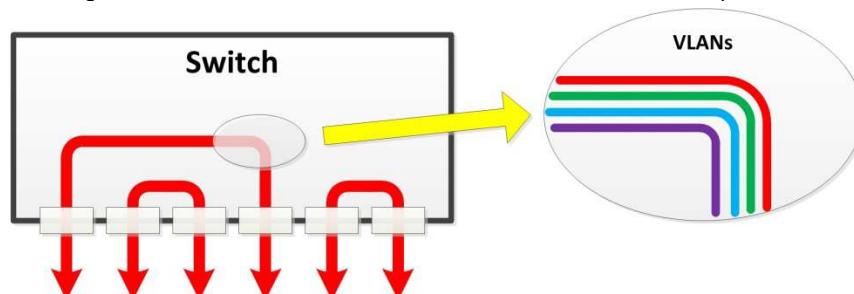


FIGURA 3 – Detalhe dos circuitos virtuais que compõem uma VLAN.

A reserva de banda é baseada na classificação de prioridades das VLANs e segue a norma IEEE Std 802.1p (agora incorporada na norma IEEE Std 802.1D-2004). Quanto maior for a prioridade de determinada VLAN, menor será o atraso na entrega do pacote e maior será a banda alocada. Dessa forma vários tipos de comunicação

poderão ocorrer simultaneamente, cada um confinado em sua própria VLAN e o switch se encarrega de distribuir a banda disponível dinamicamente.

Todos os switches de subestação precisam suportar estes mecanismos, mas somente os switches mais sofisticados (e caros) de escritório realmente oferecem esta facilidade.

### 2.3 - Tratamento preferencial de mensagens GOOSE

A norma IEC 61850 descreve como as IEDs se comunicam entre si usando a infraestrutura de rede, abordando vários tipos de mensagem tais como GOOSE (*Generic Object-Oriented Substation Events*), Sampled Values, Reports e Synchronization, assim como sua formatação e interpretação.

As mensagens GOOSE são geradas para divulgar eventos dos IEDs que precisam trafegar com alta prioridade na rede, portanto devem ser confinadas em VLANs e classificadas de tal forma que o atraso na entrega seja minimizado, mesmo com relação aos demais tipos de mensagens definidas na norma. Isso requer um planejamento cuidadoso da rede e, obviamente, suporte do switch para este tipo de configuração e operação.

Um pequeno detalhe da norma IEC 61850 deixa em aberto a possibilidade de emitir mensagens GOOSE sem que a IED tenha sido configurada para usar VLAN. Neste caso específico, um switch normal de escritório não tem como dar prioridade, pois não foi desenhado para uso com este protocolo em especial. Os switches de subestação, por outro lado, precisam detectar este cenário e tratá-lo com prioridade.

### 2.4 - Sincronização de IEDs

A sincronização de IEDs com uma referência de tempo de precisão é uma necessidade cada vez maior na medida que novas tecnologias chegam às subestações. A referência aceita mundialmente para sincronização é baseada no sinal da constelação de satélites GPS, que garante precisão e monotonicidade das leituras de tempo. A recepção dos sinais de satélite e posterior conversão em sinais elétricos dentro da subestação é feita por equipamentos especiais, que usam interfaces padrão IRIG-B que operam chaveando 5 Vdc em cabos que são levados a cada IED da subestação.

Com a implantação da infraestrutura de rede nos padrões estabelecidos pela norma IEC 61850 esta forma de sincronização ponto a ponto perde o sentido, pois o mesmo efeito pode ser obtido através da rede. Hoje são usados servidores NTP (*Network Time Protocol*) para distribuir a referência de tempo obtida do satélite, e praticamente todos os equipamentos modernos oferecem este método de sincronização. O problema é que este protocolo não foi projetado para sincronização de precisão, mas apenas para possibilitar que os computadores distribuídos ao redor do globo pudessem acertar seus relógios internos com precisão de algumas dezenas de milissegundos. Mesmo colocando o servidor NTP dentro da subestação, esta precisão não é adequada para atender aos procedimentos de rede do ONS que exigem 1 milissegundo de precisão.

Com a proliferação de PMUs (*Phasor Measurement Unit*) a necessidade atual de precisão gira em torno de poucos microssegundos, tornando-se necessário usar algum mecanismo melhor do que o NTP para sincronizar os IEDs. É aí que entra o PTP (*Precision Time Protocol*), definido pela norma IEEE Std 1588-2008, também conhecido como IEEE 1588 v.2. Com este protocolo é possível sincronizar dezenas de IEDs com precisão abaixo de um microssegundo.

O PTP é um protocolo simples, para uso somente em redes locais, ao contrário do NTP que foi desenhado para ser usado pela internet. A implementação do PTP, no entanto, requer um planejamento cuidadoso e um hardware especial dentro dos switches para garantir a precisão de microssegundo. Nenhum switch de escritório oferece suporte ao PTP por pelo menos 2 motivos básicos:

- custo, pois hardware adicional para cada interface significa custo adicional
- a precisão oferecida pelo PTP não tem utilidade alguma no ambiente de escritório, que pode sobreviver muito bem com NTP por muitos anos ainda

Este requisito por si só já é suficiente para invalidar o uso de switches de escritório em ambientes de subestação, pois sem o suporte adequado, fatalmente ocorrerão atrasos internos que não serão compensados e a precisão do PTP resultará deteriorada de maneira significativa.

A versão 2 da IEC 61850 adotou o PTP como padrão de sincronização, atendendo desta forma os requisitos das novas aplicações do setor elétrico que exigem precisão de 1 milissegundo. Para 2011 está prevista a publicação, sob a sigla IEEE C37.238, de um perfil de sincronização em subestações que facilitará bastante a configuração dos IEDs que usarem o PTP.

### 2.5 – Protocolos

Para garantir a operação da infraestrutura de rede na subestação os switches precisam suportar um conjunto de protocolos padronizados, tais como:

- **IEEE Std 1588-2008** ou **PTP** (*Precision Time Protocol*), usado para sincronização de IEDs
- **IEEE Std 802.1D-2004** (*Media Access Control Bridges*), define o funcionamento básico dos switches e inclui e substitui as normas:



- **IEEE Std 802.1w** (*Rapid Spanning Tree Protocol*), que define o controle de ligação em anel
- **IEEE Std 802.1p** (*Quality of Service at MAC Level*), que classifica e controla o tráfego
- **IEEE Std 802.1Q-2005** (*Virtual Local Area Network Bridges*), define a criação de subredes virtuais dentro da rede física
- **IEEE Std 802.1ak** (*Multiple Registration Protocol*), define configuração automática de VLANs
- **IEEE Std 802.1AX-2008** (*Link Aggregation*), define a agregação de canais para aumentar a banda entre 2 switches e substitui a norma **IEEE Std 802.1ad**
- **IEEE Std 802.1X-2010** (*Port Based Network Access Control*), define segurança de acesso à configuração dos switches
- **IEEE Std 802.3i** (*Ethernet*), define a transmissão em 10 Mbps em interface elétrica
- **IEEE Std 802.3u** (*Fast Ethernet*), define a transmissão em 100 Mbps em interfaces elétrica e óptica
- **IEEE Std 802.3z** (*Gigabit Ethernet*), define a transmissão em 1 Gbps em interfaces elétrica e óptica
- **IETF STD0062** (*Simple Network Management Protocol version 3 - SNMP v3*), usado para gerenciar equipamentos de comunicação, definido no conjunto de documentos **RFC 3411** a **RFC 3418**
- **RFC 2021** (*Remote Network Monitoring version 2 - RMON v2*), define as informações de gerenciamento e controle que os equipamentos de comunicação devem suportar
- **RFC 3376** (*Internet Group Management Protocol version 3- IGMP v3*), define a interação entre switches e roteadores dentro da mesma rede local para tratamento de mensagens em multicast
- **RFC 5905** (*Network Time Protocol version 4 - NTP v4*), usado para sincronização de IEDs
- **RFC 2865** (*Remote Authentication Dial In User Service - RADIUS*), define a interação do equipamento com o servidor de autenticação e autorização
- **IEC 61850-8-1:2004-05** (*Communication networks and systems in substations Part 8-1: Specific Communication Service Mapping*), define a codificação básica das mensagens GOOSE, Sampled Values e GSE Management

## 2.5 – Redundância de rede

A primeira versão da norma IEC 61850 não abordou a questão da redundância de rede, requisito necessário para garantir que em caso de falha única em algum ponto de rede, como por exemplo um cabo de fibra óptica rompido, as comunicações entre todos os IEDs continuem sem interrupção.

A redundância básica na comunicação envolvendo vários switches é feita pela ligação em anel entre eles, criando um segundo caminho de entrega entre qualquer par de switches. Paradoxalmente esta topologia introduz um problema que poderia levar à situação de um pacote de dados entrar e ficar circulando eternamente até saturar totalmente o anel, tornando os switches inoperantes. O protocolo que evita esta situação é chamado RSTP (*Rapid Spanning Tree Protocol*), e está descrito na norma **IEEE Std 802.1D-2004**. O ponto fraco está no tempo que este protocolo leva para descobrir que algo errado aconteceu com o anel e reconfigurar os switches envolvidos para usar a rota alternativa, normalmente na ordem de algumas dezenas de milissegundos.

Na versão 2 da norma IEC61850 estão previstas duas soluções engenhosas de redundância que reduzem a zero o tempo de recuperação de uma pane de comunicação por ponto único de falha, mas exigem que os próprios IEDs tenham suporte de hardware adicional. Ambas soluções acrescentam informação nos pacotes de dados e precisam que os IEDs possuam interface de rede dupla e tratem a duplicidade inevitável das informações como parte da sua rotina de comunicação.

O padrão HSR (*High-availability Seamless Protocol*), descrito na norma IEC62439-3.5 propõe a adição da função de switch dentro de cada IED, de tal maneira que os próprios IEDs formam o anel de comunicação. O uso de switches tradicionais passa a ser facultativo.

O padrão PRP (*Parallel Redundancy Protocol*) está descrito na norma IEC62439-3.4 e defende a criação de 2 redes idênticas e paralelas, sem conexão entre elas, e com todos os IEDs conectados simultaneamente às 2 redes. A redundância é total e, naturalmente, o tempo de recomposição é zero.

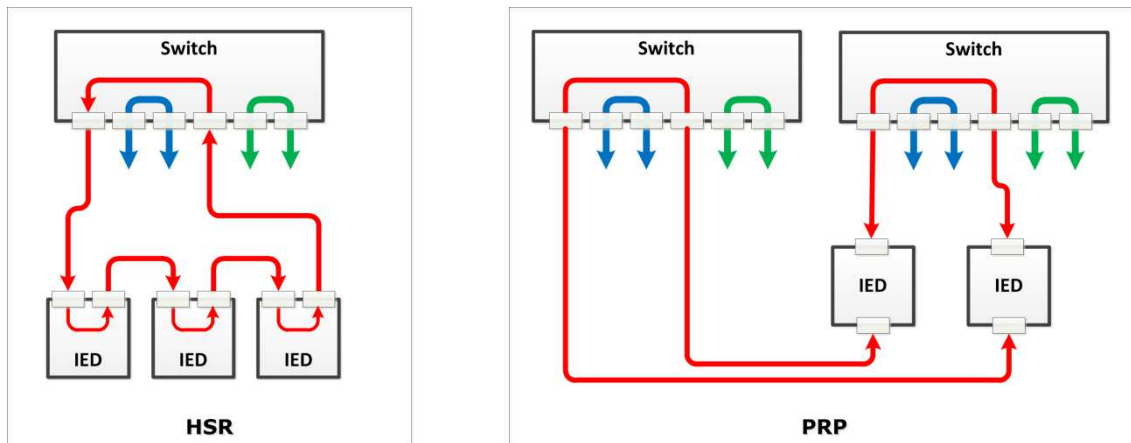


FIGURA 4 –Diagrama simplificado de arquitetura HSR e PRP.

### 3.0 - CONCLUSÃO

Existem vários fatores que qualificam um switch para operar dentro de uma subestação como componente da infraestrutura de rede. Num mundo ideal onde as subestações fossem todas climatizadas como um escritório, pudessem suportar falhas eventuais, estivessem livres de interferências eletromagnéticas, sem possibilidade de falha de alimentação, usando somente interfaces elétricas e não precisassem priorizar mensagens GOOSE ou sincronizar IEDs com precisão, ainda assim a escolha de um switch de escritório deixaria dúvidas de confiabilidade. Como o próprio nome diz, para funcionar a subestação depende de uma “infraestrutura” de rede, que não pode ser montada como elo fraco sob pena de comprometer toda a operação e, principalmente, a segurança da subestação. Definitivamente não deve ser na montagem desta infraestrutura o corte de custos, pois o benefício de economia pode custar muito mais caro quando mais se precisa.

### 4.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) IEEE 1588-2008 Standard for a Precision Clock Synchronization Protocol for Networked Measurement and Control Systems
- (2) IEC 61850-3 Communication networks and systems in substations - Part 3: General requirements
- (3) IEEE 1613-2009 Standard environmental and testing requirements for communications networking devices installed in electric power substations

### 5.0 - DADOS BIOGRÁFICOS



**Nestor Charles Fernandes** é graduado em Física (1982) e pós-graduado em Engenharia Elétrica - Sistemas de Controle (1984) pela Universidade Federal de Santa Catarina. Tem desenvolvido projetos de grande porte em hardware e software desde 1985 e hoje atua como CEO da Traceback Technologies e CTO da Link Precision.



**Vladimir Nicolau Duk** é graduado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Santa Catarina, em 2000. Trabalha na Traceback desde 2008 e atualmente é Engenheiro de Hardware, sendo responsável pelo desenvolvimento de hardware dos produtos da Link Precision.



**Sérgio Luiz Zimath** Formou-se em Engenharia de Controle e Automação em 1997 na Universidade Federal de Santa Catarina. Tem trabalhado para Reason Tecnologia desde 1995 onde foi o responsável pelo desenvolvimento de diversos produtos, tais como RT1000 e RT2000 (relógios GPS), bem como do Registrador Digital de Perturbações RPIV, entre outros. Atualmente é o Diretor de Inovação, responsável pelo desenvolvimento de novos produtos, softwares e projetos de pesquisa de novas tecnologias.



**Carlos Alberto Dutra** é graduado em Engenharia de Controle e Automação pela Universidade



Federal de Santa Catarina, em 1999. Trabalha na Reason desde 2003 e atualmente é Gerente de Desenvolvimento, sendo responsável pela gestão do desenvolvimento e do ciclo de vida dos produtos Reason.