

## REDUNDÂNCIA DE COMUNICAÇÃO PARA AUTOMAÇÃO DE SUBESTAÇÕES NA NORMA IEC 62439-3: CASOS PRÁTICOS

**Julio Cezar de Oliveira (\*)**  
HITACHI ENERGY

**Guido José Gomes Ferraz**  
ELETROBRAS

**Antônio Guglielmi**  
HITACHI ENERGY

### RESUMO

As redes Ethernet de missão crítica presentes nas modernas aplicações de automação de subestações, impulsionadas pela norma IEC 61850, estão se tornando cada vez mais integradas e inteligentes, e diante desse fato dada a sua criticidade, a resiliência contra falhas é um aspecto essencial. Neste trabalho são apresentados casos reais de projetos onde os protocolos da norma IEC 62439-3, o PRP e o HSR, são aplicados para prover tal resiliência por meio de um mecanismo zero *switchover time*, além de discutir as características e vantagens de cada uma destas técnicas.

### PALAVRAS-CHAVE

IEC 61850, IEC 62439-3, redundância, contingência, disponibilidade, Ethernet.

### 1.0 - INTRODUÇÃO

A técnica de enlace Ethernet, ainda que sua adoção em diversas aplicações em subestações de energia elétrica já fosse fato na integração entre os SCADA de níveis 2 e 3, ou até mesmo para sensores de monitoramento de equipamentos primários (temperatura, presença de gases, nível de óleo etc.), teve sua utilização consideravelmente expandida a partir de 2005 com a introdução da norma IEC 61850, tornando-se assim o principal meio de comunicação entre os dispositivos dos sistemas de proteção e controle (1) como IEDs, o próprio SCADA e um pouco mais tarde, as merging units. Entretanto, quando este cenário se consolida, não havia um método de redundância de comunicação oficialmente determinado, o que evidenciou rapidamente uma lacuna a ser trabalhada nesta norma.

Observou-se que em determinados mercados mundiais e assim como ocorreu no Brasil, alternativas para estabelecer tal redundância foram apresentadas. Métodos proprietários como esquemas de dual-homing e hot-standby começaram então a ser aplicados em escala, porém logo uma nova questão emergiu: Se a norma IEC 61850 tem como objetivo intrínseco garantir a interoperabilidade entre distintos elementos conectados à sua topologia de rede, como técnicas proprietárias poderiam colaborar neste propósito? Essa condição se mostrou inviável conforme as aplicações aumentavam em quantidade.

Um outro método, embora não oficial para este quesito (mas não proprietário ao menos), que mais se destacou nesta fase foi o IEEE 802.1D – o *Rapid Spanning Tree* ou RSTP (2). Esta não é uma técnica de redundância e sim de loop avoidance para redes Ethernet, porém oferece um caminho físico alternativo na sua topologia caso uma das rotas de comunicação apresente uma falha. O ponto de atenção deste método é que o RSTP tem um tempo de convergência para restabelecer a integridade da comunicação, e protocolos de tempo real que compõem a norma IEC 61850 como o PTP, GSE e SV não toleram essa característica sem oferecer um período de indisponibilidade de certos serviços da aplicação, aspecto que pode ser prejudicial para a performance ou segurança operacional do empreendimento.

Diante de todo este contexto, o grupo TC57 do IEC (que coordena os trabalhos referentes a norma IEC 61850) iniciou discussões para propor um método eficaz e seguro de redundância para atender às características de um projeto de automação de subestações, e as técnicas eleitas foram o PRP (*Parallel Redundancy Protocol*) e o HSR (*High Seamless Redundancy*), ambas criações de patente da ABB que se tornaram uma norma internacional publicada em 2010, a IEC 62439-3 (3).

O grande diferencial destas duas técnicas é que, pela primeira vez na história, duas interfaces de rede operam de forma simultânea, com datagramas duplicados, algo que até então era um desafio para a técnica Ethernet.

(\*) Avenida Monteiro Lobato, n° 3411 – CEP 07190-904, Guarulhos, SP – Brasil. Tel: (+55 11) 98112-0419  
E-mail: julio.oliveira@hitachienergy.com

Dessa forma, em uma eventual falha de uma destas interfaces não há a interrupção dos serviços da rede – algo ideal para os protocolos de tempo real como aqueles anteriormente mencionados. O PRP e o HSR oferecem uma redundância *de facto* para as redes Ethernet.

## 2.0 - A REDUNDÂNCIA DE COMUNICAÇÃO E AS REDES DE PROCESS E STATION BUS

O aumento da confiabilidade e disponibilidade de uma rede de comunicação de missão crítica é um atributo bem-vindo a um sistema com tal característica. Todavia, os protocolos de redundância que proveem este recurso representam apenas uma parte da solução; a documentação da arquitetura e sua topologia, a identificação das rotas e interfaces, o tipo da mídia a ser usada assim como a seleção das alternativas de conectores, medição das perdas em DB e por fim uma instalação profissional da camada física são outros componentes fundamentais para assegurar qualidade deste conjunto e potencializar a eficácia dos protocolos. Observa-se também a natureza de operação das redes onde os mecanismos de redundância serão adotados: No contexto dos projetos correntes elaborados conforme a norma IEC 61850, tomando-se em conta a aplicação das subestações digitais, dois seguimentos devem ser destacados – o process bus e o station bus (4).

O station bus, como indica a Figura 1, conecta o nível 1 da subestação (bay level) ao nível 2 (station level). Esta parte da topologia é regularmente montada dentro da sala de controle e apresenta um axioma em que se atribui tanto o perfil de agregar diversos ativos/fluxos de comunicação, protocolos e aplicações em uma primeira perspectiva como considera uma performance de tempo real com baixa latência e alta disponibilidade devido a presença dos serviços GSE (troca de sinais entre os IEDs para fins de intertravamento, automatismos, colaboração entre funções de proteção etc) na ordem de 2-3 milissegundos e da sincronização por PTP (5) na ordem de poucos microssegundos.

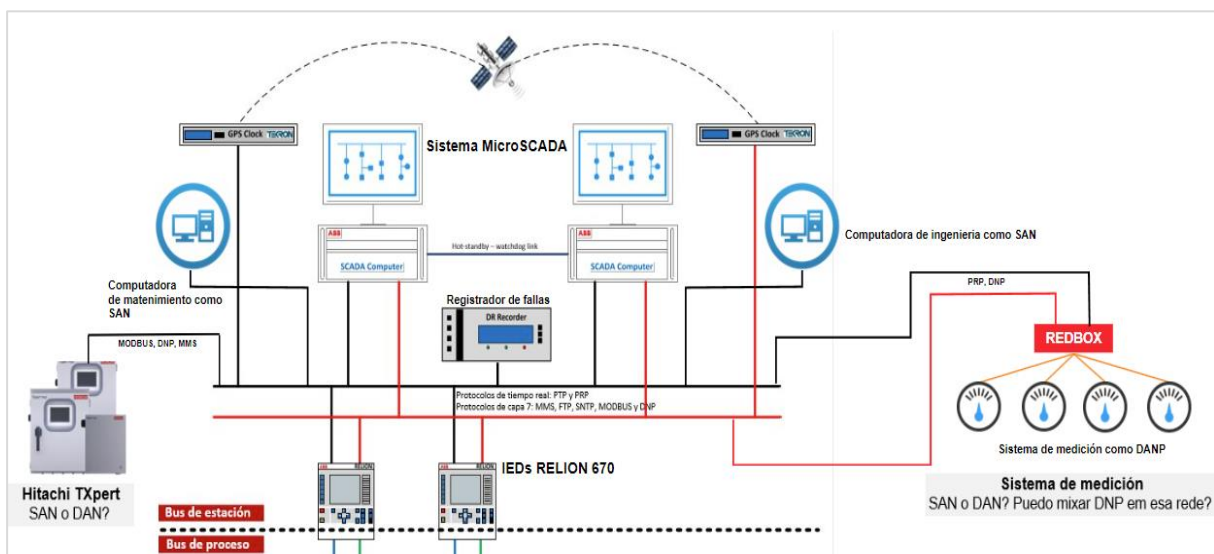


FIGURA 1 – Station bus

O process bus, exemplificado na Figura 2, conecta o nível 1 (IEDs especificamente) na sala de controle ao pátio da subestação, às merging units. De forma geral, esta parte da rede tem um objetivo bem definido e limitado: Por meio da relação do fluxo de comunicação IED-merging unit, trazer as grandezas elétricas de corrente, tensão e sinais binários (TCs, TPs, disjuntores e seccionadoras) do pátio para a sala de controle.

Os protocolos de comunicação envolvidos nesta topologia, a mais crítica em termos de performance e resiliência dentro da subestação, são serviços de tempo real em camada 2 tomando-se como referência o modelo OSI (6): PTP, GSE e SV – protocolos de camadas superiores conceitualmente não são necessários nesta rede e tal fato pode corroborar para o hardening da arquitetura nos aspectos de cibersegurança. Devido ao uso do serviço SV, responsável pelo fluxo dos dados de corrente e tensão digitalizados, a ocupação da banda disponível em um determinado seguimento do process bus pode ser sensivelmente maior se comparado com o station bus, e este é mais um quesito que deve ser cuidadosamente observado na elaboração do projeto de uma subestação digital.

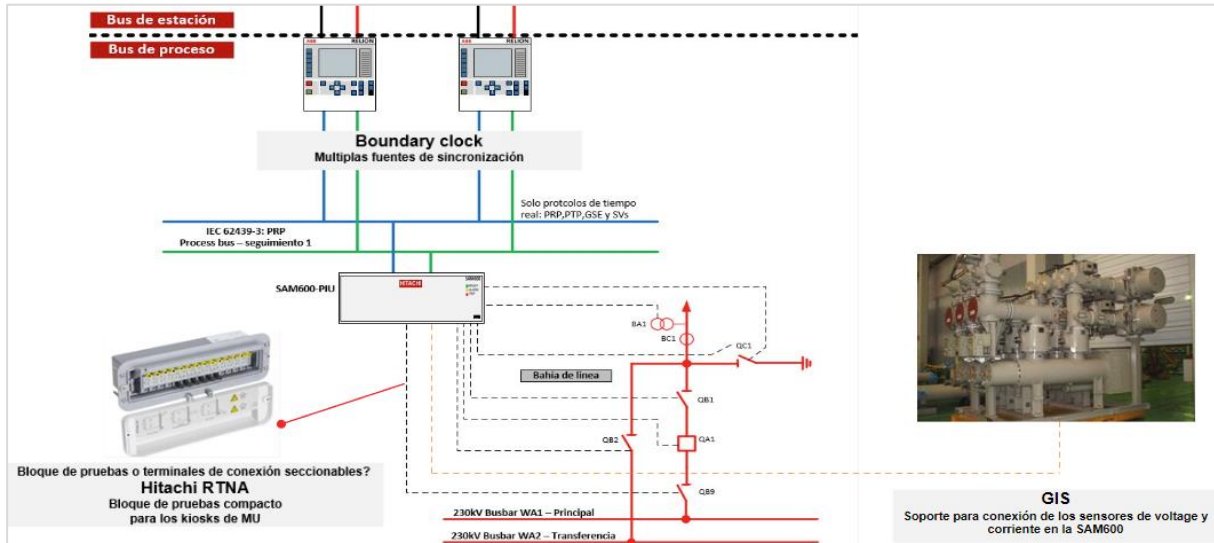


FIGURA 2 – Process bus

A disponibilidade da cadeia de proteção e controle é diretamente afetada no caso da interrupção dos serviços de tempo real providos por ambos seguimentos da topologia. Para prevenir ocorrências desta natureza, as técnicas de redundância podem ser aplicadas. Os protocolos PRP e HSR foram designados para este cenário, oferecendo uma redundância de tempo real, com comutação igual a zero (portanto não compromete a execução dos serviços como GSE e SV para as entidades conectadas à rede em caso de falhas N-1) e absolutamente transparente para as aplicações de camadas superiores do modelo OSI. São de recursos sem precedentes na tecnologia Ethernet para implementar uma arquitetura robusta, sem que ocorra a quebra do fluxo de dados que determinam a performance do sistema de missão crítica se uma das interfaces duplas de quaisquer equipamentos (IEDs, merging units etc) apresentar mau funcionamento ou tiver sua mídia de comunicação danificada. Uma vez que o PRP e HSR são regidos pela IEC 62439-3, é cumprida a premissa essencial das aplicações IEC 61850: Interoperabilidade, inclusive ambos métodos são mencionados no capítulo 8-1 desta última em sua edição 2.

### 2.1 Parallel Redundancy Protocol - PRP

A aplicação típica no PRP consiste na conexão dos equipamentos a duas redes paralelas, com as respectivas interfaces Ethernet duplas como sugere o desenho das Figura 3.

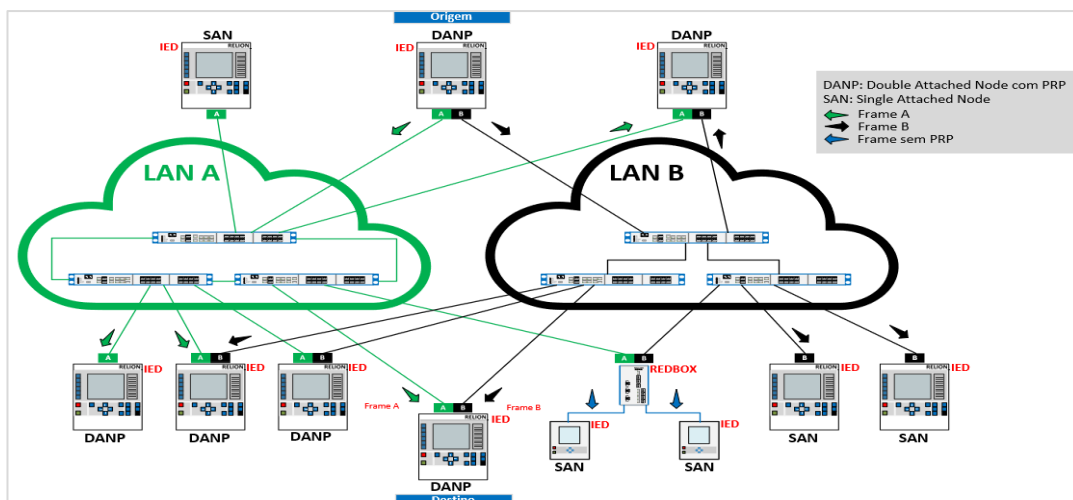


FIGURA 3 – PRP aplicado à uma arquitetura de comunicação

Neste arranjo, os datagramas são sempre emitidos por ambas as interfaces Ethernet simultaneamente. Os receptores contam com um mecanismo de descarte (o Link Redundancy Entity – LRE, que gerencia a redundância do PRP e executa às ações quanto às mensagens duplicadas da rede A e B) de tal forma que o datagrama que é recebido por último nas portas de comunicação é eliminado. Diante do exposto, cada mensagem possui uma identificação sobre de qual rede é proveniente assim como o número de sequência, seu tamanho e o sufixo que aponta para a tag do protocolo PRP dentro do frame Ethernet.

Naturalmente, o frame Ethernet não conta com esses dados que o algoritmo do PRP precisa para funcionar - o LRE, exibido na Figura 4. Entretanto foi encontrada uma forma bastante exitosa de fazê-lo por meio da adoção do campo Padding (usado normalmente para o preenchimento da mensagem até que ela atinja o número mínimo de bytes para a transmissão do frame pela rede, que é de 64 bytes). Com essa abordagem, a estrutura do frame Ethernet não é alterada e os dispositivos que contemplam a implementação do PRP conseguem diferenciar esse trecho da mensagem do Padding convencional e acionar o mecanismo de gerenciamento de descarte dos datagramas duplicados; uma outra vantagem é que, para os elementos que não têm o PRP, o LRE será entendido como o Padding original e naturalmente ignorarão esta parte da mensagem. Isto quer dizer que estes elementos podem ser conectados a uma das redes (LAN A ou LAN B) sem quaisquer restrições, mas não às duas ao mesmo tempo uma vez que não conseguirão lidar com os datagramas duplicados.



FIGURA 4 – O Redundancy Control Trailer do LRE usando o campo Padding do frame Ethernet original

## 2.2 High-availability Seamless Redundancy - HSR

As redes HSR são habitualmente formadas por uma topologia física em anel ou em mesh – neste último caso, há uma dependência do número de interfaces Ethernet e da capacidade dos FPGAs em administrar múltiplas instâncias de redundância com o HSR . Cada equipamento se conecta com seu vizinho, e o receptor das mensagens (como o GOOSE e SV por exemplo) recebe dois frames idênticos ao final em cada uma de suas portas de comunicação.

As Figuras 5 e 6 demonstram como a topologia física do HSR é montada, entretanto há duas outras características que devem ser enfatizadas dada a inteligência do algoritmo:

- Em mensagens multicast, como o GSE e SV, os frames são enviados pela topologia por meio das portas duplas de cada equipamento, e o frame é removido da rede quando atinge o emissor da mensagem.
- No caso de mensagens unicast, o receptor remove os frames da rede e caso um receptor não seja identificado, o emissor o faz exatamente como no cenário multicast.

Este mecanismo é pensado justamente para evitar tráfego desnecessário nesta arquitetura, otimizando ao máximo o uso da banda disponível.

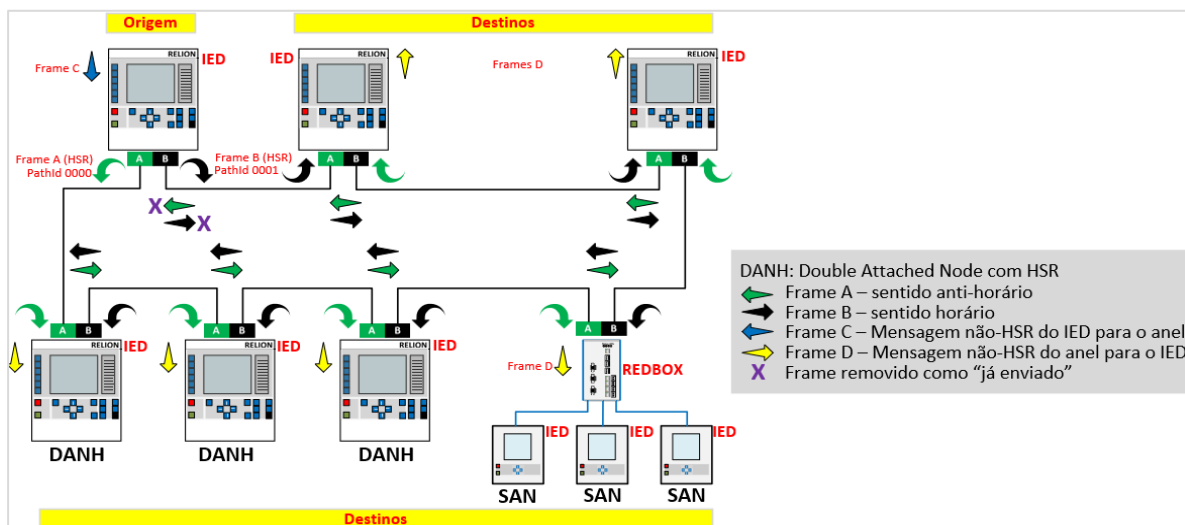


FIGURA 5 – HSR em operação unicast

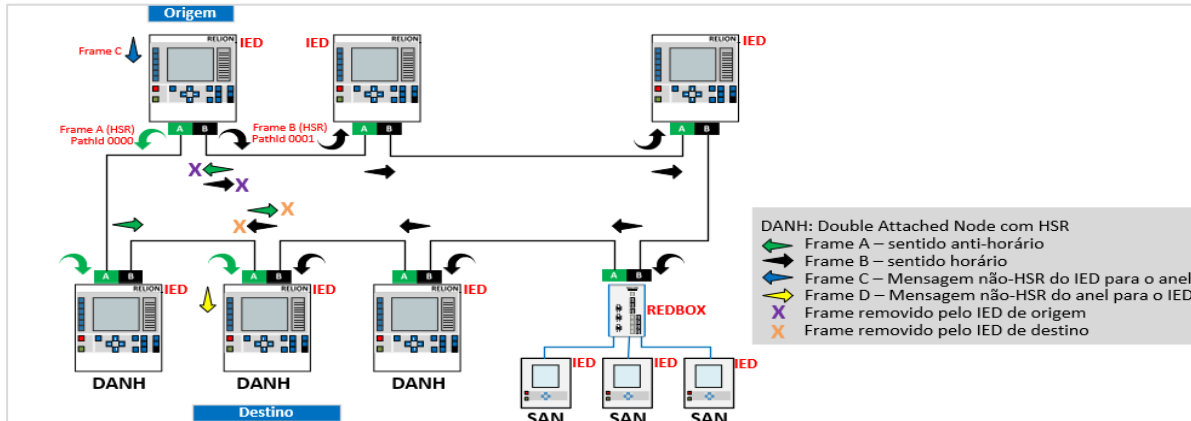


FIGURA 6 – HSR em operação multicast

As redes Ethernet originalmente não suportam datagramas duplicados, e por essa razão há os mecanismos de descarte tanto no PRP como no HSR. Neste último, há ainda mais uma questão a ser resolvida: A topologia em anel de forma física e lógica também não admitida pela Ethernet exceto se um recurso de loop avoidance como a técnica Spanning Tree for utilizada. Para contornar este aspecto, o HSR modifica a estrutura do frame Ethernet inserindo um novo cabeçalho - o HSR Tag - além do mecanismo de descarte como é demonstrado na Figura 7.

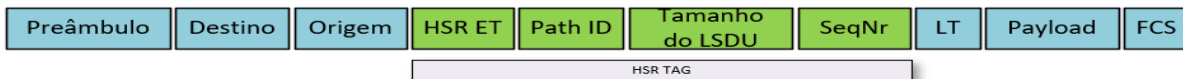


FIGURA 7 – O HSR Tag alterando a estrutura do frame Ethernet original

Uma importante consequência que deve ser ressaltada neste caso é que somente equipamentos com o HSR implementado é que podem participar de uma topologia com este protocolo. Os dispositivos SAN não podem ser conectados diretamente sem o uso de uma REDBOX.

### 2.3 Uso da REDBOX e o acoplamento HSR/PRP

A REDBOX é um equipamento previsto na norma IEC 62439-3 para conectar equipamentos SAN às redes HSR e PRP. Contudo, há uma outra aplicação que traz flexibilidade para as arquiteturas com este tipo de redundância que é o acoplamento entre os dois protocolos como mostra a Figura 8. Neste exemplo, cada uma das REDBOXes que participam do anel HSR inserem um tag de LAN A e LAN B para os fluxos SAN das interfaces que se conectam aos switches do domínio PRP.

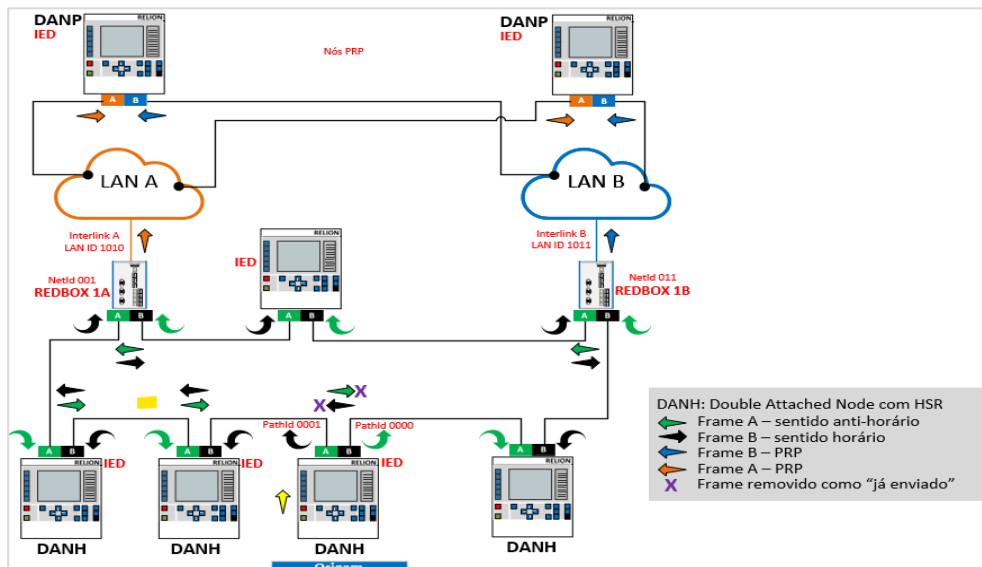


FIGURA 8 – Acoplamento HSR/PRP via REDBOX

#### 2.4 Tópicos relevantes observados no uso das técnicas PRP e HSR

Com base na experiência observada nos casos de uso a seguir (considerando subestações digitais), a Tabela 1 demonstra uma relação de aspectos táticos na adoção das duas técnicas.

TABELA 1 – PRP x HSR

Item	PRP	Justificativa	HSR	Justificativa
Acesso de SVs de outros vãos/bays	Disponível	-	Depende da MU	Em caso de interfaces Ethernet adicionais, bridges podem ser realizadas. Caso contrário, a aquisição elétrica deve ser feita
Sincronização PTP das merging units	Disponível	-	Indisponível para IEDs sem Boundary Clock	As técnicas de BC e TC do PTP presentes nos IEDs mais sofisticados resolvem este tópico
Uso de switches	Obrigatório	-	Não necessário	-
Segregação de fluxo de dados	VLAN ou multicast	Demanda de alto volume de dados em SV	Não necessário	Rede segregada por vão, fluxo previsível
QoS nas mensagens	Necessário	Demanda de alto volume de dados em SV	Não	Rede segregada por vão, fluxo previsível
Monitoramento do QoS buffer overflow	Obrigatório	Buffer pequenos ou grande carregamento da rede pode gerar overflow e perdas	Não	Não há switches, logo essa preocupação não existe
Monitoramento da banda de rede	Necessário	Demanda de alto volume de dados em SV e eventual perda de dados	Não	-
Monitoramento da latência	Necessário	Complexidade da rede, mau dimensionamento e gargalos que podem provocar perdas – ou adota-se uma segregação física entre station/process bus para reduzir impactos neste sentido	Não relevante	Rede pequena e segregada por vão, fluxo previsível
Treinamento da equipe	Obrigatório	Complexidade da rede demanda educação em analisadores/ferramentas de tráfego	Não relevante	Rede pequena e simples, uma mensagem que não chegue a seu destino será por falha de hardware/conectividade entre os IEDs
Monitoramento das portas do switch	Desejável	Possível perda de conectividade e impactos para o sistema como um todo	Não necessário	Não há switches
Monitoramento da CPU do switch	Desejável	Alto carregamento da topologia pode afetar a performance do switch	Não necessário	Não há switches
Monitoramento das portas redundantes	Necessário	Configurações incorretas podem afetar o fluxo para uma das interfaces do IED	Não necessário	A única forma de não publicar/receber por uma porta é a falha de link a qual deve ser supervisionada
Limitação de IEDs na rede	Não	Segregar o fluxo é suficiente na maior parte dos casos	Sim	Pode variar conforme s equipamentos/tráfego utilizados
Supervisão da MU pelo SCADA	Sim	Segregação do MMS em uma VLAN unicast exclusiva ou uso de uma interface Ethernet extra	Não necessário	Os IEDs com múltiplas portas podem dar este diagnóstico. A isolação da MU é bem-vinda por cibersegurança

### 3.0 - CASOS DE USO EM PROJETOS REAIS

Os protocolos PRP e HSR têm sido aplicados com frequência nos empreendimentos de automação de subestações que requerem maior resiliência em suas arquiteturas de comunicação. São apresentados na sequência três projetos onde estas técnicas foram escolhidas para redundância, inclusive operando em conjunto.

#### 3.1 Caso 1: Subestação DIT de 138/11.5kV, projeto de pesquisa e desenvolvimento

Este é um projeto de P&D cujo um de seus doze entregáveis é a exploração dos protocolos da norma IEC 62439-3. Trata-se de uma subestação digital DIT de 138kV com duas entradas de linha, um transformador, e mais 5 alimentadores de 11.5kV. A topologia de comunicação considera uma cadeia quaternária de proteções centralizadas (CPCs) que individualmente podem controlar e proteger a subestação inteira, e devido a esse fato, as mensagens de SV e GSE devem alcançar cada um dos CPCs. Tanto os CPCs quanto as merging units são de diferentes fabricantes.

O station bus desta aplicação contempla um grande número de classes de equipamentos conectados, a saber: Sistemas SCADA hot-standby, computadores de engenharia, computadores de operação, relógios GNSS, sistemas de monitoramento do transformador (gestão de ativos), rádios industriais, firewalls, dispositivos de threat intelligence e sensores. E por uma questão da criação de uma arquitetura Secure by Design, o station bus conta ainda com uma segregação de zonas e redução de superfície de ataque demandando uma detalhada configuração de seus switches. Pela necessidade observada de conexão e integração de múltiplas aplicações e pontos de acesso, a redundância com a técnica PRP foi escolhida para essa porção/domínio da topologia.

Já para o barramento de processo, um desafio adicional se apresentou: Dos 4 CPCs, 2 suportavam PRP e HSR e outros 2 apenas o PRP. Como este perímetro da rede apresenta um objetivo único de trazer os sinais críticos de campo para os IEDs na sala de controle (portanto uma característica distinta em relação ao station bus), o projeto contemplava uma comparação entre o uso do PRP e HSR para prover a redundância neste domínio. A solução encontrada foi combinar o uso dos dois protocolos simultaneamente: O HSR foi usado para integrar as merging units do lado de alta no 138kV aos IEDs-CPCs que suportavam este protocolo, e para o setor de 11.5kV adotou-se o PRP com seus switches da LAN C e LAN D para dispor as mensagens SV e GSE para os 4 CPCs.

Como elucidado anteriormente, os 4 CPCs necessitavam receber os mesmos fluxos de tempo real do process bus. Quando as merging units do 138kV foram conectadas por HSR aos 2 CPCs que suportam esse protocolo, os outros 2 ficaram descobertos quanto a este grupo de mensagens. A forma eleita para resolver esta questão foi o uso de bridgings entre as merging units em HSR com os switches da LAN C e da LAN D do PRP, uma vez que estes equipamentos suportavam tal funcionalidade. Assim dois fluxos do tipo SAN foram inseridos na rede PRP, um em cada LAN respectivamente. A Figura 9 demonstra as topologias montadas

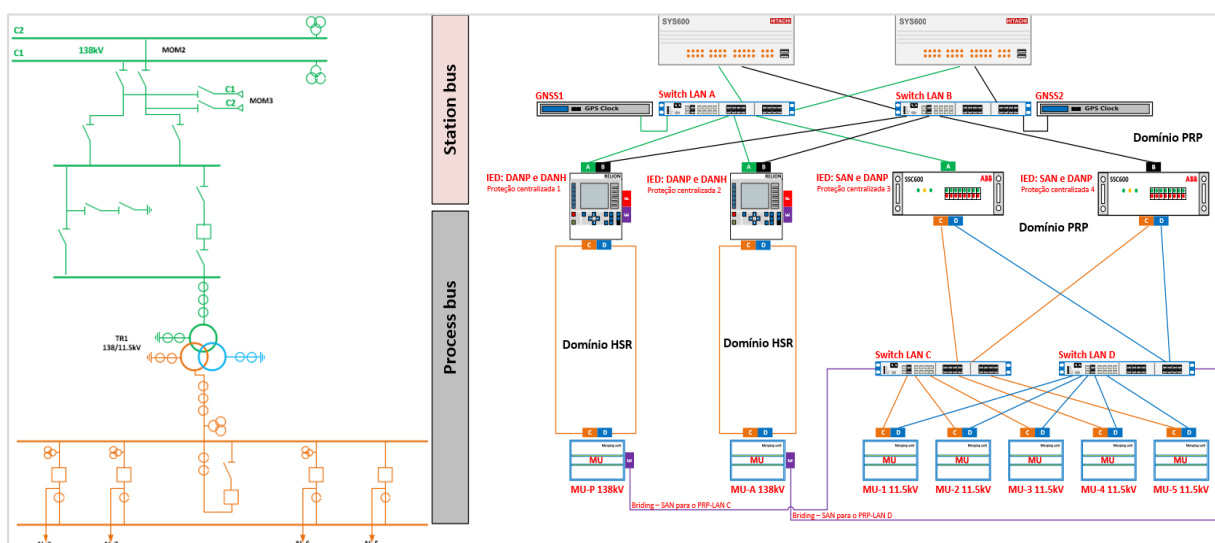


FIGURA 9 – Arquitetura dos barramentos de process e estação redundantes da subestação DIT

Por fim, a foto da Figura 10 exhibe a diferença entre o PRP e o HSR quanto à montagem e instalação na fase de testes para o barramento de processo.

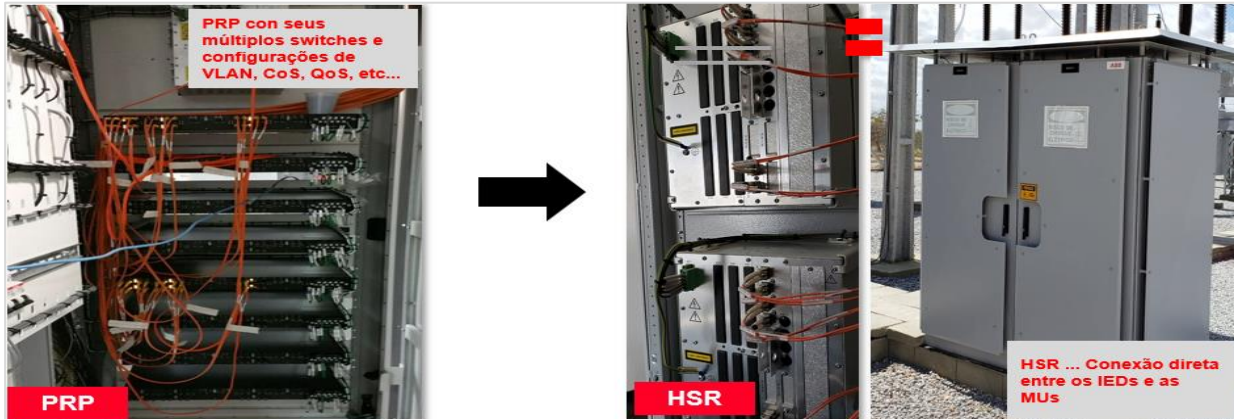


FIGURA 10 – Instalação de uma rede PRP x HSR para o barramento de processo

### 3.2 Caso 2: Subestação de 500kV em uma planta coletora de renováveis

A subestação digital que ilustra este exemplo é composta por um anel em 500kV, arranjo usado com frequência em plantas renováveis, e por essa característica os bays compartilham diversas medições de corrente para executar as funções de proteção e controle. O station bus desta aplicação é composto por uma RTU (substituindo um sistema SCADA) relógios GNSS duplos, os computadores de operação e o registrador de falhas. Naturalmente o PRP foi escolhido como método de redundância para este domínio, permitindo o compartilhamento e fluxos de mensagens unicast e multicast (GSEs para os automatismos, função 79, intertravamentos e partida do 62BF) entre todos os IEDs e a RTU com as devidas segregações por VLAN dependendo do tráfego de interesse.

Originalmente, antes de sua expansão, a subestação contemplava 2 bays de transformador e 1 de linha. Com o objetivo de simplificar a rede do barramento de processo nos quesitos tempo de implementação, custo e facilidade de instalação, o protocolo HSR foi escolhido para prover a redundância da rede. Criou-se então pequenos domínios com anéis HSR para cada bay, segregando o tráfego da linha e dos dois transformadores entre si. Dessa forma, os datagramas GSE e SV destes bays foram enclausurados entre o seus IEDs e suas merging units apenas, reduzindo assim a ocupação da banda com overheads desnecessários e facilitando consideravelmente a operação para fins de manutenção: No caso da intervenção no bay da linha por exemplo, os tráfegos do barramento de processo dos trafos continuam a operar de maneira totalmente independente. Para permitir o compartilhamento das medições de corrente necessárias entre bays (e satisfazer as condições operacionais do anel em 500kV), o recurso de bridging das merging units foi utilizando como mostra a Figura 11 em vermelho e violeta na arquitetura. Um tráfego SAN é injetado em cada merging unit contendo somente o SV das correntes compartilhadas.

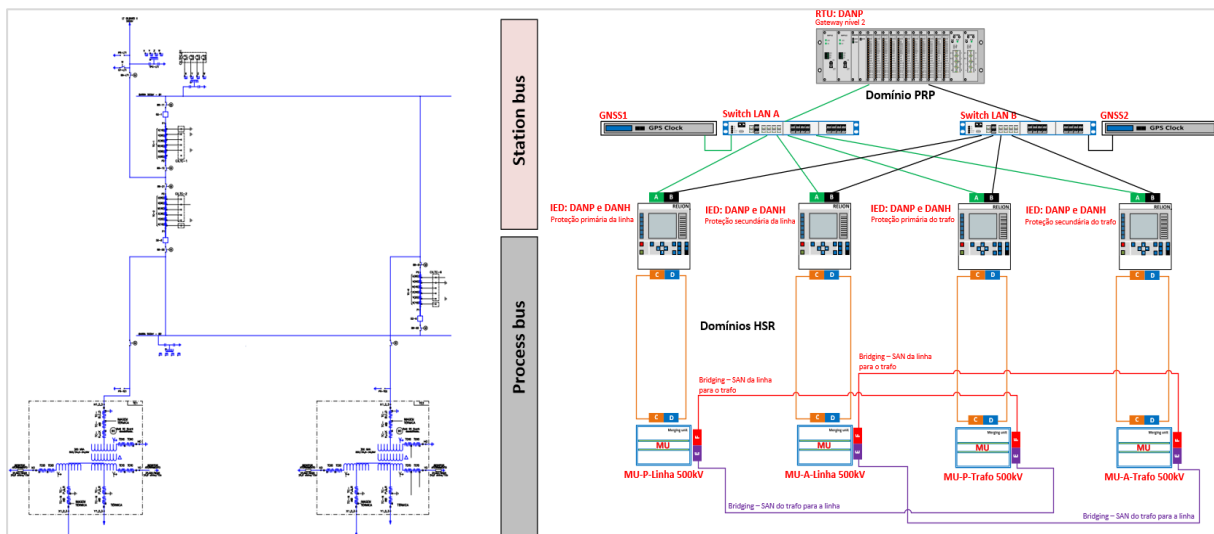


FIGURA 11 – Subestação digital com PRP e HSR no station e process bus respectivamente



**3.3 Caso 3: Subestação digital de 500kV compartilhada por dois agentes de transmissão**

Neste projeto a subestação contempla um arranjo de disjuntor e meio, e o escopo da digitalização e uso dos protocolos de redundância corresponde a 2 bays de linha (uma delas com reator) sob gerência do agente 1, e outros 2 bays de linha com reator e 1 reator de barras sob controle do agente 2. Todos os conjuntos mencionados possuem cadeias primária/alternada de proteção e controle, incluindo a proteção de barras também do agente 2.

O station bus do agente 2 tem uma peculiaridade: Apesar dos IEDs estarem integrados com um redundância PRP, a rede operativa da empresa (onde está o sistema supervisório) é uma topologia RSTP que obviamente não compatível com a técnica zero switchover time do PRP. Entretanto é possível fazer uma acoplamento de protocolos da IEC 62439-3 por meio das REDBOXes com um esquema PRP/HSR→RSTP (Figura 12). Tal situação remete a uma condição prevista por norma.

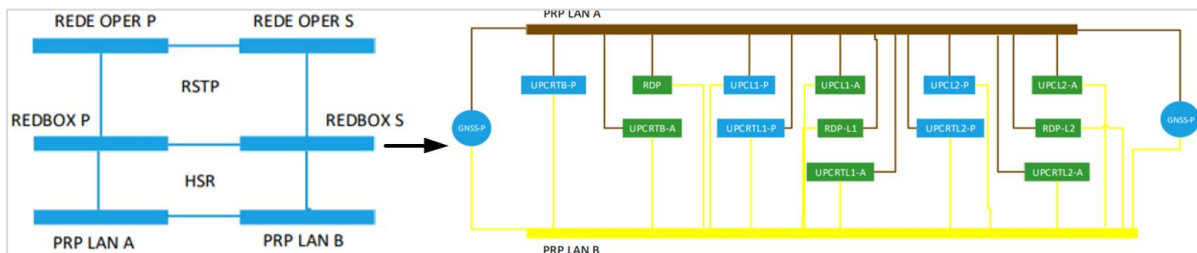


FIGURA 12 – Station bus com acoplamento IEC 62439-3 para PRP no agente 2

No barramento de processo, assim como nos casos anteriores reforçando a ideia de simplicidade de implementação da topologia, o HSR foi a técnica escolhida.

As cadeias primária e alternada dos agentes 1 e 2 foram agrupadas em 4 anéis respectivamente (conectando o IED do agente 1 com seu anel e o mesmo ocorrendo com o IED do agente 2, por cadeia) e orientados por bay, isto é, cada um dos circuitos da subestação contempla o seu próprio domínio HSR como mostra a Figura 13,

De forma análoga ao que fora discutido no Caso 2, esta arquitetura contribui de forma significativa para as intervenções de manutenção e testes, é possível tomar um bay nesta ação sem que haja interferência no barramento de processo do circuito adjacente. Evidencia-se também um processo de engenharia mais simples por não haver conjuntos de switches como no PRP.

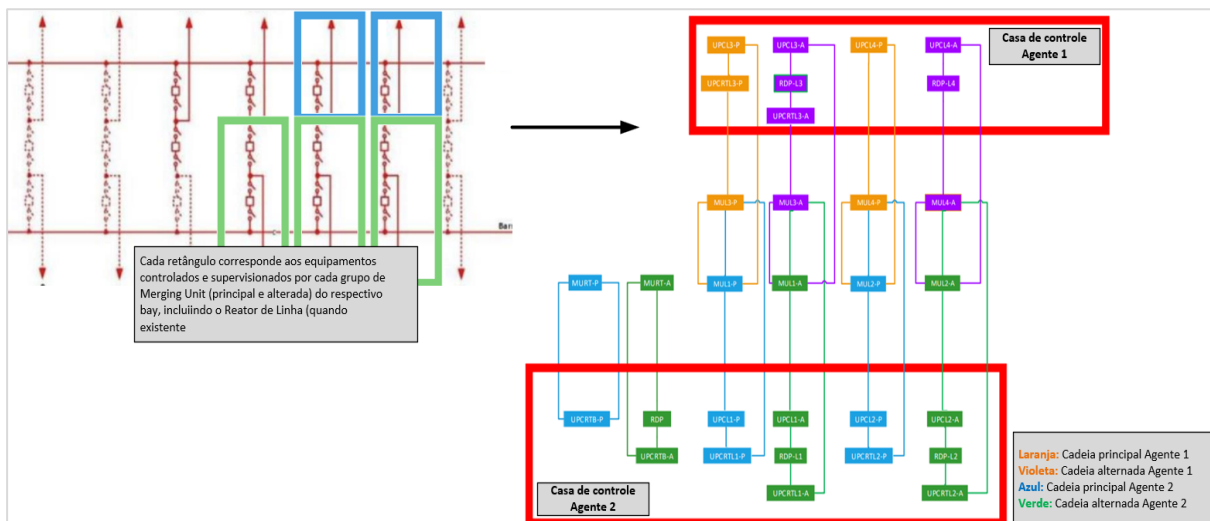


FIGURA 13 – Domínios HSR para os bays, divididos em cadeias primária e alternada

Uma característica distinta dos Casos 1 e 2 deve ser descrita neste cenário: As merging units não contam com o mecanismo de bridging. Quando há uma necessidade compartilhar correntes de um bay com outro, a aquisição física do TC deve ser realizada duas vezes, já que o anel HSR isola o fluxo dentro do seu próprio bay. Este é um aspecto de projeto que deve ser cuidadosamente estudado e planejado na concepção da arquitetura de comunicação da subestação digital quanto à redundância.

Por fim a proteção de barras, também em suas cadeias primária e alternada, considera dois anéis HSR independentes para essa função no process bus, oferecendo assim autonomia e isolamento deste tráfego em relação às redes dos bays.

#### 4.0 - CONCLUSÃO

Como fora esclarecido nos casos de projetos reais mencionados, ambos os protocolos da norma IEC 62439-3, PRP e HSR, apresentaram uma solução eficaz e confiável para a implementação da redundância de comunicação para as redes do station e process bus em empreendimentos IEC 61850.

Suas características de zero switchover em falhas N-1 e a transparência para as aplicações de proteção, supervisão e controle (não há necessidade de customização/configuração alguma neste nível para que estes protocolos funcionem uma vez que operam em camadas inferiores do modelo OSI) oferecem uma maneira de implementação simples e segura e, principalmente, garantem que nenhum serviço de missão crítica – seja uma comunicação horizontal ou vertical - seja interrompido na eventual falha de uma interface Ethernet de um dos elementos da arquitetura, rompimento de uma mídia de comunicação ou o comprometimento de um equipamento de rede como o switch em uma topologia de rede dupla.

Nos ensaios realizados para os casos reais, em todas simulações de condições de falha impostas à arquitetura que concernem às ocorrências nos switches (falha em interfaces de comunicação, na fonte ou congestionamento em seu domínio), nos IEDs/merging units (desconexões das interfaces Ethernet e fonte) e por fim no sistema SCADA (interfaces Ethernet, comutação hot-standby e fonte) em momento algum os serviços GSE/SV/MMS/SNMP sofreram quaisquer interrupções, e as aplicações se mantiveram em funcionamento em 100% dos testes.

Uma constatação final identificada remete à complexidade/simplicidade de implementação da díade PRP/HSR em redes de missão crítica com características distintas como o process bus e o station bus. No primeiro caso, como se trata de uma rede com um objetivo único e limitado de trazer dados do pátio para o sistema de proteção e controle, o HSR se mostrou uma alternativa muito interessante para se explorar com a abordagem de criar-se pequenos domínios por bay com uma topologia em anel entre os IEDs e as merging units. Além de uma implementação mais simples e com menor custo financeiro/esforço de engenharia, há um apelo para o hardening desta rede uma vez que não há pontos de acesso que possam ser explorados em um ciberataque. Como vantagem adicional, o tráfego é reduzido uma vez que apenas os sinais relevantes para aquele determinado bay são permitidos. Já tomando-se como referência o station bus, uma rede com grande grau de integração e conectividade, incluindo o compartilhamento de informações entre as entidades, o PRP se mostra uma solução de grande flexibilidade atrelada às redes duplas (LAN A e LAN B) e seus diversos pontos de acesso. Permite ainda que os equipamentos que não tenham o PRP implementado possam ser conectados a uma destas redes contribuindo com o aspecto de integração – por outro lado, há uma demanda por uma engenharia dos switches com o estabelecimento da redução das superfícies de ataque, priorização de tráfego e monitoramento mais elaborado, além de uma implementação física mais complexa quanto ao número de elementos e mídias de conexão.

#### 5.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) BRAND, K.P., LOHMANN, V. WIMMER, W. Substation Automation Handbook. 1. Ed. Leipzig: UACL, 2003.
- (2) INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONIC ENGINEERS. IEEE 802.1Q Standard for Local and Metropolitan Area Networks -- Bridges and Bridged Networks. New York, USA. 2022. 2163p.
- (3) INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. IEC 62439-3: High availability automation networks – Part 3: PRP and HSR. 4. Ed. Geneva, Switzerland, 2021. 247p.
- (4) OLIVEIRA, J. Proposta de uma arquitetura Ethernet redundante para automação de subestações de energia elétrica. Dissertação (Mestrado em Redes de Computadores) – IPT, São Paulo, 2012.
- (5) BAUMGARTNER, B., RIESCH, C. IEC 61850-9-3 Will simplicity supersede complexity?. Disponível em <https://www.omicon-lab.com/applications/detail/news/iec-61850-9-3-will-simplicity-supersede-complexity>. Acesso em 10 ago. 2024.
- (6) FILIPPETTI, M.A. CCNA 6.0 Guia Completo de Estudo. 2. Ed. São Paulo: Editora Alta Books, 2019.

## 6.0 - DADOS BIOGRÁFICOS



Julio Oliveira tem mais de 30 anos de experiência dedicados à automação de subestações de energia elétrica na Hitachi Energy. É pós-graduado em Redes de Computadores pela UNICSUL, mestre em Engenharia de Computação pelo IPT-SP e MBA em Gestão Estratégica de Negócios pela FGV de São Paulo. Trabalha na Automação de Subestações da Hitachi Energy desde 1994, tendo participado da elaboração e teste de sistemas & soluções para várias concessionárias de energia elétrica no Brasil.



Guido Jose Gomes Ferraz é integrante da equipe de Engenharia de Proteção, Controle e Telecom da Eletrobras há 12 anos, trabalhando em diversos empreendimentos de Transmissão (convencionais e digitais). É pós-graduado pela PUC-Rio em Análise, Projeto e Gerência de Sistemas.



Antonio José Guglielmi Filho é formado em Engenharia de Controle e Automação Industrial pela Universidade Federal de Santa Catarina (2005). Trabalha na Hitachi Energy como Gerente de Marketing Técnico em soluções de automação para subestações. Em seus 20 anos de carreira, também foi responsável pelo desenvolvimento e implementação de projetos de supervisão e controle na CGT Eletrosul em Florianópolis, atuando como Engenheiro de Sistemas.