



**XXIII SNPTEE  
SEMINÁRIO NACIONAL  
DE PRODUÇÃO E  
TRANSMISSÃO DE  
ENERGIA ELÉTRICA**

FI/GTL/20  
18 a 21 de Outubro de 2015  
Foz do Iguaçu - PR

## **GRUPO – XV**

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

#### **MPLS-TP – UMA TECNOLOGIA SÓLIDA ORIENTADA ÀS NECESSIDADES DO SETOR ELETRICO**

**Eduardo Camargo Langrafe(\*)**  
**NETCON LTDA**

**Eduardo Vasconcelos Lopes**  
**NETCON LTDA**

**Cristiano Henrique Ferraz**  
**NETCON LTDA**

## **RESUMO**

A consolidação das tecnologias IP e Ethernet para comunicação das aplicações modernas, endossada inclusive pelo padrão IEC 61.850 para o desenho de redes em subestações elétricas, demanda uma adequação das redes tradicionais para oferecer maior eficiência no transporte de pacotes.

Esta modernização dos sistemas traz diversos desafios para as empresas elétricas, devido aos requisitos de proteção e resiliência demandados pelas aplicações no âmbito operacional nem sempre serem atendidos pelas tecnologias disponíveis.

Este artigo apresenta como o MPLS-TP tornou-se uma solução tecnológica adequada para as necessidades das empresas elétricas e as vantagens de sua aplicação em substituição aos sistemas legados SDH.

## **PALAVRAS-CHAVE**

### **MULTIPROTOCOL LABEL SWITCHING TRANSPORT PROFILE**

#### **1.0 - INTRODUÇÃO**

Durante décadas, a indústria de energia elétrica tem dependido da tecnologia SDH para transportar seus dados de missão crítica. Esta tecnologia legada tem servido bem a indústria, mas é menos adequada e não fornece a largura de banda necessária para novas aplicações baseadas em Ethernet. Como exemplo, podemos mencionar o crescente uso de aplicações de comunicações unificadas (UC) e videomonitoramento para automação dos processos operacionais, as quais demandam uma alta capacidade de vazão de dados através das redes operacional e corporativa.

Adicionalmente, os equipamentos SDH estão rapidamente se tornando obsoletos. Alguns fornecedores anunciaram que seus produtos legados SDH chegaram ao fim da linha, e, conseqüentemente, as peças de reposição e serviços de suporte para estes produtos estão se tornando um problema cada vez mais constante.

As implicações imediatas para as instalações que continuam dependendo da tecnologia SDH são muitas. Encontrar profissionais capacitados e experientes em tecnologia SDH é cada vez mais difícil, uma vez que os profissionais atuais têm procurado especializações em tecnologias mais recentes, baseadas nas novas redes de comutação de pacotes (PSNs). As dificuldades para a manutenção de uma infraestrutura SDH tendem a se tornar cada vez mais críticas.

Adicionalmente, a norma IEC 61850, empregada no desenho de novas redes de automação de subestações elétricas, recomenda a ampla utilização das tecnologias IP e Ethernet. Como consequência, os novos sistemas de unidades terminais remotas (UTRs) e dispositivos eletrônicos inteligentes (IEDs) são desenvolvidos para o ambiente de rede Ethernet.

Em resposta a estas tendências, a maioria das concessionárias de energia está migrando ou planejando migrar seus sistemas de telecomunicações para tecnologias adequadas para o transporte de pacotes, que se adaptem às necessidades operacionais das aplicações de missão crítica. Dentre as tecnologias disponíveis, as três mais utilizadas são: Carrier Ethernet, MPLS e MPLS-TP.

## 2.0 - CONSIDERAÇÕES SOBRE AS OPÇÕES TECNOLÓGICAS DISPONÍVEIS

A tecnologia Ethernet foi anteriormente considerada como favorita para essa migração, mas as tentativas iniciais no emprego do Ethernet para o transporte enfrentaram algumas limitações, como falta de robustez na qualidade de serviço, confiabilidade limitada devido a recursos limitados de segurança, escalabilidade limitada em termos de serviços suportados, falta de gerenciamento de rede e serviços e falta de apoio legado. Muitas das limitações estão diretamente ligadas à natureza não orientada à conexão do Ethernet.

Entretanto, significativos avanços vêm sendo realizados pelo IEEE e *Metro Ethernet Forum* no desenvolvimento do padrão *Carrier Ethernet*, que atualmente apresenta mecanismos que o tornam adequado para aplicação em redes de missão crítica.

O MPLS (*Multi-Protocol Label Switching*) foi desenvolvido para solucionar algumas das dificuldades enfrentadas pelo Ethernet. Padronizado pelo IETF, o MPLS é um mecanismo de transporte agnóstico e escalável que acelera a tomada de decisão nos dispositivos da rede, através da comutação de dados pela aplicação de rótulos (*labels*). O MPLS é amplamente utilizado no núcleo de redes de operadoras de telecomunicações e oferece um serviço de transporte adequado para circuitos e pacotes. Entretanto, algumas características do MPLS dificultam sua adoção para redes industriais, por eliminar o perfil determinístico do serviço, requerido nestes ambientes.

Visando adequar o MPLS tradicional para redes de missão crítica, um esforço conjunto do IETF (*Internet Engineering Task Force*) e o ITU (*International Telecommunication Union*) desenvolveu o padrão MPLS-TP. Sua vantagem principal refere-se à adição de recursos de OAM (Operação, Administração e Gerenciamento) e comutação de proteção, em comparação com o MPLS tradicional. O MPLS-TP também simplifica o provisionamento de serviços de longa duração (que são criados para persistir por tempo indeterminado), tipicamente utilizados por empresas do setor de energia.

## 3.0 - CONCEITOS DO MPLS

O MPLS é um mecanismo de redes de telecomunicações de alto desempenho, cujo conceito é o encaminhamento dos dados entre os nós da rede, com base em rotas pré-definidas e o emprego de rótulos simples, denominados *labels*. Este método foi desenvolvido como alternativa ao processo de roteamento tradicional, que utiliza longos endereços de rede e necessita de consultas complexas em tabelas de roteamento, e, desta forma, demanda maior processamento dos dispositivos e adiciona maior latência para o transporte das informações. O MPLS proporciona um método de encaminhamento de pacotes rápido e de baixa latência, baseado em comutação através de rótulos. Os rótulos do MPLS identificam caminhos virtuais, denominados LSPs (*Label Switched Paths*), entre os nós interconectados, permitindo a criação de circuitos de fim-a-fim. A Figura 1 ilustra o conceito de LSP.

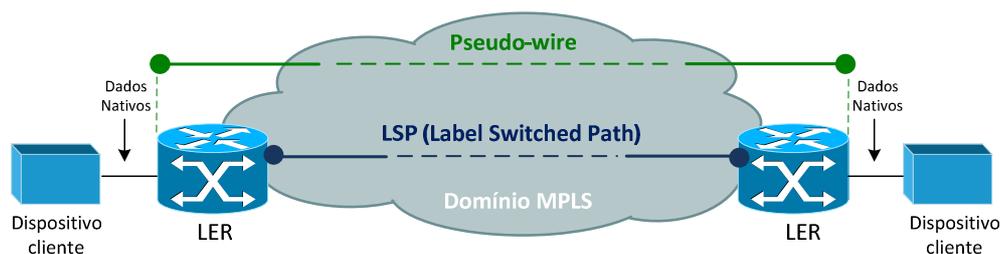


FIGURA 1 – Conceito de LSP

O LSP determina um caminho ou rota unidirecional pré-determinada entre dois dispositivos de borda da rede MPLS. O nome do serviço provido ao cliente MPLS, ou seja, a partir das interfaces de entrada dos dispositivos de borda é *pseudo-wire* (ou pseudo-fio em sua tradução ao português).

O MPLS opera em uma camada que é considerada entre as camadas 2 (enlace) e 3 (rede) do modelo OSI da ISO, e, desta forma, geralmente é referido como um protocolo de camada 2,5. A Figura 2 a seguir apresenta o posicionamento do rótulo MPLS (também conhecido como *Shim Header*) dentro da estrutura do modelo ISO da OSI.

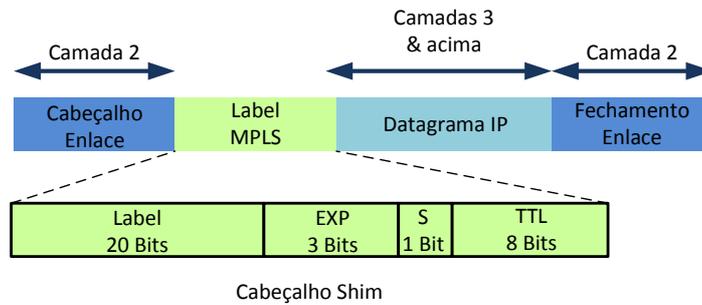


FIGURA 2 - Posicionamento do Rótulo MPLS dentro do modelo ISO/OSI

O MPLS foi concebido para permitir um serviço unificado de transporte de dados para aplicações baseadas em comutação de pacotes ou comutação de circuitos. Um fator primordial para o sucesso da tecnologia MPLS refere-se à sua capacidade de encapsular pacotes de vários protocolos de rede, como E1/T1, ATM, Frame Relay e xDSL, para, então, transportá-los através de uma infraestrutura de camada 2. O principal benefício é a eliminação da dependência de sistemas baseados em uma tecnologia específica da camada de enlace do modelo OSI.

O MPLS é implementado através de dispositivos que combinam o melhor de cada mecanismo de encaminhamento de pacotes: roteamento de camada 3 e comutação de camada 2. Estes dispositivos são chamados de LSR (*Label Switch Router*) e possuem a tarefa de aceitar um pacote de entrada e encaminhá-lo através da porta de saída correta, o mais rápido possível. Uma função especial do LSR ocorre quando ele é posicionado na borda do domínio MPLS, sendo, neste caso, denominado Edge LSR, ou simplesmente LER (*Label Edge Router*).

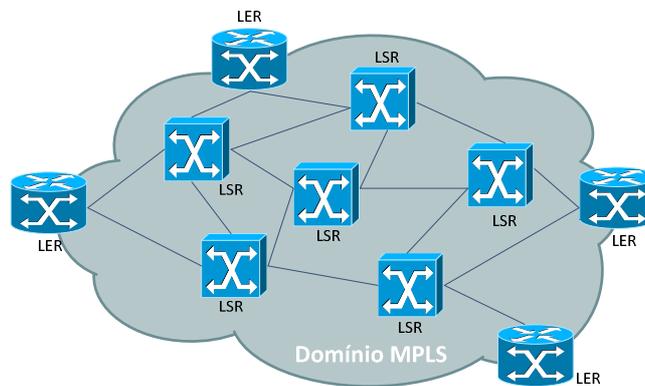


FIGURA 3 – Funções dos dispositivos de uma rede MPLS

**LSR:** Um roteador MPLS que executa o roteamento baseado apenas no rótulo é chamado de *Label Switch Router* (LSR) ou roteador de trânsito. Este roteador situa-se no meio de uma rede MPLS e é responsável pela troca dos rótulos usados no roteamento de pacotes. Quando um LSR recebe um pacote, utiliza o *label* incluído no cabeçalho do pacote como um índice para consulta na tabela *Label Information Base* (LIB) para determinar o próximo salto no caminho LSP e o *label* correspondente para o pacote na próxima interface. O *label* antigo é, então, removido do cabeçalho e substituído pelo novo *label*, antes do encaminhamento do pacote através da interface de saída.

**LER:** O LER é um roteador que funciona na borda de uma rede MPLS e age como pontos de entrada (*Ingress LER*) e saída (*Egress LER*) para o domínio MPLS. O *Egress LER* verifica o endereço IP do pacote de entrada em uma tabela e encontra uma referência chamada *Forward Equivalence Class* (FEC) para o tipo particular de pacote. FEC é o método usado em MPLS para descrever um conjunto de pacotes com características similares e idênticas, que podem ser transportados da mesma maneira, ou seja, eles podem ser ligados ao mesmo rótulo MPLS. O LER, então, adiciona um *label* no pacote entrante no domínio MPLS e retira o *label* do pacote de saída, compatibilizando-o com seu formato original requerido pelo próximo dispositivo fora da rede MPLS. Alternativamente, a função *Penultimate Hop Popping* (PHP) permite a retirada do *label* de saída no penúltimo roteador do caminho LSP, de modo a eliminar a carga de processamento no LER.

Uma vantagem clara do MPLS em relação ao processo tradicional de roteamento IP refere-se à sua capacidade de estabelecer um caminho fim-a-fim antes do início do envio de informações. Para toda FEC existe uma ou mais rotas LSPs previsíveis, determinadas através de um dos dois protocolos em execução nos dispositivos LSR: *Label Distribution Protocol* (LDP) ou *Resource Reservation Protocol – Traffic Engineering* (RSVP-TE). No MPLS tradicional (IP/MPLS) as rotas ou LSPs são unidirecionais, ou seja, o caminho de volta do tráfego é realizado através de outro LSP.

A Figura 4 a seguir ilustra o processo de transporte de pacotes dentro de um domínio MPLS:

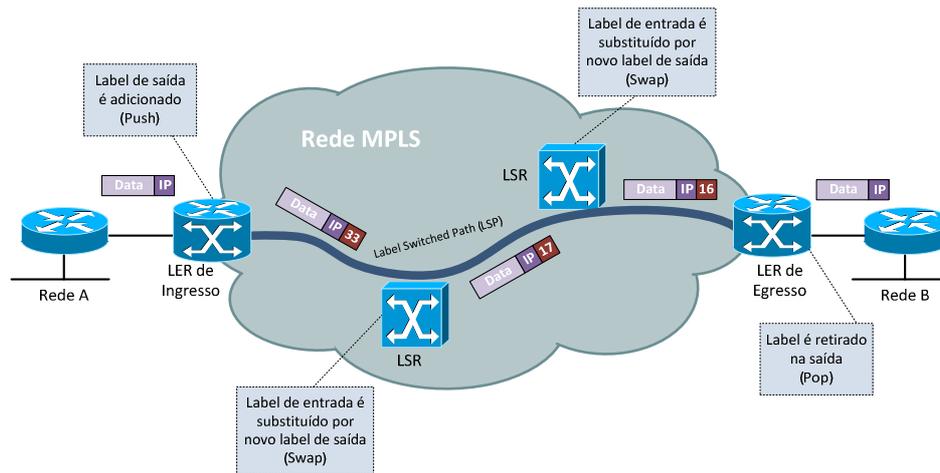


FIGURA 4 – Representação do transporte dentro de um domínio MPLS

#### 4.0 - DIFERENCIAIS DO MPLS-TP

Neste capítulo discutiremos como o MPLS foi aprimorado para o padrão MPLS-TP, de forma a atender os requisitos das redes transporte de missão crítica. Para a aplicação da tecnologia MPLS nestes ambientes, ela deve ser tão boa quanto, ou melhor, que os sistemas tradicionais baseados em circuitos, como o SDH.

Ao longo da última década, o MPLS se estabeleceu como a tecnologia de transporte dominante utilizada no núcleo de redes de transporte baseadas em pacotes, sendo apenas mais recentemente aplicado para as redes de agregação e acesso, tradicionalmente baseadas em protocolos como SDH. Desta forma, para garantir o sucesso da adoção do MPLS em substituição a estas redes, a tecnologia deveria apresentar padrões funcionais de operação similares aos das redes de transporte baseadas em circuitos, como recursos de OAM sofisticados, rápida comutação de proteção, escalabilidade, engenharia de tráfego e eficiência de custo.

Adicionalmente, algumas características básicas do MPLS precisaram ser retiradas, como o *Penultimate Hop Popping* (PHP), *Equal Cost Multi Path* (ECMP) e *Label Merge*. Em comparação com o MPLS tradicional, o MPLS-TP é uma versão simplificada sem estas funções, que foram excluídas devido às suas incompatibilidades para um transporte do modo determinístico, como veremos a seguir.

A utilização de caminhos não congruentes do MPLS, que se refere à não garantia de que o caminho de retorno dos dados será o mesmo caminho do envio, também foi modificada no MPLS-TP, sendo seus LSPs bidirecionais. Esta característica é muito importante para o gerenciamento e sinalização de falhas dentro dos LSPs pré-estabelecidos, permitindo que seja realizada a identificação de falhas e a convergência da rede em um período menor que 50 milissegundos.

O recurso de *Penultimate Hop Popping*, utilizado para aumentar a eficiência da rede através da diminuição de carga de processamento nos dispositivos de borda LER, trabalha com a premissa de que o pacote transportado é IP, retirando o *label* no penúltimo LSR e enviando-o para que o LER realize o roteamento com base na informação IP. Esta função, portanto, inviabiliza o transporte de outros tipos de protocolos (não IP) utilizados no ambiente de missão crítica.

A função de *Equal Cost Multi Path* permite otimizar o uso da rede através do balanceamento do tráfego transportado por caminhos LSPs que possuem o mesmo custo. Consequentemente, o fluxo de informação pode ser distribuído entre diferentes rotas e alcançar o destino final em sequência e momentos diferentes. Esta característica, portanto, elimina o determinismo do protocolo MPLS e foi retirada da especificação do MPLS-TP. A Figura 5 ilustra esta incompatibilidade do ECMP para aplicação em redes determinísticas.

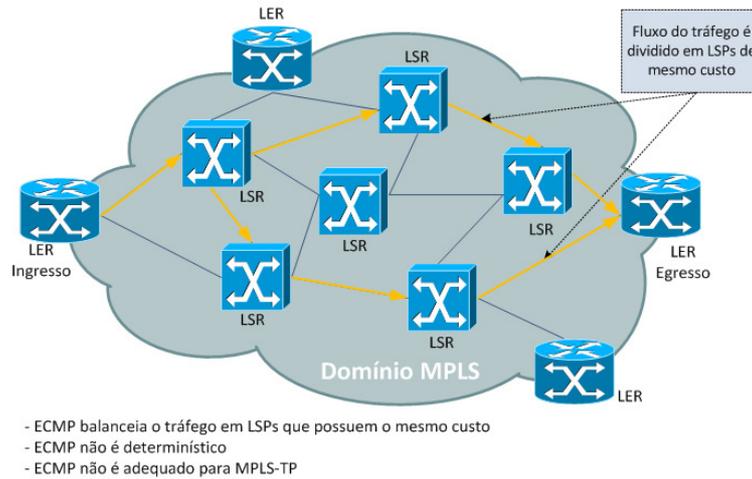


FIGURA 5 – Problema do recurso ECMP para redes determinísticas

Outro recurso do MPLS excluído do MPLS-TP é denominado *Label Merge*. Esta função permite aos LSRs combinar pacotes que chegam de diferentes rotas e pertençam a uma mesma classe de equivalência FEC em um único *label*, antes de realizar o encaminhamento. Apesar de eficiente no MPLS, o problema deste método é que ao unificar o *label* para ambos os pacotes que pertencem a diferentes rotas, ocorre a perda da associação do pacote com a sua origem, tornando o pacote não determinístico.

Estas melhorias foram implementadas pelo IETF e o ITU para padronizar este novo perfil para o MPLS, de forma a torna-lo um protocolo otimizado para redes de transporte de missão crítica. O MPLS-TP possui uma arquitetura previsível e determinística, opera através de caminhos bidirecionais e oferece resiliência de eficiência compatível ao das redes SDH.

As especificações do MPLS-TP são encapsuladas em uma variedade de RFCs do IETF, sendo as mais importantes as RFC 5654 (Requisitos) e RFC 5921 (Objetivos), ambas desenvolvidas pelo IETF e ITU.

Os fundamentos básicos para o desenvolvimento do MPLS-TP são apresentados na Figura 6 a seguir:



FIGURA 6 – Fundamentos do MPLS-TP

O MPLS-TP é um protocolo de transporte de comutação de pacotes, determinístico e orientado à conexão. Seu desenvolvimento foi realizado com o propósito de se criar uma versão do MPLS otimizada para redes de transportes, para oferecer níveis de serviços similares aos do SDH. A seguir descrevemos algumas características chaves do MPLS-TP:

- É um protocolo estritamente orientado à conexão;
- É agnóstico aos serviços (pode transportar serviços L3, L2 e L1, ideal para protocolos específicos do ambiente industrial);
- É agnóstico às camadas de enlace e física (pode rodar sobre Ethernet, SDH, OTN, WDM, etc.);
- Provê funções robustas de OAM, similares às funções disponíveis nas tecnologias tradicionais de transporte óptico (ex. SDH, OTN);
- Provê diversos esquemas de proteção no plano de dados, similares aos disponíveis nas redes tradicionais de transporte óptico;
- Permite o provisionamento de rede através de um sistema de gerência centralizado (NMS) e/ou um plano de controle distribuído;
- Suporta um modelo operacional para o estabelecimento de serviços de dados familiar e mais alinhado com o modelo tradicional de redes de transporte do que com o núcleo de redes IP;
- Fornece um nível de previsibilidade semelhante ao de redes de circuitos para redes de pacotes;
- Proporciona facilidade para configuração estática de serviços e simplicidade operacional, através de um sistema de gerenciamento de redes (NMS) da categoria de transporte.

## 5.0 - RECURSOS DE OAM NO MPLS-TP

Um aspecto vital para o gerenciamento de redes de transporte é a disponibilidade de um conjunto de funcionalidades eficientes de OAM. É preciso ser capaz de verificar a integridade das rotas; o MPLS-TP oferece algumas ferramentas eficientes para análise de conectividade.

No MPLS existem dois planos denominados Plano de Controle, responsável pelo estabelecimento dinâmico dos LSPs, e o Plano de Dados, responsável pelo encaminhamento dos pacotes através das LSPs. No MPLS-TP, as funções de OAM são realizadas diretamente no plano de dados, através de um canal de *overhead* denominado *Generic Associated Channel* (G-Ach). Dentro do G-Ach existe um circuito virtual utilizado para verificação de conectividade, chamado de VCCV. Este circuito é responsável por dispor das ferramentas de verificação, como ICMP Ping, LSP Ping e *Bi-directional Forwarding Detection* (BFD); é utilizado para transportar dados de monitoração de desempenho e também implementa a comutação de proteção. A Figura 7 abaixo resume as funções do G-Ach no MPLS-TP:

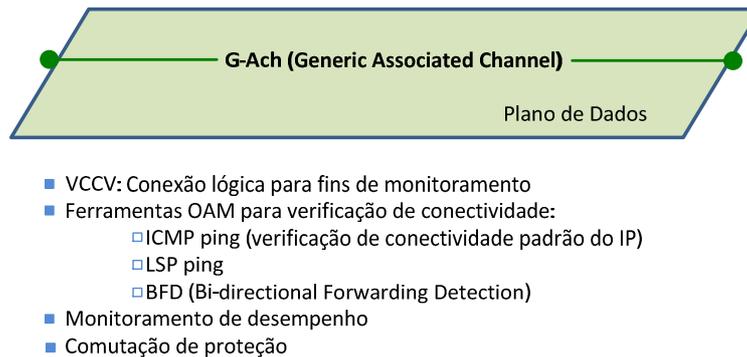


FIGURA 7 – Funções do Generic Associated Channel (G-Ach)

O *Internet Control Message Protocol* (ICMP) *ping* e *traceroute* são, muitas vezes, utilizados quando ocorre uma falha no encaminhamento de dados, para ajudar a diagnosticar a causa raiz. No entanto, eles não são muito adequados para a identificação de falhas em LSPs devido ao fato de um pacote ICMP poder ser transmitido por intermédio do roteamento IP para o destino, quando ocorre uma quebra de LSP. Desta forma, os métodos LSP Ping e BFD são mais adequados para detecção de falhas em LSPs.

O LSP *Ping* apresenta uma série de opções que permitem uma visão abrangente da rede. As principais funções do LSP *Ping* são apresentadas a seguir:

- Detecta falhas no plano de dados;
- Associa o *Ping Echo* com um FEC;
- Pode realizar a função de *traceroute* para um FEC;
- Verifica periodicamente se o LSP na entrada e saída é mapeado para o mesmo FEC.

Alguns pontos negativos sobre o LSP *Ping* são o alto consumo de processamento dos LSR para sua execução e a detecção dos problemas em frações de segundos (e não milissegundos).

Para melhorar a eficiência na detecção de falhas, o protocolo BFD é introduzido. O BFD proporciona detecção de falhas na ordem de 50 milissegundo. Suas principais funções são resumidas a seguir:

- Detecta falhas no plano de dados;
- Detecção em tempo inferior à 50ms;
- Sinalização de alarmes (AIS);
- Indicação de falha remota (RDI);
- Indicação de *link* indisponível (LDI);
- Indicação de falha no cliente (CFI).

### 5.1 Esquemas de Proteção

O MPLS-TP suporta os três esquemas de proteção comuns nas redes SDH:

- Proteção 1+1: As principais características deste método são proporcionar um caminho de proteção dedicado e sempre transmitir as informações através dos dois LSPs (principal e proteção). Neste caso, o LSR de destino realiza a comutação para o LSP de proteção em caso de falha no LSP principal. O tempo

de convergência é inferior a 50ms; entretanto, sua desvantagem é a maior demanda de recursos de rede exclusivos para proteção. O esquema de proteção 1+1 é ilustrado na Figura 8 a seguir:



FIGURA 8 – Esquema de Proteção 1+1

- Proteção 1:1: Este esquema é similar ao método de 1+1, com a diferença de o LSP de proteção não ser dedicado exclusivamente para a proteção do LSP principal. Tráfego de menor prioridade pode ser encaminhado através do LSP de proteção, que apenas será acionado em caso de falhas no LSP principal. O tempo de convergência também é inferior a 50ms, sendo este método recomendado para otimização de recursos de rede. O esquema de proteção 1:1 é ilustrado na Figura 9 a seguir:

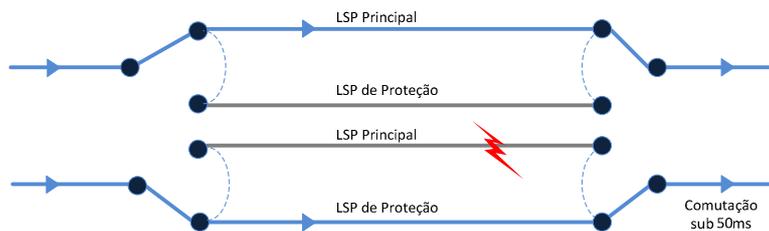


FIGURA 9 – Esquema de Proteção 1:1

- Proteção 1:n: Este esquema baseia-se no compartilhamento de um LSP de proteção para um ou mais LSPs principais, o que o torna o método mais eficiente em termos de otimização de recursos de rede. Entretanto, sua desvantagem clara é o risco de indisponibilidade em caso de falhas duplas. O tempo de convergência também é inferior a 50ms, sendo este método recomendado para otimização de recursos de rede. O esquema de proteção 1:n é ilustrado na Figura 10 a seguir:

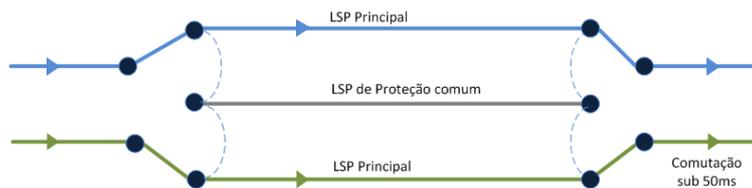


FIGURA 10 – Esquema de Proteção 1:n

## 5.2 Detecção de Falhas

O recurso de detecção de falhas do MPLS-TP permite a convergência ultrarrápida em caso de falhas na rede. A função responsável pela detecção é denominada *Continuity Check* (CC), sendo uma das ferramentas cruciais de monitoramento, devido à sua natureza proativa. As mensagens de CC (denominadas CCMs) são constantemente enviadas na forma de *multicast* entre os pontos finais de manutenção da rede (MEP). O intervalo para envio de cada CCM é de 3 milissegundos. No caso de 3 ou mais CCMs esperadas não atingirem o MEP de destino, o sistema assume a ocorrência de uma falha e a situação pode ser reportada em menos de 10 milissegundos. A mensagem de falha é processada e uma instrução pode ser enviada ao LSR selecionado para comutar a um LSP de proteção em um tempo inferior a 50 milissegundos.

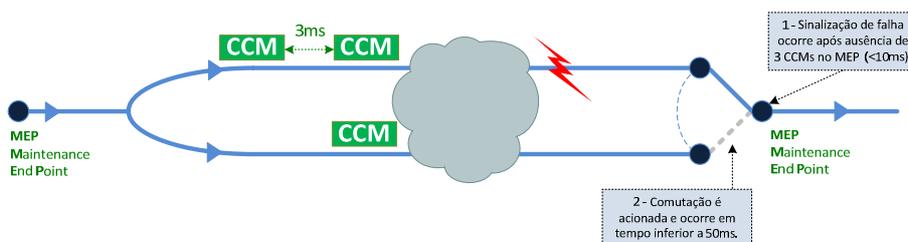


FIGURA 11 – Verificação de Continuidade através do CCM

## 6.0 - ESTRATÉGIA DE MIGRAÇÃO

Com a adição das funcionalidades clássicas de redes orientadas a circuitos, que tornaram o MPLS-TP uma solução resiliente e orientada às necessidades de redes de missão crítica, existe uma tendência a nível mundial de empresas do setor elétrico migrarem suas redes legadas SDH para a tecnologia MPLS-TP. O processo de migração pode ser gradual, conforme apresentado na Figura 12 a seguir:

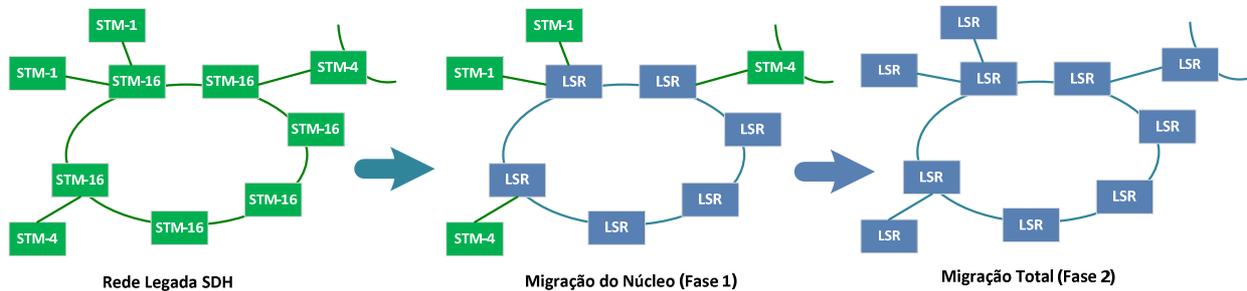


FIGURA 12 – Estratégia de Migração para MPLS-TP

A migração do núcleo em um primeiro momento visa melhorar a eficiência na área mais crítica da rede, maximizando os benefícios obtidos pela aplicação do MPLS-TP. Em uma segunda fase, a migração dos sistemas periféricos proporcionará a uniformização da plataforma de rede e otimização dos processos de gestão da rede.

## 7.0 - CONCLUSÃO

Uma das fortes vantagens do MPLS-TP em comparação com os sistemas legados refere-se ao seu custo de CAPEX. Os dispositivos são mais baratos e mais simples, pois não demandam toda a complexidade envolvida no roteamento e, conseqüentemente, requerem menos treinamento e tempo de provisionamento. A eficiência energética também é maior, o que reduz os recursos e espaço necessários para os sistemas de alimentação. A natureza determinística da tecnologia proporciona melhor otimização do uso da largura de banda em redes de missão crítica. O MPLS-TP também é uma tecnologia altamente escalável, sendo este um fator preponderante para sua adoção considerando-se os altos custos de escalabilidade das tecnologias legadas SDH.

Do ponto de vista do OPEX, também há economias significativas com o uso do MPLS-TP. Os dispositivos são mais recentes e não há necessidade imediata de gerenciar o fim de vida útil, existindo também maior disponibilidade de peças de reposição no mercado. Outra vantagem é o conceito de multiprotocolo da tecnologia, o que permite o transporte de todos os serviços e protocolos específicos de redes industriais, ampliando a usabilidade da rede e facilitando o seu controle através da unificação das plataformas. Os conhecimentos para operação e manutenção dos diversos sistemas também se limitarão a apenas uma plataforma com o MPLS-TP, simplificando os processos e reduzindo custos nestas áreas.

Portanto, o MPLS-TP é uma opção segura, confiável e comprovada em campo para a substituição dos sistemas SDH legados das empresas de energia elétrica, oferecendo benefícios significativos em redução de custos de migração e operação, consolidação dos diversos serviços em uma plataforma integrada, uniformização do controle da rede, e um horizonte promissor para suporte às aplicações atuais e futuras.

## 8.0 - BIBLIOGRAFIA

- (1) MATI EPSTEIN. Selecting a Packet Network for Power Utility Mission-Critical Traffic; RAD. <http://www.rad.com/12/33562/>
- (2) CISCO. Understanding MPLS-TP and Its Benefits; CISCO. [http://www.cisco.com/en/US/technologies/tk436/tk428/white\\_paper\\_c11-562013.html](http://www.cisco.com/en/US/technologies/tk436/tk428/white_paper_c11-562013.html)
- (3) ECI TELECOM. MPLS-TP and IP/MPLS; ECI TELECON. Inglaterra. <https://www.ecitele.com/CampaignDocuments/MPLS-TP-IP-MPLS.pdf>
- (4) JOHN COLLISON. KEYMILE. Key Tutorial Introduction to MPLS Technology. <https://www.youtube.com/watch?v=U1w-b9Glt0k>
- (5) JOHN COLLISON. KEYMILE. Key Tutorial MPLS Technology II MPLS-TP, Protection, OAM and beyond. <https://www.youtube.com/watch?v=Hb48e3dPcvk>

## 9.0 - DADOS BIOGRÁFICOS



**Eduardo Camargo Langrafe**, nascido na cidade de São Paulo em 1977, formou-se em Engenharia de Computação pela Universidade Paulista em 1999. Trabalhou no desenvolvimento de negócios referentes a redes ópticas submarinas na NEC Corporation em Tóquio/Japão e em projetos de soluções de redes de dados e voz para operadoras de telecomunicações e empresas de energia, durante nove anos na empresa NEC do Brasil. Juntou-se ao quadro de consultores da Netcon Ltda. em 2010 para desenvolvimento do Plano Diretor de Telecomunicações da Chesf. Atualmente, gerencia a unidade da empresa no Rio de Janeiro e é responsável pelo desenvolvimento de negócios de consultoria e implantação de sistemas para gestão de inventário de redes de telecomunicações. O engenheiro Eduardo possui renomadas certificações na área de telecomunicações e concluirá em 2015, o curso de MBA em Gestão Estratégica da Tecnologia da Informação na Fundação Getúlio Vargas.



**Eduardo Vasconcelos Lopes**, Engenheiro Eletrônico, formado pela Universidade Federal da Paraíba (UFPB) em 1979. Obteve título de MSc em *Digital Signal Processing* pelo *Imperial College of Science, Technology and Medicine* da *Univerty of London* em 1994. Durante sua vida profissional trabalhou na Siemens S.A., Universidade Federal do Maranhão (UFMA), Themag Engenharia Ltda. e CHESF. Desde 1999 é Diretor da Netcon Ltda., onde desenvolve atividades de consultoria na área de telecomunicações para empresas com missão crítica.



**Cristiano Henrique Ferraz**, Engenheiro de Telecomunicações formado pela Universidade Federal Fluminense em 1978. Atuou como engenheiro de desenvolvimento na sede da Wandel & Goltermann (Alemanha) até 1985, e a suas atividades técnico-docentes acrescentou a posição de gerente regional para a área norte da América Latina no período de 1986-1989. Desde maio de 2010, atua como consultor sênior da empresa Netcon Ltda – Engineering Excellence, presente no Brasil e nos demais países da América Latina. A Netcon é dedicada a soluções de engenharia e consultoria sobre as mais recentes tecnologias utilizadas em telecomunicações e sobre a operação comercial de serviços de telecomunicações. O engenheiro Ferraz tem atuado como professor convidado dos cursos de pós-graduação e MBA em telecomunicações e extensão de várias universidades latino-americanas. Entre outras atividades, atuou como consultor junto à Petrobras e à Chesf, e criou e ministrou cursos de atualização para várias empresas do continente. Em tempos recentes, o engenheiro Ferraz vem-se dedicando, principalmente, às novas tecnologias de redes ópticas e à estruturação da operação comercial de serviços de telecomunicações para utilities. Ele é coautor de livros sobre Ethernet e Carrier Ethernet a serem publicados em breve no Brasil pela Editora Ciência Moderna.