

TUTORIAL Nº 4

Roteamento no GMPLS

1 – OBJETIVO

Este tutorial representa o prosseguimento dos tutoriais anteriores da presente série, cujo propósito global é apresentar o GMPLS em toda a sua abrangência.

O objetivo deste tutorial é abordar especificamente o processo de roteamento no GMPLS, que, como mencionamos nos tutoriais anteriores, tem como referência os protocolos GMPLS OSPF-TE e GMPLS ISIS-TE.

2 – INTRODUÇÃO

No tutorial Nº 2 anterior, onde consideramos o plano de controle do MPLS-TE como a base para a definição do GMPLS, apresentamos, juntamente com a sinalização, o processo de roteamento no MPLS-TE.

Abordamos o protocolo OSPF-TE, tanto para o caso de rede IPv4 quanto para o caso de rede IPv6, como rede de controle do GMPLS.

Da mesma forma, abordamos também o protocolo ISIS-TE, ainda para o caso de IPv4 e de IPv6.

O GMPLS iniciou com a emissão da RFC 3945 (*Generalized Multiprotocol Label Switching (GMPLS) Architecture*).

Para uma visão conceitual abrangente do roteamento no GMPLS, o IETF emitiu a RFC 4202 (*Routing Extension in Support of Generalized Multiprotocol Label Switching (GMPLS)*).

É importante observar que os atributos aplicáveis ao roteamento no GMPLS, assim como na sinalização no GMPLS, foram definidos sucessivamente na cadeia das RFCs mencionadas no próximo item, de forma cumulativa. Dessa forma, é fundamental que aqueles que pretendem aprender realmente o GMPLS conheça toda a cadeia de padrões.

A série de tutoriais ora apresentados progressivamente no meu website no portal WirelessBrasil, tem como objetivo proporcionar aos leitores uma primeira visão abrangente do GMPLS. Os interessados podem aprofundar os conhecimentos ali adquiridos consultando as RFCs, livros e textos disponíveis na Internet

2.1-Roteamento no GMPLS com Base no OSPF

Para o caso de roteamento no MPLS-TE com base no OSPF em redes IPv4, foi definido o protocolo OSPFv2 TE, ou OSPF-TE Versão 2, pela emissão da RFC 3630 (*Traffic Engineering (TE) Extensions to OSPF Version 2*).

No outro caso de roteamento no MPLS-TE com base no OSPF, agora em redes IPv6, o protocolo de roteamento definido foi denominado OSPFv3 TE, ou OSPF-TE Versão 3, especificada na RFC 5329 (*Traffic (Engineering) Extensions to OSPF Version 3*).

A RFC 7471 (*OSPF Traffic Engineering (TE) Metric Extensions*) define extensões para métricas de desempenho tanto para o protocolo OSPF-TE Versão 2 (IPv4) quanto para o protocolo OSPF-TE Versão 3 (IPv6).

Para o roteamento no GMPLS com suporte em uma extensão do OSPF-TE Versão 2 (RFC 3630), foi emitida a RFC 4203 (*OSPF Extensions in Support of Generalized Multiprotocol Label Switching*), que diz respeito a redes de controle do GMPLS utilizando o IPv4.

Não encontramos padrões do IETF relativos ao roteamento no GMPLS com rede de controle IPv6, que representariam extensões da RFC 5329.

O protocolo definido na RFC 4203 é denominado GMPLS OSPF-TE Versão 2, ou simplesmente GMPLS OSPF-TE.

Foram definidas algumas extensões ou mesmo alterações da RFC 4203, particularmente através da RFC 6001 (*Generalized MPLS (GMPLS) Protocol Extensions for Multi-Layer and Multi-Region Networks MLS/MLN*), da RFC 6002 (*Generalized MPLS (GMPLS) Data Channel Switching Capable (DCSC) and Channel Set Label Extensions*) e da RFC 7074 (*Revised Definition of the GMPLS Switching Capability and Type Fields*).

2.2 – Roteamento no GMPLS com Base no IS-IS

Para o roteamento no MPLS-TE em redes IPv4 com suporte em uma extensão do protocolo IS-IS, foi emitida a RFC 5305 (*IS-IS Extensions for Traffic Engineering*). O protocolo definido na RFC 5305 denominou-se ISIS-TE para IPv4.

Como no caso do OSPF-TE, foi especificada uma versão do ISIS-TE para a hipótese de redes IPv6, pela RFC 6119 (*IPv6 Traffic Engineering in IS-IS*). O protocolo assim definido foi denominado ISIS-TE para IPv6.

Foi então especificada uma extensão exclusivamente para a RFC 5305, definindo um conjunto de métricas de desempenho para o ISIS-TE para IPv4, por meio da RFC 7810 (*IS-IS Traffic Engineering (TE) Metric Extensions*).

Como ocorreu para o roteamento no GMPLS com base em extensões do OSPF, o roteamento no GMPLS com base em extensões do IS-IS limitou-se às redes IPv4 até o momento.

A RFC 5307 (*IS-IS Extensions in Support of Generalized Multiprotocol Label Switching (GMPLS)*) criou então o protocolo GMPLS ISIS-TE para IPv4, mas referido simplesmente como protocolo GMPLS ISIS-TE.

As extensões ao GMPLS OSPF-TE proporcionadas pelas RFCs 6001, 6002 e 7074, são também aplicáveis ao GMPLS ISIS-TE.

3 – RFC 4202

Como vimos anteriormente em nossos tutoriais, o plano de controle, e consequentemente o roteamento, no MPLS-TE, representam a base para o GMPLS.

Para o roteamento no GMPLS foi emitida inicialmente a RFC 4202, definindo conceitos aplicáveis tanto para roteamento com base no OSPF (protocolo GMPLS OSPF-TE) quanto para roteamento com base no IS-IS (protocolo GMPLS ISIS-TE).

A RFC 4202 especifica extensões aplicáveis sobre o roteamento no MPLS-TE, para o suporte da transmissão de informações de estado de links no GMPLS.

Como sabemos, o protocolo GMPLS OSPF-TE e o protocolo GMPLS ISIS-TE foram definidos respectivamente na RFC 4203 e na RFC 5307, sendo que essas duas RFCs foram atualizadas em comum por outras RFCs.

A RFC 4202, principal objeto do presente ítem, engloba aprimoramentos nos seguintes aspectos:

- Suporte a Links não Numerados (*Unnumbered Links*);
- Tipos de Proteção de Link;
- *Shared Risk Link Group* (SRLG);
- *Interface Switching Capability Descriptor* (ISCD);
- Codificação de Banda (*Bandwidth Encoding*).

Abordaremos cada um desses aspectos com base na RFC 4202, eventualmente já considerando suas extensões, sendo que ao final de cada abordagem acrescentaremos algumas especificidades das RFC 4203, e eventualmente da RFC 5307. Isso significa que estamos priorizando a abordagem do protocolo GMPLS OSPF-TE, que servirá de base para facilitar ao leitor o aprofundamento no protocolo GMPLS ISIS-TE se assim o desejar.

Por essa razão, faremos uma breve recapitulação de alguns aspectos fundamentais do OSPF-TE Versão 2 antes de iniciarmos a apresentação do roteamento no GMPLS.

No final, abordaremos genericamente o sub-TLV *Interface Adjustment Capability Descriptor* (IACD), definido na RFC 6001, para redes *Multi-Region* (MRN).

Voltamos a orientar o leitor, neste ponto, para que revejam cuidadosamente nossos tutoriais nº 2 e nº 3 para o melhor entendimento do presente conteúdo.

4 – Breve Recapitulação do OSPF-TE Versão 2

Como vimos no nosso tutorial nº 2, o OSPF-TE Versão 2 foi especificado na RFC 3630, com revisões da RFC 7471 para a inclusão de sub-TLVs concernentes a métricas de desempenho.

O OSPF-TE Versão 2 opera com base na distribuição indiscriminada de LSAs opacas do tipo 1, denominadas TE LSAs opacas, ou simplesmente TE LSAs, que pertencem ao tipo 10 no contexto geral das LSAs opacas. O tipo 10 de LSA opaca opera no interior de uma Área OSPF, enquanto o tipo 9 opera em um único link e o tipo 11 opera no interior de um Sistema Autônomo.

O mesmo ocorre com o GMPLS OSPF-TE, com o mesmo formato de cabeçalho de TE LSAs e utilizando também o conjunto de sub-TLVs do OSPF-TE Versão 2. Os sub-TLVs

herdados do OSPF-TE Versão, assim como os novos sub-TLVs definidos para o GMPLS, são pertinentes ao *top-level TLV* denominado *Link TLV*(tipo 2) das TE LSAs.

A Figura 1 exibe o formato do cabeçalho das TE LSAs, também utilizado para o GMPLS OSPF-TE.

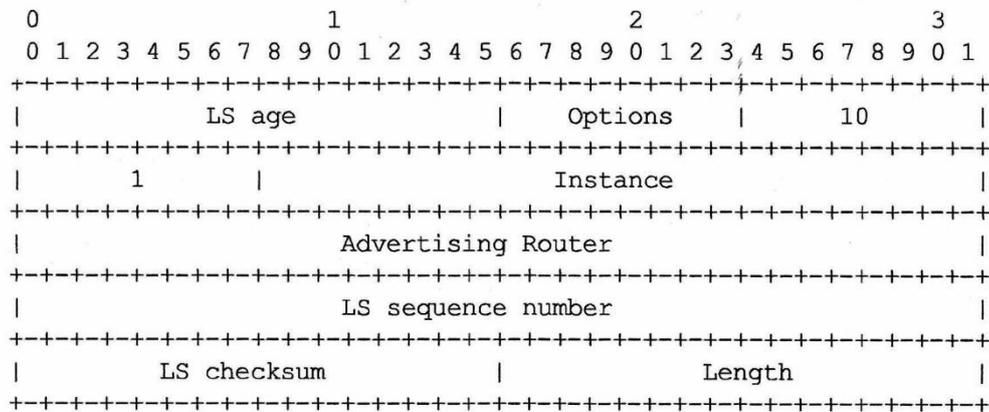


Figura 1 – Formato do cabeçalho de TE LSAs.

Os significados dos campos dessa figura podem ser vistos no nosso tutorial Nº 2.

A SDU (payload) das TE LSPs, situada abaixo dessa figura, é constituída pelo cabeçalho de um *top-level TLV* (o *Link TLV*, no caso) seguido pela sucessão de sub-TLVs utilizados. Não é especificada uma ordem para o posicionamento dos sub-TLVs nessa SDU.

Apresentaremos adiante a relação completa de sub-TLVs utilizados no GMPLS OSPF-TT, juntamente com a indicação dos tipos dos sub-TLVs onde estão explicitados os sub-TLVs definidos na RFC 3630.

,Na relação completa acima mencionada, apresentaremos também a relação de sub-TLVs relativos a métricas de desempenho, definidos nas RFC7471 e RFC7810, aplicáveis aos protocolos OSPF-TE Versão 2 e OSPF-TE Versão 3 (RFC 7471), assim como para ISIS-TE para IPv4 (RFC 7810), e que foram estendidos para os protocolos GMPLS OSPF-TE e GMPLS ISIS-TE.

5 – Novos Sub-TLVs para o GMPLS

A RFC 4203 (GMPLS OSPF-TE) e a RFC 5307 (GMPLS ISIS-TE) definiram o mesmo conjunto de quatro novos sub-TLVs, cuja relação para o GMPLS OSPF-TE se encontra na Figura 2.

Sub-TLV Type	Length	Name
11	8	Link Local/Remote Identifiers
14	4	Link Protection Type
15	variable	Interface Switching Capability Descriptor
16	variable	Shared Risk Link Group

Figura 2 – Relação de sub-TLVs definidos na RFC 4203 e RFC 5307.

Essa mesma relação aplica-se para o GMPLS ISIS-TE, mudando-se a sequência dos valores de tipo de sub-TLV para [4,20,21,138] e o comprimento do sub-TLV *Link protection Type* de 4 para 2.

Adicionalmente, a RFC 5330 especificou o sub-TLV *Unconstrained TE LSP Count*, enquanto a RFC 6001 especificou o sub-TLV *Interface AdjustmentCapability Descriptor* (IACD), ambos aplicáveis tanto ao GMPLS OSPF-TE quanto ao GMPLS ISIS-TE.

6 – RELAÇÃO COMPLETA DE SUB-TLVs NO GMPLS OSPF-TE

Considerando-se o item anterior, o GMPLS OSPF-TE passou a contar com os sub-TLVs da RFC 3630 e da RFC 7471, acrescidos dos sub-TLVs definidos nas RFC 4203 e RFC 6001, como mostra a figura 3.

TIPO	SUB-TLVs	OCTETOS
1	<i>Link Type</i>	1
2	<i>Link ID</i>	4
3	<i>Local Interface IP Address</i>	4
4	<i>Remote Interface IP Address</i>	4
5	<i>Traffic Engineering Metric</i>	4
6	<i>Maximum Bandwidth</i>	4
7	<i>Maximum Reservable Bandwidth</i>	4
8	<i>Unreserved Bandwidth</i>	4
9	<i>Administrative Group</i>	4
11	<i>Link Local/Remote Identifiers</i>	8
14	<i>Link Protection Type</i>	4
15	<i>Interface Switching Capability Descriptor (ISCD)</i>	Variável
16	<i>Shared Risk Link Group (SRLG)</i>	Variável
25	<i>Interface Adjustment Capability Descriptor (IACD)</i>	Variável

Figura 3 – Relação completa de sub-TLVs para o GMPLS OSPF-TE.

Os significados dos sub-TLVs relativos à RFC 3630 encontram-se em nosso tutorial Nº 2.

Pode-se chegar à relação completa de sub-TLVs para o GMPLS ISIS-TE seguindo o mesmo caminho, partindo-se, contudo, da relação de sub-TLVs definidos na RFC 5307 ao invés da relação de sub-TLVs definidos na RFC 3630, e considerando a RFC 7478 ao invés da RFC 7471.

7 – DEFINIÇÃO DE SUB-TLVs NAS RFCs 4203 e 5307

Os sub-TLVs definidos nas RFC 4203 e RFC 5307, para o roteamento no GMPLS OSPF-TE e para o roteamento no GMPLS ISIS-TE, respectivamente, têm como suporte o que foi estabelecido nas RFC 4202 e RFC 7074.

7.1–Suporte a Links não Numerados

Como vimos na abordagem de links não numerados com base na RFC 3477 no nosso tutorial nº3, existem links não identificados por endereços IP. Para tais links, necessariamente links ponto a ponto, referidos como links não numerados, são definidos identificadores próprios por cada um dos dois LSRs nos extremos do link.

A identificação de links não numerados é utilizada no GMPLS, o que justifica o seu realce na RFC 4202 e demais RFCs do GMPLS pertinentes. Na realidade, a aplicação da RFC 3477 retroage para o roteamento no MPLS-TE.

Os identificadores de links não numerados são números inteiros positivos com 32 bits, que são únicos no LSR que os atribui.

Na perspectiva do LSR que atribui um identificador, esse identificador representa o identificador local de link, ou simplesmente identificador local (*local identifier*). Para o outro LSR, esse identificador é identificador remoto (*remote identifier*). Como isso ocorre nos dois LSRs, resulta que cada LSR possui um identificador local e um identificador remoto.

O suporte a links não numerados em roteamento (no MPLS-TE e no GMPLS) engloba o transporte de informações sobre os identificadores desses links. Especificamente, quando um LSR divulga um link não numerado, essa divulgação inclui o identificador local e o identificador remoto desse link.

Caso o LSR divulgador desconheça o identificador remoto do link, o LSR deveria usar o valor 0 como identificador remoto.

A RFC 4203 especificou a transmissão, por um LSR, de algumas informações de TE próprias para os LSRs vizinhos, sendo que a única informação hoje transmitida é justamente o seu identificador local dos links não numerados que terminam no LSR. Dessa forma, os LSR, vizinhos tomam conhecimento dos identificadores remotos desses links.

A RFC 5307 não especificou essa facilidade para links não numerados em redes utilizando o ISIS-TE.

7.1.1 – Links não Numerados nas RFCs 4203 e 5307

Para o tratamento de links não numerados, tanto a RFC 4203 quanto a RFC 5307 definiram o sub-TLV *Link Local / Remote Identifiers*, pertencente ao *Link TLV* (RFC 4203) ou ao *Extended IS Reachability TLV* (RFC 5307), para que os LSRs possam intercambiar esses identificadores entre si, em TE LSAs (RFC 4203) ou em TE LSPs (RFC 5307).

O tipo de sub-TLV desse sub-TLV é igual a 11 no GMPLS OSPF-TE e igual a 4 no GMPLS ISIS-TE.

O formato do campo valor desse sub-TLV, para ambos os protocolos, é muito simples, constando apenas dos valores do identificador local do link definido pelo LSR transmissor e do identificador remoto caso o LSR transmissor o conheça, como mostra a Figura 4.

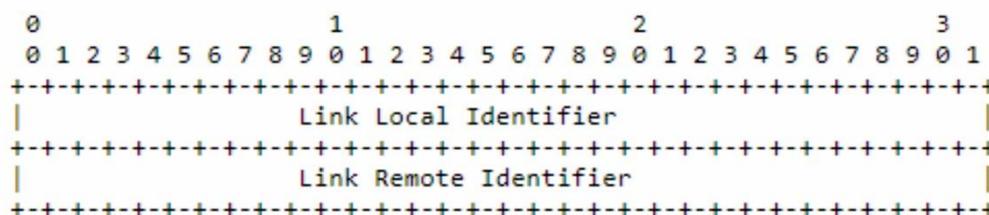


Figura 4 – Formato do campo valor do sub-TLV Link Local /Link Remote.

Como mencionamos anteriormente neste tutorial, se o LSR desconhecer o valor do identificador remoto para um determinado link, ele deveria utilizar o valor 0.

A RFC 4203 criou uma metodologia para permitir que os LSRs intercambiem informações de TE referentes aos links que os conectam. Conforme a própria RFC 4203, no momento essa metodologia é aplicada apenas para o intercâmbio de identificadores locais entre LSRs.

Por se tratar de comunicação em um link separadamente, foi criada uma nova TE LSA do tipo 9 especificamente para o intercâmbio de identificadores locais de links não numerados, referida como *TE Link Local LSA*. Por se tratar de uma TE LSA, o *opaque type* dessa LSA é igual a 1. O seu *opaque ID* é igual a 0.

O payload da TE Link Local LSA é constituído apenas pelo *Link Local Identifier TLV*, cujo tipo de TLV igual 1, o comprimento igual a 4 (octetos) e o valor utiliza 32 bits.

7.2 – Tipo de Proteção de Link

A definição e utilização dos tipos de proteção de link representa a capacidade de proteção proporcionada a um link. É desejável que essa informação seja transportada pelo roteamento para que possa ser utilizada pelo algoritmo de cálculo de rotas (PCE), para possibilitar o estabelecimento de LSPs com características de proteção apropriadas.

A divulgação do tipo de proteção de um link é opcional. Não havendo divulgação, o Tipo de Proteção de Link é desconhecido.

Encontram-se abaixo representados os tipos de proteção de link especificados na RFC 4202, no sentido da proteção mais baixa para a proteção mais alta:

- **Extra Tráfego:** Um link do tipo extra tráfego é um link operacional que protege um ou mais outros links (1:N, onde 1 representa o link protetor extra tráfego). Se qualquer um dos links protegidos falha, o link extra tráfego passa a cursar o seu tráfego, sendo interrompida a operação dos LSPs que utilizam o link extra tráfego;

- **Desprotegido (*unprotected*):** É um link que não é protegido por qualquer outro link. Se um link desprotegido falha, os LSPs que o utilizam são interrompidos;

- **Compartilhado (*shared*):** Links do tipo compartilhado são links que, unitariamente ou em grupo, são protegidos por um ou mais links do tipo extra tráfego em rotas diferentes (*disjoint links*).

Esse tipo de proteção pode ser também indicado como N:M, onde M representa o número de links compartilhados protegidos por N links extra tráfego, sendo N e M valores inteiros positivos. Quando existem dois ou mais links compartilhados, para cada um deles é informada essa condição pelo protocolo de roteamento;

- **Dedicado 1:1:** Um link é do tipo dedicado 1:1 quando esse link é protegido por um único outro link do tipo extra tráfego em rota diferente (*disjoint link*).

O link dedicado 1:1 é o link representado pelo segundo 1, sendo ele o objeto da divulgação;

- **Dedicado 1+1:** Um link é do tipo dedicado 1+1 quando esse link é protegido por um único outro link em rota diferente (*disjoint link*), contudo não sendo o link protetor um link do tipo extra tráfego. Isso significa que esse link protetor não é divulgado no roteamento, sendo um link exclusivamente destinado à função de proteção.

O link dedicado 1+1 é o link representado em segundo lugar, sendo ele o objeto da divulgação;

- **Aprimorado (*enhanced*):** Um link é do tipo aprimorado é um link protegido por um esquema de proteção exclusivo mais confiável que o dedicado 1+1. Um exemplo protegido com exclusividade por duas ou mais fibras ópticas.

7.2.1 – Tipos de Proteção de Link nas RFC 4203 e RFC 5307

A RFC 4203 e a RFC 5307 especificaram o novo sub-TLV *Link Protection Type*, pertencente ao *Link TLV* (RFC 4203) ou ao *Extended IS Reachability TLV* (RFC 5307).

No GMPLS OSPF-TE esse sub-TLV é do tipo 14 e o seu comprimento é de quatro octetos, enquanto no GMPLS ISIS-TE é do tipo 20 e o comprimento de dois octetos.

A Figura 5 apresenta o formato do campo valor do sub-TLV *Link Protection Type* na RFC 4203.

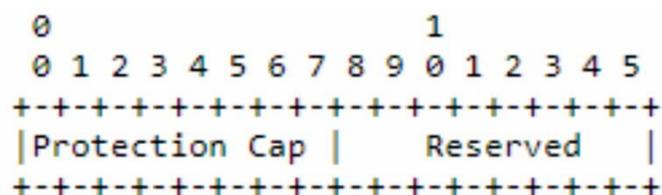


Figura 5 – Formato do campo valor do sub-TLV *Link Protection Type* na RFC 4203.

Na RFC 5307 o formato é o mesmo, mas o campo reservado ocupa apenas dois octetos.

Em ambos os casos, os possíveis valores do campo *Protection Cap(ProtectionCapability)*, que são os tipos de proteção de link, encontram-se na Figura 6, com os respectivos códigos identificadores.

0x01	Extra Traffic
0x02	Unprotected
0x04	Shared
0x08	Dedicated 1:1
0x10	Dedicated 1+1
0x20	Enhanced
0x40	Reserved
0x80	Reserved

Figura 6– Tipos de Proteção de Link com identificadores (RFC 4203 e RFC 5307).

7.3 – Shared Risk Link Group (SRLG)

Em determinadas circunstâncias, quando se constitui um novo LSP é necessário que não venha a existir recursos de rede compartilhados por esse LSP com outro ou com outros LSPs existentes. O principal exemplo é a constituição de um LSP backup para LSPs existentes.

Os sub-TLVs SRLG têm como propósito operar como um mecanismo para a evitar o fato acima descrito.

De início, roda na rede um algoritmo que identifica subconjuntos de possíveis LSPs compartilhando um determinado recurso da rede (links e nós). A cada um desses subconjuntos é atribuído um valor de SRLG (SRLG 14, por exemplo), sendo esse valor configurado em cada um dos links que compõem os LSPs do subconjunto.

Dessa forma, um link pode pertencer a múltiplos SRLGs. A informação enviada pelo roteamento é uma relação não ordenada de SRLGs a que o link divulgado pertença. Um SRLG é identificado por um número inteiro positivo com 32 bits que é único no domínio IGP.

O que se objetiva é evitar a constituição do novo LSP possuindo o mesmo LSRG que um ou mais LSPs já existentes.

A informação de SRLGs é opcional, e se o roteamento não transportar essa informação o SRLG do link é considerado desconhecido, podendo o link participar de qualquer LSP do ponto de vista desse aspecto.

7.3.1 – SRLG nas RFC 4203 e RFC 5307

A RFC 4203 definiu o sub-TLV SRLG, com o tipo 16 e comprimento variável de acordo com a lista de SRLGs divulgados para o link.

A Figura 7 apresenta o formato do campo valor do sub-TLV SRLG no GMPLS OSPF-TE.

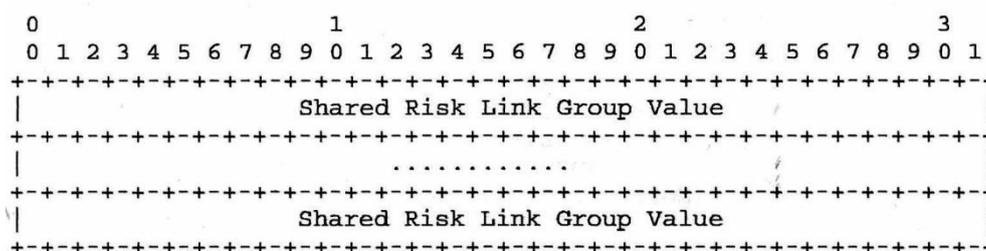


Figura 7 – Formato do campo valor do sub-TLV SRLG na RFC 4203.

O sub-TLV SRLG pode ocorrer no máximo uma vez no *Link TLV*.

A RFC 5307, diferentemente, definiu o atributo SRLG em nível de TLV para o GMPLS ISIS-TE, com o tipo 138 e tamanho variável de acordo com a lista de SRLGs divulgadas para o link. O campo valor desse TLV possui alguns campos em complemento aos valores identificadores de SRLG.

7.4 – Interface Switching Capability Descriptor (ISCD)

Um link é conectado a um nó por uma interface. No contexto do GMPLS, as interfaces podem possuir alternativamente diferentes capacidades de comutação (*switching capabilities*), referidas também como tipos de comutação (*switching types*), como por exemplo a capacidade para comutar sinais de dados, time slots SDH, lambdas, etc.

Diferentes Interfaces em um mesmo nó podem possuir diferentes capacidades de comutação.

Em determinadas circunstâncias, uma interface de um link em um nó pode mesmo possuir múltiplas capacidades de comutação ao mesmo tempo. Por exemplo, um link de fibra óptica que penetra em uma interface e é demultiplexado nos lambdas nele contidos está sujeito a duas possibilidades de comutação.

Uma dessas possibilidades é que um ou mais lambdas sejam comutados diretamente, sendo os seus sinais transmitidos em outro lambda de outra fibra óptica, caracterizando uma comutação de lambdas.

A outra possibilidade é, por exemplo, que um dos lambdas seja demultiplexado nos canais TDM nele contidos, ocorrendo então a comutação de canais TDM demultiplexados, tudo isso se passando no interior do mesmo LSR GMPLS. Isso caracteriza uma comutação de canais TDM.

Para suportar a multiplicidade de capacidades de comutação em uma interface, a mensagem de divulgação de roteamento (LSAs ou LSPs) uma lista dos tipos de comutação.

As LSAs e os LSPs devem transportar juntamente com o tipo de comutação na interface do link reportado no nó divulgador, também a codificação dos sinais transmitidos nesse link.

Foram especificados, nas RFC 4203 e 5307, sub-TLVs com o propósito de divulgar a(s) capacidade(s) de comutação e a codificação dos sinais transmitidos em um TE link no GMPLS, como veremos em próximos subitens deste tutorial.

7.4.1 – RFC 4202 e RFC 7074

7.4.1.1 – Capacidades de Comutação (Switching Capabilities)

A RFC 4202 definiu a relação inicial de capacidades de comutação (*Switching Cap*) expostas na figura 8.

Packet-Switch Capable-1	(PSC-1)
Packet-Switch Capable-2	(PSC-2)
Packet-Switch Capable-3	(PSC-3)
Packet-Switch Capable-4	(PSC-4)
Layer-2 Switch Capable	(L2SC)
Time-Division-Multiplex Capable	(TDM)
Lambda-Switch Capable	(LSC)
Fiber-Switch Capable	(FSC)

Figura 8 – Relação inicial de capacidades de comutação (RFC 4202).

As capacidades de comutação PSC-2, PSC-3 e PSC-4 dessa relação não foram utilizadas, razão pela qual a RFC 7074 (*Revised Definition of the GMPLS Switching Capability and Type Fields*) as eliminou.

A RFC 7074, considerando também as capacidades de comutação definidas nas RFC 6002, 6004 e 6060, estabeleceu a relação de capacidades de roteamento apresentada na Figura 9, hoje vigente.

Value	Name	Reference
0	Unassigned	
1	Packet-Switch Capable-1 (PSC-1)	[RFC3471]
2	Deprecated	[This Document]
3	Deprecated	[This Document]
4	Deprecated	[This Document]
5-29	Unassigned	
30	Ethernet Virtual Private Line (EVPL)	[RFC6004]
31-39	Unassigned	
40	802_1 PBB-TE	[RFC6060]
41-50	Unassigned	
51	Layer-2 Switch Capable (L2SC)	[RFC3471]
52-99	Unassigned	
100	Time-Division-Multiplex Capable (TDM)	[RFC3471]
101-124	Unassigned	
125	Data Channel Switching Capable (DCSC)	[RFC6002]
126-149	Unassigned	
150	Lambda-Switch Capable (LSC)	[RFC3471]
151-199	Unassigned	
200	Fiber-Switch Capable (FSC)	[RFC3471]
201-255	Unassigned	

Figura 9—Relação atual de capacidades de comutação (RFC 7074).

A RFC 7074, adicionalmente, estendeu o uso da expressão tipo de comutação (*switching type*) utilizado na RFC 3471 para sinalização, também para o roteamento, significando o valor contido no campo *Switching Cap*.

Vamos agora apresentar os significados dos principais tipos de comutação da relação da última figura.

+ Packet- Switch Capable do Tipo 1 (PSC-1)

Se uma interface é do PSC-1 (o único tipo de PSC que restou), com o valor de tipo igual a 1, isso significa que o nó que recebe os dados pode comutar os quadros recebidos com base em um label contido em um cabeçalho sobreposto (*shim header*) ao cabeçalho de camada 2.

A capacidade de comutação PSC-1 foi definida na RFC 3471.

Um importante exemplo é uma interface associada a um link terminando em um LSR MPLS comutando com base em labels genéricos.

+ Ethernet Virtual Private Line (EVPL)

O serviço Carrier Ethernet denominado Ethernet Virtual Private Line (EVPL), é um serviço ponto a ponto em que o acesso às UNIs ocorre no modo *VLAN-Based*, em que os valores de identificadores de VLAN (VLAN-IDs) são levados em consideração. Em consequência, pode ocorrer multiplexação de serviços (múltiplas EVCs em uma UNI) e/ou agrupamento (*Bundling*) de VLANs em uma EVC).

Em um serviço Ethernet Private Line (EPL), também ponto a ponto, ao contrário, o acesso às UNIs ocorre no modo *Port-Based*, em que os VLAN-IDs não são considerados. O único modo possível de operação é referido como *All-to-One Bundling*.

Para a interface de um LSP GMPLS em uma UNI Carrier Ethernet no serviço EVPL, a RFC 6004 (*Generalized MPLS (GMPLS) Support for Metro Ethernet Forum and G.8011 Ethernet Service Switching*) especificou a capacidade de comutação denominada *Ethernet Virtual Private Line (EVPL)*, cujo valor de tipo é igual a 30.

Para o serviço EPL, a RFC 6004 especificou aplicação da capacidade de comutação DCSD (*Data Channel Switching Capable*), definida na RFC 6002, que será abordada adiante neste subitem.

+ 802_1 PBB-TE

A RFC 6060 (*Generalized Multiprotocol Label Switching (GMPLS) Control of Ethernet Provider Backbone Traffic Engineering (PBB-TE)*) especificou a capacidade de comutação 802_1 PBB-TE, com o tipo 40, para o interfaceamento de LSPs GMPLS em PBB-TE bridges.

Em face do insucesso do serviço PBB-TE no mercado, e da conseqüente cessação de sua prestação, não consideraremos essa capacidade de comutação neste tutorial.

+ Layer-2 Switch Capable (L2SC)

Se uma interface é do tipo L2SC, com o valor de tipo igual a 51, isso significa que o nó que recebe dados nessa interface pode comutar os quadros recebidos com base nos próprios endereços de camada 2.

A capacidade de comutação L2SC foi definida na RFC 3471.

Um exemplo é a interface associada a um link terminando em um switch ATM.

+ Time-Division Multiplex Capable (TDM)

Se uma interface é do tipo TDM, com o valor de tipo igual a 100, isso significa que um nó que recebe dados nessa interface pode multiplexar ou demultiplexar canais em um payload SDH ou em um payload OTN.

A capacidade de comutação TDM foi definida na RFC 3471.

+ Data Channel Switching Capable (DCSC)

A RFC 6002 (*Generalized MPLS (GMPLS) Data Channel Switching Capable (DCSC) and Channel Set Label Extensions*) descreve duas extensões independentes de tecnologia para o GMPLS.

Uma dessas define o novo tipo de capacidade de comutação denominado *Data Channel Switching Capable* (DCSC), enquanto a outra extensão define o novo tipo de label generalizado denominado *Generalized Channel_set*.

A capacidade de comutação DCSC, cujo valor de tipo é igual a 125, tem como propósito a criação de uma interface de LSR baseada em porta, isto é, que é capaz de suportar o canal digital total presente em uma única interface. Em outras palavras, em um switch com interfaces DCSC, todos os dados recebidos em uma interface são comutados são comutados através da rede para a interface de saída.

+ Lambda-Switch Capable (LSC)

Se uma interface é do tipo LSC, cujo valor de tipo é igual a 150, isso significa que um nó que recebe dados nessa interface pode reconhecer e comutar comprimentos de onda (lambdas) individuais na interface. Uma interface que permite apenas um lambda por interface e comuta esse lambda, é do tipo LSC.

A capacidade de comutação LSC foi definida na RFC 3471.

+ Fiber-Switch Capable (FSC)

Se uma interface é do tipo FSC, cujo valor de tipo é igual a 200, isso significa que um nó que recebe dados nessa interface pode comutar a totalidade do conteúdo recebido para outra interface, sem a necessidade de distinguir lambdas, canais ou quadros.

Uma interface do tipo FSC comuta na granularidade da interface inteira, e não pode extrair lambdas individuais na interface, não podendo, portanto, restringir-se a um único lambda.

A capacidade de comutação FSC foi definida na RFC 3471.

7.4.1.2 – LSP Encoding Types

Além de conter a indicação do tipo de comutação utilizado na interface do link reportado no nó de saída, o ISCD deve informar o tipo de codificação dos dados que trafegam nesse link. Por exemplo, no caso de uma interface PSC de um link sainte de um LSR, sendo esse link um canal STM-16, devem ser informados a capacidade de comutação de interface PSC-1 e a codificação SDH ITU-T. G.707.

O tipo de codificação empregado em um link, vai se refletir no tipo de codificação a ser empregado nos LSPs a serem constituídos utilizando esse link. Assim, a relação de tipos de codificação em links é a mesma que a relação de *LSP Encoding Types* estabelecida na RFC 3471 para sinalização para o estabelecimento de LSPs no GMPLS.

A Figura 10 apresenta a relação, definida na RFC 3471, de tipos de codificação de dados em LSPs (*LSP encoding types*) utilizados na sinalização do GMPLS, aplicáveis também para os tipos de codificação em links utilizados no roteamento do GMPLS.

Valor	Tipo
1	Packet
2	Ethernet
3	ANSI/ETSI PDH
5	SDH ITU-T G.707/SONET ANSI T1.105
7	Digital Wrapper
8	Lambda (photonic)
9	Fiber
11	FiberChannel

Figura 10–Tipos de codificação de dados em LSPs e em links (RFC 3471).

Em termos de PDH, interessa-nos nessa figura, no Brasil, particularmente o tipo ETSI PDH. Um LSP E1 representa um exemplo do tipo ETSI PDH.

O tipo *digital wrapper* (envelopador digital) refere-se a um LSP entre terminais situados em sistemas de terminação OTN, onde ocorre o encapsulamento de quadros de dados de forma similar ao que ocorre em terminações SDH. A rigor, os quadros terminam nas interfaces das OTUs (*optical transport units*), utilizando velocidades de 10, 40 ou 100 Gbps.

O tipo *lambda (photonic)* refere-se a um LSP óptico que envolve um ou mais lambdas.

O tipo *fiber encoding* refere-se a um LSP óptico que engloba todo o sinal óptico sem envolvimento de lambdas.

7.4.2 – ISCD nas Recomendações 4203 e 5307

A RFC 4203 e a RFC 5307 definiram o sub-TLV *Interface Switching Capability Descriptor* (sub-TLV ISCD), tendo como base os termos da RFC 4202 e RFC 7074 apresentados no subitem anterior.

No caso da RFC 4203, referente ao protocolo GMPLS OSPF-TE, foi atribuído o tipo 15 para o sub-TLV ISCD, tendo o campo valor um tamanho variável.

Na RFC 5307, referente ao protocolo GMPLS ISIS-TE, foi atribuído o tipo 21 ao sub-TLV ISCD, tendo o seu campo valor também tamanho variável.

Em ambos os casos, o campo valor do sub-TLV ISCD tem o formato representado na Figura 11.

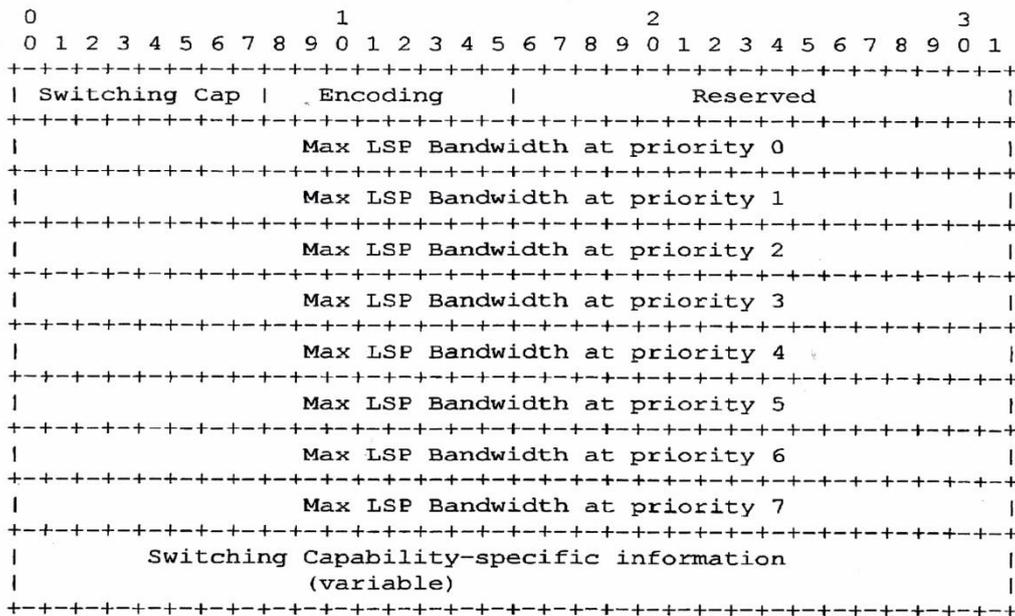


Figura 11–Formato do campo valor do sub-TLV ISCD.

Como se observa nessa figura, o sub-TLV ISCD transporta, além dos campos *Switching Cape Encoding*, ambos já apresentados com suficientes detalhes nos dois subitens anteriores, os valores de banda de LSP máxima (*max LSP bandwidth*) para todos os oito níveis de prioridades de preempção entre LSPs.

O campo valor do sub-TLV ISCD transporta também, no final, as informações específicas de capacidade de comutação (*switching capability specific information*). A natureza dessas informações depende do tipo de capacidade de comutação considerado.

Quando o valor do campo capacidade de comutação é PSC-1 ou TDM, o campo informações específicas de capacidade de comutação inclui um valor de banda mínima (em bytes por segundo), o que não ocorre nos demais casos.

No caso de PSC-1, além do valor de banda mínima, constam também o valor da MTU (*Maximum Transmission Unit*) na interface e um enchimento (*padding*) com bits 0 para fins de alinhamento do tamanho do quadro em quatro octetos.

A Figura 12 mostra o formato do campo informativo de banda mínima quando a capacidade de comutação é PSC-1.

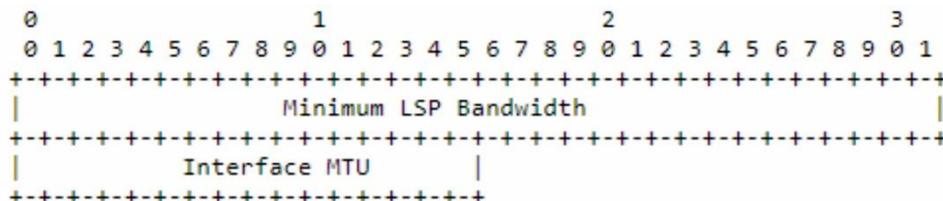


Figura 12 –Formato do campo informativo de banda mínima em PSC-1.

A diferença do caso de TDM é que o complemento ao valor de banda mínima consiste em um campo *Indication*, além do *padding*, como mostra a Figura 13.

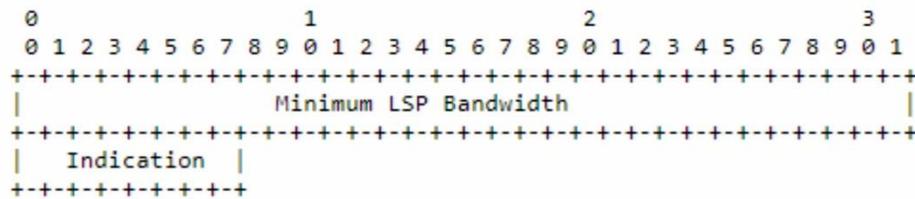


Figura 13 – Formato do campo informativo de banda mínima em TDM.

O valor *Indication* mostra se a interface suporta SONET/SDH padrão (*Standard*), com o valor 0, ou se suporta SONET/SDH arbitrário (*arbitrary*), com o valor 1. Como se observa na figura, o padding ocupa três octetos no caso de TDM.

7.4.2.1 –Valores de Banda de LSP Máxima

Os campos *max LSP bandwidth at priority p* (p de 0 a7) representam os valores de banda de LSP máxima que podem ser solicitados, por prioridade de preempção, na sinalização para constituir LSPs utilizando o link divulgador do sub-TLV ISCD

Os valores de banda de LSP máxima substituem os valores de banda de link máxima utilizados pelos protocolos OSPF-TE Versão 2 (RFC 3630) e ISIS-TE para IPv4 (RFC 5305).

A forma de codificação de banda (*bandwidth encoding*) e os valores divulgados dependem da natureza dos LSPs utilizados. Para LSPs de redes modo pacote, os campos podem assumir valores contínuos arbitrários dentro do limite da capacidade de transmissão do link divulgador. Ademais, esses valores podem ser distribuídos entre as prioridades.

Para LSPs de redes modo circuito, entretanto, os valores dos campos são discretos, de acordo com o tipo de sinal, e cada um desses valores só pode ser atribuído para uma dada prioridade.

Alguns valores discretos típicos de banda máxima para LSPs encontram-se relacionados na Figura14, onde constam os tipos de sinal, as velocidades e os correspondentes valores.

Signal Type	(Bit-rate)	Value (Bytes/Sec) (IEEE Floating point)
DS0	(0.064 Mbps)	0x45FA0000
DS1	(1.544 Mbps)	0x483C7A00
E1	(2.048 Mbps)	0x487A0000
DS2	(6.312 Mbps)	0x4940A080
E2	(8.448 Mbps)	0x4980E800
Ethernet	(10.00 Mbps)	0x49989680
E3	(34.368 Mbps)	0x4A831A80
DS3	(44.736 Mbps)	0x4AAA7800
STS-1	(51.84 Mbps)	0x4AC5C100
Fast Ethernet	(100.00 Mbps)	0x4B3EBC20
E4	(139.264 Mbps)	0x4B84D000
FC-0 133M		0x4B7DAD68
OC-3/STM-1	(155.52 Mbps)	0x4B9450C0
FC-0 266M		0x4BFDAD68
FC-0 531M		0x4C7D3356
OC-12/STM-4	(622.08 Mbps)	0x4C9450C0
GigE	(1000.00 Mbps)	0x4CEE6B28
FC-0 1062M		0x4CFD3356
OC-48/STM-16	(2488.32 Mbps)	0x4D9450C0
OC-192/STM-64	(9953.28 Mbps)	0x4E9450C0
10GigE-LAN	(10000.00 Mbps)	0x4E9502F9
OC-768/STM-256	(39813.12 Mbps)	0x4F9450C0

Figura 14—Valores discretos típicos de banda máxima de LSPS (RFC 3471).

Ressaltamos que essa figura representa apenas uma tabela de referência, e não um campo de quadro, não sendo, portanto, objeto de transmissão na rede. Ela deve ser consultada quando for o caso.

7.4.2.2—Exemplos de ISCD

+ Interface STM-16 em um LSR (pacote)

O ISCD utiliza os seguintes parâmetros nesse exemplo:

- Capacidade de comutação na interface: PSC-1;
- Codificação: SDH ITU-T G.707;
- Banda de LSP máxima: STM-16, 2,48832 Gbps, para qualquer prioridade.

Em caso de múltiplos links com essa interface em ambos os extremos, devem ser utilizadas técnicas de *link bundling*.

+ Interface GigE (Gigabit Ethernet) em um LSR (pacote)

O ISCD utiliza os seguintes parâmetros nesse exemplo:

- Capacidade de comutação na interface: PSC-1;

- Codificação: Ethernet;
- Banda de LSP máxima: GigE, 1,0 Gbps, para qualquer prioridade.

Em caso de múltiplos links com essa interface em ambos os extremos, devem ser utilizadas técnicas de *link bundling*.

+ Interface SDH STM-64 emDXC com SDH padrão;

O ISCD utiliza os seguintes parâmetros nesse exemplo:

- Capacidade de comutação na interface: TDM (SDH padrão);
- Codificação: SDH ITU-T G.707;
- Banda de LSP máxima: STM-64, 9,95328 Gbps, para qualquer prioridade.

Em caso de múltiplos links com essa interface em ambos os extremos, devem ser utilizadas técnicas de *link bundling*.

+ Interface STM-64 SDH em um DXC que suporta SDH padrão e SDH arbitrário.

O ISCD utiliza os seguintes parâmetros no caso do SDH padrão:

- Capacidade de Comutação: TDM (SDH padrão);
- Codificação: SDH ITU-T G.707;
- Banda de LSP mínima: VC-3;
- Banda de LSP máxima: STM-64, 9,95328 Gbps, para qualquer prioridade.

O ISCD utiliza os seguintes parâmetros no caso de SDH arbitrário:

- Capacidade de comutação: TDM (SDH arbitrário);
- Codificação: SDH ITU-T G.707;
- Banda de LSP mínima: VC-4;
- Banda de LSP máxima: STM-64, 9,95328, para qualquer prioridade.

+ Interface em um OXC opaco com quadros estruturados em SDH

Um OXC opaco é um tipo de OXC onde os sinais ópticos entrantes (em fibras ou em lambdas) são convertidos em sinais elétricos antes da comutação. Após a comutação, os sinais elétricos são reconvertidos em sinais ópticos para egresso.

Os OXCs opacos comutam somente um lambda, não podendo então comutar múltiplos lambdas como um todo. Assim, uma interface em um OXC opaco é sempre LSC, não podendo ser FSC, independentemente de existir ou não um DWDM externo.

Apresentamos abaixo um exemplo de ISCD em um OXC opaco com quadros estruturados em SDH.

- Capacidade de comutação na interface: LSC;
- Codificação: SDH ITU-T G.707;
- Banda reservável: De acordo com a opção (STM-64, por exemplo).

+ Interface em um OXC transparente (PXC) com DWDM que entende a estruturação de quadros SDH

Um OXC transparente, também referido como PXC (*photonic cross-connect*) é um tipo de OXC OOO (*all optical network*), em cujo interior tudo se passa no domínio óptico.

Em PXCs, é possível a comutação de múltiplos lambdas como um todo, embora seja também possibilitada a comutação individual de lambdas. Então, a capacidade de comutação em uma interface de um PXC pode ser FSC ou LSC, dependendo do caso.

Considera-se também a existência de OXCs translúcidos, que inclui módulo(s) transparente(s) e módulo(s) opacos.

Apresentamos abaixo um exemplo de ISCD em um OXC transparente (PXC) com DWDM externo que entende a estruturação de quadros SDH.

- Capacidade de comutação na interface: LSC;
- Codificação: SDH (vindo do DWDM);
- Banda reservável: De acordo com a opção (STM-64, por exemplo).

Nesse exemplo, por se tratar de codificação SDH, a capacidade de comutação é LSC.

+ Interface em um OXC transparente (PXC) com DWDM que é transparente a velocidades e a estruturação de quadros.

O ISCD utiliza os seguintes parâmetros nesse exemplo:

- Capacidade de comutação: LSC;
- Codificação: Lambda (*photonic*);
- Banda reservável: Determinada pelos limites da tecnologia óptica.

Foi assumido, nesse exemplo, que o DWDM e o PXC foram conectados de forma tal que cada interface no PXC suporte apenas um lambda.

+ Interface em um PXC sem DWDM externo

A inexistência de DWDM externo entre os dois PXC implica que a interface não é limitada a um comprimento de onda. Em consequência, a interface é divulgada como FSC.

Embora não exista DWDM localmente, nos extremos das fibras em outros pontos existem certamente DWDMs. Então, a codificação empregada no link que inicia na interface é lambda (*photonic*).

O ISCD utiliza os seguintes parâmetros nesse exemplo:

- Capacidade de comutação: FSC;
- Codificação: Lambda (*photonic*);
- Banda reservável: Determinada pelos limites da tecnologia óptica.

7.4.2.3 - Arranjos entre Tipos de Capacidade de Comutação

As terminações de um GMPLS TE link podem possuir as mesmas ou diferentes capacidades de comutação. A forma de transporte de dados entre as terminações, que é a mesma em ambas as terminações, depende do arranjo das capacidades de comutação entre os extremos. Observa-se que as formas de transporte de dados podem ser expressas pelas naturezas dos labels utilizados em cada caso.

A Figura 15 apresenta os possíveis arranjos entre os principais tipos de capacidade de comutação nos extremos de um link, juntamente com a especificação dos tipos de label empregados.

```
[PSC, PSC] - label is carried in the "shim" header [RFC3032]
[TDM, TDM] - label represents a TDM time slot [GMPLS-SONET-SDH]
[LSC, LSC] - label represents a lambda
[FSC, FSC] - label represents a port on an OXC
[PSC, TDM] - label represents a TDM time slot [GMPLS-SONET-SDH]
[PSC, LSC] - label represents a lambda
[PSC, FSC] - label represents a port
[TDM, LSC] - label represents a lambda
[TDM, FSC] - label represents a port
[LSC, FSC] - label represents a port
```

Figura 15 – Arranjos de tipos de capacidade de comutação RFC (4202).

Observa-se nessa figura que quando as capacidades de comutação nos extremos do link são as mesmas, o tipo de label empregado é obviamente o tipo correspondente das capacidades de comutação. Por exemplo, no arranjo [TDM, TDM] o label é um *TDM time slot*.

Quando as capacidades de comutação nos extremos do link são diferentes, o tipo de label é determinado pelo extremo que possui a capacidade de comutação de menor ordem hierárquica. Por exemplo, no arranjo [PSC, TDM] o label é um *TDM time slot*.

8 – SUB-TLV IACD (RFC 6001)

A RFC 6001 (*Generalized MPLS (GMPLS) Protocol Extensions for Multi-Layer and Multi-Region Networks (MLN/MRN)*), já abordada em nosso Tutorial Nº3, define o novo sub-TLV denominado *Interface Adjustment Capability Descriptor (IACD)*, aplicável

para o *Link TLV* do GMPLS OSPF-TE Versão 2 (valor do tipo de sub-TLV igual a 25) e para o *Extended Reachability TLV* do GMPLS ISIS-TE para IPv4 (valor do tipo de sub-TLV igual a 27).

No contexto de MRNs, onde operam múltiplos tipos de capacidade de comutação (PSC-1 e TDM, por exemplo) controlados por uma única instância de controle do GMPLS, alguns nós podem conter diferentes tipos de capacidade de comutação. Observamos que para as diferentes capacidades de comutação de uma MRN, estando ou não nos mesmos nós, existe a condição do controle pela mesma instância de controle do GMPLS.

As capacidades de comutação contidas em um mesmo nó da MRN podem ser suportadas por diferentes interfaces, podendo existir, contudo, uma ou mais interfaces nesse nó que suportam duas ou mais capacidades de comutação. Nessas últimas interfaces, considera-se que as capacidades de comutação operam de modo hierarquizado.

De acordo com a RFC 5212 (*Requirements for GMPLS-Based Multi-Region and Multi-Layer Networks (MRN/MLN)*), nós que possuam pelo menos uma interface que suporte mais que uma capacidade de comutação, são referidos como nós híbridos.

Os nós híbridos são compostos por dois ou mais elementos de comutação (*switching elements*), correspondentes às capacidades de comutação suportadas em comum pela(s) respectiva(s) interface(s).

Esses elementos de comutação são interconectados por meio de “links internos”, para possibilitar a ocorrência de ajustamentos entre os elementos de comutação interligados.

As características dos links internos DEVEM ser levadas em consideração quando do cálculo de rotas dos TE-LSPs multi-região que os englobam. Para isso, as características do ajustamento dos links internos devem ser divulgadas pelos protocolos de roteamento.

Assim, por exemplo, uma interface de um nó que suporta hierarquicamente as capacidades de comutação PSC+LSC pode comutar um LSP lambda, mas não pode terminar esse LSP lambda se não existir capacidade de ajustamento disponível (ou seja, sem estar em uso) entre os elementos de comutação LSC e PSC.

Um exemplo claro ocorre no caso de transmissão EoSDH (*Ethernet over SDH*), utilizando o LAPS (*Link Access Procedure-SDH*) X.86 ou o GFP (*Generic Framing Procedure*), para ajustamento de Ethernet (L2SC) para transmissão sobre SDH (TDM) em uma interface de um LSR híbrido.

Uma outra situação interessante ocorre, por exemplo, quando um LSR que suporta PSC e L2SC é constituído com interfaces LSC que possibilitam codificação lambda. Pode ocorrer no LSR, nesse caso, interfaces com comutação PSC e codificação lambda enquanto outras interfaces suportam comutação L2SC e codificação lambda.

Em uma MRN, a divulgação da capacidade de ajustamento para terminar LSPs provê a informação a ser considerada no cálculo de rotas em uma MRN com nós híbridos.

São permitidas diferentes capacidades de ajustamento de interface (IACs) nos dois extremos de um link TE.

Considerando o exposto nos parágrafos anteriores, a RFC 6001 definiu o sub-TLV *Interface Adjustment Capability Descriptor (IACD)* para aplicação indiscriminada no processo de roteamento do GMPLS.

8.1 – Descrição do Sub-TLV IACD

A RFC 6001 definiu o sub-TLV IACD de igual forma para o GMPLS OSPF-TE Versão 2 e para GMPLS ISIS-TE para IPv4, com o mesmo formato e a mesma descrição.

As únicas particularidades onde se verificam diferenças são os TLVs que conduzem o IACD e os valores que o identificam. No GMPLS OSPF-TE Versão 2 o IACD é conduzido no *Link TLV* com o valor 25, enquanto que no GMPLS ISIS-TE para IPv4 a condução ocorre no *Extended IS Reachability TLV* com o valor 27.

Para ambos os protocolos, o sub-TLV IACD é opcional, e podem estar presentes múltiplos IACD Sub-TLVs em um mesmo TLV.

A presença do sub-TLV IACD como parte do *Link TLV* (RFC 4203) ou do *Extended IS Reachability TLV* (RFC 5307), não modifica o formato, o conteúdo e o processamento associado ao sub-TLV IACD contido nesses TLVs.

Para ambos os protocolos, o formato do campo valor do sub-TLV IACD encontra-se representado na Figura 16.

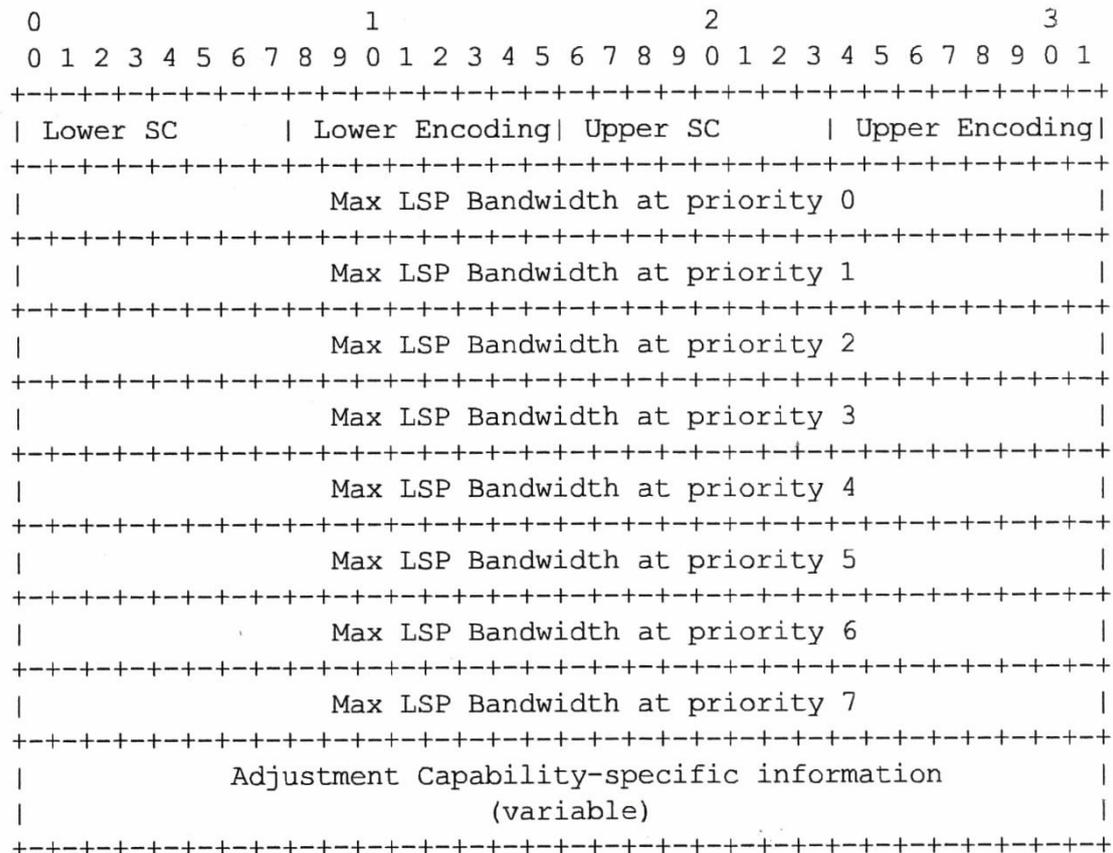


Figura 16 – Formato do campo valor do sub-TLV IACD.

Nessa figura, a capacidade de comutação inferior (*Lower SC*) corresponde à capacidade de comutação (SC) de nível hierárquico inferior dentre as SCs suportadas na interface. Assim, por exemplo, se são suportadas as SCs TDM e PSC, o valor da *Lower SC* é TDM.

O valor da *Lower SC* deve ser igual ao valor da capacidade de comutação do sub-TLV ISCD divulgado para o mesmo link TE.

O campo *Lower Encoding* utiliza um valor obtido na tabela da Figura 10 anterior, associado ao valor do *Lower SC*.

O valor do campo *Upper SC* indica a capacidade de comutação de nível mais elevada na interface. No exemplo anterior com as SCs TDM e PSC, o valor da *Upper SC* é PSC.

O valor do campo *Upper Encoding* corresponde à codificação da capacidade de ajustamento de interface disponível, sendo essa capacidade de ajustamento de interface correspondente ao conjunto de recursos associados à *Upper SC*.

O campo *Adjustment Capability-Specific Information*, de tamanho variável, foi definido de forma a permitir a possibilidade de futura adição de informações específicas associadas à capacidade de ajustamento de interface empregada.

9 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao longo do presente tutorial, dedicado a roteamento em redes controladas pelo GMPLS, observou-se que esse roteamento difere do roteamento no MPLS-TE, visto em nosso tutorial nº 2, mais especificamente pela adição dos sub-TLVs ISCD e IACD.

O sub-TLV ISCD, definido na RFC 4203 (para o GMPLS OSPF-TE Versão 2) e na RFC 5307 (para o GMPLS ISIS-TE para IPv4), representa o diferencial, em termos de roteamento, para que o GMPLS possa controlar diferentes tipos de tecnologias, tanto de redes modo circuito quanto de redes modo pacote.

Pelo ISCD ocorre a divulgação, para arquivamento nas TEDs correspondentes aos PEs LSRs das redes que representam possíveis *head end LSRs* de futuros LSPs a serem constituídos, as informações básicas para o atendimento à diversidade de tipos de rede pelo GMPLS.

De fato, o ISCD transporta, no campo *Switching Cap*, o tipo de comutação suportado na interface do link divulgado. O valor desse campo é ditado pelo tipo de LSR onde a

No campo *Encoding* que se segue, o ISCD comunica o tipo de codificação da transmissão no link a partir da interface onde ocorre a comutação.

Assim, por exemplo, para uma interface em um switch MPLS-TP conectada a um link SDH, temos a *Switching Cap* igual a PSC-1 e a codificação igual a SDH ITU-T G.707 para esse link.

Finalmente, o ISCD informa, por prioridade de preempção, a banda máxima possível em LSPs que venham a utilizar o link divulgado. Essa informação se realiza por

intermédio do campo *Max LSP Bandwidth at Priority p*, onde a prioridade *p* inicia com o valor 0 e termina com o valor 7.

O sub-TLV IACD, definido na RFC 6001, válido como extensão tanto da RFC 4203 quanto da RFC 5307, representa um considerável aprimoramento do GMPLS.

O IACD possibilita ao roteamento comunicar, em um só sub-TLV, duas diferentes capacidades de comutação suportadas por uma única interface de um LSR.

As condições para a utilização do IACD verificam-se em MRNs onde existem interfaces de um nó que suportam mais que uma capacidade de comutação (esse tipo de nó é referido como nó híbrido).

10 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

10.1 – Livros

- ENNE, A. J. F. – TCP/IP sobre MPLS. Rio de Janeiro: Ciência Moderna 2009.
- ENNE, A. J. F. – Frame Relay: Redes, Protocolos e Serviços. Rio de Janeiro: Axel Books e Embratel, 1998.
- FARREL, A., BRYNSKIN, I. – GMPLS: Architecture and Applications. San Francisco, USA: Morgan and Kaufmann, 2006.
- FARREL, A., DAVIE, B. S. – MPLS: Next Steps. San Francisco, USA: Morgan and Kaufmann, 2008.
- DAVIE, B. S., RECKHTER, Y. – MPLS: Technology and Applications. San Francisco, USA: Morgan and Kaufmann, 2000.
- CAVANAGH, J. P. – Frame Relay Applications. San Francisco, USA: Morgan and Kaufmann, 1998.
- SACKET, G. C., METZ, C. Y. – ATM and Multiprotocol Networking, New York, USA: McGraw Hill, 1997.

10.2 – Padrões do IETF (RFCs)

- RFC 3471 (*Generalized Multiprotocol Label Switching (GMPLS) Signaling FunctionalDescription*)
- RFC 3473 (*Generalized Multiprotocol Label Switching (GMPLS) Signaling ResourceReserVation Protocol - Traffic Engineering (RSVP-TE) Extensions*)
- RFC 3477 (*Signaling Unnumbered Links in Resource ReserVation Protocol - TrafficEngineering(RSVP-TE)*)
- RFC 3630 (*Traffic Engineering (TE) Extensions to OSPF Version 2*)
- RFC 3945 (*Generalized Multiprotocol Label Switching (GMPLS) Architecture*)
- RFC 4202 (*Routing Extensions In Support of Generalized Multiprotocol Label Switching(GMPLS)*)
- RFC 4203 (*OSPF Extensions in Support of Generalized Multiprotocol Label Switching(GMPLS)*)
- RFC 5305 (*IS-IS Extensions for Traffic Engineering*)

- RFC 5307 (*IS-IS Extensions in Support of Generalized Multiprotocol Label Switching(GMPLS)*)
- RFC 5329 (*Traffic Engineering Extensions to OSPF Version 3*)
- RFC 6001 (*Generalized MPLS (GMPLS) Protocol Extensions for Multi-Layer and Multi-Region Networks (MLN/MRN)*)
- RFC 6002 (*Generalized MPLS (GMPLS) Data Channel Switching Capable (DCSC) and Channel Set Label Extensions*)
- RFC 6004 (*Generalized MPLS (GMPLS) Support for Metro Ethernet Forum and G.8011 Ethernet Service Switching*)
- RFC 6060 (*Generalized Multiprotocol Label Switching (GMPLS) Control of Ethernet Provider Backbone Traffic Engineering (PBB-TE)*)
- RFC 6119 (*IPv6 Traffic Engineering in IS-IS*)
- RFC 7074 (*Revised Definition of the GMPLS Switching Capability and Type Fields*)
- RFC 7471 (*OSPF Traffic Engineering (TE) Metric Extensions*)
- RFC 7810 (*IS-IS Traffic Engineering (TE) Metric Extensions*)

11 – TESTE SEU ENTENDIMENTO

11.1 – Qual a frase correta?

- a) O sub-TLV SRLG aplica-se para o roteamento no MPLS-TE.
- b) O sub-TLV SRLG aplica-se para o GMPLS OSPF-TE Versão 2.
- c) O sub-TLV SRLG aplica-se para o GMPLS ISIS-TE para IPv4.
- d) Todas elas.

11.2 – Qual a frase correta?

- a) O ISCD é um tipo de capacidade de comutação.
- b) O ISCD é um sub-TLV aplicável para uma interface suportando múltiplos tipos de comutação.
- c) O ISCD é um sub-TLV aplicável para uma interface suportando um único tipo de comutação.
- d) Todas elas.

11.3 – O que é uma MRN?

- a) Uma rede que abrange múltiplas regiões geográficas.
- b) Uma rede que abrange múltiplas capacidades de comutação controladas por uma única instância de controle GMPLS.
- c) Uma rede que abrange múltiplas capacidades de comutação localizadas em um mesmo LSR.
- d) Uma rede que contém nós com interfaces que suportam mais que uma capacidade de comutação.

RESPOSTAS NA PÁGINA SEGUINTE

RESPOSTAS: 11.1 -d)

11.2 - c)

11.3- b)