

# TUTORIAL Nº 6

## Sinalização no GMPLS

### 1 – OBJETIVO

O objetivo deste tutorial é apresentar o processo de sinalização no GMPLS, cuja fundamentação conceitual encontra-se definida na RFC 3471 (*Generalized Multi-Protocol Label Switching (GMPLS) Signaling Functional Description*), e cujo protocolo básico, que é o protocolo GMPLS RSVP-TE, foi especificado na RFC 3473 (*Generalized Multi-Protocol Label Switching (GMPLS) Signaling Resource ReserVation Protocol – Traffic Engineering (RSVP-TE) Extensions*).

Como se observa, o GMPLS RSVP-TE básico consiste no protocolo RSVP-TE básico aplicável à sinalização no MPLS-TE, com as extensões definidas na RFC 3473.

Abordaremos também, embora com menor profundidade, um conjunto de outras RFCs que estenderam o GMPLS RSVP-TE em diferentes aspectos operacionais particulares. Algumas dessas RFCs foram emitidas especificamente para o GMPLS, enquanto as demais aplicam-se também à sinalização no MPLS-TE, ou seja, ao protocolo RSVP-TE.

### 2 – INTRODUÇÃO

O protocolo RSVP (*Resource ReserVation Protocol*) foi definido na RFC 2205 (*Resource ReserVation Protocol (RSVP) – Version 1 Functional Specification*) com o propósito de possibilitar a reserva de recursos em redes IP, não tendo o RSVP, contudo, aceitação.

O RSVP foi estendido posteriormente na RFC 3209 (*RSVP-TE: Extensions to RSVP for LSP Tunnels*) para uso na sinalização do MPLS-TE, definindo-se então o protocolo RSVP-TE. O sucesso dessa medida foi tão expressivo, que o RSVP-TE suplantou e provocou a extinção do protocolo CR-LDP (*Constraint-based Routing Label Distribution Protocol*) considerado de início como uma alternativa viável.

Recomendamos que o leitor se reporte neste ponto ao nosso tutorial Nº 2 (Plano de Controle do MPLS-TE – Base para o GMPLS), que apresenta com detalhes o RSVP-TE básico conforme a RFC 3209.

A concepção básica da sinalização do GMPLS, que consiste no uso do protocolo RSVP-TE com extensões específicas com esse propósito, foi de início alicerçada na fundamentação estabelecida na RFC 3471, que estabeleceu a base para a definição do protocolo GMPLS RSVP-TE na RFC 3473.

A partir da RFC 3473, o GMPLS RSVP-TE, e em parte o próprio RSVP-TE, receberam uma série de extensões para o atendimento de diversos aspectos do GMPLS, mediante a emissão de RFCs específicas. Para uma visão introdutória de algumas dessas extensões, o leitor pode consultar o nosso tutorial Nº 3 (Visão Geral do GMPLS).

Dentre as RFCs que estenderam o GMPLS RSVP-TE definido na RFC 3473, podem ser citadas as seguintes:

[Digite aqui]

- RFC 2961 (*RSVP Refresh Overhead Reduction Extensions*);
- RFC 3474 (*Documentation of IANA Assignments for Generalized Multiprotocol Label Switching (GMPLS) Resource ReserVation Protocol - Traffic Engineering (RSVP-TE) Usage and Extensions for Automatically Switched Optical Network (ASON)*);
- RFC 3476 (*Documentation of IANA Assignments for Label Distribution Protocol (LDP), Resource ReSerVation Protocol (RSVP), and Resource ReserVation Protocol – Traffic Engineering (RSVP-TE) Extensions for Optical UNI Signaling*);
- RFC 3477 (*Signaling Unnumbered Links in Resource ReserVation Protocol – Traffic Engineering (RSVP-TE)*);
- RFC 4003 (*GMPLS Signaling Procedure for Egress Control*);
- RFC 4090 (*Fast Reroute Extensions to RSVP-TE for LSP Tunnels*);
- RFC 4124 (*Protocol Extensions for Support of Diffserv-aware MPLS Traffic Engineering*);
- RFC 4420 (*Encoding of Attributes for Multiprotocol Label Switching (MPLS) Label Switched Path (LSP) Establishment Using Resource ReserVation Protocol – Traffic Engineering (RSVP-TE)*);
- RFC 4783 (*GMPLS – Communication of Alarm Information*);
- RFC 4872 (*RSVP-TE Extensions in Support of End-to-End Generalized Multi-Protocol Label Switching (GMPLS) Recovery*);
- RFC 4873 (*GMPLS Segment Recovery*);
- RFC 4874 (*Exclude Routes - Extension to Resource ReserVation Protocol – Traffic Engineering (RSVP-TE)*);
- RFC 4875 (*Extensions to Resource ReserVation Protocol – Traffic Engineering (RSVP-TE) for Point-to-Multipoint TE Label Switched Paths (LSPs)*);
- RFC 4974 (*Generalized MPLS (GMPLS) RSVP-TE Signaling Extensions in Support of Calls*);
- RFC 5063 (*Extensions to GMPLS Resource ReserVation Protocol (RVP) Graceful Restart*);
- RFC 5050 (*Label Switched Path Stitching with Generalized Multiprotocol Label Switching Traffic Engineering (GMPLS-TE)*);
- RFC 5151 (*Inter-Domain MPLS and GMPLS Traffic Engineering — Resource ReserVation Protocol – Traffic Engineering (RSVP-TE) Extensions*);
- RFC 5420 (*Encoding of Attributes for MPLS LSP Establishment Using Resource ReserVation Protocol Traffic Engineering (RSVP-TE)*);
- RFC 5467 (*GMPLS Asymmetric Bandwidth Bidirecional Label Switched Paths (LSPs)*);
- RFC 5553 (*Resource ReserVation Protocol (RSVP) Extensions for Path Key Support*);
- RFC 6001 (*Generalized MPLS (GMPLS) Protocol Extensions For Multi-Layer and Multi-Region N+etworks (MLN/MRN)*);

[Digite aqui]

- RFC 6002 (*Generalized MPLS (GMPLS) Data Channel Switching Capable (DCSC) and Channel Set Label Extensions*);
- RFC 6003 (*Ethernet Traffic Parameters*);
- RFC 6107 (*Procedures for Dinamically Signaled Hierarchical Label Switched Paths*);
- RFC 6780 (*RSVP ASSOCIATION Object Extensions*);
- RFC 7074 (*Revised Definition of the GMPLS Switching Capability and Type Fields*).

A relação acima foi apresentada para fins de orientação dos leitores interessados em aprofundar-se no estudo da sinalização no MPLS-TE e no GMPLS. Abordaremos neste tutorial apenas uma parte selecionada dessas RFCs.

### **3 – BREVE REVISÃO DO RSVP-TE**

Como vimos no nosso tutorial Nº 2, o RSVP-TE foi especificado na RFC 3209, tendo ocorrido a emissão de RFCs estendendo a sua aplicação.

O RSVP-TE consiste no envio de tipos de mensagens, compostas por um cabeçalho comum e por uma série de atributos próprios para cada um desses tipos, referidos como objetos.

Cada um dos objetos é identificado pelo valor da classe desse objeto. Um objeto pode concretizar-se em diferentes tipos, sendo cada tipo identificado por um valor de *C-Type (class-type)*. Um tipo de objeto representa um objeto específico.

Adicionalmente, um objeto pode apresentar-se sob a forma de diferentes subobjetos.

O GMPLS RSVP-TE incorpora as mensagens, objetos e subobjetos do RSVP-TE, acrescido daqueles definidos na RFC 3473 e em suas extensões.

Mensagens, objetos e subobjetos do RSVP-TE podem ser consultados em nosso Tutorial Nº 2, e, parcialmente, em nosso Tutorial Nº 3. As correspondentes relações constam de itens posteriores do presente tutorial.

### **4 – RFC 2961**

A RFC 2961 descreve algumas extensões à RFC 2205 que podem ser utilizadas para reduzir o overhead de mensagens de restauração (*refresh messages*) e para eliminar a latência do estado de sincronização que ocorre quando uma mensagem RSVP é perdida.

Essas extensões podem ser utilizadas também quando se deseja restaurar estados sem a necessidade do envio da mensagem de restauração completa.

A RFC 2961, que precede a definição do RSVP-TE, foi concebida para definir extensões à RFC 2205, mas, por extensão, é aplicável também ao RSVP-TE e ao GMPLS RSVP-TE.

A RFC 2961 foi estruturada em três partes:

+

[Digite aqui]

- Mensagem *RSVP Bundle*;
- Extensão relativa a MESSAGE\_ID;
- Extensão relativa à restauração sumária (*summary refresh*).

#### 4.1 – Mensagem RSVP Bundle

Uma mensagem *RSVP Bundle*, cujo tipo de mensagem é 12, consiste em um cabeçalho *bundle* e em um payload contendo um número variável de mensagens RSVP padrão. Essa mensagem é utilizada para agregar múltiplas mensagens (referidas como sub-mensagens) RSVP no interior de uma única PDU.

O suporte a mensagens RSVP Bundle é opcional. O uso dessas mensagens auxilia na elevação da escalabilidade nos protocolos da família RSVP, por reduzir o overhead de processamento e de consumo de banda passante.

Cada mensagem RSVP Bundle DEVE ocupar exatamente um datagrama IP, exceto se exceder a MTU, quando o datagrama é fragmentado e remontado no nó receptor.

#### 4.2 – Extensão Relativa a MESSAGE\_ID

A extensão relativa a MESSAGE\_ID engloba a definição da mensagem *Ack (acknowledgment)* e de três novos objetos.

- Objeto MESSAGE\_ID;
- Objeto MESSAGE\_ID\_ACK;
- Objeto MESSAGE\_ID\_NACK.

Os dois primeiros desses objetos são utilizados para suportar reconhecimentos e entrega confiável de mensagens RSVP. O objeto MESSAGE\_ID pode ser também utilizado para prover uma rápida indicação de quando a mensagem que o transporta é uma mensagem de restauração.

O objeto MESSAGE\_ID\_NACK destina-se a suportar a extensão relativa à restauração sumária (*summary refresh*) que abordaremos a seguir.

O objeto MESSAGE\_ID possui a classe de objeto 23 e o C-Type 1.

Os objetos MESSAGE\_ID\_ACK e MESSAGE\_ID\_NACK são, na realidade, *C-Types* do objeto MESSAGE\_ID\_ACK (classe de objeto 24), sendo o MESSAGE\_ID\_ACK o *C-Type* 1 e o MESSAGE\_ID\_NACK o *C-Type* 2.

O objeto MESSAGE\_ID pode ser utilizado em mensagens RSVP, e, nesse caso, deve suceder imediatamente o objeto MESSAGE\_ID\_ACK ou o objeto MESSAGE\_ID\_NACK, a menos que esses objetos não existam. Se esses objetos existirem, eles devem suceder imediatamente o objeto INTEGRITY, a menos que esse objeto não exista.

Assim, o ordenamento normal desses objetos para todas as mensagens RSVP padrões é o seguinte:

[Digite aqui]

- Cabeçalho comum;
- INTEGRITY;
- MESSAGE\_ID\_ACK;
- MESSAGE\_ID\_NACK;
- MESSAGE\_ID;
- Demais objetos.

A mensagem *Ack*, cujo tipo da mensagem é 13, transporta um ou mais objetos MESSAGE\_ID\_ACK e MESSAGE\_ID\_NACK, mas não contém o objeto MESSAGE\_ID. A mensagem *Ack* são enviadas entre nós RSVP vizinhos.

O objeto MESSAGE\_ID pode ser transportado em “carona” (*pigbacking*) em qualquer mensagem RSVP à exceção de mensagens *Ack* e de mensagens *Bundle*.

### 4.3 – Extensão Relativa a Restauração Sumária

A extensão relativa à restauração sumária possibilita a restauração de estados RSVP sem que ocorra a transmissão de mensagens *RSVP Path* ou *RSVP Resv* padrão. Os benefícios são a redução da quantidade de informação que deve ser transmitida e processada para a manutenção da sincronização do estado RSVP.

A extensão relativa à restauração sumária tem como base a extensão relativa a MESSAGE\_ID vista no subitem anterior. Somente estados que foram divulgados previamente em mensagens *RSVP Path* ou em mensagens *RSVP Resv* contendo objetos MESSAGE\_ID podem ser restaurados.

A extensão relativa à restauração sumária utiliza os objetos e a mensagem *Ack* definidos como parte da extensão relativa a MESSAGE\_ID.

Na extensão relativa à restauração sumária foi definido um novo tipo de mensagem, referida como mensagem *Srefresh*, que pode ser gerada para restaurar estados estabelecidos por mensagem *RSVP Path* ou por mensagem *RSVP Resv*, com a condição de que a mensagem contenha objetos que possam ser assim restaurados.

A mensagem *Srefresh* possui o tipo de mensagem 15.

As mensagens *Srefresh* transportam uma lista de campos com identificadores de mensagem (*Message\_Identifier*) correspondentes às mensagens *RSVP Path* e *RSVP Resv* acionadoras (*trigger*) que estabeleceram o estado.

Os identificadores de mensagem são transportados em um dos três objetos que compõem a mensagem *Srefresh*. Esses objetos são os seguintes:

- Objeto MESSAGE\_ID\_LIST;
- Objeto MESSAGE\_ID\_SRC\_LIST;
- Objeto MESSAGE\_ID\_MCAST\_LIST.+++++++

[Digite aqui]

Na realidade, esses objetos compõem *C-Types* do objeto MESSAGE\_ID\_LIST, cuja classe de objeto é 25. A composição exata dos *C-Types* é a seguinte:

- *C-Type* 1: objeto MESSAGE\_ID\_LIST;
- *C-Type* 2: objeto IPv4/MESSAGE\_ID\_SRC\_LIST;
- *C-Type* 3: objeto IPv6/MESSAGE\_ID\_SRC\_LIST;
- *C-Type* 4: objeto IPv4/MESSAGE\_ID\_MCAST\_LIST;
- *C-Type* 5: objeto IPv6/MESSAGE\_ID\_MCAST\_LIST.

O objeto MESSAGE\_ID\_LIST é utilizado para restaurar todos os estados *Resv* e estados *Path* de sessões unicast.

Os outros dois objetos são utilizados para restaurar estados *Path* de sessões multicast. O objeto MESSAGE\_ID\_SRC\_LIST limita-se a mensagens endereçadas ao endereço IP multicast da sessão, enquanto o objeto MESSAGE\_ID\_MCAST\_LIST acrescenta o endereço de grupo e é enviado em mensagens endereçadas ao *RSVP hop* vizinho, sendo normalmente utilizado em links ponto a ponto.

Se o estado adequado não for encontrado, o enviador da mensagem *Srefresh* deve ser notificado por meio de um *refresh NACK*. O *refresh NACK* é enviado em um objeto MESSAGE\_ID\_NACK.

Mensagens *Srefresh* transportam um ou mais de seus objetos. Os objetos MESSAGE\_ID\_LIST e MESSAGE\_ID\_MCAST\_LIST podem ser transportados em uma mesma mensagem *Srefresh*, mas o objeto MESSAGE\_ID\_SRC\_LIST só pode ser transportado isolado nessa mensagem.

Uma única mensagem *Srefresh* pode restaurar estados *Path* e estados *Resv*.

## 5 – RFC 3471

A RFC 3471 apresenta uma descrição funcional básica das extensões do RSVP-TE para suporte ao GMPLS. Como sabemos, o GMPLS estende o plano de controle do MPLS-TE para englobar o controle de redes modo circuito tais como TDM (SDH e OTN), WDM e redes com comutação espacial (fibras ópticas, por exemplo), além de redes modo pacote.

Para obter esse amplo alcance, o GMPLS amplia a formatação dos labels, possibilitando também o uso de time-slots, comprimentos de onda ou posições em equipamentos físicos. Os labels com essa amplitude de formatos passaram a denominar-se labels generalizados (*generalized labels*).

No caso de redes modo circuito, as bandas passantes são alocadas em valores discretos, enquanto em redes modo pacote as bandas passantes podem assumir valores definidos dentro de uma faixa.

AS particularidades possibilitadas para o GMPLS na RFC 3471 serão vistas ao longo deste tutorial, cuja relação é a seguinte:

- Solicitação de label generalizado (*generalized label request*);
- Codificação de Banda Passante;
- Label generalizado;

[Digite aqui]

- Comutação de waveband (*waveband switching*);
- Label sugerido (*suggested label*);
- *Label Set*;
- LSPs bidirecionais;
- Notificação de erros de labels;
- Controle de label explícito;
- Informação de proteção;
- Informação de status administrativo;
- Separação de canal de controle.

Alguns desses aspectos foram esclarecidos no nosso Tutorial Nº 3, e outros serão abordados no próximo item, relativo à RFC 3473, do ponto de vista dos correspondentes objetos.

## 6 – RFC 3473

A RFC 3473 apresenta a especificação detalhada do protocolo GMPLS RSVP-TE básico, o que passamos a apresentar.

### 6.1 – Tipos de Mensagem

A RFC 3473 definiu um novo tipo de mensagem RSVP, utilizado em complemento aos 8 tipos utilizados na RFC 3209 para o RSVP-TE, que são as mensagens *Notify*. Lembramos que a RFC 3209 acrescentou apenas as mensagens *Hello* às mensagens originais da RFC 2205.

Mensagens *Notify*, cujo tipo de mensagem é 21, representam um mecanismo para comunicar a nós não adjacentes a ocorrência de eventos relacionadas a LSPs. Elas são normalmente geradas apenas após o recebimento de um objeto *Notify Request*.

Lembramos que as mensagens de erros já definidas (ou seja, mensagens *PathErr* e *ResvErr*) só podem ser endereçadas (*targeted*) a um nó vizinho imediato, seja ele um vizinho *upstream* ou *downstream*.

Para o suporte confiável de mensagens *Notify*, uma mensagem *Ack* (*acknowledgment*), definida na RFC 2961, é utilizada para acusar a recepção da mensagem *Notify*. As mensagens *Ack* são identificadas pelo tipo de mensagem igual a 13.

Por outro lado, a RFC 2961 define também o tipo de mensagem *RSVP Bundle*, cujo tipo de mensagem é 12, que é utilizado para agregar múltiplas mensagens RSVP em uma única PDU. Define também as mensagens *Srefresh*, com o tipo de mensagem 15.

Vamos considerar também as mensagens *RecoveryPath*, definidas na RFC 5063, com o tipo de mensagem 30, que serão vistas adiante neste tutorial.

Considerando então inclusive os novos tipos de mensagem RSVP, temos então a relação exibida na Figura 1.

[Digite aqui]

<b>Tipo</b>	<b>Nome da Mensagem</b>	<b>RFC/RFCs</b>
1	RSVP Path	3209/3473
2	RSVP Resv	3209/3473
3	RSVP PathErr	3209/3473
4	RSVP ResvErr	3209/3473
5	RSVP PathTear	3209/3473
6	RSVP ResvTear	3209/3473
7	RSVP ResvConfirm	3209/3473
12	RSVP Bundle	2961
13	RSVP Ack/Nack	2961
15	RSVP Srefresh	2961
20	RSVP Hello	3209/3473
21	RSVP Notify	3473

**Figura 1 – Mensagens RSVP considerando as RFC 2205, RFC 2961, RFC 3209 e RFC 3473.**

## **6.2 – Objetos e Subobjetos Definidos**

Em reflexo aos aspectos considerados na RFC 3471, a RFC 3473 utiliza uma série de objetos para o GMPLS RSVP-TE, com os respectivos formatos, como será visto a seguir, e cuja relação encontra-se na Figura 2.

[Digite aqui]

<b>C-Num</b>	<b>Nome do Objeto</b>	<b>RFC/RFCs</b>
1	SESSION	2205,2207,3209,3473
3	RESV_HOP	2205, 2207
4	INTEGRITY	2447
5	TIME_VALUES	2205
6	ERROR_SPEC	2205, 3473
7	SCOPE	2205
8	STYLE	2205
9	FLowsPEC	2205
10	FILTER_SPEC	2205, 2207
11	SENDER_TEMPLATE	2205,2207, 3209
12	SENDER_TSPEC	2205
13	ADSPEC	2205
14	POLICY_DATA	2205, 2750
15	RESV_CONFIRM	2205
16	RSVP_LABEL (GENERALIZED)	3209, 3473
19	LABEL_REQUEST (GENERALIZED)	3209, 3473
20	EXPLICIT_ROUTE (ERO)	3209, 3473
21	RECORD_ROUTE (RRO)	3209, 3473
22	HELLO	3209, 3473
34	RECOVERY_LABEL	3473
35	UPSTREAM_LABEL	3473
36	LABEL_SET	3473
37	PROTECTION	3473
129	SUGGESTED_LABEL	3473
130	ACCEPTABLE_LABEL_SET	3473
131	RESTART_CAP	3473
195	NOTIFY_REQUEST	3473
196	ADMIN_STATUS	3473
207	SESSION_ATTRIBUTE	3209, 3473

**Figura 2 – Objetos utilizados na RFC 3473 para o GMPLS RSVP-TE.**

Lembramos que os formatos dos objetos do GMPLS RSVP-TE, assim como do RSVP-TE, iniciam por um cabeçalho comum, cujo formato foi definido na RFC 2205 para o RSVP. Esse formato encontra-se representado na Figura 3.



[Digite aqui]

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

Figura 5 – Exemplos de tipo de codificação de LSP permitidos.

### 6.2.1.2 – Tipo de Comutação (Switching Type)

O parâmetro Tipo de Comutação (*Switching Type*), com 8 bits, indica o tipo de comutação que deveria ser realizado em um dado link. Esse campo é necessário para links para os quais são divulgados mais de uma capacidade de comutação no roteamento. O Tipo de Comutação sinalizado deveria mapear em um dos valores de capacidade de comutação divulgados no sub-TLV ISCD (Interface Switching Capability Descriptor), definido nas RFC 4203 (*OSPF Extensions in Support of Generalized Multiprotocol Label Switching (GMPLS)*) e RFC 5307 (*IS-IS Extensions in Support of Generalized (GMPLS Multiprotocol Label Switching)*).

A relação inicial de tipos de comutação definida na RFC 3471 encontra-se na Figura 6.

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 6- Relação inicial de tipos de comutação da RFC 3471.

A RFC 7074 (*Revised Definition of the GMPLS Switching Capability and Type Fields*), contudo, atualizou essa relação, eliminando os tipos de comutação PSC-2, PSC-3 e PSC-4, julgados desnecessários, e introduzindo novos tipos, como mostra a Figura 7.

[Digite aqui]

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 7 – Relação atual de tipos (capacidades) de comutação conforme RFC 7074.**

Foram considerados, nessa nova relação, as capacidades (tipos) de comutação definidas nas 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*) e RFC 6060 (*Generalized Multiprotocol Label Switching (GMPLS) Control of Ethernet Provider Backbone Traffic Engineering (PBB-TE)*).

### 6.2.1.3 – Generalized Payload Identifier (G-PID)

O parâmetro G-PID indica a natureza do payload a ser transportado pelo LSP sinalizado, ou seja, identifica a camada cliente do LSP. O G-PID é utilizado pelos pontos de terminação do LSP e, em alguns casos, pelo penúltimo LSR do LSP (*penultimate hop*).

Se o G-PID indicado não pode ser suportado, então o nó de egresso DEVE gerar uma mensagem *PathErr*, com uma indicação “*routing problem/unsupported L3PID*”.

Para LSPs utilizando as codificações Packet (tipo 1) Ethernet (tipo 2), os valores *Ethertype* padrões são utilizados como G-PID. Para as demais codificações de LSP são utilizados outros valores especificados na RFC 3471, mostrados na Figura 8.

[Digite aqui]

Value	Type	Technology
-----	-----	-----
0	Unknown	All
1	Reserved	
2	Reserved	
3	Reserved	
4	Reserved	
5	Asynchronous mapping of E4	SDH
6	Asynchronous mapping of DS3/T3	SDH
7	Asynchronous mapping of E3	SDH
8	Bit synchronous mapping of E3	SDH
9	Byte synchronous mapping of E3	SDH
10	Asynchronous mapping of DS2/T2	SDH
11	Bit synchronous mapping of DS2/T2	SDH
12	Reserved	
13	Asynchronous mapping of E1	SDH
14	Byte synchronous mapping of E1	SDH
15	Byte synchronous mapping of 31 * DS0	SDH
16	Asynchronous mapping of DS1/T1	SDH
17	Bit synchronous mapping of DS1/T1	SDH
18	Byte synchronous mapping of DS1/T1	SDH
19	VC-11 in VC-12	SDH
20	Reserved	
21	Reserved	
22	DS1 SF Asynchronous	SONET
23	DS1 ESF Asynchronous	SONET
24	DS3 M23 Asynchronous	SONET
25	DS3 C-Bit Parity Asynchronous	SONET
26	VT/LOVC	SDH
27	STS SPE/HOVC	SDH
28	POS - No Scrambling, 16 bit CRC	SDH
29	POS - No Scrambling, 32 bit CRC	SDH
30	POS - Scrambling, 16 bit CRC	SDH
31	POS - Scrambling, 32 bit CRC	SDH
32	ATM mapping	SDH
33	Ethernet	SDH, Lambda, Fiber
34	SONET/SDH	Lambda, Fiber
35	Reserved (SONET deprecated)	Lambda, Fiber
36	Digital Wrapper	Lambda, Fiber
37	Lambda	Fibe
38	ANSI/ETSI PDH	SDH
39	Reserved	SDH
40	Link Access Protocol SDH (LAPS - X.85 and X.86)	SDH
41	FDDI	SDH, Lambda, Fiber
42	DQDB (ETSI ETS 300 216)	SDH
43	FiberChannel-3 (Services)	FiberChannel
44	HDLC	SDH
45	Ethernet V2/DIX (only)	SDH, Lambda, Fiber
46	Ethernet 802.3 (only)	SDH, Lambda, Fiber

**Figura 8 – Exemplos de valores utilizados de G-PID.**

### 6.2.2 – Codificação de Banda Passante

Como vimos na RFC 3209, a banda passante para um LSP é solicitada pelo *head end LSR*, utilizando para isso o objeto RSVP SENDER\_TSPEC, contido na mensagem *RSVP Path*. A confirmação da reserva

[Digite aqui]

da banda passante solicitada é transportada no objeto RSVP FLOWSPEC, contido na mensagem *RSVP Resv* enviada pelo *tail end LSR*.

Mais especificamente, a RFC 2210 (*The Use of RSVP with IETF Integrated Services*) especifica que a condução dos valores de banda passante solicitada e de banda passante confirmada ocorre no campo *Peak Data Rate* (32 bits) dos objetos RSVP SENDER\_TSPEC e RSVP FLOWSPEC, respectivamente.

Para os LSPs com codificação Packet e Ethernet, a banda passante solicitada pode assumir valores contínuos, definidos dentro do limite da disponibilidade de banda nos links escolhidos para o LSP.

Para outros LSPs (ou seja, LSPs com codificação modo circuito), é aconselhável definir valores discretos para indicar a banda para o LSP. Valores típicos que podem ser indicados para a banda desejada nesses LSPs encontram-se relacionados na Figura 9.

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)	0x4AAAA780
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		0x4BF7DAD68
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 9 – Valores discretos indicados para solicitação de banda passante.**

Lembramos que essa relação foi utilizada no nosso tutorial Nº 4, para indicar os valores máximos de banda passante a serem utilizados por LSPs utilizando os links divulgados em TE LSAs, valores esses transportados no sub-TLV ISCD.

### 6.2.3 – Objeto Label Generalizado (Generalized Label)

O objeto Label Generalizado estende o tradicional objeto Label utilizado no RSVP-TE (classe de objeto 16), com o objetivo de representar não somente labels transportados *in-band* com os pacotes de dados associados, mas também labels que trafegam em redes de controle independentes, que identificam *time-slots* em redes TDM, comprimentos de onda ou posições em multiplex por divisão de espaço.

Assim, por exemplo, o label generalizado uma dada fibra óptica, um comprimento de onda ( $\lambda$ ) em um conjunto de comprimentos de onda (*waveband*) ou em uma fibra, ou um conjunto de time-

[Digite aqui]

slots em uma *waveband* ou em uma fibra. Pode também representar um label MPLS genérico, um label Frame Relay (DLCI) ou um label ATM (VPI/VCI).

O Label Generalizado representa, na realidade, um novo *C-Type* (*C-Type* 2) do objeto Label, sendo transportado em mensagens *RSVP Resv*.

O formato do objeto Label Generalizado encontra-se na Figura 10.

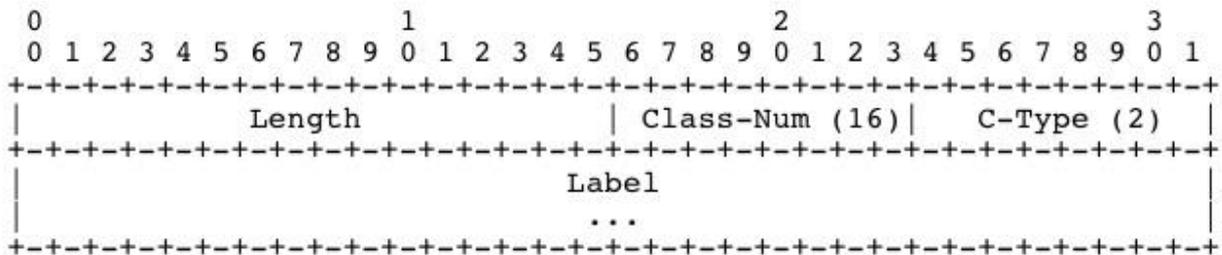


Figura 10 – Formato do objeto Label Generalizado.

#### 6.2.4 – Objeto Comutação de Waveband (Waveband Switching)

O objeto Comutação de *Waveband* representa, assim como o objeto Label Generalizado, um novo *C-Type* (*C-Type* 3) do objeto Label tradicional (classe de objeto 16). Esse objeto é transportado em mensagens *RSVP Resv*.

Comutação de *waveband* é um caso especial de comutação de lambdas, sendo uma *waveband* um conjunto de lambdas contíguos que pode ser comutado em conjunto.

Por razões de otimização, pode ser desejável que um OXC comute múltiplos comprimentos de onda como uma unidade. Dessa forma, pode ser reduzida a distorção nos comprimentos de onda individuais e possibilitada a separação mais rigorosa entre eles.

O formato do objeto Comutação de *Waveband* encontra-se na Figura 11.

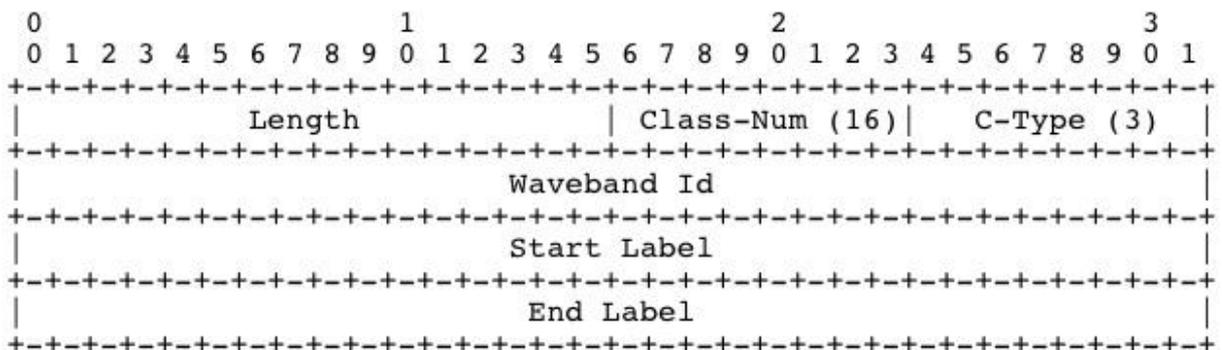


Figura 11 – Formato do objeto Comutação de Waveband.

Os campos dessa figura possuem os seguintes significados:

- *Waveband Id (waveband identifier)*: O valor é selecionado pelo LSR envidor do objeto, sendo reutilizado por todas as mensagens subsequentes relacionadas;

- *Start Label*: Indica o identificador de canal do mais inferior dos valores de comprimento da *waveband*, do ponto de vista do envidor do objeto;



[Digite aqui]

Um *label set* é composto por um ou mais objetos/TLVs. Cada objeto/TLV contém um ou mais elementos do *label set*. Cada elemento representa um identificador de subcanal, ou seja, um label generalizado, na figura.

Os campos desse formato têm os seguintes significados:

**+ Action:** Esse campo, relativo a um objeto/TLV, pode assumir 4 valores, que são 0, 1, 2 e 3.

O valor 0 (*Inclusive List*) indica que o objeto/TLV contém uma lista de identificadores de subcanal que são incluídos no *label set*.

O valor 1 (*Exclusive List*) indica que o objeto/TLV contém uma lista de identificadores de subcanal que são excluídos do *label set*.

O valor 2 (*Inclusive Range*) indica que o objeto/TLV contém uma faixa de labels que representam o *Label Set*, com os valores de dois identificadores de subcanal. O primeiro aponta o início da faixa, enquanto o último aponta o final da faixa.

O valor 39 (*Exclusive Range*) indica que o objeto/TLV uma faixa de labels que devem ser excluídos do *label set*, com dois valores. O primeiro aponta o início da faixa, enquanto o último aponta o final da faixa.

**+ Label Type:** Esse campo indica o tipo e o formato dos labels transportados no objeto/TLV. Os valores são específicos para o protocolo de sinalização.

**+ Subcanal (Subchannel):** Esse campo representa cada label generalizado (*lambda*, *time-slot*, posição da fibra etc.) elegível para alocação, utilizando o formato desse label.

### 6.2.7 – Objeto Upstream\_Label

O objeto *Upstream\_Label* objetiva possibilitar a constituição de LSPs bidirecionais. Esse objeto possui o formato dos labels generalizados e utiliza a classe de objeto 35 e o *C-Type* do label utilizado. Os labels *upstream* destinam-se ao uso nos quadros de dados que trafegam no sentido *upstream*.

Os procedimentos para o estabelecimento de um LSP bidirecional, diferindo apenas pela inclusão do objeto *Upstream\_Label* na mensagem *RSVP Path*.

Cada nó intermediário deve também alocar o seu valor de label *upstream* e inseri-lo na mensagem *RSVP Path* em curso. Imediatamente após o recebimento de um label *upstream*, o LSR receptor pode iniciar o envio de tráfego de dados no sentido *upstream*.

### 6.2.8 – Objeto Acceptable\_Label\_Set

Existem casos no MPLS-TE e no GMPLS que resultam em uma mensagem de erro contendo uma indicação “*Unacceptable Label Value*”. Quando esses casos ocorrem, pode ser útil para o nó que gera a mensagem de erro indicar um conjunto de valores de label que seriam aceitáveis.

Com esse propósito, o GMPLS introduziu um novo objeto, denominado *Acceptable\_Label\_Set*, cuja classe de objeto é 130 e cujo formato é o mesmo que o do objeto *Label\_Set* (inclusive com o valor de *C-Type* igual a 1).

[Digite aqui]

O objeto *Acceptable\_Label\_Set* pode ser conduzido em mensagens *PathErr* (label *upstream* inaceitável) ou em mensagens *ResvErr* (label *downstream* inaceitável).

### 6.2.9 – Objeto Notify Request

Como vimos no subitem 5.1 deste tutorial, a RFC 3473 definiu um novo tipo de mensagem RSVP, denominado mensagem *Notify* (*Notify message*). As mensagens *Notify* podem ser enviadas nos dois sentidos do LSP, ressalvada a necessidade de recepção prévia de uma solicitação de notificação.

Para a efetivação dessa solicitação de notificação, foi definido o objeto *Notify Request*, cuja classe de objeto é 195. Esse objeto apresenta-se em dois *C-Types*, que são o *C-Type 1* (objeto *IPv4 Notify Request*) e o *C-Type 2* (objeto *IPv6 Notify Request*).

O objeto *Notify Request* pode ser transportado em mensagens *RSVP PathErr* ou em mensagens *RSVP ResvErr*.

O *payload* do formato do *C-Type 1* e do *C-Type 2* desse objeto contém apenas o endereço IPv4 e o endereço IPv6 do LSR que envia o objeto, respectivamente.

### 6.2.10 – Subobjetos Label ERO e Label RRO

Na sinalização do MPLS-TE, as interfaces utilizadas por um LSP podem ser controladas por uma rota explícita (um ERO) contendo simplesmente as identificações dessas interfaces. Lembramos que essas identificações podem ser numeradas (endereços IP) ou não numeradas (conforme RFC 3477).

Existem casos, contudo, onde as identificações acima citadas não são suficientes para controlar o LSP no grau desejado. Isso ocorre quando o iniciador do LSP deseja selecionar um label a ser utilizado no link, mas o objeto ERO tradicional não suporta nenhuma forma para indicar esse label.

Para cobrir esse caso, a RFC 3473 introduziu um novo subobjeto para o objeto ERO Classe de objeto (20), denominado subobjeto *Label ERO*, cujo tipo é 3, e cujo formato encontra-se na Figura 13.

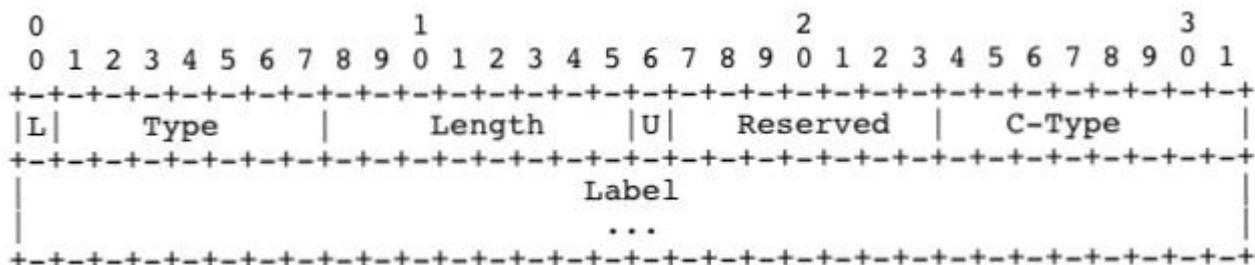


Figura 13 – Formato do subobjeto Label ERO do objeto ERO.

Os campos desse formato têm os seguintes significados/valores:

- L, com 1 bit: Esse bit deve ser setado para 0;
- Type, com 8 bits: O valor é 3;
- Length, com 8 bits: Esse campo contém o comprimento total do subobjeto, em bytes, incluindo o tipo e o próprio comprimento. O valor é sempre múltiplo de 4;

[Digite aqui]

- U, com 1 bit: Esse bit indica ao sentido do label. Esse bit é setado para 0 se for label *downstream* e para 1 se for label *upstream*. O valor 1 só é utilizado em LSPs bidirecionais;
- C-Type, com 8 bits: Esse campo usa o valor de C-Type do objeto LABEL;
- Label, com tamanho variável: Esse campo identifica o label a ser utilizado, com o formato do Label Generalizado.

Da mesma forma, foi definido o subobjeto Label RRO, cujo tipo é 3, para o objeto RRO (classe de objeto 21). Na realidade, esse subobjeto já havia sido criado na RFC 3209, tendo a RFC 3473 apenas o estendido para suporte de LSPs bidirecionais.

### 6.2.11 – Objeto Protection

O objeto *Protection* tem como propósito indicar os atributos de proteção específicos do LSP sinalizado. Esse objeto utiliza a classe de objeto 37 e o C-Type 1, sendo transmitidos em mensagens *RSVP Path*.

Um nó de trânsito que recebe uma mensagem *RSVP Path* contendo um objeto *Protection* DEVE verificar se a proteção solicitada pode atendida pela interface *sainte* ou pelo túnel FA (*forwarding adjacency*) *sainte*. Se não pode, esse nó DEVE gerar uma mensagem *RSVP PathErr* com uma indicação “*Routing problem/Unsupported Link Protection*”.

O objeto *Protection* indica também se o LSP sinalizado é um LSP primário ou um LSP secundário (backup). Os recursos do LSP secundário PODEM ser utilizados por outros LSPs até que seja necessária a sua utilização como backup. Nesse momento, qualquer LSP que esteja utilizando os recursos do LSP secundário DEVE ser preemptado.

O formato do objeto *Protection* encontra-se representado na Figura 14.

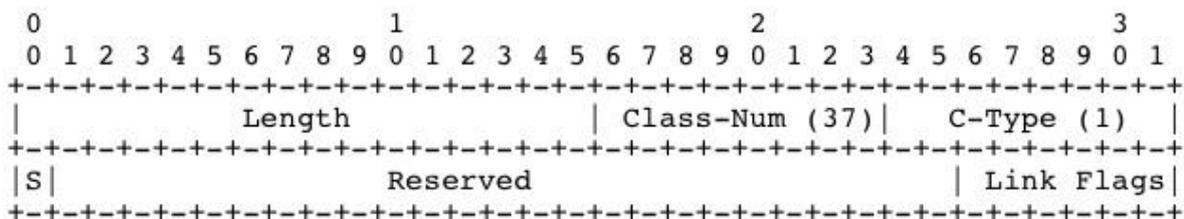


Figura 14 – Formato do objeto Protection.

Os campos dessa figura têm os seguintes significados:

+ S (*Secondary*), com 1 bit: Quando setado para 1, indica que o LSP sinalizado é o LSP secundário.

+ Link Flags, com 6 bits: Indica o tipo desejado de proteção, sendo definidos os seguintes tipos:

- Enhanced (0x20);
- Dedicated 1+1 (0x10);
- Dedicated 1:1 (0x08);
- Shared (0x04);

[Digite aqui]

-Unprotected (0x02);

- Extra Traffic (0x01).

Os significados desses tipos de proteção podem ser vistos no subitem 7.2 do nosso Tutorial Nº 4.

### 6.2.12 – Objeto Admin\_Status (Status Administrativo)

Informações de Estado Administrativo (*Administrative Status Information*) são transportadas no objeto opcional *Admin\_Status*, cuja classe de objeto é 196 e cujo *C-Type* é 1.

Esse objeto provê informação relativa ao estado administrativo de um dado LSP, sendo que essa informação pode ser utilizada de duas maneiras.

Na primeira dessas maneiras, o objeto *Admin\_Status* é transportado em mensagens *RSVP Path* e *RSVP Resv*, para notificar a cada nó ao longo do caminho o estado administrativo de um LSP. A informação de estado é processada por cada um dos nós com base em política local e então propagado na correspondente mensagem *sainte*.

Na segunda, esse objeto é transportado em mensagens *Notify* geradas por um nó intermediário ou pelo nó de egresso, para solicitar que o nó de ingresso altere o estado administrativo de um LSP.

O formato do objeto *Admin\_Status* encontra-se representado na Figura 15.

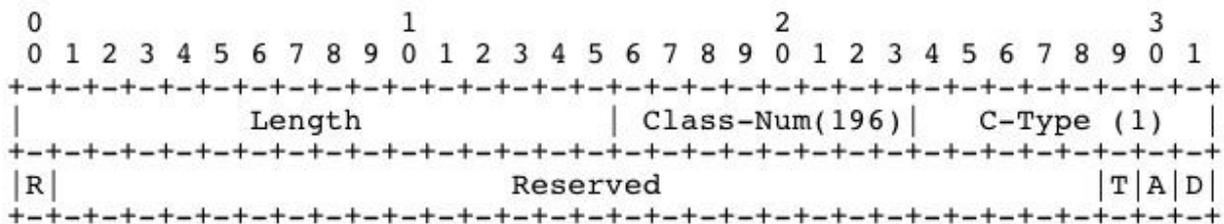


Figura 15 – Formato do objeto Admin\_Status.

Os campos dessa figura têm os seguintes significados:

+ **R** (*Reflect*), com 1 bit: Em mensagens *RSVP Path* e *RSVP Resv*, o bit R setado para 1 indica que o nó no extremo receptor DEVERIA refletir o objeto de volta, na mensagem apropriada. Esse bit NÃO DEVE ser setado em mensagens *Notify*.

+ **T** (*Testing*), com 1 bit: Quando setado para 1, indica que as ações locais relacionadas ao modo “*Testing*” deveriam ser tomadas.

+ **A** (*Administratively down*), com 1 bit: Quando setado para 1, indica que as ações locais relacionadas ao estado “*administratively down*” deveriam ser tomadas.

+ **D** (*Deletion in progress*), com 1 bit: Quando setado para 1, indica que as ações locais relacionadas a desconexão de LSP (LSP teardown) deveriam ser tomadas. Os nós de borda poderiam utilizar esse flag para controlar a desconexão de LSPs.

[Digite aqui]

### 6.2.13 Objeto IF\_ID\_RSVP\_HOP

No MPLS-TE, os canais de dados encontram-se normalmente in-band com os canais de controle, em uma relação de um para um. No caso do GMPLS, no entanto, esse fato não ocorre quando a rede controlada opera no modo circuito (redes SDH, OTN, WDM e fibras ópticas), havendo então a separação entre os canais de controle e os canais de dados.

Para essa separação entre canais, utiliza-se, na sinalização do GMPLS para estabelecimento dos canais de dados, o objeto IF\_ID\_RSVP\_HOP (*interface identifier RSVP hop*), que representa uma variação de *C-Type* (*C-Type 2* e *C-Type 3*, como veremos adiante), dos *C-Type 1* e *C-Type 2* do objeto RSVP\_HOP (classe de objeto 3) utilizados no RSVP e no RSVP-TE.

A necessária escolha e indicação das interfaces a serem utilizadas nos links ao longo do canal de dados são sempre realizadas pelos LSRs emissores da mensagem *RSVP Path*. Isso é feito mediante a inclusão do objeto IF\_ID\_RSVP\_HOP na mensagem *RSVP Path*.

Para LSPs bidirecionais, o emissor escolhe as interfaces de dados para cada sentido. Em todos os casos à exceção da ocorrência de *bundling*, a interface *upstream* é decorrente da interface *downstream*. Para o caso de *bundling*, o emissor da mensagem *RSVP Path* identifica explicitamente as interfaces de dados a serem utilizadas em cada sentido.

O objeto IF\_ID\_RSVP\_HOP é também utilizado em mensagens *RSVP Resv* para confirmar o uso das interfaces indicadas pelos nós *downstream*.

Um LSR que recebe um objeto IF\_ID\_RSVP\_HOP DEVE verificar se a informação nele constante é consistente com a informação constante em um ERO recebido. Caso contrário, esse LSR DEVE retornar uma mensagem *RSVP PathErr* com o código de erro "Routing Error" e o valor de erro "Bad Explicit oute Object".

A Figura 16 apresenta o formato do objeto IPv4 IF\_ID\_RSVP\_HOP (*C-Type 3*), sendo que o objeto IPv6 IF\_ID\_RSVP\_HOP (*C-Type 4*) apresenta o mesmo formato, mas com o endereço IPv6 do *Next/Previous Hop*.

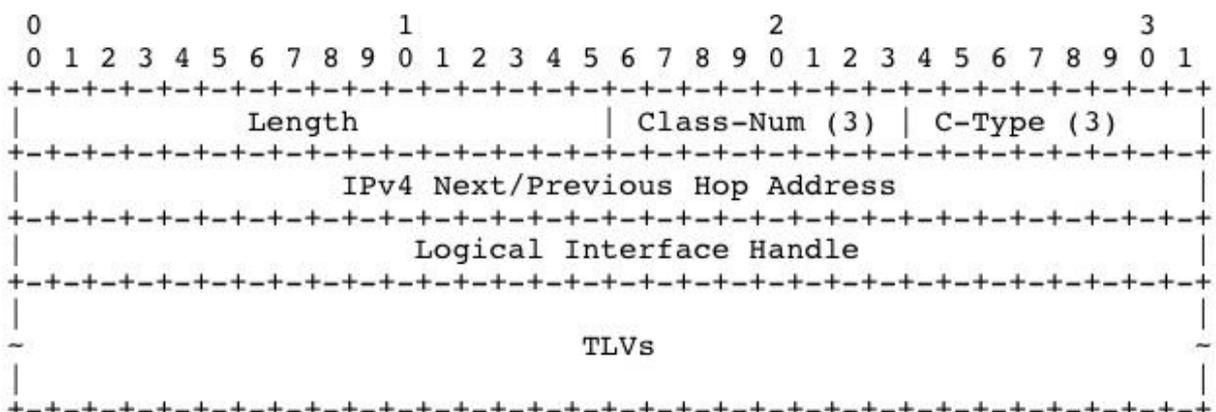


Figura 16 – Formato do objeto IPv4 IF\_ID\_RSVP\_HOP.

Os significados dos campos *Next/Previous Hop Address* e *Logical Interface Handle* dessa figura encontram-se na RFC 2205, enquanto a descrição dos parâmetros e da codificação dos TLVs encontra-

[Digite aqui]

se na RFC 3471. O objeto IF\_ID\_RSVP HOP NÃO DEVERIA ser utilizado quando não há necessidade de TLVs.

### 6.2.14 – Objeto IF\_ID\_ERROR\_SPEC

Ocorrem casos em que se torna útil uma interface específica associada a um erro. Para esses casos, foi definido o objeto IF\_ID\_ERROR\_SPEC. Esse objeto, que representa na realidade uma variação de C-Type (C-type 3 e C-Type 4), dos C-Type 1 e C-Type 2 do objeto ERROR-SPEC (classe de objeto 6) utilizados no RSVP e no RSVP-TE. O objeto IF\_ID\_RSVP\_HOP pode ser transportado em mensagens RSVP PathErr ou em mensagens RSVP ResvErr, e DEVERIA ser gerado e processado como qualquer outro objeto ERROR\_SPEC.

O formato do objeto IPv4 IF\_ID\_ERROR\_SPEC (C-Type 3) encontra-se na Figura 17, sendo que o objeto IPv6 IF\_ID\_ERROR\_SPEC (C-Type 4) apresenta o mesmo formato, mas com endereço IPv6 do *Error Node*.

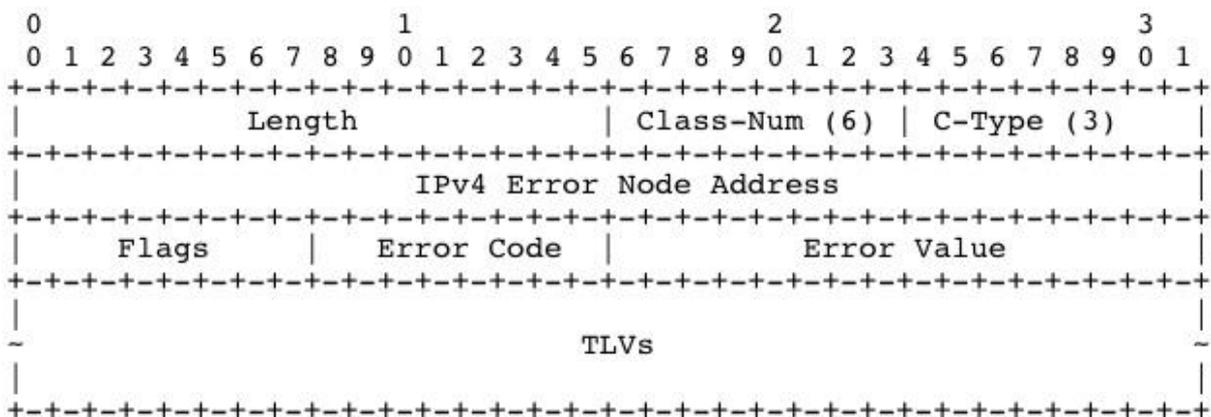


Figura 17 – Formato do objeto IF\_ID\_ERROR\_SPEC.

Os significados dos campos *IPv4/IPv6 Error Node Address*, *Flags*, *Error Code* e *Error Value* dessa figura encontram-se na RFC 2205, enquanto a descrição dos parâmetros e da codificação dos TLVs encontra-se na RFC 3471.

### 6.2.15 – Objeto Restart\_Cap (Restart Capability)

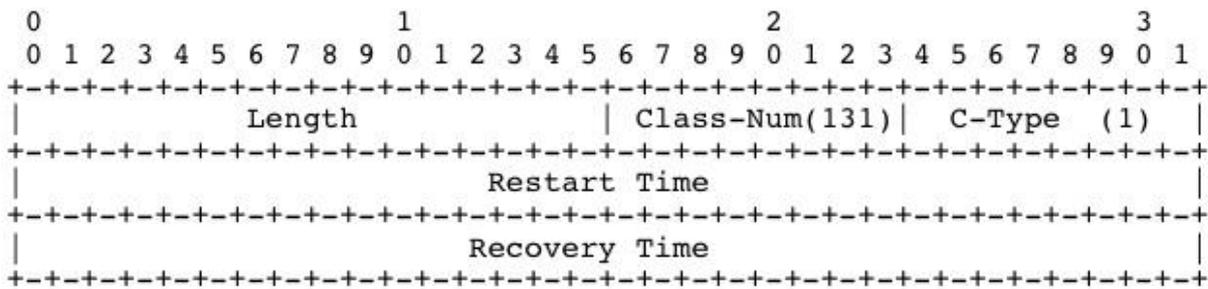
A RFC 3473 descreve dois tipos de falha na comunicação de controle no GMPLS. O primeiro, referido como falhas nodais (*nodal faults*), é relativa ao caso no qual um nó perde seu estado de controle após um restart, mas não perde seu estado de transmissão de dados. O segundo, referido como falhas no canal de controle (*control channel faults*), refere-se ao caso no qual a comunicação de controle entre dois nós é perdida.

Para o tratamento desses dois tipos de falha na comunicação de controle foi definido, na RFC 3473, o objeto *Restart\_Cap*, com a classe de objeto 131 e o C-Type 1. Esse objeto requer o uso de mensagens *Hello* para o seu transporte.

Um nó que suporta recuperação de estados divulga essa capacidade pelo transporte do objeto *Restart\_Cap* em mensagens *Hello*. Esse objeto DEVE ser incluído em todas as mensagens *Hello* enviadas pelo nó.

[Digite aqui]

O formato do objeto *Restart\_Cap* encontra-se na Figura 18.



**Figura 18 – Formato do objeto Restart\_Cap.**

Os campos dessa figura têm os seguintes significados:

**+ Restart Time**, com 32 bits: O tempo de restart, medido em milisegundos, DEVERIA ser setado para a soma do tempo necessário para que o emissor do objeto restart o seu componente RSVP-TE e o canal de comunicação utilizado para a comunicação nesse protocolo.

**+ Recovery Time**, com 32 bits: O tempo de recuperação, medido em milisegundos, é o tempo que o emissor do objeto *Restart\_Cap* deseja para que o receptor re-sincronize seu estado de transmissão RSVP e MPLS com o emissor, a partir do restabelecimento da sincronização *Hello*.

#### 5.2.16 – Objeto Recovery\_Label

A recuperação em caso de falhas nodais utiliza o novo objeto *Recovery\_Label* e mensagens e objetos já existentes para sinalização.

O objeto *Recovery\_Label* é utilizado durante o processo de recuperação de falhas nodais. Esse objeto utiliza a classe de objeto 34 e o *C-Type* do label considerado. O seu formato é o mesmo que o do Label Generalizado, sendo transportado em mensagens *RSVP Path*.

Para o pleno entendimento da utilização do objeto *Recovery\_Label*, o leitor interessado deve recorrer ao subitem 9.5 da RFC 3473.

### 7 – RFC 3474

A RFC 3474 propõe extensões adicionais aos protocolos de sinalização para permitir o suporte às capacidades de redes ASON. Tais capacidades têm como base os requisitos adicionais identificados e comunicados ao IETF pelo grupo de estudo 15 (*Study Group 15*) do ITU-T para o atendimento dos esforços do ITU-T para a padronização da ASON.

A RFC 3474 definiu os seguintes atributos nesse sentido:

- Objeto CALL\_ID (ASON), com a classe de objeto 230 e os C-Types 1 e 2;
- Objeto CALL\_OPS (ASON), com a classe de objeto 228 e o C-Type 1;
- Subobjeto SPC\_LABEL (subtipo 2), como um subtipo do subobjeto EGRESS\_LABEL (tipo 4) do objeto GENERALIZED\_UNI (classe de objeto 229);
- Três novos C-Types (C-Types 12 ASON, 15 ASON e 16 ASON) para o objeto SESSION (classe de objeto 1);

[Digite aqui]

- Quatro novos valores (24/103 ASON, 24/104 ASON, 24/105 ASON e 24/106 ASON) para o código de erro 24.

## 8 – RFC 3476

A RFC 3476 descreve as extensões ao LDP e ao RSVP (aplicáveis também ao GMPLS RSVP-TE), inicialmente especificadas pelo OIF (*Optical Interworking Forum*) para sinalização na UNI óptica. Essa sinalização foi definida no padrão OIF “*UNI 1.0 Signaling Specification*”, que por sua vez tem como base padrões do IETF.

O propósito do OIF é a máxima utilização de padrões do IETF existentes nessa especificação. A RFC 3476 objetiva definir algumas extensões específicas para sinalização na UNI óptica não cobertas pela padronização do IETF existente.

O item 3 da RFC 3476 é dedicado às extensões do RSVP para sinalização na UNI óptica.

A RFC 3476 engloba a definição de um único novo objeto com esse propósito, que é o objeto GENERALIZED\_UNI, que utiliza a classe de objeto 229 e C-Type 1. Em adição, essa RFC define também uma extensão para o objeto SESSION e novos códigos de erro específicos para a UNI óptica.

O objeto GENERALIZED\_UNI é composto por uma série de subobjetos, sendo que esse objeto possui tamanho superior a 8 octetos. Cada subobjeto, em turno, é composto por tipos de subobjeto, sendo os tipos divididos em subtipos. Foram definidos os tipos 1 e 2.

A extensão ao objeto SESSION consiste na definição do novo *C-Type* 11, denominado objeto UNI\_IPv4\_SESSION.

## 9 – RFC 3477

A RFC 3477 define procedimentos e extensões do protocolo RSVP-TE, extensível ao GMPLS RSVP-TE, necessários ao suporte de links não numerados (consultar o nosso Tutorial Nº 3). Lembramos que um link não numerado é necessariamente um link ponto a ponto, sendo que o LSR em cada uma de suas terminações atribui um identificador (*interface ID*) desse link. Os LSRs nos extremos do link não numerado trocam entre si os valores de *interface ID* por eles atribuídos.

A RFC 3477 definiu os seguintes atributos:

- O objeto LSP\_TUNNEL\_INTERFACE\_ID, com a classe de objeto 193 e o *C-Type* 1;
- O subobjeto *ERO Unnumbered Interface ID* (tipo 4) do objeto ERO (classe de objeto 20), utilizado para especificar links não numerados;
- O subobjeto *RRO Unnumbered Interface ID* (tipo 4) do objeto RRO (classe de objeto 21), que objetiva registrar que o LSP utilizou um link não numerado.

## 10 – RFC 4872

A RFC 4872 descreve procedimentos e extensões ao protocolo GMPLS RSVP-TE específicas para suportar a recuperação fim a fim de LSPs, recuperação essa que denota proteção e restauração. Para uma descrição funcional genérica de recuperação no GMPLS, o leitor pode consultar a RFC 4426 (*Generalized Multiprotocol Label Switching (GMPLS) Recovery Functional Specification*).

[Digite aqui]

A RFC 4872 define os seguintes novos atributos:

- C-Type 2 para o objeto PROTECTION (classe de objeto 37), com o objetivo de ampliar a aplicabilidade desse objeto para a recuperação fim a fim de LSPs;
- Objeto PRIMARY\_PATH\_ROUTE, com a classe de objeto 38 e o C-Type 1, sendo definidos 4 subobjetos (subtipo 1- endereço IPv4, subtipo2-endereço IPv6, subtipo 3- label e subtipo 4-interface não numerada);
- Objeto ASSOCIATION, com classe de objeto 199 e os C-Type 1 (*IPv4 Association*) e C-Type 2 (*IPv6 Association*), utilizado para associar LSPs de recuperação com o LSP que estão abrigando.

## 11 – RFC 4873

A RFC 4873 descreve procedimentos específicos para que o GMPLS RSVP-TE passe a suportar proteção e restauração de segmentos de LSP. Essa RFC complementa a RFC 4872 e é consistente com os seus termos. Adicionalmente, a RFC 4873 possui implicações e interações com *fast reroute*, além de conter atualizações dos objetos NOTIFY\_REQUEST e do objeto PROTECTION.

A RFC 4873 define os seguintes novos atributos:

- Objeto SECONDARY\_EXPLICIT\_ROUTE (SERO), com a classe de objeto 200 e com os C-Types do objeto EXPLICIT\_ROUTE, com o mesmo formato que o objeto EXPLICIT\_ROUTE;
- Subobjeto *Protection* (tipo 37) para o objeto SECONDARY\_EXPLICIT\_ROUTE;
- Objeto SECONDARY\_RECORD\_ROUTE (SRRO), com a classe de objeto 201 e com os C-Types do objeto RECORD\_ROUTE, com o mesmo formato que o objeto RECORD\_ROUTE.

Observa-se que o subobjeto PROTECTION, definido para o objeto SECONDARY\_EXPLICIT\_ROUTE, pode ser também utilizado no objeto SECONDARY\_RECORD\_ROUTE.

Além disso, o objeto PROTECTION (classe de objeto 37) foi alterado, passando a incluir o campo *Segment Recovery Flags*, utilizado quando um nó *upstream* deseja que a recuperação de um segmento de LSP seja dinamicamente iniciada quando possível. Os valores utilizados nesse campo são idênticos aos valores para o campo *LSP Flags*.

## 12 – RFC 4874

O RSVP-TE e GMPLS RSVP-TE, da forma em que foram especificados na RFC 3209 e RFC 3473, respectivamente, possibilitam a inclusão explícita de rotas (nós abstratos e recursos) quando da constituição de um LSP, mas não possuem qualquer mecanismo para a exclusão explícita.

A RFC 4874 preenche essa lacuna, definindo formas de comunicar a exclusão de rotas durante o estabelecimento de LSPs, utilizando os protocolos RSVP-TE e GMPLS RSVP-TE. Essa exclusão pode ser aplicada em todo o caminho do LSP ou em segmentos desse caminho.

A RFC 4874 define os seguintes novos atributos:

[Digite aqui]

- Objeto EXCLUDE\_ROUTE (XRO), com a classe de objeto 232 e o *C-Type* 1;
- Cinco subobjetos para o objeto XRO: 1 (*IPv4 prefix*), 2 (*IPv6 prefix*), 4 (*Unnumbered Interface ID*), 32 (*Autonomous system number*) e 34 (SRLG).
- Subobjeto *Explicit Exclusion Route* (EXRS), com o tipo 33.

### 13 – RFC 4875

A RFC 4875 descreve extensões dos protocolos RSVP-TE e GMPLS RSVP-TE para possibilitar o estabelecimento de TE LSPs ponto a multiponto (P2MP TE LSPs) no MPLS-TE e no GMPLS. Essas extensões não requerem o uso de protocolo de roteamento multicast na rede de suporte.

A RFC 4875 define os seguintes novos atributos:

- Objeto S2L\_SUB\_LSP (*source to leaf sub-LSP*), com a classe de objeto 50 e com os *C-Type* 1 (objeto IPv4 S2L\_SUB\_LSP) e *C-Type* 2 (objeto IPv6 S2L\_SUB\_LSP);
- Objetos (novos *C-Types*) para o objeto SESSION (classe de objeto 1), *C-Type* 13 (objeto P2MP\_LSP\_TUNNEL\_IPv4) e *C-Type* 14 (objeto P2MP\_LSP\_TUNNEL\_IPv6);
- Objetos (novos *C-Types*) para o objeto SENDER\_TEMPLATE (classe de objeto 11), *C-Type* 12 (objeto P2MP\_LSP\_TUNNEL\_IPv4) e *C-Type* 13 (objeto P2MO\_LSP\_TUNNEL\_IPv6);
- Objetos (novos *C-Types*) para o objeto FILTER\_SPEC (classe de objeto 10), *C-Type* 12 (objeto P2MP LSP\_IPv4) e *C-Type* 13 (objeto P2MP LSP\_IPv6);
- Objeto (novo *C-Type*) para o objeto SERO (classe de objeto 200), *C-Type* 2 (objeto P2MP SECONDARY\_EXPLICIT\_ROUTE);
- Objeto (novo *C-Type*) para o objeto SRRO (classe de objeto 201), *C-Type* 2 (objeto P2MP SECONDARY\_RECORD\_ROUTE).

### 14 – RFC 4974

Em certas topologias de rede, pode tornar-se vantajoso manter associações entre pontos de terminação, assim como entre pontos de terminação e pontos de trânsito importantes, para suportar uma instância de serviço. Essas associações são denominadas *calls* (chamadas).

Uma chamada não provê conectividade real para transmissão de tráfego de dados, mas apenas constrói uma relação pela qual podem ser estabelecidas conexões para esse tráfego. Essas conexões são os LSPs.

A RFC 4974 especifica o modo pelo qual o GMPLS RSVP-TE pode ser utilizado e estendido para suportar chamadas, mantendo a plena e lógica separação entre conexões e chamadas.

Os mecanismos propostos na RFC 4974 são aplicáveis em quaisquer ambientes (incluindo multi-área IGP) e para qualquer tipo de interface: PSC, L2CP, TDM, LSC e FSC.

A RFC 4974 define os seguintes novos atributos:

[Digite aqui]

- Objeto LINK\_CAPABILITY, com a classe de objeto 133 e o *C-Type* 1 (capacidades do link TE), transportado apenas em mensagens *Notify*. O objeto LINK\_CAPABILITY utiliza os subobjetos tipo 1, tipo 2, tipo 4, tipo 64 e tipo 65, cujos significados encontram-se no subitem 5.3 da RFC 4974;

- Novo bit C, com o número 28, a ser utilizado no sub-registro “*Administrative Status Information Flags*” do objeto RSVP ADMIN\_STATUS (classe de objeto 196).

## 15 – RFC 5063

A RFC 5063 descreve extensões dos mecanismos para recuperação do estado de sinalização do RSVP com base na última mensagem *RSVP Path* enviada pelo LSR sendo recuperado, quando o plano de controle apresenta falha, mas o plano de dados reteve o associado estado funcional.

Esse tipo de recuperação é referido como *graceful restart* ou como recuperação de falha nodal.

A RFC 5063 define um novo tipo de mensagem denominado *RSVP RecoveryPath message*, com o mesmo formato que as mensagens *RSVP Path*, mas utilizando um número próprio de mensagem igual a 30.

A RFC 5063 define também o novo objeto *Capability*, com a classe de objeto 134 e o *C-Type* 1. Esse objeto, transportado em mensagens *Hello*, tem como propósito básico indicar as características dos nós da rede quanto à transmissão e à recepção de mensagens *RSVP RecoveryPath*.

Por fim, a RFC 5303 especifica também atualizações dos objetos MESSAGE\_ID ACK/NACK e MESSAGE\_ID LIST, definidos na RFC 2961.

## 16 – RFC 5420

Como vimos no subitem 7.3.3 do nosso tutorial Nº 2 (Plano de Controle do MPLS-TE: Base para o GMPLS), a RFC 5420 define um conjunto de complementos às RFC 3209 e RFC 3473 no sentido de possibilitar a sinalização de atributos adicionais de sinalização para o MPLS-TE e para o GMPLS.

A RFC 5420 define os novos objetos LSP\_REQUIRED\_ATTRIBUTES (classe de objeto 67, e *C-Type* 1) e LSP\_ATTRIBUTES (classe de objeto 197 e *C-Type* 1). Além disso, a RFC 5420 define também um novo subobjeto para o objeto RRO, denominado *RRO Attributes*, cujo tipo é 0X05 e utiliza o formato padrão desse tipo de subobjeto.

O objeto LSP\_REQUIRED\_ATTRIBUTES é opcional e pode ser utilizado em mensagens *RSVP Path* para conduzir informações adicionais a respeito dos atributos desejados para o LSP.

O objeto LSP\_ATTRIBUTES, é também opcional, e pode também ser utilizado em mensagens *RSVP Path* para conduzir informações adicionais a respeito dos atributos desejados para o LSP. Difere, porém, do objeto LSP\_REQUIRED\_ATTRIBUTES por poder ser também utilizado em mensagens *RSVP Resv* para reportar estados operacionais.

## 17 – RFC 5467

A RFC 5467 define um método para o suporte de LSPs bidirecionais com bandas passantes assimétricas no GMPLS. Esse método, de caráter experimental, é aplicável para qualquer tecnologia de comutação controlada pelo GMPLS.

[Digite aqui]

A RFC 5467 especifica os seguintes três novos tipos de objeto:

- UPSTREAM\_FLOWSPEC, com o *C-Num (class number)* 120 e utilizando os mesmos valores de *C-Type* que o objeto FLOWSPEC (*C-Num* 9);
- UPSTREAM\_TSPEC, com o *C-Num* 121 e utilizando os mesmos valores de *C-Type* que o objeto SENDER\_TSPEC (*C-Num* 12);
- UPSTREAM\_ADSPEC, com o *C-Num* 122 e utilizando os mesmos valores de *C-Type* que o objeto ADSPEC (*C-Num* 13).

No contexto de LSPs bidirecionais com bandas passantes simétricas conforme a RFC 3473, o objeto SENDER\_TSPEC enviado na mensagem *RSVP Path* indica a banda passante desejada para ambos os sentidos, o que é confirmado pelo objeto FLOWSPEC na mensagem *RSVP Resv*.

Nos termos da RFC 5467, o objeto SENDER\_TSPEC indica apenas a banda passante desejada para o sentido *downstream*. A mensagem *RSVP Path* passa a conter o objeto UPSTREAM\_FLOWSPEC, que indica ao receptor a banda a ser utilizada no sentido *upstream*.

A partir do *tail end LSR*, o objeto FLOWSPEC contido na mensagem *RSVP Resv* confirma a reserva de banda passante somente para o sentido *downstream*, sendo incluídos adicionalmente os objetos UPSTREAM\_TSPEC e UPSTREAM\_ADSPEC. O objeto UPSTREAM\_TSPEC, refletindo o objeto UPSTREAM\_FLOWSPEC, confirma a reserva de banda passante para o sentido *upstream*.

## 8 – RFC 6001

A RFC 6001 define extensões aos protocolos de roteamento e aos protocolos de sinalização do GMPLS, com o propósito de permitir o suporte à operação de MLNs/MRNs (*Multi-Layer Networks/Multi-Region Networks*) controladas pelo GMPLS.

Recomendamos aos leitores que, neste ponto, consultem o item 6 de nosso Tutorial Nº 3, onde se encontram os conceitos de região, de camada, de MLN e de MRN, com base na RFC 5212 (*Requirements for GMPLS-Based Multi-Region and Multi-Layer Networks (MRN/MLN)*).

Lembramos apenas que uma MRN é uma rede constituída pelo menos por dois tipos de capacitação para comutação de interfaces (TDM e LSC, por exemplo), com a condição de serem controladas por uma única instância de plano de controle GMPLS (instância única de roteamento e sinalização GMPLS).

De forma análoga, uma MLN é uma rede constituída por duas ou mais camadas, contidas ou não em uma mesma região, controladas por uma única instância de plano de controle GMPLS.

As MRNs/MLNs são compostas por LSRs que contêm as regiões ou as camadas que as constituem, lembrando a condição de controle por uma única instância de plano de controle GMPLS, ou seja, que os LSPs das diferentes regiões ou das diferentes camadas sejam constituídos em uma rodada do GMPLS.

A RFC 6001 engloba os elementos para roteamento e sinalização de uma única instância de plano de controle GMPLS que controla LSPs em MRNs/MLNs.

No presente tutorial nos limitaremos à abordagem das extensões aos protocolos de sinalização do GMPLS para o controle de LSPs em MRNs/MLNs.

[Digite aqui]

Em termos de sinalização, aplicam-se ao controle das MRNs/MLNs o conjunto de normas definidas na RFC 3473 e em suas extensões para o controle GMPLS dos LSPs convencionais, à exceção das normas definidas na RFC 4874 para a exclusão explícita de rotas quando da constituição de LSPs.

Como vimos no item 12 anterior deste tutorial, o conteúdo do objeto EXCLUDE\_ROUTE (XRO), definido na RFC 4874, representa uma série de subobjetos.

A RFC 6001 define o novo subobjeto *Switching Capability* (SC), cujo tipo é tipo 35, com o propósito de possibilitar a exclusão de capacidades de comutação de interfaces (ISCs ou simplesmente SCs) durante a constituição de LSPs em MRNs/MLNs.

A RFC 6001 define também o novo subobjeto Label (*XRO Label subobject*), cujo tipo é 3, com o propósito de excluir labels na constituição de LSPs em MRNs/MLNs. A codificação desse subobjeto é idêntica à codificação do subobjeto *Label ERO* definido na RFC 3473.

## 19 – RFC 6002

A RFC 6002 descreve duas novas extensões para o GMPLS, que são independentes da tecnologia empregada.

A primeira dessas extensões define um novo tipo de ISC (*Interface Switching Capability*), denominado *Data Channel Switching Capable* (DCSC), cujo tipo de objeto (*C-Num*) é 125. Recomendamos aos leitores consultar o subitem 7.4.1.1 do nosso Tutorial Nº4 quanto ao DCSC. Lembramos apenas que o propósito do DCSC é definir uma interface de LSR baseada em porta, na qual todo e qualquer tipo de dados é transparentemente comutado.

A outra extensão, mais especificamente voltada para a sinalização no GMPLS, define um novo tipo de label generalizado, referido como objeto *Generalized Channel Set LABEL*, que representa um novo *C-Type* (*C-Type 4*) para o objeto RSVP\_LABEL (*C-Num 16*).

O objeto *Generalized Channel\_Set LABEL* objetiva comunicar um ou mais labels, cuja totalidade pode ser equivalentemente utilizada no caminho de dados associado a um único LSP. O formato desse objeto é baseado no formato do objeto LABEL\_SET definido na RFC 3473, e encontra-se detalhado no subitem 3.2 da RFC 6002.

Esse novo objeto difere do objeto LABEL\_SET por permitir a representação de todo o conjunto de labels propostos em um único objeto, e não em múltiplos objetos como requerido pela utilização do objeto LABEL\_SET.

A solicitação do label *Generalized Channel\_Set* realiza-se pela utilização do objeto *Generalized Channel\_Set LABEL\_REQUEST*, que representa um novo *C-Type* (*C-Type 5*) para o objeto LABEL\_REQUEST (*C-Num 19*).

## 20 – RFC 6780

A RFC 6780 define a forma pela qual o objeto ASSOCIATION, especificado na RFC 4872 (vide item 10 anterior deste tutorial), passa a ser utilizado mais generalizadamente. Na RFC 4872 o objeto ASSOCIATION objetiva essencialmente associar um LSP de serviço ao LSP que lhe serve de reserva, sendo para isso definidos o *C-Type 1* (*IPv4 ASSOCIATION object*) e o *C-Type 2* (*IPv6 ASSOCIATION object*).

[Digite aqui]

Para lograr essa generalização, a RFC 6780 define adicionalmente o *C-Type 3 (IPv4 Extended ASSOCIATION object)* e o *C-Type 4 (IPv6 Extended ASSOCIATION object)* para o objeto ASSOCIATION (*C-Num 199*), além de generalizar a definição do campo *Association ID* contido nesse objeto.

A RFC 6780 expande o possível uso do objeto ASSOCIATION adicionalmente para LSPs do MPLS-TE (RFC 3209) ou mesmo para sessões RSVP *non-LSP* (RFC 2205, RFC 2207, RFC 3175 e RFC 4860), tanto em mensagens *RSVP Path* quanto em mensagens *RSVP Resv*.

Além disso, o objeto ASSOCIATION, que na RFC 4872 pode ser originado apenas pelo *head end LSR*, passa a poder ser originado também por qualquer outro LSR.

Como o campo *Association ID* é composto por 16 bits, podem ser alocadas no máximo 65.536 diferentes associações, o que pode não ser suficiente para atender à generalização de uso do objeto ASSOCIATION. Além disso, o caso particular de uso do GMPLS para o controle do MPLS-TP apresenta uma condição que não pode ser atendida pelos *C-Type 1* e *C-Type 2* do objeto ASSOCIATION.

Para o atendimento dessas limitações, foram definidos na RFC 6780 os *C-Type 3* e *C-Type 4* para o objeto ASSOCIATION, respectivamente para o IPv4 e o IPv6, ambos com o campo *Extended Association ID* com maior dimensão que a definida na RFC 4872.

## **21 – OBJETOS DE MENSAGENS RSVP**

Vamos apresentar as relações de objetos que compõem as mensagens *RSVP Path*, *RSVP PathErr* e *RSVP Resv* utilizadas no GMPLS, considerando as definições das RFC 2205, RFC 2061, RFC 3209, RFC 3473 e RFC 4872.

### **21.1 – Mensagens RSVP Path**

A Figura 19 apresenta os objetos das mensagens *RSVP Path*.

[Digite aqui]

C-Num	Nome do Objeto	RFC/RFCs
-	<b>Common Header</b>	-
4	INTEGRITY	2447
24	MESSAGE_ID_ACK	2961
24	MESSAGE_ID_NACK	2961
23	MESSAGE_ID	2961
1	SESSION	2205,2207,3209,3476
3	RSVP_HOP	2205, 2207
5	TIME_VALUES	2205
20	EXPLICIT_ROUTE	3209, 3473
19	LABEL_REQUEST	3209, 3473
37	PROTECTION	3473, 4872
36	LABEL_SET	3473
207	SESSION_ATTRIBUTE	3209, 3473
195	NOTIFY_REQUEST	3473
196	ADMIN_STATUS	3473
199	ASSOCIATION	4872
38	PRIMARY_PATH_ROUTE	4872
14	POLICY_DATA	2205, 2450
	<b>Sender Descriptor</b>	
11	SENDER_TEMPLATE	2205, 2207, 3209
12	SENDER_TSPEC	2205
13	ADSPEC	2205
21	RECORD_ROUTE	3209, 3473
129	SUGGESTED_LABEL	3473
34	RECOVERY_LABEL	3473
35	UPSTREAM_LABEL	3473

**Figura 19 – Objetos das mensagens RSVP Path até RFC 4872.**

**OBSERVAÇÃO:** O *Sender Descriptor* dessa figura aplica-se para LSPs bidirecionais. Para LSPs unidirecionais não se utiliza o objeto UPSTREAM\_LABEL.

## 21.2 – Mensagens RSVP Resv

A Figura 20 apresenta os objetos das mensagens RSVP Resv.

[Digite aqui]

<b>C-Num</b>	<b>Nome do Objeto</b>	<b>RFC/RFCs</b>
-	<b>Common Header</b>	-
4	INTEGRITY	2447
24	MESSAGE_ID_ACK	2961
24	MESSAGE_ID_NACK	2961
23	MESSAGE_ID	2961
1	SESSION	2205, 2207, 3209, 3476
3	RSVP_HOP	2205, 2207
5	TIME_VALUES	2205
15	RESV_CONFIRM	2205
7	SCOPE	2205
37	PROTECTION	3473, 4872
195	NOTIFY_REQUEST	3473
196	ADMIN_STATUS	3473
14	POLICY_DATA	2205, 2750
8	STYLE	2205
-	<b>Flow Descriptor List</b>	-
9	FLowsPEC	2205
10	FILTER_SPEC	2205, 2207
16	LABEL	3209, 3473
21	RECORD_ROUTE	3209, 3473

**Figura 20 – Objetos das mensagens RSVP Resv até a RFC 4872.**

### 21.3 – Relação Geral de Objetos

A Figura 21 apresenta a relação geral de objetos vistos neste tutorial, que de alguma forma se aplicam ao GMPLS.

<b>C-Num</b>	<b>Nome do Objeto</b>	<b>RFC/RFCs</b>
1	SESSION	2205, 2207, 3209, 3474, 3476, 4860, 4875
3	RSVP_HOP	2205, 2207
4	INTEGRITY	2747
5	TIME_VALUES	2205
6	ERROR_SPEC	2205, 3473
7	SCOPE	2205
8	STYLE	2205
9	FLowsPEC	2205
10	FILTER_SPEC	2205, 2207
11	SENDER_TEMPLATE	2205, 2207, 3209, 4875
12	SENDER_TSPEC	2205
13	ADSPEC	2205
14	POLICY_DATA	2205, 2750
15	RESV_CONFIRM	2205
16	RSVP_LABEL	3209, 3473, 6002

[Digite aqui]

19	LABEL_REQUEST	3209, 3473, 6002
20	EXPLICIT_ROUTE (ERO)	3209, 3473, 3477, 4874, 5553
21	RECORD_ROUTE (RRO)	3209, 3473, 3477, 5420, 5553
22	HELLO	3209/3473
23	MESSAGE_ID	2961, 5063
24	MESSAGE_ID_ACK/NACK	2961, 5063
25	MESSAGE_ID_LIST	2961
30	DIAGNOSTIC	2745
31	ROUTE	2745
32	DIAG_RESPONSE	2745
33	DIAG_SELECT	2745
34	RECOVERY_LABEL	3473
35	UPSTREAM_LABEL	3473
36	LABEL_SET	3473
37	PROTECTION	3473, 4872, 4873
38	PRIMART_PATH_ROUTE	4872
50	S2L_SUB_LSP	4875
63	DETOUR	4090
64	CHALLENGE	2447
65	DIFFSERV	3270
66	CLASSTYPE	4124
67	LSP_REQUIRED_ATTRIBUTES	5420
120	UPSTREAM_FLOWSPEC	5467
121	UPSTREAM_TSPEC	5467
122	UPSTREAM_ADSPEC	5467
129	SUGGESTED_LABEL	3473
130	ACCEPTABLE_LABEL_SET	3473
131	RESTART_CAP	3473
132	SECTION-OF-INTEREST (SOI)	4860
133	LINK_CAPABILITY	4974
134	CAPABILITY	5063
193	LSP_TUNNEL_INTERFACE_ID	3477, 6107
195	NOTIFY_REQUEST	3473
196	ADMIN_STATUS	3473, 4974, 5852
197	LSP_ATTRIBUTES	5420
198	ALARM_SPEC	4783
199	ASSOCIATION	4872, 4873
200	SECONDARY_EXPLICIT_ROUTE	4873, 4875
201	SECONDARY_RECORD_ROUTE	4873, 4875
202	CALL_ATTRIBUTES	6001
205	FAST_REROUTE	4090
207	SESSION_ATTRIBUTE	3209/3473
228	CALL_OPS (ASON)	3474
229	GENERALIZED_UNI	3476
230	CALL_ID (ASON)	3474
232	EXCLUDE_ROUTE (XRO)	4874, 6001

## **Figura 20 - Relação geral de objetos aplicáveis ao GMPLS.**

### **22 – CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Vimos, ao longo do presente tutorial, o processo de sinalização no GMPLS em um bom nível de profundidade, cuja base é constituída pelo protocolo GMPLS RSVP-TE.

O GMPLS RSVP-TE fundamenta-se primordialmente na RFC 3473, que por sua vez deriva do protocolo RSVP-TE definido na RFC 3209 para o protocolo RSVP-TE, protocolo esse destinado à sinalização no MPLS-TE. Retrocedendo ainda mais na evolução histórica da sinalização na família RSVP, alcançamos a sua origem na RFC 2205, que especifica o protocolo RSVP originariamente destinado a reserva de recursos em redes IP.

A RFC 3473, específica para o GMPLS RSVP-TE, foi imediatamente precedida pela RFC 3471, cujo objetivo é definir um arcabouço teórico básico para a sinalização no GMPLS independentemente do protocolo de sinalização a ser utilizado.

Do mesmo modo do que ocorrera com a RFC 3209, à RFC 3473 sucedeu-se a definição de uma série de extensões, com a emissão das correspondentes RFCs. Algumas dessas extensões, comuns à sinalização no MPLS-TE, já haviam sido especificadas em RFCs anteriores à RFC 3473.

O escopo do presente tutorial é apresentação organizada e estruturada do processo regulamentatório sintetizado nos parágrafos anteriores, onde buscou-se lograr um nível de profundidade suficiente para um bom entendimento inicial da sinalização no GMPLS.

Não menos importante é a citação contextualizada das referências às RFCs aplicáveis aos vários temas, que certamente podem orientar os leitores interessados em aprofundar-se no estudo do GMPLS.

### **23 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

#### **23.1 – 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.

[Digite aqui]

## **23.2 – Padrões do IETF (RFCs)**

RFC 2205 (*Resource ReSerVation Protocol (RSVP) – Version 1 Functional Specification*);

RFC 2207 (*RSVP Extensions for IPSEC Data Flows*);

RFC 2210 (*The Use of RSVP with IETF Integrated Services*);

RFC 2961 (*RSVP Refresh Overhead Reduction Extensions*);

RFC 3209 (*RSVP-TE: Extensions to RSVP for LSP Tunnels*);

RFC 3471 (*Generalized Multi-Protocol Label Switching (GMPLS) Signaling Functional Description*);

RFC 3473 (*Generalized Multi-Protocol Label Switching (GMPLS) Signaling Resource ReSerVation Protocol – Traffic Engineering (RSVP-TE)*);

RFC 3474 (*Documentation of IANA Assignments for Generalized Multiprotocol Label Switching (GMPLS) Resource ReSerVation Protocol – Traffic Engineering (RSVP-TE)*);

RFC 3476 (*Documentation of IANA Assignments for Label Distribution Protocol (LDP), Resource ReSerVation Protocol (RSVP), and Resource ReSerVation Protocol – Traffic Engineering (RSVP-TE) Extensions for Optical UNI Signaling*);

RFC 3477 (*Signaling Unnumbered Links in Resource ReSerVation Protocol -Traffic Engineering (RSVP-TE)*);

RFC 4003 (*GMPLS Signaling Procedure for Egress Control*);

RFC 4090 (*Fast Reroute Extensions to RSVP-TE for LSP Tunnels*);

RFC 4124 (*Protocol Extensions for Support of Diffserv – aware MPLS Traffic Engineering*);

RFC 4420 (*Encoding of Attributes for Multiprotocol Label Switching (MPLS) Label Switched Path (LSP) Establishment Using Resource ReSerVation Protocol – Traffic Engineering (RSVP-TE)*);

RFC 4783 (*GMPLS – Communication of Alarm Information*);

RFC 4860 (*Generic Aggregate Resource ReSerVation Protocol (RSVP) Reservations*);

RFC 4872 (*RSVP-TE Extensions in Support of End-to-End Generalized Multi-Protocol Label Switching (GMPLS) Recovery*);

RFC 4873 (*GMPLS Segment Recovery*).

RFC 4874 (*Exclude Routes – Extension to Resource ReSerVation Protocol – Traffic Engineering (RSVP-TE)*);

RFC 4875 (*Extensions to Resource ReSerVation Protocol – Traffic Engineering (RSVP-TE) for Point-to-Multipoint TE Label Switched Paths (LSPs)*);

RFC 4974 (*Generalized MPLS (GMPLS) RSVP-TE Signaling Extensions in Support of Calls*);

RFC 5050 (*Bundle Protocol Specification*);

[Digite aqui]

RFC 5063 (*Extensions to GMPLS Resource ReSerVation Protocol (RSVP) Graceful Restart*);

RFC 5151 (*Inter-Domain MPLS and GMPLS Traffic Engineering – Resource ReSerVation Protocol – Traffic Engineering (RSVP-TE) Extensions*);

RFC 5212 (*A Per-Domain Path Computation Method for Establishing Inter-Domain Traffic Engineering (TE) Label Switched Paths LSPs*);

RFC 5420 (*Encoding of Attributes for MPLS LSP Establishment Using Resource ReSerVation Protocol Traffic Engineering (RSVP-TE)*);

RFC 5467 (*GMPLS Asymmetric Bandwidth Bidirecional Label Switched Paths (LSPs)*);

RFC 5553 (*Resource ReSerVation Protocol (RSVP) Extensions for Path Key Support*);

RFC 6001 (*Generalized MPLS (GMPLS) Protocol Extensions for Multi-Layer and Multi-Region Networks (MLN/MRN)*);

RFC 6002 (*Generalized MPLS (MPLS) 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 6107 (*Procedures for Dynamically Signaled Hierarchical Label Switched Paths*);

RFC 6780 (*RSVP ASSOCIATION Object Extensions*);

RFC 7074 (*Revised Definition of the GMPLS Switching Capability and Type Fields*).

## **24 – TESTE SEU CONHECIMENTO**

### **24.1 – Qual o complemento de frase correto?**

O parâmetro *Waveband Switching* ...

- a) especifica o comprimento de onda a ser utilizado para o LSP.
- b) representa o label generalizado que especifica um conjunto de comprimentos de onda contíguos a serem comutados simultaneamente.
- c) especifica a codificação da banda passante requisitada para o LSP.
- d) especifica o tipo de comutação na interface do LSP.

### **24.2 – Qual o complemento de frase correto?**

O campo G-PID (*Generalized Protocol Identifier*) indica...

- a) o protocolo de sinalização utilizado.
- b) a codificação do LSP.
- c) a identificação do payload a ser transportado no LSP.

[Digite aqui]

- d) a codificação da banda passante requisitada para o LSP.

#### **24.3 – Qual o complemento de frase correto?**

Para a constituição de um LSP bidirecional é necessária a utilização adicional...

- a) do objeto UPSTREAM\_LABEL em mensagens *RSVP Path*.
- b) dos objetos UPSTREAM\_LABEL e SUGGESTED\_LABEL.
- c) do objeto UPSTREAM\_LABEL em mensagens *RSVP Resv*.
- d) Nenhuma das respostas acima.

**RESPOSTAS NA PÀGINA SEGUINTE**

[Digite aqui]

**RESPOSTAS:** 24.1 – b)

24.2 – c)

24.3 – a)