

Engenharia de Telecomunicações e Informática

**Redes Óticas**

## **MPLS – VPN de Layer 2**

João Rabuge | 98509

**Docente:**

Luís Gonçalo Lecoq Vences e Costa Cancela

**Ano curricular: 4º**

**Semestre: 1º Semestre**

**2023/2024**

## Índice

<i>Introdução</i> .....	<b>3</b>
<i>1. Contexto Tecnológico</i> .....	<b>4</b>
<i>2. Conceitos de MPLS</i> .....	<b>5</b>
<i>2.1. Elementos-chave do MPLS</i> .....	<b>5</b>
<i>2.2. Processo de switching de Rótulos – Plano de Utilizador</i> .....	<b>6</b>
<i>3. VPN de Layer 2 (L2VPN)</i> .....	<b>6</b>
<i>3.1. Funcionamento das L2VPNs</i> .....	<b>7</b>
<i>3.2. Comparação entre L2VPN e L3VPN</i> .....	<b>7</b>
<i>4. Virtual Private LAN Service (VPLS)</i> .....	<b>8</b>
<i>4.1. Como o VPLS funciona?</i> .....	<b>8</b>
<i>4.2. Benefícios do VPLS</i> .....	<b>9</b>
<i>5. Virtual Private Wire Service (VPWS) / Virtual Leased Line (VLL)</i> .....	<b>9</b>
<i>5.1. Como o VPWS / VLL funciona?</i> .....	<b>9</b>
<i>5.2. Benefícios do VPWS / VLL</i> .....	<b>10</b>
<i>6. Diferenças entre VPWS / VLL e VPLS</i> .....	<b>11</b>
<i>7. Opções de Service Provider</i> .....	<b>12</b>
<i>8. Futuro do MPLS</i> .....	<b>13</b>
<i>9. Conclusão</i> .....	<b>14</b>
<i>10. Referências</i> .....	<b>15</b>

## Introdução

Com a transição do **mundo para o digital**, são mais que nunca necessários **serviços de alta velocidade**, e com isso a necessidade de redes mais **eficientes e fiáveis**. Neste caso, sendo este um projeto no âmbito da Unidade Curricular de **Redes Óticas**, iremos focar-nos no papel que estas desempenham na satisfação das necessidades acima referidas, conseguindo assim proporcionar uma **elevada capacidade de transmissão, baixa latência e Qualidade de Serviço (QoS)**.

Um dos principais protocolos utilizados para otimizar o desempenho deste tipo de redes é o **Multiprotocol Label Switching (MPLS)**. Esta é uma tecnologia de encaminhamento de pacotes que utiliza **rótulos** em vez de IP's para tomar as decisões de encaminhamento, tornando assim o processo mais **rápido e eficiente**.

Este projeto tem como foco principal o **MPLS - VPN's de Layer 2**. No presente relatório serão abordados **conceitos básicos** de MPLS, uma **descrição detalhada** de **L2VPN**, os respetivos **tipos, descrição de funcionamento, Service Provider para cada tipo de VPN de Layer 2** e o **futuro do MPLS**.

O objetivo deste projeto é fornecer uma visão **detalhada e abrangente** de como o MPLS pode ser aplicado para **otimizar o desempenho** das **VPNs de layer 2 em redes óticas**.

## 1. Contexto Tecnológico

No âmbito da Unidade Curricular de **Redes Óticas**, abordámos o facto de estas fornecerem altas **velocidades** e **largura de banda**, acrescentando à **robustez** e **eficiência energética**. Este tipo de redes permite a transmissão de grandes **quantidades de dados** em **longas distâncias** com **perdas mínimas**.

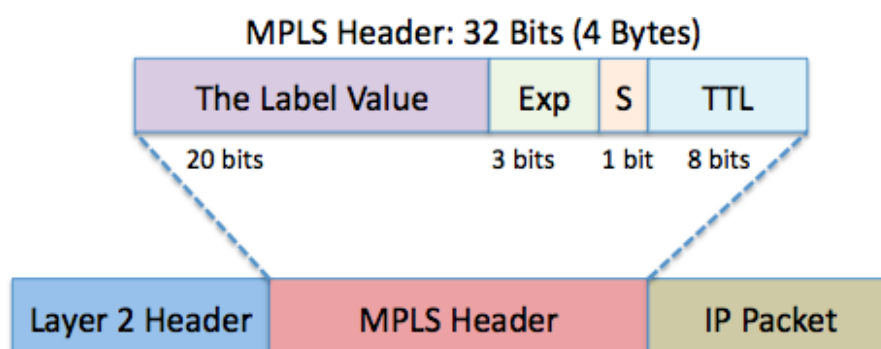
No entanto, estas redes também apresentam defeitos ao nível da escalabilidade e performance, o que obrigou a criação de uma nova tecnologia que conseguisse colmatar os aspetos negativos das redes óticas, o **Multiprotocol Label Switching (MPLS)**. Esta tecnologia difere das tradicionais baseadas em IP's, porque usa rótulos para tomar decisões de **encaminhamento**, os quais são atribuídos a cada trama quando ele entra na rede MPLS e são usados para determinar o seu caminho. Isso permite que o encaminhamento das tramas seja mais rápido e eficiente e proporcionando assim uma maior **flexibilidade** na **Engenharia de Tráfego (TE)** e **Qualidade de Serviço (QoS)**.

Dentro da rede MPLS, a **VPN de Camada 2 (L2VPN)** será a abordada no projeto. A L2VPN permite a criação de **redes privadas virtuais** onde **múltiplas redes locais (LAN's)** podem ser conectadas como se fossem uma **única rede**, aumentando assim a **segurança** e a **privacidade** dos dados nela transmitidos. Este tipo de VPN é especialmente utilizado em organizações que necessitem de uma forma mais **segura** e **eficiente** de comunicar.

Desta forma, a compreensão sobre **MPLS** e **L2VPN** é fundamental para a utilização das **redes óticas de Service Provider**, e posteriormente saber como **otimizá-las** para fornecer serviços de rede **eficientes** e de **alta qualidade**.

## 2. Conceitos de MPLS

**Multiprotocol Label Switching (MPLS)** é uma tecnologia de **encaminhamento de pacotes** que usa **rótulos (labels)** em vez de IP's para tomar decisões de encaminhamento. Esta abordagem oferece diversas vantagens, entre elas destacam-se a **maior velocidade de encaminhamento, flexibilidade e eficiência**.



**Figura 1.** Cabeçalho MPLS.

### 2.1. Elementos-chave do MPLS

Para uma melhor compreensão da rede MPLS, é necessário conhecer os seus **elementos básicos**:

- **Routers de Borda do Service Provider (PE):** São os routers onde as tramas entram e saem da rede MPLS. Estes são responsáveis por adicionar e remover os rótulos MPLS.
- **Routers de Service Provider (P):** São os routers que estão dentro da rede MPLS e são responsáveis por encaminhar as tramas com base nos rótulos MPLS.
- **Rótulos MPLS:** São identificadores de 20 bits que são atribuídos a cada trama quando estas entram na rede MPLS. Os mesmos são usados para tomar as decisões de encaminhamento dentro da rede MPLS.

## 2.2. Processo de switching de Rótulos – Plano de Utilizador

Quando se usa o MPLS, o processo de encaminhamento é realizado através de uma técnica conhecida como **switching de rótulos**. Quando uma trama entra na rede MPLS, o **PE** atribui-lhe um **rótulo, push**. Este é usado para fazer todas as decisões de encaminhamento enquanto a trama estiver na rede MPLS.

Os rótulos são organizados em **pilhas**, o que estiver no **topo** é usado para tomar as decisões do encaminhamento. À medida que a trama passa por cada **P**, o rótulo no topo da pilha pode ser alterado, através de **swap**. Quando a trama deixa a rede MPLS, todos os rótulos são **removidos, pop**. Essa abordagem permite que o MPLS forneça uma vasta gama de funcionalidades, incluindo **Engenharia de Tráfego (TE)**, **Qualidade de Serviço (QoS)** e **Redes Privadas Virtuais (VPN)**.

## 3. VPN de Layer 2 (L2VPN)

As Redes Privadas Virtuais de Layer 2, ou L2VPNs, são uma forma de rede privada virtual (VPN) que permite a ligação de várias redes locais (LAN's) como se fossem uma só. Existem 2 tipos de L2VPN:

- **VPWS / VLL – Virtual Private Wire Service / Virtual Leased Line** que emula uma ligação privada **ponto-a-ponto** (apenas dois) através de **túneis ponto-a-ponto, túneis LSP** que encapsulam as tramas Ethernet, PPP, HDLC, ATM ou FR, em tramas MPLS.
- **VPLS – Virtual Private LAN Service** que emula uma ligação privada **multiponto** (entre vários pontos) através de **túneis multiponto, túneis LSP**.

A criação dos **túneis LSP (plano de dados)** implica a **distribuição dos rótulos** pelos **LSR (Label Switch Router)**, para saber qual irá ser utilizado em cada LSR.

Os **protocolos** usados para a **distribuição dos rótulos** são:

- **Label Distribution Protocol (LDP)**

- Resource Reservation Protocol (RSVP-TE)

### 3.1. Funcionamento das L2VPNs

As **L2VPN** funcionam através do encapsulamento de tramas Ethernet, PPP, HDLC, ATM ou FR em tramas **MPLS** no **PE** de **origem**. Essas tramas são então transmitidas através da rede do **Service Provider**, usando a tecnologia **MPLS** nela existente. No **PE** de **destino**, a trama de Ethernet, PPP, HDLC, ATM ou FR é extraído da trama MPLS e enviado à rede do cliente.

### 3.2. Comparação entre L2VPN e L3VPN

Características	L2VPN	L3VPN
Layer	2	3
Controlo sobre o encaminhamento de Layer 3	Cliente tem controlo sobre encaminhamento.	Service Provider tem controlo sobre o encaminhamento.
Protocolos	Protocolos de layer 2 (Ex: Ethernet, Frame Relay, ATM).	Protocolos de layer 3 (Ex: IP).
Escalabilidade	Menos escalável, devido à necessidade de manter MAC tables.	Mais escaláveis, devido ao uso eficiente de Routing Tables.
Flexibilidade	Mais flexível, cliente controla encaminhamento.	Menos flexível, Service Provider controla encaminhamento.
Complexidade	Mais complexo para o cliente pois tem de gerir o encaminhamento.	Menos complexo para o cliente pois o Service Provider gere o encaminhamento.
Uso Típico	Ideal para redes que necessitam de transparência e gestão de encaminhamento por parte do cliente.	Ideal para redes que necessitam de conectividade simples e escalável.

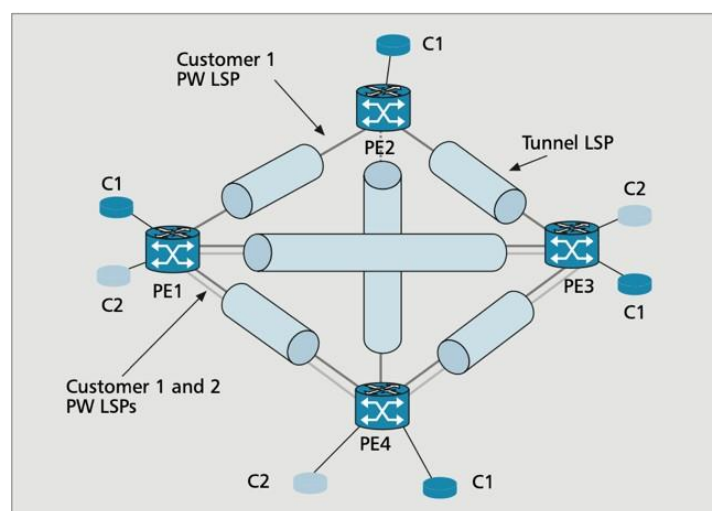
**Tabela 1.** Diferenças entre L2VPN e L3VPN.

## 4. Virtual Private LAN Service (VPLS)

O **Virtual Private LAN Service (VPLS)** é uma forma de **VPN de Layer 2** que usa a tecnologia **MPLS** para conectar diferentes **redes locais (LANs)** a uma única **rede virtual**. O VPLS permite que várias LAN's se comportem como se estivessem na **mesma**, independentemente de sua localização geográfica. Ideal para empresas que necessitem de comunicação entre **vários pontos** de uma rede.

### 4.1. Como o VPLS funciona?

**VPLS** funciona através da criação de uma rede MPLS que usa o protocolo BGP que conecta **vários pontos**. Cada ponto está ligado a uma "virtual bridge" (**multiponto-para-multiponto**), que é responsável por encaminhar tráfego para os outros pontos na mesma **VPLS**. O tráfego é então encapsulado com **rótulos MPLS** e enviado pela rede. Quando chega ao destino, os **rótulos são removidos** e os dados são enviados para o dispositivo final.



**Figura 2.** Operação VPLS.



## 4.2. Benefícios do VPLS

Os benefícios do **VPLS** incluem:

- **Flexibilidade:** A capacidade de conectar múltiplos pontos na rede como se estivessem localmente na mesma oferece grande flexibilidade para a configuração da rede.
- **Escalabilidade:** VPLS pode suportar um grande número de pontos, permitindo que a rede se expanda conforme necessário sem a necessidade de grandes updates na infraestrutura.
- **Eficiência:** Como o VPLS usa a tecnologia MPLS e protocolos baseados em TE, este pode garantir a entrega eficiente dos dados.
- **Economia:** A capacidade de usar instalações pré-existentes de rede existente para criar redes locais virtuais pode resultar em diminuição de custos em comparação com a instalação de redes locais físicas.

## 5. Virtual Private Wire Service (VPWS) / Virtual Leased Line (VLL)

O **Virtual Private Wire Service (VPWS)** ou **Virtual Leased Line (VLL)** é uma forma de **VPN de Layer 2** que usa a tecnologia **MPLS** para conectar duas redes em locais separados como se estivessem numa única rede. O **VPWS/VLL** oferece ligação **ponto a ponto** entre locais, tornando-o ideal para empresas que precisam de uma ligação direta e privada entre **dois pontos na rede**. Neste tipo de MPLS – VPN de Layer 2, a rede do Service Provider é invisível para a rede do cliente, assim sendo, as redes locais sentem que estão diretamente conectadas.

### 5.1. Como o VPWS / VLL funciona?

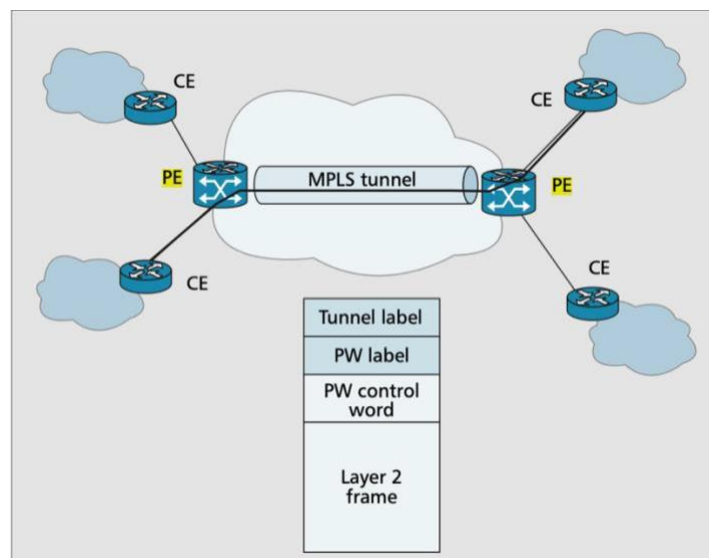
O **VPWS/VLL** usa uma tecnologia **ponto-a-ponto** que se baseia na criação de **túneis virtuais** na rede **MPLS**, posteriormente utilizados para o transporte de dados entre 2 pontos específicos. Cada par de pontos que comunicam recebem um identificador único,

conhecido como *pseudowire*. O tráfego entre os mesmos é então encapsulado com rótulos **MPLS**, que identificam o *pseudowire* específico. No destino, os rótulos **são removidos** e os dados são transmitidos para o destino.

## 5.2. Benefícios do VPWS / VLL

Os benefícios do **VPWS/VLL** incluem:

- **Flexibilidade:** Permite várias ligações ponto-a-ponto e consegue transportar uma grande diversidade de tráfegos, entre eles IP, Frame Relay, ATM e Ethernet, o que garante flexibilidade.
- **Escalabilidade:** A capacidade de criar múltiplos *pseudowires* permite que a rede se expanda para suportar um grande número de ligações ponto-a-ponto.
- **Eficiência:** Ao utilizar pseudowires, que são ligações ponto-a-ponto, podem ser estabelecidos rapidamente permitindo assim a utilização de forma eficiente da largura de banda disponível.
- **Economia:** A capacidade de usar instalações pré-existentes de rede existente para criar redes locais virtuais pode resultar em diminuição de custos em comparação com a instalação de redes locais físicas separadas.



**Figura 3.** MPLS PseudoWire.

## 6. Diferenças entre VPWS / VLL e VPLS

Aqui está uma tabela com algumas diferenças entre os **dois tipos** de **L2VPN**:

Características	VPWS / VLL	VPLS
<b>Tipo de Serviço</b>	Ponto-a-ponto.	multiponto-a-multiponto.
<b>Complexidade</b>	Simples, requer apenas túneis ponto-a-ponto.	Complexo, requer topologia de rede em malha.
<b>Escalabilidade</b>	Menos escalável, requer ligação ponto-a-ponto para cada par de locais.	Mais escalável, devido a poder utilizar uma única instância de serviço.
<b>Aplicações</b>	Voz e/ou videoconferências.	Redes de empresas com vários pontos.
<b>Flexibilidade</b>	Menor, cada ligação configurada individualmente.	Maior, todos os locais podem comunicar entre si através da rede VPLS.
<b>Transparência de Protocolo</b>	Sim.	Sim.
<b>QoS (Quality of Service)</b>	Aplicado individualmente a cada ligação.	Aplicado a toda a rede VPLS.

**Tabela 2.** Diferenças entre VPWS / VLL e VPLS.

## 7. Opções de Service Provider

Aqui irei exibir algumas opções de **Service Provider** que implementam **MPLS – VPN de Layer 2**.

- **VPLS** – Os Service Providers que oferecem soluções deste género, entre outros são:
  - **AT&T**
  - **NTT**
  - **Cisco**
  
- **VPWS / VLL** – Os Service Providers que oferecem soluções deste género, entre outro são:
  - **CenturyLink**
  - **Vodafone**
  - **Verizon**

Assim é possível saber que **Service Provider** se deve escolher tendo em conta as **necessidades da organização**. Sendo esta decisão bastante **importante** para a correta aplicação do **MPLS** na organização.

## 8. Futuro do MPLS

O futuro do **Multiprotocol Label Switching (MPLS)** parece profícuo, embora a tecnologia tenha enfrentado concorrência de novas tecnologias, como as redes definidas por software (**SDN**) e a virtualização de funções de rede (**NFV**). Contudo, a **MPLS** permanece uma solução eficaz e eficiente para muitas organizações devido à sua capacidade de lidar com grandes **volumes de tráfego** e oferecer **alta qualidade de serviço**.

Apesar da ascensão de alternativas, o **MPLS** ainda é amplamente utilizado nas redes de **backbone** dos **Service Providers**. Devido à sua capacidade de garantir a entrega de pacotes numa sequência ordenada e à sua **eficácia na redução de congestionamentos de rede**. No entanto, para garantir um lugar no futuro das redes óticas, o **MPLS** precisará de continuar a **evoluir e adaptar às mais recentes tecnologias**.

Além disso, a combinação de **MPLS** com **SDN** e **NFV** já é utilizada. A **SDN** proporciona um **controlo centralizado** sobre o fluxo de tráfego na rede, enquanto a **NFV** pode reduzir a **dependência de hardware** da rede, permitindo assim uma rede mais **flexível e económica**.

Dito isto, o **MPLS** ainda enfrenta desafios como a **complexidade de gestão** e a necessidade de **equipamentos específicos** que também pode ser um **impedimento para as pequenas e médias empresas**.

## 9. Conclusão

Concluindo, as **redes óticas** que utilizam as tecnologias **MPLS e L2VPN** estão a revolucionar a forma como as redes são **concebidas e geridas**. Estas tecnologias proporcionam comunicações **eficientes e seguras** e permitem ligações de elevada **capacidade e baixa latência** entre locais geograficamente remotos.

O MPLS fornece serviços **mais rápidos e flexíveis** em termos de **engenharia de tráfego (TE)** e **Qualidade de Serviço (QoS)**, encaminhando os pacotes com **rótulos** em vez de IP's.

No entanto, a implementação destas tecnologias é **complexa** e a escolha do **Service Provider** é um fator **crucial** para garantir um desempenho **eficaz** da rede.

Em suma, o estudo das **MPLS L2VPN's** fornece uma base para a compreensão das redes óticas e da forma como estas podem ser **otimizadas** para fornecer serviços de rede **eficientes** e de **alta qualidade**. A adoção destas tecnologias está a tornar-se cada vez mais importante à medida que aumenta a procura de redes de **alta velocidade e baixa latência**.

Este projeto fornece uma visão detalhada e abrangente da forma como o MPLS pode ser aplicado para **otimizar o desempenho das VPN's de Layer 2** em redes óticas, delineando as vantagens e desvantagens das tecnologias **VPN MPLS-Camada 2** e o contexto em que podem ser aplicadas, a fim de auxiliar o processo da tomada de decisão.

## 10. Referências

Neste projeto sobre **MPLS** e **VPN de Layer 2 (L2VPN)**, foram utilizadas as seguintes fontes bibliográficas:

- Minei, I., & Lucek, J. (2011). MPLS-Enabled Applications: Emerging Developments and New Technologies, Third Edition. Wiley Publishing.
- Malis (2006). Converged Services over MPLS, IEEE Comm. Magazine.
- Feisu (2018). VPLS vs VPWS - How Much Do You Know? - <https://www.fomsn.com/networks/sun2002/vpls-vs-vpws-how-much-do-you-know/>
- Andersson, L., & Rosen, E. (2006). Framework for Layer 2 Virtual Private Networks (L2VPNs). RFC 4664, IETF Network Working Group.
- Kompella, K., & Rekhter, Y. (2006). Virtual Private LAN Service (VPLS) Using Label Distribution Protocol (LDP) Signaling. RFC 4762, IETF Network Working Group.
- Sharma, S. Shashi (2022). Understand MPLS L2VPN Pseudowire. Cisco <https://www.cisco.com/c/en/us/support/docs/multiprotocol-label-switching-mpls/mpls/213238-mpls-l2vpn-pseudowire.html#toc-hId--475135289>