

Mestrado Integrado em Engenharia Electrotécnica e de Computadores

Sistemas de Telecomunicações

EEC0032

Resumos

© João Loureiro

joao.pedro.loureiro@fe.up.pt

2018/2019

Índice

1. Introdução.....	5
1.1. Tipos de configurações de comunicação	5
1.2. Caracterização das diferentes classes de serviços de comunicação	5
1.3. Acessos: Analógico e Digital	5
1.4. Tipos de redes e serviços de comunicações eletrónicas	6
1.5. Conceito de Serviço Universal de Telecomunicações	6
1.6. Tipos de acesso de utilizador	7
2. Rede Fixa de Telecomunicações.....	7
2.1 Modos de transferência de informação	7
2.2 Topologias de Rede	9
2.3 Topologia Física vs Topologia Lógica	10
2.4 Evolução da Rede: Cenários de Convergência com redes de dados.....	10
3. Multiplexagem Digital Síncrona.....	11
3.1 Conceito de Trama	11
3.2 TDM (<i>Time Division Multiplexing</i>)	11
3.3 Cálculo de Débitos.....	11
3.4 Tipos de Entrelaçamento	11
3.5 Conceito de Palavra de Alinhamento.....	11
3.6 Estratégias de Alinhamento	12
3.7 Alinhamento Série e Alinhamento Paralelo.....	12
3.8 Critérios para a escolha da palavra de alinhamento	12
3.9 Multitramas.....	12
3.10 Alinhamento de tramas baseado em CRC (<i>Cyclic Redundancy Check</i>)	13
4. Multiplexagem Digital Assíncrona.....	13
4.1 Conceito de Escorregamento de bits	13
4.2 Soluções de Multiplexagem Assíncrona.....	13
5. Hierarquia de Multiplexagem Síncrona (SDH)	14
5.1 Vantagens e Limitações	14
5.2 Arquitetura.....	14
5.3 Conceitos de Contentor Virtual, Unidade Tributária/Administrativa e módulo STM	15
5.4 Multiplexagem Inversa (SDH de nova geração).....	15
5.5 Operação com apontadores	15
5.6 Conceitos para Operação e Manutenção.....	15
5.7 Ações preventivas e corretivas	16
5.8 Elementos de uma Rede SDH	16
6. Sistemas de transmissão de longa distância.....	16

6.1	Estrutura de um Sistema de Fibra Ótica	16
6.2	Constituição de uma Fibra Ótica	17
6.3	Propagação nas Fibras Óticas	17
6.4	Limitações das Fibras Óticas	17
6.5	Fibras Multimodo e Monomodo.....	17
6.6	Áreas de evolução tecnológica (Fibras Óticas)	18
6.7	Introdução aos Sistemas por Feixe Hertziano.....	18
6.8	Plano de Frequência.....	18
6.9	Estrutura de um Sistema por Satélite.....	19
6.10	Tipos de Órbita.....	19
6.11	Acesso Simples & Acesso Múltiplo.....	19
7.	Multiplexagem por divisão de Comprimento de Onda (WDM).....	20
7.1	Princípios básicos de WDM	20
7.2	CWDM (<i>Coarse WDM</i>) & DWDM (<i>Dense WDM</i>).....	20
7.3	Elementos de Redes WDM	20
7.4	Topologias de Redes WDM	21
8.	Redes de Acesso no Lacete Local.....	21
8.1	Introdução ao Lacete Local.....	21
8.2	Acesso telefónico analógico	21
8.3	Efeito Local.....	21
8.4	Funcionamento do Circuito Híbrido.....	22
8.5	Limitações (intrínsecas) da transmissão em pares de cobre	22
8.6	Entrelaçamento de dados utilizando FEC (<i>Forward Error Correction</i>)	22
8.7	Técnicas de Transmissão bidirecional	23
8.8	Cancelamento de Eco	23
8.9	SHDSL (<i>Single-pair High-Speed Digital Subscriber Line</i>)	23
8.10	ADSL (<i>Asymmetric Digital Subscriber Line</i>).....	23
8.11	Modulação DMT (<i>Discrete Multi-Tone</i>).....	24
8.12	Configurações de instalação de ADSL (Assinante & Central)	24
8.13	VDSL (<i>Very high-speed Digital Subscriber Line</i>).....	25
9.	Protocolos de Sinalização	25
9.1	Funções básicas da Sinalização.....	25
9.2	Marcação decádica e Marcação multifrequência.....	25
9.3	Serviços Suplementares de assinante analógico	26
9.4	Princípios da sinalização por canal comum	26
9.5	Sistema de Sinalização nº7: Tipos de pontos de sinalização.....	26
9.6	Serviços de Rede Inteligente	26
9.7	Mensagens DSS1 (<i>Digital Subscriber Signalling system nr. 1</i>)	27

9.8	Introdução ao SIP (<i>Session Initiation Protocol</i>)	27
9.9	Encaminhamento de um pedido de chamada numa rede SIP.....	28
9.10	SIP: conceitos de transação, diálogo e chamada	29
9.11	Autenticação em Acessos SIP	29
9.12	SIP: SDP (<i>Session Description Protocol</i>) & PSTN (<i>Public Switched Telephone Network</i>)	29
10.	Sistemas de Comutação	29
10.1	Matrizes de Comutação & Tipos de comutação.....	29
10.2	Etapas históricas de desenvolvimento de comutadores de circuitos.....	30
10.3	Matrizes de comutação temporal e espacial	30
10.4	Constituição de um Comutador de Pacotes	31
10.5	Operação com matrizes elementares de comutação de células de comprimento fixo	31
10.6	Comutação de pacotes <i>vs</i> Comutação digital de circuitos.....	31
10.7	Tipos de matrizes de comutação de pacotes	31
10.8	Redes de Interligação de andares múltiplos.....	32
11.	Rede de Acesso por Fibra Ótica Passiva (PON)	32
11.1	Arquiteturas de acesso por Fibra Ótica	32
11.2	Princípios básicos de PON (<i>Passive Optical Networks</i>)	33
11.3	Balanço de Potência & Alcance em GPON	34
11.4	Proteções em Fibras Óticas	34
11.5	Mecanismos de Multiplexagem nas ligações óticas	35
11.6	Mecanismo de atribuição de BW na ligação ascendente	35
12.	Aspetos de Qualidade de Serviço (QoS).....	35
12.1	Conceitos básicos de QoS	35
12.2	Classificação de indicadores	36
12.3	Técnicas de obtenção de dados de desempenho (KPIs).....	36
12.4	Determinação de Objetivos de Desempenho	36
12.5	Exemplos de indicadores de desempenho em sistemas VoIP	37
13.	Data Centers: Virtualização de Armazenamento e de Servidores	37
13.1	Conceitos básicos acerca de virtualização	37
13.2	Virtualização de servidores	37
13.3	Virtualização de Armazenamento	37
13.4	Open Virtualization Format (OVF).....	38
14.	Arquiteturas de Data Centers	38
14.1	Data Center Physical Layout	38
14.2	Formatos de Servidores	39
14.3	Arquitetura Hierárquica em Data Centers	39
14.4	Arquitetura Leaf-Spine.....	40
15.	Data Centers: Redes Virtuais Privadas	40

15.1 Tradicional <i>vs</i> Data Center Ethernet	40
15.2 Conceitos base	40
15.3 Spanning Tree Protocol (STP)	40
15.4 Geographic Clusters	41
15.5 Virtualização de Rede em <i>Multi-tenant Data Centers</i>	41
16. Software Defined Networking (SDN)	41
16.1 Planos de Networking	41
16.2 Definição de SDN e as suas Vantagens	42
17. Network Functions Virtualization (NFV)	42
17.1 Porquê NFV?	42
17.2 Caracterização da NFV	42
17.3 Virtual Network Function (VNF)	42
17.4 Relação entre NFV & SDN	43
18. Content Delivery Networks (CDNs)	43
18.1 Definição e Funcionamento de Content Delivery Networks	43
18.2 Arquitetura de CDNs	43

1. Introdução

1.1. Tipos de configurações de comunicação

Essencialmente existem **3 tipos** de configurações de comunicação (de acordo com a relação entre sistemas terminais envolvidos):

- **Ponto-a-ponto** (*peer-to-peer*): Comunicação “direta” entre 2 terminais.
Exemplos: Telefonia, fax, acesso a bases de dados, e-mail, etc.
- **Multiponto:** Comunicação entre sistemas terminais de um determinado subconjunto.
Exemplos: Tele-conferência, tele-vigilância, e-mail, etc.
- **Difusão** (ou Distribuição): Comunicação de um determinado sistema e os restantes. O nº de receptores é arbitrário e normalmente desconhecido ao emissor.
Exemplos: Televisão, rádio, etc.

As configurações *ponto-a-ponto* e *multiponto* exigem alguma **forma de endereçamento** explícito ou implícito dos sistemas terminais de destino. A rede terá de suportar funções de comutação, isto é, a interligação entre entradas e saídas em nós da rede, de forma a permitir o encaminhamento de acordo com o endereço de destino.

1.2. Caracterização das diferentes classes de serviços de comunicação

As classes de serviço (de acordo com os requisitos funcionais exigidos à rede) podem ser divididas em **2 grandes grupos**: ***serviços interativos*** e ***serviços de difusão/distribuição***.

Os *serviços interativos* requerem um fluxo de informação bidirecional, podendo subdividir-se em **3 tipos**:

- **Serviços Conversacionais:** Transferência de informação em tempo real com fluxo de direção bidirecional (apenas exceccionalmente poderá ser unidirecional) podendo ser simétrico ou assimétrico.
- **Serviços de Mensagens:** Transferência de informação através de unidades de memória com fluxo bidirecional podendo ser simétrico ou assimétrico.
- **Serviços de Consulta:** Consulta de informação guardada em centros de informação com fluxo bidirecional sendo normalmente assimétrico.

Já nos *serviços de difusão/distribuição*, a informação é difundida de um ponto central para um número não limitado de utilizadores. O fluxo é, portanto, unidirecional e no caso geral o utilizador não tem possibilidade de seleccionar o início ou a ordem de apresentação da informação difundida.

1.3. Acessos: Analógico e Digital

A distinção entre acesso *analógico* e *digital* diz respeito apenas à interface disponibilizada pela rede ao utilizador. Em termos de canal físico de suporte, na sua essência, todos os canais são analógicos no sentido em que variam continuamente em amplitude ao longo de um intervalo de tempo contínuo.

- **Analógico:**
 - Disponibiliza um canal analógico com uma dada largura de banda.
 - Aceita à entrada e produz à saída um sinal analógico.
 - Caracterizável pela resposta em frequência e pelo SNR à saída.
 - Tendência a ser substituído pelo acesso digital.
- **Digital:**
 - Disponibiliza um canal digital com um dado débito binário.
 - Aceita à entrada e produz à saída um fluxo contínuo de bits.
 - Caracterizável pela probabilidade de erros e outros parâmetros que exprimem como ocorrem os erros.

1.4. Tipos de redes e serviços de comunicações electrónicas

As redes de comunicações electrónicas, em função do tipo de acesso, podem ser *acessíveis ao público* ou *restritas a um determinado grupo de utilizadores*. Se tivermos em conta a configuração de comunicação podem ser redes *endereçoadas* ou de *distribuição*. Os **7** principais **tipos de redes** de comunicações electrónicas (e alguns dos serviços associados) são:

- **Redes Fixas** (*Exemplos:* fios de cobre, fibras óticas, etc.).
- **Redes móveis** (*Exemplos:* GSM, UMTS, etc.).
- Redes de satélites (asseguram uma grande variedade de serviços com enormes potencialidades de cobertura de grandes áreas geográficas).
- **Redes de Radiocomunicações**
- **Redes de eléctricas** (quando usadas para transmissão de sinais).
- **Redes Hertzianas** (de programas rádio e TV).
- **Redes de distribuição por cabo** (incluindo TV, internet de banda larga, etc.).

Quanto aos principais **tipos de serviços**, podemos distinguir **6**:

- **Serviço de telefone fixo** (acesso direto e indireto).
- **Serviço de transmissão de dados** (ISP, VoIP fixo, etc.).
- **Serviço de VoIP nómada**
- **Serviço de circuitos alugados** (retalhista).
- **Serviços de revenda** (Circuitos ou acesso à Internet).
- **Serviços de radiocomunicações** (radiodifusão, móvel terrestre - *GSM/UMTS*, etc).

1.5. Conceito de Serviço Universal de Telecomunicações

Para falarmos do conceito de *Serviço Universal de Telecomunicações*, é preciso irmos primeiro de encontro à definição de *Rede Básica de Telecomunicações*. A *rede básica de telecomunicações* consiste numa rede de comunicações electrónicas, acessíveis ao público, concessionada pelo Estado. É esta rede que disponibiliza um *serviço universal de telecomunicações* de cobertura nacional, que possui as seguintes funções:

- Garantia de qualidade, de sigilo e de igualdade de acesso pelos cidadãos;
- Oferta de uma rede aberta, interoperável com outras redes;

- Satisfação das exigências do desenvolvimento económico e social.

As obrigações deste serviço universal são:

- Ligação à rede e acesso aos serviços telefónicos num local fixo;
- Lista e serviço de informações;
- Postos públicos;
- Acesso específico a utilizadores finais com deficiência;
- Disponibilização de informação de qualidade de serviço;
- Preços acessíveis e mecanismos de controlo de despesas.

1.6. Tipos de acesso de utilizador

Podemos considerar vários tipos diferentes de acesso de utilizador de um total de 4 grandes grupos:

Acessos Telefónicos	Acessos Móveis Celulares	Acessos Internet de Banda Larga	Acessos TV c/assinatura
Acesos Analógicos (POT)	GSM	ADSL	CATV
Acessos digitais (RDIS e outros)	UMTS	Cabo	DTH
VoIP e outros		FTTH	IPTV, FTTH, FWA
		3G, 4G, 5G	

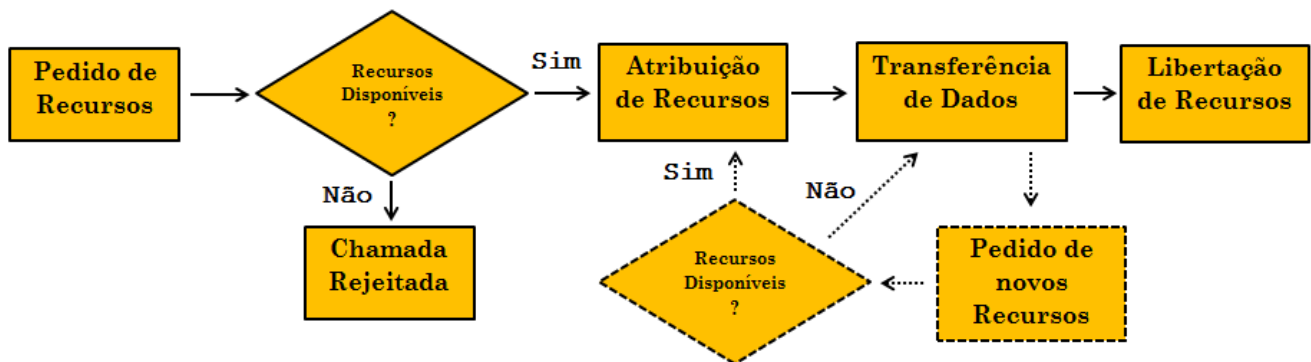
2. Rede Fixa de Telecomunicações

2.1 Modos de transferência de informação

I - Modo de Circuito

Este é o modo fundamental utilizado na **rede pública telefónica comutada** (PSTN). São utilizadas técnicas de *multiplexagem determinística*. Cada canal ocupa uma banda fixa (**multiplexagem em frequência**) ou intervalos de tempo cíclicos em tramas/*frames* sucessivas (**multiplexagem temporal**) resultando em **débito** e **atraso** constantes.

⇒ Este modo de circuito é, então, especialmente adequado a serviços de débito constante (CBR).



Como podemos ver no esquema anterior, só nesta fase de atribuição de recursos é que existe competição: uma vez atribuído o circuito, este é **utilizado exclusivamente pelos terminais até à sua libertação**. Uma das características do modo circuito é a necessidade de uma fase prévia de estabelecimento de conexões.

II - Modo de Pacote

Este é o modo de dados com origem nas **redes de dados** e, pela sua natureza, é apenas aplicável a comunicações digitais. São utilizadas técnicas de *multiplexagem temporal estatística*. A identificação dos canais é feita pelo conteúdo do cabeçalho (*header*).

⇒ Neste caso, o canal de comunicação assenta num fluxo de pacotes, suportando serviços de débito variável (VBR).

Como o cabeçalho representa um acréscimo (*overhead*) por pacote, o acréscimo total é geralmente superior ao existente no modo circuito, no entanto, esta perda de eficiência é recuperada:

- Apenas é utilizado o débito necessário à fonte (no modo de pacote) ficando o excedente disponível para os outros canais;
- No modo de circuito, o canal encontra-se muitas vezes subutilizado, isto porque é sempre utilizado o débito máximo da fonte para não haver perda de informação.

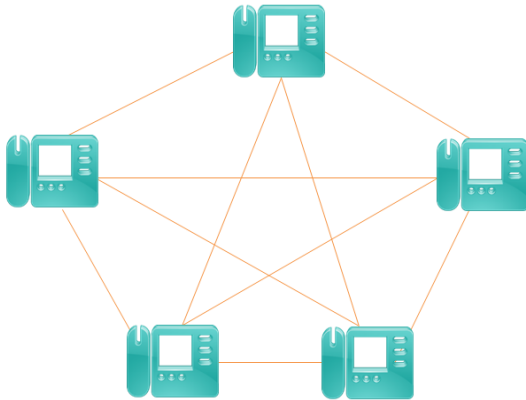
O *acesso aos recursos* é também diferente do modo anterior: **duas ou mais fontes podem enviar simultaneamente pacotes**, por exemplo (os pacotes de outras fontes são memorizados). Um protocolo adequado resolve o conflito de acesso a recursos.

As suas desvantagens são que as fontes poderão ter que reduzir o débito para minimizar a perda de pacotes e, ocasionalmente, poderá haver sobrecarga de nós da rede podendo resultar em atrasos ou até mesmo perdas de pacotes.

As redes que operam em modo pacote podem ainda ser de 2 tipos: **sem conexões** (ex: LAN e IP) que não requerem estabelecimento prévio de conexões e os pacotes são chamados *datagramas* INDEPENDENTES e as redes **com conexões** que exigem estabelecimento de conexões prévio e disponibilizam *circuitos virtuais*.

2.2 Topologias de Rede

I – Topologia com interligação total



- Um par de terminais e um circuito dedicado para cada possível ligação;
- Comutação local em cada utilizador;
- Alimentação local de cada terminal (bateria local);
- Interesse apenas histórico: possui **eficiência baixa** devido a possíveis ligações nunca utilizadas e, consequentemente, **crescimento incontrolável** pois todos os terminais teriam de estar ligados diretamente entre si.

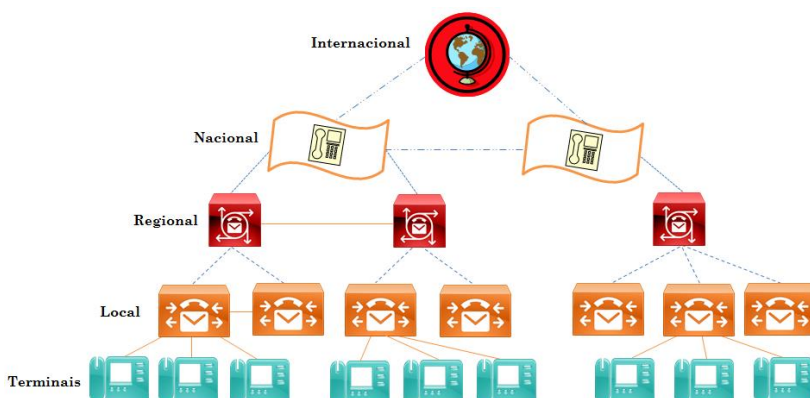
II – Topologia em Estrela



- Um único terminal e uma única ligação/utilizador;
- Comutação executada por um nó para todos os utilizadores (troca informação de controlo/sinalização com os terminais e efetua ligações temporárias entre eles);
- Alimentação de todos os terminais centralizada (bateria central);

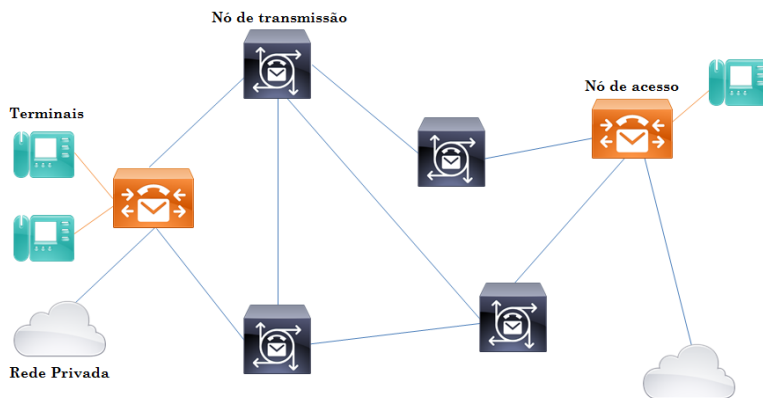
• **Eficiência superior** pois cada ligação tem, agora, uma ocupação aceitável e possui um **crescimento suave** (para inserirmos um utilizador basta ligá-lo ao nó) porém com limitações (a criação de um nó de comutação só compensa em zonas geográficas com uma demanda elevada do serviço).

III – Topologia Hierárquica



- Vários níveis de comutação;
- Permite muitos utilizadores com grande dispersão geográfica;
- Eficiência maximizada (possibilidade de emalramento, etc);
- Crescimento Suave.
- Por vezes o tráfego entre 2 centrais do mesmo nível hierárquico justifica uma ligação direta entre ambas.

IV – Topologia Emalhada (*Mesh*)



- Devido ao tráfego muito variável entre as diversas regiões geográficas, esta abordagem **emalhada irregular** é a mais eficiente para assegurar tais

2.3 Topologia Física vs Topologia Lógica

A topologia física e a topologia lógica não têm que ser idênticas. A **topologia física** corresponde à organização dos meios físicos de transmissão e a topologia em árvore é dominante. A **topologia lógica** refere-se à organização das ligações entre os nós de comutação.

2.4 Evolução da Rede: Cenários de Convergência com redes de dados

- Etapas Tecnológicas:

Rede Analógica → Rede Digital Integrada (RDI) → Rede de Banda Estreita e de banda Larga
Convergência com Redes de dados ←

- Modos de transferência de dados:

Circuitos → Circuitos + Pacotes → Circuitos + Pacotes + Células → **Pacotes IP**

Devido ao crescimento acelerado dos servidores na Internet, dos débitos mais elevados no acesso de utilizador e do facto de que o tráfego de dados ultrapassou o de voz a nível mundial há mais de 2 décadas (em 1998, mais precisamente) a tendência atual é no sentido dos serviços de telefonia convergirem para uma base tecnológica comum às redes de dados. A tecnologia **ATM** (*Asynchronous Transfer Mode*) chegou a ser uma candidata a implementar tal tarefa mas revelou-se ineficiente dada a realidade atual.

Também a Internet, inicialmente, funcionou em rede comutada mas gradualmente migrou para rede IP (através do ADSL por exemplo e, mais tarde, das fibras óticas). Atualmente, o serviço disponibilizado ao utilizador através destas 2 últimas tecnologias mencionadas já permite comunicações telefónicas através de pacotes IP (VoIP).

3. Multiplexagem Digital Síncrona

3.1 Conceito de Trama

Uma trama (*frame*) trata-se de uma unidade de transmissão de dados. Mais concretamente, de uma perspetiva de redes de pacotes, a trama define uma estrutura que suporta *Time-Division Multiplexing*, constituindo, geralmente, um único pacote.

3.2 TDM (*Time Division Multiplexing*)

Definem-se tramas de duração fixa **T** constituídas por **c intervalos de tempo**. Cada canal ocupa ciclicamente na trama, um intervalo de **n bits**. A identificação dos canais é feita pela posição na trama.

- **Consequências:** - O débito de cada canal é constante.
- Os relógios dos canais têm de estar sincronizados entre si.

3.3 Cálculo de Débitos

- Débito binário de cada canal: $r = \frac{n}{T}$ (*bits/s*)
- Débito binário total do multiplex: $r_{total} = \frac{c \times n}{T}$ (*bits/s*)

3.4 Tipos de Entrelaçamento

- Entrelaçamento de palavras:** Cada intervalo de tempo acomoda uma palavra do código do sinal de entrada.
- Entrelaçamento de bits:** Cada intervalo de tempo suporta um único bit do correspondente sinal de entrada.

3.5 Conceito de Palavra de Alinhamento

Consiste num determinado padrão de bits repetido sucessivamente nas tramas que permite ao demultiplexador identificar os limites da trama e recuperar os canais. A palavra de alinhamento pode ser **concentrada** (bits consecutivos, inseridos num canal adicional de cada trama) ou **distribuída** (bits dispersos, inseridos ao longo de cada trama ou ao longo de cada bloco de várias tramas consecutivas).

3.6 Estratégias de Alinhamento

As estratégias de alinhamento garantem a imunidade a erros esporádicos na palavra de alinhamento e impedem o alinhamento por eventuais imitações da palavra de alinhamento.

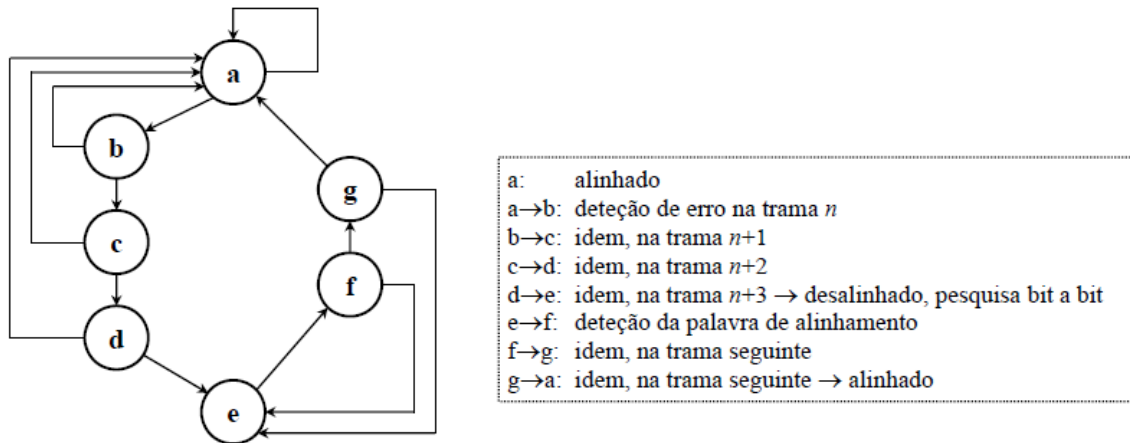


Diagrama de estados do alinhamento de trama (exemplo)

3.7 Alinhamento Série e Alinhamento Paralelo

- **Alinhamento Série:** pesquisa a palavra de alinhamento de trama **bit a bit**. Encontra-a e prossegue a pesquisa trama a trama a partir desse ponto.
- **Alinhamento Paralelo:** várias máquinas de estado são iniciadas **em paralelo** a partir de todos os pontos onde é detetada a palavra de alinhamento da trama. O sistema considera-se **alinhado** quando uma delas entrar no estado de alinhamento. Esta é uma técnica indispensável no caso de palavras de alinhamento curas ou tramas longas.

3.8 Critérios para a escolha da palavra de alinhamento

A palavra de alinhamento terá de ser imune a imitações anteriores à própria palavra (função de auto-correlação baixa) e não deverá ser imitada em consequência de erros simples ocasionais. (uma **boa escolha**: 0011011; uma **má escolha**: 1111111 ou 0000001). A técnica de *byte stuffing* ou de utilização de *flags* são boas soluções para resolver alinhamento em redes orientadas a pacotes.

3.9 Multitramas

Multitrama trata-se de uma agregação de (sub)tramas elementares. Cada uma das novas tramas possui uma palavra de alinhamento própria. Bits adicionais formam uma palavra de alinhamento multitrama. Na estratégia de alinhamento alinhamos primeiro a trama e depois a multitrama. A sua necessidade deve-se ao problema de **tramas longas**, ou seja, a palavra de alinhamento teria de ser longa para reduzir a probabilidade de imitação o que degradaria a qualidade de transmissão.

3.10 Alinhamento de tramas baseado em CRC (*Cyclic Redundancy Check*)

A Multitrama de verificação redundante cíclica (CRC) é utilizada em praticamente todos os sistemas atuais por se tratar de um método mais fiável. Permite detetar erros de transmissão na trama e impede falsos alinhamentos.

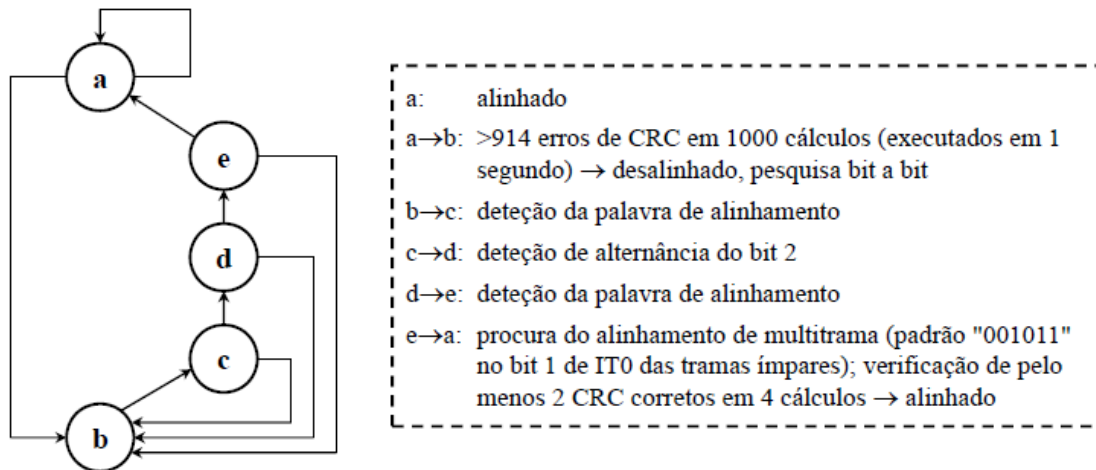


Diagrama de estados do alinhamento de trama e de multitrama baseados no CRC

4. Multiplexagem Digital Assíncrona

4.1 Conceito de Escorregamento de bits

Escorregamento refere-se à **perda de bits** ou **inserção de bits falsos** numa sequência quando utilizamos multiplexagem síncrona num sistema em que os relógios dos sinais de entrada não estão sincronizados entre si, bem como os sinais de saída não possuem um relógio próprio.

4.2 Soluções de Multiplexagem Assíncrona

A multiplexagem síncrona permite compensar flutuações dos relógios dos sinais. Podemos considerar 2 princípios de operação:

- **Preenchimento de bits nulos nos canais** (pré-sincronização por canal de entrada);
- **Preenchimento de bits nulos entre tramas** (sincronização conjunta).

i. Preenchimento de bits nulos nos canais

Princípio de operação - justificação de bits/octetos:

- **Justificação Positiva:** Défice de bits a transmitir → aumento de bits nulos no canal.
- **Justificação Negativa:** Excesso de bits a transmitir → redução de bits nulos no canal.

Na hierarquia PDH utilizamos bits de controlo de justificação. Já na hierarquia SDH definimos **unidades de dados flutuantes** nas tramas e **apontadores** que indicam o princípio e o fim das unidades de dados.

ii. Preenchimento de bits nulos entre tramas

Princípio de operação – inserção variável de bandeiras/tramas de preenchimento:

- Défice de bits a transmitir → aumento de bits nulos entre tramas.
- Excesso de bits a transmitir → redução de bits nulos entre tramas.

5. Hierarquia de Multiplexagem Síncrona (SDH)

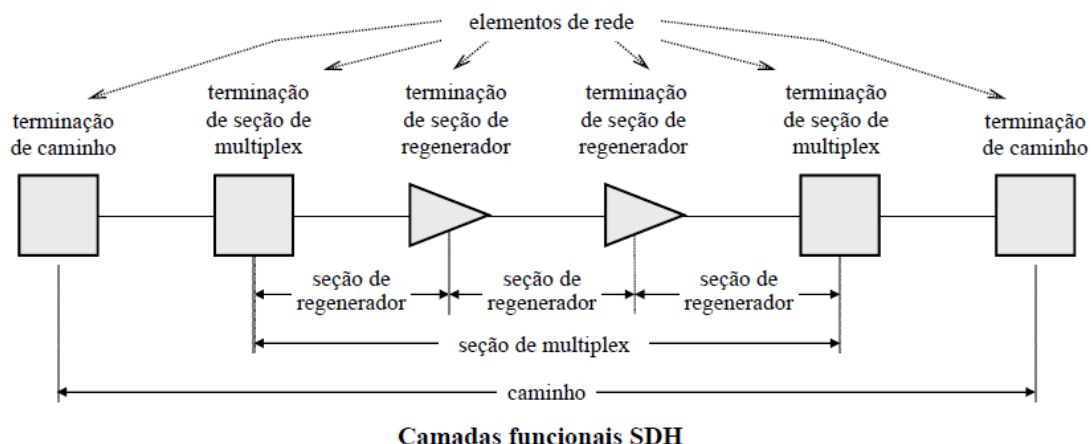
5.1 Vantagens e Limitações

O funcionamento da SDH é baseado em modo de circuito (o que provoca dificuldade em suportar tráfego variável com elevada eficiência) e a informação transmitida está organizada em tramas TDM. Cada sinal de um nível é obtido a partir de 4 tributários do nível anterior. A Multiplexagem é síncrona, por entrelaçamento de octetos. Esta hierarquia possui várias vantagens em relação a PDH:

1. Elevadas taxas de transmissão, acompanhando a evolução tecnológica;
2. Inserção/remoção direta de tributários de qualquer módulo;
3. Funcionalidades muito completas de operação e manutenção (OAM);
4. Pequeno conjunto de equipamentos normalizados (elementos de rede) permite desenvolver qualquer rede SDH;
5. Arquitetura flexível adaptada aos vários níveis de transporte;
6. Compatível com interfaces da hierarquia plesócrona (suporte de tributários PDH);
7. Compatível com RDIS de banda larga (suporte de fluxos de células ATM);
8. Possível suportar tráfego de dados (interfaces Ethernet 10/100 BaseT e Gbit).

5.2 Arquitetura

Define uma hierarquia de camadas funcionais da rede de transporte. Cada nível tem atribuído uma etiqueta adicional (*overhead*) para funções de OAM.

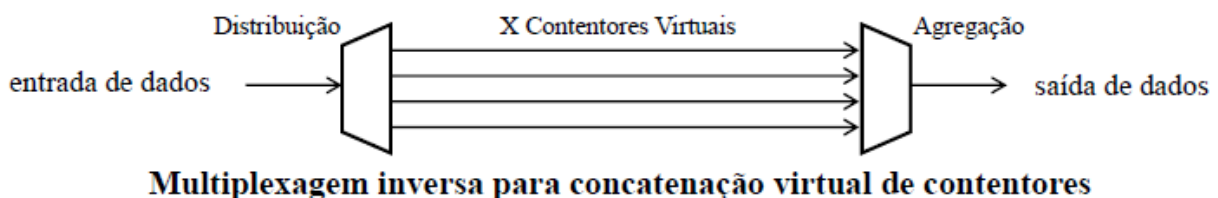


5.3 Conceitos de Contentor Virtual, Unidade Tributária/Administrativa e módulo STM

- **Contentores Virtuais:** São as unidades de informação do utilizador. Incluem etiquetas adicionais do caminho (POH – *Path overhead*). Os circuitos são suportados em diferentes VC (*Virtual Containers*) de acordo com o débito.
- **Unidades Tributárias/Administrativas:** Inclui apontadores dinâmicos (com ou sem *offset*) para unidades de informação (VCs).
- **Módulo STM:** inclui **overhead de transporte** (apontadores para VCs de ordem alta, ESOH e MSOH) e **carga de transporte** (apontadores para VCs de ordem baixa, VCs e POH).

5.4 Multiplexagem Inversa (SDH de nova geração)

Utilizamos o conceito de **concatenação virtual**: os dados de utilizador são distribuídos por diversos contentores, transmitidos em módulos STM e agregados na receção (multiplexagem inversa). É possível utilizar protocolos de ajuste dinâmico da capacidade, permitindo maior eficiência para serviços de dados (LCAS – *Link Capacity Adjustment Scheme*).



(NOTA: Exemplo de Multiplexagem nos Slides)

5.5 Operação com apontadores

Se tivermos em conta a utilização (ou não) de apontadores, existem 3 tipos de multiplexagem que podemos aplicar: **multiplexagem sem apontadores**, **multiplexagem com apontadores estáticos** e, a utilizada em SDH, **multiplexagem com apontadores dinâmicos**. Os aspetos que levaram à preferência por este último método foram:

- a. Suporta variações de fase ou mesmo relógios não sincronizados (plesiócronicos);
- b. Qualquer estrutura pode flutuar relativamente àquela em que está contida;
- c. Requer pequenas memórias elásticas: atraso introduzido reduzido;
- d. Introduce-se uma pequena histerese para evitar correções excessivas.

5.6 Conceitos para Operação e Manutenção

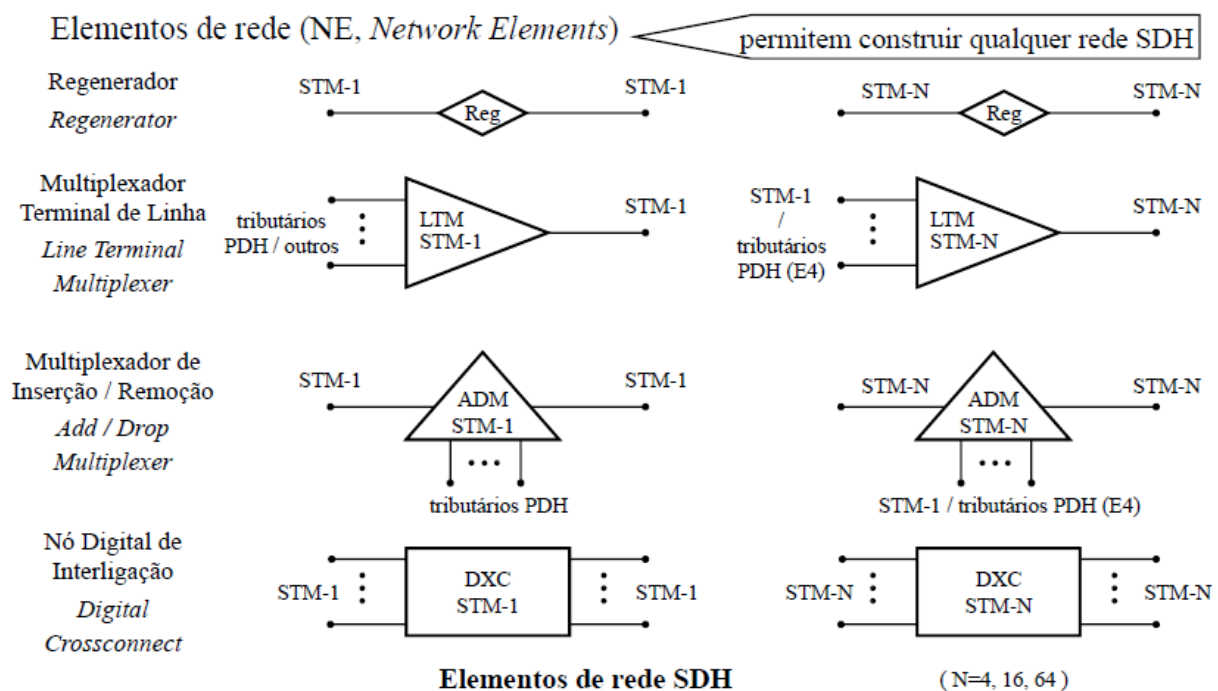
- **Anomalia:** Mínima Discrepância entre o que foi observado e o que era desejado.
- **Defeito:** Frequência de anomalias atingiu um limite a partir do qual deixa de ser possível executar satisfatoriamente uma determinada função.
- **Falha:** Incapacidade total de uma função executar uma determinada ação dentro de um tempo livre.

5.7 Ações preventivas e corretivas

O objetivo de OAM é a minimização do impacto de defeitos e falhas sobre a QoS. Usa a informação de supervisão transmitida nos *overheads*. Recorre a:

- **Ações preventivas:** Ocorrência de anomalias indicia defeitos ou falhas iminentes. A intervenção antecipada pode evitar degradação significativa do serviço.
- **Ações corretivas:** Proteção automática de sistemas e reconfiguração da rede através de procedimentos de gestão.

5.8 Elementos de uma Rede SDH



(NOTA: topologias de Redes SDH e técnicas de protecção automática nos **Slides**)

6. Sistemas de transmissão de longa distância

6.1 Estrutura de um Sistema de Fibra Ótica

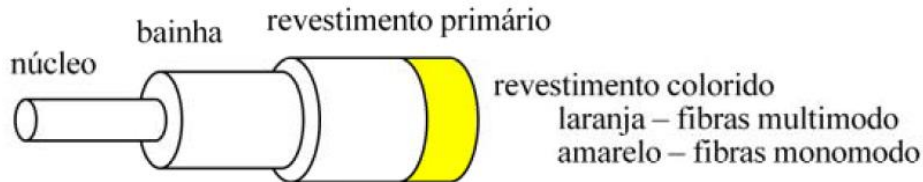
Essencialmente, um sistema com transmissão por fibra ótica tem 3 tipos de componentes: **estações** terminais em cada extremo da ligação, **meios de transmissão guiados** (cabos de fibra ótica em condutas enterradas em zonas urbanas ou suspensos em zonas locais) e **repetidores** intermédios que amplificam e regeneram o sinal.

As vantagens sobre a transmissão por fios de cobre são:

1. Maior largura de banda;
2. Menores interferências;
3. Maiores débitos;
4. Melhores características físicas ;
5. Menor atenuação;
6. Menores custos;

6.2 Constituição de uma Fibra Ótica

Os cabos baseados na tecnologia de fibra ótica possuem baixa atenuação e enorme capacidade. No transmissor os sinais eléctricos são convertidos em sinais óticos na banda do infravermelho, recorrendo-se para o efeito a díodos LED ou lasers. No recetor o sinal ótico é convertido em eléctrico em dispositivos sensíveis à luz (díodos especiais foto-sensíveis).



6.3 Propagação nas Fibras Óticas

A onda ótica propaga-se ao longo do núcleo por reflexões na fronteira de índices de refração ($\text{índice_núcleo} > \text{índice_bainha}$), podendo ocorrer um ou vários modos de propagação das componentes que formam o sinal ótico (modo secundário, absorvido, primário).

Os objetivos tecnológicos passam por reduzir o mais possível a atenuação e a dispersão. Dispersão consiste no espalhamento temporal dos impulsos resultante de diferentes velocidades de propagação das componentes que formam o sinal ótico.

6.4 Limitações das Fibras Óticas

A **Atenuação** numa fibra ótica varia com o comprimento de onda de luz. O pico de atenuação corresponde à absorção do ião OH⁻ da água.

Já a **Dispersão** resulta de diferentes velocidades de propagação dos componentes do sinal. Exprime-se através da derivada da função atraso de grupo VS comprimento de onda. Existem 3 tipos de dispersão:

- a. **Modal** – modos com diferentes velocidades de propagação (muito maior que as restantes).
- b. **Cromática** – atraso de fase depende do comprimento de onda.
- c. **Modo de Polarização** – atraso de fase depende da polarização.

6.5 Fibras Multimodo e Monomodo

Com **atenuações relativamente elevadas**, as fibras **multimodo** foram a 1ª geração. A dispersão modal é predominante, ocorrendo sobretudo nas fibras com índice de refração do núcleo constante (designadas por *step index*) e de forma mais moderada nas *graded index* (difíceis e caras de produzir). Atualmente são apenas utilizadas em redes privadas devido à elevada dispersão (**Emissão**: LEDs & lasers de baixo custo; **Receção**: díodos PIN).

A 2ª geração destes sistemas foram então as designadas **fibras monomodo** (1 único modo de propagação). Por ter menores dimensões, a única dispersão existente é a cromática e muito reduzida. Este tipo de fibras é mais fácil de produzir e, como tal, mais baratas pelo que têm vindo a ser implementadas em todos os sistemas de transmissão (**Emissão**: LEDs & lasers; **Receção**: díodos PIN/foto-díodos de avalanche - APD).

6.6 Áreas de evolução tecnológica (Fibras Óticas)

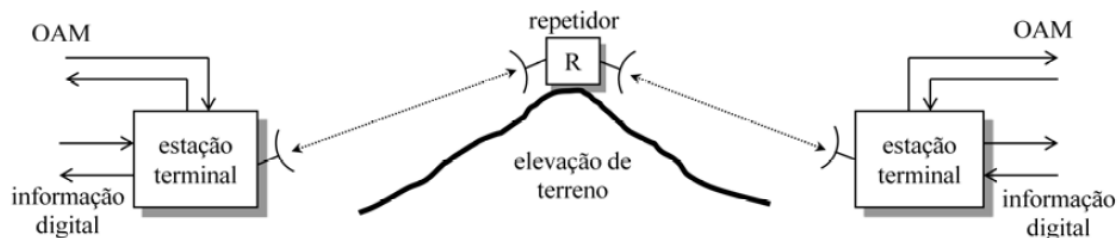
As principais limitações que pretendemos combater neste tipo de sistemas são **o impacto no débito e na distância** e **o desempenho** que se mede precisamente juntando as 2 características anteriores. Estas limitações são provocadas pelos vários tipos de dispersão e pela potência: **potência emitida de sinal ótico**, a **atenuação da fibra** e a **sensibilidade do recetor**. Como tal, estas serão as principais medidas para o desenvolvimento futuro:

1. Novos tipos de fibra com atenuação e dispersão reduzidas.
2. *Lasers* de elevada pureza espectral.
3. Detecção coerente & igualização electrónica;
4. Amplificação ótica e dispositivos óticos de compensação da dispersão;
5. Multiplexagem de Comprimento de Onda (**WDM**) – ver capítulo seguinte.

6.7 Introdução aos Sistemas por Feixe Hertziano

Os sistemas de transmissão por feixe hertziano tiram partido das particularidades do **espectro electromagnético**, utilizando portadoras com frequências superiores 1 GHz e modulações **PSK** e **QAM**. Como o espectro é limitado, são afetados por problemas de propagação da atmosfera e a sua propagação é feita em LOS os feixes hertzianos só devem ser utilizados se não forem mesmo possíveis meios guiados. A sua estrutura principal inclui:

- **Estações terminais** em cada extremo (modulação e emissão & receção e desmodulação);
- **Sistemas de Antena**: radiam/recebem o sinal com diretividade;
- **Meio não guiado**: o espaço livre;
- **Repetidores Intermédios**: Amplificam, regeneram o sinal e contornam obstáculos;



Sistema básico de transmissão digital por feixe hertziano

6.8 Plano de Frequência

O plano de frequências consiste na divisão da banda total em 2 semi-bandas com uma banda de guarda de modo a reduzir interferências. As principais características são:

- Cada estação emite numa semi-banda e recebe noutra semi-banda;
- Os canais são separados entre si por uma banda de guarda;
- Cada antena suporta um máximo de 4 canais não adjacentes.

Existem 2 tipos diferentes de planos:

- I. **Plano simples**: uma única polarização;
- II. **Plano simplesmente alternado**: canais adjacentes ortogonais;
- III. **Plano sobreposto**: canais sobrepostos ortogonais.

6.9 Estrutura de um Sistema por Satélite

Os sistemas por satélite são um caso particular dos sistemas por feixe hertziano em que são utilizados satélites, modulações BPSK, QPSK e MSK (por serem as mais eficientes a nível de potência) e em que reduzimos as interferências afastando as frequências ascendente e descendente e tornando a primeira maior que a segunda. Aqui, sacrificamos a eficiência espectral em busca de melhoramento na eficiência em termos de potência, que é o contrário do que executamos para fibras óticas. Os princípios deste sistema são, essencialmente:

- Feixes hertzianos com um repetidor (transpositor) a bordo de um satélite no espaço;
- A órbita do satélite é uma elipse (caso geral) em que a Terra está num dos focos;
- Aplicação Relevante: Órbita circular equatorial geoestacionária (altitude = 36 00 km);
- Permitem uma grande flexibilidade de acesso aos recursos de transmissão.

6.10 Tipos de Órbita

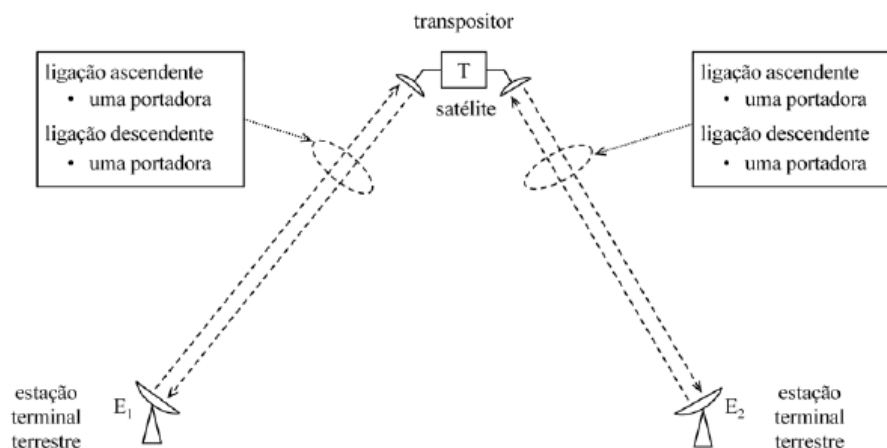
Podemos considerar 4 tipos principais de órbitas para um satélite:

1. **GEO** (*Geosynchronous Earth Orbit*): órbita circular equatorial geosíncrona;
2. **LEO** (*Low Earth Orbit*): órbita circular de baixa altitude;
3. **MEO** (*Medium Earth Orbit*): órbita circular de altitude média;
4. **HEO** (*Highly Elliptical Orbit*): órbita fortemente elíptica;

Porém, de uma forma geral, as que são mais utilizadas são a **GEO** e a **LEO**. As órbitas **LEO** são normalmente muito inclinadas (nos limites polares), de forma a assegurar uma cobertura total da Terra, embora com períodos muito curtos de permanência em cada lugar. As órbitas **MEO** são geralmente inclinadas. A órbita escolhida para um dado sistema deve ter em conta o cenário em que vai ser implementado.

6.11 Acesso Simples & Acesso Múltiplo

O **acesso simples** consiste numa única estação terrestre que transmite através de um transpositor de um satélite. A estação que ocupa **toda** a banda disponível no transpositor. Aplicações: ligações ponto-a-ponto de rede fixa, ligações ponto-a-ponto de TV e Rádio, difusão direta de televisão e rádio.



Configuração típica de uma ligação ponto-a-ponto bidireccional com acesso simples

Se considerarmos **acesso múltiplo**, várias estações terrestres transmitem através do mesmo transpositor do satélite.

- **FDMA** (*Frequency Division Multiple Access*) – As estações acedem ao transpositor do satélite ao mesmo tempo. Cada estação transmite na sua própria banda de frequência.
- **TDMA** (*Time Division Multiple Access*) – As estações transmitem uma de cada vez (sequencialmente). Cada estação transmite no seu próprio intervalo de tempo.
- **CDMA** (*Code Division Multiple Access*) – As estações transmitem ao mesmo tempo, em banda espalhada. Cada estação transmite com um código próprio.

7. Multiplexagem por divisão de Comprimento de Onda (WDM)

7.1 Princípios básicos de WDM

As características gerais dos sistemas WDM são:

- Os emissores produzem luz com diferentes comprimentos de onda;
- Os sinais óticos são combinados e transmitidos numa fibra monomodo;
- Na receção, os sinais são separados (filtrados) e entregues aos recetores.

7.2 CWDM (*Coarse WDM*) & DWDM (*Dense WDM*)

A **Multiplexagem esparsa de comprimento de onda** (CWDM) possui as seguintes características:

- Espaçamento moderado de comprimentos de onda (20 nm);
- Possível utilizar lasers sem controlo de estabilidade de comprimento de onda;
- Grelha de comprimentos normalizada pela UIT.

Já a **Multiplexagem densa de comprimento de onda** (DWDM):

- Várias dezenas (futuramente centenas) de comprimentos de onda;
- Necessário utilizar mecanismos de controlo de estabilidade de lasers;
- Grelhas de frequências normalizada pela UIT;
- Bandas prioritárias: S-Band, C-Band, L-Band.

7.3 Elementos de Redes WDM

1. **Repetidores**: elemento puramente ótico (em que já é possível regeneração 3R, i.e., de alta qualidade) e com conversão O-E-O (complexa mas temporização mais precisa).
2. **WLA** (*WaveLength Adaptor*): pode ser fixo ou sintonizável.
3. **OTM** (*Optical Terminal Multiplexer*)
4. **OADM** (*Optical Add-Drop Multiplexer*): Possui canais diretos, canais removidos e canais inseridos.
5. **OXC** (*Optical Cross-Connects*): reconfigurável.

7.4 Topologias de Redes WDM

1. **Ligação ponto-a-ponto:** pode ser de **saltos máximos sem amplificação**, limitados pela sensibilidade do receptor ou de **saltos máximos sem regeneração electrónica**, limitados pela dispersão temporal.
2. **Transporte de sinais ópticos não WDM**
3. **Topologia em Anel:** Agregação/distribuição de tráfego de alta capacidade (OADMs).
4. **Topologia em Malha:** Núcleo de muito alta capacidade da rede de transporte e sistemas operacionais com dezenas e Tbit/s de capacidade (OXCs).

8. Redes de Acesso no Lacete Local

8.1 Introdução ao Lacete Local

O Lacete Local é constituído por um par de fios balanceados que permite a transmissão bidirecional num único suporte físico. Exige **circuitos híbridos para separar os sinais de emissão e receção nos extremos**. Utiliza pares torcidos: o ruído e interferência nos fios cancelam-se mutuamente. Para reduzir distorção seria necessário aumentar a indutância distribuída da linha, no entanto, isto provoca um aumento da atenuação às altas frequências.

8.2 Acesso telefónico analógico

O suporte físico para um sistema de acesso telefónico analógico pode incluir:

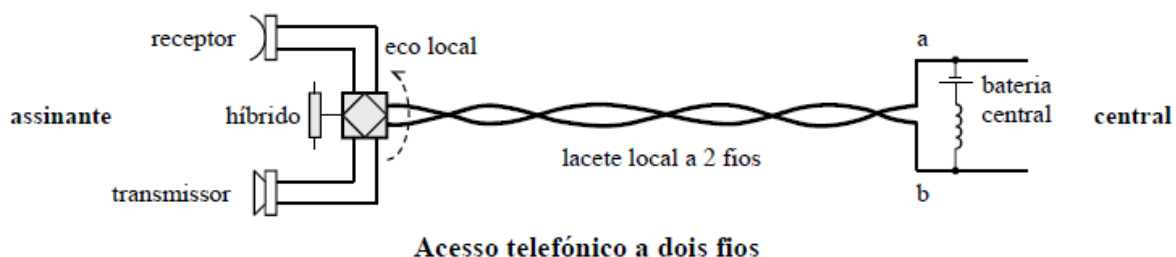
- **Fios aéreos:** Utilizados sobretudo em meios rurais. Grande quantidade de cobre \Rightarrow baixa atenuação. As desvantagens residem na manutenção elevada e rápida saturação dos postes devido à grande separação entre os fios.

- **Cabos de pares simétricos:** Utilizados principalmente em meios urbanos. Podem ser suspensos, enterrados ou enfiados em condutas. Tratam-se de pares de cobre agrupados num cabo. A sua capacidade é muito diversa e a distorção de amplitude é relativamente elevada na banda de voz.

- **Alimentação:** central local alimenta a linha de assinante a partir de uma bateria central (-48 V).

8.3 Efeito Local

Este efeito caracteriza-se por uma potencial desadaptação do híbrido que produz um eco local (sem atraso). Este eco local acaba por ser útil: permite escutar a própria voz nos dois ouvidos.



8.4 Funcionamento do Circuito Híbrido

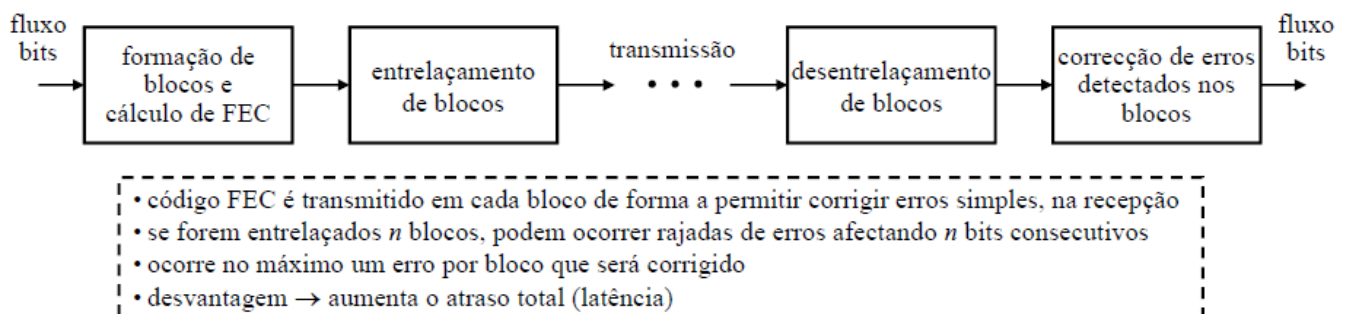
Podemos considerar 2 tipos de circuitos híbridos no equipamento terminal:

- I. Híbrido baseado em transformador:** configuração simplificada utilizada desde os primórdios da telefonia. A sua montagem é feita com 1 microfone simples e um altifalante, ambos sem amplificadores.
- II. Híbrido baseado em circuito resistivo:** configuração simplificada com T resistivo. O transmissor e o recetor possuem amplificação electrónica.

8.5 Limitações (intrínsecas) da transmissão em pares de cobre

- 1. Atenuação e distorção de amplitude:** A atenuação aumenta significativamente com a frequência o que provoca distorção de amplitude. **Proteção:** amplificação nos repetidores e terminações de linha; igualização do ganho do canal; codificação de linha ou modulação com espectro compacto, evitando elevadas frequências.
- 2. Interferência Intersimbólica (ISI):** Resulta do facto de a resposta impulsional do canal ser “longa”. A decisão sobre um símbolo é afetada por resíduos dos símbolos precedentes. Aumenta o comprimento da linha e o débito binário. **Proteção:** pré-igualização na emissão e pós-igualização na receção.
- 3. Interferências entre canais:** Resulta do acoplamento electromagnético indesejável entre meios de transmissão. **Interferência próxima** (NEXT – *Near-End Crosstalk*): entre a emissão e a receção. **Interferência remota** (FEXT – *Far-End Crosstalk*): ao longo da linha. Aumentam ambas com a frequência e NEXT é superior ao FEXT para uma mesma frequência. FEXT aumenta, também, com o comprimento da linha. **Proteção:** sinais com espectro compacto, evitando altas frequências.
- 4. Ecos:** provocados pela desadaptação em circuitos híbridos. **Proteção:** cancelamento do eco (ver 8.8).
- 5. Interferências de radiofrequências:** Resultantes de serviços de telecomunicações. São concentradas em bandas específicas e esporadicamente muito significativas (radioamadores). **Proteção:** Técnicas avançadas de modulação (Ex: DMT).
- 6. Ruído Impulsivo:** Sinalização em acessos analógicos (sobretudo transições da corrente de lacete). Efeitos atmosféricos e ruído de máquinas eléctricas (fábricas e veículos) são exemplos reais. **Proteção:** técnicas de entrelaçamento de dados e correcção de erros.

8.6 Entrelaçamento de dados utilizando FEC (*Forward Error Correction*)



8.7 Técnicas de Transmissão bidirecional

1. **TCM** (*Time Compressed Multiplexing*)/ **TDD** (*Time Division Multiplexing*): transmissão alternada de cada sentido a mais do dobro do ritmo. São reservados tempos de espera, períodos de guarda e tempo de propagação. A sua eficiência reduz com o aumento da distância/tempo de propagação. Requer mais do dobro da banda em cada sentido.

2. **FDM** (*Frequency Division Multiplexing*)/ **FDD** (*Frequency Division Duplex*): transmissão dos 2 sentidos em bandas de frequência distintas. São reservadas frequências de guarda e é necessário filtrar convenientemente os sentidos da transmissão. Resolve o problema dos ecos e interferência NEXT se o filtro for eficiente. No entanto, requer mais do dobro da BW em cada sentido aumentando a atenuação/distorção e a FEXT.

8.8 Cancelamento de Eco

Como vimos anteriormente, o híbrido desadaptado introduz eco local e remoto pelo que recorremos ao cancelamento de eco através de um filtro digital adaptativo que sintetiza os sinais interferentes e remove-os (compensa tanto o ruído local como remoto). Este filtro mantém a banda em ambos os sentidos e não aumenta a atenuação/distorção.

8.9 SHDSL (*Single-pair High-Speed Digital Subscriber Line*)

O HDSL surgiu para que fosse possível cancelar o eco adaptativo e a transmissão sobre 2 ou 3 pares. O SHDSL consistiu numa inovação para sistemas multiserviço (circuitos, ATM & pacotes) e multi-débito através do acesso por um único par de cobre existente no lacete local. Para aumentarmos o alcance existe a possibilidade de utilizar 2 pares ou repetidores e existe ainda a possibilidade de partilha de banda entre modos. Modulação utilizada: 8-ASK.

8.10 ADSL (*Asymmetric Digital Subscriber Line*)

O ADSL utiliza a linha telefónica existente: um único par! Acrescenta um *modem* “sempre ligado” para serviços multimédia. Suporta o transporte de dados em modo circuito e em modo ATM. Cobertura sem repetidores nem seleção de pares para a maioria dos assinantes.

- **Canais Suportados** (transmissão assimétrica): um canal *duplex* para telefonia RDIS, um canal ascendente de média velocidade e um canal descendente de alta velocidade.

Os seus principais aspetos são:

1. Tecnologia de modulação de ponta (DMT a.k.a. *Discrete Multi-Tone*): maximiza o débito e opera de forma adaptativa;
2. Isolamento dos sentidos de transmissão: FDM & cancelamento de eco.
3. Interferências: FEXT no canal descendente limita o alcance e o problema de NEXT com acessos RDIS e HDSL.
4. Controlo de erros: utiliza técnicas de entrelaçamento de dados e correção de erros (FEC).

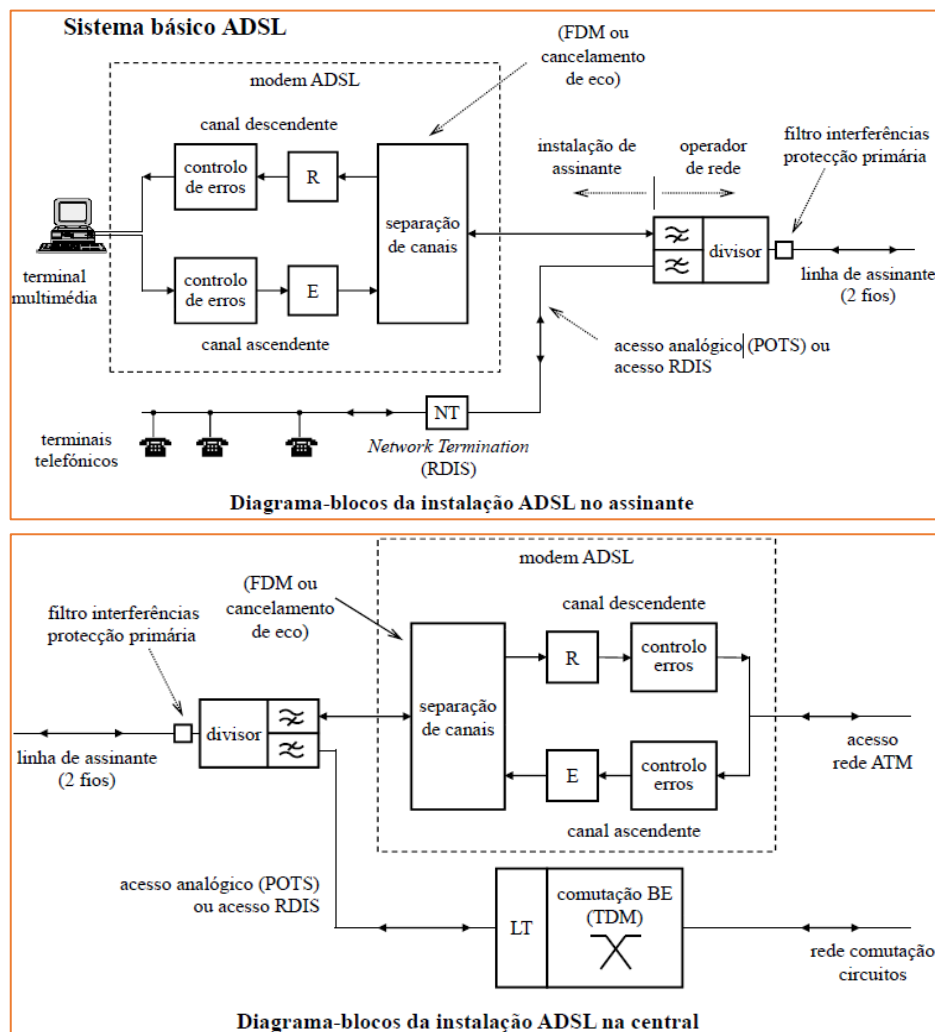
→ **ADSL baseado em FDM**: elimina FEXT. Ocorre FEXT numa banda extensa. Limita a capacidade.

→ **ADSL baseado em cancelamento de eco**: ocorre NEXT nas baixas frequências. Ocorre FEXT numa banda extensa. Permite maior capacidade.

8.11 Modulação DMT (*Discrete Multi-Tone*)

A banda entre 0 e 1.1 MHz é dividida em 256 canais (4,3125 kHz em cada banda) e em cada intervalo de 250 μ s, os bits a transmitir são segmentados pelos 256 canais. Em cada canal os bits são transmitidos em sub-portadoras moduladas em QAM e no recetor estas são recebidas e os bits recuperados e agregados. A modulação QAM é dinamicamente adaptada ao SNR em cada canal e a constelação suporta entre 2 e 15 bits (no limite, a portadora é suprimida). O débito total sofre incrementos/decrementos de 32 kbit/s (granulidade).

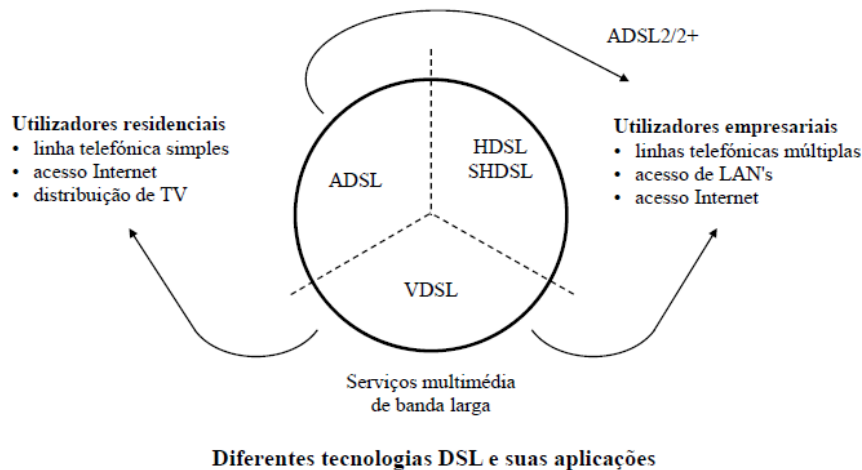
8.12 Configurações de instalação de ADSL (Assinante & Central)



A tecnologia ADSL evolui, inicialmente, para o ADSL2 e posteriormente para o ADSL2+. Alguns dos principais melhoramentos foram: maior eficiência de modulação, *overhead* programável (em vez do fixo de ADSL), codificação FEC mais eficiente, reconfiguração dinâmica melhorada, melhoria do diagnóstico de linha, suporte multi-serviço, multi-canal e agregação de linhas.

8.13 VDSL (*Very high-speed Digital Subscriber Line*)

Esta tecnologia teve como objetivo obter débitos muito altos num único par, sobretudo nas linhas curtas e tornou-se uma solução adequada para configurações FTTC e FTTB. Modos de operação: **Assimétrico** (expande as aplicações ADSL) e **Simétrico** (expande as aplicações SHDSL). A nível de ocupação espectral, suporta o acesso analógico telefónico (POTS) ou RDIS como em ADSL além de proporcionar um aumento significativo da banda para 12 MHz. Suporta os modos de circuito, ATM e de pacote, utiliza a DMT e disponibiliza diversos perfis de qualidade de serviço.



9. Protocolos de Sinalização

9.1 Funções básicas da Sinalização

As funções base de sinalização são:

1. Estabelecimento de chamadas;
2. Terminação de chamadas;
3. Suporte de serviços complementares;
4. Translação de números (em redes inteligentes).

Existem ainda 2 áreas de sinalização: sinalização de assinante e sinalização entre comutadores. Se considerarmos os antigos tipos de sinalização em redes de comutação de circuitos: CAS (*Channel Associated Signalling*) & CCS (*Common Channel Signalling*).

9.2 Marcação decádica e Marcação multifrequência

Na sinalização de lacete a 2 fios, o assinante faz *off-hook* (“fora do descanso”) modificando a impedância de entrada. Existem 2 formas de efetuar a marcação:

- **Marcação decádica:** n interrupções da corrente de lacete por dígito.
- **Marcação multifrequência:** um par de frequências áudio por dígito.

Existe depois 3 tonalidades: a de chamar, a de ocupado e a de inacessível. Para finalizar a sinalização, o assinante contactado tem de fazer *off-hook*.

9.3 Serviços Suplementares de assinante analógico

Podemos considerar 4 tipos de serviço:

1. **Informação de chamada de entrada** (identificação do nº chamador + aviso de chamada em espera);
2. **Indicação de mensagem em espera num sistema de mensagens;**
3. **Envio/receção de SMS;**
4. **Notificação de Taxação.**

Os modos de comunicação são: transmissão de dados em FSK na banda de voz e informação organizada em mensagens com parâmetros específicos.

9.4 Princípios da sinalização por canal comum

Características gerais do sistema:

- Ligações de dados bidirecionais entre entidades de sinalização;
- Débitos elevados, tipicamente de 64 kbit/s;
- Cada ligação transporta informação relativa a um elevado nº de circuitos;
- Troca de informação é feita sob a forma de mensagens.

Vantagens:

1. Operação totalmente digital (+ rápida, + fiável e + segura);
2. Flexibilidade das redes e dados (rede de sinalização com uma arquitetura de camadas e topologia independente da rede de transporte);
3. Melhor aproveitamento dos recursos (sinalização esporádica);
4. Possibilidade de troca de informação durante a chamada e de comunicação entre elementos sem conexão direta.

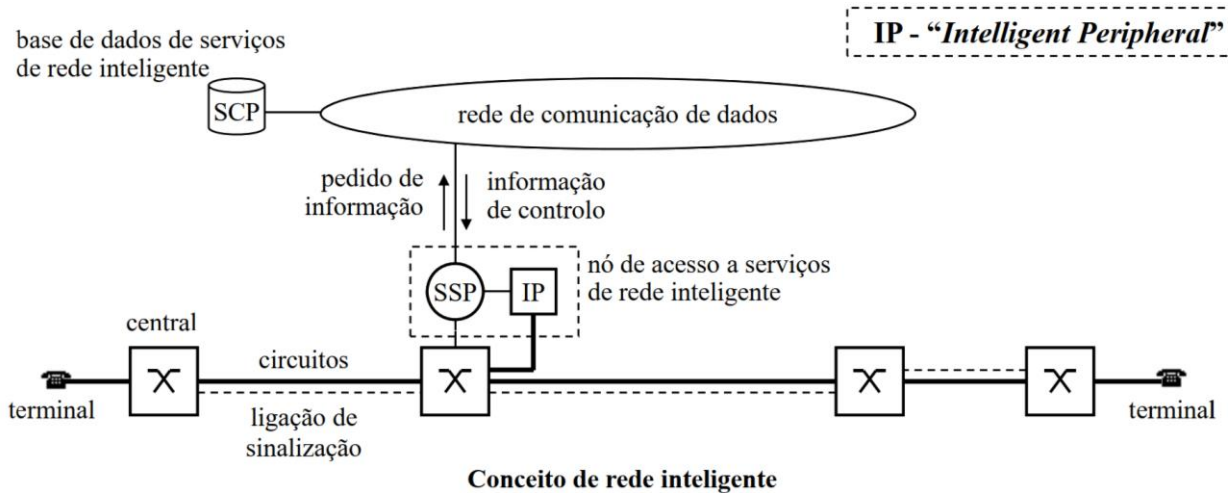
9.5 Sistema de Sinalização nº7: Tipos de pontos de sinalização

Podemos considerar 3 tipos de pontos de sinalização no SS7, identificados por um endereço de rede:

1. **SSP** (*Service Switching Point*): são unidades associadas aos comutadores de circuitos. Originam, terminam ou encaminham chamadas.
2. **STP** (*Signal Transfer Point*): comutadores de pacotes. Encaminham mensagens entre ligações de sinalização. Juntos constituem a *rede de interligação*.
3. **SCP** (*Service Control Point*): base de dados com informação dos serviços. Suportam aplicações de Rede Inteligente.

9.6 Serviços de Rede Inteligente

Serviços de rede inteligente tratam-se de serviços avançados que requerem a translação de nºs para encaminhamento. É possível disponibilizar funções adicionais através de periféricos inteligentes. As principais vantagens deste tipo de redes são: facilidade e rapidez de introdução de novos serviços, facilidade de gestão de dados, serviços “à medida” e suporte eficiente de mobilidade em redes de rádio celular.



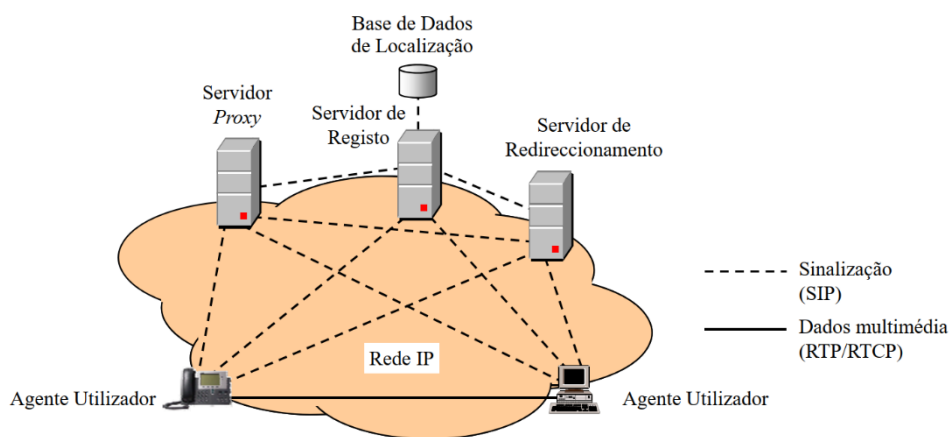
9.7 Mensagens DSS1 (*Digital Subscriber Signalling system nr. 1*)

Sistema adotado em acessos RDIS utilizando protocolo Q.931. As principais mensagens são:

Mensagem (*)	Função
Setup	Pedido de estabelecimento de uma chamada
Call Proceeding	Indica início do estabelecimento de chamada, e que não é requerida mais informação
Alerting	Indica início do alerta do utilizador chamado
Connect	Indica aceitação da chamada pelo utilizador chamado
Connect Acknowledge	Resposta a uma mensagem de Connect, indicando que a chamada foi activada
Disconnect	Solicita o desligamento de uma chamada
Release	Indica a terminação de uma chamada
Release Complete	Confirma a terminação de uma chamada

9.8 Introdução ao SIP (*Session Initiation Protocol*)

O protocolo SIP permite a criação, modificação e terminação de sessões de comunicação multimédia. Os sistemas terminais necessitam de outros protocolos para comunicar: **SDP** que transporta informação específica da sessão que se pretende estabelecer e o **RTP/RTCP** que é usado para transportar os dados multimédia e controlar a QoS. A informação do estado reside apenas nos terminais e não na rede. Os endereços utilizados são semelhantes aos de e-mail: utilizam **URI (Uniform Resource Identifier)** → sip:utilizador@domínio

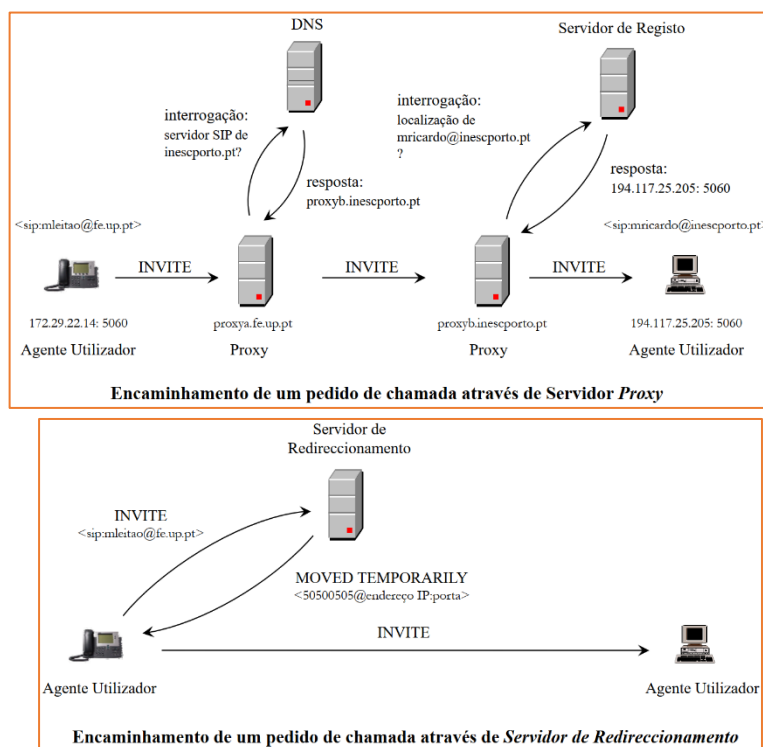


Arquitectura SIP mostrando os elementos de rede

Na arquitetura SIP podemos considerar 3 **elementos de rede**:

1. **Agentes Utilizadores (User Agents)**: usam o ISP para se encontrarem e comunicarem entre si negociando as características de uma sessão.
2. **Servidor de Registo (Register)**: recebe pedidos de registo dos utilizadores e armazena a sua localização: `utilizador@endereço IP:porta`
3. **Servidor Proxy**: utilizadores enviam pedidos de sessão a um servidor *proxy* que: encaminha os pedidos para o *proxy* do domínio de destino, no servidor de destino o servidor de registo é consultado e, finalmente, o domínio de destino encaminha o pedido para o utilizador. Existem 2 tipos de *Proxy*: **Outbound proxy**: envia sinalização para outros domínios & **Inbound proxy**: envia sinalização para o mesmo domínio.
4. **Servidor de Redirecionamento**: recebe um pedido de sessão e responde com a localização do destinatário. O originário recebe a informação e envia o pedido para o destinatário.

9.9 Encaminhamento de um pedido de chamada numa rede SIP



Os utilizadores enviam **pedidos** e os servidores **respostas** (que podem ser temporárias – 1xx ou definitivas – Yxxx, com 1<Y<6). A tabela abaixo indica as principais mensagens SIP.

Tipo	Mensagem (*)	Função
Pedido	INVITE	Pedido para participação numa sessão de chamada
	ACK	Confirmação de recepção de resposta final a um pedido
	BYE	Pedido de terminação de uma chamada
	REGISTER	Pedido de registo do endereço de um utilizador
Resposta	100 Trying	Ação em curso, mas o utilizador ainda não foi encontrado
	180 Ringing	Encontrada uma localização registada do utilizador, que foi alertado
	200 OK	O pedido foi bem sucedido
	300 Multiple Choices	O utilizador poderá ser encontrado num de vários endereços indicados
	301 Moved Permanently	O utilizador passou a utilizar o endereço indicado
	302 Moved Temporarily	O utilizador poderá ser encontrado no endereço indicado

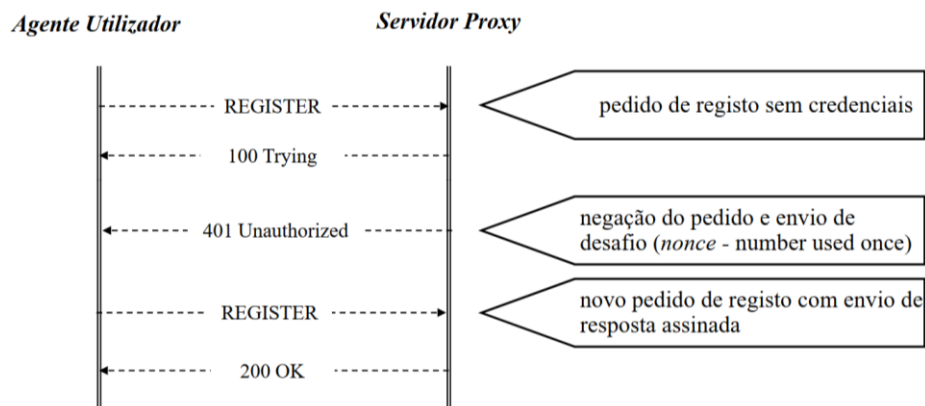
9.10 SIP: conceitos de transação, diálogo e chamada

- **Transação:** é uma sequência de mensagens SIP iniciada com um pedido. Pode conter uma ou mais respostas temporárias e contém 1 ou mais definitivas.

- **Diálogo:** sequência de mensagens SIP entre 2 agentes utilizadores, iniciada em geral com um pedido INVITE e finalizado com um BYE. É constituído por uma ou mais transações em sucessão.

- **Chamada:** trata-se de uma sequência de mensagens originadas por um INVITE de um agente utilizador. Inclui diálogo ou múltiplos diálogos no caso de chamadas em conferência.

9.11 Autenticação em Acessos SIP



Sequência de mensagens no registo com autenticação de tipo desafio-resposta
(processo de autenticação igualmente utilizado após cada mensagem INVITE)

9.12 SIP: SDP (*Session Description Protocol*) & PSTN (*Public Switched Telephone Network*)

O **SDP** especifica os parâmetros da sessão multimédia (IPs, formato de *media* e informação para reserva de recursos). Recorre a outros protocolos (SIP e MGCP) para transporte de dados.

Para podermos manter o acesso antigo por comutação de circuitos em paralelo com a troca de pacotes IP foi necessário criar uma interoperação utilizando: **gateways de sinalização** (SS7 pelo lado dos circuitos e SIP pelo lado dos pacotes, sendo usado o SIGTRAN para que o SIP transporte SS7), **gateways de media** (convertem dados entre PSTN e SIP) e **call agent** (administra as *gateways* e reúne informação de controlo).

[NOTA: O MGCP é um protocolo específico de controlo das *gateways* de media.]

10. Sistemas de Comutação

10.1 Matrizes de Comutação & Tipos de comutação

Uma matriz de comutação trata-se de uma interligação de entradas e saídas. Existem 2 tipos diferentes de centrais de comutação local: centrais de trânsito e centrais locais. Podemos também considerar 2 tipos essenciais de comutação de circuitos:

- **Comutação de andar único:** interliga qualquer entrada a qualquer saída e atua-se no ponto de cruzamento respetivo. **Vantagem:** impossibilidade de bloqueio. **Desvantagens:** baixa

eficiência (são necessários $N \times M$ pontos de cruzamento para um máximo de N ligações) e baixa fiabilidade (impossibilidade de caminhos alternativos); [NOTA: $N > M \equiv$ concentração e $N < M \equiv$ expansão.]

- **Comutação de andares múltiplos**: conjunto de andares constituídos por matrizes retangulares (cada andar interliga-se com os andares adjacentes). Possui **maior eficiência** (reduz pontos de cruzamento) e **maior fiabilidade** (são possíveis caminhos alternativos). Quanto mais andares, menor o nº de cruzamentos.

Condição de não bloqueio (condição de Clos): considera a situação de encaminhamento mais desfavorável de uma ligação. Garante, incondicionalmente, a existência de um caminho para a ligação pretendida $\rightarrow k = 2n - 1$.

10.2 Etapas históricas de desenvolvimento de comutadores de circuitos

1. **Comutador manual**: funções de sinalização, controlo e comutação manuais. A comutação era efetuada interligando cordões/fios.
2. **Comutador Strowger ou passo-a-passo**: tecnologia electromagnética rudimentar. Eram seletores em cadeia a responder sucessivamente aos dígitos marcados. Era necessária demasiada manutenção, tinha dimensões elevadas, etc.
3. **Comutador de coordenadas (crossbar)**: eram utilizadas matrizes com pontos de cruzamento atuados por relés, organizadas em etapas de comutação em cadeia \rightarrow andares múltiplos. Possuía já baixa potência, baixo ruído, rapidez de atuação, mas era, ainda, tecnologia rudimentar.
4. **Comutadores Digitais**: Atualmente usados. Utilizam comutação TDM e matrizes de comutação digital, como veremos no capítulo seguinte.

10.3 Matrizes de comutação temporal e espacial

A comutação digital consiste na troca de intervalos de tempo (espacial e temporal) e exige que todas as entradas estejam sincronizadas entre si. Podemos considerar 3 técnicas complementares:

1. **Comutação temporal**: transfere-se a informação entre intervalos de tempo. As matrizes utilizam uma **memória de dados** onde a informação de cada trama é escrita sequencialmente e lida com a ordem pretendida (ou vice-versa). O processo de leitura ou escrita é controlado por uma **memória de conexão**. Introduce-se um atraso fixo em cada canal.
2. **Comutação espacial**: transfere-se a informação entre linhas de entrada e linhas de saída, do mesmo intervalo de tempo. As matrizes são baseadas em barramentos com pontos de cruzamentos nos nós. Atua-se cada ponto de cruzamento durante o respetivo intervalo de tempo. O processo é controlado por **memórias de conexão** (uma para cada linha ou por coluna). Conserva-se o intervalo de tempo original.
3. **Comutação espacial & temporal**: uma **matriz de comutação espacial**, por si só, não permite interligar qualquer intervalo de entrada a qualquer intervalo de saída, uma vez que só é possível comutar no mesmo intervalo de tempo. Por sua vez, uma **matriz de comutação temporal**, apesar de permitir qualquer comutação sem bloqueio, tem a sua capacidade limitada pela tecnologia das memórias e controlo associado, sendo por isso utilizada apenas em centrais de pequena e média dimensão. Para ultrapassar estas

limitações, é necessário associar matrizes de comutação espacial (S) e temporal (T), normalmente organizadas em três ou mais andares: S-T-S, T-S-T, T-S-S-T, T-S-S-S-T, etc.

10.4 Constituição de um Comutador de Pacotes

Um comutador de pacotes é constituído essencialmente por 3 componentes:

1. **Matriz de Comutação:** executa o encaminhamento de pacotes da entrada para a saída.
2. **Módulos de entrada/saída:** executam a leitura dos cabeçalhos, inserem/extraem (em comutadores virtuais) etiquetas de encaminhamento, pacotes de sinalização e comutação de cabeçalhos à saída.
3. **Sistema de Controlo:** Processamento das conexões e gestão do comutador. Adicionalmente, nos comutadores virtuais, controla a admissão de chamadas (CAC).

10.5 Operação com matrizes elementares de comutação de células de comprimento fixo

Este tipo de operação permite maior simplicidade de comutação a menor velocidade e exige a utilização de multiplexadores e demultiplexadores. O tamanho dos pacotes que chegam é arbitrário, no entanto, tal não representa qualquer tipo de problema pois, à entrada, são segmentados em unidades do mesmo comprimento sendo depois ordenados adequadamente na receção através da utilização de etiquetas.

10.6 Comutação de pacotes *vs* Comutação digital de circuitos

		Comutação digital de circuitos	Comutação de pacotes
Recursos atribuídos a cada canal		um intervalo de tempo na mesma posição temporal em tramas consecutivas	fluxo variável de pacotes
Parâmetros de QoS	Atraso	constante	variável com a carga
	Perda de informação	impossível	possível perda de pacotes em caso de sobrecarga de filas de espera
	Bloqueio de conexões	ocorre quando não é possível encontrar um caminho livre entre a entrada e a saída	ocorre em comutadores com circuitos virtuais quando não é possível assegurar estatisticamente a QoS para a nova conexão e as conexões existentes
Matriz de comutação	Andar espacial	barramento com encaminhamento estático de intervalos de tempo	barramento com encaminhamento dinâmico de pacotes
	Andar temporal ou de memória	memória com atraso fixo de intervalos de tempo	memória de fila de espera com atraso variável de pacotes

10.7 Tipos de matrizes de comutação de pacotes

1. **Matriz M-S** (memória à entrada): Em cada entrada, células aguardam num FIFO a oportunidade de saída livre. O grande problema reside no **bloqueio à cabeça de fila** que consiste no caso concreto em que em N entradas ocorrem N células simultaneamente para a mesma saída, sendo necessários N ciclos de células para que outra saída possa receber dados.

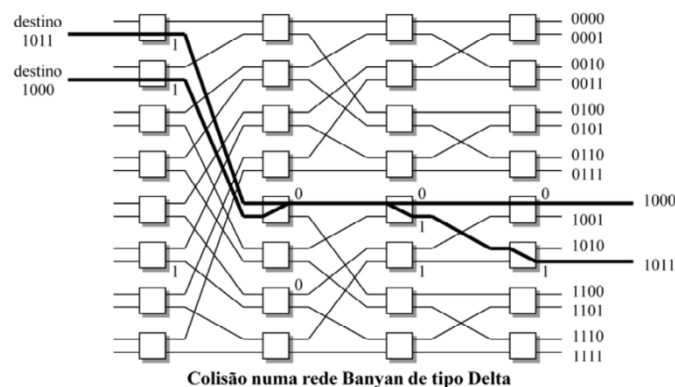
2. Matriz S-M (memória à saída): Em cada saída, células aguardam num FIFO a oportunidade de saída livre. O atraso é minimizado, poderá ocorrer que todas as entradas apresentem ao mesmo tempo uma célula para a mesma saída.

3. Matriz S-M-S com memória intermédia partilhada: células aguardam saída livre num FIFO comum. Reduz a dimensão da memória e minimiza o atraso, contudo, aumenta a complexidade do controlo e, em cada ciclo de célula, o FIFO pode ser escrito N vezes e lido N vezes, limitando este tipo de matriz a aplicações em que a dimensão é muito reduzida.

4. Matriz S-M-S com memória intermédia distribuída: células aguardam saída livre num FIFO associado a cada entrada e saída. O atraso é minimizado e o FIFO só pode ser escrito/lido uma vez em cada ciclo de célula. A sua desvantagem consiste no aumento da dimensão da memória.

10.8 Redes de Interligação de andares múltiplos

A estrutura mais comum utiliza blocos elementares de 2x2: rede Banyan. Pode ter propriedades de auto-encaminhamento: rede Delta. O grande problema desta arquitetura é que a colisão pode ocorrer com facilidade. Este problema pode ser resolvido através de ordenação: rede Batcher.

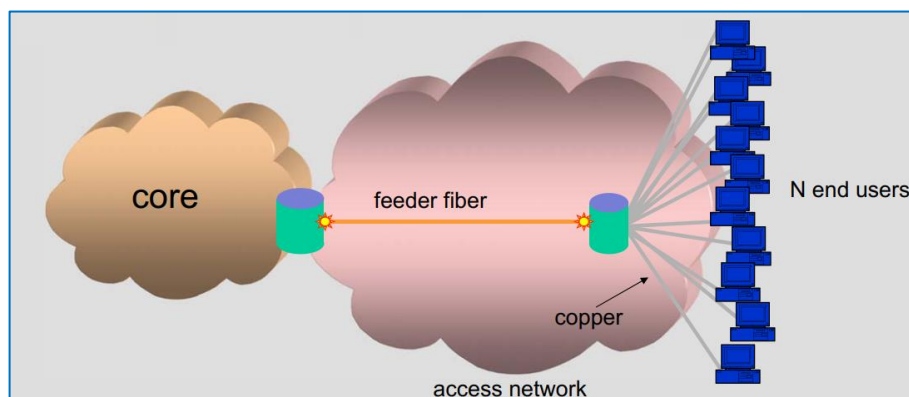


11. Rede de Acesso por Fibra Ótica Passiva (PON)

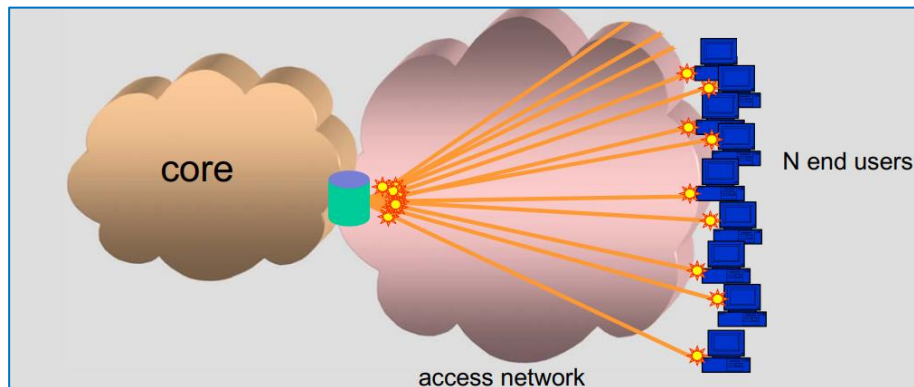
11.1 Arquiteturas de acesso por Fibra Ótica

Podemos considerar 3 tipos principais de acesso por fibra ótica:

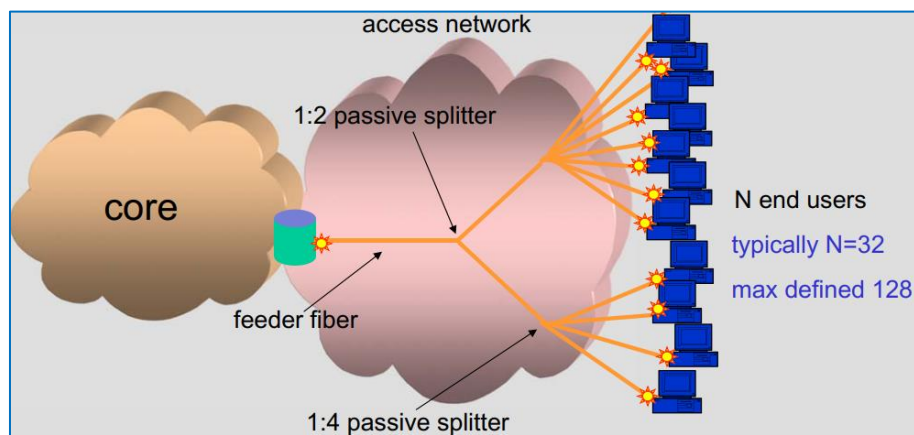
- 1. Fiber To The Curb:** Utiliza HFC e VDSL. Não é uma solução puramente ótica originando BW mais reduzida nos transdutores e exige conversores complexos.



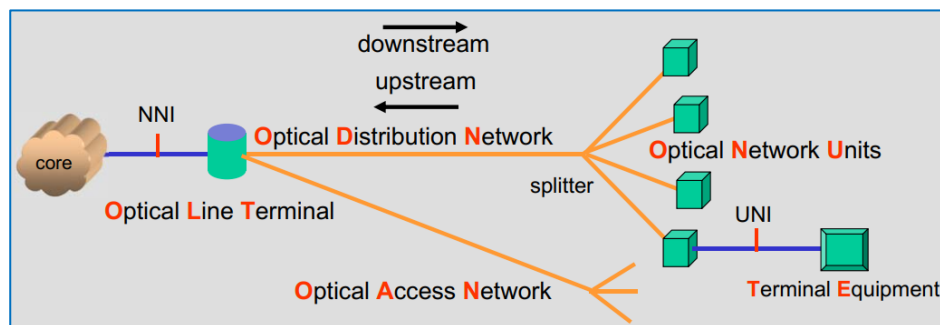
2. **Fiber To The Premises:** implementação de topologia *point-to-multipoint* puramente em ótica. Precisamos de 1 par de fibra/utilizador, $2 \times N$ transdutores e manutenção complexa e cara.



3. **PON (Passive Optical Network):** Utilizando o mesmo raciocínio que anteriormente, porém evitamos os custos das conversões ótica-electrónica e usamos **passive splitters** (não necessitam de alimentação). Apenas necessitamos de $N+1$ transdutores!



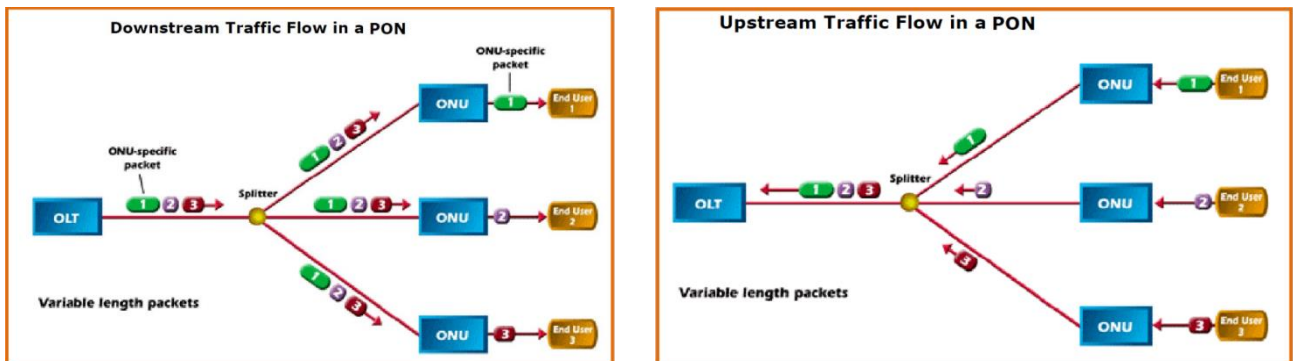
11.2 Princípios básicos de PON (*Passive Optical Networks*)



A figura anterior especifica uma série de conceitos acerca desta tecnologia. Nesta UC focamo-nos em GPON (*GigaBit PON*).

- I. **Transmissão descendente (*Downstream*):** O OLT faz *broadcast* dos dados para todos as ONUs na ODN usando TDM. Uma ONU captura os dados destinados ao seu endereço e descarta os restantes. Para garantir a privacidade é necessária encriptação.

II. Transmissão descendente (Upstream): As ONUs partilham BW usando TDMA. O OLT aloca BW dinamicamente de acordo com os níveis das ONUs. *Ranging* é feito para determinar o tempo de propagação ONU-OLT.



11.3 Balanço de Potência & Alcance em GPON

O balanço de potência disponível é repartido pelas perdas nos componentes passivos e pela atenuação da ligação. O excedente é a margem de segurança:

$$BP = aL + \sum \text{Perdas_Componentes} + \text{Margem}$$

→ **Exemplo:**

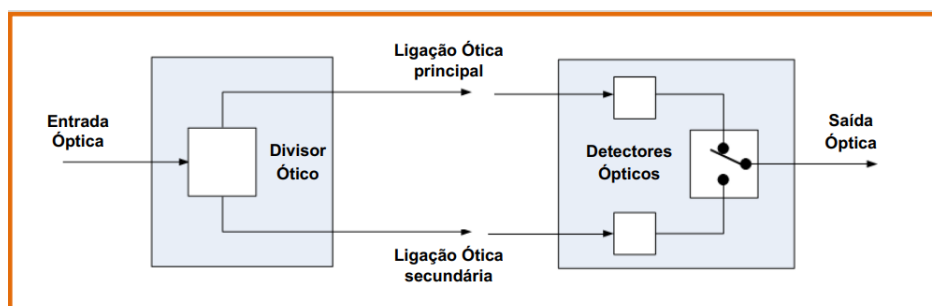
- Fibra ótica monomodo a 1310 nm e divisor 1:32
- Atenuação específica: $\alpha = 0,35$ dB/km
- Perda de inserção do divisor: $P_d = 16,5$ dB
- Perdas em conectores: $P_c = 2$ dB
- Potência de transmissão ótica: $P_e = 0$ dBm
- Potência mínima (sensibilidade) no recetor: $P_r = -26$ dBm
- Alcance máximo: $L_{max} = 21$ km

$$R: L_{max} = \frac{BP - \sum \text{Perdas_Componentes}}{\alpha}$$

11.4 Proteções em Fibras Óticas

Podemos aplicar duplicação de equipamentos ativos dos divisores ou da fibra. A proteção é assegurada por comutação automática ou forçada.

1. Tipo A: duplica apenas a fibra ótica - neste caso, o ONU e OLT são singulares;
2. Tipo B: duplica o OLT e a fibra ótica entre os OLTs e o *splitter* ótico - o *splitter* terá duas entradas/saídas no lado do OLT;
3. Tipo C: duplica não só do lado do OLT, mas também do lado do ONU;



11.5 Mecanismos de Multiplexagem nas ligações óticas

No **tráfego descendente**, a multiplexagem é centralizada e orientada a conexão. O OLT multiplexa as *frames* GEM (*GPON Encapsulation Method*) no meio de transmissão usando o *GEM Port-ID* como identificador de conexão. Cada ONU filtra as *frames* GEM que lhe são destinadas, analisando o *GEM Port-ID* (Em casos de *multicast*, este ID pode pertencer a mais do que uma ONU).

No **tráfego ascendente**, a multiplexagem é, também, centralizada e orientada a conexão. Cada ONU pode suportar 1 ou mais T-CONTs (*Transmission Containers*) – cada um define uma entidade “transportadora” de tráfego. O OLT garante que as oportunidades da transmissão *upstream* (alocações de BW) para cada T-CONT através do seu *Alloc-ID*. Finalmente, cada TCONT poderá suportar uma ou mais conexões lógicas (cada GEM Port-ID identifica uma).

[NOTA: ONU-ID \neq Alloc-ID \neq GEM Port-ID]

11.6 Mecanismo de atribuição de BW na ligação ascendente

O OLT é responsável por alocar BW ascendente para as ONUs. Como a ODN é partilhada, as transmissões ascendentes por parte das ONUs poderão colidir caso sejam transmitidas em tempos aleatórios. As ONUs poderão estar localizadas a várias distâncias do OLT, significando isto que o atraso de transmissão de cada ONU é único. O OLT mede o atraso e define um registo em cada ONU via mensagens PLOAM (*Physical Layer Operations And Maintenance*) que permitem igualizar atraso relativamente a todas as outras ONUs na PON. Após o atraso de todas as ONUs estar definido, o OLT transmite as então chamadas *garantias* para cada ONU individualmente. Uma garantia é uma permissão usada para definir intervalos de tempo para transmissões ascendentes. O mapa de garantia é, geralmente, dinamicamente alocado a cada poucos milissegundos. O mapa aloca largura de banda para todas as ONUs de modo a que cada ONU receba a BW atempadamente para as suas necessidades de serviço.

12. Aspetos de Qualidade de Serviço (QoS)

12.1 Conceitos básicos de QoS

- **SLA** (*Service Level Agreement*): Cláusulas contratuais de fornecimento de um conjunto de serviços. Inclui objetivos de qualidade, custos e penalidades em caso de violação.

- **KQI** (*Key Quality Indicator*): Indicadores relevantes para o utilizador. Incorporam a perceção do utilizador sobre os aspetos essenciais do serviço.

- **KPI** (*Key Performance Indicator*): Indicadores relevantes para o operador. Apoiam as funções de operação e manutenção dos recursos da rede. Os KQIs são obtidos por aglutinação ou combinação de KPIs. É possível que um determinado KPI seja diretamente convertido em KQI.

12.2 Classificação de indicadores

Classe do indicador	Caracterização	Especificação	Objectivo estatístico
Disponibilidade	possibilidade de uma função essencial para o serviço não estar acessível para o utilizador no momento do pedido	probabilidade de falha da função: a função não é executada até expirar um temporizador	máximos em situação de pior caso
Precisão	uma função é executada com defeitos que têm impacto no utilizador	intervalo de operação de um parâmetro estatística de ocorrência do defeito	máximo / mínimo em situação de pior caso média - percentis
Eficiência	uma função é completada com atraso em relação ao instante em que é espoletada a sua execução	intervalo de operação do atraso estatística de ocorrência do atraso	máximo / mínimo em situação de pior caso média - percentis

12.3 Técnicas de obtenção de dados de desempenho (KPIs)

Podemos considerar 3 técnicas essenciais de obtenção de dados de desempenho extremo a extremo:

- Períodos de Observação:** podem ser curtos (apenas para indicadores de precisão e eficiência) ou longos (podem ser geradas estatísticas de indicadores);
- Métodos Intrusivos:** aplicados em situações fora de serviço – aproveitando períodos de inatividade, na fase de instalação ou no âmbito de ações de manutenção. Injetam-se sinais de teste que simulam as condições operacionais e efetuam-se medidas diretas dos KPIs.
- Métodos Não Intrusivos:** são aplicados em serviço operacional, sem interferir com o próprio serviço. Efetuam-se medidas dos indicadores relevantes, algumas das quais indiretas. Os resultados são menos completos, porém mais alargados do que os anteriores, por serem efetuados continuamente sobre os sistemas em serviço.

12.4 Determinação de Objetivos de Desempenho

Valoriza-se, sobretudo, a expectativa dos utilizadores. Classificação na escala MOS (*Mean Opinion Score*):

MOS	Qualidade	Impacto
5	Excelente	Imperceptível
4	Boa	Perceptível mas não incomodativo
3	Razoável	Ligeiramente incomodativo
2	Fraca	Incomodativo
1	Má	Muito incomodativo

Cada elemento da rede que participa na execução de um serviço: tem objetivos de rede específicos & contribui para os objetivos de extremo a extremo. É necessário, por isso, compatibilizar os 2 tipos de objetivos. É mais difícil quando estão envolvidos múltiplos operadores.

12.5 Exemplos de indicadores de desempenho em sistemas VoIP

Classe	Caracterização
Disponibilidade	Percentagem de chamadas não estabelecidas (até expirar um temporizador)
	Falha de registo (até expirar um temporizador)
Precisão	Percentagem de chamadas estabelecidas erradamente
	Percentagem de chamadas com finalização incorrecta
Eficiência	Atraso de estabelecimento de chamada
	Atraso de tonalidade de chamar
	Atraso de registo

13. Data Centers: Virtualização de Armazenamento e de Servidores

13.1 Conceitos básicos acerca de virtualização

O termo virtual refere-se a entidades (como redes ou servidores) que fornecem funções de dispositivos físicos que são simulados. Virtualização de servidores refere-se a servidores únicos que desempenham o papel de vários servidores. Uma máquina virtual é um *software* com a mesma funcionalidade que um computador.

As principais razões para querermos virtualizar são: **partilha, isolamento, agregação, dinâmica e facilidade de gestão.**

As principais vantagens residem na: **minimização de custos em hardware, facilidade de “transporte” de máquinas virtuais entre data centers, consolidação de idle workloads** (aumenta a utilização dos dispositivos), **conservação de potência/alimentação, automação mais fácil, escalabilidade e flexibilidade** (múltiplos sistemas operativos).

Exs:

- **Armazenamento:** Memória virtual, discos virtuais, armazenamento em *cloud*;
- **Computação:** Servidor virtual → *Data center* virtual, Máquina virtual → *Cloud*;
- **Networking:** canais virtuais, LANs virtuais, redes privadas virtuais, etc.

13.2 Virtualização de servidores

→ **Host OS:** Executa diretamente no “bare metal” (diretamente no *hardware* da *host*);
 → **Guest OS:** Executa no sistema operativo da *host*;
 → **Hypervisor:** Software que suporta múltiplas máquinas virtuais: **tipo 1:** diretamente no hardware (Ex: VMware ESXi), **tipo 2:** no Host OS, **tipo 3:** pode ser categorizado como ambos.

13.3 Virtualização de Armazenamento

Nos *Datacenters*, todos os discos são externos ao servidor : JBODs (*Just a Bunch Of Disks*)
 - difícil de gerir e não possui redundância - & Disk Arrays – redundância e + fáceis de gerir.

Existem 3 formas para que as aplicações possam aceder aos dados:

1. **Block Access:** n° fixo de bytes (*block-size*) medido em sectores. → **storage systems**
2. **File Access:** conjunto de bytes com nome, data de criação e outra *metadata*.
3. **Record Access:** usado para dados altamente estruturados em bases de dados. Cada *record* tem um formato específico e um conjunto de campos (acesso SQL, etc).

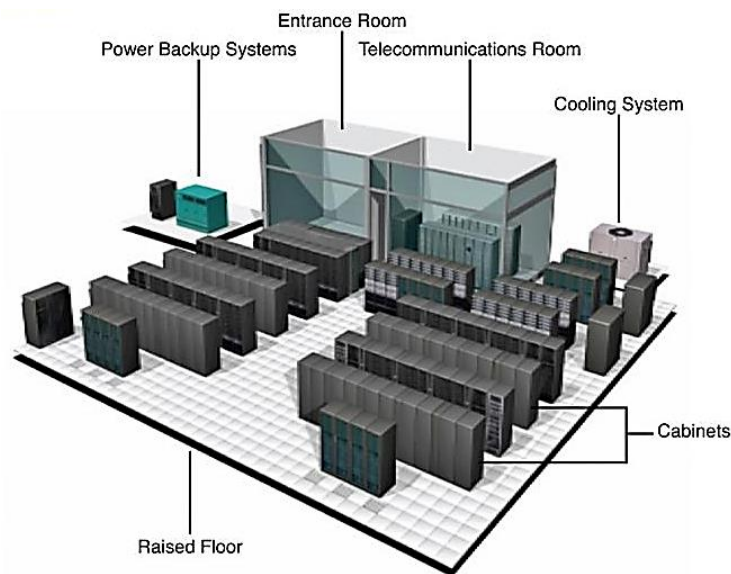
As vantagens de virtualizarmos o armazenamento são: **distância** (os dispositivos remotos parecem presentes localmente), **espalhamento dos dados**, **sistema de ficheiros standard**, **maior disponibilidade**, **capacidade de recuperação após desastre**, **interface virtual**, **online backup**, + fácil de testar, tamanho mais reduzido, entre outras.

13.4 Open Virtualization Format (OVF)

Consiste num *standard*/formato para empacotamento e distribuição de *virtual appliances* constituídas por 1 ou mais VMs. É independente do *hypervisor* ou da arquitetura do processador. Consiste em vários ficheiros num diretório.

14. Arquiteturas de Data Centers

14.1 Data Center Physical Layout

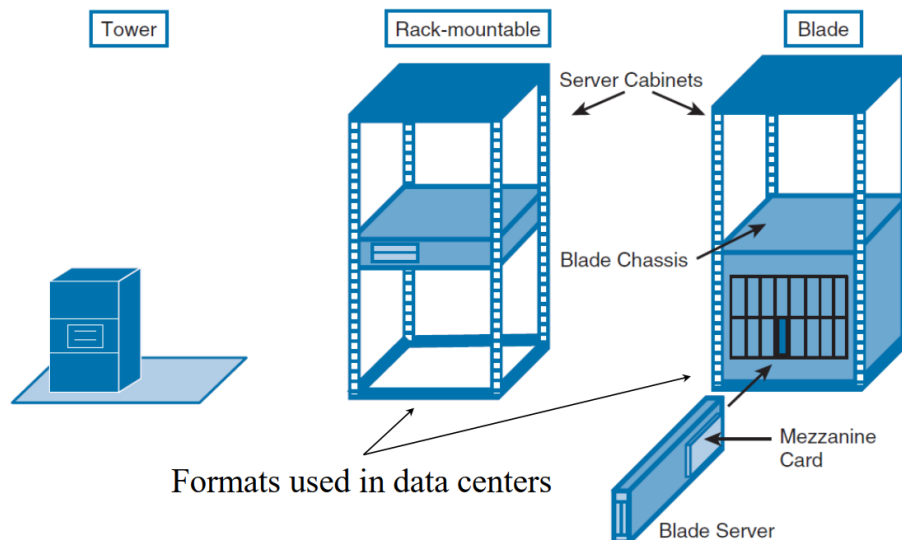


Um *Data Center* possui centenas/milhares de cabos físicos interligados pelo que é essencial fazer um projeto de **cablagem estruturada** para evitar erros. Tendo em conta o *ANSI/TIA-942-A Standard (Telecommunications Infrastructure Standard for Data Centers)*, podemos considerar 4 áreas principais num *data center*:

- Main Distribution Area (MDA)
- Equipment Distribution Area (EDA)
- Zone Distribution Area (ZDA)
- Horizontal Distribution Area (HDA)

A MDA consiste no ponto central de cablagem estruturada e possui os dispositivos do núcleo da rede. A EDA possui os servidores ativos e os Switches. A ZDA existe opcionalmente entre a HDA e a EDA. A HDA possui as conexões a equipamento ativo. *Cross-connect* permite a terminação de cabos. A cablagem *backbone* são as conexões entre a MDA, HDA e a sala de entrada.

14.2 Formatos de Servidores



Source: G. Santana, "Data Center Virtualization Fundamentals", Cisco Press, 2014, ISBN:1587143240

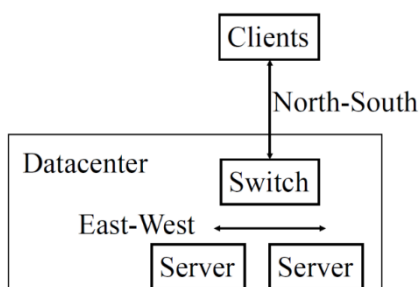
Existem 2 modelos de conexão entre *switches* de acesso e servidores:

- **Top-of-Rack (ToR)**: Reduz a quantidade de cabos e otimiza o equipamento da rede mas cria o desafio de gestão do nº de dispositivos pois são necessários 2 *switches/rack*.
- **End-of-Row (EoR)**: Reduz o nº de dispositivos na rede e otimiza a utilização das suas portas no entanto exige uma grande quantidade de cablagem horizontal debaixo do *raised floor*.

Há quem utilize ainda alternativas tais como *Middle-of-Row* ou *Top-of-Many-Racks*.

14.3 Arquitetura Hierárquica em Data Centers

Nos dias de hoje e ao contrário do que acontecia anteriormente, os *Data Centers* encontram-se quase sempre em redes externas à da empresa. A arquitetura desta rede é hierárquica possuindo 3 camadas: **Data Center Core**, **Data Center Aggregation** (tráfego servidor ↔ servidor) & **Data Center Access**. A maioria do tráfego é interno ao *data center*.



Anteriormente, maioria do tráfego era *North-South*, no entanto atualmente podemos considerar que a maioria do tráfego é entre servidores. Isto levou a que a rede tivesse de se tornar mais "plana", pelo que se começaram a adotar técnicas como aquela apresentada no próximo capítulo.

14.4 Arquitetura Leaf-Spine

Consiste na divisão dos *switches* em: **Spine Switch & Leaf Switch**. Os servidores acedem a um *Leaf Switch* que por sua vez comunica com um *Spine Switch* que encaminha o tráfego para outro *Leaf Switch* que comunica, finalmente, com o servidor de destino. Este procedimento melhora o desempenho, a fiabilidade e a escalabilidade.

15. Data Centers: Redes Virtuais Privadas

15.1 Tradicional *vs* Data Center Ethernet

Office	Data Center
Distance: up to 200 m	No limit
Scale: Few MAC addresses 4096 VLANs	Millions of MAC addresses Millions of VLANs
Protection: Spanning Tree	Rapid Spanning Tree not enough
Path defined by spanning tree	Deactivation of multiple links is wasteful

15.2 Conceitos base

Podemos considerar 3 parâmetros que definem uma determinada entidade: o **Nome** e o **ID** que não variam e o **Locator** que se modifica. Podemos considerar, pelo menos, 5 tipos de dispositivos de Interconexão: **Repetidor**, **Hub**, **Bridge** (*data link layer* que conecta 1 ou mais domínios de colisão), **Router & Switch**.

Uma LAN possui 1 único domínio de *broadcast* que equivale a uma *Subnet*. Não existe roteamento entre membros de uma mesma LAN, apenas entre LANs tal é necessário. O funcionamento de um VLAN é idêntico com todos os conceitos a serem virtualizados. Os *switches* encaminham pacotes baseando-se no endereço MAC e no VLAN ID.

15.3 Spanning Tree Protocol (STP)

Todas as *bridges* fazem *multicast* para todas as *bridges*. O custo é calculado baseado no algoritmo de *Dijkstra*. Inicialmente, todas são root, até que, ao partilharem a informação, encontram a *bridge* com o menor *Bridge ID*. Em cada segmento de LAN, a *bridge* com o menor custo torna-se a *Designated Bridge*. Todas as portas das *bridges* que não são “designadas” são bloqueadas. Uma desvantagem deste protocolo é que a mudança de topologia pode resultar em perdas de tráfego (~1 minuto).

Mas, porquê usar *Data Center Bridging*? - Porque permite tráfego Ethernet. A utilização de IDs por parte da Ethernet permite o fácil movimento de sistemas no *data center*, mantendo assim o tráfego na mesma LAN. Mas o STP desperdiça demasiados recursos e novas soluções tiveram de ser encontradas.

15.4 Geographic Clusters

Múltiplos *Data Centers* são usados para melhorar a disponibilidade.

- **Cold-Standby**: dados salvaguardados em fitas e guardados *off-site*. No caso de desastre, as aplicações e os dados estão guardados em *standby*. *Switchover* manual.

- **Hot-Standby**: 2 servidores em *data centers* geograficamente pouco distantes rocam estado e dados continuamente. Após falha, a aplicação automaticamente muda para *standby*. *Switchover* automático.

- **Active-Active**: Todos os recursos são usados. Máquinas virtuais e dados são rapidamente movidos entre sítios, quando necessário.

A comunicação entre *data centers* é executada no domínio L2. Existem vários problemas associados à extensão da LAN, exemplos disso são: **Broadcast Storms** (*frames* desconhecidas e de *broadcast* criam fluxo excessivo), **Loops**, **problemas STP** e **Segurança** (os dados devem ser encriptados). O STP foi melhorado através do TRILL (*Transparent Interconnection of Lots of Links*), porém este origina milhares de redes *tenant*/"inquilinas".

15.5 Virtualização de Rede em *Multi-tenant Data Centers*

- **GRE** (*Generic Routing Encapsulation*): cria conexões ponto a ponto privadas como VPN.

- **NVGRE**: Topologias L2 no topo de rede L3. Identificador VSID único de 24 bits. Endereço *multicast* único é usado para tráfego BUM (*Broadcast, Unknown, Multicast*) em cada VSID (*Virtual Subnet Identifier*).

- **VXLAN** (*Virtual Extensible Local Area Network*): Cria subcamada virtual L2 (chamada VXLAN) sobre redes L3. Apenas VMs na mesma VXLAN podem comunicar. vSwitches servem de VTEP (*VXLAN Tunnel End Point*).

- **Geneve** (*Generic Network Virtualization Encapsulation*): Pode virtualizar qualquer protocolo sobre UDP/IP. *Tunnel Endpoints* processam os cabeçalhos Geneve e controlam os pacotes de controlo.

Resumindo, NVGRE, VXLAN, & Geneve resolvem o problema de múltiplos inquilinos usando endereços MAC, VLAs e endereços IP sobrepostos. Para as VMs nada muda, apenas os *Hypervisors* são responsáveis pelos detalhes.

16. Software Defined Networking (SDN)

16.1 Planos de Networking

1. **Plano de dados**: Todas as atividades que envolvem e resultam de pacotes enviados pelo utilizador final: Encaminhamento, fragmentação (e recuperação) e replicação para *multicasting*.
2. **Plano de controlo**: Todas as atividades que são necessárias para executar atividades do plano de dados mas que não envolvam pacotes do utilizador final: tabelas de routing, definir IPs, etc.
3. **Plano de Gestão**: Todas as atividades relacionadas com a monitorização e aprovisionamento das redes.

Nas redes IP tradicionais os planos 1. & 2. estão embebidos nos dispositivos de rede.

16.2 Definição de SDN e as suas Vantagens

SDN é uma arquitetura emergente que é dinâmica, regível, *cost-effective* e adaptável originando larguras de banda elevadas. Esta arquitetura desprende o controlo da rede das funções de encaminhamento, permitindo que o controlo da rede seja diretamente programável e centralizado, sendo a infraestrutura da rede abstrata às aplicações e dos serviços da rede. O protocolo **OpenFlow** é um elemento fundamental para construir as soluções SDN.

Separando os planos de controlo e de dados, os *switches* tornam-se simples dispositivos de encaminhamento (*white boxes*) e o controlo lógico é implementado no controlador lógico centralizado.

- **OpenFlow Switch**: Incluem uma ou mais tabelas de regras de gestão de pacotes (tabelas de fluxos). Cada regra corresponde a um subconjunto do tráfego e executa uma série de ações (dropping, forwarding, modifying, etc.). Pode atuar como *router*, *firewall*, *switch*, etc.

SDN permite atingir a tão desejada flexibilidade, partindo o problema de controlo em vários mais pequenos, simplificando a gestão, evolução e inovação da rede.

SDN não é um único mecanismo. SDN é uma *framework* → várias soluções.

A separação total do controlo do plano de dados em pode ser destrutiva em algumas redes.

O futuro parece incluir uma combinação de *machine learning* para soluções SDN inteligentes.

17. Network Functions Virtualization (NFV)

17.1 Porquê NFV?

O *hardware* é caro, tem uma vida relativamente curta, exige investimento elevado, entre outros fatores. Como tal, começamos a implementar estratégias de virtualização de componentes físicos que permitem, muitas vezes, não só reduzir custos, mas também um movimento de elementos sem ser necessário um movimento físico propriamente dito.

17.2 Caracterização da NFV

Os módulos podem ser combinados para criar qualquer combinação de uma função para privacidade de dados, controlo de acesso, encaminhamento, ...

Estes módulos de função são simultaneamente parte do plano de dados e do plano de controlo.

As suas principais vantagens são: virtualização e *cloud computing* incluindo *orchestration*, *scaling*, automação, independência de *hardware*, *pay-per-use*, tolerância a falhas, etc.

17.3 Virtual Network Function (VNF)

- **NFV Infrastructre (NFVI)**: Trata-se do *hardware* e do *software* necessários para implantar, gerir e executar VNFs.

- **Network Function (NF)**: building block funcional com interfaces bem definidas e comportamento bem definido.
- **Container**: VNF é independente da NFVI mas necessita de um *software container* para poder executar em diferentes componentes de *hardware*. Só necessitam de replicar componentes muito específicos do OS.

- **SFC (Service Function Chaining)**: Cadeia virtual resultante da composição de VNFs. A SFC automatiza o que os administradores de rede fazem.

A NFV é utilizada em vários casos: encaminhamento de elementos, nós móveis, funções de segurança, etc.

17.4 Relação entre NFV & SDN

O conceito de NFV originou de SDN. Ambas utilizam abstração da rede: a SDN separa as funções de controlo das funções de encaminhamento, a NFV abstrai funções da rede do hardware onde executam. Ambas tornam as arquiteturas das redes mais flexíveis e dinâmicas, mas os seus papéis são muito distintos para cumprir objetivo. A sua combinação origina uma solução ótima com o controlo separado do plano de dados aliado a todas as vantagens da NFV.

18. Content Delivery Networks (CDNs)

18.1 Definição e Funcionamento de Content Delivery Networks

Uma CDN trata-se de uma rede de *Edge Servers* e *Points-of-Presence* (POP) à volta do globo em que cada *Edge Server* possui uma exata cópia de um determinado conteúdo digital. Estas redes ajudam a assegurar que os utilizadores conseguem aceder aos conteúdos.

Quando um utilizador faz um pedido é direcionado para o *edge server* mais próximo, reduzindo a latência e melhora a experiência de utilização do utilizador. O aumento muito significativo da velocidade é o principal melhoramento que resulta da implementação de CDNs.

18.2 Arquitetura de CDNs

As CDNs possuem 3 componentes chave: **Origin Server** (contém a versão original do conteúdo), os **Edge Servers** (fazem *cache* do conteúdo) e os **POPs** (localização geográfica onde os *Edge servers* existem).

1. **Pull CDN (proxy)**: Automaticamente “puxa” o conteúdo estático do servidor de origem. Cria uma cópia que será servida aos utilizadores nos pedidos seguintes. **Desvantagem**: O 1º utilizador experiencia atraso.
2. **Push CDN**: O conteúdo é proactivamente depositado nos *Edge Servers*. Quando o utilizador requisita o conteúdo já se encontra lá. **Desvantagem**: *upload* manual necessário.

As principais vantagens das CDNs residem no melhoramento de desempenho, nas altas fiabilidade e redundância e segurança mais eficiente. A virtualização é uma chave para as CDNs.

DNS and anycast routing → CDN cornerstones