

GUIA DE VERIFICAÇÃO DE COMPETÊNCIAS

1. Introdução

- Distinguir diferentes configurações de comunicação e apresentar exemplos

Existem 3 tipos de configurações de comunicação: Ponto-a-ponto, Multiponto e Difusão ou Distribuição

Ponto-a-ponto e **Multiponto** exigem endereçamento dos sistemas terminais de destino e a rede terá de suportar comutação (interligação entre entradas e saídas em nós da rede, permitindo o encaminhamento de acordo com o endereço de destino).

Na **Difusão** o número de receptores é arbitrário e desconhecido pelo emissor, não havendo, portanto, endereçamento.

Um caso específico da comunicação multiponto é **Ponto-a-multiponto**, onde A comunica com B-C-D, mas não existe comunicação entre estes.

Exemplos:

- **Ponto-a-ponto:** telefonia, acesso a base de dados e correio eletrónico
- **Multiponto:** teleconferência, televigilância, correio eletrónico
- **Difusão ou distribuição:** televisão

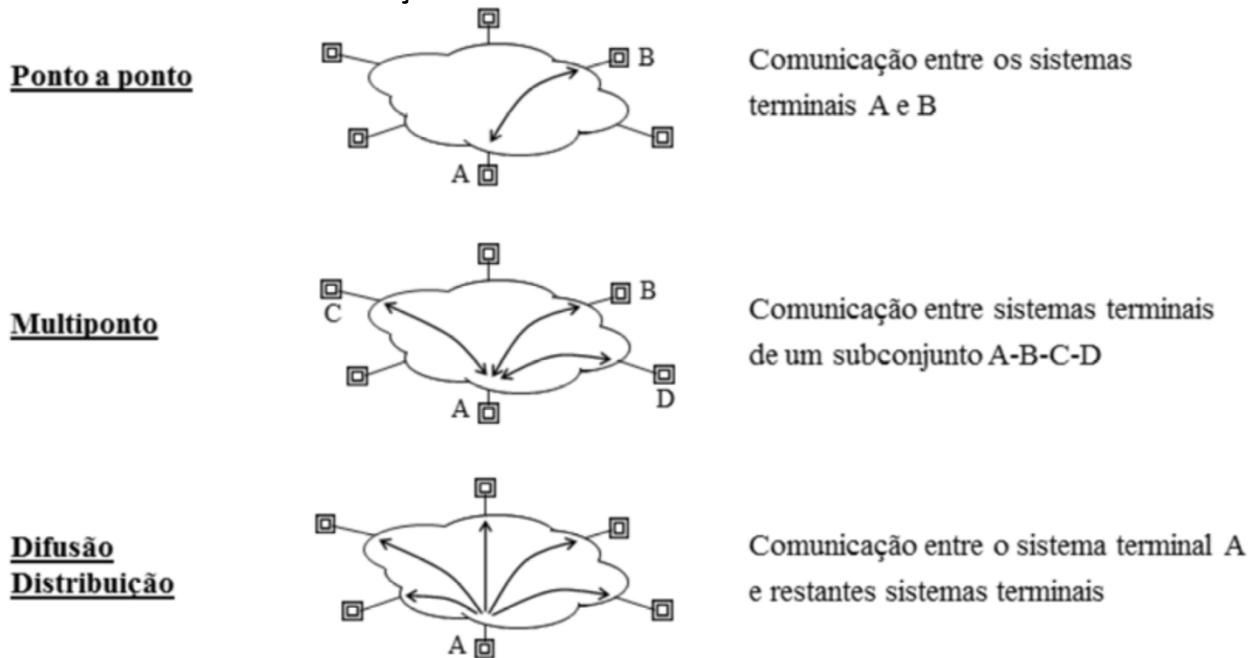


Figura 1 - Configurações

- Caracterizar as diferentes classes de serviços de comunicação

Existem 2 classes de serviços: interativos e de difusão ou distribuição.

Os **interativos** requerem uma comunicação **bidirecional** e podem ser:

➤ **Conversacionais:**

- Suporta comunicação com transferência de informação em **tempo real**, utilizador a utilizador ou entre utilizador e computador.
- O fluxo de informação é **bidirecional simétrico** ou **assimétrico**.

➤ **Mensagens:**

- Suporta comunicação com transferência de informação através de **unidades de memória**, utilizador a utilizar com funções “store-and-forward”, caixa de correio ou processamento de mensagens.
 - O fluxo de informação é **bidirecional simétrico** ou **assimétrico**.
- Consulta:
- **Consulta de informação** guardada em **centros de informação**, enviada para o utilizador apenas a seu pedido numa base individual e numa sequência por si controlada.
 - O fluxo de informação é **bidirecional** normalmente **assimétrico**.

No caso dos de **difusão ou distribuição** a informação é transmitida de forma **unidirecional**, de um ponto central para um número não limitado de utilizadores. O utilizador **não** tem a possibilidade de selecionar o inicio ou a ordem de apresentação de informação. Contudo, em certos serviços, a informação é apresentada sob a forma de uma sequência cíclica de entidades, podendo o utilizador selecionar individualmente o seu início e ordem de apresentação.

- **Distinguir acessos analógico e digitais**

A distinção entre acessos analógicos e digital diz respeito apenas à interface disponibilizada pela rede ao utilizador, em termos de canal físico de suporte

Acesso analógico:

- Disponibiliza canal analógico com uma dada largura de banda
- Aceita à entrada e produz à saída um sinal analógico
- Caracterizável pela resposta em frequência e pela relação sinal-ruido à saída
- Tendência no sentido de ser substituído pelo acesso digital

Acesso 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 correm os erros
- Permite regeneração em repetidores intermédios: o ruído é removido (eventualmente criando erros)

- **Caracterizar os diferentes tipos de redes e serviços de comunicações eletrónicas e apresentar exemplos**

Há dois tipos de redes de comunicações:

- **Redes acessíveis ao público:** fornecem serviços destinados ao público em geral
- **Redes não acessíveis ao público:** destinadas ao uso próprio (instituições de grande dimensão) ou a um número restrito de utilizadores.

Que, por sua vez, se subdividem em:

- **Redes endereçadas:** a informação é apenas enviada a um ou mais destinatários pré-determinados, usando endereçamento, podendo haver bidirecionalidade
- **Redes de difusão ou distribuição:** realizam-se num só sentido, sem endereçamento prévio, para vários pontos de receção

Tipos principais de redes de comunicação:

- Redes fixas (acessos em pares de cobre e fibra ótica – débitos elevados; excepcionalmente via radio – baixo debito: 3,6-3,8 GHz e alto debito: 24,5-26,5 GHz)
- Redes moveis (900 e 1800 MHz (GSM) e 1,9-2,2 GHz (UMTS))
- Redes de satélites (grande potencial de cobertura geográfica, 10 a 12 GHz)
- Redes de radiocomunicações (VHF/UHT - Very High Frequency 30-300MHz/Ultra High Frequency)
- Redes elétricas (quando utilizadas para a transmissão de sinais)
- Redes hertzianas de programadas de radio e de televisão
- Redes de distribuição por cabo (serviço de internet de banda larga, concorrência com operadores de redes fixas)

Há dois tipos de serviços de comunicações:

- **Serviços de comunicações eletrónicas**
 - Serviço de telefone fixo (acesso direto e indireto)
 - Serviço de transmissão de dados
 - Serviço de voz através da internet (VoIP fixo)
 - Serviço de acesso à internet (ISP)
 - Outros serviços de transmissão de dados
 - Serviço telefónico VoIP nómada
 - Serviço de circuitos alugados (retalhista)
 - Serviços de revenda
 - Circuitos
 - Acesso à internet
 - Acesso direto:
 - Tradicional modo de acesso ao cliente,
 - Instalação de uma linha até ao local onde o cliente está domiciliado
 - Acesso indireto:
 - Garante acessibilidade por todos os clientes de um dado prestador do serviço de telefone fixo aos serviços de outros prestadores, o chamado carrier, ou transportador do tráfego
 - Permite a seleção do prestador por defeito ou chamada-a-chamada, através de um prefixo de seleção do prestador alternativo
- **Serviços de radiocomunicações**
 - Serviço de radiofusão
 - Sonora
 - Televisiva
 - Serviço de radiocomunicações fixas
 - Serviço de radiocomunicações moveis
 - Serviço móvel terrestre (GSM/ UMTS/ LTE)
 - Serviço móvel aeronáutico
 - Serviço móvel marítimo
 - Serviço de radiocomunicações por satélite
 - Serviço de radio pessoal (banda do cidadão)

- **Definir rede básica de telecomunicações**

Uma **rede de telecomunicações** é caracterizada por ser um conjunto de equipamentos e meios físicos que suportam as comunicações, isto é, a emissão, a transmissão e a receção de sinais. Uma rede básica de telecomunicações é uma rede que possui as funções essências como: **assegura a comunicação entre sistemas terminais de utilizador, oferece interfaces para acesso a recursos** geralmente partilhados e disponibiliza serviços como uma **qualidade previamente estabelecida**.

A qualidade de serviço inclui vários componentes: disponibilidade da rede, tempo de estabelecimento de ligações, probabilidade de congestionamento, atraso de transmissão (componentes fixa e variável), relação sinal-ruído, distorção e interferências entre canais em interfaces analógicas, probabilidade de erros em interfaces digitais.

- **Distinguir os diferentes tipos de acesso de utilizador**

Os diferentes tipos de acesso de utilizador que existem é o acesso analógico e o acesso digital. Os acessos distinguem-se de acordo com a interface disponibilizada pela rede ao utilizador.

Os **acessos analógicos** caracterizam-se por:

- Disponibilizar um canal analógico com uma dada largura de banda;
- Aceitar à entrada e produz à saída um sinal analógico;
- Caracterizável pela resposta em frequência e pela relação sinal-ruído à saída;
- Tendência no sentido de ser substituído pelo acesso digital;

Os **acessos digitais** caracterizam-se por:

- Disponibilizar um canal digital com um dado débito binário;
- Aceitar 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;

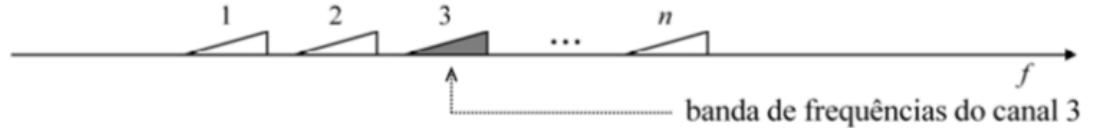
2. Rede Fixa de Telecomunicações

- **Caracterizar os modos de transferência de informação: circuito e pacote (datagrama e circuitos virtuais)**

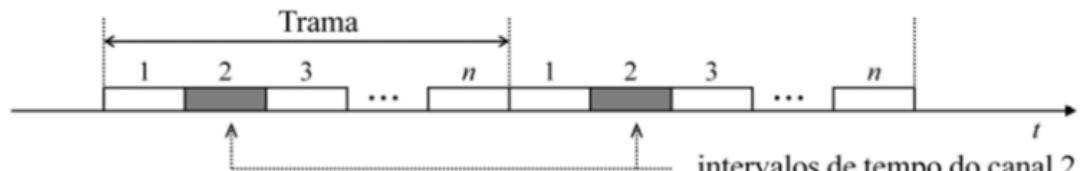
Modo circuito:

MULTIPLEXAGEM

- Multiplexagem determinística
- Suportado diretamente por um canal fixo
- Cada canal ocupa uma banda fixa ou intervalos de tempo cíclicos em tramas sucessivas
- Débito e atraso constante
- Redes analógicas ou digitais
- Na multiplexagem em frequência, o circuito tem uma largura de banda pré-definida. É preciso bandas de guarda para reduzir interferências entre canais adjacentes.
- Na multiplexagem temporal, o circuito tem um débito binário, constante, pré-definido.



Multiplexagem de frequências em modo circuito



Multiplexagem temporal em modo circuito

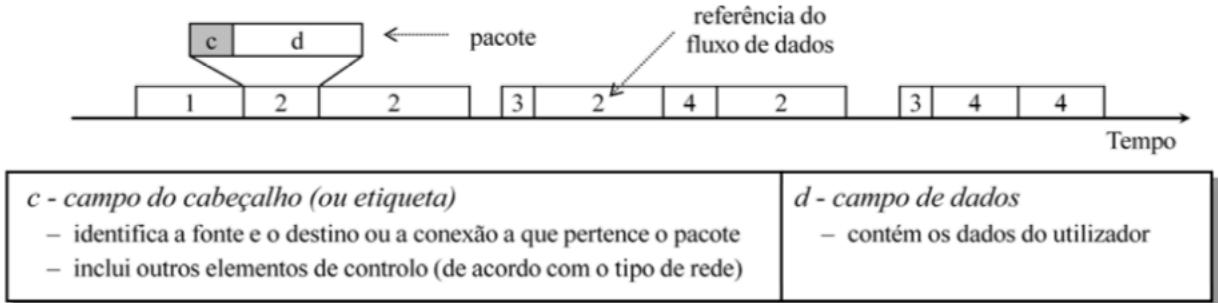
ACESSO AOS RECURSOS

- Recursos solicitados à rede no inicio da chamada através de sinalização
- Se disponível é atribuído senão é rejeitado
- Estabelece-se uma conexão circuito entre os terminais
- Pode haver renegociação de recursos (débito dinâmico)
- Recursos libertados no fim da chamada através de sinalização
- Fase previa de estabelecimento de conexões, há competição

Modo pacote:

MULTIPLEXAGEM

- Multiplexagem temporal estatística
- Dados inseridos em estruturas autónomas designadas de pacotes
- Identificação dos canais feita pelo conteúdo do cabeçalho
- Débito variável - Cada fonte pode transmitir mais ou menos informação
- Aplicável apenas a comunicações digitais
- Frequência e comprimento dos pacotes pode variar
- Se não houver dados a transmitir, não são transmitidos pacotes
- O cabeçalho é um acréscimo (overhead) que geralmente é superior ao existente nas redes de circuito, no entanto esta perda de eficiência é recuperada para serviços de débito variável (VBR). No modo circuito, o debito do canal deveria ser o debito máximo da fonte para não haver perda de informação, por isso, em grande parte do tempo, o canal estaria subutilizado. O mesmo não acontece no modo pacote pois é apenas utilizado, em cada momento, o debito requerido pela fonte, ficando o excedente disponível para outros canais.
- A forma como o identificador do cabeçalho referencia cada pacote depende do tipo de rede. Nas redes sem conexões os pacotes são autónomos, contendo a identificação da fonte e do destino; nas redes com conexões, acontece primeiro o estabelecimento de conexões, pelo que os pacotes transmitidos têm um identificador para saberem a que conexão pertencem.



Multiplexagem temporal em modo pacote

ACESSO AOS RECURSOS

- 2 ou mais fontes podem tentar enviar pacotes em simultâneo
- Para resolver o conflito de acesso aos recursos:
 - Só uma fonte pode transmitir o respetivo pacote
 - Pacotes de outras fontes são memorizados
 - Repete-se ate se esgotarem os pacotes a transmitir
- Atraso variável e sistema de atraso
- Poderá haver sobrecarga nos nós da rede
- Para minimizar a perda de pacotes, as fontes poderão ter que reduzir o débito.

No modo pacote existem dois tipos de redes: **sem conexão e com conexão**:

REDES SEM CONEXÕES - DATAGRAMAS

- Não é necessária a fase de estabelecer e libertar conexões
- Todos os pacotes têm de ter endereços de origem e destino
- Cada pacote é enviado logo que disponível e é tratado de forma autónoma pela rede
- Os pacotes podem seguir diferentes caminhos e chegar fora da ordem pela qual foram enviados
- Não é disponibilizada pela rede deteção/correção de pacotes perdidos, esses erros são da responsabilidade do equipamento do sistema terminal
- Não é necessário dispor de informação nos nós
- Cada pacote tem o endereço completo e é encaminhado de forma independente dos outros. O emissor deve numerar os pacotes antes de enviar por causa da possibilidade de haver pacotes perdidos ou fora de ordem; o receptor faz a reordenação se necessário e pede o reenvio caso algum pacote não chegue no tempo previsto.

REDES COM CONEXÕES – CIRCUITOS VIRTUAIS

- Requer estabelecimento de conexões
- Estabelecimento da conexão através da sinalização: dois sistemas terminais em cada extremo negoceiam as características da conexão; os endereços de origem e destino só são enviados nesta fase; estabelecem-se identificadores de conexão para permitir o encaminhamento nos nós de comutação.
- Transferência de dados: os pacotes transportam apenas o identificador; os pacotes seguem sempre o mesmo trajeto e chegam pela ordem que foram enviados; existe deteção e eventual correção de erros de pacotes perdidos; pode ser suportado o controlo de fluxo por circuito virtual.

- Libertaçāo da conexāo através da sinalizaçāo: os identificadores de conexāo sāo libertados, podendo vir a ser usados por novas conexāes.
- Semelhante ao sistema telefônico;
- Funcionamento em tubo – caminho pré-definido;
- Semelhante ao modo circuito, nāo tem debito constante, mas estabelece-se da mesma forma
- **Caracterizar as diferentes topologias de rede (interligação total, estrela. Hierárquica e emalhada)**

- **Topologia com interligação total**

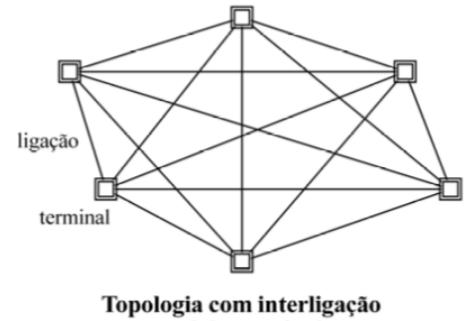
- Um par de terminais e um circuito dedicado por cada ligação possível
- Comutação local em cada utilizador
- Alimentação local de cada terminal

Eficiência baixa – muitos dos pares de utilizadores provavelmente nunca comunicarão entre si

Crescimento incomportável – **a introdução de um novo utilizador requer uma ligação a todos os outros**

$N(N-1)/2$ circuitos e $N(N-1)$ pontos de cruzamento

Muito pouco utilizado.

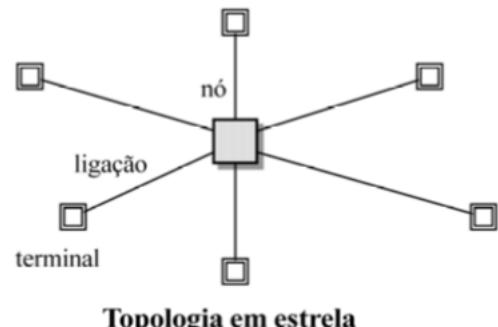


- **Topologia em estrela**

Um único terminal e uma única ligação por cada utilizador

Um nō de comutação para todos os utilizadores – efetua ligações temporárias entre terminais e Troca de informação de controlo (sinalização) com os terminais

Alimentação de todos os terminais a partir da central (bateria central).



Eficiência superior – cada ligação tem agora uma ocupação aceitável

Crescimento suave com limitações – **a introdução de um novo utilizador requer apenas uma ligação no nō**; um único nō só é viável em áreas geográficas reduzidas

N circuitos e N^2 pontos de cruzamento (ou menos que N^2).

Topologia mais rentável. Aplicável a redes de reduzida dimensão geográfica.

É necessário trocar informações entre o terminal e a central (sinalização) e permite o controlo e manutenção centralizados na rede

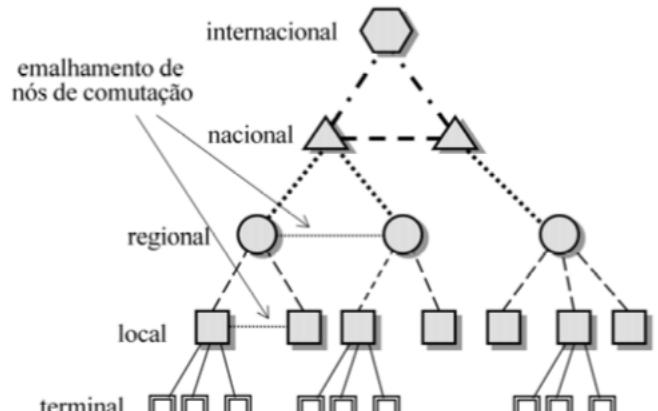
- **Topologia hierárquica**

Introduz vários níveis de comutação e permite um elevado numero de utilizadores com grande dispersão geográfica

Central Local -> Central Regional -> Central Nacional -> Central Internacional

Eficiência maximizada – densidade dos nós dependente da concentração de utilizadores; nós e ligações otimizados; Crescimento suave – **introdução de um novo elemento requer apenas uma ligação a um nó próximo**; ligações entre nós e capacidade destes cresce em função do aumento de tráfego.

Quando há emalhamento, há uma maior eficiência e fiabilidade



Topologia hierárquica com emalhamento

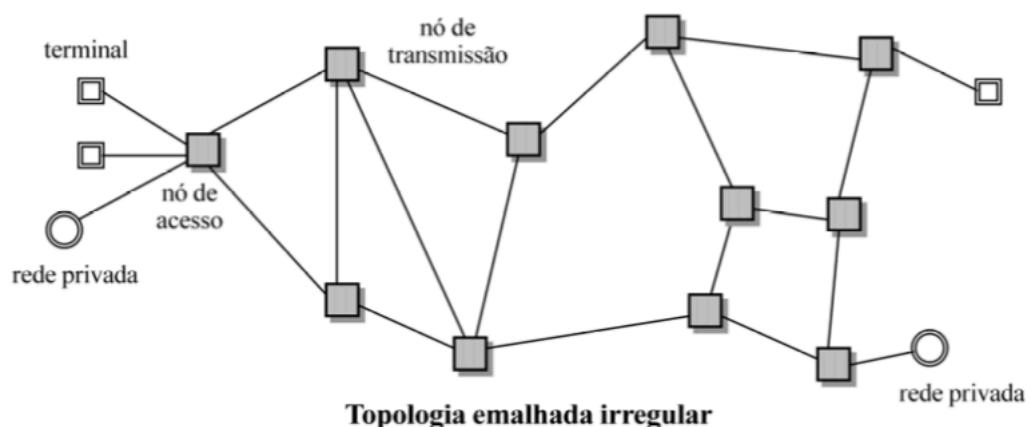
É necessário ter os assinantes ligado a uma única central, para isto constituem-se as redes locais, isto é, grupos de assinantes numa dada área geográfica, ligados à respetiva central local. É preciso agora fazer a ligação entre centrais locais, recorrendo a uma central de nível superior – rede interligação regional – constituída por centrais regionais (centrais primárias) e ligações (junções). O nível seguinte é a interligação nacional (ou interurbana) constituída por centrais de transito nacional (centrais secundárias) e por ligações (troncas) às centrais de trânsito regional e outras centrais de trânsito nacional. Acima deste nível existe ainda a rede internacional e as correspondentes centrais internacionais.

- **Topologia emalhada**

Topologia hierárquica diluída

Os novos operadores que entram no mercado não têm herança da rede telefónica; rede estruturada tendo em conta requisitos presentes e futuros.

Mais eficientes.



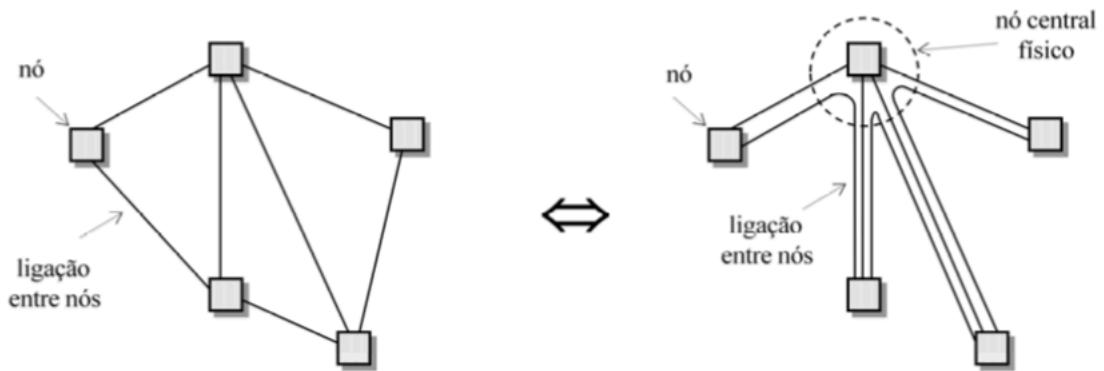
- **Distinguir topologia física e lógica**

A topologia física em árvore é dominante. Corresponde à organização dos meios físicos de transmissão.

A topologia lógica refere-se à organização das ligações entre os nós de comutação.

É possível adaptar tipos de topologias lógicas à topologia física em estrela.

Como a topologia física em estrela, a soma total dos comprimentos das ligações físicas é superior à que se encontraria se a topologia física correspondesse diretamente à topologia lógica.



Rede com topologia lógica emalhada

Rede com topologia lógica emalhada e topologia física em estrela

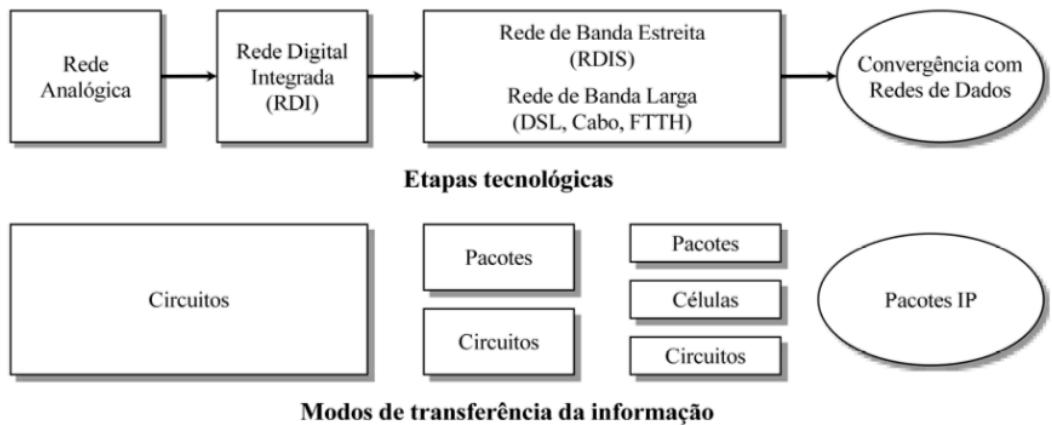
- **Caracterizar cenários de convergência com redes de dados – evolução do acesso à internet e do transporte de voz**

A tendência atual é no sentido de os serviços de telecomunicações, incluindo a telefonia, serem suportados numa base tecnológica comum, o que facilita os diversos níveis de integração de serviços: no terminal, no acesso, na transmissão, na comutação e na gestão da rede.

Esta mudança ocorre devido à inversão da importância voz-dados, no passado a transmissão era feita através de dados sobre voz, mas devido ao crescimento acelerado de servidores de internet e ao aumento do débito no acesso de utilizador permitiu ao tráfego de dados ultrapassar o de voz a nível mundial, o que tornou inevitável que a transmissão passasse a ser feita através de voz sobre dados, sendo que os protocolos de Internet (IP) apresentam as condições para se imporem a todos os outros serviços.

O acesso à internet foi uma das áreas que teve a sua migração das redes comutadas para as redes IP, isto porque com circuitos comutados é necessário ocupar um circuito de interligação por cada chamada sem que haja qualquer retorno financeiro, por outro lado, com redes IP essa ligação é feita através da ligação de circuitos apenas na central local permitindo estabelecer logo a ligação, mesmo que seja para uma assinante que se situe numa área remota. Deste modo, evita-se a utilização ineficiente de circuitos de interligação dando-se lugar à multiplexagem estatística dos vários utilizadores sobre o mesmo canal.

A mesma migração foi feita ao nível do transporte de voz que para além de garantir as vantagens já mencionadas anteriormente permite também uma melhor rentabilidade das infraestruturas.



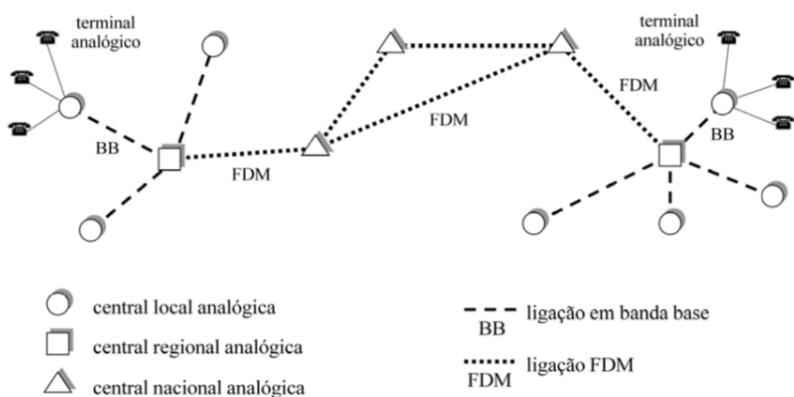
Numa primeira fase, o modo circuito é exclusivo, assegurando canais de débito constante estabelecidos a pedido ou semipermanentes. A Rede Digital com Integração de Serviços suporta adicionalmente canais em modo pacote. A introdução de Banda Larga conduziu ao modo de transferência da informação (ATM), baseado em modo pacote, mas com células de comprimento fixo. A visão atual é no sentido da convergência crescente com redes de dados sendo plausível uma evolução no sentido da adoção genérica do protocolo IP, utilizado já em larga escala na Internet.

Rede analógica

- Equipamento terminal analógico
- Rede de acesso local: linhas de cobre em banda base analógica
- Rede de transporte analógica: linhas de cobre em banda base (curta distância); cabo coaxial e feixes hertzianos em FDM (longa distância)
- Rede de comunicação analógica: inicialmente com controlo eletromecânico; posteriormente com controlo por computador.
- Rede de sinalização por canal associado

COMUNICACOES DIGITAIS PRIMITIVAS – O TELÉGRAFO

A transmissão de longa distância baseava-se em técnicas FDM, enquanto que os sistemas de comutação utilizavam dispositivos eletromecânicos que efetuam ligações ao nível de casa canal. Não havia, portanto, qualquer integração entre a transmissão e a comutação. A sinalização, de canal associado, tinha capacidades muito limitadas e baixa fiabilidade.



Configuração da Rede Analógica

Limitações:

- As ligações entre as centrais locais e regionais operavam em banda base, obrigando a um par simétrico individual por cada canal suportado;
- A comutação analógica é feita sempre ao nível de cada canal, sendo necessário desmultiplexar totalmente os sinais FDM, sempre que se quisesse realizar uma operação de comutação.

Rede Digital Integrada (RDI)

O porquê da rede digital: melhor qualidade; suporte de diversas evoluções tecnológicas; introdução de novos serviços; aumento da capacidade, redução de complexidade, custo de instalação e exploração; redução das dimensões físicas.

Como? Substituição de sistemas desatualizados por novos; sobreposição do novo equipamento com o equipamento de geração anterior.

3. Multiplexagem Digital

3.1 Multiplexagem Digital Síncrona

■ Caracterizar o modo de multiplexagem TDM - princípio de multiplexagem

TDM – multiplexagem por divisão nos tempos

Princípios básicos:

- Define-se tramas de duração fixa T constituídas por c intervalos de tempos
- Cada canal ocupa ciclicamente na trama um intervalo de n bits
- A identificação. Dos canais é feita pela posição na trama

Consequências importantes:

- O débito de cada canal é constante
- Os relógios têm de estar sincronizados entre si

■ Definir o conceito de trama

Uma trama é uma forma mais organizada e estruturada de comunicar que consiste em **agrupar caracteres em blocos e transmiti-los contiguamente** de forma a constituírem uma unidade de comunicação. Define-se também como sendo o menor conjunto de bits que se repete periodicamente e que contém pelo menos 1 bit ou 1 palavra de cada canal e ainda a informação de formatação.

■ Efetuar cálculos de débito de canais em trama (relacionar débito de canal, débito do multiplex, período da trama, numero de bits de canal e de trama).

R: débito do canal

r_{tot} : débito do multiplexador

T: período da trama

c: número de canais

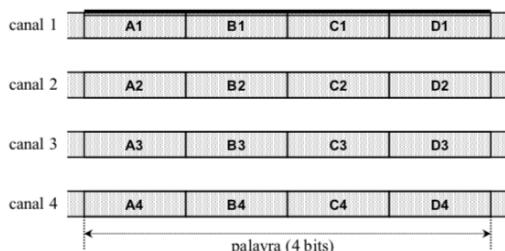
Débito de cada canal: $r=n/T$ (bit/s)

Débito binário total do multiplex: $r_{tot}=c n/T$

- Distinguir entrelaçamento de palavras e bits

Tipos de entrelaçamento:

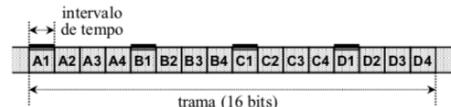
- Entrelaçamento de palavras: cada intervalo de tempo acomoda uma palavra do código do sinal de entrada
- Entrelaçamento de bits: cada intervalo de tempo suporta um único bit do correspondente sinal de entrada



(a) Canais de entrada do multiplexador



(b) Entrelaçamentos de palavras



(c) Entrelaçamentos de bits

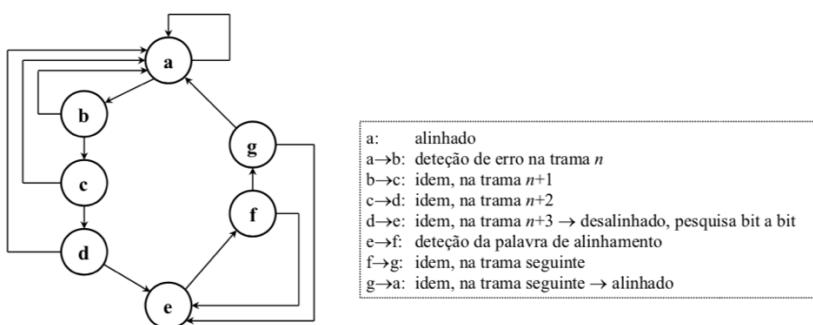
- Definir palavra de alinhamento de trama e justificar a sua importância

Uma palavra de alinhamento de trama consiste num determinado padrão de bits repetido sucessivamente nas tramas que permite ao desmultiplexador identificar os limites de trama e recuperar os canais.

Há 2 tipos: concentrada (bits consecutivos, inseridos num canal adicional em cada trama) e distribuída (bits dispersos, inseridos ao longo d cada trama ou ao lengo de cada bloco de varias tramas consecutivas).

- Caracterizar estratégias de alinhamento de trama face a objetivos de robustez da função e representá-las em diagrama de estados

As estratégias de alinhamento garante imunidade a erros esporádicos na palavra de alinhamento e impede alinhamento por eventuais imitações de palavra de alinhamento.



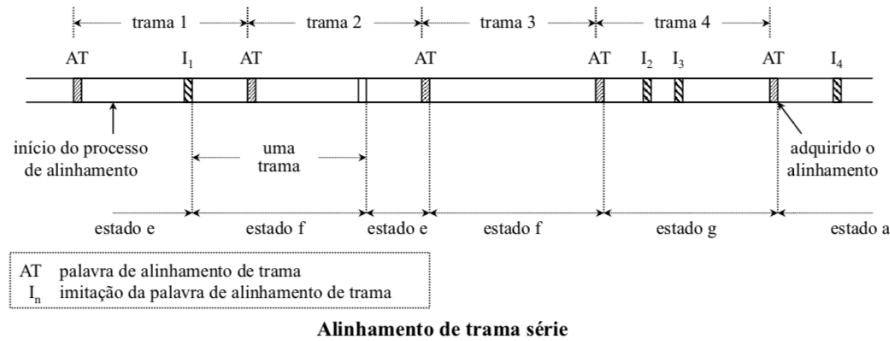
- Distinguir alinhamento serie e paralelo e compará-los; aplicar em sequências concretas

Alinhamento em serie

Pesquisa a palavra de alinhamento de trama bit a bit;

Encontra a palavra de alinhamento;

Prossegue pesquisa trama a trama a partir desse ponto.



Alinhamento em paralelo

Varias maquinas de estado são iniciadas em paralelo a partir de todos os pontos onde é detetada a palavra de alinhamento de trama;

O sistema considera-se alinhado quando uma delas entrar no estado de alinhamento;

Para palavras de alinhamento curtas ou tramas longas.



- Identificar critérios para a escolha de uma palavra de alinhamento

O **padrão** de alinhamento de trama deve ser:

- Imune a imitações anteriores à própria palavra – função de auto-correlação baixa
 - Não deverá ser imitada em consequência de erros simples e ocasionais

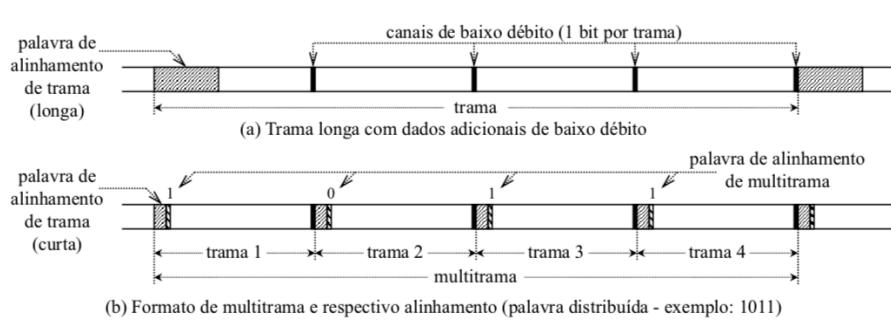
- Definir multitrâma e justificar a sua importância

Multitrama é importante para solucionar o problema das tramas longas.

Alguns canais a transmitir são de baixo débito o que implica que as tramas teriam de ser longas (com muitos bits) isto provoca degradação na qualidade de transmissão.

Numa multitrama, a trama longa passa a ser uma multitrama constituída por (sub)tramas elementares.

- Cada uma das novas tramas dispõe agora de uma palavra de alinhamento própria.
- Os bits adicionais formam uma palavra de alinhamento multitrama.
- Estratégia de alinhamento: primeiro de trama e depois de multitrama



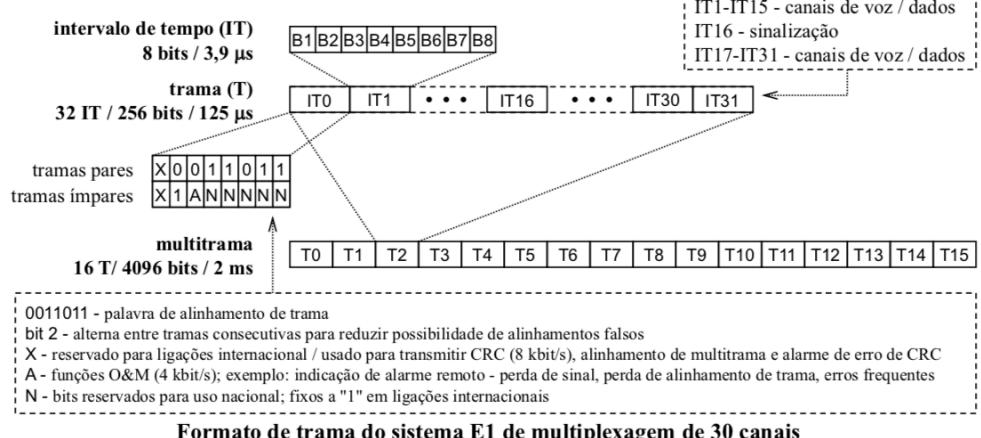
Conceito de multitrama

- Analisar uma dada especificação de um sistema de multiplexagem síncrona
- Sistema E1 de 30 canais (2 048 kbit/s)

Correspondente ao sistema adotado na europa. Carateriza-se por ter tramas de 32 intervalos de tempo (IT0-IT31) de 8 bits, comprimento total de 256 bits e frequência de 8 KHz (período de 125us). É constituído por 16 tramas de comprimento total de 4096 bits e frequência de 500 Hz (período 2 ms). Como podemos ver pela imagem, em cada trama o IT0 é utilizado para o alinhamento, IT1-IT15 é o canal de voz/dados, O IT16 é utilizado para sinalização e os restantes de IT17-IT31 são canais de voz/dados.

• Sistema E1 de 30 canais (2 048 kbit/s)

Características gerais



- Sistema DS1 de 24 canais (1 544 kbit/s)

- Definir o princípio de funcionamento de um sistema de multiplexagem com CRC e justificar a sua importância

CRC – Cyclic Redundancy Check

A multitrama de verificação redundante cíclica permite detetar erros de transmissão na trama e impede falsos alinhamentos. Baseia-se em atribuir uma sequência de bits um valor de verificação curto obtido através do resto da divisão polinomial da sequência. Na receção, o mesmo cálculo é

repetido e no caso de os valores não coincidirem é porque foi detetado um erro. Os CRC's são praticamente utilizados em todos os sistemas atuais porque permitem expandir a mensagem sem adição de informação, são simples de implementar em hardware, são fáceis de analisar matematicamente e são os mais fiáveis a detetar erros de transmissão na trama e a impedir falsos alinhamentos.

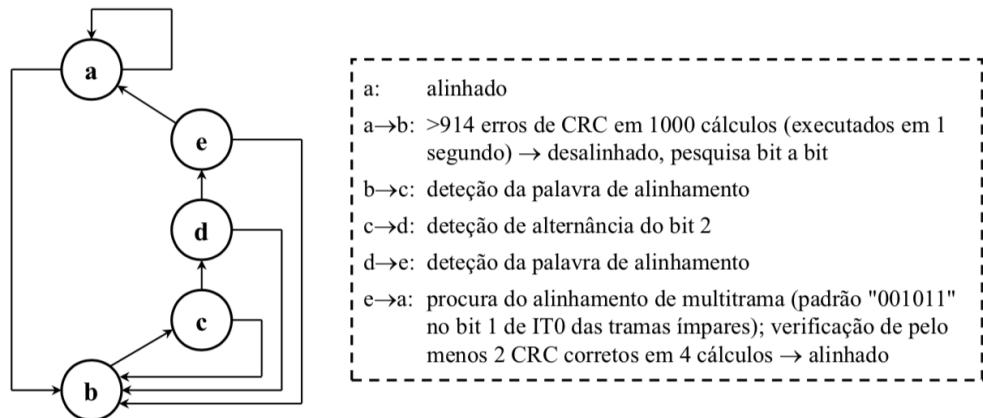


Diagrama de estados do alinhamento de trama e de multitrama baseados no CRC

3.2 Multiplexagem Digital Assíncrona

- Definir conceito de escorregamento

Existe escorregamentos quando os sinais de entrada têm relógios não sincronizados entre si, o sinal de saída tem um relógio próprio, e é realizada uma multiplexagem síncrona o que conduzirá à perda de bits ou à inserção de bits falsos.

O escorregamento é então a perda de bits ou inserção de bits falsos

- Caracterizar os princípios de operação da justificação (controlo através de bits de indicação de tipo de justificação ou através de apontadores; inserção variável de bandeiras/células de preenchimento)

Quando se utiliza multiplexagem assíncrona é necessário compensar as flutuações dos relógios dos sinais, para isso faz-se um preenchimento de bits nulos nos canais (pré-sincronização por canal de entrada) ou um preenchimento de bits nulos entre tramas (sincronização conjunta).

Estes princípios são chamados de justificação de bits/octetos e pode ser feita uma justificação negativa ou uma justificação positiva. Quando existe um excesso de bits a transmitir é necessária uma redução de bits nulos no canal e chama-se justificação negativa, quando existe um défice de bits a transmitir é necessário fazer-se um aumento de bits nulos no canal e chama- se justificação positiva.

Na hierarquia PDH a indicação de preenchimento é feita com 2 bits de controlo de justificação que são colocados a seguir à palavra de alinhamento, se estes bits forem “00” indicam que a justificação é nula e a área de justificação é composta por um bit a zero e outro de informação, se for “10” indica que a justificação é negativa e que ambos os bits da área de justificação serão de informação e se for “01” indica que a justificação é positiva e ambos os bits da área de justificação serão colocados a zero.

Na hierarquia SDH a indicação do preenchimento define-se através de unidades de dados flutuantes nas tramas sendo o início das tramas indicado através de apontadores. A principal vantagem de SDH

em relação a PDH é que se existir um erro no apontador ele será corrigido passadas duas tramas, ao passo que em PDH o erro será propagado indefinidamente.

Em outras hierarquias como GFP o princípio de operação é feito com a inserção de bandeiras/tramas de preenchimento.

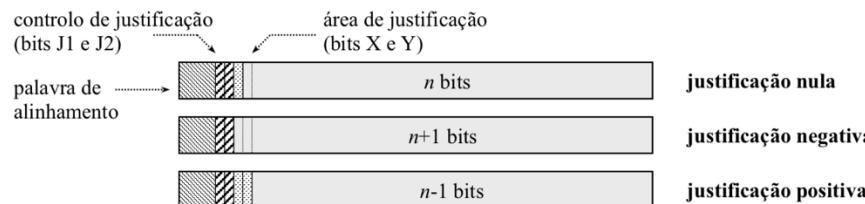
- Representar um formato de trama hipotético com justificação

Multiplexagem assíncrona por preenchimento de bits nulos nos canais

Indicação de preenchimento

- bits de controlo de justificação

aplicação: hierarquia PDH



Tipo de justificação	Bits de controlo de justificação		Ocupação dos bits de justificação	
	J1	J2	X	Y
Nula	0	0	Nulo	Info
Negativa	1	0	Info	Info
Positiva	0	1	Nulo	Nulo

bit nulo
 bit informação

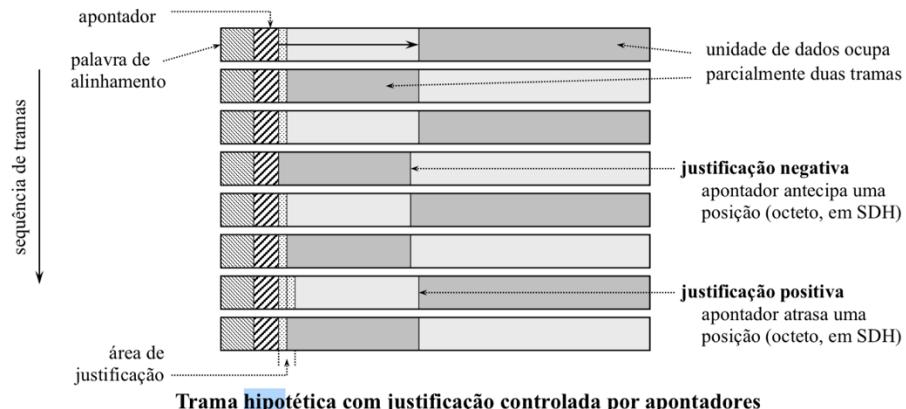
Trama hipotética com justificação controlada por bits específicos na trama

Multiplexagem assíncrona por preenchimento de bits nulos nos canais

Indicação de preenchimento

- definem-se unidades de dados flutuantes nas tramas
- apontadores indicam início das unidades de dados

aplicação: hierarquia SDH



Trama hipotética com justificação controlada por apontadores

3.1 Hierarquia de multiplexagem síncrona (SDH)

- Caracterizar o modo de multiplexagem SDH – princípio de multiplexagem e vantagens e limitações desta hierarquia

SDH (Synchronous Digital Hierarchy) é um esquema de multiplexagem TDM de banda larga.

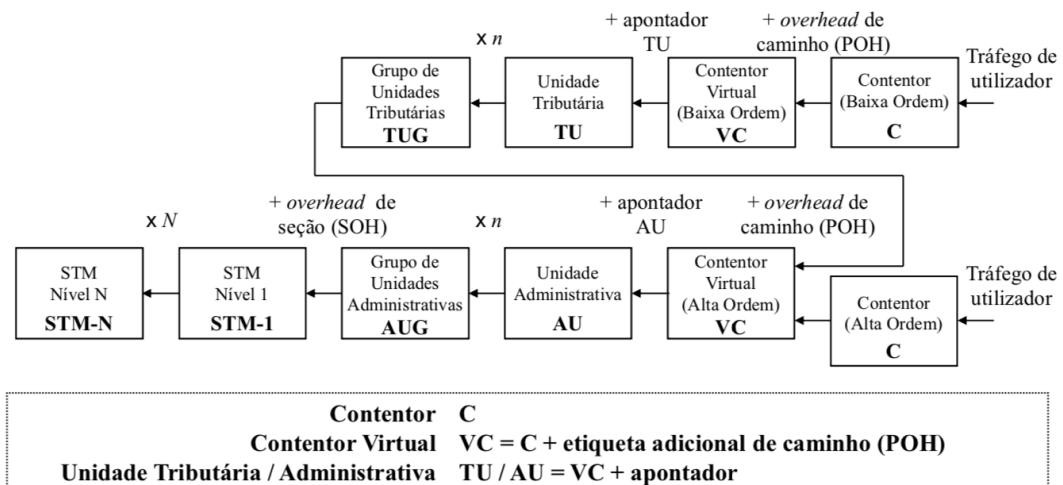
A técnica SDH realiza multiplexagem TDM determinística (ou síncrona), por entrelaçamentos de octetos. É um sistema de transporte de informações em alta velocidade, muito utilizado para acessos à Internet em alta velocidade. Cada sinal de um nível é obtido a partir de 4 tributários do nível anterior. O funcionamento da SDH está baseado nos princípios da multiplexagem síncrona direta, que é a chave para uma rede de telecomunicações mais eficiente e mais flexível. Isso significa que

sinais tributários individuais podem ser multiplexados diretamente num sinal SDH de taxa superior sem a necessidade de estágios de multiplexação intermediários.

Processos chave envolvidos

Mapeamento	<ul style="list-style-type: none"> insere tributários nos contentores virtuais preparando a multiplexagem síncrona introduz bits de justificação para adaptar diferenças de débitos acrescenta adicional de caminho (POH) ao contentor. Este POH (Path Overhead) caracteriza o e indica a sua localização do contentor na trama
Alinhamento	<ul style="list-style-type: none"> localiza a posição do primeiro octeto de um VC num TU ou AU coloca um apontador no TU ou AU para essa posição
Multiplexagem	<ul style="list-style-type: none"> agrega múltiplos sinais de baixa ordem numa estrutura de alta ordem agrega múltiplos sinais de alta ordem num módulo de transporte
Preenchimento (stuffing)	<ul style="list-style-type: none"> introduz octetos de justificação para ajustar posição de VCs num TU ou AU e adaptar flutuações de débitos

Estruturas de multiplexagem



Estruturas de multiplexagem

Vantagens:

- Elevadas taxas de transmissão, acompanhando a evolução tecnológica
- Inserção/remoção direta de tributários de qualquer módulo
- Funcionalidades muito completas de operação e manutenção (OAM)
 - Grande fiabilidade, com proteção contra falhas
 - Possibilidade de reconfiguração remota por procedimentos de gestão
- Pequeno conjunto de equipamentos normalizados (Elementos de Rede) permitem desenvolver qualquer rede SDH
- Arquitetura flexível adaptada aos vários níveis da rede de transporte
- Compatível com interfaces da hierarquia plesiócrona (suporte de tributários PDH)

- Compatível com RDIS de Banda Larga (suporte de fluxos de células ATM)
- Possível suportar tráfego de dados (interfaces Ethernet 10/100 BaseT e Gbit)

Desvantagens:

- Baseada no modo de circuito, apresenta dificuldades em suportar tráfego variável com elevada eficiência
- Técnica complexa devido à necessidade de registar a relação de fase entre os sinais dos tributários e o cabeçalho
- A justificação por octeto usada na SDH é mais problemática relativamente ao jitter
- originado no processo de desmultiplexagem, do que a justificação por bit.

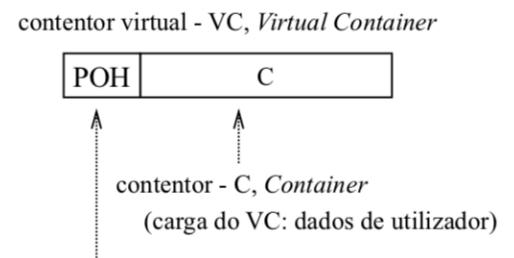
■ **Identificar a arquitetura de camadas funcionais SDH: caminho, secção de multiplex e secção de regenerador**

A arquitetura SDH define uma hierarquia de camadas funcionais da rede de transporte, onde cada nível tem atribuído uma etiqueta adicional (overhead) para funções de OAM.

- **Caminho:** Identificação da integridade da ligação, especificação do tipo de tráfego transportado no caminho e monitorização de erros.
- **Secção de multiplexagem:** Sincronização, comutação de proteção, monitorização de erros, comunicação com o sistema de gestão.
- **Secção de regeneração:** Enquadramento da trama, monitorização de erros, comunicação com o sistema de gestão.
- Cada camada tem um conjunto de octetos que são usados como cabeçalho da camada. Estes octetos são adicionados sempre que a camada é introduzida e removidos sempre que esta é terminada.

■ **Definir o conceito de contentor virtual, unidade tributária/administrativa e módulo STM**

Contentor virtual: são as unidades de informação de utilizador que incluem etiquetas adicionais (overhead-cabeçalho) do caminho. Circuitos são suportados em diferentes contentores virtuais de acordo com o débito. O VC é uma entidade que não sofre modificações desde o ponto onde o caminho é originado até ao ponto onde é terminado. Os VCs transmitidos diretamente no STM-1 designam-se contentores virtuais de ordem superior, e os restantes de ordem inferior.

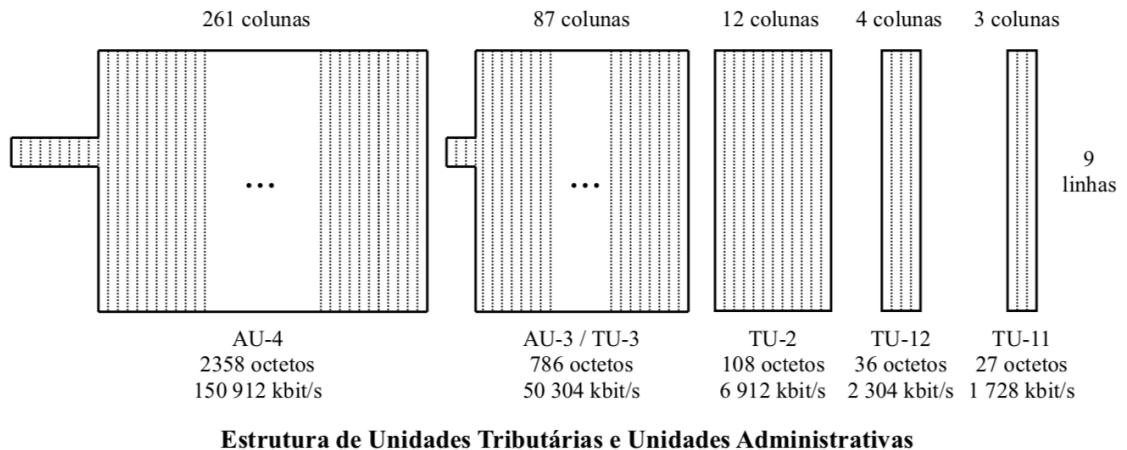


adicional de caminho - POH, *Path Overhead*
(funções de OAM relativas ao caminho)

Unidade tributária (TU): A unidade tributária consiste num contentor virtual de ordem inferior mais um ponteiro da unidade tributária. Estas unidades podem flutuar dentro da trama por

razões de sincronismo. Como o VC de ordem inferior pode flutuar dentro do VC de ordem superior, o início do primeiro dentro do segundo é indicado pelo ponteiro da unidade tributária.

Unidade Administrativa (AU): Consiste num contentor virtual de ordem superior mais um ponteiro de unidade administrativa. O apontador regista a relação de fase existente entre o contentor virtual e a trama e especifica o início do contentor virtual.



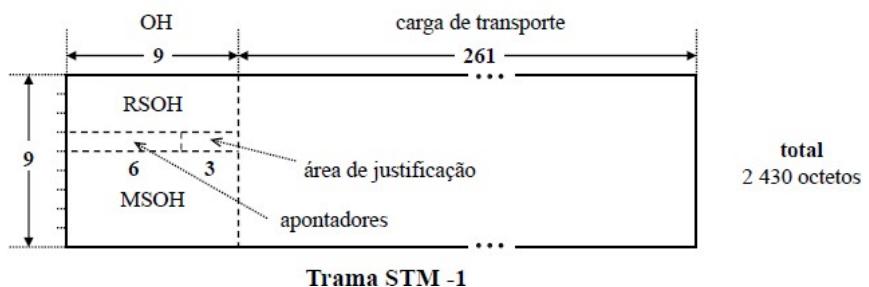
Estrutura de Unidades Tributárias e Unidades Administrativas

Módulo STM: Uma trama SDH básica (STM-1) contém três blocos:

- Cabeçalho de secção (RSOH/MSOH, section overhead regenerator or multiplex)
- Ponteiro (PT): permite localizar a informação transportada no VC
- Contentor virtual (VC): capacidade transportada+ cabeçalho de caminho
- Carga de transporte: 9 x 261 octetos (mais até 3 octetos no caso de justificação negativa)

A duração da trama é igual a 125 µs, o que corresponde a uma frequência de 8 kHz. Sinais SDH multiplex de ordem superior são obtidos através de uma multiplexagem por interposição de palavra (octeto) de vários STM-1.

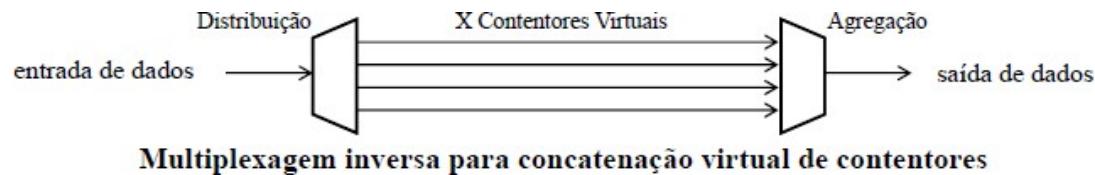
Estrutura de trama



- Explicar o mecanismo de multiplexagem inversa utilizado em SDH de nova geração

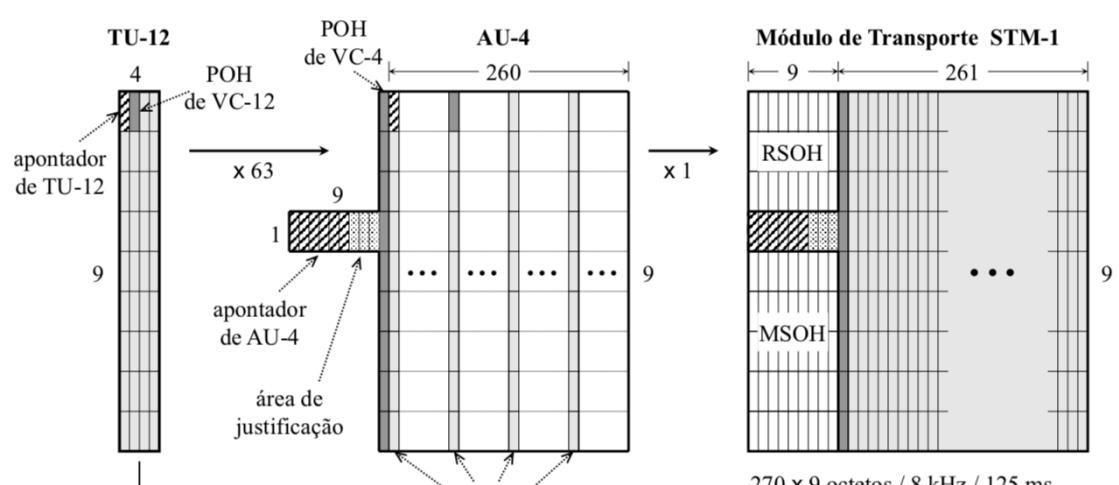
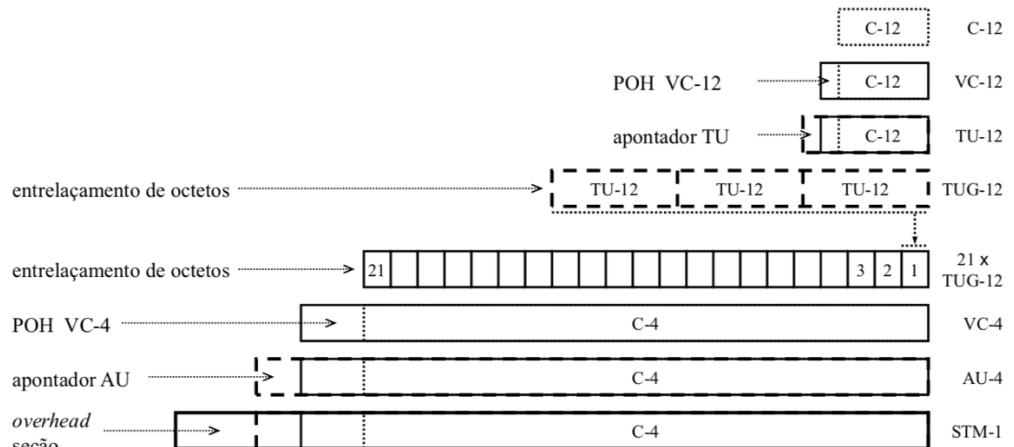
O SDH de nova geração consiste num mecanismo de multiplexagem por **concatenação virtual**, já que utilização da estrutura de contentores da SDH **convencional** é muito pouco eficiente para o transporte de dados. Na concatenação virtual os dados de utilizador são **segmentados/distribuídos** por diversos contentores, transmitidos individualmente 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). Os diferentes elementos do grupo podem ser encaminhados seguindo todos o mesmo percurso, ou diferentes percursos (multi-percurso).



- Analisar exemplos de multiplexagem, compreendendo as estruturas utilizadas

Multiplexagem de TU's e AU's: cada Unidade Tributária e cada Unidade Administrativa tem como dimensão 9 linhas e um número inteiro de colunas (AU-4 e AU-3/TU-3 contêm mais alguns octetos para apontadores e área de justificação). Este tipo de multiplexagem ocorre por entrelaçamento de colunas.



- **Explicar princípios de alinhamento (baseado em apontadores) e multiplexagem síncrona em módulos STM**

O alinhamento é um processo de colocar um apontador num TU ou AU, permitindo a localização do primeiro octeto do contentor virtual. Os apontadores identificam a localização de contentores virtuais (VC) no payload de uma trama STM-N, identificando o offset entre o payload de um VC e a trama STM, identificando assim o primeiro byte.

As tramas STM são constituídas pelo cabeçalho da secção regeneradora (RSOH), por um apontador que indica o início do circuito virtual (capacidade transportada + cabeçalho do caminho) e um cabeçalho da secção multiplex (MSOH). Os diferentes octetos são transmitidos linha a linha, começando pela 1^a linha e 1^a coluna. Sinais SDH multiplex de ordem superior (STM-N) são obtidos através de uma multiplexagem por interposição de palavra (octeto) de vários STM-1. Consoante os dados a enviar, pode-se realizar justificação negativa ou positiva, caso seja necessário enviar ou não mais informação adicional, isto é, caso o débito de entrada aumente consideravelmente.

- **Explicar operação com apontadores e justificar a sua importância Caracterizar os conceitos de anomalia, defeito e falha**

O apontador permitem localizar a informação transportada no VC (contentor virtual). Os apontadores são importantes, pois caso o débito de entrada aumente consideravelmente é necessário enviar informação em octetos reservados para tais situações, através de um processo de justificação negativa, decrementando o valor do apontador. Na situação oposta, quando o débito diminui, realiza-se justificação positiva, incrementando o apontador numa posição.

Numa multiplexagem com apontadores dinâmicos são suportadas variações de fase ou mesmo relógios não sincronizados (plesiócronos), qualquer estrutura pode flutuar relativamente àquela em que está contida, requerem pequenas memórias elásticas (atraso introduzido reduzido) e introduz-se uma pequena histerese para evitar correções excessivas.

A multiplexagem com apontadores estáticos permite ajustes de fase fixos e requer memórias de absorção de flutuações de relógios (atraso moderado), porém não suporta relógios não sincronizados - ocorrem escorregamentos.

A multiplexagem sem apontadores introduz atrasos sucessivos.

- **Caracterizar os conceitos de anomalia, defeito e falha**

Anomalia: mínima discrepância entre o que foi observado e o que era desejado (erro de pequena dimensão que não impede a execução da tarefa);

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 limite.

- **Explicar a capacidade dos sistemas SDH para suportar ações preventivas e corretivas para manter a qualidade de serviço**

Objetivos de operação e manutenção:

- Minimização do impacto de defeitos e falhas sobre a qualidade de serviço
- Usa a informação de supervisão transmitida nos overheads

- Recorre a ações preventivas, sempre que possível
 - Ocorrência de anomalias indica defeitos ou falhas iminentes
 - Intervenção antecipada pode evitar degradação significativa do serviço
- Efetua ações corretivas para restabelecer a qualidade de serviço
 - Proteção automática de sistemas
 - Reconfiguração da rede através de procedimentos de gestão

Informação de supervisão transmitida nos overheads:

- Monitoração de parâmetros do sistema, nomeadamente erros
 - Estado de sincronização
 - Estado de caminhos
 - Alarmes -> indicações de que um defeito ou falha foi detetado

Exemplo de operação de um sistema de proteção de falhas

- Monitoração de desempenho visando controlo de qualidade e ação preventiva
- Deteção de falhas através da verificação funcional contínua ou periódica
- Localização de falhas através de sistemas de teste internos ou externos
- Proteção do sistema através de
 - Isolamento e exclusão de serviço da entidade com falhas
 - Intervenção coordenada de outros recursos para restabelecimento do serviço
 - Informação das falhas a entidades de gestão

■ Caracterizar as funções dos diversos elementos de rede SDH

Regenerador: Regenera o relógio e a forma dos sinais de entrada. Possui canais de comunicação a 64 kbit/s para transmitir mensagens

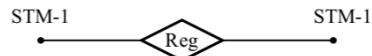
Multiplexador terminal de linha: Agrega sinais plesiócronos ou síncronos de modo a formar sinais STM-N de débito mais elevado

Multiplexador de inserção/extração (Add/Drop): Permite extrair/inserir, quer sinais PDH, quer sinais SDH de débito mais baixo do que o da linha

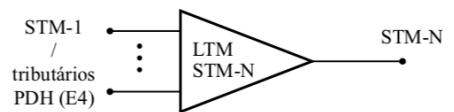
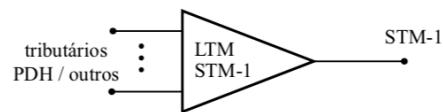
Nó Digital de Interligação (DXC): Proporciona funções de comutação apropriadas para estabelecer ligações semipermanentes entre canais E1, E3, E4, e STM-1 e permite restauro das redes. Os comutadores de cruzamento são usados para interligar anéis SDH, ou como nós de redes em malha.

Elementos de rede (NE, *Network Elements*) permitem construir qualquer rede SDH

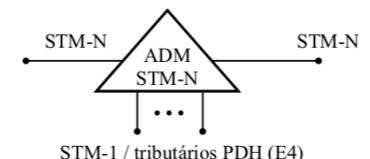
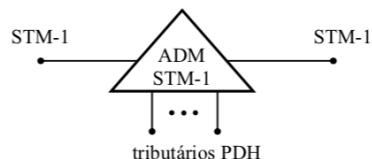
Regenerador
Regenerator



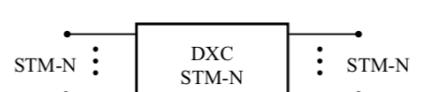
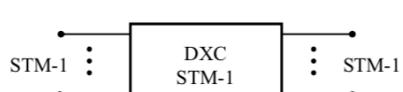
Multiplexador
Terminal de Linha
*Line Terminal
Multiplexer*



Multiplexador de
Inserção / Remoção
*Add / Drop
Multiplexer*



Nó Digital de
Interligação
*Digital
Crossconnect*



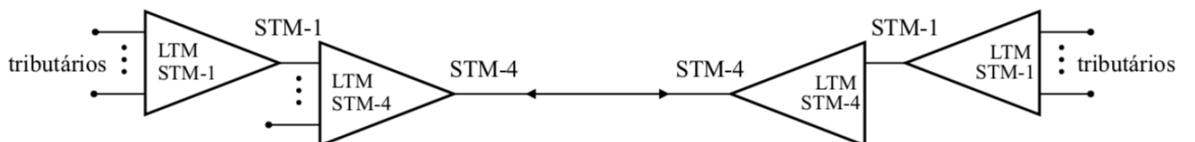
Elementos de rede SDH

(N=4, 16, 64)

■ Representar topologias ponto-a-ponto, ponto a multiponto, em anel e em malha

Ligação ponto-a-ponto

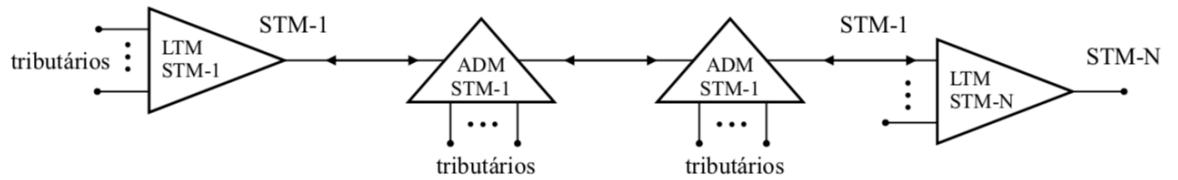
- Constituída apenas por multiplexadores terminais de linha em cada extremidade
- Simples
- Aplicações
 - Ligações específicas entre nós de comutação ou acesso de grandes utilizadores
 - Transporte de tributários E1 e de outros sinais



Topologia ponto-a-ponto

Ligação ponto-a-multiponto

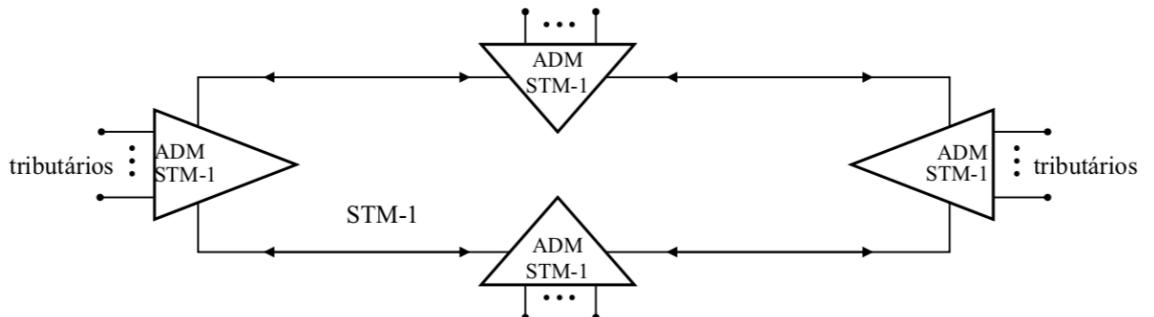
- Ligação com um ou mais ADMs em cadeia
- Capacidade de fazer inserção / remoção ao longo do percurso
- Aplicações
 - Agregação de tráfego com origem dispersa
 - Difusão sinais (remove e continua)



Topologia ponto-a-multiponto

Anel

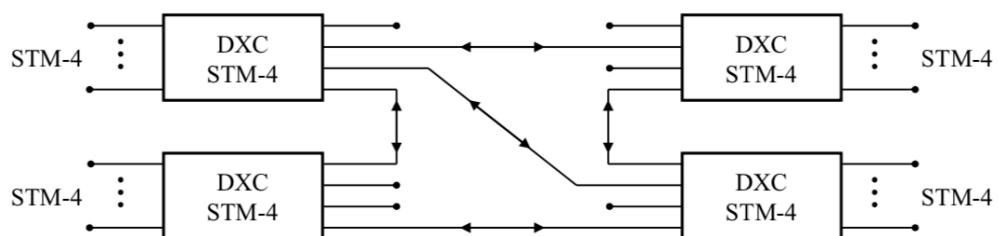
- Ligação de ADMs em cadeia fechada nas extremidades
- Capacidade de proteção
- Aplicações
 - Agregação de tráfego em redes urbanas
 - Distribuição de tráfego ao nível regional



Topologia em anel (bidirecional)

Rede em malha

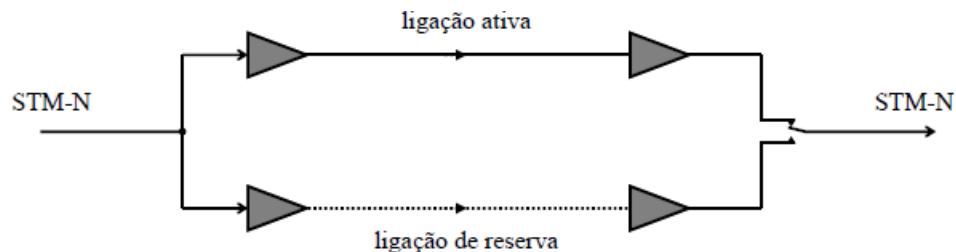
- Realizada através de múltiplas ligações entre DXCs (caso mais simples: um único DXC)
- Permite grande capacidade e flexibilidade de encaminhamento de tráfego
- Aplicações
 - Núcleo da rede de transporte
 - Interligação de grandes nós de comutação



Topologia em malha

- Explicar a capacidade de proteção automática das diferentes topologias de ligações ponto-a-ponto

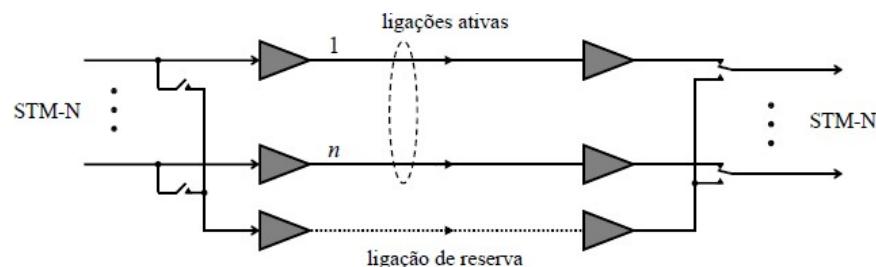
- Um sistema de reserva para cada sistema ativo
- Tráfego enviado simultaneamente pelo sistema ativo e pelo de reserva
- Exige apenas comutação do lado da receção



Configuração de proteção dedicada de ligação ponto-a-ponto

Proteção partilhada de ligações simples

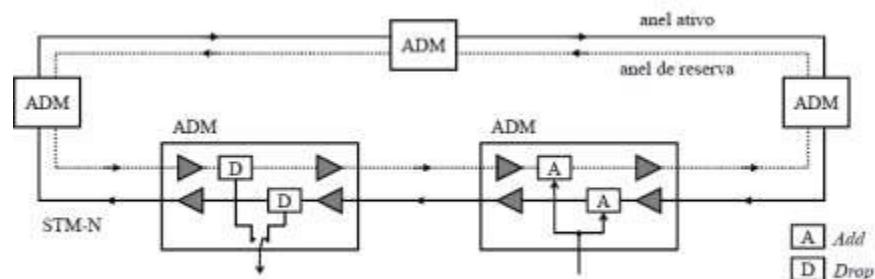
- Um sistema de reserva para cada n sistemas ativos
- Tráfego enviado pelo sistema de reserva quando ocorrem defeitos ou falhas
- Exige comutação coordenada do lado da emissão e da receção



Configuração de proteção partilhada de ligação ponto-a-ponto

Proteção de um anel unidirecional com duas fibras

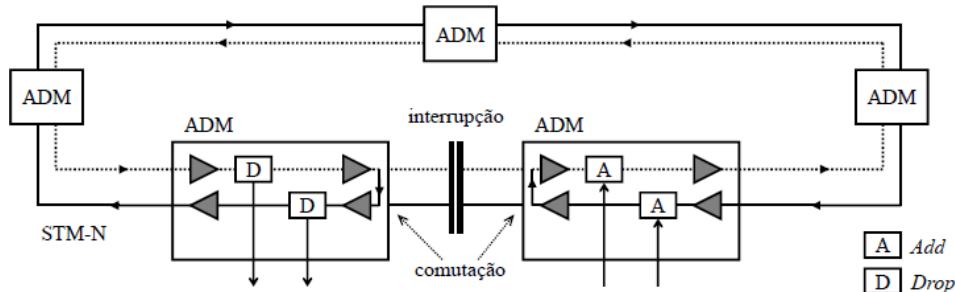
- Transmissão unidirecional num anel operacional
- Tráfego enviado simultaneamente por um anel de reserva
- Em caso de falha do anel operacional comuta-se a receção em cada ADM para o anel de reserva



Configuração de proteção de um anel unidirecional com duas fibras

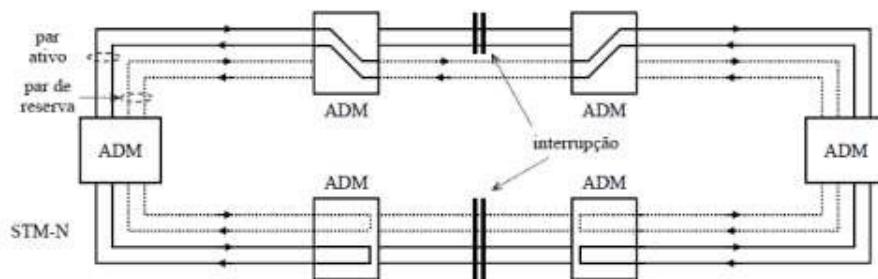
Proteção de um anel bidirecional com duas fibras

- Transmissão bidirecional em 2 anéis operacionais, com uma reserva de banda (50%)
- Em caso de falha reconstrói-se um único anel
- Os ADM comunicam da mesma forma antes e depois de ocorrer a comutação de proteção



Proteção de um anel bidirecional com quatro fibras

- Capacidade de proteção duplica em relação ao anel com duas fibras
- Suporta falhas múltiplas nos ADMs e ligações
- Solução preferida devido ao aumento de fiabilidade

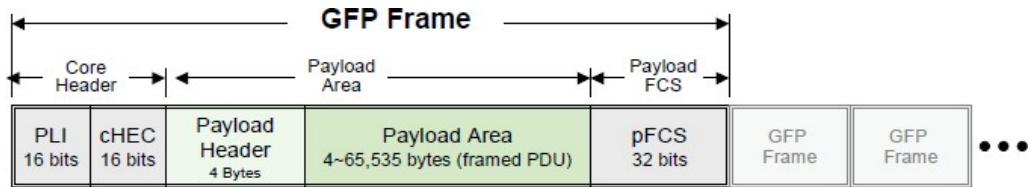


3.2 Generic Framing Procedure (GFP)

Este tema foi introduzido no programa como exemplo de um sistema atual de multiplexagem digital – as eventuais questões de exame serão de interpretação com a disponibilização do adequado contexto.

GFP (Generic Framing Procedure) é uma técnica apropriada para mapear o tráfego de pacotes em canais SDH ou OTN de débito fixo. O mapeamento pode ser feito de modo transparente (GFP-T), ou usando as tramas dos clientes completas (GFP-F).

O protocolo GFP proporciona um mecanismo para encapsular diferentes sinais de dados em redes SDH ou OTN. O serviço GFP apresenta dois modos de funcionamento: Modo Transparente ou GFP-T (Transparent) e modo enquadrado ou GFP-F (Framed). A solução GFP-T corresponde a um encapsulamento de nível 1 e vai gerar tramas de comprimento constante. A solução GFP-F corresponde a um encapsulamento de nível 2 e vai gerar tramas de comprimento variável. Optimizado para tráfego Ethernet, IP/PPP, DVD, etc. Na solução GFP-F deve ser extraído o pacote completo do cliente antes da trama GFP ser gerada. Isto envolve, por exemplo, a memorização de uma trama completa no caso da Ethernet, o que vai aumentar a latência (atraso) do processo. Na solução GFP-T não se verifica esse atraso porque o processamento é feito a nível de blocos de 10 bits.



- PLI: Payload Length Indicator
- cHEC: Core Header CRC (ITU-T CRC-16)
- Payload Area: Framed PDU (PPP, IP, Ethernet, etc.)
- Payload Header: Client PDU management
- pFCS: Optional Payload FCS (ITU-T CRC-32)

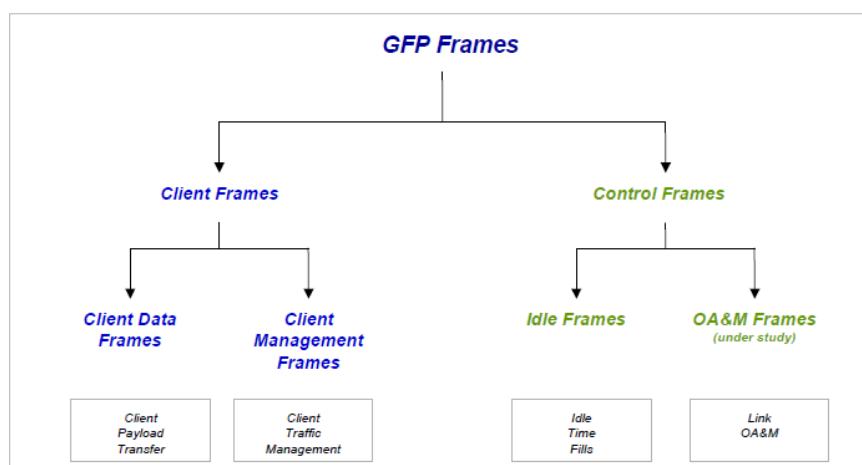
Vantagens do GFP:

- **Versatilidade:** Permite serviços de transporte para a camada 1 ou camada de carga
- **Escalabilidade:** Demonstrar capacidade de transporte a taxas de 10Mbps a 10Gbps
- **Simplicidade:** elimina a necessidade de redes ATM e HDLC para serviços de conectividade simples, resultando em projetos de componentes mais eficientes e de baixo risco
- **Disponibilidade de componentes:** Maior procura de utilizadores esperada, para impulsionar futuras aplicações.

Características e benefícios do GFP:

- Sincronização baseada em HEC (Simple Header Error Control):
 - Generaliza a sincronização HEC ATM (pesquisa de tabela de baixo custo)
 - Suporta pacotes de comprimento variável ou fixo (datagramas IP / Ethernet, códigos de bloco ou células ATM)
- Delineação simples de quadro com ponteiro:
 - Baixa complexidade de processamento sem expansão da carga
 - Baixa sobrecarga de adaptação
 - Alta eficiência de link de dados (escalável para 10 Gbps e além)
 - Acessível ao apoio de QoS, particularmente para serviços em tempo real
- Modos flexíveis de adaptação do tráfego:
 - GFP Frame-Mapped (GFP-F): Adequado para aplicações elásticas
 - GFP transparente-mapeada (GFP-T)

Frame Types



Procedimentos GFP:

- Delimitação de quadros
- Multiplexação de trama
- Modos de adaptação
- Scrambling
- Tratamento de Erros
- Gestão de Clientes

4. Sistemas de Transmissão

4.1. Sistemas de longa distância

■ Caracterizar a estrutura de um sistema de transmissão por fibra ótica

Os sistemas digitais sobre cabo de fibras ópticas surgiram mais tarde e vieram a impor-se relativamente aos seus equivalentes em cobre em grande parte das aplicações, pelas enormes vantagens associadas:

- Dispõem de maiores larguras de banda, admitindo elevadas capacidades;
- Têm possibilidade de aumentar o débito à medida das necessidades;
- Têm menor atenuação, permitindo maiores distâncias entre repetidores, ou seja, para uma dada distância, requerem um menor número de repetidores;
- São imunes a interferências eletromagnéticas, nomeadamente de outros canais, de sistemas de energia e de efeitos atmosféricos;
- Os cabos são mais leves, mais pequenos e mais flexíveis;
- Menores custos.

Uma cadeia de transmissão digital de linha é constituída pelas estações terminais, pelo cabo, e, se necessário, por repetidores intermédios. Inicialmente, estes sistemas eram suportados exclusivamente em meios de cobre. Nas últimas décadas, os sistemas em cobre têm vindo a ser substituídos por sistemas por fibra ótica, estando o cobre praticamente restrito a sistemas de distância relativamente curta.

As estações terminais:

- Efetuam a emissão/recepção dos sinais de informação digital, recorrendo a um código de linha adequado (transmissão em banda base);
- Fornecem a alimentação de potência aos repetidores através do cabo;
- Suportam funções de operação e manutenção (OAM), tais como telesinalização (monitorização de desempenho, alarmes e outros sinais de supervisão de estados), telemedida (de parâmetros essenciais), telecomandos e vias de serviço para comunicações com pessoal de manutenção.

O cabo:

- Contém o suporte de transmissão (múltiplas fibras ópticas) e revestimentos adequados;
- É introduzido em condutas enterradas ou suspenso.
- Os repetidores:
 - Amplificam, igualizam e regeneram o sinal em certos pontos do percurso.

A utilização de fibras óticas na transmissão digital tem vindo a acontecer progressivamente desde o final da década de 70. Esta evolução requereu o desenvolvimento de um conjunto de novas tecnologias a incorporar num sistema de transmissão digital: as fibras óticas fabricadas em sílica e constituídas por um núcleo e uma bainha envolvidos por um revestimento primário, por sua vez agrupadas em cabos com proteções adequadas ao tipo de aplicação; no transmissor os sinais elétricos são convertidos em sinais ópticos na banda do infravermelho, recorrendo-se a diodos LED ou lasers; no receptor o sinal óptico é convertido em elétrico em dispositivos sensíveis à luz (foto-díodos).

O sinal propaga-se ao longo da fibra através de um fenómeno denominado por reflexão interna total, que se deve ao facto do núcleo ter um índice de refração superior ao da bainha. Para se ter reflexão interna total, o ângulo de incidência deve ser maior que o ângulo crítico, que é calculado quando o ângulo de refração é de 90 graus.

É possível transmitir vários modos ao longo da fibra, porém a atenuação e a dispersão são problemas que limitam estes sistemas.

■ Explicar a constituição de uma fibra ótica

Uma fibra ótica é constituída por sílica ou plástico em forma cilíndrica, transparente e flexível, de dimensões microscópicas comparáveis às de um fio de cabelo. Esta forma cilíndrica é composta por uma zona central com um elevado índice de refração, o núcleo, uma zona periférica onde o índice de refração é menor, a bainha e é ainda constituída por um material de revestimento.

- **Núcleo:** pequeno centro de vidro da fibra, no qual a luz percorre o seu caminho;
- **Bainha:** material ótico externo que envolve o núcleo;
- **Revestimento:** cobertura plástica que protege a fibra de estragos e humidade.



Construção de uma fibra óptica

■ Caracterizar sucintamente os modos de propagação numa fibra ótica

Fibras monomodo: tal como o nome indica, a transmissão de luz laser infravermelha é feita por apenas um modo, uma vez que este tipo de fibras é composta por núcleos pequenos. Isto significa que a largura da banda é maior, logo verifica-se uma menor dispersão de luz, permitindo assim a propagação de sinais a longas distâncias. Em comparação com as fibras multimodo, a sua qualidade é superior, logo a sua produção também é mais cara.

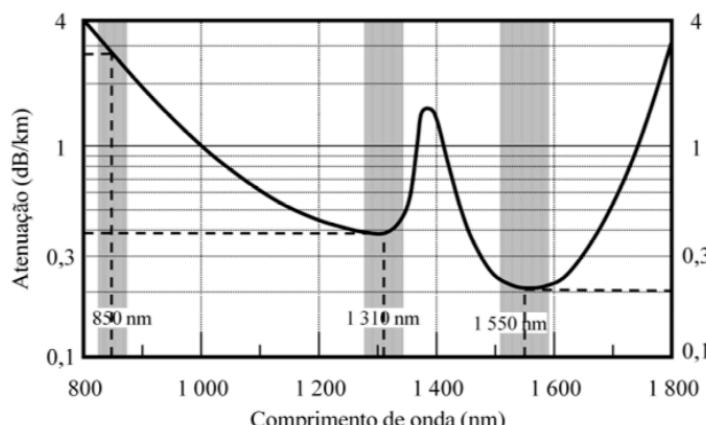
Fibras multimodo: este tipo de fibras também transitem luz infravermelha, tal como as fibras monomodo, no entanto têm uma maior abrangência ao usar também o LEDs (diodo emissor de luz). Possuem núcleos maiores e, por isso, pode circular mais de um sinal no seu filamento. São as fibras multimodo as usadas com maior frequência nas comunicações de curta distância, como redes locais (LAN). A espécie multimodo divide-se em duas subespécies: índice degrau, e índice gradual.

Multimodo significa assim que a fibra transmite mais que um modo, isto é, mais que um comprimento de onda, porém tem desvantagens devido a transmitir vários modos, como é o caso da dispersão modal.

- Caracterizar as limitações de um sistema de fibra ótica: atenuação e dispersão (modal, cromática e de modo de polarização)

A onda ótica propaga-se ao longo do núcleo por reflexões na fronteira (núcleo-bainha), podendo ocorrer um ou vários modos de propagação, de acordo com o tipo de fibra. A dispersão constitui o principal problema das fibras já que consiste no espalhamento temporal dos impulsos resultante de diferentes velocidades de propagação das componentes que formam o sinal ótico. A redução da atenuação (redução do nível de potência ótica) e o controlo da dispersão são os objetivos fundamentais que têm orientado o desenvolvimento de vários tipos de fibras óticas que estudaremos em seguida.

A atenuação consiste no nível de potência ótica que é perdida por cada km de fibra. A atenuação deve-se a fenómenos de absorção (variações de densidade, impurezas, atravessamento do meio, imperfeições no fabrico), espalhamento, perdas nas curvas macro e microscópicas e das próprias características do guia de onda.



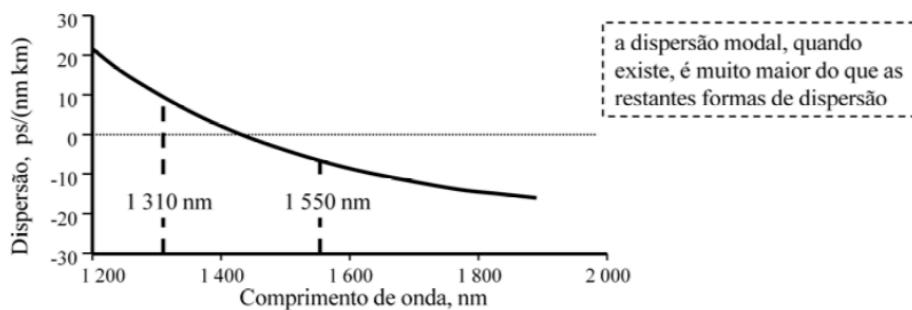
Atenuação em fibras ópticas em função do comprimento de onda

A figura mostra que a atenuação numa fibra óptica varia com o comprimento de onda de luz, numa gama entre cerca de 3 dB/km e 0,2 dB/km, para os valores utilizados em sistemas correntes de 850, 1300 e 1550nm (janelas ópticas). O pico de atenuação corresponde à absorção do ião OH- da água.

A dispersão resulta das diferentes velocidades de propagação dos diferentes modos, que se deve ao facto de a cada modo corresponder um diferente comprimento de onda. Sendo assim, a dispersão modal só ocorre em fibras multimodo.

- **Dispersão modal:** ocorre quando o sinal ótico é composto por vários modos de propagação, os quais não têm a mesma velocidade de propagação, devido às diferenças de trajeto. Quando existe é muito maior que as outras formas de dispersão.
- **Dispersão cromática:** constituída pela dispersão material e a dispersão do guia de onda. A dispersão material caracteriza-se pelos diferentes atrasos causados pelos vários índices de refração, que variam não-linearmente de acordo com os comprimentos de onda, causando a diferença de velocidades que caracteriza a dispersão. A dispersão do guia de onda resulta da dependência do número V característico do guia de onda em relação a cada comprimento de onda da luz transmitida. Sabe-se que o atraso de um modo varia não-linearmente com o número V.
- **Modo de polarização (PMD - Polarization Mode Dispersion):** devida ao facto de as componentes ortogonais da polarização da onda não se propagarem à mesma velocidade. Esta situação resulta,

por sua vez, do facto de o núcleo da fibra não ter simetria perfeitamente circular, quer em termos de geometria, quer em termos de constituição do próprio

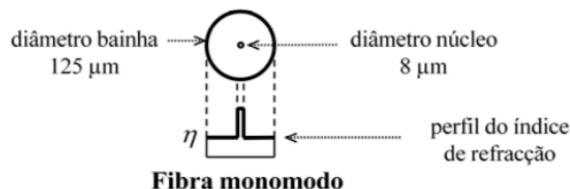


Dispersão cromática em fibras ópticas em função do comprimento de onda

- Comparar características de fibras ópticas monomodo e multimodo

Monomodo:

Características		
diâmetros típicos	núcleo - 8 µm	bainha - 125 µm
comprimento de onda	1 310 nm (2ª janela)	1 550 nm (3ª janela)
modos de propagação	um único modo	
componentes	emissão - LEDs / lasers conexão e terminação precisa	recepção - diodos PIN / foto-diodos de avalanche (APD)
atenuação	0,2–0,4 dB/km @ 1 310 nm	0,15–0,3 dB/km @ 1 550 nm
dispersão	dispersão modal inexistente dispersão cromática muito reduzida – procura-se criar um nulo na região de operação dispersão de modo de polarização muito reduzida – não desprezável para elevados débitos	



A partir do início da década de 80 começa a desenvolver-se uma 2ª geração de sistemas, baseados em fibras monomodo, com um comprimento de onda de luz de 1300nm e baixa dispersão, apenas cromática.

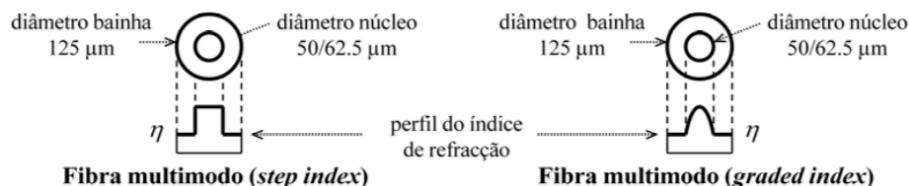
Mais tarde, na década de 90, surge a 3ª geração a 1550 nm, explorando atenuações ainda mais baixas. Na emissão podem ser usados LED's nos sistemas de menor capacidade/alcance; nos sistemas de maior desempenho é necessário utilizar lasers, mais complexos e menos fiáveis, mas permitindo sinais espectralmente puros, maiores potências e maiores larguras de banda.

Na recepção usam-se diódos PIN ou foto-diodos de avalanche (APD), estes conduzindo a maiores sensibilidades por terem ganho interno e menor ruído, mas requerendo eletrónica associada mais complexa.

Os sistemas em fibra monomodo podem ser limitados pela potência se o fator dominante para a probabilidade de erro for a relação sinal-ruído no receptor. Pelo contrário, serão limitados pela dispersão se a principal causa de erro for o espalhamento temporal de impulsos de curta duração (débitos elevados), que dificulta a regeneração. As fibras monomodo são mais fáceis de fabricar e portanto mais baratas do que as multimodo (sobretudo graded index)

Multimodo:

Características		
diâmetros típicos	núcleo – 50/62.5 μm bainha - 125 μm	
comprimento de onda	850 nm (1 ^a janela)	1 310 nm (2 ^a janela)
modos de propagação	vários	
componentes	emissão – LEDs / lasers baixo custo	recepção - diodos PIN
atenuação	3 dB/km @850 nm	1 dB/km @1 310 nm
dispersão	fibras <i>step index</i> → dispersão modal elevada fibras <i>graded index</i> → dispersão modal moderada	



Foi introduzida uma primeira geração de sistemas baseados em fibras multimodo com atenuações relativamente elevadas, que entretanto vieram a baixar para valores da ordem de 1 a 3 dB/km.

A dispersão modal existe em todas as fibras multimodo, ocorrendo sobretudo nas fibras com índice de refração do núcleo constante (designadas *step index*, isto é, há um salto do índice de refração do núcleo para a bainha).

Consegue-se muito menor dispersão nas fibras com índice de refração progressivo (*graded index*) uma vez que a velocidade de propagação é maior quando o índice de refração é menor, compensando-se assim as diferentes velocidades dos vários modos de propagação. A desvantagem deste tipo de fibra é a dificuldade de construção e, portanto, o custo.

Os LED's utilizados neste tipo de sistemas são relativamente simples, baratos e fiáveis, mas produzem uma fonte de luz pouco direcional e de potência limitada. Mais recentemente, vieram a ser introduzidos lasers de baixo custo adaptados a este tipo de fibra.

Os sistemas baseados em fibras óticas multimodo continuam a ser usados, mas apenas em redes privadas de curto alcance, e não mais na rede de transmissão, devido à elevada dispersão.

- Identificar as áreas de evolução tecnológica de comunicações óticas e justificar a sua importância

Como vimos, nos sistemas baseados em fibra ótica a potência e a dispersão modal e cromática limitam a distância e débito a que a informação pode ser transmitida (sem repetidores). Em termos de potência, estas limitações devem-se à potência emitida de sinal ótico, à atenuação na fibra e à sensibilidade do receptor.

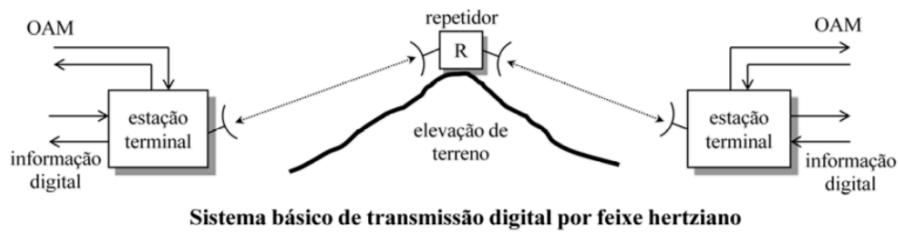
O efeito da dispersão numa dada fibra depende diretamente da distância e do débito binário. O limite operacional criado pela dispersão pode exprimir-se através do produto débito x distância: as fibras multimodo são fortemente limitadas pela dispersão modal elevada pelo que os produtos débito x distância são relativamente baixos; as fibras monomodo têm dispersão baixa (cromática), pelo que são possíveis produtos débito x distância elevados.

Em termos práticos, para sistemas em fibra ótica monomodo abaixo de cerca de 0,5 Gbit/s, a distância entre repetidores é limitada pela atenuação e não pela dispersão. Em termos de tendências de desenvolvimento tecnológico, ainda há um longo caminho a percorrer, tendo em conta a largura de banda teórica de 50 THz disponível numa fibra ótica.

Algumas áreas que têm vindo a ser consideradas em estudos incluem:

- Novos tipos de fibra: novos materiais conducentes a menores atenuações;
- Lasers de elevada pureza espectral: reduz-se a dispersão cromática;
- Detecção coerente: melhora significativamente a sensibilidade do receptor;
- Multiplexagem de comprimento de onda (WDM): permite a utilização de portadoras de luz independentes, com espaçamentos da ordem de 1nm (FDM ótico);
- Amplificação ótica: evita a conversão do sinal ótico para elétrico nos repetidores.

■ Caracterizar a estrutura de um sistema por feixe hertziano



A necessidade de **grande largura de banda** para transmitir sinais de **alto débito** e a já elevada ocupação do espectro, particularmente com serviços de radiotelevisão e radiodifusão sonora, obrigou à utilização de sistemas de portadora a frequências muito elevadas, superiores a 1 GHz. Estes sistemas são designados de **feixes hertzianos ou feixes de micro-ondas**.

Nos sistemas por feixe hertziano, o espaço eletromagnético é limitado, pelo que **estes sistemas apenas devem ser utilizados, se não forem possíveis meios guiados**.

- **Estações terminais:** modulação e emissão; receção e desmodulação;
- **Sistemas de antena:** radiam/recebem sinal com diretividade;
- **Meio não guiado:** espaço livre;
- **Repetidores:** amplificam e regeneram o sinal e contornam obstáculos;

Estes sistemas apresentam as seguintes particularidades:

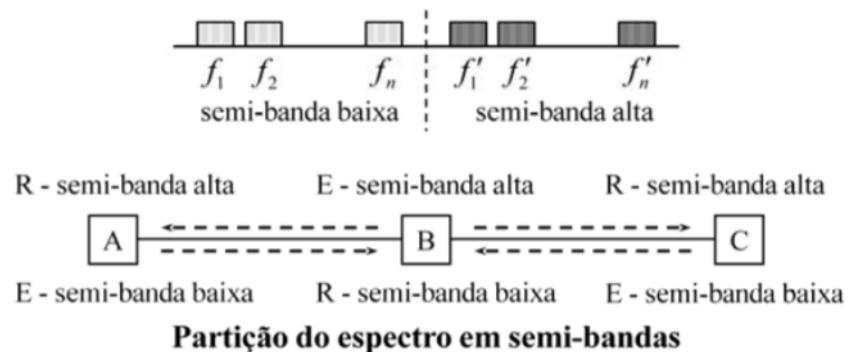
- O comprimento de onda é relativamente pequeno, podendo utilizar-se antenas parabólicas de dimensões aceitáveis, com boa diretividade (ganhos da ordem de 30 dB ou superior);
- A propagação faz-se “em linha de vista”, isto é, não pode haver obstruções no trajeto (edifícios, vegetação, acidentes do terreno, curvatura da terra), obrigando a que as antenas sejam muitas vezes colocadas em torres e os repetidores sejam situados em pontos elevados;
- Utilizam modulações PSK (2 ou mais estados) ou QAM (4 ou mais estados);
- São afetados por problemas de propagação na atmosfera.

A transmissão é feita na banda do canal recorrendo a modulações M-QAM. As modulações M-QAM são largamente utilizadas em feixes hertzianos, devido à sua elevada eficiência. Contudo, à medida que se aumenta o número de estados, reduz-se a eficiência de potência, isto é, requer-se maior potência de sinal para a mesma probabilidade de erro. Quanto maior o M, maior é a capacidade e a eficiência.

■ Definir o conceito de plano de frequência

Se considerarmos uma região, o plano de frequências num sentido lato consiste na definição das frequências de todas as ligações hertzianas que operam nessa zona. O plano de frequências consiste na partição do espetro em semi-bandas. Para a transmissão multicanal, bidirecional e por saltos, a exploração da banda por divisão em semi-bandas constitui um elemento fundamental para reduzir as interferências. Outro aspeto é o estabelecimento de bandas de guarda entre canais, devendo notar-se que o espaçamento entre o canal superior da semi-banda inferior e o canal inferior da semi-banda superior é, em geral, superior ao espaçamento dentro das semi-bandas. A distribuição de canais por cada antena procura maximizar o afastamento entre canais e limitar o número máximo de canais em condições mais desfavoráveis de interferência, sendo que cada antena suporta o máximo de 4 canais não adjacentes.

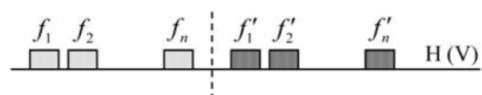
Começando por uma ligação unidirecional por saltos, se fosse utilizada uma única frequência nos vários saltos, teríamos emissão e receção a essa frequência em cada repetidor, o que tornaria inaceitável a interferência próxima, resultante de fugas entre o emissor e o receptor e captação pela antena receptora de energia radiada pela antena emissora. O passo seguinte consiste em estabelecer um caminho de retorno.



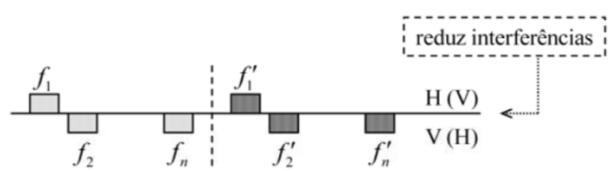
■ Identificar diferentes tipos de planos: simples, alternado e sobreposto

Plano de frequências - polarização dos canais

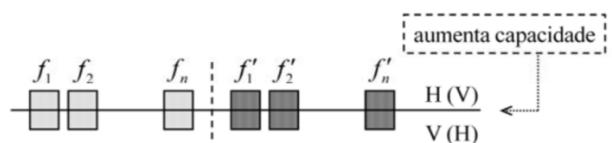
- plano simples
 - uma única polarização



- plano simplesmente alternado
 - canais adjacentes ortogonais



- plano sobreposto
 - canais sobrepostos ortogonais



Utilização de polarizações ortogonais em feixes hertzianos

Nos planos **alternados**, a utilização de polarizações ortogonais em canais adjacentes conduz a um grau superior de isolamento entre canais. Os planos simplesmente e duplamente alternados permitem vários arranjos de ligação de emissores e receptores a antenas. O plano simplesmente alternado garante um maior isolamento entre as frequências mais próximas de cada uma das semi-bandas (f_n e f'_1).

Os planos **sobrepostos** permitem operar na mesma frequência com polarizações ortogonais, sendo necessário tomar medidas de proteção contra efeitos de propagação que originam despolarização (já referidas anteriormente).

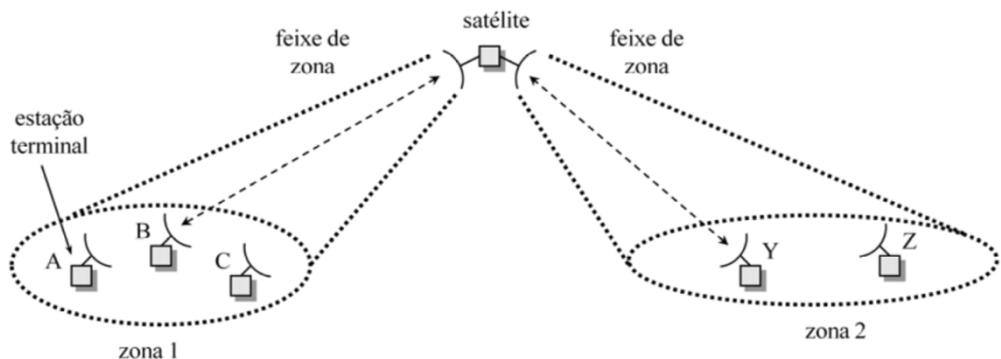
Os sistemas de microondas são muito mais baratos e rápidos de instalar do que os sistemas de linha (fibra ótica), mas saturam rapidamente o espectro disponível: por isso representam geralmente uma pequena parte do tráfego total transportado na rede de transmissão.

A UIT definiu dezenas de planos de frequências para feixes analógicos e digitais, com vista a uma adequada gestão do espectro eletromagnético, procurando uma eficiente utilização da largura de banda disponível.

■ Caracterizar a estrutura de um sistema por satélite

Princípios do sistema

- 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=36 000 km)
- permitem uma grande flexibilidade de acesso aos recursos de transmissão



Sistema básico de transmissão por satélite

Como caso especial de sistemas de microondas, nos sistemas por satélite:

- Ligações hertzianas com um repetidor (transpositor) a bordo de um satélite no espaço;
- As **órbitas** mais importantes de satélites são as seguintes:
- **Geoestacionária** - órbita equatorial com cerca de 42 000 km de raio, a única que conduz a um período de 24 horas, que por sua vez leva a que as estações terrestres vejam o satélite sempre na mesma direção;
- **De baixa altitude** - órbita a uma altitude geralmente inferior a 1 000 km, o que reduz a atenuação em espaço livre de forma significativa, mas não permite uma posição fixa do satélite sobre as estações terrestres (a solução para permitir uma cobertura de 24 horas é lançar "constelações" de satélites, de forma a que haja pelo menos um sobre um qualquer lugar).

A figura representa um exemplo de uma configuração de acesso de estações situadas em duas zonas fisicamente distintas. É evidenciada a ligação B-Y, sendo possíveis quaisquer outras ligações entre estações de cada uma das zonas.

As restrições de potência em sistemas por satélite obrigam à adoção de modulações mais eficientes em termos de potência, sacrificando a eficiência espectral.

As frequências ascendente (uplink) e descendente (downlink) encontram-se afastadas, o que permite reduzir as interferências, sendo que a frequência ascendente é superior à descendente, o que leva a que o ruído captado pelo satélite seja elevado maximizando-se o ganho de receção.

O modelo de exploração dos sistemas de comunicação por satélite assume duas formas:

- os serviços de satélite são disponibilizados aos utilizadores finais diretamente pelos operadores dos próprios satélites, nomeadamente nos casos de redes privativas, difusão direta de TV por satélite e comunicações móveis;
- os serviços de satélite são disponibilizados a operadores genéricos de serviços de telecomunicações, os quais alugam capacidade em satélites aos operadores dos satélites
- é o caso da utilização de satélites no transporte da rede fixa ou em aplicações de difusão de televisão, a montante da rede terrestre de distribuição (recolha de notícias, intercâmbio de programas, etc.).

- Caracterizar diferentes tipos de órbita e relacionar cada uma das vantagens e desvantagens com as respetivas características

Tipos de órbitas

– GEO (*Geosynchronous Earth Orbit*): órbita circular equatorial geosíncrona

- período de revolução: 23 h 56 m 4,091 s
- altitude média: 35 786 km ($r_S - r_T = 42\,164 - 6\,378$)

– LEO (*Low Earth Orbit*): órbita circular de baixa altitude

- altitude típica: 500 - 1 500 km
- período de revolução 1h 30m - 2h

caso notável
órbita polar

– MEO (*Medium Earth Orbit*): órbita circular de altitude média

- altitude típica: 10 400 km
- período de revolução 6 horas

há outras órbitas
utilizadas

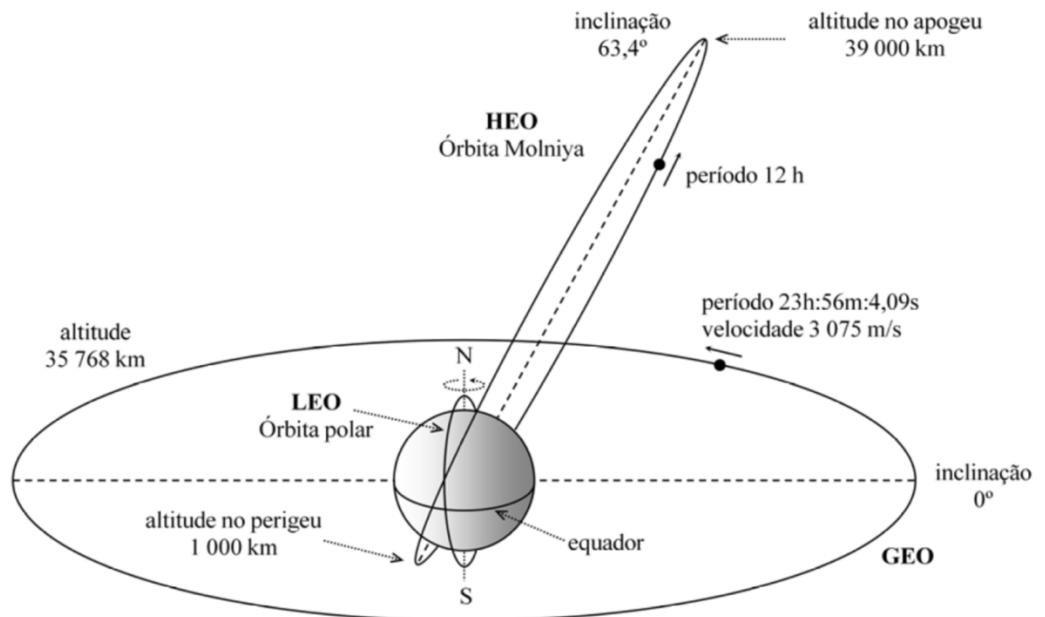
– HEO (*Highly Elliptical Orbit*): órbita fortemente elíptica

- órbita elíptica inclinada
- perigeu de baixa altitude

caso notável: órbita Molniya
perigeu: 1 000 km altitude apogeu: 39 000 km altitude
período: 12 horas inclinação: 63,4°

Estas órbitas têm como principais **vantagens**:

- **GEO**: o satélite mantém-se fixo em relação à Terra;
- **LEO**: o satélite está a uma distância relativamente curta;
- **MEO**: o satélite está a uma distância intermédia entre GEO e LEO, permanecendo em visibilidade durante mais tempo do que em LEO;
- **HEO**: em baixas latitudes, o satélite apresenta-se próximo do zénite durante um período de tempo agradável.



Principais órbitas de satélites

As órbitas LEO são normalmente muito inclinadas (no limite polares), de forma a assegurar uma cobertura total da Terra, embora com períodos muito curtos de permanência em cada lugar. As órbitas MEO (não representadas na figura) são geralmente inclinadas. Devido à sua baixa altitude, os satélites LEO cobrem uma porção limitada da superfície terrestre, enquanto no outro extremo temos os satélites GEO que cobrem um pouco menos de metade da Terra.

Características	Tipo de órbita			
	GEO	LEO (polar)	MEO	HEO (Molniya)
cobertura terrestre assegurada por cada satélite	1/2 - 1/3 da Terra pólos não cobertos	global ↑	global ↑	1/2 - 1/3 da Terra
tempo útil de passagem de cada satélite	ilimitado ↑	10 - 15 min	2 horas	8 horas ↑
necessidade de constelação para cobertura local permanente	não ↑	≥ 48 satélites (ex: 6 sat × 8 planos)	≥ 10 satélites (ex: 5 sat × 2 planos)	3 satélites
perdas em espaço livre (distância terra-satélite)	elevadas	reduzidas ↑	médias ↑	elevadas
atraso propagação (ida e retorno)	250 ms	5 - 7 ms (750 km) 10-25 ms (1 500 km) ↑	70 - 100 ms	150-300 ms
efeito Doppler (velocidade radial)	muito reduzido ↑	médio	médio	elevado
elevação do satélite no ponto de recepção	grande junto do equador ↑	variável com passagem do satélite	variável com passagem do satélite	grande em latitudes intermédias ↑
seguimento do satélite	geralmente não necessário ↑	indispensável, excepto com antenas de feixe largo	indispensável, excepto com antenas de feixe largo	necessário, mas pouco complexo ↑

- Definir o conceito de acesso simples e acesso múltiplo (FDMA, TDMA e CDMA)

Acesso simples

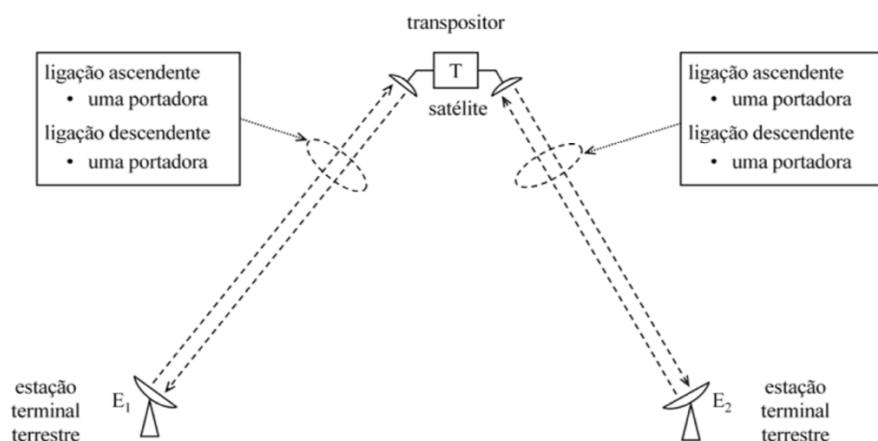
Uma única estação terrestre transmite através de um transpositor de um satélite, sendo que a estação ocupa toda a banda disponível no transpositor.

Características gerais:

- Baixa complexidade de operação
- Ausência de intermodulação entre canais

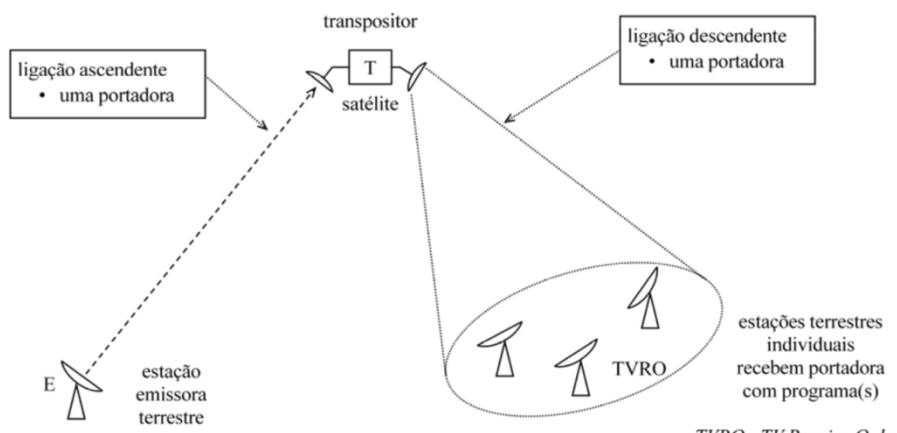
Aplicações

- Ligações ponto-a-ponto da rede fixa
 - Configuração não flexível
 - Adequado apenas a sistemas de grande capacidade
- Ligações ponto-a-ponto de televisão - contribuição de programas
 - Ligações permanentes
 - Ligações temporárias programadas
- Difusão direta de televisão (e programas de som) - distribuição de programas
 - Re却是ão individual de baixo custo
 - Cobertura de um número muito vasto de utilizadores



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

Acesso simples



Configuração típica de distribuição de televisão

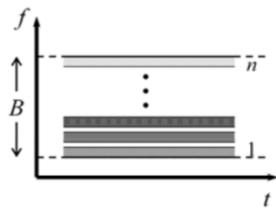
Acesso múltiplo

Várias estações terrestres transmitem através do mesmo transpositor de satélite. As técnicas de acesso múltiplo distinguem-se pela diferente utilização das dimensões frequência-tempo. O acesso múltiplo poderá ainda ser estabelecido de forma fixa ou a pedido, neste último caso exigindo-se a utilização de um protocolo de acesso adequado.

- várias estações terrestres transmitem através do mesmo transpositor de satélite

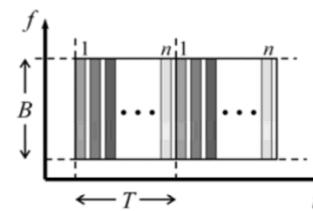
FDMA - Frequency Division Multiple Access

- estações acedem ao transpositor do satélite ao mesmo tempo
- cada estação transmite na sua própria banda de frequência



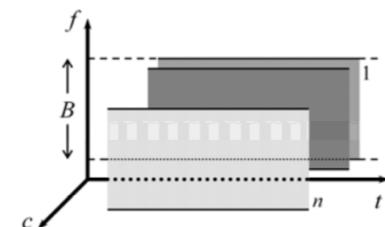
TDMA - Time Division Multiple Access

- estações transmitem uma de cada vez (sequencialmente)
- cada estação transmite no seu próprio intervalo de tempo



CDMA - Code Division Multiple Access

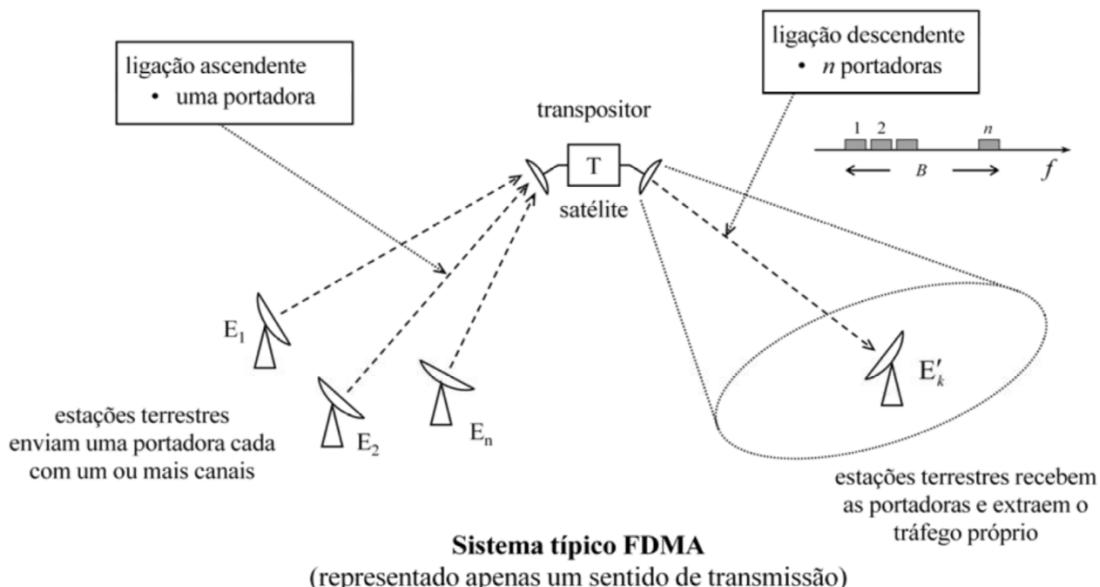
- estações transmitem ao mesmo tempo, em banda espalhada
- cada estação transmite com um código próprio



Acesso múltiplo a recursos de um satélite

(B - largura de banda do transpositor T - comprimento de trama)

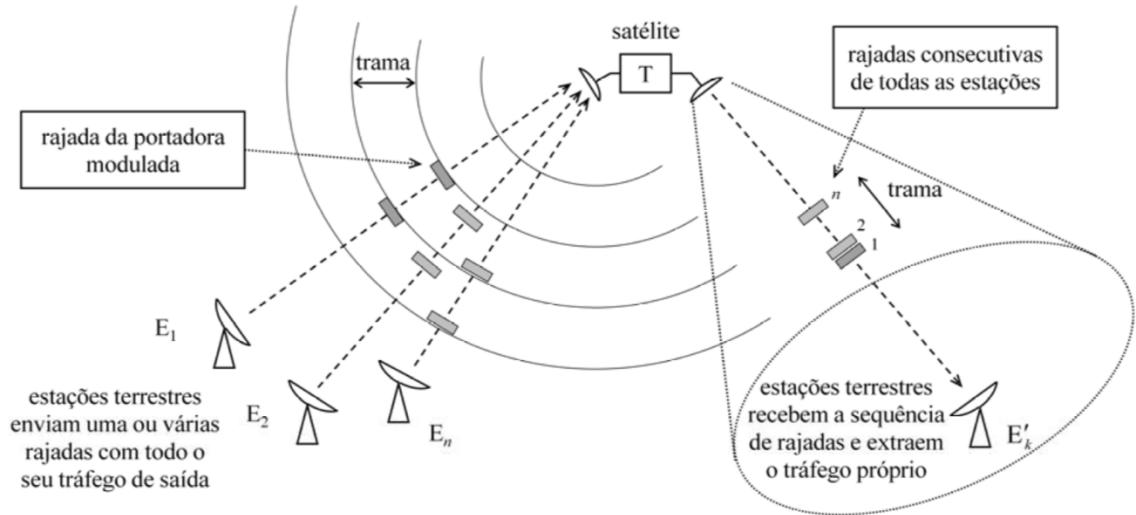
A técnica de acesso FDMA usa a dimensão frequência para assegurar a partilha de recursos, enquanto a técnica TDMA utiliza a dimensão tempo. Em CDMA, a separação dos canais é assegurada pela introdução de uma nova dimensão, o código: a transmissão de todas as estações faz-se na mesma banda, ao mesmo tempo, com sinais codificados, de tal forma que apenas o receptor que detém o código igual ao usado na emissão, num certo canal, irá recuperar os respetivos dados. Cada sistema de acesso múltiplo é caracterizada por uma sequência de siglas com o seguinte significado: tipo de sinal transmitido / tipo de modulação do sinal / tipo de acesso múltiplo.



Os primeiros sistemas FDMA suportavam modulações analógicas FM, sendo atualmente utilizados com portadoras digitais. Neste caso, cada estação transmite/recebe um canal modulado numa portadora independente. As estações terrestres de ligação à rede fixa (hubs) transmitem e recebem múltiplas

portadoras, em geral. A estação recebe as portadoras de todas as outras estações com quem tem conectividade: num sistema de n estações, são necessários pelo menos $n-1$ receptores e desmoduladores, porém a estação acede apenas à porção da banda-base FDM que lhe diz respeito. Estes sistemas operam em acesso fixo. Do ponto de vista da interconexão entre estações terrestres, este sistema pode ser visto como uma matriz de comutação de acesso total, isto é, qualquer estação de origem pode enviar qualquer parcela do tráfego total para qualquer estação de destino.

Acesso múltiplo TDMA



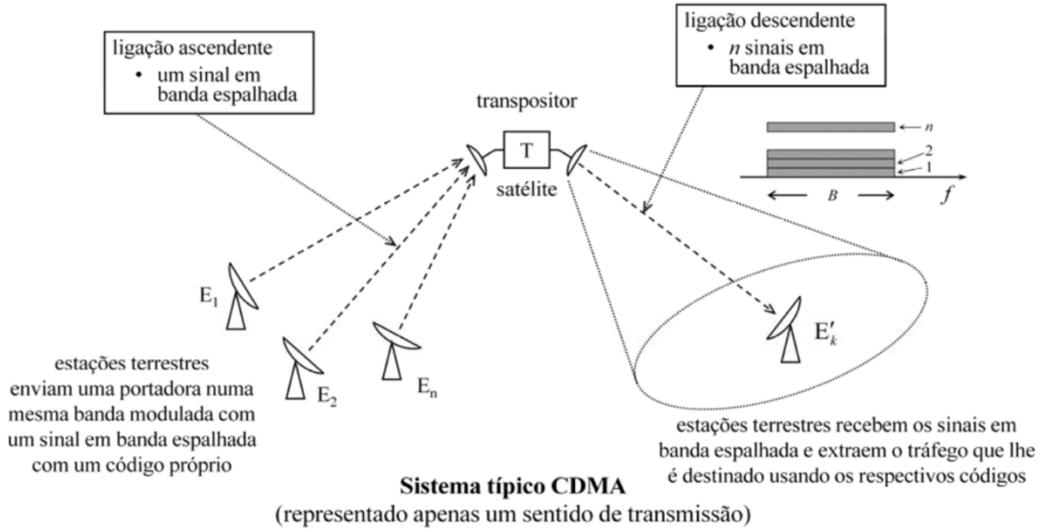
Sistema típico TDMA
(representado apenas um sentido de transmissão)

O sistema TDMA veio a ser extensivamente utilizado com sinais digitais, apresentando as seguintes características:

- Emissão
 - Cada estação acede ao transpositor em exclusivo num intervalo de tempo, na sua vez
 - Transmite uma "rajada" de bits modulando a sua portadora
 - A sequência das transmissões de todas estações constitui uma trama
- Re却ão
 - A estação recupera a portadora e relógio de cada rajada da trama
 - Identifica a origem de cada uma das rajadas
 - Seleciona os sinais em banda base que lhe dizem respeito

Note-se que, em TDMA, a temporização das emissões de rajadas das estações é definida de modo a que à entrada do transpositor do satélite as rajadas de todas as estações estejam em sequência, sem sobreposição nem intervalos excessivos (apenas um certo tempo de guarda entre rajadas adjacentes). Isto implica que a temporização de uma dada estação resulte não só da posição relativa da sua rajada na sequência de rajadas TDMA, mas também da distância a que a estação se encontra do satélite.

Acesso múltiplo CDMA



O método de acesso CDMA é o mais recente, operando do seguinte modo:

- Emissão
 - O terminal transmite logo que tenha dados disponíveis
 - Cada bit é modulado por uma sequência de pseudo-aleatória de bits (código ou chave) atribuída ao terminal (tipicamente constituída por 100 a 10 000 bits)
 - O sinal resultante é assim espalhado numa banda muito maior do que a necessária para transmitir o sinal original (spread spectrum)
- Re却ão
 - A mesma sequência é utilizada para reagrupar o sinal recebido e recuperar os dados
 - Os sinais de outros utilizadores constituem interferências sobre o sinal recebido

A grande vantagem do CDMA é a possibilidade de operar sem necessidade de coordenação entre as estações: não é necessário nenhum método de atribuição de banda ou intervalos de tempo, nem se exige sincronização. A entrada em modo de transmissão de um novo utilizador apenas aumenta a interferência sobre os outros utilizadores, não existindo, por isso, um limite rígido para a capacidade.

4.2. Multiplexagem por divisão de comprimento de onda (WDM)

- Caracterizar o princípio de multiplexagem por divisão de comprimento de onda (WDM)

O WDM é uma tecnologia que multiplexa diversos sinais diferentes, mandando cada um em um comprimento de onda (cor) diferente. O que é feito é tomar cada um dos sinais a serem enviados, codificá-los em luz para, na outra extremidade, separá-los e lê-los.

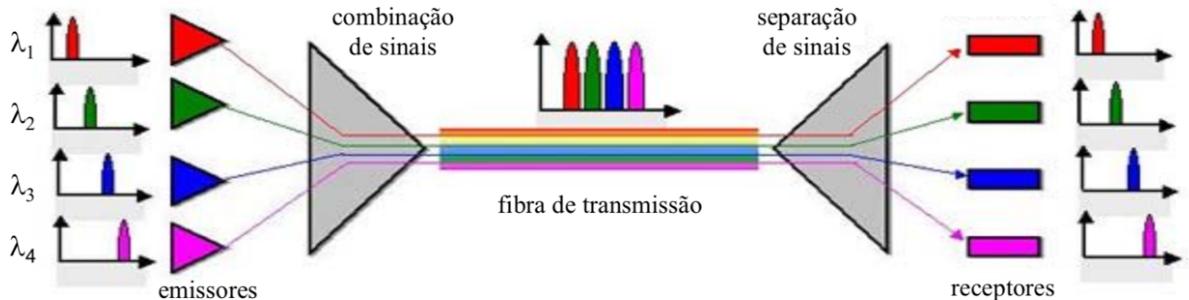
O grande objetivo de qualquer forma de multiplexação é compartilhar o meio. O WDM tornando o meio de transmissão mais eficiente.

As estratégias para desmultiplexação podem dar-se de diferentes formas. Pode-se dividir o feixe com os comprimentos de onda ainda multiplexado no número de saídas desejado e, só então, desmultiplexá-las; ir separando o feixe e desmultiplexando cada saída; e, finalmente, desmultiplexar e separar cada saída ao mesmo tempo, de uma só vez.

Um modelo simplificado e didático para os multiplexadores e desmultiplexadores seria o de um prisma que separa cada um dos comprimentos de onda de interesse.

Características gerais dos sistemas de multiplexagem de comprimento de onda:

- Emissores produzem luz com diferentes comprimentos de onda
- Sinais ópticos são combinados e transmitidos numa fibra monomodo
- Na receção os sinais são separados (filtrados) e entregues a receptores



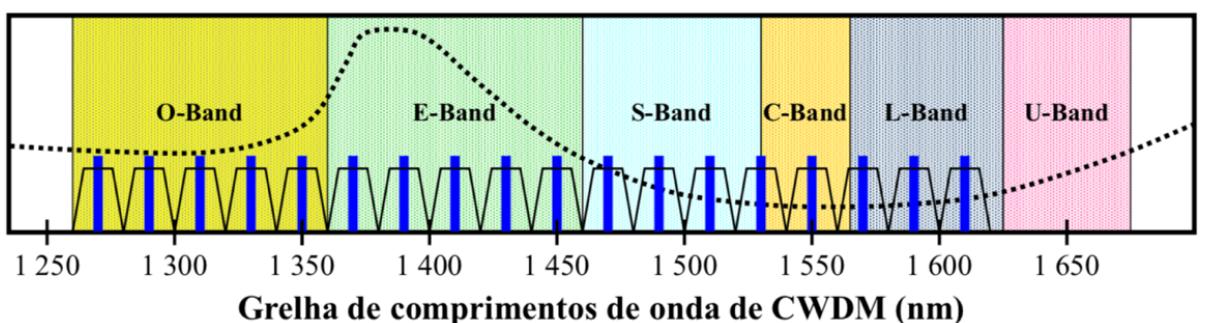
Multiplexagem de sinais ópticos na mesma fibra (exemplo com 4 comprimentos de onda)

- Distinguir multiplexagem esparsa de comprimento de onda (CWDM, Coarse WDM) e multiplexagem densa de comprimento de onda (DWDM, Dense WDM)

Multiplexagem esparsa de comprimento de onda (CWDM, Coarse WDM):

- Espaçamento moderado de comprimentos de onda → 20 nm
- Possível utilizar lasers sem controlo de estabilidade de comprimento de onda
- Grelha de comprimentos de onda normalizada pela UIT
- possuem flexibilidade para serem empregados em conexões ponto-a-ponto

$$\lambda = 1270 + n \times 20 \text{ (nm)} \quad n = 0 \dots 17$$



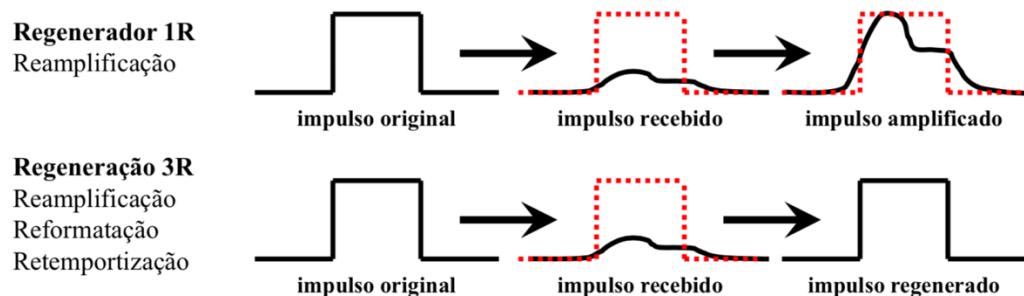
Multiplexagem densa de comprimento de onda (DWDM, Dense WDM):

- Várias dezenas (futuramente centenas) de comprimentos de onda
- Necessário utilizar mecanismos de controlo de estabilidade dos lasers
- Grelhas de frequências normalizadas pela UIT
 - Centradas a 193,1 THz (C-Band)
 - Espaçamentos de 12,5 / 25 / 50 / 100 GHz (até 0.8nm) e múltiplos de 100 GHz
- Bandas prioritárias: S-Band, C-Band, L-Band

- Caracterizar as funções dos diversos elementos de rede WDM

- Repetidor:

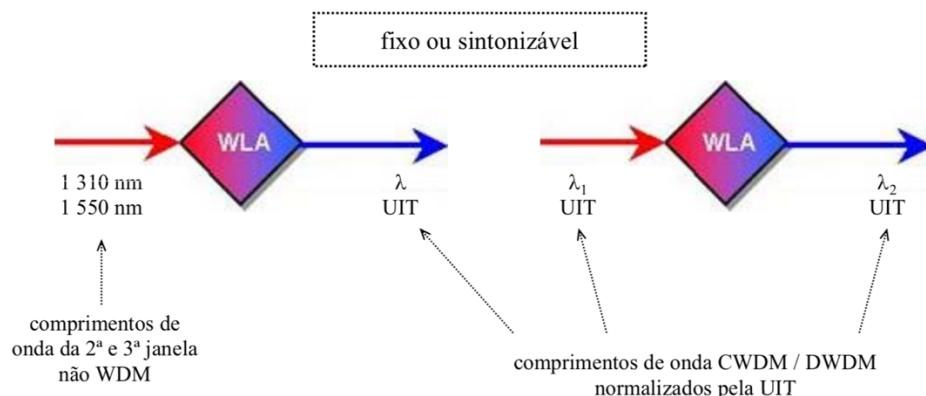
- Puramente ótico
 - Já é possível regeneração 3R;
- Com conversão O-E-O
 - Mais complexo mas temporização mais precisa



Formas de onda em repetidores ópticos e regeneradores

- Adaptador de Comprimento de Onda (WLA, Wavelength Adaptor):

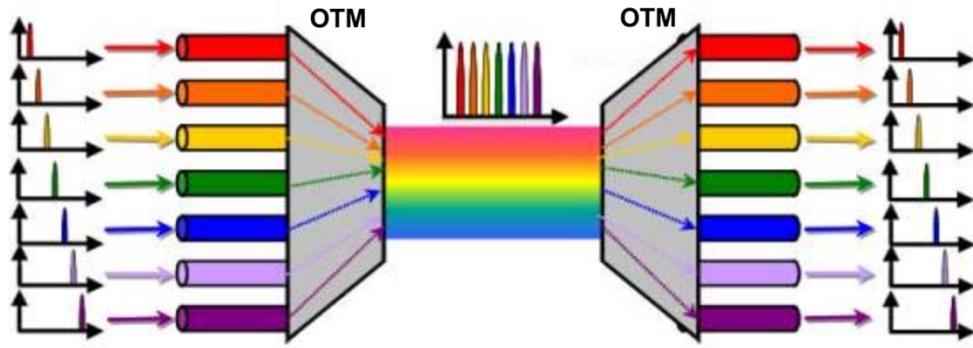
- Responsável por adaptar comprimentos e pode ser fixo ou sintonizável;



Adaptadores de Comprimentos de Onda

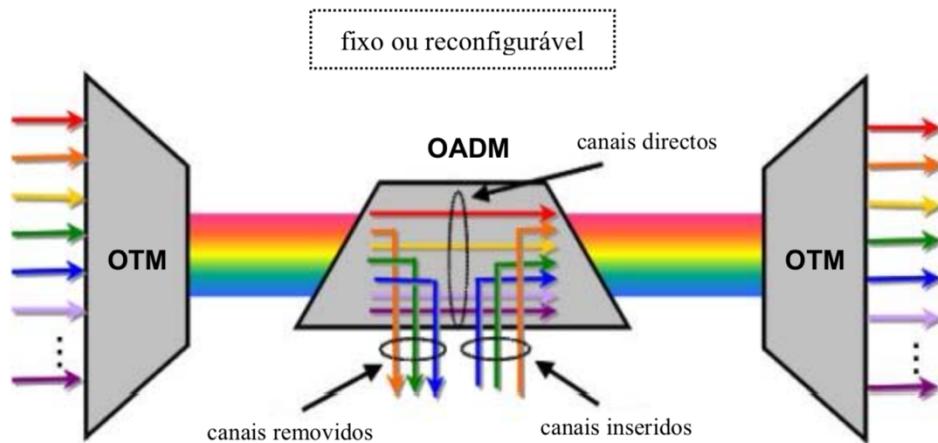
- Multiplexador Óptico Terminal (OTM, Optical Terminal Multiplexer):

- O multiplexador óptico terminal é usado nas extremidades das ligações ponto-a-ponto para multiplexar e desmultiplexar diferentes comprimentos de onda. Inclui três elementos funcionais: transponder, multiplexador WDM e amplificador óptico.
- A adaptação realizada pelos transponder corresponde às seguintes funções: Alteração dos comprimentos de onda, de modo a ter na saída λ_s ITU-T; Adição de cabeçalhos para funções de gestão; Adição de códigos FEC (forward error correction); Monitorização do BER (bit error rate).



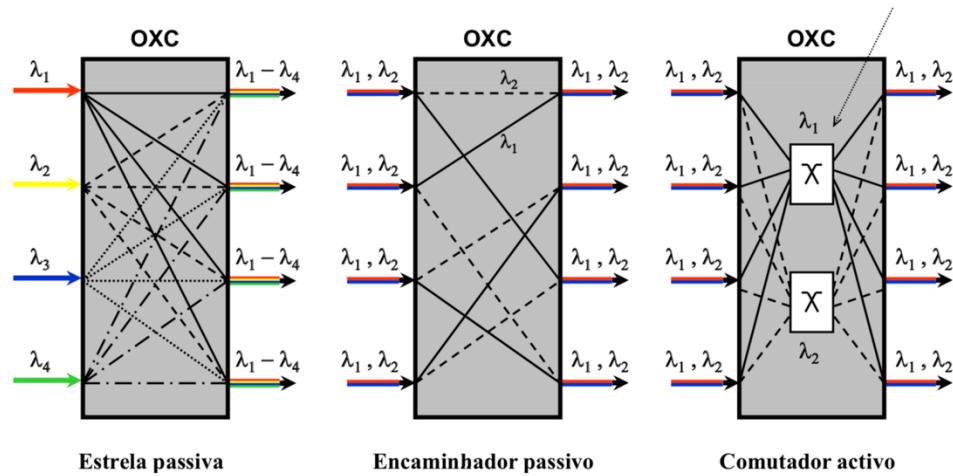
Multiplexador e desmultiplexador WDM

- Multiplexador Óptico de Inserção/Remoção (OADM, Optical Add-Drop Multiplexer):
 - Fixo ou reconfigurável;
 - Os OADMs são usados em pontos da rede em que é necessária terminal localmente uma certa fração dos comprimentos de onda transmitidos. São usados nas redes em anel.
 - Num OADM o sinal WDM é desmultiplexado e os comprimentos de onda que requerem processamento local são extraídos e posteriormente inseridos. Os restantes comprimentos passam diretamente do DMUX para o MUX.
 - Os OADMs podem ser fixos ou reconfiguráveis. Nos primeiros o conjunto dos comprimentos de onda extraídos/inseridos é fixo, enquanto nos segundos pode ser alterado em resposta a mudanças nos padrões de tráfego.



Multiplexador e Desmultiplexador Ópticos de Inserção / Remoção WDM

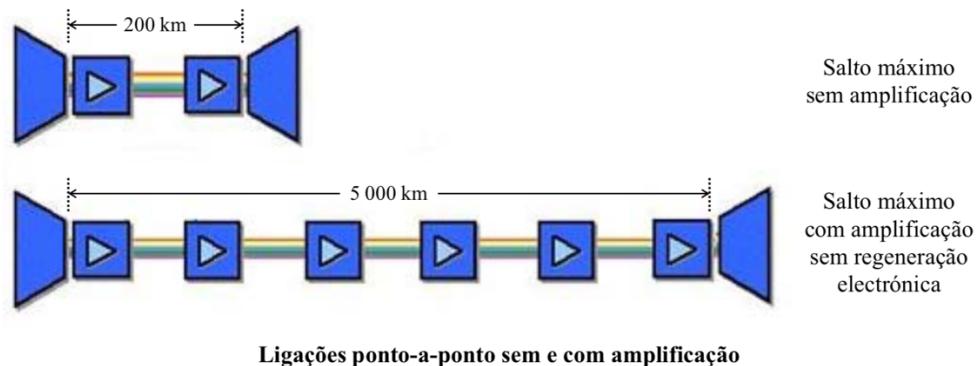
- Nós de Interligação Óptica (OXC, Optical Cross-Connects):
 - Os OXCs são usados quando é necessário comutar comprimentos de onda de uma fibra, para outra fibra, como é o caso das redes em malha.
 - A configuração de um OXC pode ser opaca ou transparente. Nas configurações opacas há conversões O/E ou E/O dentro do OXC, enquanto nas transparentes a configuração é totalmente ótica.
 - Um OXC é constituído por vários OTMs, que realizem entre outras as funções de multiplexagem/desmultiplexagem, e por uma matriz de comutação. A matriz de comutação pode ser ótica ou elétrica.



- Identificar topologias ponto-a-ponto, em anel e em malha e explicar o modo de operação de configurações de redes WDM

Ligaçāo ponto-a-ponto

- saltos máximos sem amplificação limitados pela sensibilidade do receptor
- saltos máximos sem regeneração electrónica limitados pela dispersão temporal



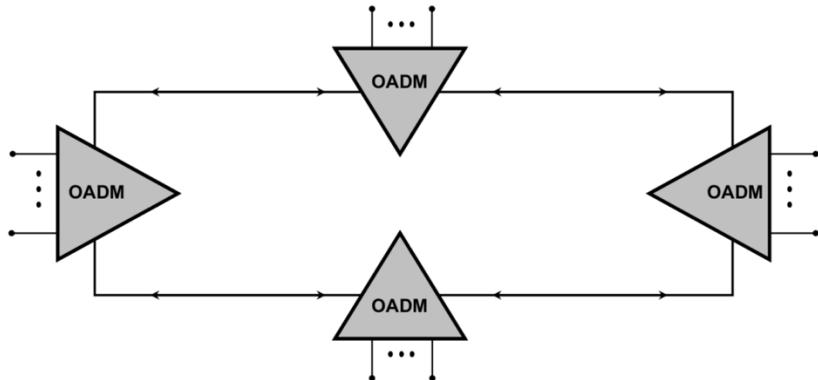
Transporte de sinais ópticos não WDM



Ligações ópticas sobre WDM

Anéis

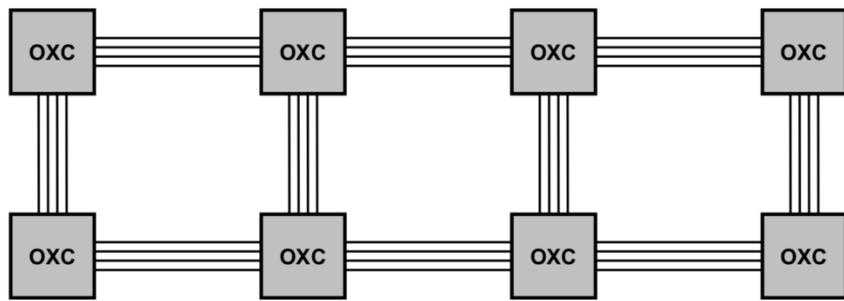
- agregação / distribuição de tráfego de alta capacidade



Anel WDM

Malhas

- núcleo de muito alta capacidade da rede de transporte
- sistemas operacionais com dezenas de Tbit/s de capacidade



Malha WDM

5. Redes de Acesso no Lacete Local

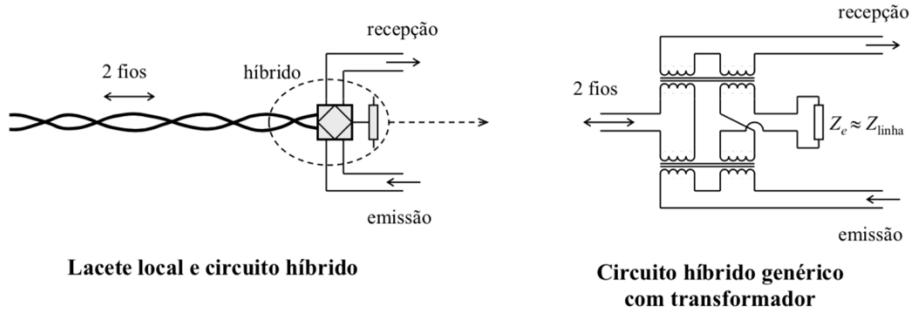
- Distinguir sistema a 2 fios e a 4 fios; caracterizar o papel do circuito híbrido

Um **sistema a 2 fios** é caracterizado por suportar transmissão bidirecional enquanto que o sistema a 4 fios tem dois caminhos distintos cujos sinais são transmitidos numa direção por um caminho e na direção oposta pelo outro caminho.

No sistema a 2 fios as conversações são sobrepostas no par de fios.

A melhor opção em transmissões de **longas distâncias** é o **sistema a 4 fios**, pois a amplificação e a multiplexagem são mais facilmente implementadas se as duas direções de transmissão estiverem isoladas uma da outra.

O **circuito híbrido** permite a conversão de um sistema a 2 fios para um sistema a 4 fios e vice-versa, ou seja, é capaz de separar os sinais de emissão e receção nos extremos.

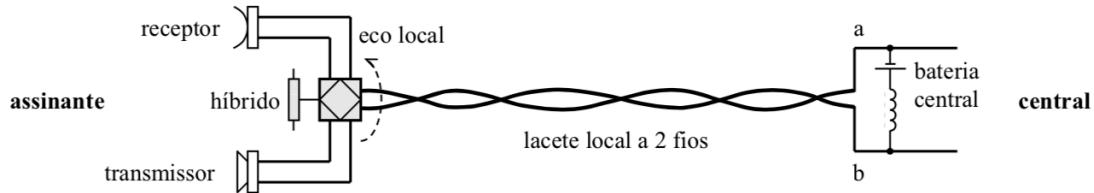


■ Caracterizar a configuração de acesso telefónico analógico

A configuração de acesso telefónico analógico é realizada num único par de cobre (2 fios), em que um circuito híbrido no assinante, assegura o acoplamento à linha do transmissor e do recetor.

■ Caracterizar o efeito local

O efeito local ocorre devido à potencial desadaptação do circuito híbrido (incompatibilidade de impedâncias), que irá criar um eco local (sem atraso). Este eco local acaba por ser útil pois permite escutar a própria voz nos dois ouvidos.

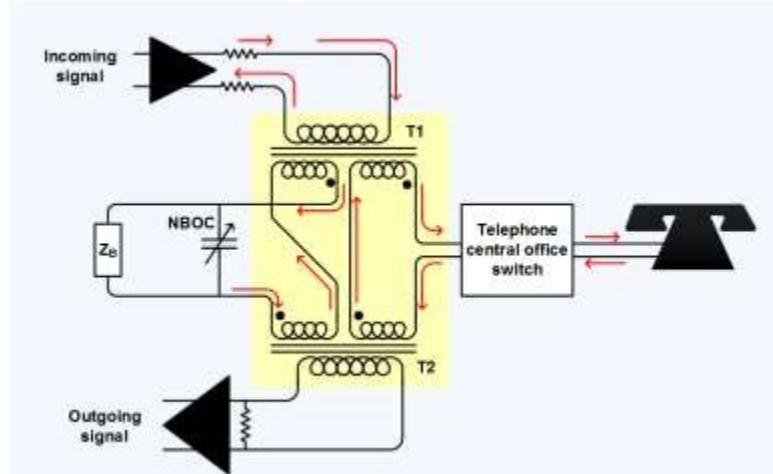


Acesso telefónico a dois fios

■ Descrever o funcionamento do circuito híbrido do equipamento terminal

O princípio fundamental do circuito híbrido é o da correspondência de impedância. O sinal de entrada (na receção) é aplicado tanto à linha telefónica (sistema a 2 fios) como a uma rede de balanceamento que é projetada para ter a mesma impedância que a linha.

O sinal de saída (na emissão) resulta da subtração do sinal da rede de balanceamento ao sinal na linha telefónica, cancelando assim a transmissão dos sinais recebidos.



Inicialmente o circuito híbrido era baseado em transformador mas existem também circuitos híbridos baseados em circuito resistivo em que o transmissor e o recetor usam amplificação eletrónica.

- Identificar as limitações intrínsecas do canal telefónico e respetivas medidas de proteção – em especial, atenuação e distorção de amplitude, interferências NEXT e FEXT, ecos, interferências de radiofrequências e ruído impulsivo

A atenuação (A) é proporcional ao comprimento da linha (d): $A = \gamma \cdot d$ em que γ representa a atenuação específica (dB/km).

- A atenuação agrava-se com pares de menor calibre (diâmetro 0,4 mm).
- A atenuação aumenta significativamente com a frequência (distorção de amplitude): $\gamma \approx k\sqrt{f}$.

A distorção de amplitude refere-se a atenuar algumas frequências no espetro de voz mais do que outras.

As medidas de proteção para estas limitações são:

- Amplificação nos repetidores e terminações de linha;
- Igualização do ganho do canal;
- Codificação de linha ou modulação com espetro compacto, evitando altas frequências.

As interferências intersimbólicas resultam do facto de a resposta impulsional do canal ser “longa”. A decisão sobre um símbolo é afetada por resíduos dos símbolos precedentes. Estas interferências aumentam com o comprimento da linha e com o débito binário.

As medidas de proteção para estas interferências são:

- Igualização de fase e amplitude procurando satisfazer o critério de Nyquist de interferência intersimbólica nula (pré-igualização na emissão e pós-igualização na receção);
- Igualização por atraso temporal dos impulsos, subtraindo ao sinal recebido com interferência intersimbólica uma réplica desta interferência.

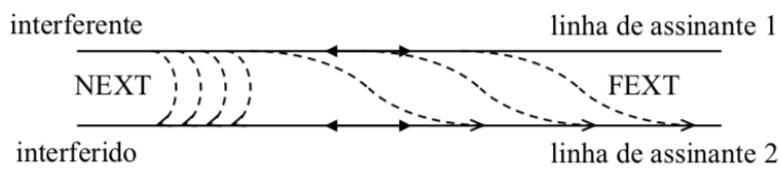
As interferências entre canais resulta do acoplamento eletromagnético indesejável entre meios de transmissão. Os dois tipos de interferências mais comuns são a interferência próxima (NEXT, Near-End Crosstalk) entre a emissão e a receção e a interferência remota (FEXT, Far-End Crosstalk) ao longo da linha.

A NEXT acontece entre um nível alto do interferente e um nível baixo do interferido enquanto que a FEXT acontece entre níveis baixos do interferente e do interferido.

Ambas as interferências aumentam significativamente com a frequência mas a NEXT é superior à FEXT para a mesma frequência. A FEXT aumenta com o comprimento da linha.

As medidas de proteção para estas limitações são:

- Sinais com espetro compacto, evitando altas frequências (NEXT e FEXT);
- Sinais nos dois sentidos não sobrepostos no tempo ou frequência (NEXT).



Interferências entre canais

Os ecos são provocados pela desadaptação de impedâncias nos circuitos híbridos.

Medidas de proteção para ecos:

- Sinais nos dois sentidos não sobrepostos no tempo ou frequência;
- Cancelamento de eco.

As **interferências de radiofrequências** ocorrem em períodos relativamente longos e são resultantes de serviços de radiocomunicações. Estão concentradas em bandas específicas. Esporadicamente muito significativas (radioamadores).

As medidas de proteção para estas interferências são: técnicas avançadas de modulação (exemplo: modulação DMT).

O **ruído impulsivo** ocorre em períodos curtos mais ou menos esporádicos. Ocorre devido a sinalização em acessos analógicos (sobretudo transições da corrente de lacete), a efeitos atmosféricos e a ruído de máquinas elétricas (fábricas, veículos).

As medidas de proteção para o ruído impulsivo são: técnicas de entrelaçamento de dados e correção de dados (exemplo: FEC – Forward Error correction).

- Explique os princípios de operação das técnicas de entrelaçamento de dados e correção de erros baseada em FEC

FEC (Forward Error Correction) consiste na adição de bits redundantes, como bits de paridade ou bits CRC, mas numa quantidade suficiente que permite não só detetar, mas também corrigir erros.

Existe duas formas básicas de FEC: **codificação em bloco** e **codificação convolucional**.

Um **codificador de bloco** atribui redundância de correção de erros a blocos de dados de comprimento fixo, o que implica a necessidade de estabelecer o enquadramento de blocos para identificar os campos de bits redundantes.

Se o número de erros dentro de uma palavra de código exceder a capacidade do código de corrigir erros, este falha a recuperar a palavra original. Os erros geralmente ocorrem em rajada e para combater esse problema existe a técnica de entrelaçamento de dados. O entrelaçamento mistura símbolos de origem através de várias palavras de código, criando assim uma distribuição mais uniforme de erros.

O processo consiste então na formação de blocos e cálculo de FEC no emissor, seguido do entrelaçamento de blocos. No receptor, após a transmissão, existe o desentrelaçamento de blocos e a correção de erros detetados nos blocos.

Se forem entrelaçados n blocos, podem ocorrer rajadas de erros afetando n bits consecutivos. No máximo irá ocorrer um erro por bloco que será corrigido.

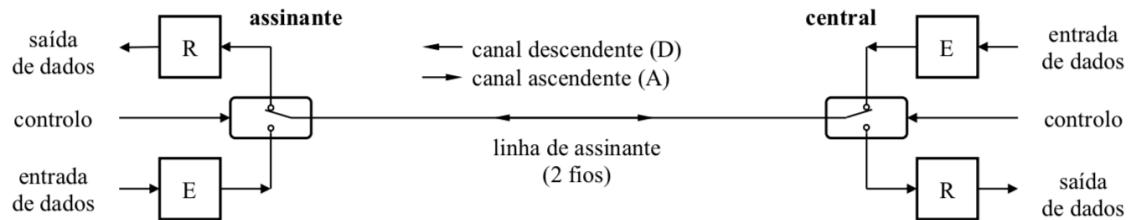
A **desvantagem** desta técnica é o **aumento do atraso total** (latência).

- Descrever as técnicas de transmissão bidirecional baseadas em TCM/TDD e FDM/FDD

TCM (Time Compressed Multiplexing) / TDD (Time Division Duplex) é uma técnica de transmissão bidirecional que consiste na transmissão alternada de cada sentido a mais do **dobro do ritmo**. São reservados tempos de espera: períodos de guarda e tempo de propagação. Esta técnica elimina os efeitos dos ecos e da interferência NEXT.

Requer mais do dobro da banda de cada sentido o que aumenta a atenuação/distorção e a interferência FEXT entre canais.

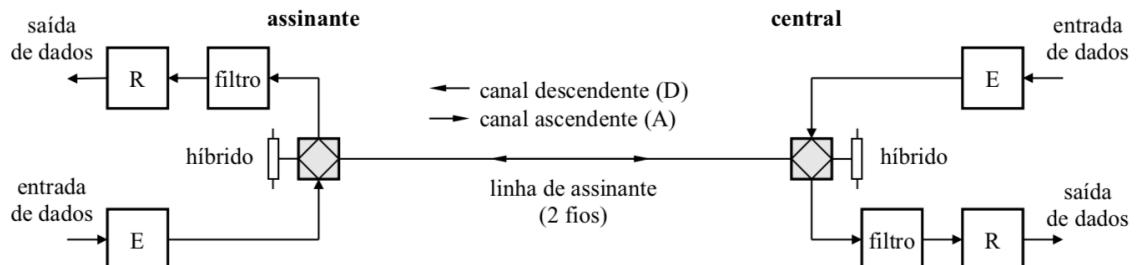
A eficiência desta técnica reduz com o aumento da distância / tempo de propagação. Este facto é pouco relevante na linha de assinante, por ser relativamente curta.



Sistema baseado em *Time Compressed Multiplexing / Ping - pong*

FDM (Frequency Division Multiplexing) / FDD (Frequency Division Duplex) consiste na transmissão dos dois sentidos em bandas de frequências distintas. São reservadas frequências de guarda e é necessário filtrar convenientemente os sentidos de transmissão. Esta técnica resolve o problema dos ecos e interferência NEXT se o filtro for eficiente.

Requer mais do dobro da banda de cada sentido o que aumenta a atenuação/distorção e a interferência FEXT entre canais.

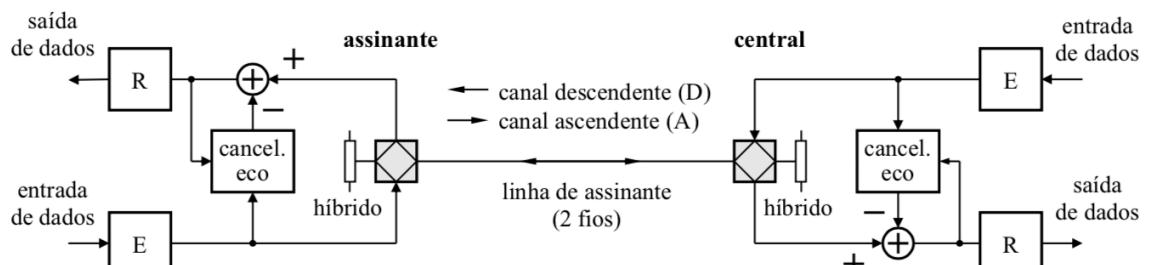


Sistema baseado em *Frequency Division Multiplexing*

- Explicar o princípio de operação do cancelamento de eco

O cancelamento de eco opera utilizando um filtro digital adaptativo. O filtro sintetiza os sinais interferentes, removendo-os do sinal recebido, ou seja, compensa os ecos local e remoto.

Ao sinal recebido pelo assinante é subtraída uma cópia devidamente retardada e atenuada de um sinal proveniente da entrada de dados. Com este mecanismo as componentes de eco são removidas.



Sistema baseado em cancelamento de eco

Esta técnica mantém a banda requerida em cada sentido, por isso, não aumenta a atenuação/distorção e a interferência entre canais.

- Descrever as características gerais da tecnologia SHDSL

A tecnologia SHDSL (Single-pair High-speed Digital Subscriber Line) substituiu progressivamente os sistemas HDSL. É uma tecnologia de comunicação de dados para taxas de transmissão e receção iguais (isto é, simétricas). Ao contrário de outras tecnologias DSL, a SHDSL utiliza a modulação 8-ASK com codificação Trellis (conhecida pelo acrônimo TC PAM-8).

Acede por um único par de cobre existente no lacete local. Esta tecnologia permite um maior alcance e suporta modos circuito TDM ($p \times 64 \text{ kbit/s}$), ATM e pacote (multi-service). O débito é configurável de acordo com os requisitos do utilizador (multi-rate). É ajustável entre 192 e 2320 kbit/s . Apresenta um espectro compacto compatível com outras tecnologias DSL.

Permite custos mais baixos para o utilizador e aumenta o alcance para débitos mais baixos. É possível utilizar dois pares ou repetidores para aumentar o alcance.

Esta tecnologia permite várias combinações de modos de transporte e serviços. Existe a possibilidade de partilha de banda entre modos.

- Descrever as características gerais da tecnologia ADSL

A tecnologia ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line) utiliza a linha telefónica existente (um único par). Acrescenta um modem “sempre ligado” para serviços multimédia. O ADSL suporta o transporte de dados em modo circuito ($p \times 32 \text{ kbit/s}$) e em modo ATM e suporta cobertura sem repetidores nem seleção de pares, para a maioria dos assinantes.

No ADSL, a largura de banda e a taxa de bits são consideradas assimétricas, ou seja, são mais voltadas para as instalações do cliente (downstream) do que para o inverso (upstream).

Esta tecnologia suporta um canal duplex para telefonia ou RDIS, um canal ascendente de média velocidade e um canal descendente de alta velocidade.

Canal ADSL	Capacidade	Alcance	Sistemas correntes	Débito
Telefonia	Analógico	2 - 6 km ($d=0,5\text{mm}$)	G.992.1	ADS <i>Full-rate</i> A 0,640 Mbit/s D 6,144 Mbit/s
RDIS	160 kbit/s		G.992.2	ADS <i>Lite</i> (<i>splitterless</i>) A 0,512 Mbit/s D 1,536 Mbit/s
Ascendente (A)	16 - 800 kbit/s			
Descendente (D)	1,5 - 9 Mbit/s			

O ADSL utiliza tecnologia de modulação de ponta – DMT (Discrete Multi-Tone).

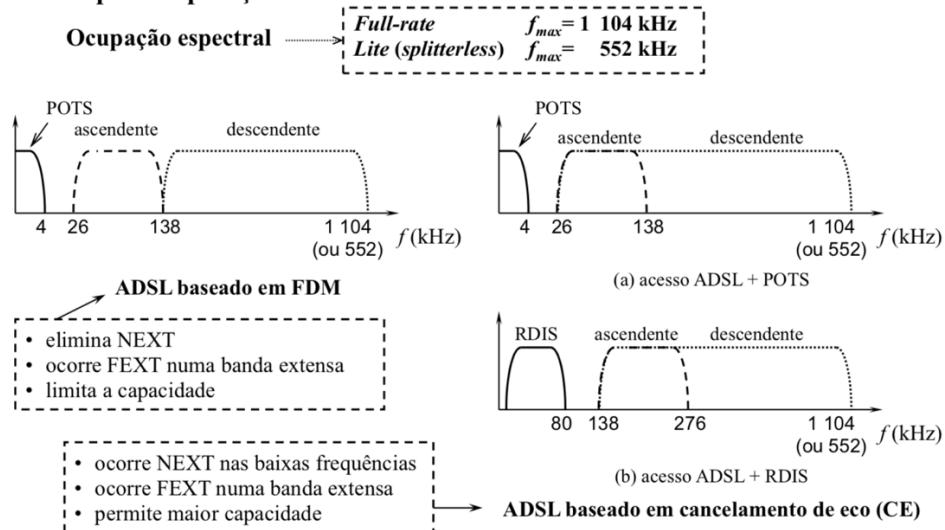
Isolamento dos sentidos de transmissão através de FDM e cancelamento de eco.

As interferências FEXT no canal descendente limita o alcance (ocorre com frequências elevadas/banda extensa). Tem problema de NEXT com acessos RDIS e HDSL o que exige coordenação de disponibilização de ligações.

Relativamente com controlo de erros utiliza técnicas de entrelaçamento de dados e correção de erros (FEC).

Princípio de operação

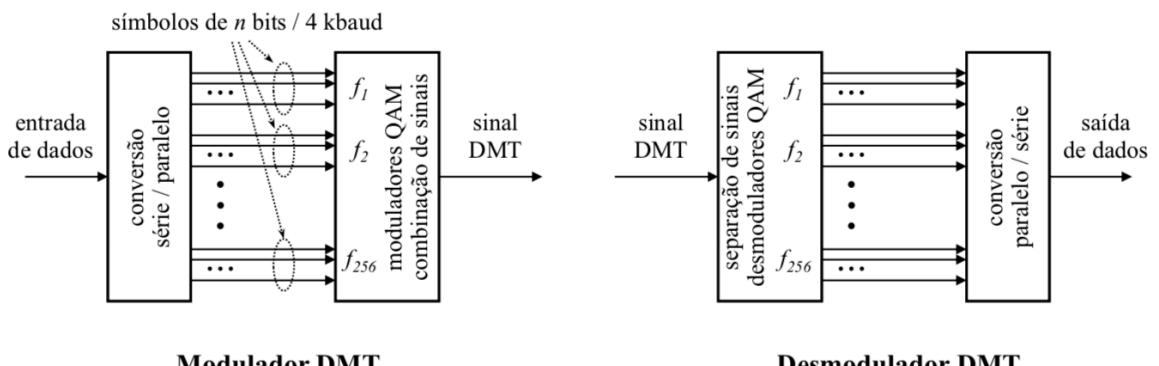
Ocupação espectral



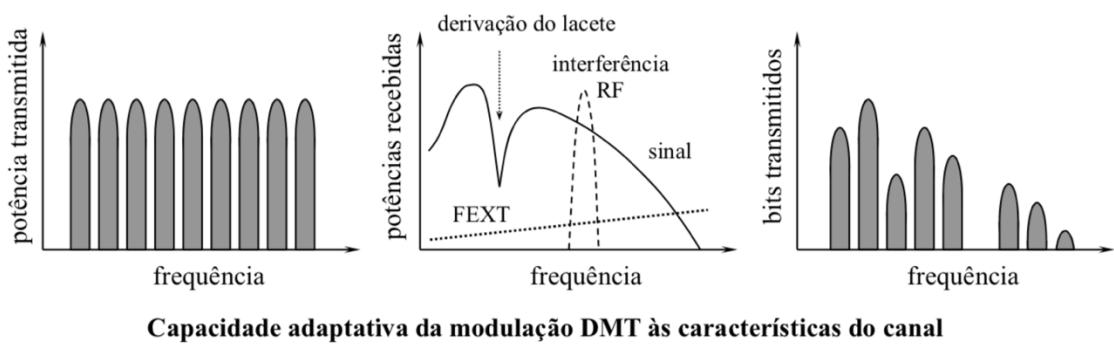
- Caracterizar as opções de ADSL baseadas em FDM e em cancelamento de eco
- Caracterizar a técnica de modulação DMT, destacando as suas vantagens

A tecnologia de modulação de ponta – **DMT** (Discrete Multi-Tone) maximiza o débito de transmissão de acordo com as características da linha e opera de forma adaptativa.

A banda entre 0 e 1,1 MHz é dividida em 256 canais (4,3125 kHz de banda cada). Em cada intervalo de 250 μs , os bits a transmitir são segmentados pelos 256 canais. Em cada canal os bits são transmitidos em sub-portadoras moduladas em QAM. No receptor as sub-portadoras são recebidas e os bits recuperados e agregados.

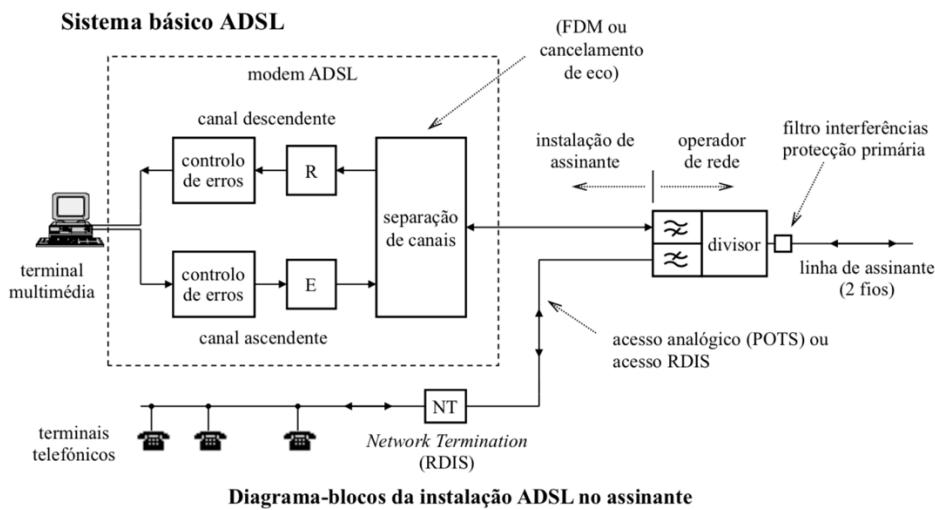


A modulação QAM é dinamicamente adaptada à relação S/N em cada canal. A constelação suporta entre 2 e 15 bits (no limite, a portadora é suprimida). O débito total sofre incrementos/decrementos de 32 kbit/s (granularidade). Aproxima-se o sistema da capacidade teórica do canal. A imagem seguinte demonstra a capacidade adaptativa da modulação DMT às características do canal.



- Identificar as configurações de instalação de ADSL no assinante e central

Diagrama-blocos



Alternativas simplificadas da instalação ADSL no assinante:

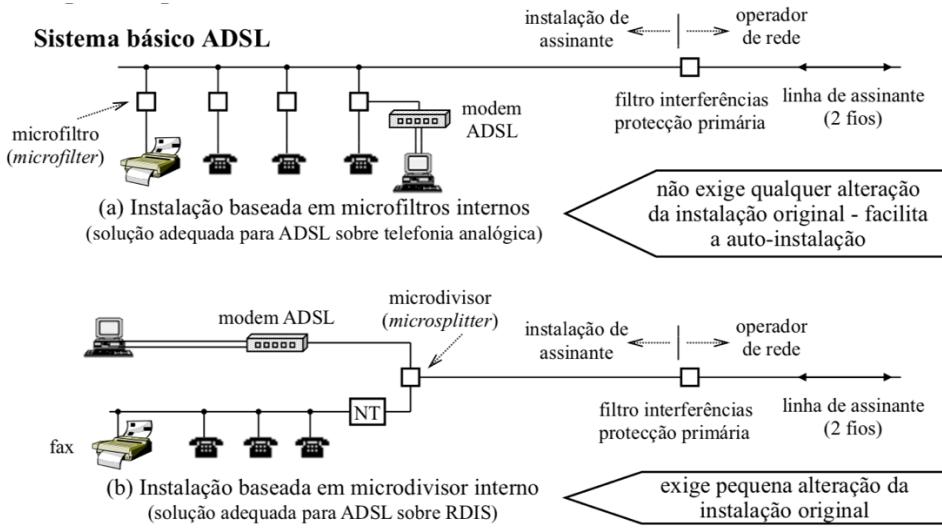


Diagrama-blocos da instalação ADSL na central:

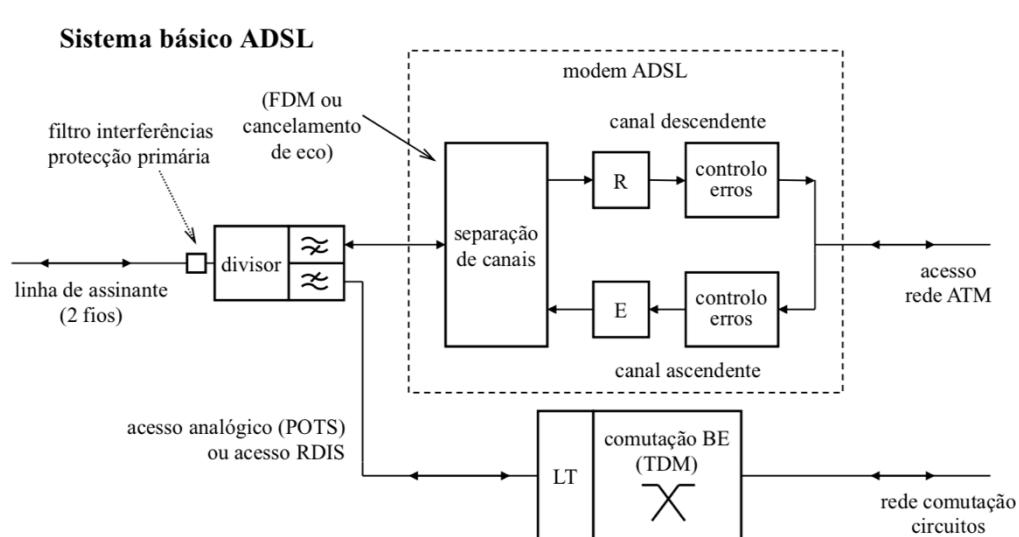


Diagrama-blocos da instalação ADSL na central

- Descrever as características gerais da tecnologia VDSL

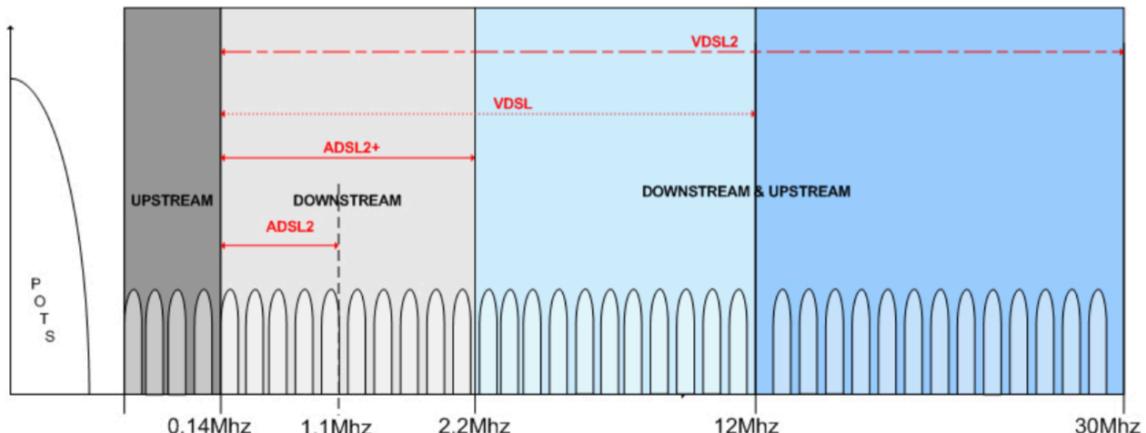
A tecnologia **VDSL** (Very high-speed Digital Subscriber Line) permite débitos muito altos num único par, sobretudo em linhas curtas. É a solução adequada para configurações FTTC e FTTB.

Tem **dois modos de operação**: **assimétrico** (expande as aplicações de ADSL) e **simétrico** (expande as aplicações de SHDSL). Teve a sua versão inicial (VDSL G.993.1) em 2004 que durou pouco tempo porque em 2005 surgiu a versão que ainda perdura nos dias de hoje (VDSL2 G.993.2).

Exemplos de configurações de VDSL2

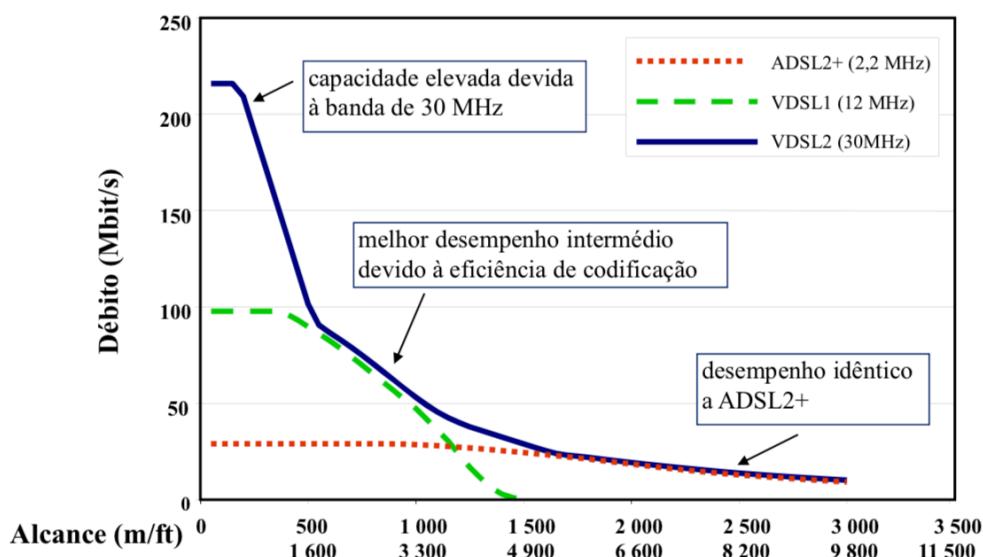
Modo	Débito ascendente	Débito descendente	Alcance
Assimétrico	30 Mbit/s	55 Mbit/s	500 m
Simétrico	100 Mbit/s	100 Mbit/s	300 m

Relativamente à **ocupação espectral**, esta tecnologia suporta o acesso analógico telefónico (POTS) ou RDIS como em ADSL e tem um aumento significativo da banda para 12 MHz (VDSL)/30 MHz (VDSL2).



Ocupação espectral de VDSL em comparação com ADSL

Débito versus alcance



Débito total de VDSL em função da distância

Características gerais da tecnologia VDSL2

Funcionalidades baseadas em ADSL2+

- modulação DMT
- disponibiliza diversos perfis de qualidade de serviço
- suporta os modos circuito TDM, ATM e pacote
- possibilita a agregação de linhas para aumento da capacidade

Perfis

- definidos múltiplos perfis em termos de potência transmitida e débitos suportados
- modems devem suportar pelo menos um perfil

Compatibilidade com ADSL

- modems VDSL2 retro-compatíveis com ADSL
- permite equipar o DSLAM

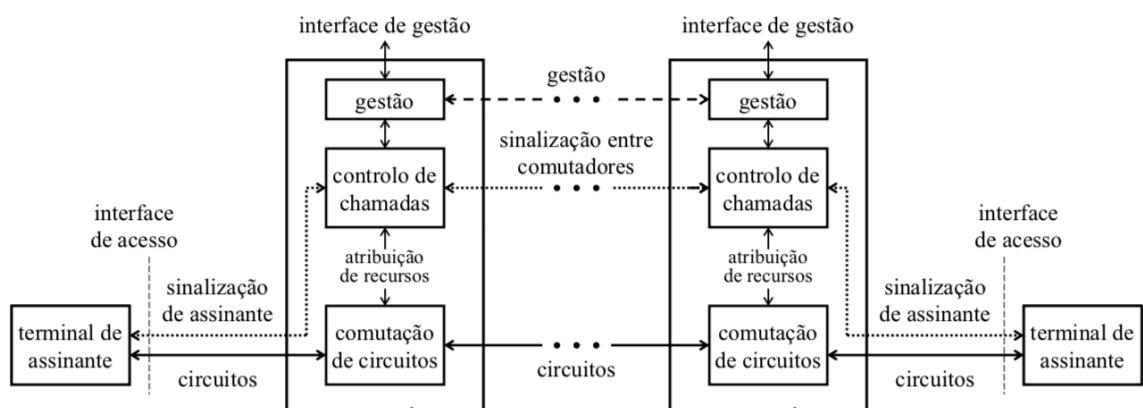
6. Protocolos de Sinalização

▪ Identificar as funções básicas de sinalização

A sinalização tem como funções básicas o estabelecimento de chamadas, a terminação de chamadas, suporte de serviços suplementares e a translação de números (aplicações de rede inteligente).

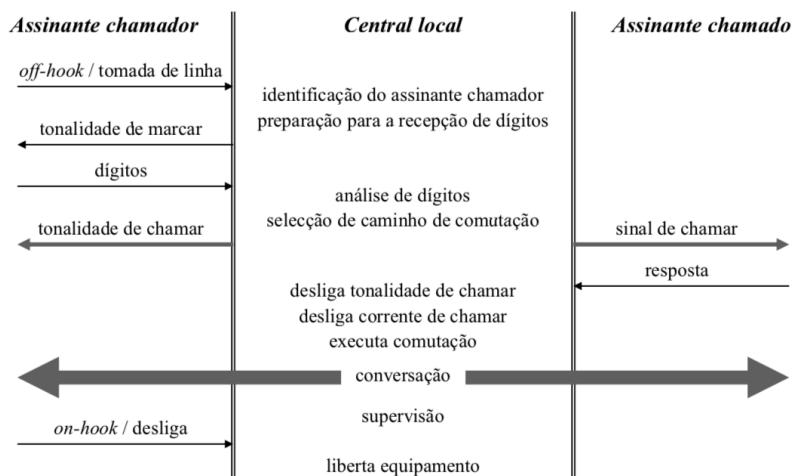
Funções de sinalização necessárias para o estabelecimento e terminação de chamadas		
Interface c/ Utilizador	Endereçamento	Gestão da linha
Aviso <ul style="list-style-type: none">• sinal de chamar Progresso <ul style="list-style-type: none">• tonalidade de marcar• tonalidade de chamar• tonalidade de ocupado• tonalidade de inacessível Taxação	Marcação de assinante <ul style="list-style-type: none">• envio de dígitos Marcação entre centrais <ul style="list-style-type: none">• envio de dígitos	Controlo da linha (para a frente) <ul style="list-style-type: none">• tomada de linha• libertação de linha Estado da linha (para trás) <ul style="list-style-type: none">• resposta• ocupado• desligado

Existe a **sinalização de assinante** e a **sinalização entre comutadores**. As áreas de sinalização numa rede de comutação de circuitos estão ilustradas na figura seguinte.



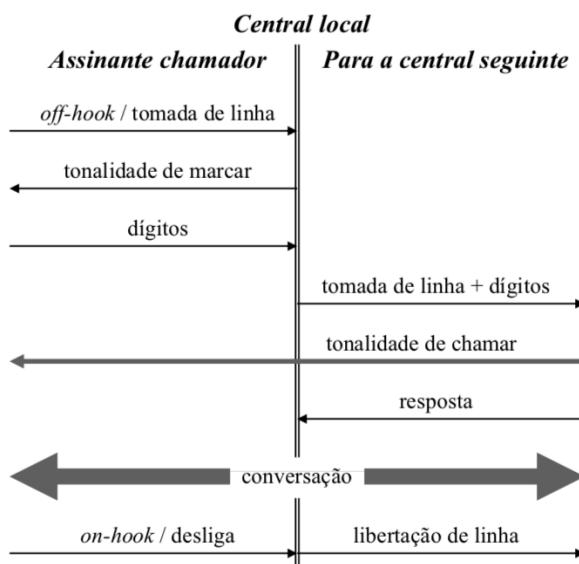
Áreas de sinalização numa rede de comutação de circuitos

Fases de sinalização numa chamada (atravessa uma única central):



Fases de sinalização numa chamada (atravessa uma única central)

Fases de sinalização numa chamada (atravessa várias centrais):



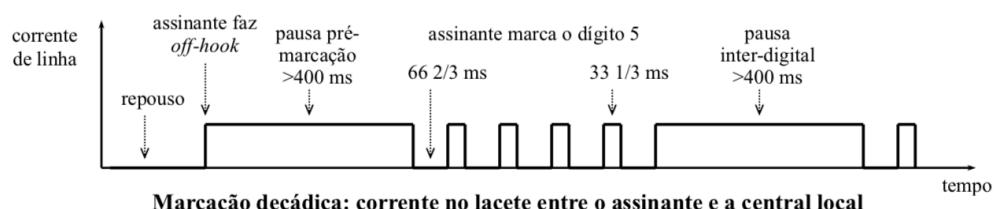
Fases de sinalização numa chamada (atravessa várias centrais)

■ Caracterizar o sistema de sinalização decádica e multifrequência

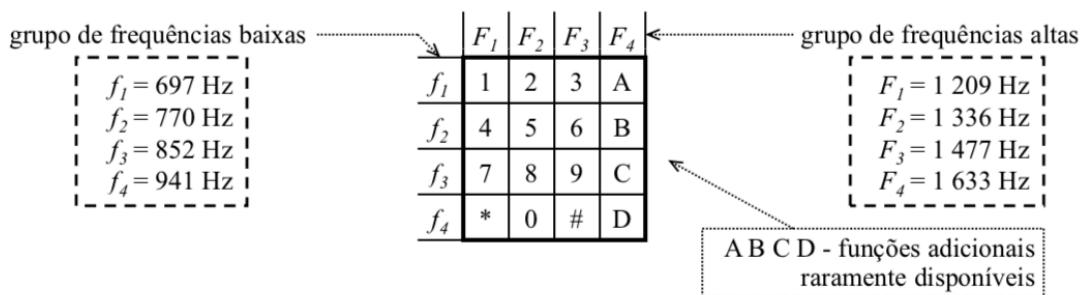
Quando o assinante faz **off-hook** (fora do descanso) a impedância de entrada do telefone passa de dezenas de $M\Omega$ para 200 a 300 Ω . A linha de assinante é percorrida por uma corrente contínua obtida a partir da bateria na central de $-48 V$ (mínimo 20 mA; máximo 120 mA). A central deteta a corrente de linha e sinaliza o assinante (tonalidade de marcar - 425 Hz contínuo).

Existem então **dois métodos** para o assinante efetuar a marcação: **marcação decádica** ou a marcação **multifrequências**.

Na marcação decádica existem n interrupções da corrente de lacete por dígito, por exemplo, para sinalizar o **dígito 5** são efetuadas **cinco interrupções da corrente**. A seguinte imagem ilustra isso mesmo:



Na marcação multifrequência cada dígito tem associado a si um par de frequências.



Marcação multifrequência: matriz de correspondência entre dígitos e pares de frequência

- Identificar exemplos de serviços suplementares de assinante analógico e caracterizar o suporte de transmissão associado

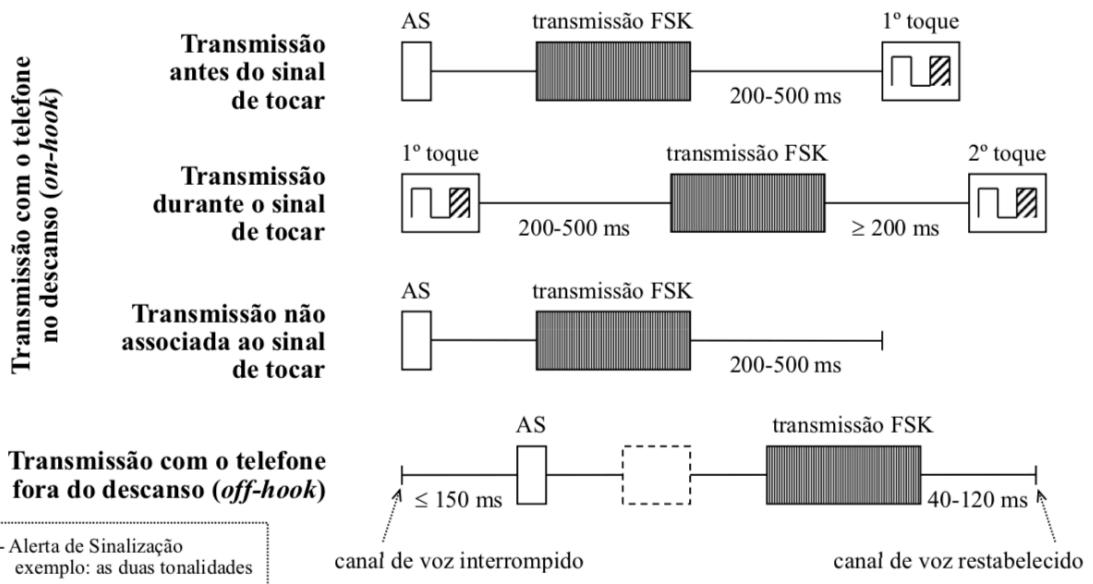
Os serviços suplementares de assinante analógico são:

- informação de chamada de entrada
 - identificação de número chamador
 - aviso de chamada em espera
- indicação de mensagem em espera num sistema de mensagens
- envio / receção de SMS
- notificação de taxação

A comunicação é suportada pela transmissão de dados em FSK na banda de voz. Frequências nominais $2130 / 2750 \text{ Hz} \pm 5\%$ e 1200 baud assíncronos (V.23).

A informação é organizada em mensagens com parâmetros específicos.

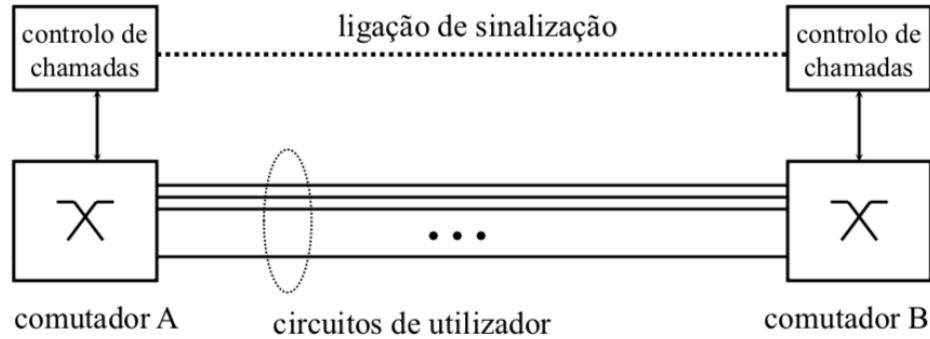
Oportunidades de transmissão



- Descrever as características gerais de um sistema de sinalização por canal comum e destacar as suas vantagens

A sinalização por canal comum tem como características gerais:

- ligações de dados bidirecionais entre entidades de sinalização;
- débitos elevados, tipicamente de 64 kbit/s (superior, se necessário);
- cada ligação transporta informação relativa a um elevado número de circuitos; troca de informação é feita sob a forma de mensagens.



Ligaçāo de sinalizaçāo por canal comum entre dois comutadores

Vantagens da SCC (Sinalização por Canal Comum):

- opera totalmente digital
 - mais rápida
 - mais fiável
 - mais segura
- flexibilidade das redes de dados
 - rede de sinalização com uma arquitetura de camadas
 - topologia independente da rede de transporte
- melhor aproveitamento de recursos
 - a sinalização de cada canal é esporádica
 - há elevado ganho de multiplexagem estatística
- possibilidade de troca de informação durante a chamada
- possibilidade de comunicação entre elementos sem conexão
- exemplo: serviços de Rede Inteligente

O SCC é o Sistema de Sinalização nº 7 (SS7). É o sistema universal adotado pela União Internacional de Telecomunicações.

■ Identificar os tipos de pontos de sinalização do Sistema de Sinalização no 7 (SS7)

Os pontos de sinalização são os nós da rede de sinalização.

Tipos de pontos de sinalização

- SSP (*Service Switching Point*)
 - unidades associadas aos comutadores de circuitos
 - originam, terminam ou encaminham chamadas
- STP (*Signal Transfer Point*)
 - comutadores de pacotes
 - encaminham mensagens entre ligações de sinalização
- SCP (*Service Control Point*)
 - bases de dados com informação de serviços
 - suportam aplicações de Rede Inteligente



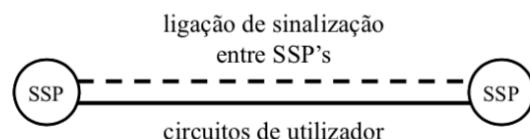
Pontos de sinalização identificados por um endereço de rede

- Identificar diversas configurações de ligações de sinalização, destacando a redundância e tolerância a falhas

As ligações de sinalização são as ligações entre os nós da rede de sinalização.

Modo associado de exploração

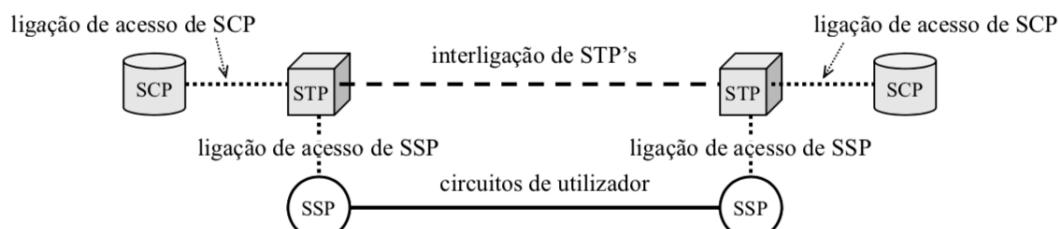
- ligações entre SSP's
 - ligação directa entre pontos terminais de sinalização



Ligações de sinalização no modo associado de exploração

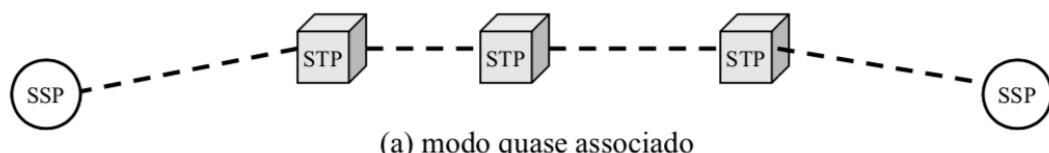
Modo não associado de exploração

- ligações de acesso de SSP's e SCP's
 - permitem o acesso de SSP's e SCP's à rede de interligação baseada em STP's
- ligações entre STP's
 - constituem a rede de interligação

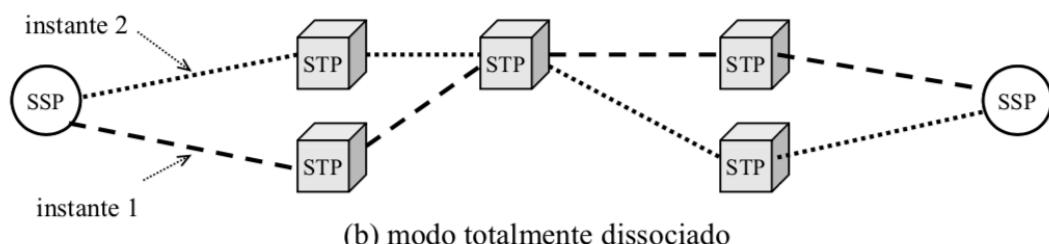


Ligações de sinalização no modo não associado de exploração

No modo **não associado** de exploração existe o modo totalmente dissociado (encaminhamento dinâmico) e o modo quase associado (encaminhamento pré-fixado).



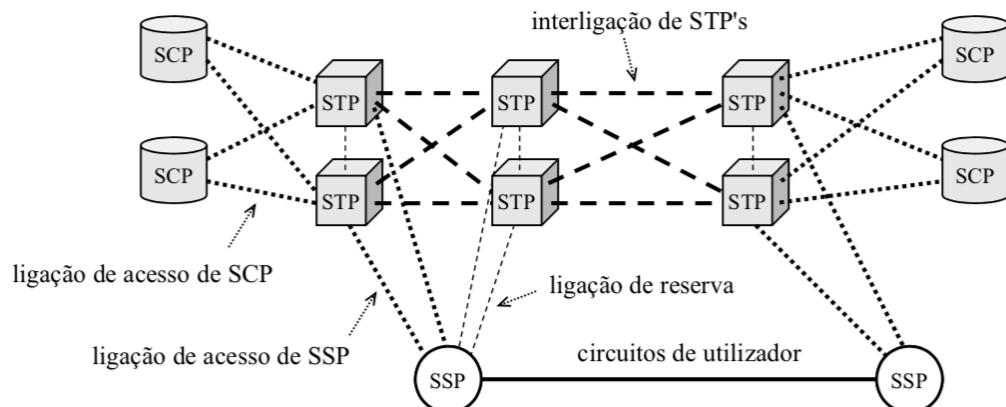
(a) modo quase associado



(b) modo totalmente dissociado

Modos de exploração da rede de sinalização por canal comum

Relativamente à **redundância**, existe a duplicação de STP's e SCP's (organização em quadras) e existem ligações adicionais de reserva (vários caminhos alternativos) para que a ligação seja tolerante a falhas.



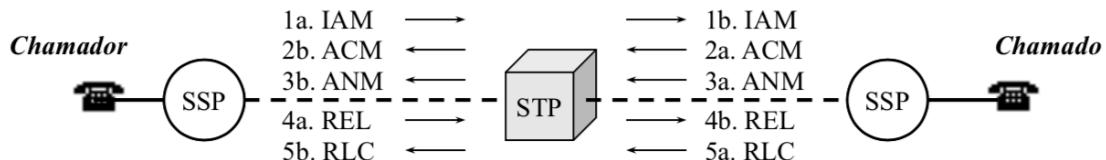
Ligações de sinalização do Sistema de Sinalização nº 7

- Analizar sequências de mensagens de sinalização SS7

Sistema de Sinalização nº 7

- ISUP - “ISDN User Part”

Estabelecimento e terminação de chamadas

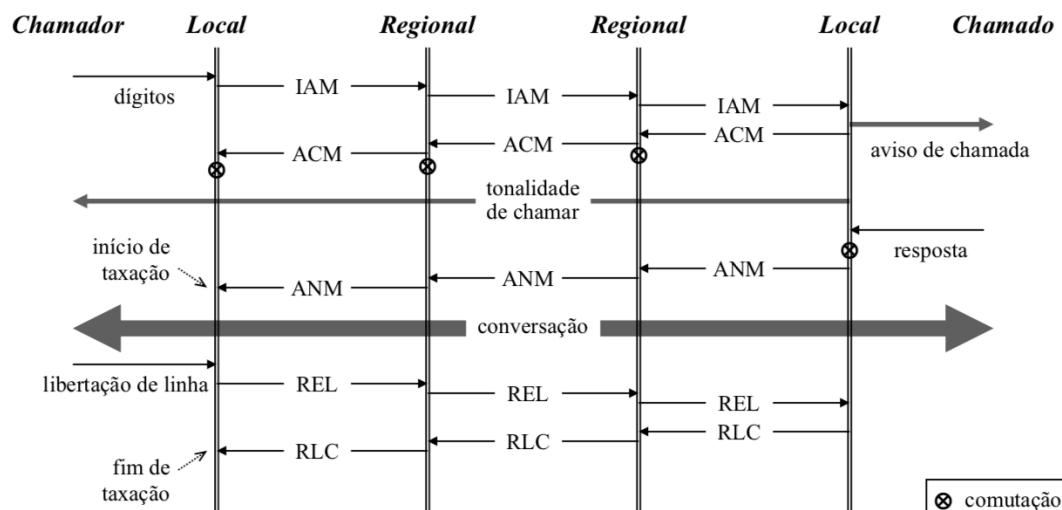


Exemplo de sinalização ISUP num procedimento de chamada entre duas centrais locais

Mensagem (*)	Função
IAM <i>Initial Address Msg</i>	Pedido de estabelecimento de uma chamada
ACM <i>Address Complete Msg</i>	Indica que a mensagem IAM atingiu o destino e que o chamado foi alertado
ANM <i>Answer Msg</i>	Indica aceitação da chamada pelo chamado
REL <i>Release Msg</i>	Indica a libertação de circuitos
RLC <i>Release Complete Msg</i>	Confirma a libertação de circuitos

(*) Indicado apenas um sub-conjunto de mensagens necessárias para estabelecer e terminar uma chamada simples

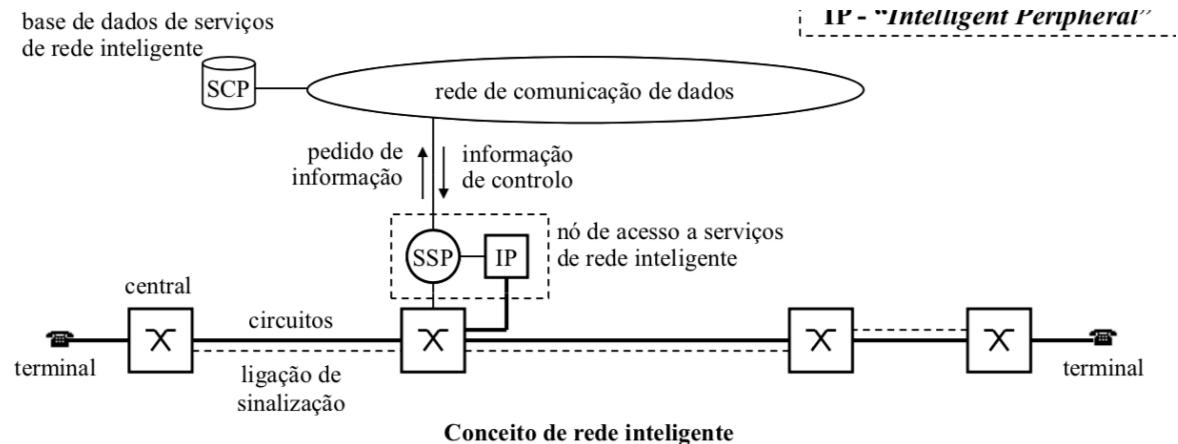
- ISUP - “ISDN User Part”



Exemplo de sinalização ISUP num procedimento de chamada através de várias centrais

■ Caracterizar a configuração de acesso a serviços de rede inteligente

Os serviços de rede inteligente são serviços avançados que requerem a **translação de números** para o **encaminhamento**. É possível disponibilizar funções adicionais através de periféricos inteligentes.



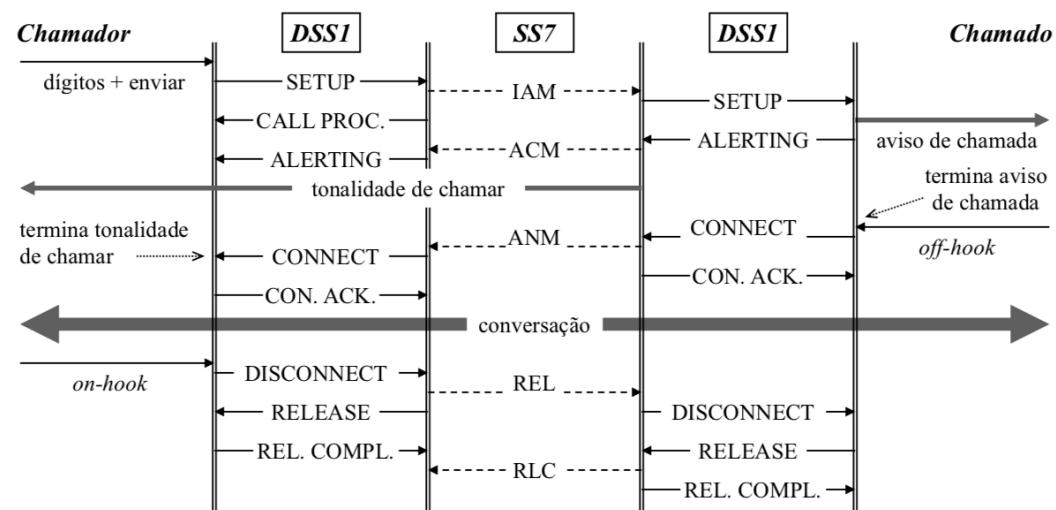
Vantagens das redes inteligentes:

- facilidade e rapidez de introdução de novos serviços
 - desnecessário alterar o software das múltiplas centrais digitais
 - serviços criados apenas num pequeno numero de pontos de controlo de serviço
 - serviços disponíveis imediatamente em toda a rede
- facilidade de gestão de dados
 - Integridade e consciência dos dados desde a criação ate à fase de exploração
 - Atualização de dados em tempo real
- Serviços à medida
 - Possibilidade de satisfazer requisitos específicos que podem mudar ao longo do tempo
- Suporte eficiente de mobilidade em redes de radio celular

■ Caracterizar as funções de mensagens DSS1 (sistema utilizado na RDIS), no contexto de uma sequência concreta

O sistema DSS1 (Digital Subscriber Signalling system number 1) é o sistema adotado em acessos RDIS.

Estabelecimento e terminação de chamadas (interoperação com SS7):



Mensagens de estabelecimento e terminação de chamadas

protocolo Q.931

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

(*) Indicado apenas um sub-conjunto de mensagens necessárias para estabelecer e terminar uma chamada simples

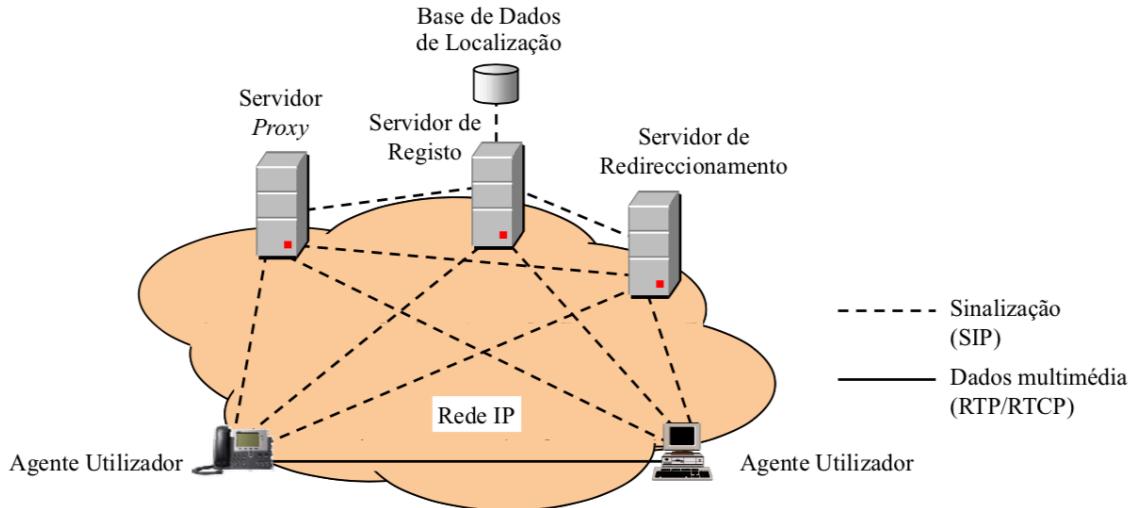
- Caracterizar a arquitetura de uma rede SIP e descrever as funcionalidades gerais dos respetivos elementos de rede

Características do protocolo SIP (Session Initiation Protocol):

- permite a criação, modificação e terminação de sessões de comunicação multimédia
- sistemas terminais precisam de outros protocolos para comunicar
 - SDP – transporta informação específica da sessão que se pretende estabelecer
 - RTP/RTCP – usado para transportar os dados multimédia e controlar a QoS
- a informação de estado residente apenas nos sistemas terminais, não na rede
 - contrasta com as soluções convencionais ITU em que a inteligência reside na rede e os terminais limitam-se a solicitar conexões
- endereços semelhantes aos de email
 - URI (Uniform Resource Identifier) – sip:utilizador@domínio

exemplo: sip:mleitao@fe.up.pt

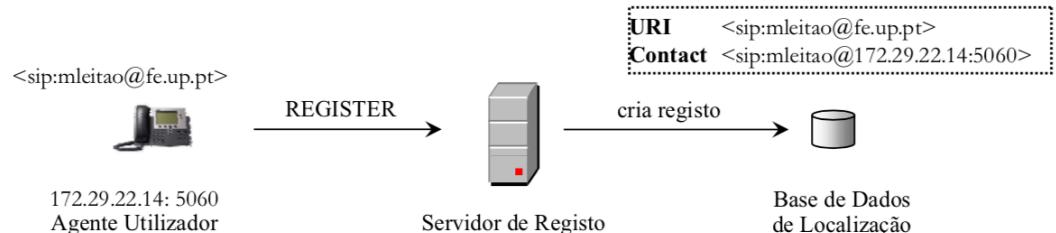
Arquitetura



Arquitectura SIP mostrando os elementos de rede

Elementos de rede

- Agentes Utilizadores (*User Agents*)
 - usam o SIP para se encontrarem e comunicarem entre si
 - negoceiam as características de uma sessão
- Servidor de Registo (*Registrar*) essencial para o utilizador receber chamadas
 - recebe pedidos de registo de utilizadores
 - armazena a sua localização → utilizador@endereço IP:porta



Procedimento de registo de localização

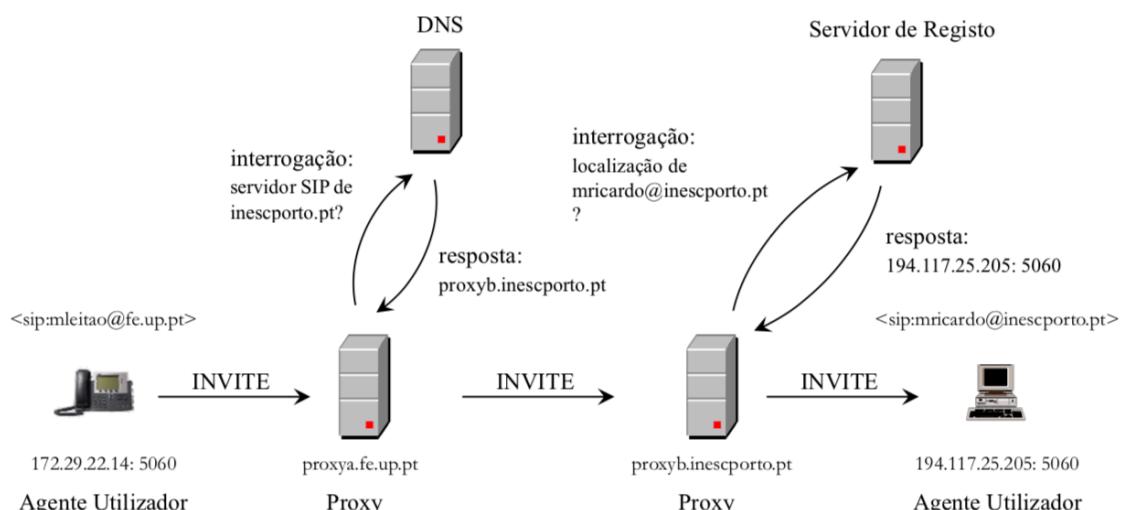
- Servidor *Proxy*
 - utilizadores enviam pedidos de sessão a um servidor *Proxy*
 - *Proxy* encaminha os pedidos para o *Proxy* do domínio de destino
 - *Proxy* do domínio de destino consulta o Servidor de Registo
 - *Proxy* do domínio de destino encaminha o pedido para o utilizador
 - dois tipos de *Proxy*
 - Outbound Proxy* → envia sinalização para outros domínios
 - Inbound Proxy* → envia sinalização para o mesmo domínio
 - os servidores *Proxy* e de Registo estão normalmente integrados

- Servidor de Redirecccionamento

- recebe um pedido de sessão e responde com as localizações do destinatário
- o originário recebe a informação e envia o pedido para o destinatário

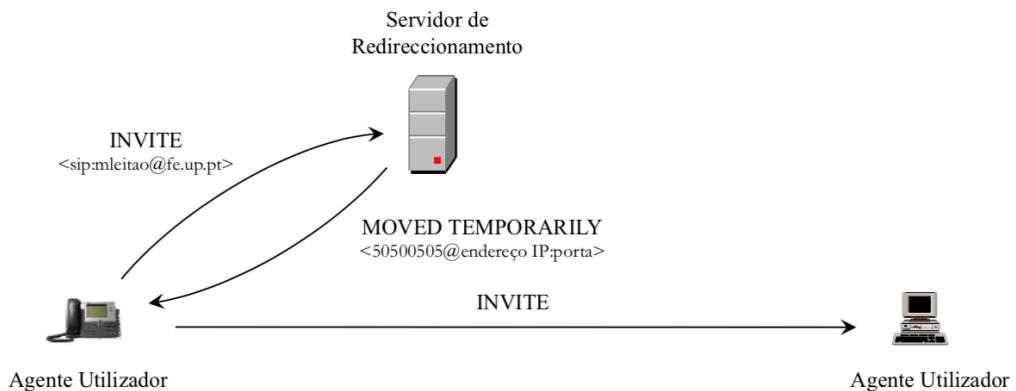
■ Explicar como se processa o encaminhamento de um pedido de chamada numa rede SIP

Encaminhamento de um pedido de chamada através de Servidor Proxy:



Encaminhamento de um pedido de chamada através de Servidor Proxy

Encaminhamento de um pedido de chamada através de reencaminhamento:



Encaminhamento de um pedido de chamada através de *Servidor de Redireccionamento*

- Caracterizar os conceitos de transação, diálogo e chamada no contexto do protocolo SIP

Transação:

- sequência de mensagens SIP iniciadas com um pedido
- pode conter uma ou mais respostas temporárias (1xx)
- contém uma ou mais respostas finais (não 1xx)

Diálogo:

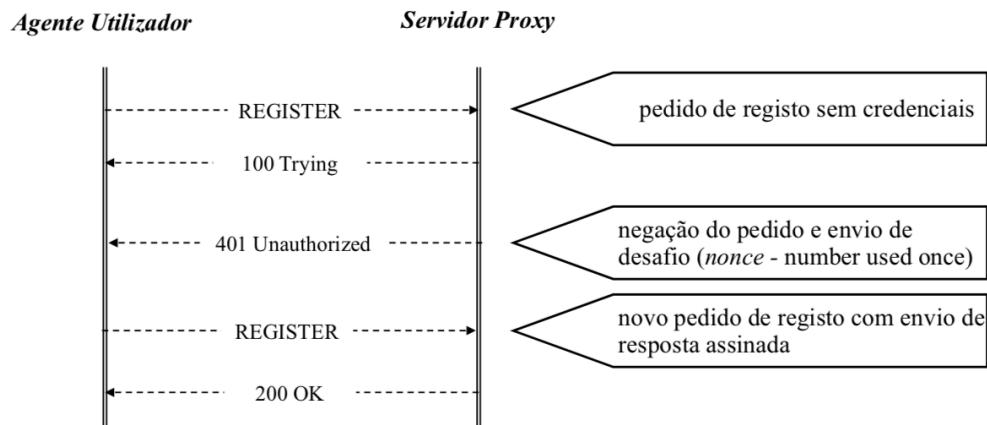
- sequência de mensagens entre dois agentes utilizadores
- iniciado em geral com um pedido INVITE e finalizado com BYE
- constituído por uma ou mais transações em sucessão

Chamada:

- sequência de mensagens originadas por um INVITE de um agente utilizador
- inclui um diálogo ou múltiplos diálogos no caso de chamadas em conferência

- Descrever como se processa a autenticação em acessos SIP

Em acessos SIP a autenticação é do tipo **desafio-resposta**. Este processo de autenticação é igualmente utilizado após cada mensagem INVITE.

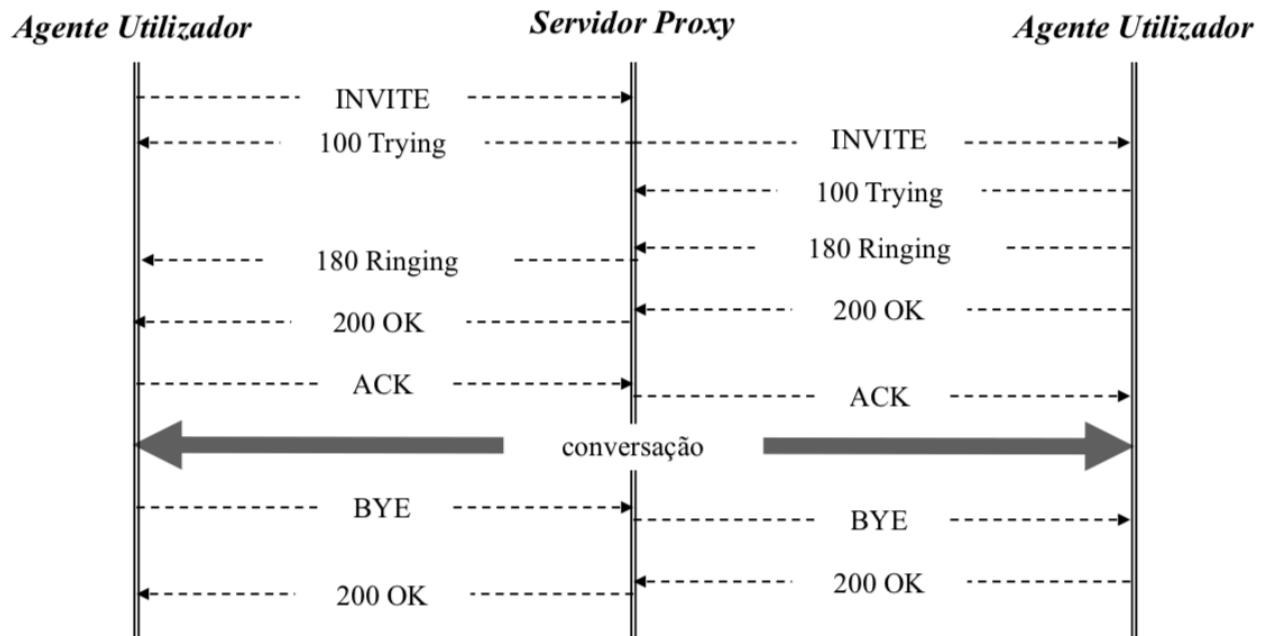


Sequência de mensagens no registo com autenticação de tipo desafio-resposta
(processo de autenticação igualmente utilizado após cada mensagem INVITE)

- Caracterizar as funções de mensagens SIP e SDP no contexto de uma sequência concreta de um registo de uma chamada

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

Diálogo SIP num procedimento de chamada envolvendo um servidor proxy:



Diálogo SIP num procedimento de chamada envolvendo um servidor proxy

Protocolo SIP (Session Initiation Protocol):

Mensagens SIP

- cabeçalho das mensagens
 - contém campos com informação útil para o processamento da mensagem
 - inclui endereços e identificadores de chamada e de transacção
- campos do cabeçalho mais importantes
 - *Via* – endereço SIP das entidades que tenham processado a mensagem; parâmetro *branch* é o identificador de transacção
 - *From* – endereço de origem da mensagem (geralmente URI)
 - *To* – endereço de destino da mensagem (geralmente URI)
 - *Contact* - localização do agente utilizador
 - *Call ID* – identificador da chamada a que corresponde a mensagem
 - *Cseq* – identificador de transacção (permite reconhecer retransmissões de pedidos ou respostas - número de ordem indica a transacção respectiva)

Protocolo SDP (Session Description Protocol):

Caracterização

- especifica os parâmetros da sessão multimédia
 - endereços IP dos intervenientes na ligação de dados
 - formato de *media* que é usado na comunicação
 - informação relevante para a reserva de recursos
- recorre a outros protocolos (SIP, MGCP) para o transporte de dados

Parâmetros mais relevantes

v = versão do protocolo

o = originador da sessão

s = nome da sessão

c = informação da conexão

t = tempo de duração da sessão

b = informação de largura de banda

m = informação de media

a = linhas de atributos do parâmetro

<username> <session id> <version>
<network type> <address type> <address>

<network type> <address type> <address>

<start time> <stop time>

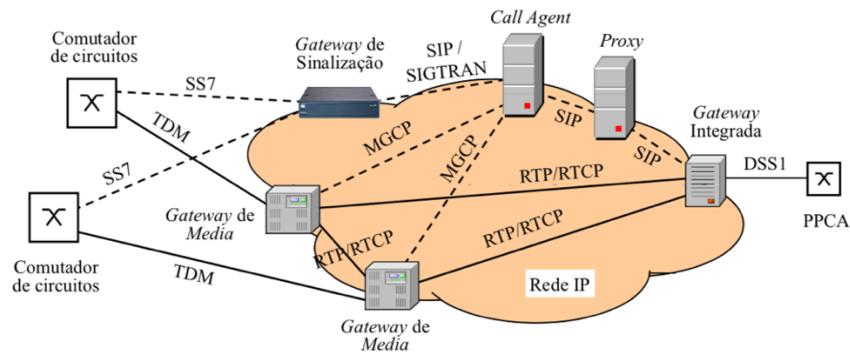
<media> <port> <transport> <format list>

- Identificar as funções dos elementos de rede de uma configuração com interoperação entre PSTN e SIP e explicar sequências de mensagens nesse contexto

Interoperação entre PSTN e redes IP

Arquitectura

- rede de transporte tem evoluído no sentido da adopção da tecnologia IP
- necessário interligar rede comutação circuitos - rede IP através de gateways



Cenários de interoperação entre PSTN e rede IP

Interoperação entre PSTN e redes IP

Elementos de rede

- Gateways de Sinalização

- SS7 assegura a interoperabilidade pelo lado da rede de comutação de circuitos
- alternativas**
- SIP suporta a sinalização do lado da rede IP
- SS7 atravessa a gateway, sendo transportado sobre IP (protocolo SIGTRAN)

- Gateways de Media

- converterem os formatos de media entre PSTN e rede IP
- transporte de dados e controlo de QoS assegurado pelo protocolo RTP/RTCP

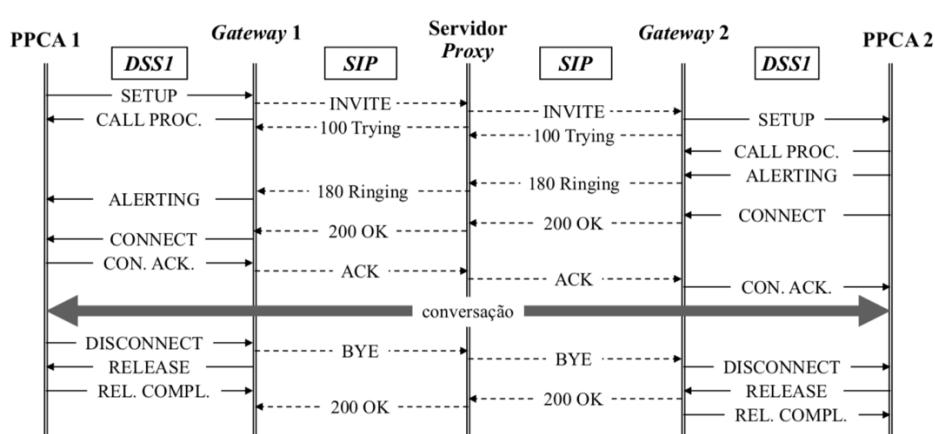
- Call Agent

- administração das gateways: registo, gestão e controlo sobre os recursos
- reúne informação para posterior utilização no sistema de taxação

Protocolo MGCP - *Media Gateway Control Protocol* → IETF RFC 2705

- protocolos específico de controlo das Gateways de Media
- cria, modifica e encerra conexões entre gateways
- usa o protocolo SDP para descrever as sessões multimédia

Interoperação entre PSTN e redes IP



Exemplo de um procedimento de chamada entre PPCAs através da rede IP

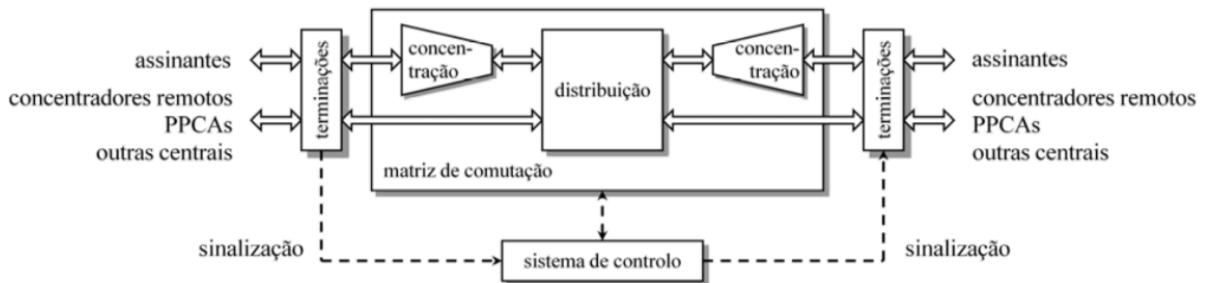
7. Sistemas de Comutação

Circuitos comutados: ligações bidireccionais extremo-a-extremo estabelecidas por ação do plano de controlo, usando sinalização.

Comutação de circuitos: na comutação de circuitos estabelece-se uma ligação física entre os intervenientes da chamada, que se mantém durante toda a duração da chamada.

Constituição de um comutador de circuitos:

- Matriz de comutação (interligação de entradas e saídas)
- Terminações de linha
- Sistemas de controlo

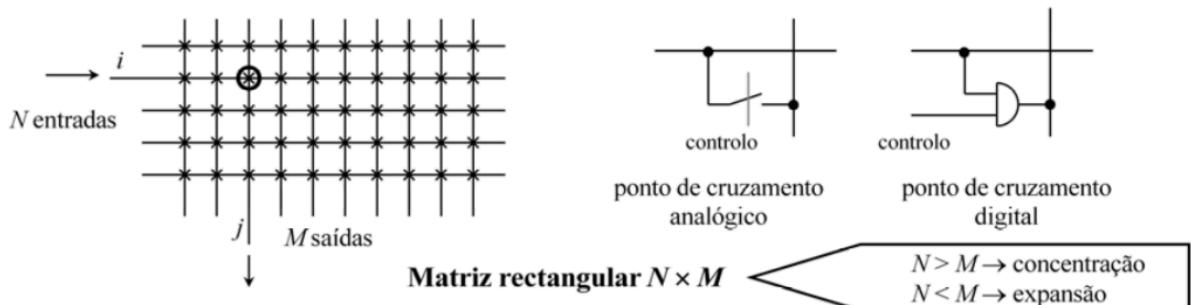


Arquitectura funcional de um comutador de circuitos

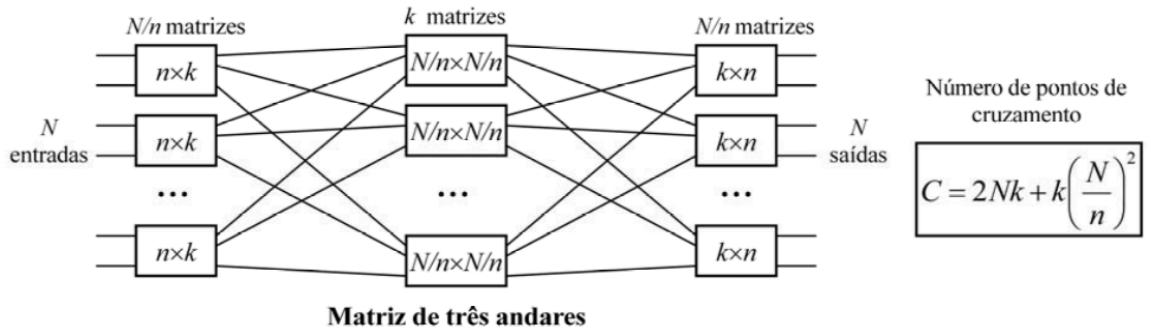
Tipos de comutação:

- Comutação em linha ou local – um canal de entrada é comutado para um canal de saída específico correspondente ao assinante chamado.
- Comutação de grupo – é apenas necessário encaminhar a ligação para o no seguinte, pelo que a comutação pode ser feita de uma linha de assinante ou de um canal de um grupo (rota) de entrada para qualquer canal disponível de um grupo (rota) de saída.
- Caracterizar o funcionamento de matrizes de comutação de circuitos de andar único e de andares múltiplos

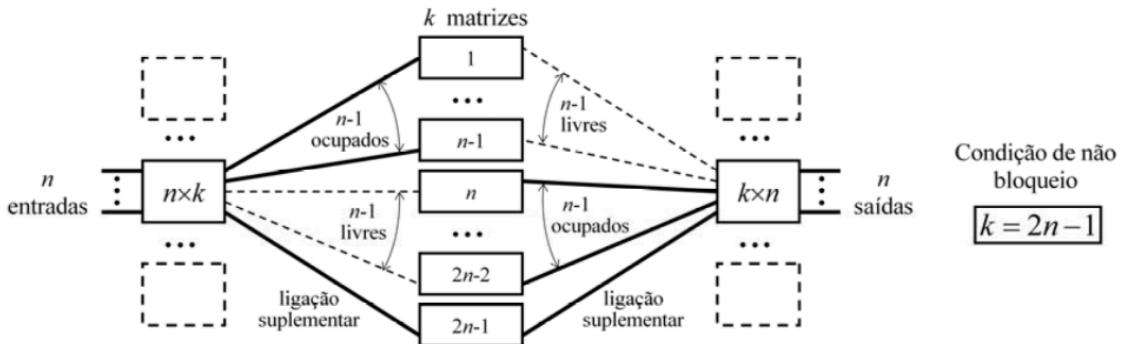
- **Matriz de comutação de andar único:** interliga qualquer entrada a qualquer saída, esta estrutura é a mais simples. Características:
 - Baixa eficiência
 - Impossibilidade de bloqueio
 - Baixa fiabilidade – impossibilidade de caminhos alternativos.



- **Matriz de comutação de andares múltiplos:** andares constituídos por matrizes retangulares, cada andar interliga-se com andares adjacentes. Permitem caminhos alternativos na malha de comutação (para aumentar fiabilidade) e reduzem pontos de cruzamento (maior eficiência).



- **Condição de clos (não bloqueio):** relaciona-se com a condição de não bloqueio, isto é, considera-se a situação mais desfavorável de encaminhamento de uma ligação e garante-se incondicionalmente a existência de um caminho para a ligação pretendida. Para garantir a existência do caminho para a ligação pretendida, terá de ser prever uma matriz livre suplementar-logo a condição de não bloqueio vira: $k=2n-1$



Derivação da condição de não bloqueio

■ Identificar as etapas históricas de desenvolvimento de comutadores de circuitos

O que distingue, fundamentalmente as diversas gerações de centrais, num percurso de mais de um século, são a tecnologia e arquiteturas usadas na matriz de comutação e no sistema de controlo. Atualmente, nas redes públicas, todas as centrais de comutação são digitais, recorrendo a matrizes de comutação digitais e sistemas de controlo por computador.

Matriz de comutação	Sistema de controlo
manual - 1878	ligações por fios humano
electromecânica	selectores rotativos <i>Strowger - 1891</i>
	selectores de coordenadas <i>Crossbar - 1938</i>
electrónica	relés miniatura (relés Reed) computador SPC - 1965 <i>(Stored Program Control)</i>
digital - 1970	sistemas digitais

■ Descrever o funcionamento de matrizes de comutação temporal e espacial

A **comutação digital** consiste em transferir informação para qualquer posição de entrada para qualquer posição de saída, ou seja, assenta em duas técnicas complementares, as quais:

- Na comutação espacial, transfere-se informação entre linhas de entrada e linhas de saída, do mesmo intervalo de tempo.
- Na comutação temporal, transfere-se a informação entre intervalos de tempo.

As matrizes de **comutação digital** podem ser realizadas com um único andar, ou, no caso de sistemas de maior dimensão, recorrendo a vários andares.

O **princípio de funcionamento** destas matrizes é:

- As entradas e saídas são ligações multiplexadas TDM (porque neste tipo de comutação o circuito associado a uma conversação só é ativado durante o intervalo de tempo correspondente a essa conversação.).
- A comutação consiste na troca de intervalos de tempo (espacial e temporal).
- Exige que todas as entradas estejam sincronizadas entre si. Nas matrizes de comutação temporal:

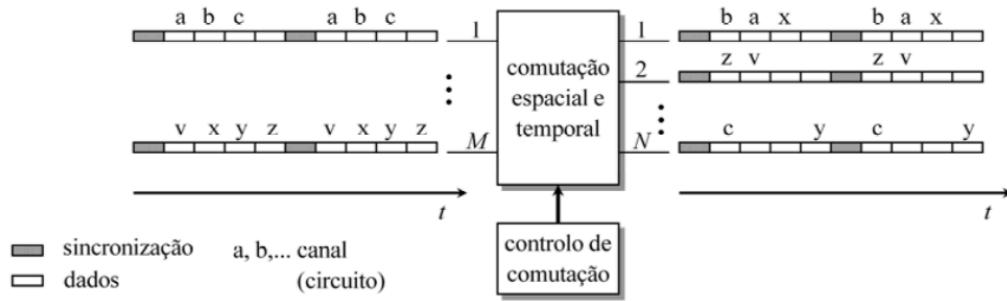
A **comutação temporal** consiste em transferir o conteúdo de um time-slot para outro time-slot, é implementada usando um dispositivo chamado TSI (time –slot interchanger).

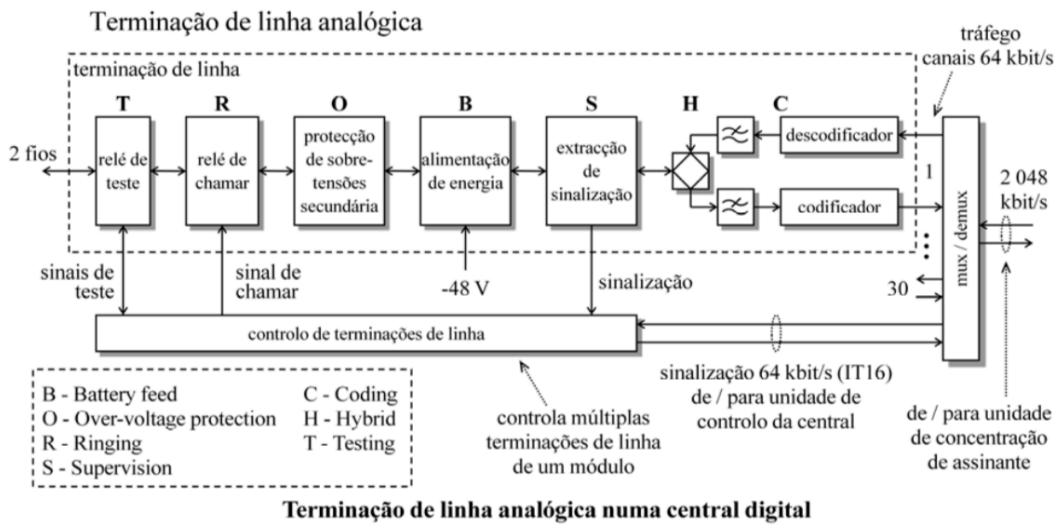
- Utiliza-se uma memória de dados, onde a informação de cada trama é escrita sequencialmente e lida com a ordem pretendida ou vice-versa
- Processo de leitura ou escrita é controlado por uma memória de conexão

Nas matrizes de **comutação espacial**: Um comutador digital espacial pode ser visto como uma matriz de pontos e cruzamento cuja configuração pode ser alterado de time slot para time-slot. Esses pontos de cruzamento são implementados usando portas lógicas rápidas, que são controladas por memórias (memórias de conexão).

- São baseadas em barramentos com pontos de cruzamentos nos nós.
- Atua-se cada ponto de cruzamento durante o respetivo intervalo de tempo.
- Processo controlado por memórias de conexão.

■ Caracterizar as funções de uma terminação de linha analógica numa central digital



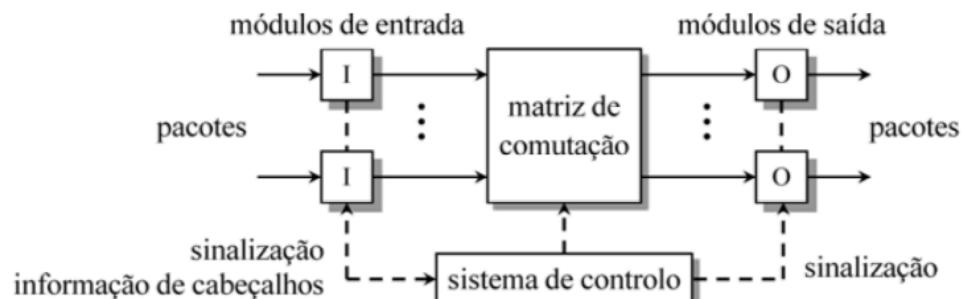


As funções de cada dispositivo têm um acrônimo associado: BORSCHT

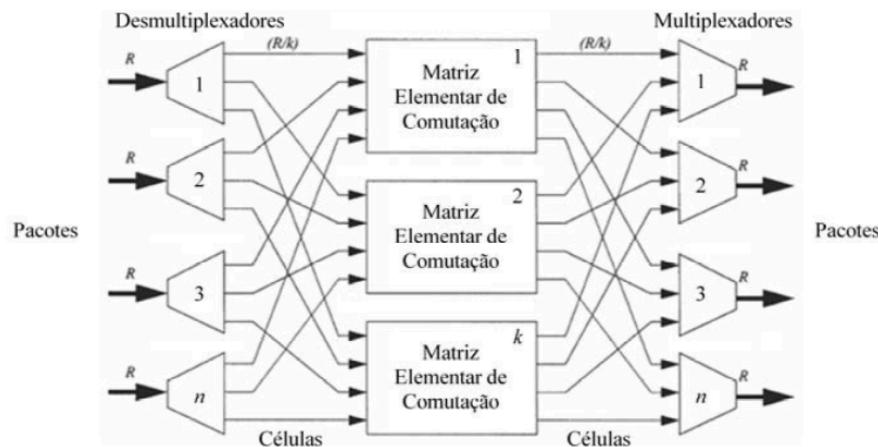
- **B – Battery feed:** injeção de corrente na linha de 20 a 120mA a partir de uma bateria de -48V DC.
- **O – Over-voltage protection:** inclui proteções sobretudo contra descargas atmosféricas e linhas de energia elétrica.
- **R – Ringing:** inclui circuitos de injeção de sinal de tocar e deteção da resposta do assinante chamado.
- **S – Supervision:** consiste em detetar na linha a presença de corrente para interpretação das condições de sinalização.
- **C – Coding:** Codificação/descodificação PCM do sinal de voz
- **H – Hybrid:** comutação digital exige a conversão de 2-4 fios através de circuitos híbridos
- **T – Testing:** um relé na entrada permite redirecionar a linha para um equipamento específico de teste na linha.
- **Identificar a constituição de um comutador de pacotes e caracterizar as respetivas funções**

Comutação de pacotes: neste caso não é estabelecido nenhum circuito, mas é atribuído espaço nas memórias dos nós de comutação. Os pacotes são armazenados em cada nó, o seu cabeçalho é processado e são depois enviados para a saída apropriada. As matrizes constituintes destes circuitos de comutação de pacotes funcionam em réplica.

Constituição:



- **Matriz de comutação:** encaminhamento de pacotes de entrada para a saída. Transfere pacotes de utilizador de uma porta de entrada para uma de saída ou para todas as portas de saída (broadcast) ou para um sub-conjunto delas (multicast).
- **Módulos de entrada/saída:**
 - Leitura de cabeçalhos de pacotes
 - Inserção/extracão de etiquetas de encaminhamento
 - Extração/inserção de pacotes de sinalização
 - Comutação de cabeçalhos a saída.
- **Sistema de controlo:**
 - Processa os cabeçalhos no sentido de estabelecer e controlar o encaminhamento dos pacotes da matriz de comutação.
 - Gere globalmente o comutador.
 - É caracterizado por parâmetros de qualidade de serviço como tempo estabelecimento de chamada e tempo de libertação de chamada.
- Mostrar que a comutação de pacotes de comprimento arbitrário pode ser assegurada por matrizes elementares de comutação de unidades de comprimento fixo (células)



Comutação de pacotes com matrizes elementares de comutação de células

Um dos princípios básicos da comutação de pacotes é a operação com matrizes elementares de comutação de células (segmentos) de comprimento fixo, isto porque:

- Permitem maior simplicidade de comutação a menor velocidade.
- Exige a utilização de multiplexadores e desmultiplexadores.
-

A comutação genérica de pacotes passa por segmentar os pacotes de comprimento variável a entrada, formando unidades menores de igual dimensão, comutados para a saída e reassemblados de forma a recuperar os pacotes originais.

O processo de comutação de cada célula pode introduzir atrasos variáveis, como tal é necessário acrescentar a entrada uma etiqueta que permita a saída obter a ordenação inicial de células para reconstituir o pacote adequadamente.

- Comparar as principais características funcionais de comutadores de circuitos e de pacotes

Bloqueio de conexões: alguns comutadores de pacotes podem não ser bloqueantes internamente: se existirem os recursos adequados a entrada e saída, nomeadamente largura de banda, os pacotes poderão ser transferidos da entrada para a saída sem perdas internas.

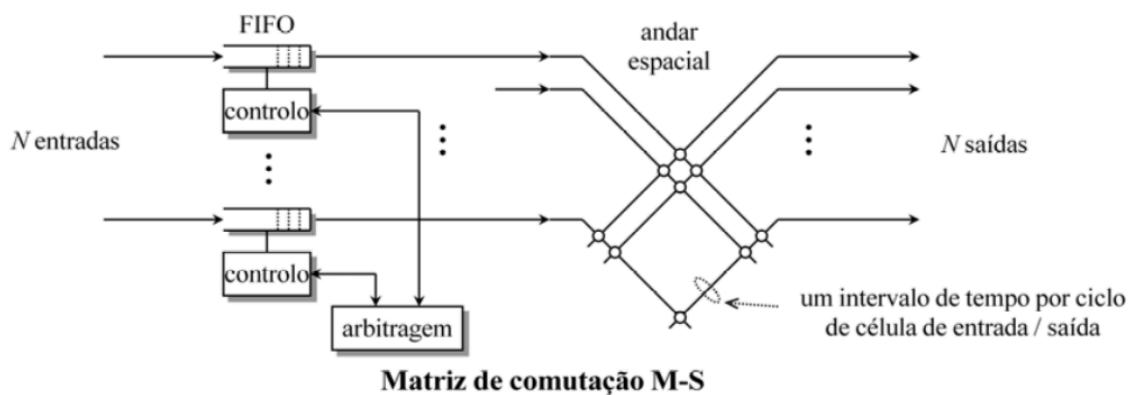
Andares espaciais: andares em que os pacotes são encaminhados dinamicamente em função da porta de destino.

Andares temporais ou de memória: andares em que os pacotes são armazenados em filas de espera do tipo FIFO.

		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

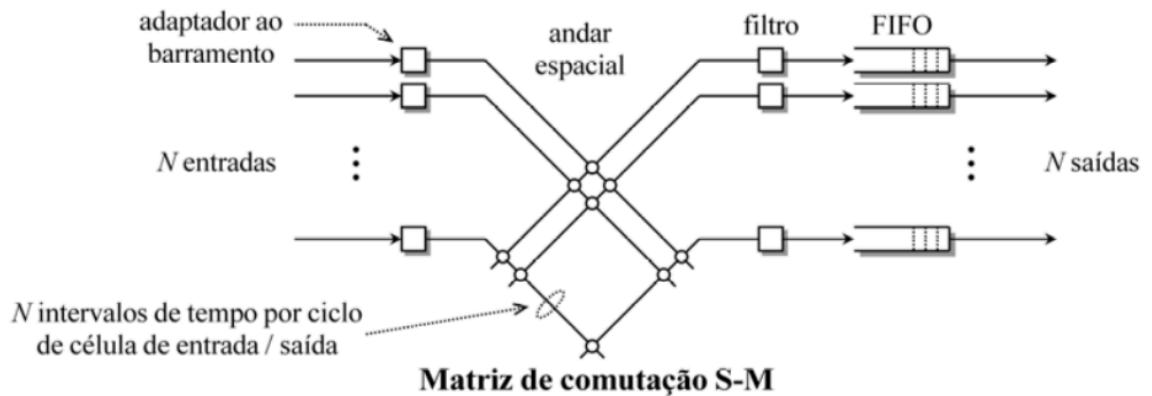
- Descrever o funcionamento e comparar os diversos tipos de matrizes de comutação de pacotes baseadas em memórias

Matriz M-S (memoria a entrada):



- Em cada entrada, células aguardam num FIFO a oportunidade de saída livre.
- Vantagens:** em cada ciclo de célula o FIFO pode ser escrito uma vez e lido uma vez; o andar espacial opera a velocidade das entradas/saídas
- Desvantagem:** Problema de bloqueio a cabeça da fila – atraso potencialmente excessivo. (Situação: N pacotes a chegar para o mesmo sitio).

Matriz S-M (memória a saída)

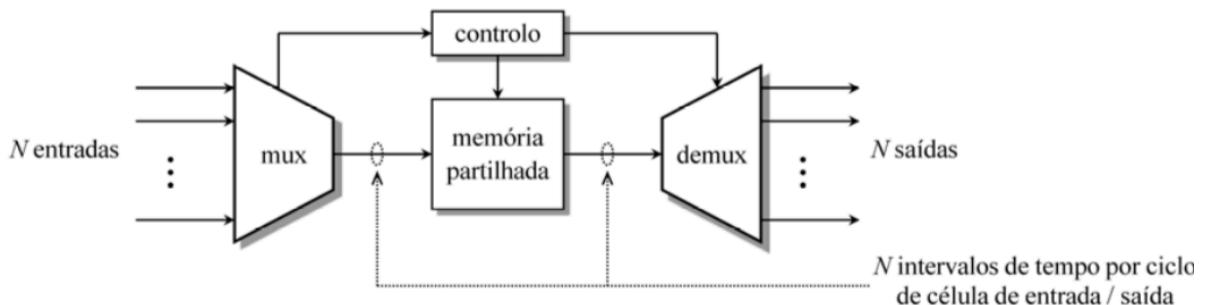


- Em cada saída, células aguardam num FIFO a oportunidade de saída livre
- **Vantagem:** atraso minimizado – matriz encaminha imediatamente as células de entrada para filas de espera a saída.
- **Desvantagens:** requisitos de velocidade, isto porque, cada ciclo de célula FIFO pode ser escrito N vezes e lido uma vez e o andar espacial opera a uma velocidade N vezes a das entradas/saídas.
- É possível usar concentração no andar espacial para reduzir requisitos de velocidade.

Os filtros que precedem cada FIFO selecionam as células que dizem respeito a saída respetiva, inspecionando o cabeçalho, ou o conteúdo de uma etiqueta colocada a entrar, contendo informação explícita da porta de destino.

Na pior das hipóteses, pode ocorrer que todas as entradas apresentem ao mesmo tempo uma célula para a mesma saída, dai ser necessário que o andar espacial escoe N células e as memórias FIFO tem de permitir a escrita de N células e a leitura de uma célula – implica velocidade elevada.

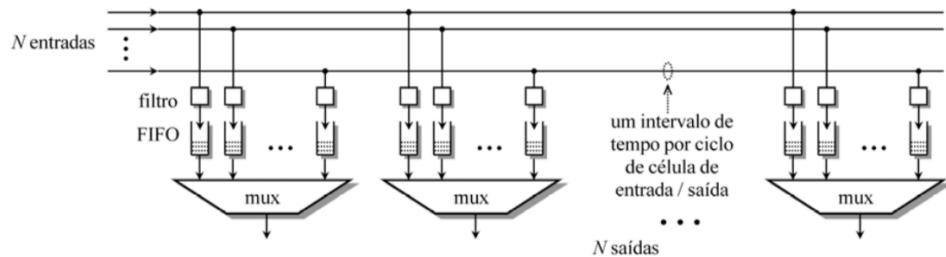
Matriz S-M-S com memoria intermedia partilhada



- Células aguardam saída livre num FIFO comum
- **Vantagens:** reduz dimensão de memória; atraso minimizado
- **Desvantagens:** aumenta complexidade do controlo; requisitos de velocidade – em cada ciclo de célula o FIFO pode ser escrito N vezes e lido N vezes

Tem um comportamento semelhante, em termos de atraso à matriz S-M otimizando adicionalmente a dimensão de memória necessária. Exige velocidades ainda mais elevadas de escrita e leitura na memória.

Matriz S-M-S com memoria intermedia distribuída



Matriz de comutação S-M-S com memória distribuída

- Células aguardam saída livre num FIFO associado a cada entrada e saída.
- **Desvantagens:** aumenta dimensão de memória
- **Vantagens:** atraso minimizado – memorização a saída, com melhoramento em termos de velocidade de barramento e de acesso as memórias que são iguais às de entradas/saídas.

Matrizes de comutação

Comparação de arquitecturas espaciais-temporais

- número e velocidade das memória referem-se a matriz com N entradas / N saídas
- velocidade das memórias expressa em ciclos de acesso por ciclo de célula

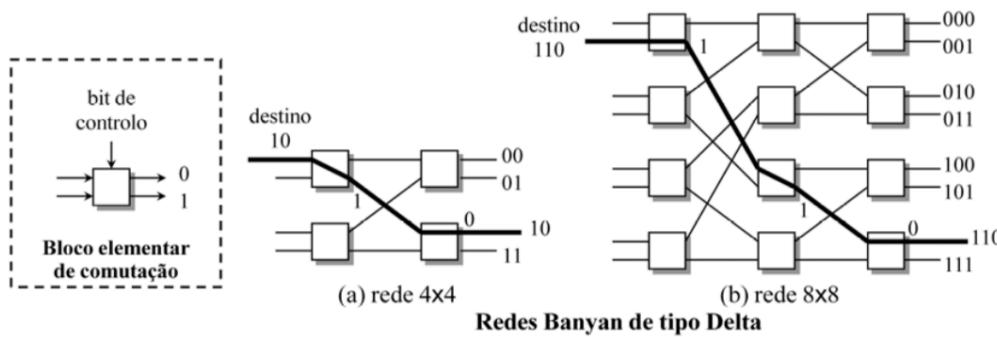
Arquitectura	Critério de comparação				
	Número de memórias	Velocidade das memórias	Dimensão das memórias	Desempenho de atraso	Arbitragem
Matriz M-S Memória à entrada	N	2	\pm	--	\pm
Matriz S-M Memória à saída	N	$N+1$	\pm	+	+
Matriz S-M-S Memória partilhada	1	$2N$	+	+	-
Matriz S-M-S Memória distribuída	N^2	2	-	+	+

Notas: + melhor \pm aceitável - pior -- inaceitável

- Descrever as características gerais e o funcionamento de matrizes de comutação baseadas em redes de interligação de andares múltiplos

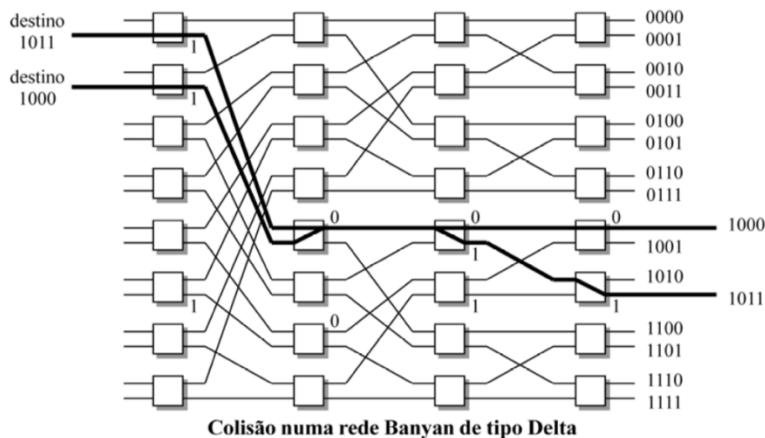
Rede de interligação de andares múltiplos MIN - Multistage Interconnection Network

- estrutura mais comum utiliza blocos elementares de 2×2 → rede Banyan
- pode ter propriedades de auto-encaminhamento → rede Delta
- etiqueta com endereço de destino é acrescentada a cada célula, na entrada
- bits da etiqueta são utilizadas como controlo de encaminhamento
- o 1º bit do endereço de destino controla o 1º andar, o 2º bit o 2º andar, etc.

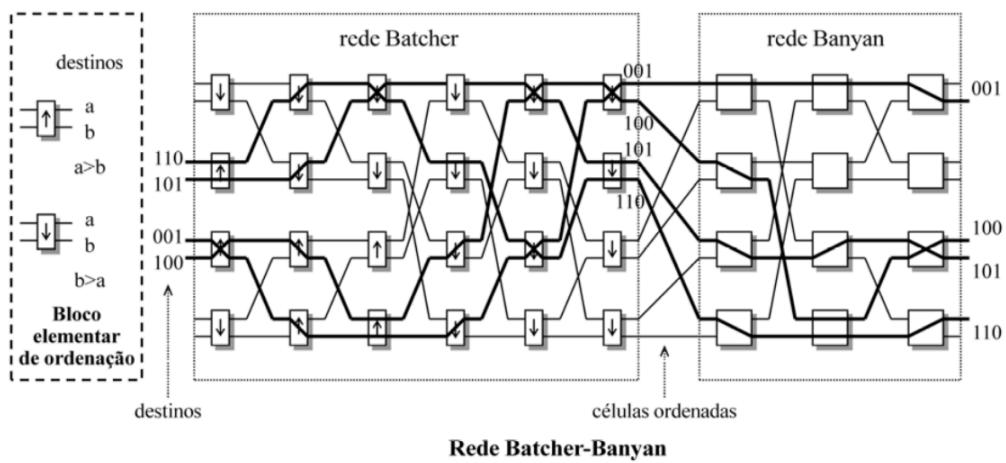


As redes de interligação de andares múltiplos são estruturas relativamente regulares baseadas em blocos elementares de pequena dimensão, o que facilita a sua concretização em circuitos integrados.

Rede de interligação de andares múltiplos
– problema desta arquitectura: colisão pode ocorrer com facilidade



Para resolver o problema de colisão, isto é, de duas células se sobreponem, resolve-se através de ordenação - rede Batchchar.



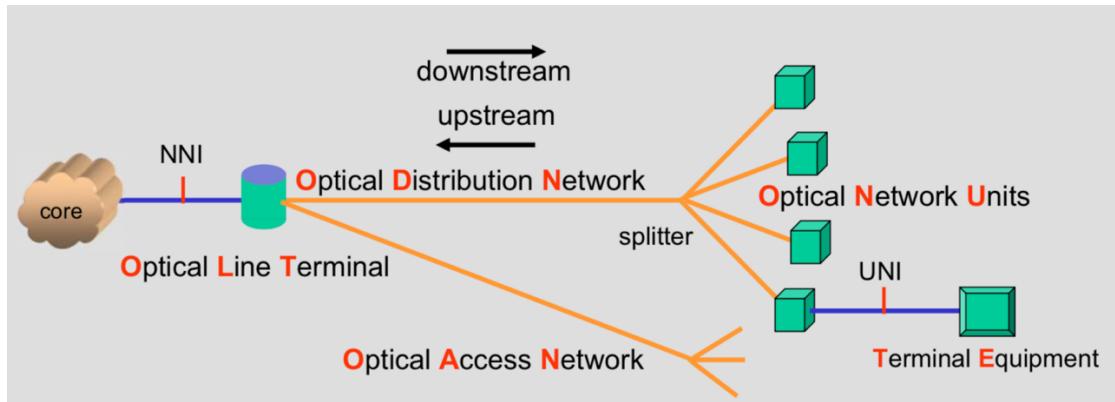
Utilizam-se blocos elementares de ordenação que analisam as etiquetas de destino das células e colocam as células a saída com uma ordenação de etiquetas predefinida.

O problema de colisão de duas células com o mesmo destino, resolve-se com a introdução de FIFOs internos em cada bloco elementar. Tem a vantagem de distribuir a memorização, mas introduz um certo atraso. Existem mecanismos para contornar este efeito, como a recirculação de células, ou seja, células numa situação de conflito regressam a entrada para nova tentativa.

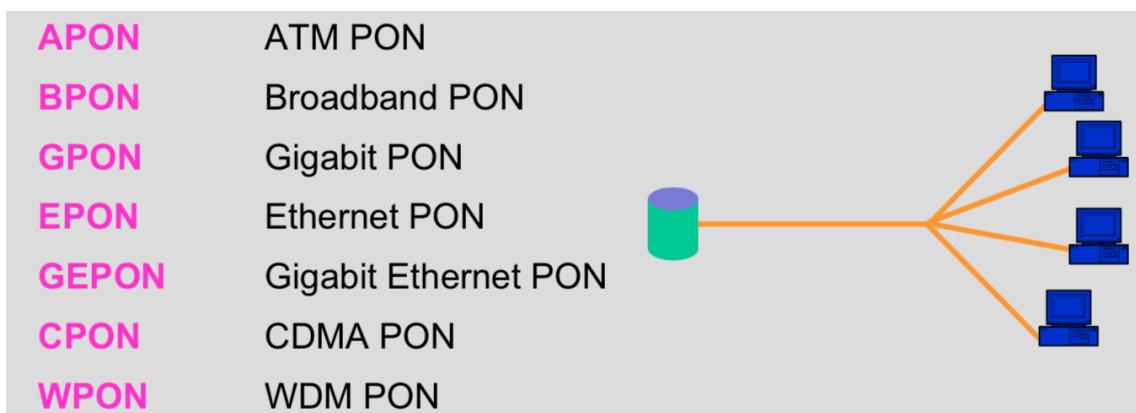
A comutação de pacotes não é um processo trivial, existe um largo campo para inovações!

8. Passive Optical Fiber Access Network (PON)

Uma rede ótica passiva (PON) é uma rede ótica ponto-multiponto que viabiliza o compartilhamento de uma única fibra ótica entre diversos pontos finais, utilizadores. Em sistemas PON todos os elementos ativos entre o provedor e utilizador são eliminados ganhando em simplicidade, fiabilidade, custo de operação e manutenção.



- **OLT:** Terminal de linha ótica. Esta localizado na central da operadora de serviços, conectando a rede de acesso a rede metropolitana. A OLT transmite sinal ótico, que é distribuído para os diversos utilizadores através dos divisores óticos passivos. A OLT é formada por diversos servidores de diversos serviços, VoIP, HDTV e Internet. Toda a transmissão da rede é gerenciada pela OLT.
- **ONU:** Unidade de rede ótica. Esta localizada perto do assinante. A ONU concentra tráfego que possa ser transmitido para a OLT. Outra funcionalidade importante é a conversão do sinal ótico em elétrico, para os dispositivos padrão.
- **Splitter:** Divisor passivo. Esta localizado entre a OLT e a ONU, sendo responsável por dividir ou combinar sinal ótico da fibra. Em downstream, sinal de entrada é dividido para todas as portas de saída. Em upstream, o sinal de todas as ONUs é combinado e transmitido a OLT.



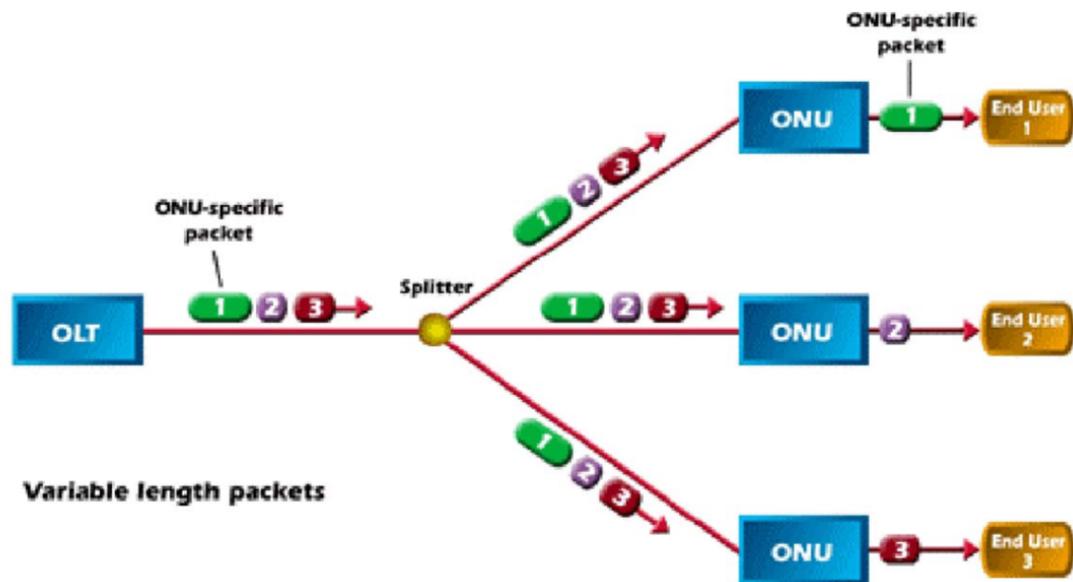
■ Identificar e comparar diferentes arquiteturas de acesso por fibra ótica

Fiber to the curb	<ul style="list-style-type: none"> • Baixa BW. • Conversor complexo.
Fiber to the premises	<ul style="list-style-type: none"> • Complexo e caro. • 2N transceptores ópticos.
PON	<ul style="list-style-type: none"> • Evita custos de conversores ópticos. • Passive <i>splitters</i>. • N+1 transceptores ópticos.

- Explicar os princípios básicos de funcionamento das redes ópticas passivas (tráfego ascendente e descendente), justificando as principais opções.

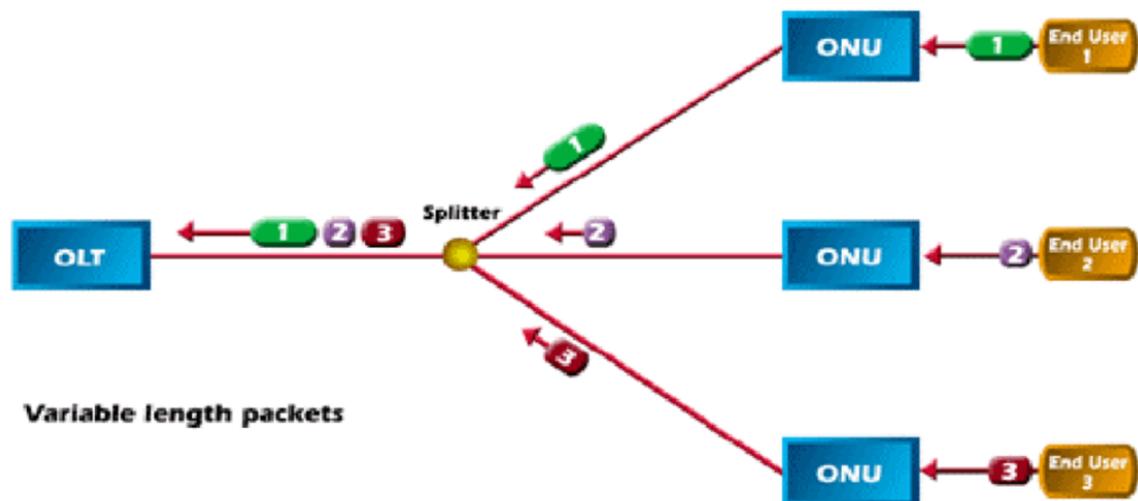
Trafego descendente: OLT manda informação em broadcast para todos os ONUs presentes na distribuição usando multiplexagem temporal (TDM). Cada ONU capta a informação destinada ao seu endereço, descartando o resto da informação. A encriptação da informação é precisa para manter a segurança das operações.

Downstream Traffic Flow in a PON



Trafego ascendente: ONUs partilham a largura de banda, usando para isso multiplexagem temporal de múltiplo acesso (TDMA). A OLT aloca a largura de banda dinamicamente de acordo com os níveis da filas de cada ONU. Nesta operação é feita a medição do tempo de propagação ONU-OLT.

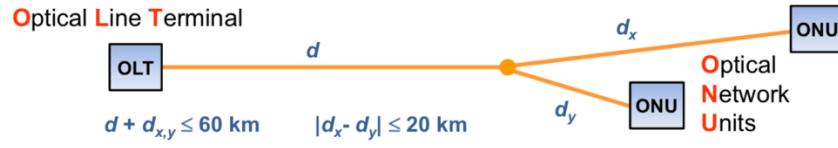
Upstream Traffic Flow in a PON



- Estabelecer o balanço de potência de um acesso numa rede ótica passiva e calcular o respetivo alcance

▪ Alcance

- Vários modos previstos, correspondentes à utilização de componentes de emissão e receção e tipos de fibra ótica com diferentes características
- Sistema típico: 20 km
- Sistema de baixo custo: 10 km
- Sistema de longa distância: 60 km, com diferença máxima de 20 km entre o ONU mais próximo e o mais distante



Alcance do sistema de longa distância

▪ Balanço de potência

- P_e : potência de transmissão ótica
- P_r : potência mínima (sensibilidade) no receptor
- BP : balanço de potência

$$BP = P_e - P_r$$

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

$$BP = \alpha L + \sum \text{Perdas Componentes} + \text{Margem}$$

(α : atenuação específica da fibra)

▪ Balanço de potência

- Exemplo

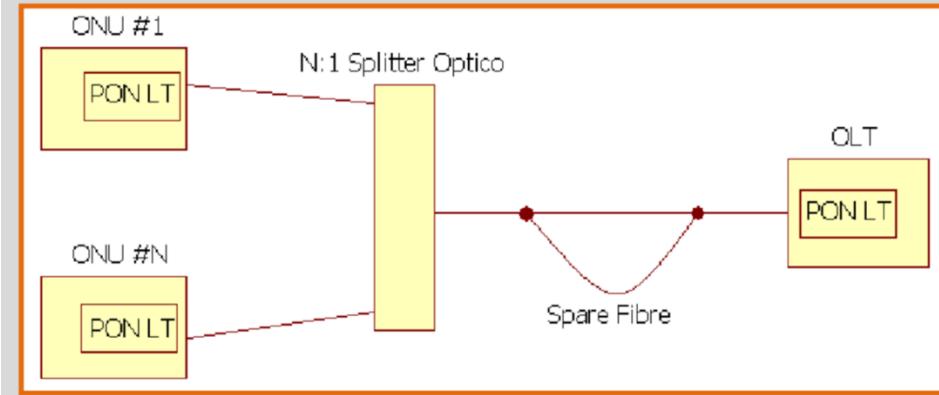
- Fibra ótica monomodo a 1310 nm e divisor 1:32
- Atenuação específica: $\alpha = 0,35 \text{ dB/km}$
- Perda de inserção do divisor: $P_d = 16,5 \text{ dB}$
- Perdas em conectores: $P_c = 2 \text{ dB}$
- Potência de transmissão ótica: $P_e = 0 \text{ dBm}$
- Potência mínima (sensibilidade) no receptor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

$$L_{max} = \frac{BP - \sum \text{Perdas Componentes}}{\alpha}$$

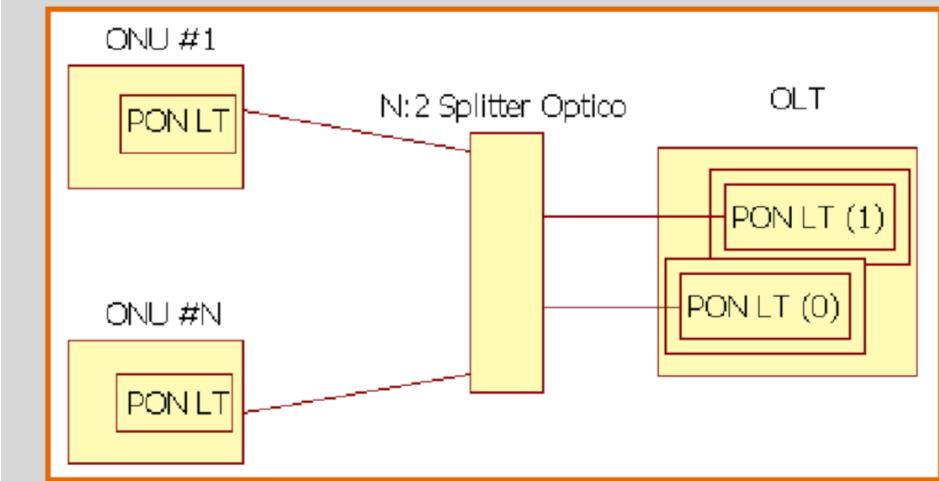
- Identificar as diversas opções de proteção em redes óticas passivas

As proteções nas redes de fibra ótica passiva são feitas duplicando equipamentos ativos, dos divisores ou da própria fibra. Esta proteção é assegurada por comutação automática ou forçada.

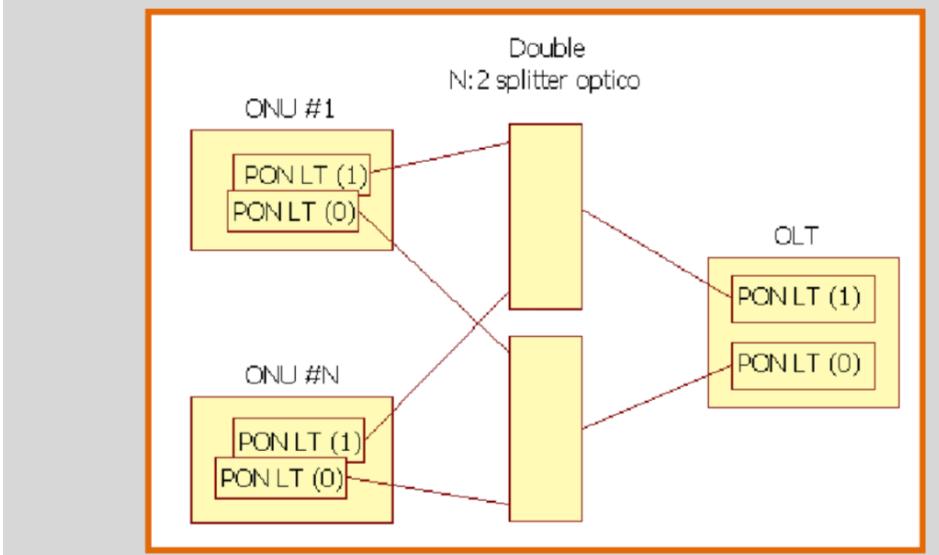
Tipo A: duplica apenas a fibra ótica - neste caso, o ONU e OLT são singulares



Tipo B: duplica o OLT e a fibra ótica entre os OLTs e o *splitter* óptico - o *splitter* terá duas entradas/saídas no lado do OLT

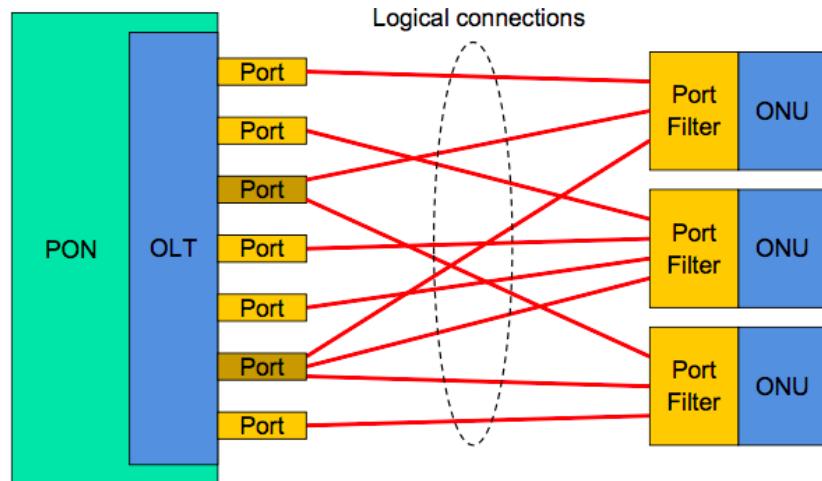


Tipo C: duplica não só do lado do OLT, mas também do lado do ONU



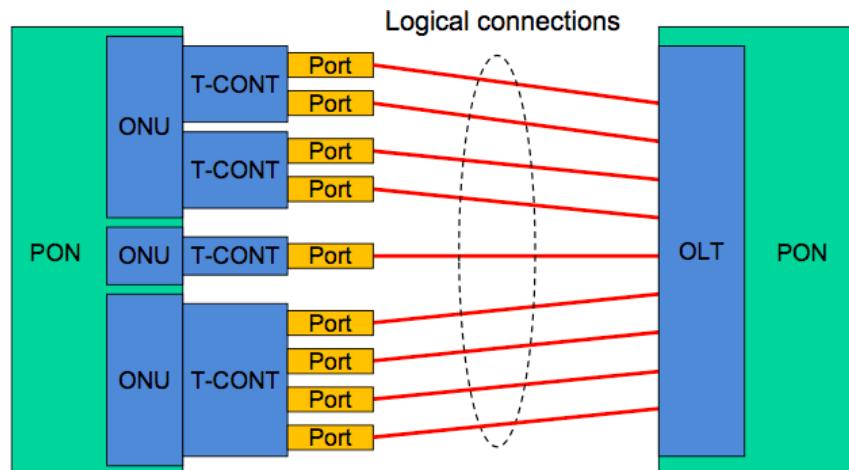
- Identificar os mecanismos de multiplexagem de ligações lógicas nas ligações ascendente e descendente

Ligação descendente: a funcionalidade de multiplexação de tráfego é centralizada e orientada a conexões.



- O OLT multiplexa estruturas GEM (GPON encapsulation method) no meio de transmissão usando o port-id como identificador de conexão logica.
- Cada ONU filtra as tramas GEM a baseadas na port-id e processa apenas as que pertencem a ONU correspondente.
- Cada GEM-port-id pode ser atribuída a múltipla ONU, para suportar multicast nos canais lógicos.

Ligação ascendente: a funcionalidade de multiplexação de tráfego é distribuída e orientada a conexões.



- Cada ONU pode suportar um ou mais T-CONT (transmission containers) – cada um destes contentores, representa uma entidade transportadora de tráfego a montante.
- A OLT garante as oportunidades de tráfego ascendente para cada contentor – alocando a largura de banda necessário e identificando cada alocação com uma Allocation-ID.
- Cada transmission container, pode suportar um ou múltiplas conexões lógicas – as tramas GEM são multiplexadas para cada um usando o port-id.

Percebendo cada identificador:

- ONU-ID:** identifica a ONU, atribuído pelo OLT.
- Alloc-ID:** identifica a entidade transportadora de tráfego a montante (traffic-bearing entity).
- GEM Port-id:** identificador de conexão logica, atribuído pela OLT.

- Explicar em linhas gerais o mecanismo de atribuição de largura de banda na ligação ascendente

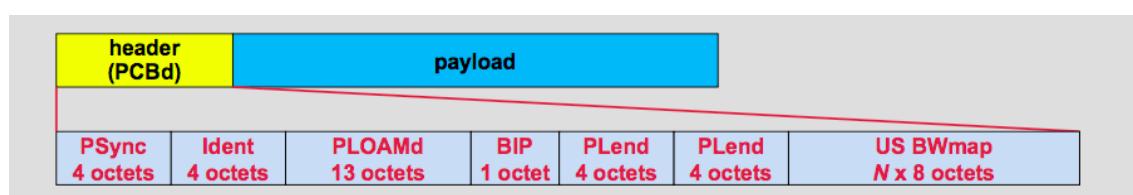
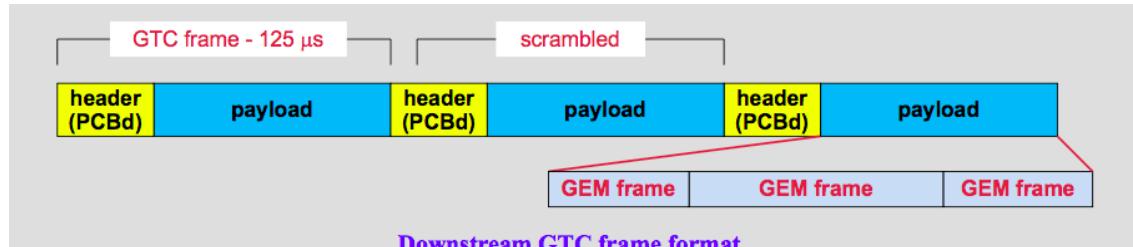
A terminação de linha ótica (OLT) é responsável para atribuição da largura de banda as ONUs, isto porque, como a rede ótica é compartilhada e as transmissões ascendentes podem colíder se forem transmitidas em horários aleatórios.

As ONUs podem ficar a distâncias diferentes do OLT, o que significa que o atraso de transmissão para cada ONU é único. Como tal, o OLT mede o atraso e define para registo em cada ONU por meio de mensagens PLOAM (Physical Layer Operations, Administration and Maintenance), ou seja, operações da camada física e manutenção para igualar o seu atraso em relação as outras ONUs. Uma vez que o atraso de todas as ONUs tenha sido definido, o OLT transmite para as chamadas concessões de cada ONU individual. Uma concessão é a permissão para usar um intervalo de tempo definido para a transmissão ascendente. O mapa de concessão é dinamicamente recalculado a cada intervalo de milissegundos. Este mapa aloca a largura de banda para todas as ONUs, de modo a que cada uma receba a largura de banda adequada para as suas necessidades de serviço.

- Analisar os formatos de trama das ligações ascendente e descendente, relacionando os campos definidos com os respetivos mecanismos funcionais

Trafego descendente:

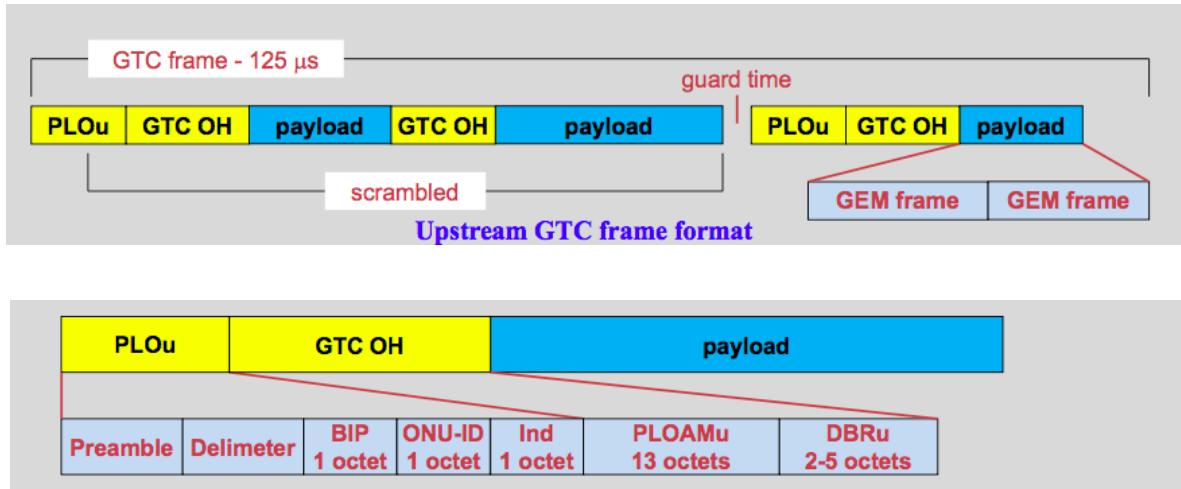
- **GTC – GPON Transmission Convergence** – tramas de 125 microsegundos.
- Trama GTC consiste num header (**PCBd** – Physical Control Block downstream) + payload
- **Header (cabeçalho)** é fixado através do padrão de sincronização física.
- **Payload (dados)** – contém tramas GEM com dados do utilizador.
- Dados transmitidos são codificados.



- **PSync** – Sincronização física: 32bits que definem o padrão de alinhamento no início de cada PCBd
- **Ident** – Identificador.
- **PLOAMd** – Operações, Administração e Manutenção das mensagens em tráfego descendente.
- **BIP** – Paridade entrelaçada de bits: mede o numero de erros na ligação.
- **Plend** – Payload lenght downstream: tamanho da largura de banda do mapa.
- **US BWmap** – Upstream bandwidth map: alocação dinâmica baseada na monitorização do estado do tráfego reportado pelo ONU.

Trafego ascendente:

- GTC – GPON Transmission Conversgence – tramas de 125 microsegundos.
- As tramas GTC são compartilhadas entre ONUs e são transmitidas como rajadas(bursts), tendo estas as seguintes características:
 - Consiste em PLOu + GTC OverHead + payload
 - Tem um preambulo e um delimitador para sincronização
 - São separados por um determinado tempo de guarda.
 - A informação é codificada, tirando o preambulo e o delimitador.



- **Preambulo + delimitador:** garantem que o OLT receba potencia, fase e que obtenha o alinhamento da drama
- **BIP** – (Paridade)
- **ONU-ID** – ONU identifier
- **Ind** – Indicação: Estado da ONU reportado ao OLT
- **PLOAMu**
- **DBRu** – Dynamic Bandwidth Report upstream

(CODIFICAÇÃO DIGITAL DE VOZ)

Atributos dos codificadores de voz:

- Debito binário
 - Pode ser variável.
 - O objetivo é que seja baixo para rentabilizar os meios de comunicação.
 - Deseja-se suprimir períodos de silêncio: técnica de interpolação de voz, na qual, se liberta a largura de banda para outros utilizadores que partilham o meio e permite um certo grau de multiplexagem estatística entre utilizadores.
- Complexidade
 - Função dos recursos necessários para executar os algoritmos de codificação.
 - Expressa normalmente na capacidade computacional exigida. (eletrónica de baixa integração)
 - Objetivo é ter baixa complexidade para reduzir custo de implementação.
- Atraso
 - Intervalo de tempo entre o início da codificação e fim da descodificação.
 - O objetivo é que seja reduzido para ser próximo da conversação natural.

- Qualidade
 - Traduz a percepção da comunicação pelos utilizadores.
 - Exprime-se através da média de opinião.
 - Objetivo é que seja elevada para melhorar a aceitação.

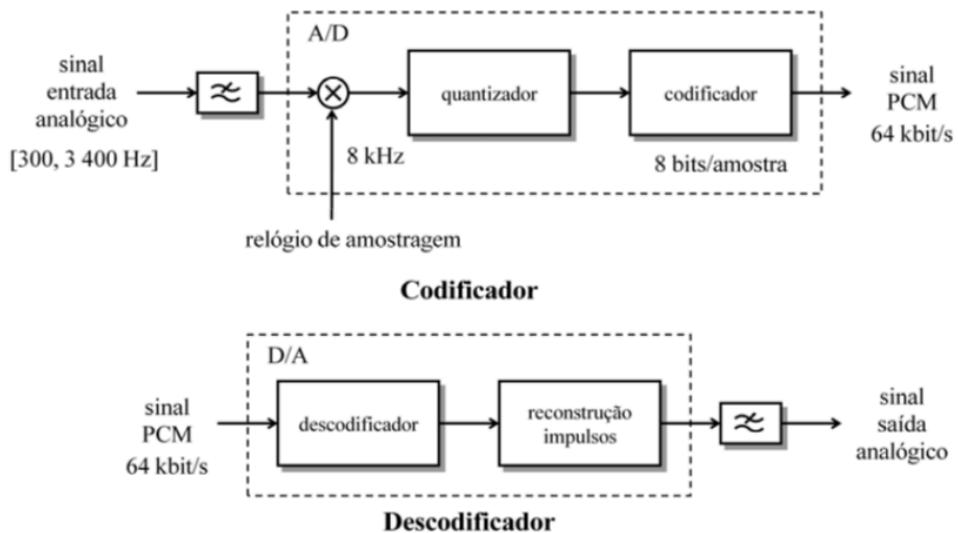
Classes de codificadores

- Codificadores de forma de onda:
 - Características gerais:
 - Independentes do sinal a codificar
 - Produzem débitos elevados
 - Boa qualidade
 - Princípios de operação e atributos:
 - Não assumem qualquer conhecimento sobre a geração do sinal a codificar.
 - Procuram obter um sinal com uma forma de onda semelhante ao original.
 - Operam de forma satisfatória com sinais de voz e outros sinais
 - Baixa complexidade e realização prática
 - Atraso reduzido.
 - Débitos acima de 16 kbit/s
 - Quantização pode ser uniforme ou não uniforme

Codificador PCM (*Pulse Code Modulation*)

- Princípio de codificação

Sistema básico utilizado em telefonia digital



- Codificadores de fonte (vocoders):

- Características gerais:
 - Usam um modelo para geração do sinal.
 - Operam a baixos débitos.
 - Tendem a produzir sinais de voz sintéticos
- Princípios de operação e atributos:
 - Parâmetros de voz extraídos no codificador e enviadas para o descodificador
 - Permitem débitos da ordem de 2,4kbits/s
 - Atrasos de codificação elevados
 - Qualidade baixa.

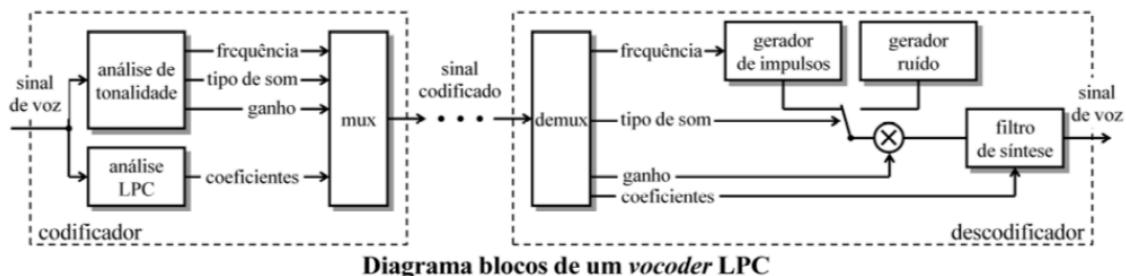
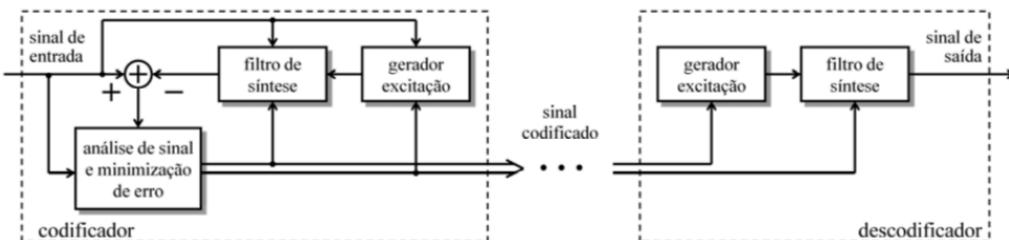


Diagrama blocos de um *vocoder* LPC

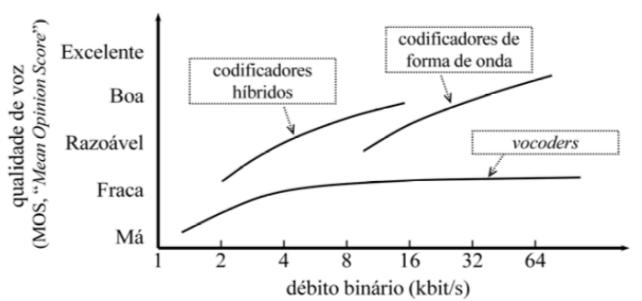
- Codificadores híbridos:

- Características gerais:
 - Combinação das técnicas anteriores.
 - Boa qualidade.
 - Débitos intermédios.
- Princípios de operação e atributos:
 - Codificação bastante rápida.
 - Introduzem um atraso do algoritmo.
 - Introduzem complexidade.
 - Sinal de excitação e o filtro são definidos de modo a minimizar o erro do sinal.
 - Malha de realimentação melhora qualidade e reduz erro.
 - Usados em redes de dados: GSM.



Estrutura de um *codec* híbrido

Gráfico comparativo:

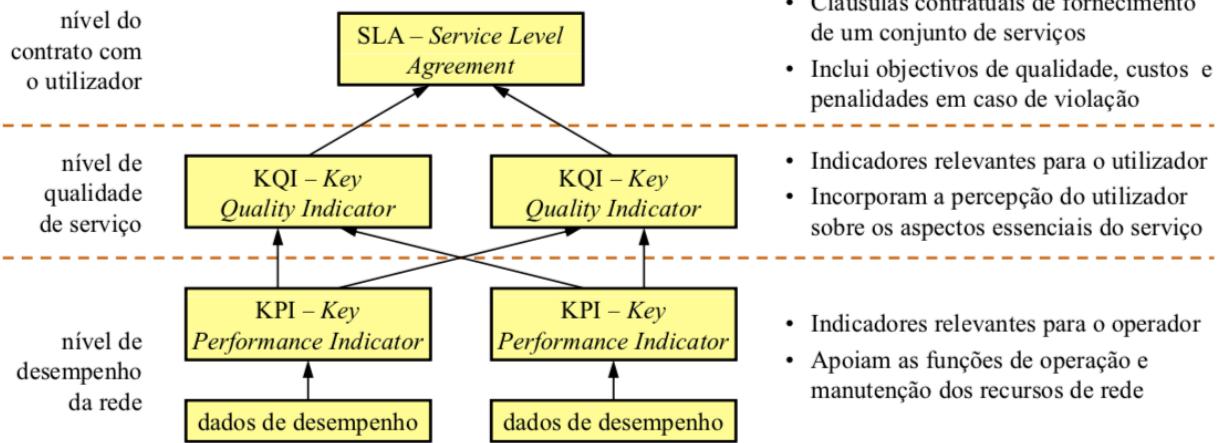


Qualidade de voz versus débito binário para as classes de *codecs*

9. Aspectos de Qualidade de Serviço

- Questão a considerar: Como relacionar a qualidade de serviço percebida pelo utilizador com o desempenho dos recursos de rede que contribuem para o serviço?

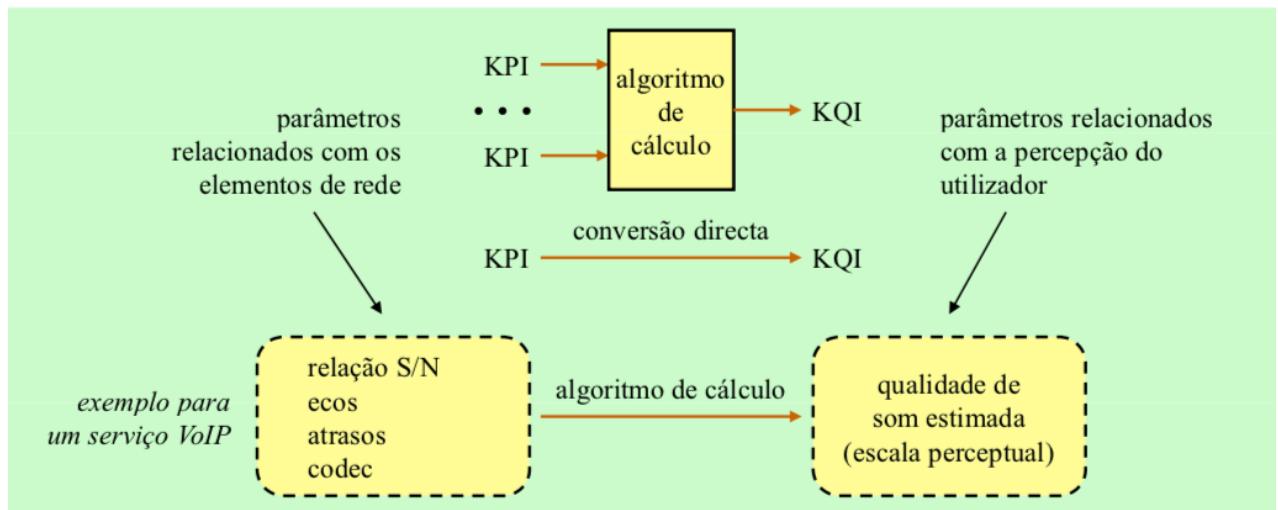
Modelo hierárquico



- KQI – Indicador-chave de qualidade de serviço
- KPI – Indicador-chave de desempenho

Relação entre os indicadores

- os KQIs são obtidos por aglutinação ou combinação de KPIs
- é possível que um KPI seja directamente convertido num KQI



Estes indicadores, são ferramentas de gestão para se realizar a medição e o consequente nível de desempenho e qualidade, de um determinado processo. Existem varias categorias de indicadores quantitativos e qualitativos. Os SLAs são acordos de nível de serviço baseados em KPIs customizados, nos quais se estabelece uma condição para uma ou mais atividades que acionam uma consequência. Estes termos são abrangentes e usados por varias áreas de negócio, porque são um veículo de comunicação entre o utilizador e a raiz do serviço. Em baixo são apresentados os tipos de indicadores e o que se tem a considerar para cada um deles.

Classificação dos 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 esboletada a sua execução	intervalo de operação do atraso estatística de ocorrência do atraso	máximo / mínimo em situação de pior caso média - percentis

Indicadores chave de desempenho (KPIs)

Causas de degradação

nesta disciplina abordam-se sobretudo os indicadores chave de desempenho KPIs

- antes de mais, é necessário assegurar que o planeamento e projecto sejam adequados aos requisitos de operação

Classe do indicador	Causas de degradação
Disponibilidade	<ul style="list-style-type: none"> • falhas de elementos de rede (hardware ou software) • estragos ou deterioração nos meios de transmissão do sinal • erros humanos de exploração ou manutenção • situações extremas de carga
Precisão	<ul style="list-style-type: none"> • defeitos em elementos de rede (hardware ou software) • efeitos adversos na transmissão do sinal
Eficiência	<ul style="list-style-type: none"> • atraso de transmissão → difícil de contornar • excesso de carga • limitação de capacidade de processamento

Indicadores chave de desempenho (KPIs)

Obtenção de dados de desempenho extremo a extremo

- períodos de observação
 - períodos curtos → apenas para indicadores de precisão e eficiência
 - períodos longos → podem ser geradas estatísticas de indicadores
- métodos intrusivos
 - aplicados em situações fora de serviço → aproveitando períodos de inactividade, na fase de instalação ou no âmbito de acções de manutenção
 - injectam-se sinais de teste que simulam as condições operacionais
 - efectuam-se medidas directas dos indicadores de desempenho
- métodos não intrusivos
 - aplicados em serviço operacional, sem interferir com o próprio serviço
 - efectuam-se medidas dos indicadores relevantes, algumas das quais indirectas
 - resultados menos completos mas mais alargados do que os anteriores, por serem efectuados continuamente sobre os sistemas em serviço



Indicadores chave de desempenho (KPIs)

Determinação de objectivos de desempenho extremo a extremo

- valoriza-se sobretudo a expectativa dos utilizadores
- concertação internacional traduzida em recomendações ITU - ETSI - IETF, etc.

Classificação na escala MOS - *Mean Opinion Score*

aplicável a indicadores de precisão e eficiência

- serviços audiovisuais avaliados por painéis de pessoas
- escala MOS permite testar o impacto perceptual de variações de um parâmetro

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



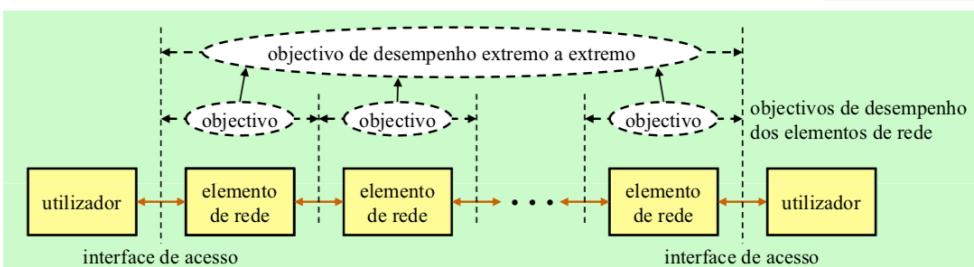
Exemplo de resultados de avaliação de MOS

Gestão do desempenho extremo a extremo

Relação entre desempenho extremo a extremo e desempenho de elementos de rede

- cada elemento de rede que participa na execução de um serviço
 - tem objectivos de desempenho específicos
 - contribui para os objectivos extremo a extremo
- necessário compatibilizar os dois tipos de objectivos
- mais difícil quando são envolvidos múltiplos operadores

recomendações internacionais
SLAs entre operadores

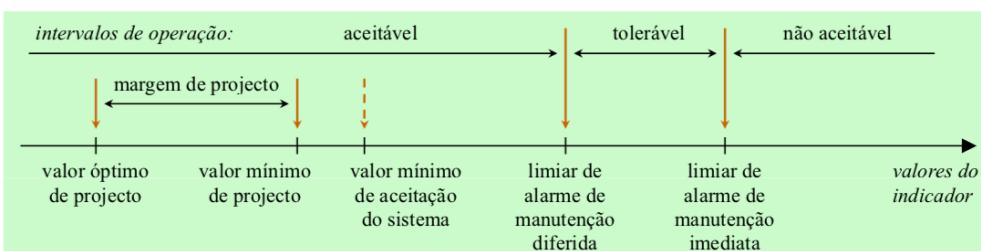


Compatibilização entre objectivos de desempenho

Gestão do desempenho extremo a extremo

Controlo do desempenho dos elementos de rede

- assegurado por processos de supervisão no âmbito da gestão de rede
- definem-se igualmente indicadores de desempenho de cada elemento de rede
- limites operacionais dos indicadores podem ser utilizados para sinalizar degradação
- geram-se alarmes que activam procedimentos de manutenção
- definidos outros limites para validação do projecto e aceitação do sistema

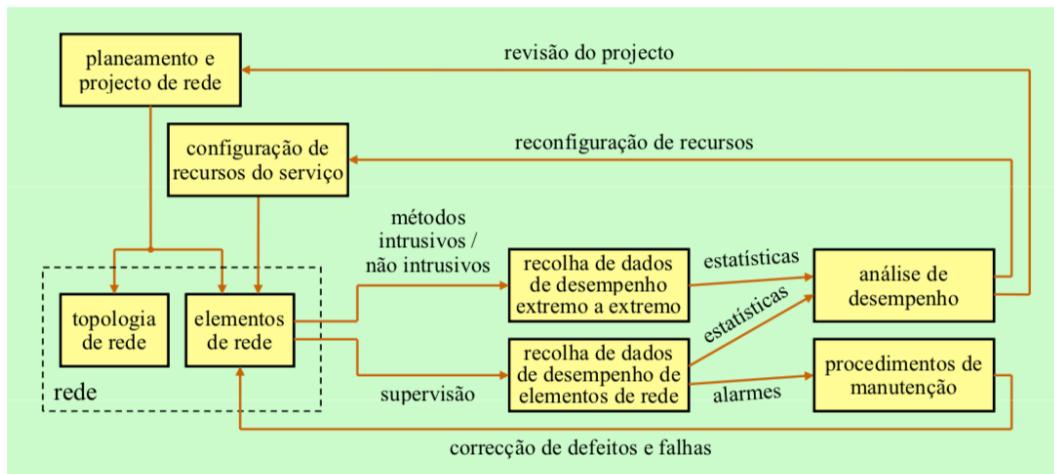


Limiáres operacionais de um indicador de desempenho de um elemento de rede



Gestão do desempenho extremo a extremo

Visão geral dos processos de gestão do desempenho



Gestão do desempenho: do planeamento de rede ao controlo do desempenho de elementos de rede

Tipos de indicadores

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

Tipos de indicadores

Classe do indicador	Caracterização
Precisão	Nível de sinal
	Nível de ruído
	Retorno de eco
	Distorção
	Taxa de perda de SDUs - Service Data Units (pacotes, células, tramas)
	Taxa de erros
Eficiência	Atraso de transmissão
	Tremuras (<i>jitter</i>)