
Rede Fixa de Telecomunicações

- **Modos de transferência da informação**
- **Arquitetura da rede**
- **Áreas funcionais da rede**
- **Evolução da rede**

Neste capítulo, começa-se por discutir os modos de transferência de informação utilizados em redes de comunicação eletrónica.

Seguidamente, apresenta-se e justifica-se a topologia da rede fixa de telecomunicações, resultante inicialmente do desenvolvimento da rede telefónica, para finalmente convergir para uma rede de dados universal.

Procura-se dar uma visão global dos elementos que a constituem, pondo em destaque quer o papel que cada um deles desempenha, quer a sua articulação. Neste sentido, identificam-se e caracterizam-se as áreas funcionais de equipamento terminal de utilizador, rede de acesso, rede de transporte, rede de comutação e redes auxiliares. Esta abordagem sintética do conjunto da rede fixa de telecomunicações tornará possível a exploração detalhada efectuada em cada um dos capítulos seguintes, tendo sempre presente a visão global da rede.

Finalmente, perspectiva-se a evolução da rede fixa de telecomunicações, desde a rede analógica, passando pela fase de digitalização e posterior integração de serviços, até à fase atual de oferta diversificada de redes e serviços e convergência com as redes de dados.

Modos de transferência da informação

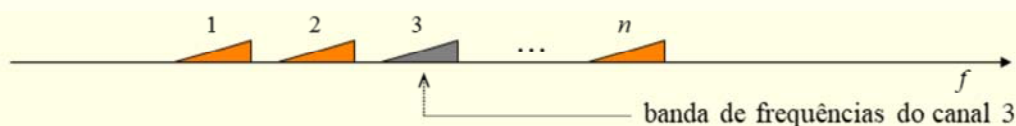
Modo de circuito

modo fundamental utilizado na rede pública telefônica comutada
PSTN - Public Switched Telephone Network

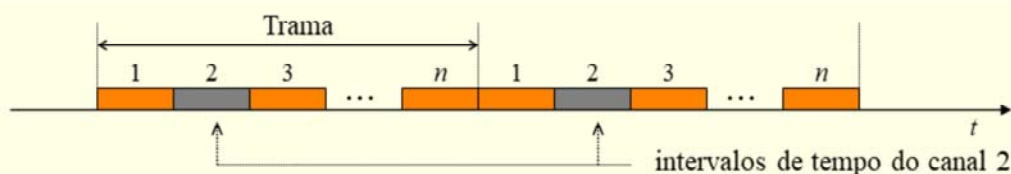
Multiplexagem

- são utilizadas técnicas de **multiplexagem determinística**
- cada canal ocupa
 - uma banda fixa ou
 - intervalos de tempo cíclicos em tramas sucessivas

débito constante
atraso constante



Multiplexagem de frequências em modo circuito



Multiplexagem temporal em modo circuito

Sistemas de Telecomunicações

Rede Fixa de Telecomunicações

O modo de circuito é uma técnica utilizável tanto em redes analógicas como em digitais. Neste estudo, concentra-se a análise no caso digital, pela sua importância dominante.

Um circuito pode ser suportado diretamente sobre um canal físico de comunicação dedicado (referiremos indistintamente o circuito ou o próprio canal físico dedicado).

No caso da multiplexagem de frequência, um canal físico suporta múltiplos circuitos. Cada um deles dispõe de uma largura de banda pré-definida, adequada ao débito e codificação do sinal a transmitir. São necessárias ainda bandas de guarda adicionais para reduzir as interferências entre canais adjacentes.

De forma análoga, no caso da multiplexagem temporal, um canal físico suporta múltiplos circuitos, sendo cada um deles caracterizado por um débito binário constante (pré-definido), embora, como veremos a seguir, possa ser alterado dinamicamente.

Em qualquer dos casos, o atraso de transmissão é constante.

O modo de circuito é, por isso, especialmente adequado a serviços de débito constante (serviços CBR, *Constant Bit Rate*).

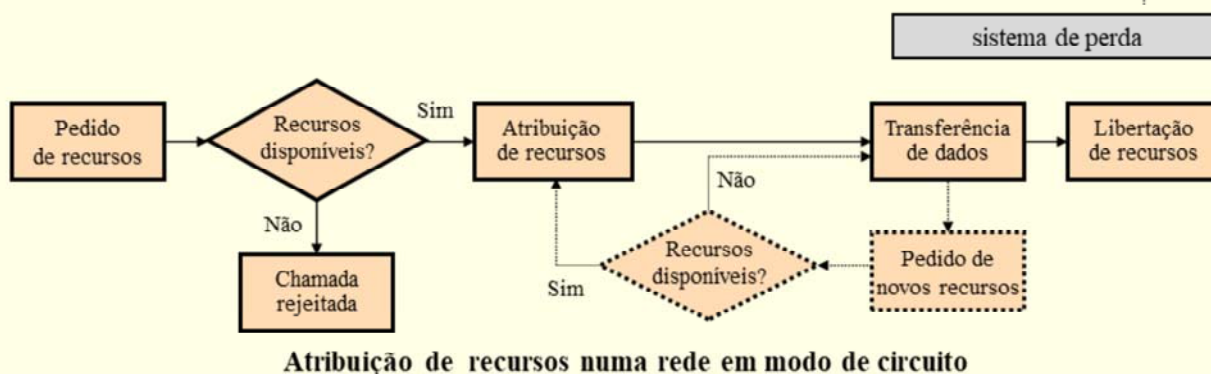
Como veremos mais tarde, na multiplexagem temporal a estruturação da informação em tramas exige um pequeno acréscimo (*overhead*) para sincronização geral da trama, e, conseqüentemente, do conjunto de canais.

Modos de transferência da informação

Modo de circuito

Acesso aos recursos

- os recursos são solicitados à rede, no início da chamada, através de sinalização
- se a rede tiver disponibilidade, são atribuídos; caso contrário a chamada é rejeitada
- estabelece-se uma conexão (circuito) entre os sistemas terminais
- pode haver renegociação de recursos (aumento ou redução de débito)
- os recursos são libertados no fim da chamada, através de sinalização



Atribuição de recursos numa rede em modo de circuito

Sistemas de Telecomunicações

Rede Fixa de Telecomunicações

Uma das características do modo circuito é a necessidade de uma fase prévia de estabelecimento de conexões.

Só nesta fase de atribuição de recursos é que há competição: uma vez atribuído, o circuito é utilizado em exclusivo pelos sistemas terminais até à sua libertação.

A possibilidade de renegociação dinâmica de circuitos em certos sistemas ultrapassa uma das maiores limitações do modo circuito: o débito pode ser adaptado a requisitos variáveis das fontes.

Modos de transferência da informação

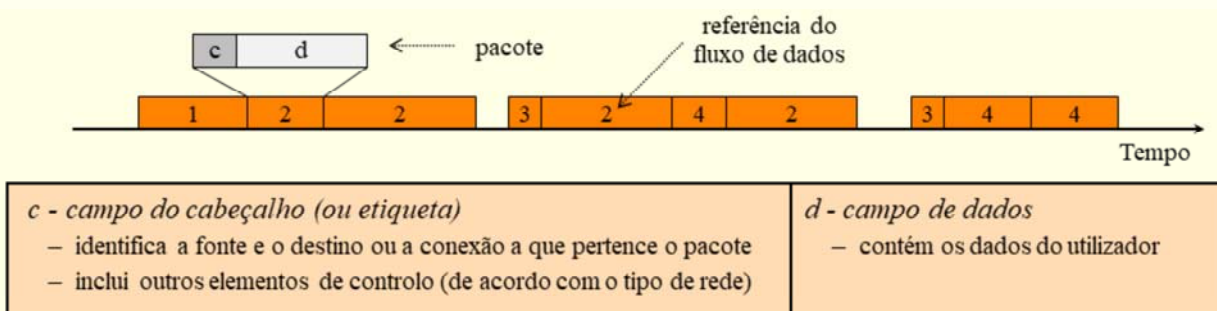
Modo de pacote

modo com origem nas redes de dados

Multiplexagem

- são utilizadas técnicas de *multiplexagem temporal estatística*
- os dados a enviar são inseridos em estruturas autónomas designadas de pacotes
- a identificação dos canais é feita pelo conteúdo do cabeçalho
- cada fonte pode transmitir mais ou menos informação

débito variável



Multiplexagem temporal em modo pacote

Sistemas de Telecomunicações

Rede Fixa de Telecomunicações

Pela sua natureza, o modo de pacote é aplicável apenas a comunicações digitais.

Neste caso, o canal de comunicação assenta num fluxo de pacotes, suportando serviços de débito variável (serviços VBR, *Variable Bit Rate*) da seguinte forma:

- o comprimento de cada pacote pode variar;
- o frequência de pacotes pode também variar;
- no limite, se não houver dados a transmitir, não são transmitidos pacotes (não é utilizada qualquer banda por uma fonte inativa).

Como o cabeçalho representa um acréscimo (*overhead*) por pacote, o acréscimo total é geralmente superior ao existente nas redes em modo de circuito. No entanto, esta perda de eficiência das redes em modo de pacote é rapidamente recuperada no caso de serviços de débito variável (VBR):

- se fosse utilizada o modo de circuito, o débito do canal deveria ser o débito máximo da fonte para não haver perda de informação - consequentemente, em grande parte do tempo, o canal estaria subutilizado;
- com o modo de pacote, é apenas utilizado, em cada momento, o débito requerido pela fonte, ficando o excedente disponível para os outros canais.

A forma como o identificador do campo do cabeçalho referencia o pacote depende do tipo de rede:

- nas redes que suportam serviços sem conexões, os pacotes são completamente autónomos, contendo por isso necessariamente a identificação da fonte e do destinatário;
- nas redes que suportam serviços orientados às conexões, ocorre previamente uma fase de estabelecimento de conexões, pelo que os pacotes transmitidos são referenciados à conexão a que pertencem através de um simples identificador.

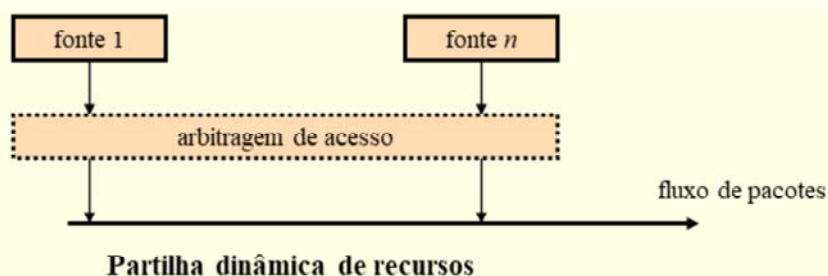
Modos de transferência da informação

Modo de pacote

Acesso aos recursos

- duas ou mais fontes podem tentar enviar simultaneamente pacotes
- um protocolo adequado resolve o conflito de acesso aos recursos
 - só uma fonte pode transmitir o respetivo pacote
 - os pacotes das outras fontes são memorizados
 - repete-se o processo até se esgotarem os pacotes a transmitir
- ocasionalmente poderá haver sobrecarga nos nós da rede
- as fontes poderão ter de reduzir o débito, para minimizar a perda de pacotes

atraso variável
sistema de atraso



Sistemas de Telecomunicações

Rede Fixa de Telecomunicações

O principal problema das redes de pacotes resulta do processo de competição pelos recursos, já que numa rede em sobrecarga podem resultar atrasos e eventualmente perdas de pacotes.

No entanto, o aumento de eficiência compensa largamente estes inconvenientes, de tal forma que este modo, tendo a sua génese nas redes de dados, tem vindo a ser igualmente adotado no transporte de informação nas redes públicas de telecomunicações.

Modos de transferência da informação

Modo de pacote

Redes sem conexões

- não requerem o estabelecimento de conexões
- transferem pacotes de forma autónoma: *datagramas*

exemplos de protocolos:
LAN's
IP

Princípios de comunicação

- Operação sem conexões
 - não é necessária a fase de estabelecimento e libertação de conexões
 - em contrapartida, todos os pacotes têm de ter endereços de origem e destino (Internet=32 bits)
- Transferência de dados
 - cada pacote é enviado logo que disponível e é tratado autonomamente pela rede
 - os pacotes podem seguir trajetos diferentes e chegar fora da ordem por que foram enviados
 - não são disponibilizados pela rede deteção/correção de pacotes perdidos nem controlo de fluxo
 - passa a ser responsabilidade do equipamento sistema terminal tratar estas situações de erro
 - não é necessário dispor de informação nos nós sobre as comunicações em curso (informação de estado)

Sistemas de Telecomunicações

Rede Fixa de Telecomunicações

Neste caso, cada pacote tem o endereço completo e é encaminhado de forma independente dos outros. A possibilidade de haver pacotes perdidos ou fora de ordem requer que o emissor os numere antes de os enviar; que o recetor faça, se necessário, a sua reordenação, e que peça o reenvio no caso de algum pacote não chegar dentro de um certo intervalo de tempo expectável.

Devido à semelhança com os telegramas, como unidades transferidas autonomamente numa rede postal, os pacotes deste tipo de redes recebem a designação de "**datagramas**".

Modos de transferência da informação

Modo de pacote

Redes com conexões

- requerem o estabelecimento de conexões
- disponibilizam *circuitos virtuais*

exemplos protocolos:

Frame Relay
ATM
MPLS

Princípios de comunicação

- Estabelecimento da conexão através de sinalização
 - dois sistemas terminais em cada extremo negociam as características da conexão
 - os endereços de origem e destino só são enviados nesta fase (tipicamente até 56 bits cada, no máximo)
 - estabelecem-se identificadores de conexão para permitir o encaminhamento nos nós de comutação
- Transferência de dados
 - os pacotes transportam apenas o identificador de conexão, de reduzido comprimento (redes ATM=28 bits)
 - os pacotes seguem sempre o mesmo trajeto e chegam pela ordem em que foram enviados
 - é suportada a deteção e, eventualmente, a correção de pacotes perdidos
 - pode ser suportado o controlo de fluxo por circuito virtual
- Libertação da conexão através de sinalização
 - os identificadores de conexão são libertados, podendo vir a ser utilizados por novas conexões

Sistemas de Telecomunicações

Rede Fixa de Telecomunicações

Estes serviços apresentam muitas semelhanças com os serviços que operam em modo de circuito, por incluírem as fase de estabelecimento e libertação de conexões. O aspeto distintivo de uma conexão é o seu funcionamento como um “tubo”: o emissor envia os pacotes de um extremo e o recetor retira-os pela mesma ordem de emissão.

As semelhanças com as redes em modo de circuito levaram a designar este tipo de serviço de "**circuito virtual**". Não está efetivamente estabelecido um circuito com débito constante e garantido, como em modo de circuito, mas estabelece-se, da mesma forma, um caminho pré-definido (o tal “tubo”) para a transferência de dados.

Modos de transferência da informação

Critério de comparação	Modo de circuito	Modo de pacote	
		Datagramas	Circuitos virtuais
Estabelecimento de conexões	S	N	S
Reserva de recursos	S	N	Parcial/Estatística
Canal físico dedicado	S	N	
Partilha dinâmica de recursos	N	S	
Atraso transmissão constante	S	N	
Eficiência para serviços CBR	+	--	-
Eficiência para serviços VBR	-	+	+
Encaminhamento fixo	S	N	S
Endereçamento do destino	apenas no estabelecimento da conexão	endereço completo em todos os pacotes	referência do circuito virtual em todos os pacotes
Informação de estado nos nós	S	N	S
Controlo de congestionamento	no estabelecimento da conexão	difícil	no estabelecimento e durante a conexão
Tarifas	por tempo	por quantidade de informação	

Sistemas de Telecomunicações

Rede Fixa de Telecomunicações

O modo circuito é indiscutivelmente o mais adequado ao transporte de serviços CBR. Contudo, num cenário de integração que adiante discutiremos, mesmo os serviços CBR terão tendência a ser suportados no modo de pacote, existindo duas opções, sem e com conexões.

As redes orientadas a serviços sem conexão, como as LAN's Ethernet e as redes IP, têm menores funcionalidades, mas podem ser mais rápidas, pois fazem apenas o “melhor esforço possível”, sem garantia total de entrega de pacotes nem de entrega ordenada. Neste caso, transfere-se da rede para os sistemas terminais a responsabilidade e o peso das funções de controlo de erro, o que não arrasta problemas de maior, dado o grande desenvolvimento, a um custo diminuto, da capacidade de processamento dos computadores e outros equipamentos terminais, incluindo mesmo os de utilização pessoal.

As redes orientadas a serviços com conexão, e, em especial as de primeira geração, como a rede X.25, tinham maior complexidade, sendo por isso mais lentas, uma vez que têm de suportar mecanismos para assegurar a integridade da transmissão de dados e o controlo de fluxo por circuito virtual; além disso, como não pode haver garantia absoluta de a rede ser capaz de cumprir esses objetivos, os sistemas terminais suportam adicionalmente protocolos de controlo de erro que, operando extremo-a-extremo, duplicam algumas funções da rede.

Para ultrapassar estas dificuldades, e aproveitando a evolução tecnológica no sentido de redes mais fiáveis e com menores erros, surgiram mais tarde as redes *Frame Relay*, que retiraram muita da complexidade e redundância existente nas redes X.25: não é suportado controlo de fluxo nem correção de pacotes perdidos. Foi durante um certo tempo uma opção atrativa que competiu com linhas dedicadas e com as próprias redes X.25.

Na rede de banda larga ATM (*Asynchronous Transfer Mode*) optou-se igualmente por uma versão muito simplificada de transferência em modo de pacote: não é suportado controlo de fluxo nem correção de pacotes perdidos, adotando-se ainda pacotes de comprimento fixo (células) para permitir a operação a grande velocidade.

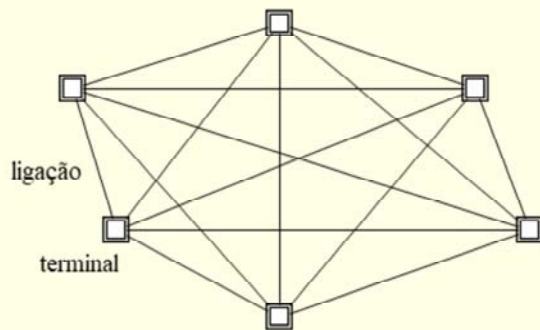
A utilização de IP sobre Ethernet veio a impor-se como a opção dominante em todos os tipos de

rede, num cenário de convergência, tornando obsoletas as tecnologias anteriormente referidas.

Topologia com interligação total

Características

- um par de terminais e um circuito dedicado por cada possível ligação
- comutação local em cada utilizador
- alimentação local de cada terminal (bateria local)



Topologia com interligação total de terminais

Análise crítica

- Eficiência baixa
 - muitos pares de utilizadores provavelmente nunca comunicarão entre si
- Crescimento incontrolável
 - a introdução de um novo utilizador ($N+1$) iria requerer uma ligação a todos os outros (N)

Uma vez que a rede fixa de telecomunicações resultou do desenvolvimento da rede telefónica, é natural que tenha igualmente herdado a sua topologia.

Desde a sua criação, as redes telefónicas foram estruturadas de várias formas:

- rede com interligação total;
- rede em estrela;
- rede hierárquica.

A primeira solução tem apenas interesse histórico, pois foi a utilizada nos primórdios da telefonia.

Quando é utilizada a interligação total entre N utilizadores, são necessários:

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

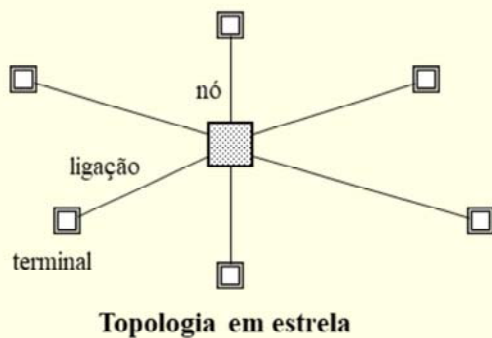
Cada novo utilizador obriga à instalação de N circuitos que deverão ser ligados a cada comutador local, obrigando à sua substituição se tiver sido excedida a sua capacidade.

Os recursos necessários são assim elevados e a expansão é complexa.

Topologia em estrela

Características

- um único terminal e uma única ligação por cada utilizador
- um nó de comutação para todos os utilizadores ex: central de comutação
 - efetua ligações temporárias entre terminais
 - troca informação de controlo (sinalização) com os terminais
- alimentação de todos os terminais a partir da central (bateria central)



Análise crítica

- Eficiência superior
 - cada ligação tem agora uma ocupação aceitável
- Crescimento suave com limitações
 - a introdução de um novo utilizador requerer apenas uma ligação ao nó
 - um único nó só é viável em áreas geográficas reduzidas

Sistemas de Telecomunicações

Rede Fixa de Telecomunicações

Na rede em estrela são introduzidos nós de comutação para aumentar a eficiência e facilitar o crescimento.

Neste caso, para N utilizadores, são necessários:

- N circuitos;
- N^2 pontos de cruzamento, ou menos, como veremos mais tarde, tendo em conta que nem todas as ligações se fazem simultaneamente.

A inclusão de um novo utilizador obriga à instalação de apenas uma linha que deverá ser ligada ao comutador, o qual terá que ser expandido se tiver sido excedida a sua capacidade.

Globalmente, é uma topologia mais rentável e com crescimento mais suave. A ocupação de cada ligação corresponde à ocupação do utilizador, isto é, tipicamente entre 10 e 20% nos períodos de maior tráfego. Contudo, esta topologia só é aplicável a redes de reduzida dimensão geográfica.

Poderão referir-se ainda as seguintes características suplementares:

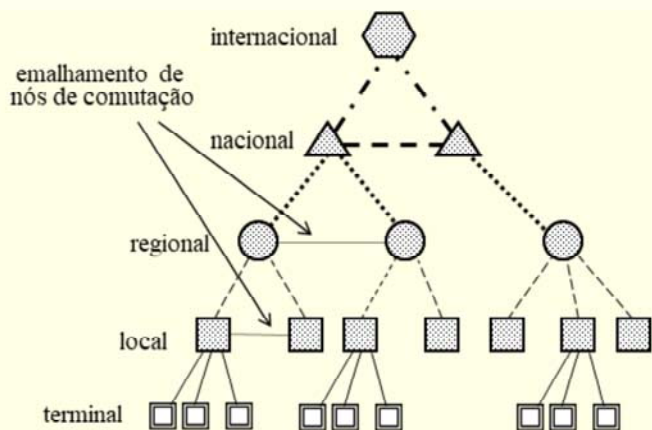
- é necessário trocar informações entre o terminal e a central (sinalização);
- permite o controlo e manutenção centralizados da rede.

Topologia hierárquica

solução clássica da rede fixa telefónica nacional

Características

- introduz vários níveis de comutação
Central local → Central regional → Central nacional → Central internacional
- permite elevado número de utilizadores com grande dispersão geográfica



Topologia hierárquica com emalhamento

Análise crítica

• Eficiência maximizada

- densidade de nós dependente da concentração de utilizadores
- nós e ligações otimizados para o tráfego que suportam
- possibilidade de emalhamento, proporcionando maior eficiência e fiabilidade

• Crescimento suave

- a introdução de um novo utilizador requerer apenas uma ligação a um nó próximo
- ligações entre nós e capacidade destes cresce em função do aumento de tráfego

Sistemas de Telecomunicações

Rede Fixa de Telecomunicações

A interligação entre utilizadores nas redes telefónicas clássicas faz-se através de uma central de comutação, numa topologia em estrela. Contudo, numa rede desenvolvida geograficamente dispersa, é impensável ter-se todos os assinantes ligados a uma única central. Para contornar este problema, constituem-se as chamadas redes locais, isto é, grupos de assinantes numa dada área geográfica, ligados à respectiva central local.

Poder-se-á agora equacionar como se fará a interconexão entre centrais locais: a solução óbvia é recorrer a uma central de nível superior, tal como a ligação de utilizadores se faz através de uma central local. Constitui-se assim a chamada rede de interligação regional, constituída por centrais de trânsito regional (centrais primárias) e por ligações (junções) às centrais locais. O nível seguinte é a rede de interligação nacional ou rede interurbana, constituída por centrais de trânsito nacional (centrais secundárias) e por ligações às centrais de trânsito regional e outras centrais de trânsito nacional. Acima deste nível, existirá ainda a rede internacional e correspondentes centrais internacionais.

Resultou, assim, uma rede hierárquica de vários níveis com nós e interligações dimensionados para proporcionar uma elevada eficiência. Por exemplo, é possível obter ocupações nas ligações da ordem de 70% por cada canal, nos períodos de maior tráfego.

Posteriormente, os sistemas digitais usados nas redes de comunicação permitiram suportar técnicas avançadas de gestão de rede, que, por sua vez, possibilitaram a exploração eficiente de redes emalhadas - por vezes, o tráfego entre duas centrais do mesmo nível hierárquico é suficientemente intenso para justificar uma ligação direta entre as centrais, sem recorrer a uma central de nível superior.

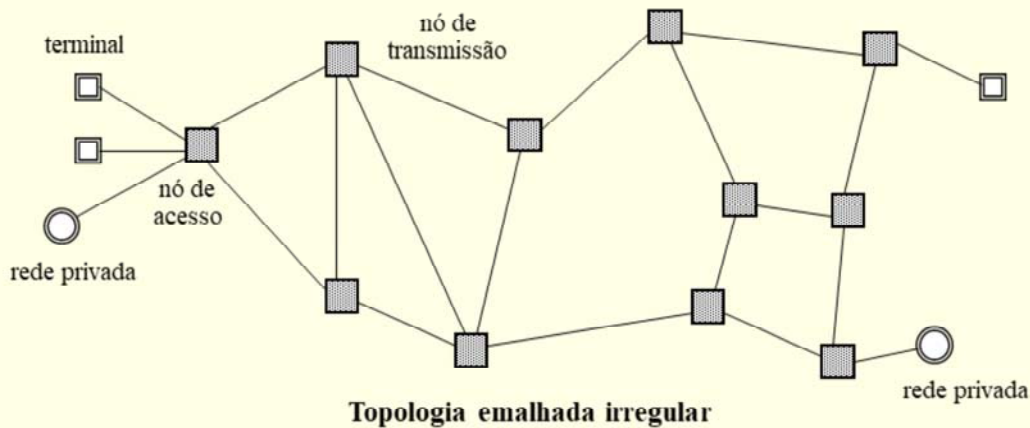
Além disso, ao criar malhas, se ocorrer uma situação de sobrecarga numa dada ligação, as novas chamadas podem ser desviadas para outros ramos das malhas existentes.

Por outro lado, qualquer eventual falha num sistema pode ser contornada transferindo imediatamente o tráfego para ligações alternativas.

Topologia emalhada

Características

- avanços nas tecnologias de transmissão conduziram a redes de tal forma emalhadas que se dilui a topologia originalmente hierárquica
- novos operadores que entram no mercado não têm a herança da rede telefónica - estruturam as redes tendo em conta os requisitos de tráfego presentes e futuros



Topologia emalhada irregular

Sistemas de Telecomunicações

Rede Fixa de Telecomunicações

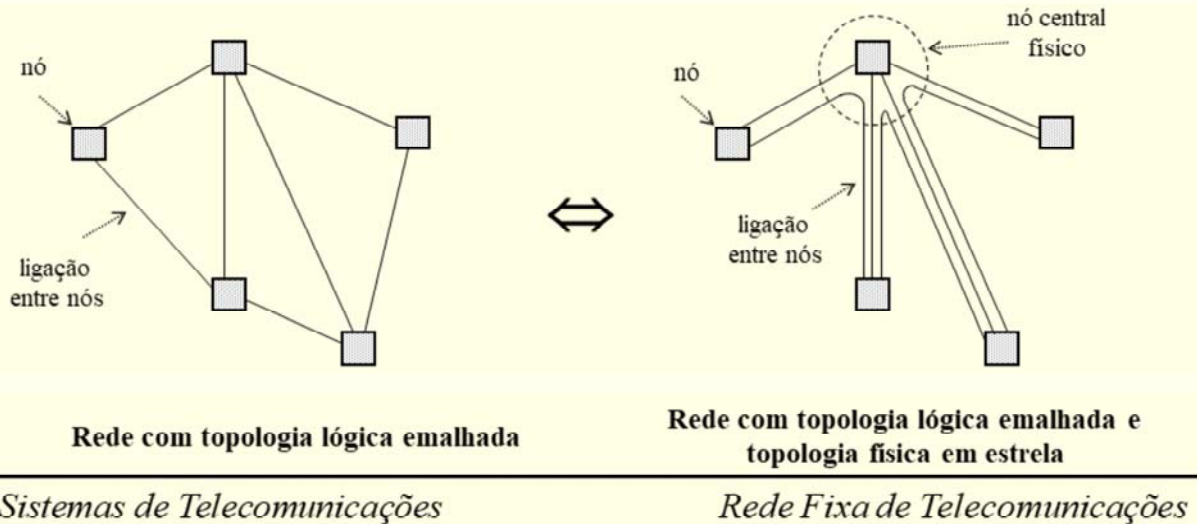
A interligação em redes de grandes dimensões exige encaminhar tráfego muito variável, entre as diversas regiões geográficas. As topologias de rede emalhadas, de forma irregular, são as mais eficientes, tendo em conta os encaminhamentos que é necessário assegurar, e respetivas quantidades de tráfego previstas.

Por outro lado, há que ter em conta que a rede fixa passou a suportar cada vez mais tráfego de dados, até ao limite que é a realidade dos dias de hoje em que os serviços clássicos que eram suportados em modo circuito passaram a ser suportados em modo pacote. Os nós das redes de dados (encaminhadores ou *routers*) organizam-se em topologias emalhadas, pelo que as redes de transporte tendem a seguir os requisitos de interligação do tráfego que transportam, evitando nós intermédios excessivos.

Topologia emalhada

Topologia lógica e física

- a topologia lógica e a topologia física não têm que ser idênticas
- a topologia física em árvore é dominante
- é possível adaptar diversos tipos de topologia lógicas à topologia física em estrela



A topologia física corresponde à organização do meios físicos de transmissão.

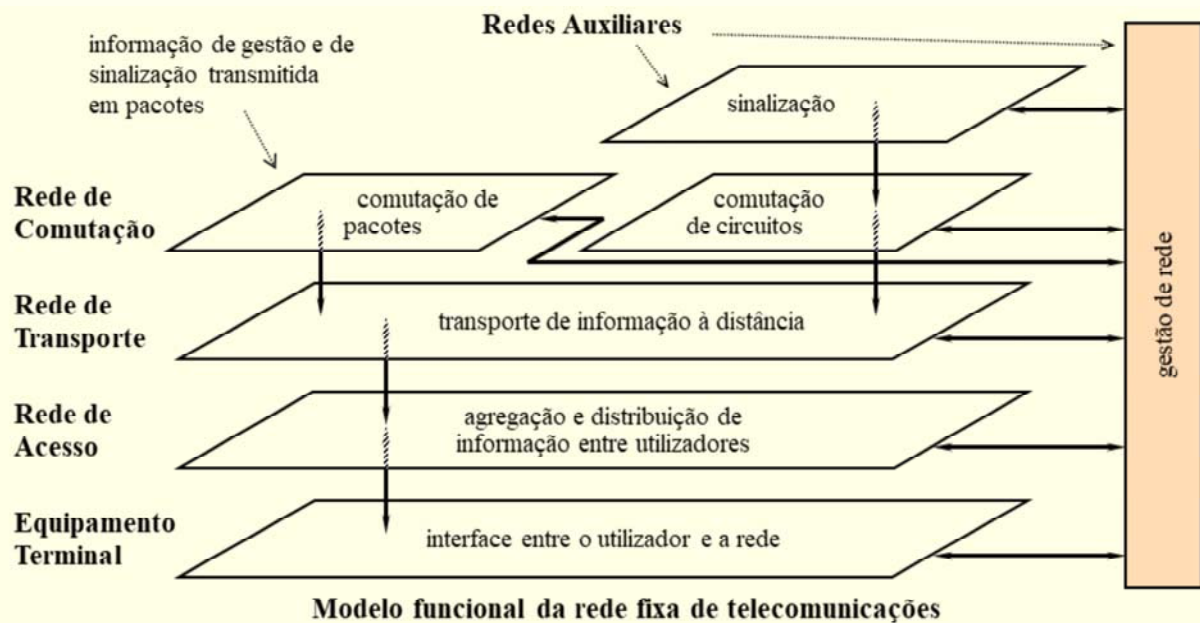
Por outro lado, a topologia lógica refere-se à organização das ligações entre os nós de comutação.

Com a topologia física em estrela, a soma total dos comprimentos das ligações físicas é superior à que se encontraria se topologia física correspondesse diretamente à topologia lógica. Contudo, como várias ligações partilham caminhos comuns, o indicador mais relevante é a soma total de caminhos físicos que, como se pode observar, é menor com a topologia física em estrela.

Arquitetura da rede

Modelo de camadas

– cada camada corresponde a uma área funcional da rede



Cada camada da rede fixa de telecomunicações está associada a uma área funcional, corresponde a um conjunto de funções comuns desempenhadas pelos subsistemas da rede.

As redes de acesso, transporte e comutação fornecem a capacidade básica de transferência da informação entre equipamentos terminais.

A sinalização assegura funções complementares de controlo de conexões, enquanto gestão de rede constitui uma camada transversal que permite operar, administrar e manter a rede de forma adequada. Nas redes de comutação de circuitos, esta informação é transportada numa rede auxiliar de dados, enquanto nas redes de comutação de pacotes, é transportada em pacotes em conjunto com o restante tráfego de utilizador, não existindo, por isso, uma rede autónoma para este fim.

A sincronização é uma funcionalidade apenas necessária nas redes de comutação de circuitos, em cujos comutadores é necessário assegurar o sincronismo entre todas as ligações.

Na secção seguinte, faremos uma breve descrição de cada uma destas áreas, enumerando as principais funções e analisando os principais sistemas constituintes.

Áreas funcionais da rede

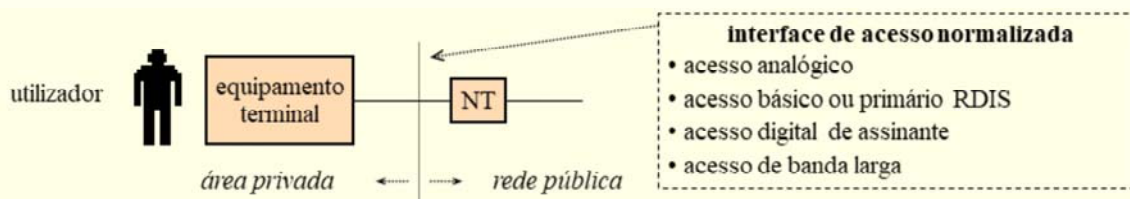
Equipamento terminal

Funções

- conversão entre sinais elétricos e o formato perceptível pela pessoa ou máquina
- processamento local dos sinais para transmissão
- estabelecimento e libertação de ligações

Sistemas constituintes (exemplos)

- telefone
- telefax
- PPCA
- computador pessoal
- servidor
- *smartphone*



Ligação de equipamento terminal à rede

Sistemas de Telecomunicações

Rede Fixa de Telecomunicações

O equipamento terminal é normalmente propriedade ou alugado pelo utilizador, acedendo à rede através de uma interface normalizada. Esta interface é disponibilizada pelo operador da rede através de um dispositivo denominado Terminação de Rede (NT - *Network Termination*).

Durante várias décadas, a única interface disponível foi de tipo analógico, correspondente ao serviço telefónico convencional (POTS, *Plain Old Telephone Service*). A transmissão de dados era possível com recurso a modems.

Posteriormente, passaram a ser disponibilizados acessos RDIS (Rede Digital com Integração de Serviços), levando a rede digital até ao próprio utilizador. Foram definidos dois tipos de acesso:

- acesso básico (2B+D): dois canais B a 64 kbit/s e um canal D de dados/sinalização a 16 kbit/s; débito total de 192 kbit/s (inclui um canal de sincronização e controlo);
- acesso primário (30B+D): trinta canais B a 64 kbit/s e um canal D de dados/sinalização a 64 kbit/s; débito total de 2 048 kbit/s (inclui um canal de sincronização e controlo).

Os acessos digitais suportam débitos úteis múltiplos de 64 kbit/s até cerca de 2 Mbit/s (simétricos), ou superiores no sentido descendente (até 24 Mbit/s), permitindo suportar aplicações de :

- ligação à central local de PPCAs (Postos Privados de Comutação Automática) digitais;
- interligação de redes privadas (PPCAs, redes locais) e ligação de terminais a CPUs;
- acesso a ISPs (*Internet Service Providers*);
- acesso a redes públicas de dados;
- outras aplicações de voz, dados e imagem.

Atualmente, já é possível disponibilizar acessos por fibra ótica a utilizadores empresariais, com débitos simétricos ou assimétricos de dezenas a centenas de Mbit/s, ou mesmo Gbit/s. Por sua vez, os utilizadores residenciais já poderão usufruir de acessos por fibra ótica, com débitos típicos da ordem das dezenas de Mbit/s.

Áreas funcionais da rede

Rede de acesso

Funções

- ligação física entre terminais de assinante e nós locais
- interligação entre redes privadas de assinante e nós locais
- concentração de linhas

Sistemas constituintes (exemplos)

- fios nus aéreos
 - cabos de pares simétricos
 - cabos de fibra ótica
 - cabos coaxiais
 - ligações fixas sem fios (por radiocomunicações)
 - pontos de distribuição local (ativos ou passivos)
- 
- The diagram illustrates the connection between subscriber terminals and various access systems. On the right, there are two grey rectangular boxes representing subscriber terminals: the top one is labeled 'lacete de assinante' and the bottom one is labeled 'geralmente em condutas'. Arrows point from these boxes to a list of access systems on the left. From 'lacete de assinante', arrows point to 'fios nus aéreos', 'cabos de pares simétricos', and 'cabos de fibra ótica'. From 'geralmente em condutas', arrows point to 'cabos coaxiais' and 'cabos de fibra ótica'.

Sistemas de Telecomunicações

Rede Fixa de Telecomunicações

A rede local de acesso agrega e distribui o tráfego entre os terminais de assinante e os nós locais.

Apesar de a distância de cada utilizador ao nó local ser, em média, de poucos quilómetros, a grande dispersão de utilizadores conduz a uma rede muito distribuída, com poucas possibilidades de partilha de recursos: há, por isso, um grande número de ligações físicas com reduzida utilização.

Este facto explica que a maior parte do investimento da rede fixa de telecomunicações esteja precisamente na rede local de acesso, envolvendo sobretudo obras de construção civil, condutas e cabos, ou, no caso dos sistemas via rádio, custos de equipamento elevados. Por isso, esta foi a área onde só mais recentemente passaram a intervir novos operadores, em concorrência com o operador incumbente da rede básica.

Rede de acesso

Tipos de acesso e respetivos suportes físicos

Tipo de acesso Suporte físico	Acesso analógico (POTS)	Acesso RDIS	Acesso digital de assinante (DSL, FWA, ...)	Acesso digital de muito alto débito (DSL, FWA, PDH, SDH, Ethernet, ...)
Pares de cobre	Voz analógica	160 kbit/s 2 048 kbit/s	192 a 2 320 kbit/s (simétrico) 1,5 a 24 Mbit/s (assimétrico)	25 a 50 Mbit/s
Ligações rádio			64 a 2 048 kbit/s 2 a 8 Mbit/s	25 a 50 Mbit/s
Fibras óticas			34 Mbit/s $n \times 155$ Mbit/s 1 Gbit/s (partilhado)	
Cabos coaxiais			2 a 50 Mbit/s (por canal; partilhado)	

Sistemas de Telecomunicações

Rede Fixa de Telecomunicações

A tabela fornece uma panorâmica da variedade de alternativas de acesso de assinante.

Referem-se as soluções clássicas de voz utilizadas em redes analógicas, bem como ligações digitais que usam diferentes tecnologias, algumas em uso há várias décadas, outras introduzidas mais recentemente.

Acesso RDIS:

- inclui os acessos básico e primário já mencionados anteriormente.

Acesso digital de assinante:

- as ligações de 64 a 2048 kbit/s ($p \times 64$ kbit/s) foram usadas durante vários anos, mas estão a cair em desuso;
- mais recentemente foram introduzidas novas técnicas de transmissão digital sobre pares simétricos (DSL, *Digital Subscriber Line*), que permitem atingir distâncias razoáveis sem repetidores e débitos de transmissão significativos - 192 a 2 320 kbit/s na opção simétrica (SHDSL, *Single-pair High-speed Digital Subscriber Line*); de 1,5 a 24 Mbit/s de débito descendente na opção assimétrica (ADSL, *Asynchronous Digital Subscriber Line*);
- o acesso fixo de rádio (FWA, *Fixed Wireless Access*) suporta-se em micro-ondas, permitindo aplicações de baixo débito (64 a 2 048 kbit/s) e de alto débito (por exemplo, entre 2 e 8 Mbit/s).

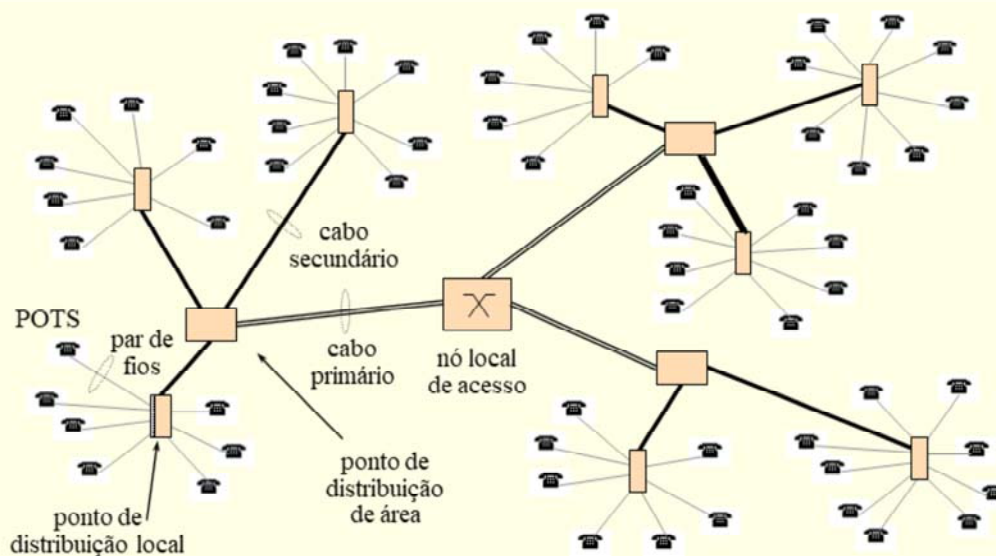
Acesso digital de muito alto débito:

- uma alternativa comum consiste em levar os serviços em fibra até próximo do assinante e, a partir desse ponto disponibilizar acessos mais económicos em pares de cobre (usando técnicas DSL), por cabo coaxial (norma DOCSIS – Data Over Cable Service Interface Specification) ou excecionalmente via rádio;
- mais recentemente, no âmbito das chamadas Redes de Nova Geração, começou a ser viável a utilização de fibras óticas até ao assinante (FTTH – Fiber To The Home), permitindo débitos muito elevados sobre acessos Gigabit Ethernet, embora cada acesso seja partilhado por vários utilizadores.

Áreas funcionais da rede

Rede de acesso

Acesso telefónico analógico



Rede local de acesso de assinante: ligações analógicas por pares simétricos

Sistemas de Telecomunicações

Rede Fixa de Telecomunicações

A rede de acesso da rede telefónica convencional é constituída exclusivamente por pares simétricos.

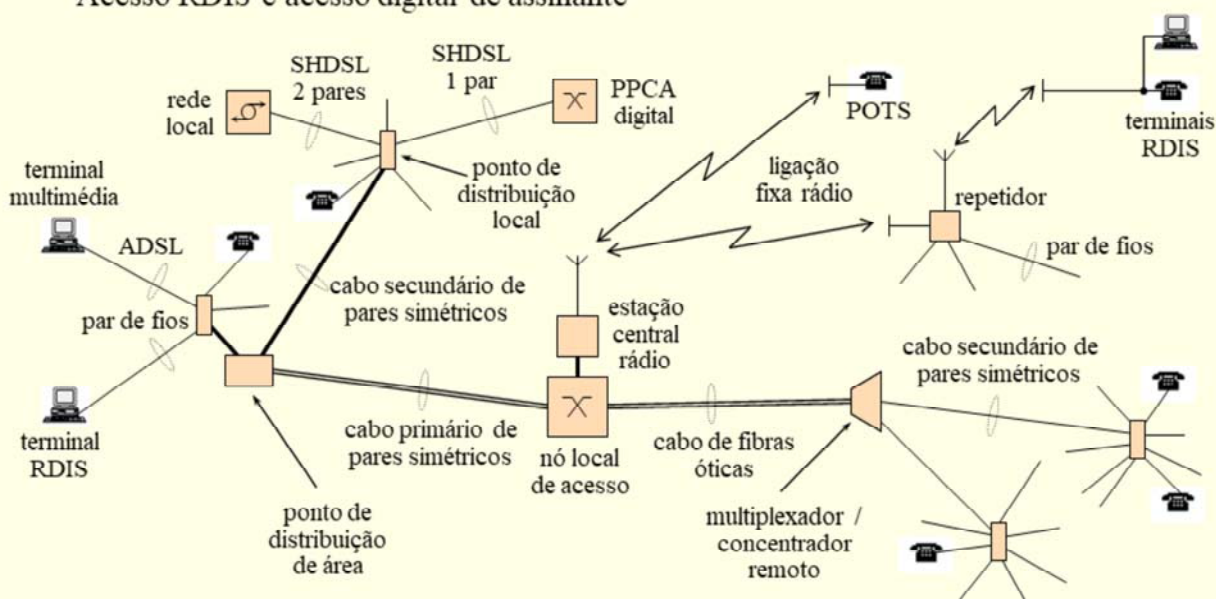
As redes urbanas são de tipo arborescente, com ramos constituídos por cabos que agrupam um número elevado de pares entre a central e pontos de distribuição de área, e cabos de menor capacidade entre estes e pontos de distribuição locais.

A ligação entre os pontos de distribuição locais e a tomada do equipamento de assinante faz-se muitas vezes por linha aérea nas fachadas dos prédios, sendo, no entanto, utilizadas condutas em instalações mais recentes.

Áreas funcionais da rede

Rede de acesso

Acesso RDIS e acesso digital de assinante



Rede local de acesso de assinante: ligações digitais sobrepostas a ligações analógicas

Sistemas de Telecomunicações

Rede Fixa de Telecomunicações

A introdução de sistemas digitais na rede de acesso permitiu, entre outras vantagens, rentabilizar meios e oferecer serviços digitais aos assinantes.

Assim, a ligação de PPCAs digitais às centrais públicas digitais passou a fazer-se sobre ligações a 2 Mbit/s (mais exatamente 2 048 kbit/s), correspondentes a 32 canais a 64 kbit/s, dos quais 30 destinados a comunicações entre utilizadores, um canal de sinalização e um canal de sincronização e controlo. O utilizador pode subscrever a totalidade dos 30 canais disponíveis ou uma parte deles (por exemplo, metade, ou seja, 15 canais).

Noutras aplicações de comunicação de dados recorria-se igualmente a circuitos digitais com débitos entre os 64 kbit/s e os 2 Mbit/s, com possibilidade de aumentar este último limite utilizando as técnicas DSL.

Por outro lado, sistemas de multiplexagem e transmissão digital substituíram gradualmente os cabos de maior capacidade na ligação da central local a pontos de distribuição da rede local, mantendo-se contudo o troço final do lacete local em cobre. Numa primeira fase, os pares simétricos suportaram diretamente sistemas a 2 Mbit/s: com a multiplexagem temporal, 30 assinantes que requeriam 30 pares passaram a utilizar apenas 2 pares (um para cada sentido da transmissão digital). Estes sistemas foram progressivamente substituídos por ligações em fibra ótica.

A RDIS estendeu, pela primeira vez, a fronteira digital a todos os assinantes, permitindo ligar diretamente equipamentos digitais sem ter de recorrer a modems.

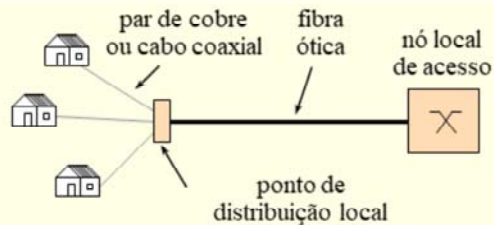
Os acessos fixos via rádio foram igualmente introduzidos em certas situações particulares, uma vez que proporcionam ligações sem recorrer a trabalhos morosos e dispendiosos de instalação de cablagem.

Áreas funcionais da rede

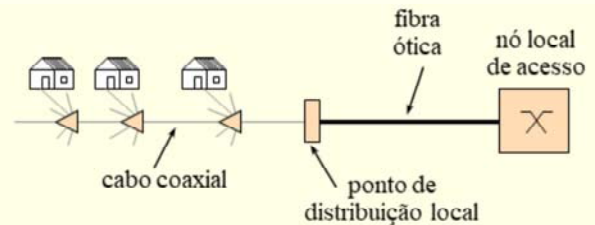
Rede de acesso

Acesso digital de muito alto débito

- fibra até ao ponto de distribuição local (FTTC, *Fibre To The Curb*)
- híbrido fibra-coaxial (HFC, *Hybrid Fiber Coax*)



Fibra até ao ponto de distribuição local (FTTC)



Híbrido fibra-coaxial (HFC)

Sistemas de Telecomunicações

Rede Fixa de Telecomunicações

Os serviços de televisão digital e de acesso à Internet e de comunicação de dados no âmbito empresarial exigem débitos elevados, sendo indispensável disponibilizar sistemas de transmissão óticos pelo menos numa parte da ligação de assinante.

A alternativa FTTC foi a primeira a ser introduzida por ser mais económica, uma vez que a fibra chega apenas ao ponto de distribuição local. A partir desse ponto é utilizada uma configuração em estrela em cabo coaxial ou pares simétricos. O cabo dispõe de uma grande largura de banda e é relativamente imune a interferências, pela acção de blindagem do condutor exterior. No caso dos pares de cobre, são igualmente possíveis débitos relativamente elevados, da ordem de vários Mbit/s, na medida em que a distância do terminal ao ponto de distribuição local é possivelmente da ordem dos 100 m, em contraste com os 3 km ou mais, típicos do lacete local completo (do assinante à central local). No entanto, a distorção linear na banda utilizável é elevada e as interferências são inevitáveis, por não existir blindagem, o que contribui para que os emissores/receptores sejam mais complexos do que no caso do cabo coaxial.

A configuração HFC é a mais utilizada nas redes de difusão de TV por cabo (CATV), em que um cabo coaxial constitui um meio partilhado que permite uma configuração de comunicação ponto a multiponto. Ao longo do cabo vão sendo colocados amplificadores que permitem a distribuição aos assinantes com um bom isolamento. Nas redes actuais já são oferecidos serviços interactivos de dados (por exemplo, acesso à Internet) e mesmo telefónicos, em concorrência com os operadores convencionais. No entanto, no caso da configuração HFC, é mais difícil suportar o canal de retorno, sendo necessário adoptar um protocolo de acesso adequado (norma EuroDOCSIS).

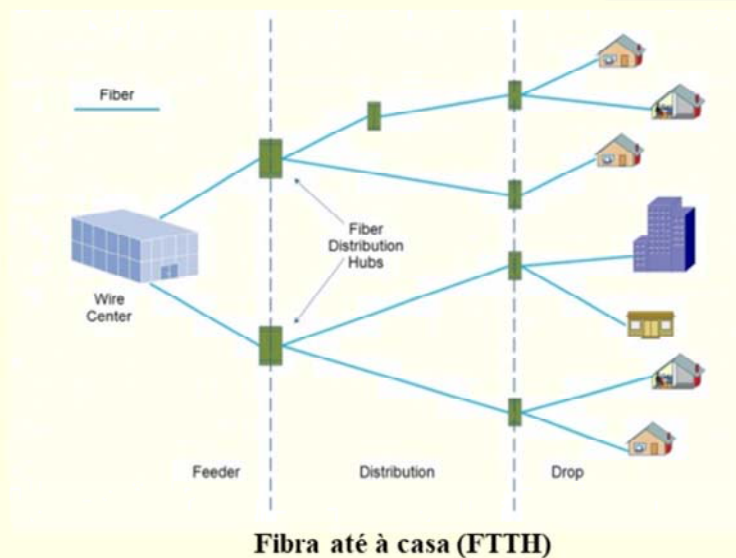
Áreas funcionais da rede

Rede de acesso

Acesso digital de muito alto débito

– fibra até à casa (FTTH, *Fibre To The Home*)

Redes de Nova Geração



Sistemas de Telecomunicações

Rede Fixa de Telecomunicações

A solução FTTH é atualmente a privilegiada para as Redes de Nova Geração, uma vez que a evolução tecnológica permitiu o aparecimento de soluções a custos aceitáveis.

Esta abordagem baseia-se na arquitetura GPON – Gigabit Passive Optical Network, em que se utilizam divisores óticos passivos ao longo do percurso até aos assinantes. Os únicos elementos ativos são o OLT (*Optical Line Terminal*) na central e, o ONU (*Optical Network Unit*) no assinante. Cada OLT liga-se a uma fibra que se subdivide de forma a permitir o acesso de 16 a 64 assinantes – o débito de 1 Gbit/s (ou superior) por OLT é assim partilhado pelos n utilizadores a ele ligados.

Rede de transporte

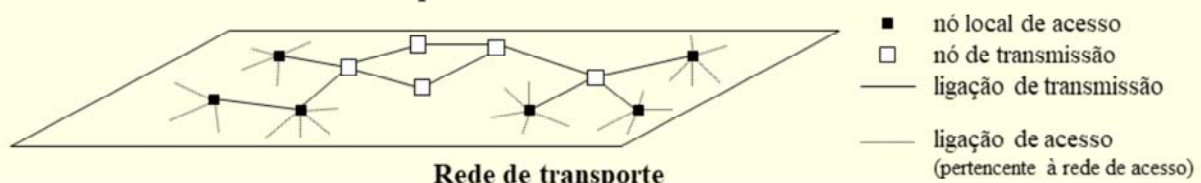
Funções

- provisão de conexões para transmissão de informação a média/longa distância
- objectivo de qualidade: transmissão com reduzida taxa de erros
- granularidade típica: 2 Mbit/s / pacotes

sob controlo do operador da rede
através de procedimentos de gestão

Sistemas constituintes

- nós de multiplexagem
- nós de interligação
- sistemas de transmissão em cobre → cada vez em menor número
- sistemas de transmissão por feixes hertzianos terrestres e por satélite
- sistemas de transmissão por fibra ótica



Rede de transporte

Sistemas de Telecomunicações

Rede Fixa de Telecomunicações

A rede de transporte fornece os caminhos de transferência de informação entre os nós da rede de comutação.

É constituída por ligações de transmissão e por nós de transmissão, localizados nas extremidades das ligações.

As ligações suportam a transmissão de canais físicos de débito mais ou menos elevado.

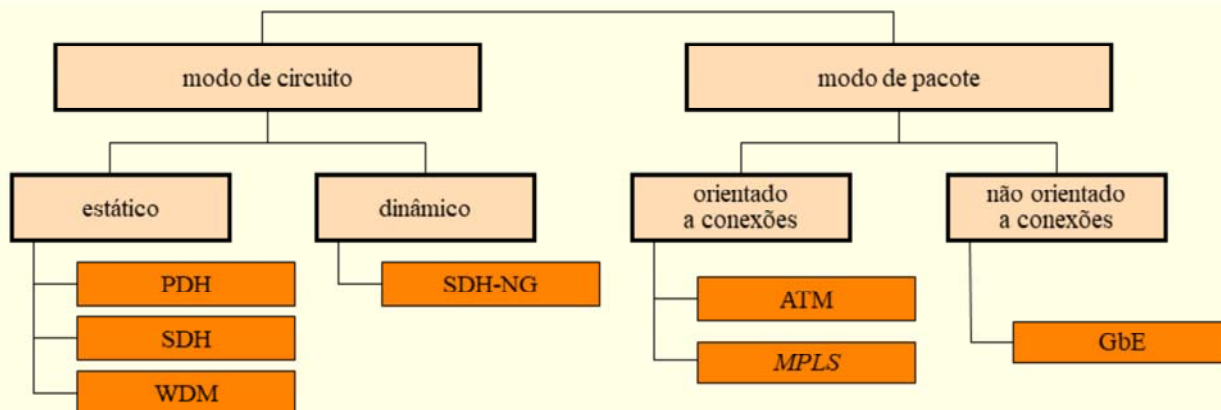
Nos nós de transmissão (estações de trânsito) são estabelecidas conexões permanentes entre os canais físicos das ligações. Estas conexões são, na realidade, semipermanentes, isto é, são alteráveis esporadicamente, recorrendo a **procedimentos de gestão** controlados pelo operador da rede.

Desta forma, o operador da rede estabelece uma capacidade básica de transporte de informação, de acordo com a quantidade de tráfego que prevê seja necessário transportar.

Rede de transporte

Tecnologias de transporte

- utilizadas diretamente sobre o nível físico de transmissão
- possíveis algumas combinações entre estas tecnologias



Tecnologias de transporte da rede fixa de telecomunicações

Sistemas de Telecomunicações

Rede Fixa de Telecomunicações

As tecnologias de suporte utilizadas na rede de transporte serão brevemente referidas nesta secção, deixando o seu estudo detalhado para mais tarde (as tecnologias típicas de redes de dados GbE e MPLS já foram anteriormente estudadas em Redes de Computadores).

Algumas destas tecnologias são utilizadas em conjunto, quer por oferecerem vantagens específicas para o sistema global, quer ainda por questões de evolução.

Alguns exemplos:

- PDH sobre SDH
- SDH sobre DWDM
- ATM sobre PDH
- ATM sobre SDH
- ATM sobre DWDM
- GbE sobre SDH-NG
- GbE sobre DWDM
- GbE sobre MPLS

Significado das siglas:

- PDH *Plesiochronous Digital Hierarchy*
- SDH *Synchronous Digital Hierarchy*
- SDH-NG *Synchronous Digital Hierarchy – Next Generation*
- DWDM *Dense Wavelength Division Multiplexing*
- ATM *Asynchronous Transfer Mode*
- GbE *Gigabit Ethernet*
- MPLS *MultiProtocol Label Switching*

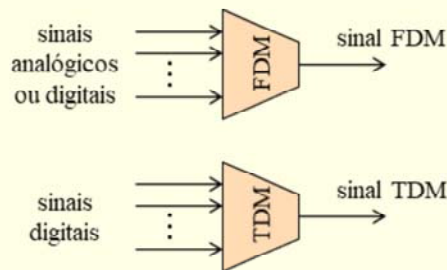
Rede de transporte

Tipos de ligações

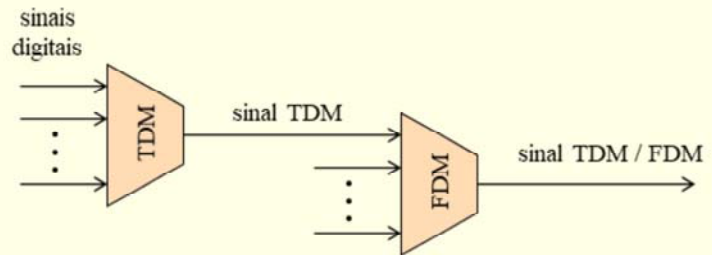
- ligações analógicas ou digitais em banda base
- ligações analógicas ou digitais FDM (*Frequency Division Multiplex*)
- ligações digitais TDM (*Time Division Multiplex*)
- ligações mistas TDM / FDM

ligações analógicas obsoletas

WDM em fibras óticas



Multiplexagem FDM e TDM



Multiplexagem mista TDM / FDM

Sistemas de Telecomunicações

Rede Fixa de Telecomunicações

A multiplexagem FDM ou TDM permite:

- agrupar sinais de menor capacidade num sinal de maior capacidade;
- rentabilizar os meios de transmissão.

A multiplexagem FDM foi utilizada extensivamente no passado na transmissão de canais de voz, cada um deles modulado em SSB numa banda de 4 kHz. Constituíam-se agregados de canais multiplexados que podiam atingir vários milhares.

Nos sistemas de transmissão digital em banda base sobre linhas de cobre, é utilizada exclusivamente a técnica TDM.

Se se recorrer a transmissão em banda de canal, adopta-se frequentemente a técnica FDM., em que, atualmente, cada canal modula digitalmente uma portadora. É ainda possível que cada canal suporte um multiplex TDM, ou seja, vários sinais multiplexados temporalmente podem ser transmitidos sobre diferentes portadoras, o que conduz a uma combinação de TDM e FDM no mesmo suporte físico.

Em fibras óticas, os impulsos são transmitidos sob a forma de luz On/Off a um dado comprimento de onda. A técnica TDM em banda base é a mais utilizada, fazendo corresponder cada estado de luz a um bit. No entanto, a possibilidade de utilizar múltiplos comprimentos de onda de luz constitui uma forma de FDM que começa a ser utilizada, e que se designa correntemente de multiplexagem de comprimento de onda (WDM, *Wavelength Division Multiplexing*). Em sistemas tecnologicamente muito avançados, mostrou-se ser possível transmitir em WDM dezenas de portadoras com sinais TDM (DWDM, *Dense Wavelength Division Multiplexing*), pelo que o débito total numa única fibra ótica poderá, no futuro, ser elevadíssimo: já foram desenvolvidos sistemas experimentais que atingiram débitos agregados da ordem do Tbit/s.

Em ligações via rádio (feixes hertzianos terrestres ou por satélite), o recurso à transmissão sobre portadora em banda de canal é indispensável, pelo que a técnica FDM aparece frequentemente associada a TDM neste tipo de sistemas.

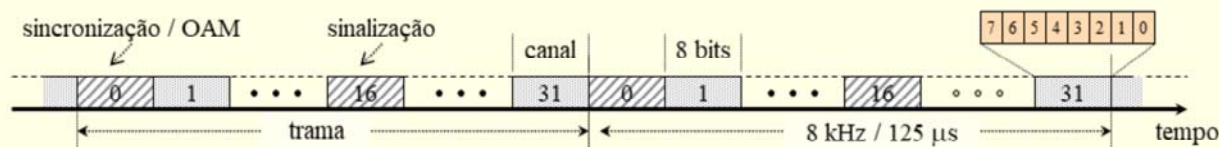
Áreas funcionais da rede

Rede de transporte

Sistema E1 (2 Mbit/s)

- sistema básico de transporte de informação numa rede digital
- suporta 30 canais de 64 kbit/s para comunicação de utilizador

podem ser agrupados



Número de intervalos de tempo da trama	$c = 32$
Número de bits de cada canal	$n = 8$
Frequência / Período da trama	$f = 8 \text{ kHz} / T = 125 \mu\text{s}$
Débito binário de cada canal	$r = n f = 64 \text{ kbit/s}$
Débito binário total do multiplex	$r_{\text{tot}} = c n f = 2\,048 \text{ kbit/s}$

Formato de trama do sistema básico E1

Sistemas de Telecomunicações

Rede Fixa de Telecomunicações

São utilizadas técnicas de multiplexagem temporal determinística:

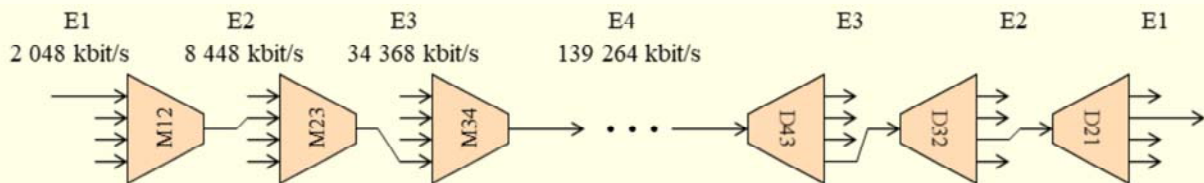
- definem-se tramas de c intervalos de tempo;
- cada canal ocupa ciclicamente na trama um intervalo de tempo de n bits \Rightarrow débito constante;
- um dos canais transporta um padrão fixo para ser utilizado na sincronização da receção e canais de controlo (operação e manutenção / *Operation And Maintenance* - OAM).

A identificação dos canais é feita pela posição na trama: multiplexagem de posição.

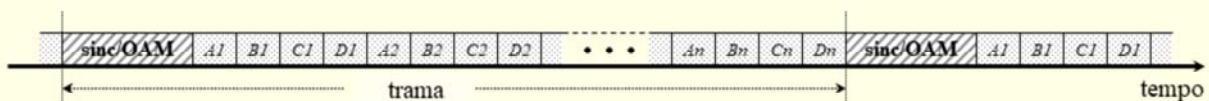
Rede de transporte

Sistemas de Multiplexagem PDH (*Plesiochronous Digital Hierarchy*)

- define vários níveis de multiplexagem a partir do sinal básico E1
- constituindo-se assim a hierarquia digital plesiócrons



Cadeia de multiplexagem / desmultiplexagem da Hierarquia Digital Plesiócrons



Formato de trama típico da multiplexagem de 4 tributários (A, B, C, D)

Sistemas de Telecomunicações

Rede Fixa de Telecomunicações

O termo plesiócrons (= quase síncrons) refere-se ao facto de se multiplexar sinais com o mesmo débito binário nominal, mas não necessariamente sincronizados entre si. Os sinais de entrada de um sistema de multiplexagem são designados de *tributários*.

Note-se que o débito do sinal de saída de um dado nível de multiplexagem não é exatamente quatro vezes o débito de cada sinal de entrada do nível anterior: ao fazer a multiplexagem em cada nível, é preciso adicionar padrões de sincronização e canais de operação e manutenção e prever um certo adicional para contemplar as pequenas variações de débito dos sinais à entrada (os débitos binários nominais são iguais, mas os débitos efetivos podem diferir ligeiramente entre si).

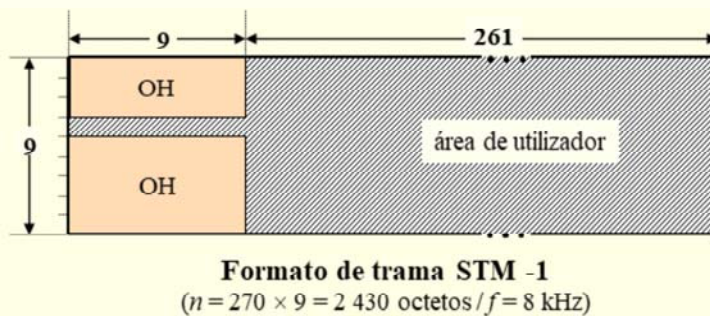
A multiplexagem é executada por entrelaçamento de bits dos tributários, como mostra a figura (a notação C_n , por exemplo, refere-se ao bit n do canal C). Recorde que na trama do sinal E1 se faz, pelo contrário, o entrelaçamento de octetos dos diversos canais.

Os sinais multiplexados E1, E2, E3 e E4 são muitas vezes designados pelos respetivos débitos aproximados: 2 Mbit/s, 8 Mbit/s, 34 Mbit/s e 140 Mbit/s.

Rede de transporte

Sistemas de Multiplexagem SDH (*Synchronous Digital Hierarchy*)

- define como estrutura base um módulo de transporte síncrono de alto débito
STM-1 / Synchronous Transport Module - Level 1
- permite débitos mais elevados por multiplexagem síncrona de módulos STM-1
STM-N / Synchronous Transport Module - Level N
- permite a inserção / remoção direta de tributários a partir do módulo STM-1
- suporta funcionalidades muito completas de operação e manutenção (OAM)



Hierarquia Digital Síncrona (SDH)	
Nível	Débito (kbit/s)
STM-1	155 520
STM-4	622 080
STM-16	2 488 320

Tal como o sistema de multiplexagem PDH, a principal aplicação da hierarquia SDH é o transporte de sinais tributários E1, embora possa igualmente transportar outros tributários.

O nível mais baixo desta hierarquia é o chamada módulo STM-1, que corresponde a um débito de 155 520 kbit/s (trama de 2 430 octetos com uma frequência de 8 kHz). A trama exibe uma estrutura regular normalmente visualizada num formato rectangular - a transmissão é série, sendo os bits dos octetos enviados sucessivamente da esquerda para a direita em cada linha, percorrendo as linhas de cima para baixo (tal qual se lê um texto).

A hierarquia SDH permite efectuar a multiplexagem directa dos tributários (E1 ou outros) no módulo STM-1, através de um mapeamento regular na trama, de forma a simplificar a inserção ou remoção desses tributários. Além disso, prevêem-se canais adicionais associados ao módulo STM-1 e a cada um dos tributários (adicional / *overhead* - OH) para suportar funções de operação e manutenção (OAM), nomeadamente: deteção de erros, monitoração de estado da rede, indicação do tipo de tributários, controlo de configuração de ligações e outras funções que exigem comunicação entre elementos da rede.

As vantagens de SDH conduziram a uma progressiva utilização relativamente a PDH.

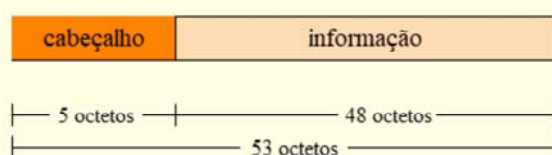
A hierarquia SDH exige uma sincronização global da rede, para permitir a multiplexagem síncrona de módulos STM: isto é, não pode haver qualquer desvio de frequência entre módulos multiplexados entre si. Este requisito foi possível de satisfazer na medida em que, com o desenvolvimento da comutação digital, como veremos, já foi necessário assegurar a sincronização global das centrais. Existe, portanto, uma rede de sincronização de centrais que pode ser estendida para sincronizar os sistemas de transmissão SDH.

Rede de transporte

Modo de Transferência Assíncrono (ATM, *Asynchronous Transfer Mode*)

- novo processo básico de transferência de informação
- combina características do modo circuito e do modo pacote
- informação encapsulada em células com um comprimento fixo
- cabeçalho referencia o canal (virtual) a que pertence a célula
- vários tipos de células: informação de utilizador, sinalização, OAM

TDM assíncrono



Funções do cabeçalho

- identificação de canais virtuais
- alinhamento de células
- indicação do tipo de célula
- prioridades
- controle de erros no cabeçalho

Estrutura de uma célula ATM e funções do cabeçalho

O modo ATM permite operar a muito mais altas velocidades do que o modo tradicional de pacote tendo em conta as simplificações introduzidas, nomeadamente o comprimento fixo das células e as funcionalidades mínimas de rede (ex.: não existe protecção contra erros ou controlo de fluxo).

O modo ATM é orientado a conexões, permitindo o suporte muito flexível de serviços de débito constante e de débito variável, de tempo real ou não tempo real.

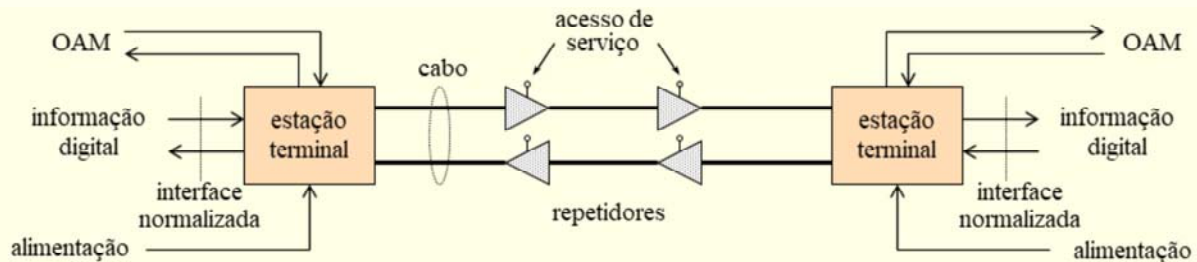
Os débitos propostos para ATM são 155 Mbit/s e 622 Mbit/s, tal como na hierarquia SDH. Outros débitos, maiores ou menores, são possíveis e têm vindo a ser utilizados.

A transmissão em ATM pode ser feita como um fluxo contínuo de células, isto é, sem nenhuma estrutura de trama de suporte. Em alternativa, as células ATM podem ser transportadas em módulos SDH.

Rede de transporte

Sistemas de transmissão de linha transmissão em banda base

- estações terminais: em cada extremo da ligação
- meios guiados: linhas de cobre ou fibras óticas em cabos enterrados, em condutas ou suspensos
- repetidores intermédios: amplificam e regeneram o sinal em certos pontos



Sistema básico de transmissão de linha

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 praticamente restritos a sistemas de distância relativamente curta.

As estações terminais:

- efetuam a emissão / receção 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 (uma ou mais linhas de cobre ou fibras óticas) e revestimentos adequados;
- é enterrado, introduzido em condutas ou suspenso.

Os repetidores:

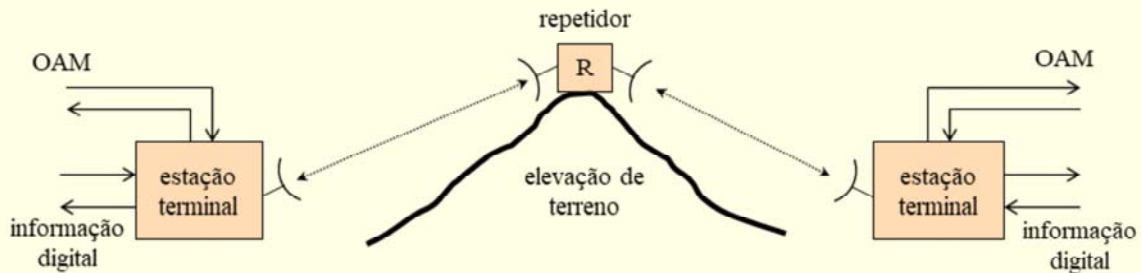
- amplificam, igualizam e regeneram o sinal em certos pontos do percurso.

Rede de transporte

Sistemas de transmissão por feixe hertziano

transmissão sobre portadora

- estações terminais: em cada extremo da ligação
- sistemas de antena: radiam/recebem o sinal com diretividade
- meio não guiado: o espaço livre
- repetidores intermédios: amplificam e regeneram o sinal e contornam obstáculos



Sistema básico de transmissão digital sobre portadora

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.

Estes sistemas apresentam as seguintes particularidades:

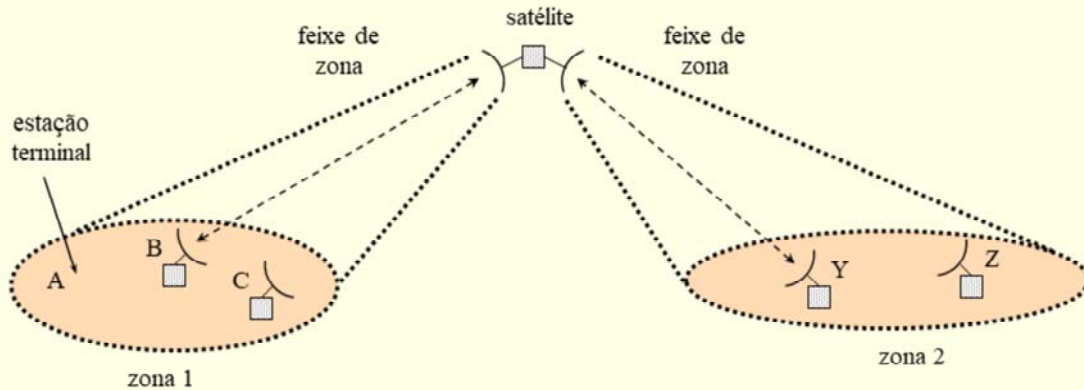
- o comprimento de onda é relativamente pequeno, podendo utilizar-se antenas parabólicas de dimensões aceitáveis, com boa diretividade (ganhos da ordem de 30 dB ou superior);
- a propagação faz-se “em linha de vista”, isto é, não pode haver obstruções no trajeto (edifícios, vegetação, acidentes do terreno, 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.

Rede de transporte

Sistemas de transmissão por satélite

transmissão sobre portadora

- caso particular de um feixe hertziano com um único repetidor no espaço
- permitem uma grande flexibilidade de acesso aos recursos de transmissão



Sistema básico de transmissão por satélite

Sistemas de Telecomunicações

Rede Fixa de Telecomunicações

Como caso especial de sistemas de micro-ondas, nos sistemas por satélite :

- o repetidor é colocado no espaço num satélite artificial;
- 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 (normalmente longínquas). É evidenciada a ligação B-Y, sendo possíveis quaisquer outras ligações entre estações de cada uma das zonas.

Os sistemas de micro-ondas 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 da rede de transporte.

Áreas funcionais da rede

Rede de comutação de circuitos

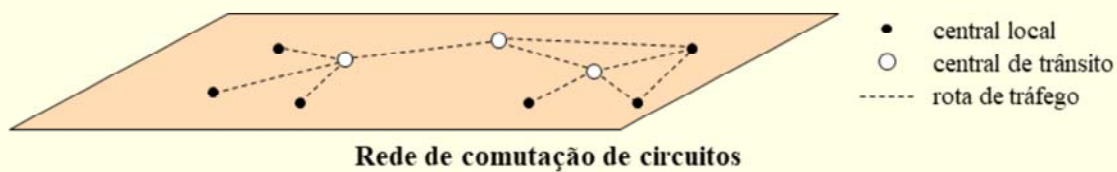
Funções

- estabelecimento e libertação de chamadas
- encaminhamento e supervisão de chamadas
- concentração / expansão de circuitos
- granularidade típica: canal básico de 64 kbit/s

a pedido do utilizador através de procedimentos de sinalização

Sistemas constituintes

- centrais de comutação locais
- centrais de comutação de trânsito regional e nacional
- rotas de tráfego



Sistemas de Telecomunicações

Rede Fixa de Telecomunicações

A rede de comutação de circuitos permite o estabelecimento de circuitos extremo a extremo, a pedido, para a transferência de informação entre quaisquer dois pontos terminais da rede.

É constituída por:

- nós (centrais) de comutação - pontos onde são estabelecidos circuitos a pedido dos utilizadores;
- rotas de tráfego - caminhos suportados sobre a rede de transporte.

As conexões que suportam os circuitos são estabelecidas (e libertadas) dinamicamente, chamada a chamada, através de **procedimentos de sinalização**, controlados pelos utilizadores. Este aspeto da rede de comutação contrasta com a rede de transporte, onde, como foi referido anteriormente, as conexões têm um carácter semipermanente, sendo estabelecidas pelo operador de rede, através de **procedimentos de gestão**.

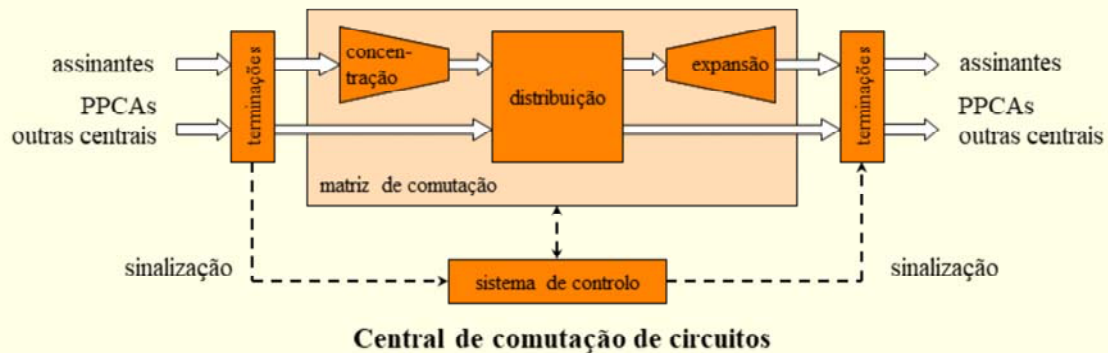
Ou seja, os nós de comutação asseguram o estabelecimento (e libertação) de circuitos elementares, normalmente a 64 kbit/s, sobre os quais se faz a comunicação extremo a extremo; por sua vez, a rede de transporte é a verdadeira "autoestrada da informação", em cujos nós se faz o encaminhamento de grandes blocos de circuitos, permitindo estabelecer, nomeadamente, as rotas de tráfego entre centrais.

A rede pública telefónica comutada (PSTN - *Public Switched Telephone Network*) usa, como vimos, este tipo de comutação.

Rede de comutação de circuitos

Central de comutação de circuitos

- matriz de comutação: interliga entradas e saídas
- terminações de linha: conversão entre sinais externos e o formato de comutação
 - terminação de assinante (só em centrais locais)
 - terminação de ligações de PPCAs e outras centrais
- sistema de controlo: processa as chamadas e gere a central de comutação



Sistemas de Telecomunicações

Rede Fixa de Telecomunicações

Um nó de comutação destina-se fundamentalmente a:

- estabelecer caminhos de comunicação (bidirecionais) a pedido de utilizadores;
- libertar as ligações quando já não forem necessárias.

Um nó de comutação digital não é mais do que um computador especializado a operar em tempo real:

- terminações de linha - são as interfaces onde se faz a entrada/saída de sinais externos;
- matriz de comutação - executa a função principal da central, isto é, encaminha qualquer canal de uma entrada para uma saída;
- controlo - é a unidade de processamento onde se tomam todas as decisões, tendo em conta os pedidos de chamadas dos utilizadores, veiculados através da sinalização.

As centrais locais e as centrais de trânsito têm duas diferenças fundamentais, ao nível das interfaces e dos requisitos de comutação:

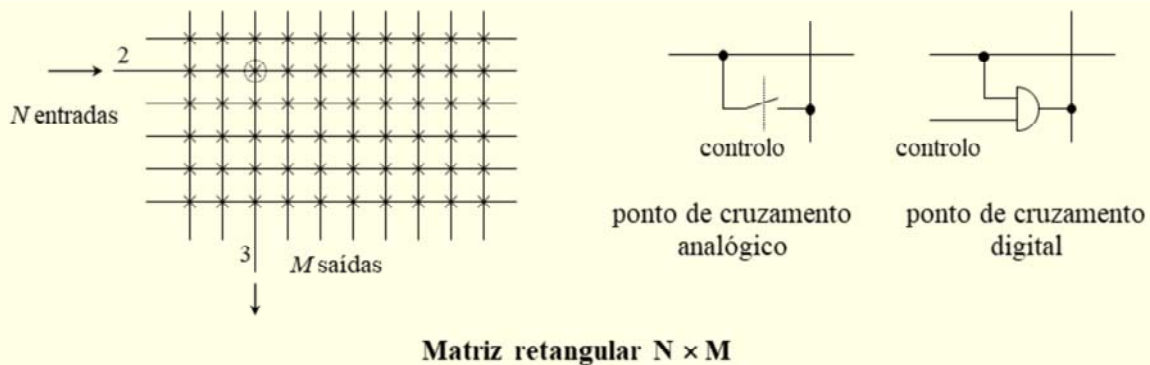
- nas centrais de trânsito, ao contrário das centrais locais, não existem terminações de assinante;
- as centrais locais interligam um canal de entrada a um canal de saída específico, em função dos assinantes chamador e chamado; as centrais de trânsito, por sua vez, encaminham uma ligação de um canal de uma rota de entrada para um qualquer canal disponível de uma rota de saída.

Rede de comutação de circuitos

Matrizes de comutação de circuitos

– matriz de comutação básica

- interliga qualquer entrada a qualquer saída
- atua-se o ponto de cruzamento respetivo
- pontos de cruzamento crescem rapidamente com o número de entradas/saídas



Sistemas de Telecomunicações

Rede Fixa de Telecomunicações

Conceptualmente, a estrutura de comutação mais simples é um agrupamento retangular de pontos de cruzamento, que permitem interligar todas as entradas a todas as saídas.

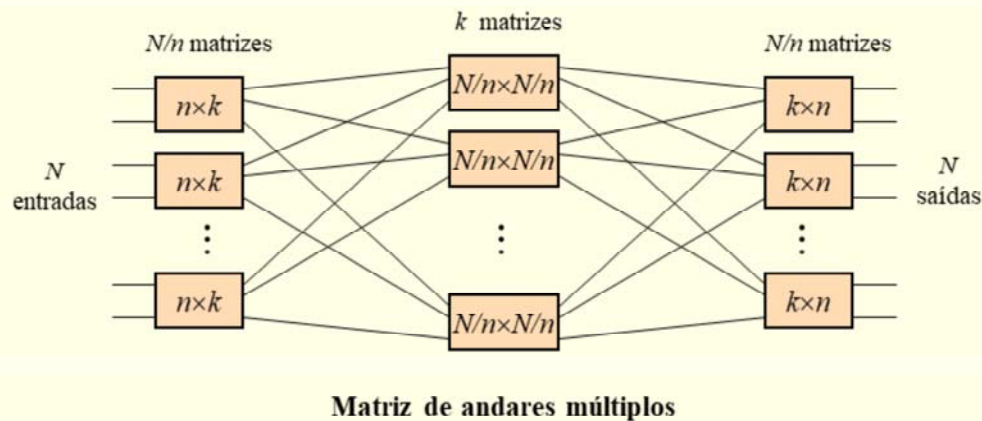
As matrizes retangulares de comutação são usadas em comutadores para suportar tráfego de trânsito, ou como andares de estruturas de andares múltiplos. Poderão promover a concentração de tráfego ($N > M$) ou expansão ($N < M$).

Para suportar a comutação local poderão ser utilizadas matrizes quadradas ($N=M$).

Rede de comutação de circuitos

Matrizes de comutação de circuitos

- matriz de comutação de média/grande dimensão
 - para reduzir pontos de cruzamento utilizam-se matrizes de andares múltiplos
 - a probabilidade de bloqueio pode ser tão pequena quanto se queira



Sistemas de Telecomunicações

Rede Fixa de Telecomunicações

O número de pontos de cruzamento de uma matriz de um andar cresce rapidamente com o número de entradas e saídas.

No caso de um número elevado de linhas, para evitar o número proibitivo de pontos de cruzamento, recorre-se a estruturas constituídas por andares múltiplos.

Cada andar é constituído por um conjunto de matrizes retangulares idênticas. Cada uma delas interliga-se a todas as matrizes dos andares adjacentes.

Como veremos adiante, é possível obter um menor número de pontos de cruzamento, em comparação com um único andar. Além disso, se se aceitar uma certa probabilidade de bloqueio, a redução de pontos de cruzamento pode ser muito significativa.

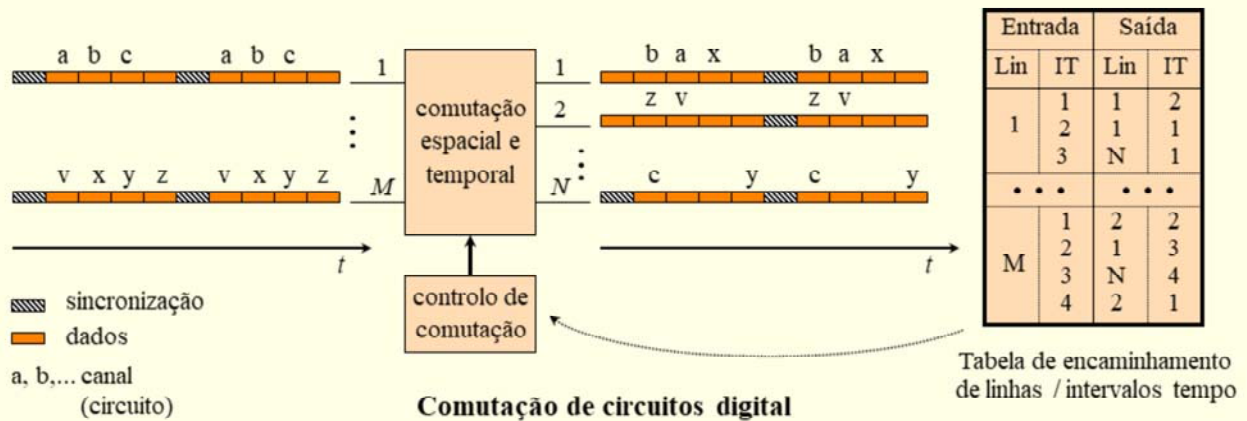
Rede de comutação de circuitos

Matrizes de comutação de circuitos

– comutação de circuitos digital

- as entradas e saídas são ligações multiplexadas TDM
- a comutação consiste na troca de intervalos de tempo (espacial e temporal)
- exige que todas as entradas estejam sincronizadas entre si

geralmente ligações E1



Sistemas de Telecomunicações

Rede Fixa de Telecomunicações

A comutação digital é um processo de interligar intervalos de tempo entre um conjunto de ligações multiplexadas no tempo (TDM), suportadas, em geral, em estruturas de 32 intervalos de tempo a 2 048 kbit/s (ligações E1).

A comutação digital assenta em duas técnicas complementares:

- na comutação espacial, transfere-se a 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.

Áreas funcionais da rede

Rede de comutação de pacotes

Funções

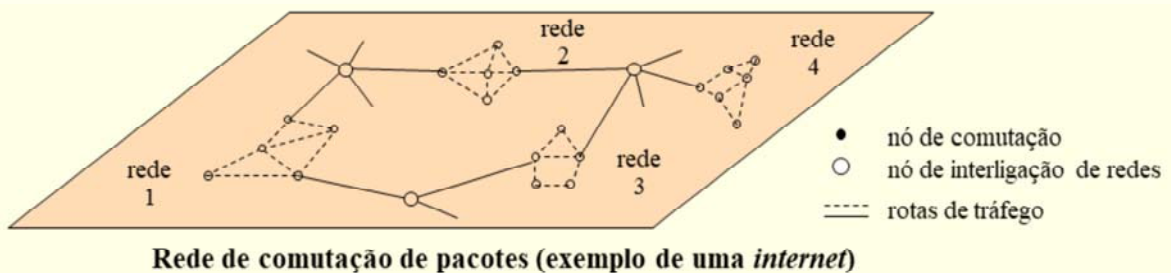
- estabelecimento, libertação e supervisão de conexões
- transferência de pacotes da origem para o destino
- concentração / expansão

só nas redes orientadas a conexões

Sistemas constituintes

- comutadores de pacotes
- rotas de tráfego

switch
router



Sistemas de Telecomunicações

Rede Fixa de Telecomunicações

A rede de comutação de pacotes é objecto de estudo de outras disciplinas, pelo que se faz aqui apenas uma breve referência, com o objectivo de evidenciar a sua articulação com a rede fixa de telecomunicações.

Esta rede permite suportar eficientemente a transmissão de dados com débitos variáveis, identificando-se dois tipos básicos, como vimos anteriormente:

- rede de comutação de pacotes com conexões (ex.: ATM, MPLS);
- rede de comutação de pacotes sem conexões (ex.: IP).

As redes com conexões:

- requerem o estabelecimento e libertação de conexões (**circuitos virtuais**) através de sinalização;
- os pacotes transportam apenas o identificador de conexão;
- o encaminhamento de pacotes é decidido quando o circuito virtual é estabelecido - todos os pacotes seguem a mesma rota.

As redes sem conexões:

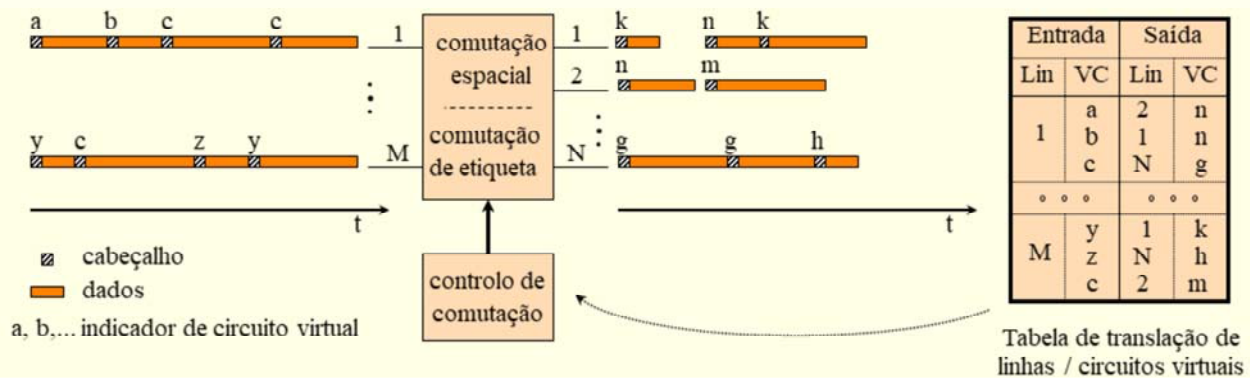
- não requerem o estabelecimento de conexões;
- todos os pacotes têm de ter endereços de origem e destino, designando-se, por isso, de **datagramas**;
- encaminham os pacotes de forma autónoma.

Áreas funcionais da rede

Rede de comutação de pacotes

Comutação de pacotes com conexões

- comutação espacial: transferem-se pacotes das entradas para as saídas
- comutação de etiqueta: os indicadores de circuito virtual nos cabeçalhos são modificados



Comutação de pacotes (rede com conexões)

Sistemas de Telecomunicações

Rede Fixa de Telecomunicações

Nos nós de comutação de uma rede orientada a serviços com conexões, é necessário modificar o indicador de circuito virtual antes da transmissão para o nó seguinte, uma vez que, de um modo geral, os indicadores são referências que têm apenas significado local na ligação entre dois nós (numa rede desenvolvida, seria impossível ter referências universais). Este mecanismo é designado de comutação de etiqueta.

Diz-se, então, que a comutação de etiqueta das redes em modo de pacote corresponde à comutação temporal (de posição) das redes em modo de circuito. Note-se que a dimensão tempo não poderia ser utilizada para identificar os pacotes, uma vez que há alterações temporais variáveis, resultantes de atrasos nas filas de espera.

Os circuitos virtuais e respetivos indicadores são definidos na fase de estabelecimento de cada conexão, atualizando-se então as tabelas de translação, de forma análoga ao que sucede no modo de circuito.

A sinalização necessária para o estabelecimento de conexões é suportada em pacotes transportados sobre a própria rede de comutação de pacotes, não sendo por isso necessária uma rede de sinalização própria, como ocorre em redes de comutação de circuitos.

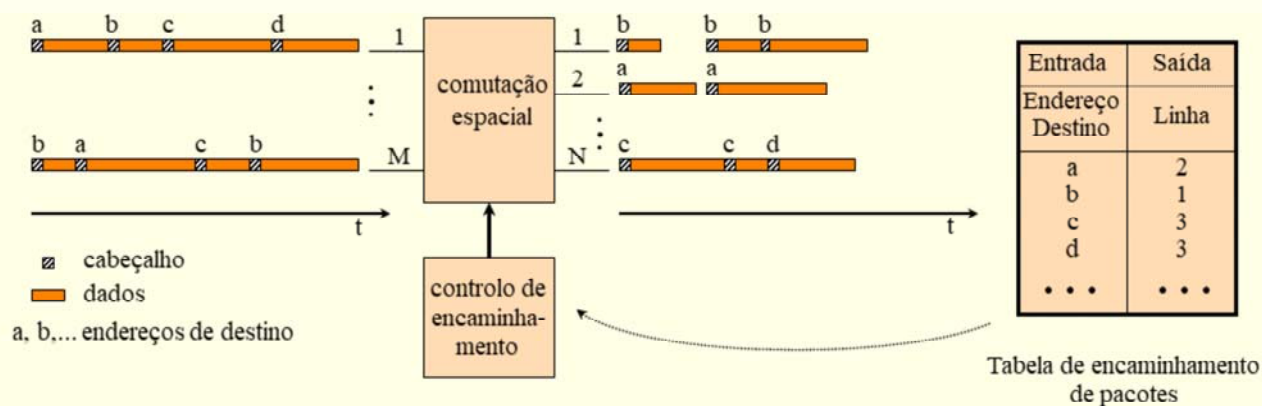
Um caso particular deste tipo de comutação ocorre com a tecnologia ATM, com a particularidade de os pacotes se designarem de células e terem um comprimento fixo.

Áreas funcionais da rede

Rede de comutação de pacotes

Comutação de pacotes sem conexões

- só há comutação espacial de pacotes
- os cabeçalhos não são modificados



Comutação de pacotes (rede sem conexões)

Sistemas de Telecomunicações

Rede Fixa de Telecomunicações

No caso de uma rede orientada a serviços sem conexões, os nós de comutação não alteram a informação de endereço contida em cada pacote: após a receção, os pacotes são apenas armazenados e enviados (*store and forward*) de acordo com o endereço de destino presente no cabeçalho.

Por isso, neste caso, usa-se para o nó a designação mais apropriada de encaminhador (*router*).

Áreas funcionais da rede

Rede de sinalização em comutação de circuitos

Funções

- troca de informação de controlo entre
 - assinante e central local
 - centrais interligadas por rotas de tráfego
- suporte de serviços de rede inteligente

estabelecimento, gestão e libertação de chamadas

Sistemas constituintes

- nós de sinalização
- ligações de dados entre os nós

origem e terminação de sinalização
encaminhamento de sinalização
bases de dados de controlo de serviços

Tipos de sistemas de sinalização

- sinalização por canal associado
- sinalização por canal comum

um canal de sinalização para cada canal de comunicação

um único canal de sinalização para múltiplos canais de comunicação

Sistemas de Telecomunicações

Rede Fixa de Telecomunicações

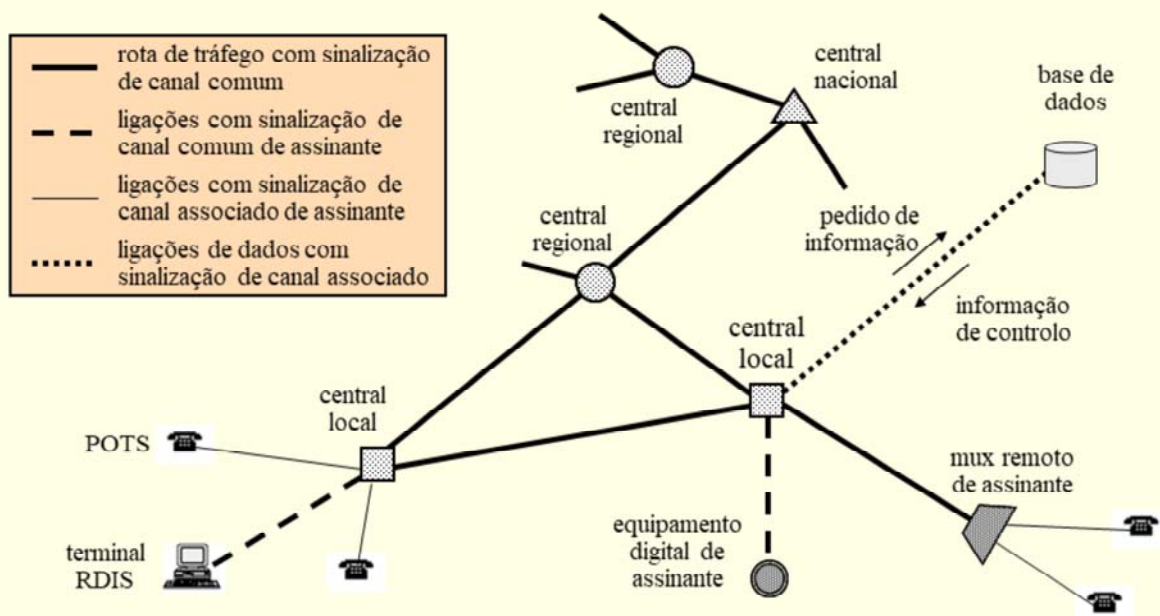
A rede de sinalização é a infraestrutura básica de comunicação de informação de controlo que assegura o fornecimento de serviços numa rede de comutação de circuitos - a sua função básica é permitir estabelecer e libertar circuitos extremo a extremo, para suportar chamadas com as características requeridas pelos utilizadores.

Mais recentemente, a rede de sinalização passou igualmente a suportar serviços de rede inteligente (IN, *Intelligent Network*), que exigem, nomeadamente, a translação de números. Por exemplo, a rede de sinalização fornece os mecanismos que permitem converter números verdes, não geográficos, em números geográficos da rede fixa, com os respetivos prefixos de área, o que, por sua vez, permite o encaminhamento das chamadas pelas centrais de comutação.

Este conceito de rede inteligente é igualmente fundamental para suportar a mobilidade em redes de rádio celular, disponibilizando-se de forma equivalente a informação de localização dos terminais móveis.

Refira-se ainda que a infraestrutura de comunicação de dados que suporta a rede de sinalização por canal comum é igualmente utilizada pela rede de gestão.

Rede de sinalização em comutação de circuitos – Sistemas SS7 e DSS1



Aplicação dos vários tipos de sistemas de sinalização em comutação de circuitos

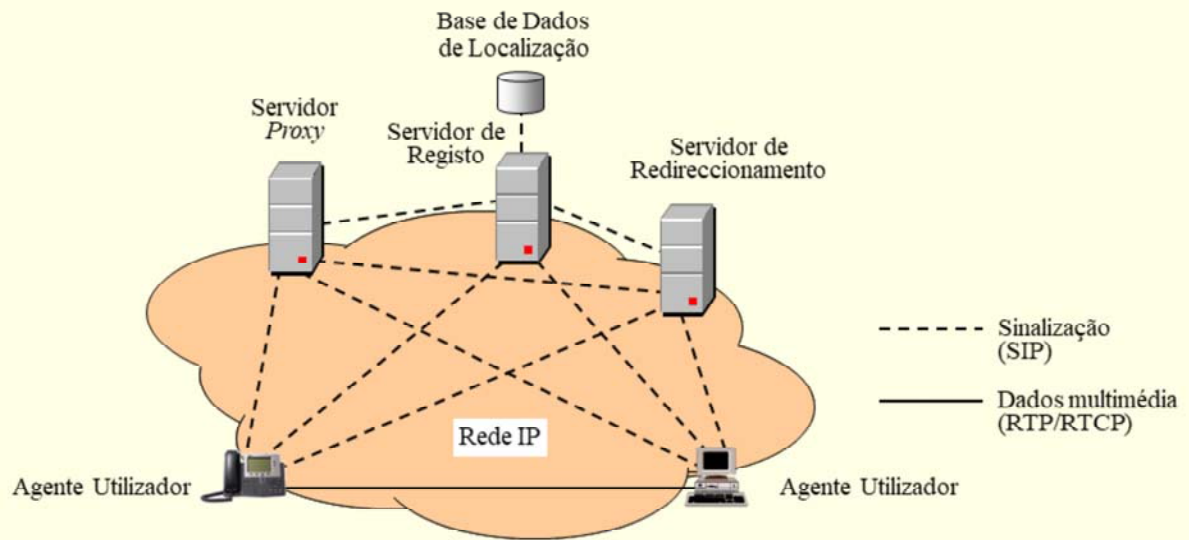
Sistemas de Telecomunicações

Rede Fixa de Telecomunicações

A sinalização de canal associado já foi utilizada entre nós de comutação, encontrando-se, neste momento obsoleta. É utilizada apenas na rede local.

A sinalização de canal comum é, portanto, o sistema universal de comunicação de dados adotado para transferência de informação de controlo entre nós de comutação. Além disso, a sinalização de canal comum suporta os serviços de rede inteligente através de procedimentos de consulta a bases de dados. Por exemplo, no caso de translação de números verdes, uma base de dados de serviço é inquirida e disponibiliza o número geográfico para o qual a chamada deve ser encaminhada. No suporte à mobilidade, a base de dados associada à rede móvel indica a área geográfica onde se localiza, no momento da chamada, o terminal móvel do assinante destinatário.

A RDIS introduziu um tipo de sinalização de canal comum idêntico ao utilizado entre nós de comutação, estendendo assim as capacidades de troca de informação de controlo até ao próprio utilizador. Esta evolução veio a permitir o suporte de um vasto número de facilidades adicionais impensáveis no acesso convencional analógico.



Arquitetura SIP mostrando os elementos de rede

A sinalização em redes VoIP é suportada no protocolo SIP (*Session Initiation Protocol*) para estabelecer chamadas e conferências através de redes IP.

Um elemento de rede essencial nesta arquitetura é o servidor de registo, que deverá ser consultado sempre que ocorre um chamada destinada a um utilizador do respetivo domínio, para lhe proporcionar o endereço físico atual.

Rede de gestão

Funções

- gestão de configuração da rede
- gestão de falhas
- gestão de desempenho
- gestão de contabilidade
- gestão de segurança

Sistemas constituintes

- sistemas de operações: processamento da informação
- elementos da rede de telecomunicações: objetos da gestão
- rede de comunicação de dados: assente sobre a rede de sinalização
- estações de trabalho: acesso pelo pessoal de operações e utilizadores

Sistemas de Telecomunicações

Rede Fixa de Telecomunicações

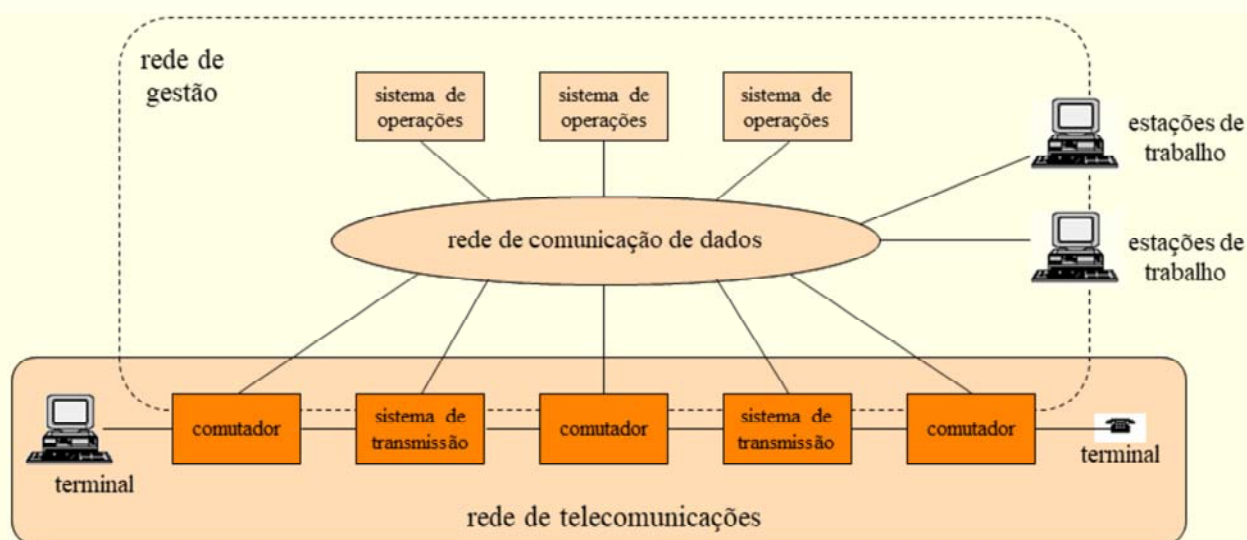
Com o desenvolvimento e complexidade crescentes das redes de telecomunicações, e simultaneamente com a necessidade de os operadores de telecomunicações oferecerem uma qualidade de serviço adequada, assume especial importância a disponibilização de um sistema eficaz de gestão que suporte as catividades de Operação, Administração, Manutenção & Provisão (OAM&P).

O conceito de rede de gestão assenta nas seguintes características:

- comunicação de dados de gestão através de uma rede que interliga os vários tipos de sistemas de operações e equipamentos de telecomunicações a gerir;
- distribuição de funcionalidades de gestão pelos vários sistemas de operações, permitindo a implementação de uma gestão centralizada, integrada e automatizada de uma grande área de rede e serviços.

Áreas funcionais da rede

Rede de gestão



Conceito de rede de gestão

Sistemas de Telecomunicações

Rede Fixa de Telecomunicações

As funções de gestão podem ser implementadas segundo várias configurações físicas, muitas vezes condicionadas pelos cenários de introdução gradual de facilidades de gestão.

Numa fase avançada de desenvolvimento, pode definir-se uma arquitetura simplificada constituída pelos seguintes componentes:

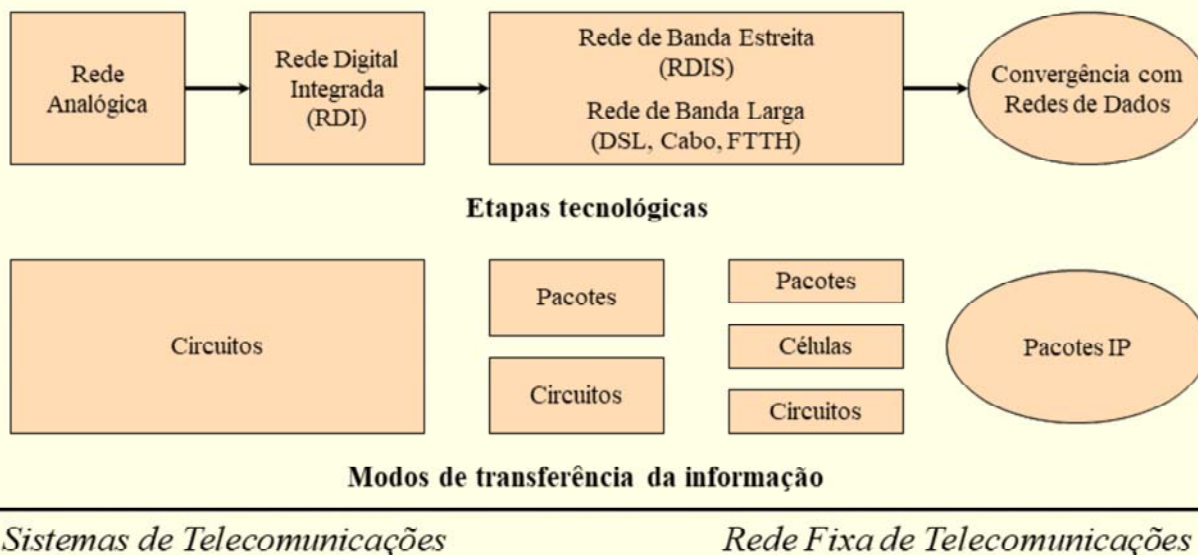
- sistemas de operações: é responsável pelas funções de OAM&P colocadas à disposição de utilizadores.
- elementos de rede: conjunto de equipamentos da rede de telecomunicações, com capacidades de monitorização e controlo.
- rede de comunicação de dados: rede de dados baseada em protocolos normalizados, destinada a permitir a troca de informação de gestão entre os blocos funcionais da rede de gestão.
- estação de trabalho: executa funções de tradução de informação para um formato visualizável por utilizadores da rede de gestão.

Evolução da rede

Etapas tecnológicas

Caracterização das etapas tecnológicas

- um conjunto coerente de tecnologias
- modos específicos de transferência de informação



A evolução da rede pode ser referida a grandes etapas tecnológicas, embora em certos períodos de tempo algumas delas tenham coexistido.

Nas 2 primeiras fases, o modo de circuito é exclusivo. Os circuitos asseguram, por natureza, canais de débito constante estabelecidos a pedido ou semipermanentes.

A Rede Digital com Integração de Serviços suporta adicionalmente canais em modo pacote, isto é, usam-se protocolos de comunicação típicos das redes de dados.

A introdução de serviços de banda larga conduziu à adopção do modo de transferência da informação (ATM, *Asynchronous Transfer Mode*), baseado no modo de pacote, mas com unidades de informação (células) de comprimento fixo. Certos serviços continuaram a ser suportados no modo de circuito ou no modo de pacote.

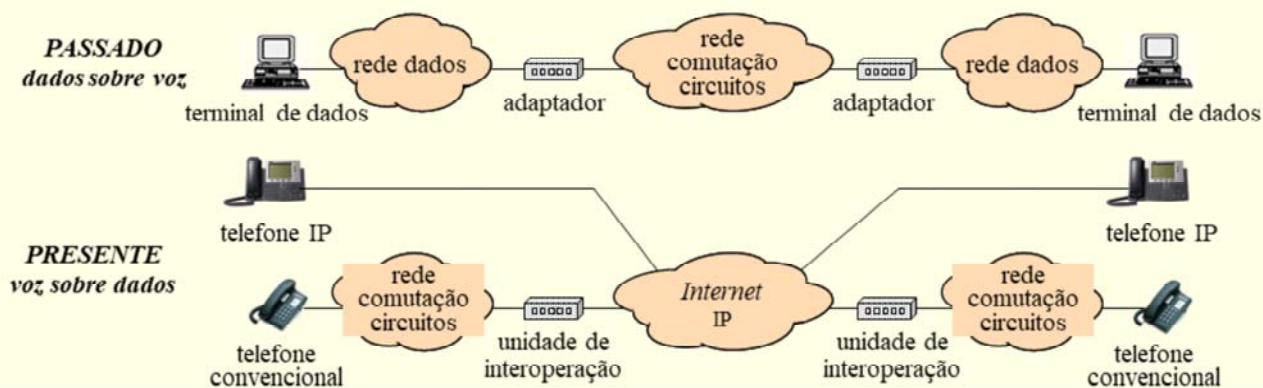
A visão atual é no sentido da convergência crescente com as redes de dados, sendo plausível uma evolução no sentido da adopção genérica do protocolo IP, utilizado já em larga escala na Internet.

Evolução da rede

Convergência com redes de dados

Inversão da importância relativa voz-dados

- crescimento acelerado de servidores Internet
- débitos mais elevados no acesso de utilizador (DSL, cabo, fibra ótica)
- em 1998, o tráfego de dados ultrapassou o de voz a nível mundial



Desenvolvimento da rede fixa de telecomunicações

Sistemas de Telecomunicações

Rede Fixa de Telecomunicações

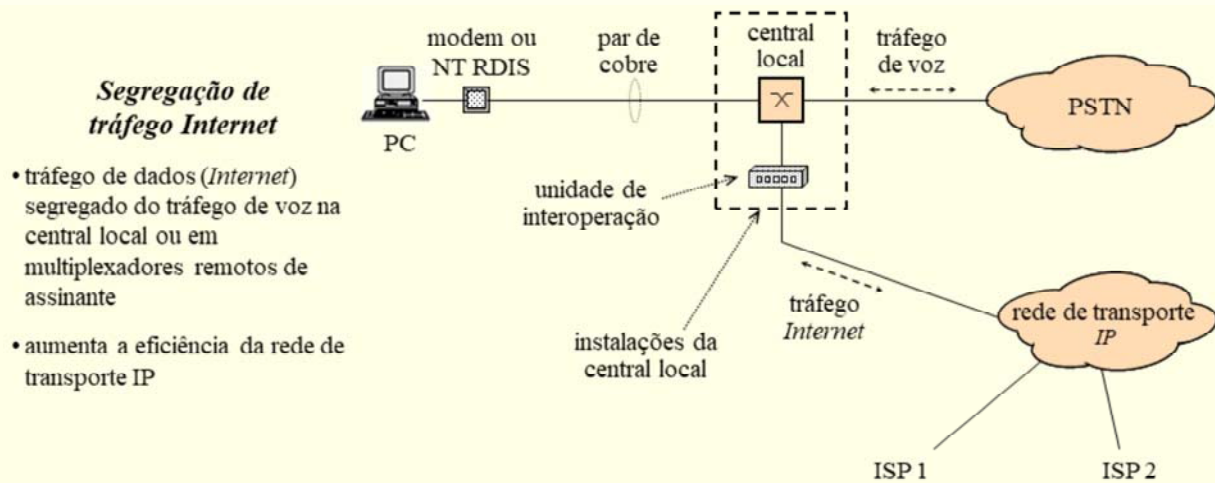
A tendência atual é no sentido de os serviços de telecomunicações, incluindo a telefonia, serem suportados numa base tecnológica comum, o que facilita os diversos níveis de integração de serviços: no terminal, no acesso, na transmissão, na comutação e na gestão da rede.

Há algum tempo, a tecnologia ATM foi considerada como candidata a desempenhar este papel. Contudo, uma realidade diferente acabou por se impor a este plano de desenvolvimento, e, neste momento, os protocolos da Internet têm todas as condições para se imporem a todos os serviços. Veja-se, por exemplo, os passos significativos que têm sido dados na área de telefonia sobre IP.

Evolução da rede

Convergência com redes de dados

Evolução do acesso Internet → migração da rede comutada para rede IP



Cenários de evolução do acesso Internet na rede fixa de telecomunicações (1)

Sistemas de Telecomunicações

Rede Fixa de Telecomunicações

Os acessos de banda estreita à Internet faziam-se, em grande parte, sobre circuitos comutados estabelecidos até ao POP (*Point Of Presence*) mais próximo do ISP respetivo. Na maioria dos casos, era necessário ocupar um circuito de interligação por cada chamada, sem que tal resulte num aumento de receita, já que a chamada é normalmente taxada à tarifa local.

O cenário representado no diagrama resolve esta questão: a marcação, pelo utilizador, de um número de acesso à Internet dará lugar ao estabelecimento de um circuito através da central local, encaminhado para uma unidade de interoperação, através da qual se fará a ligação à rede de dados, nas próprias instalações da central local.

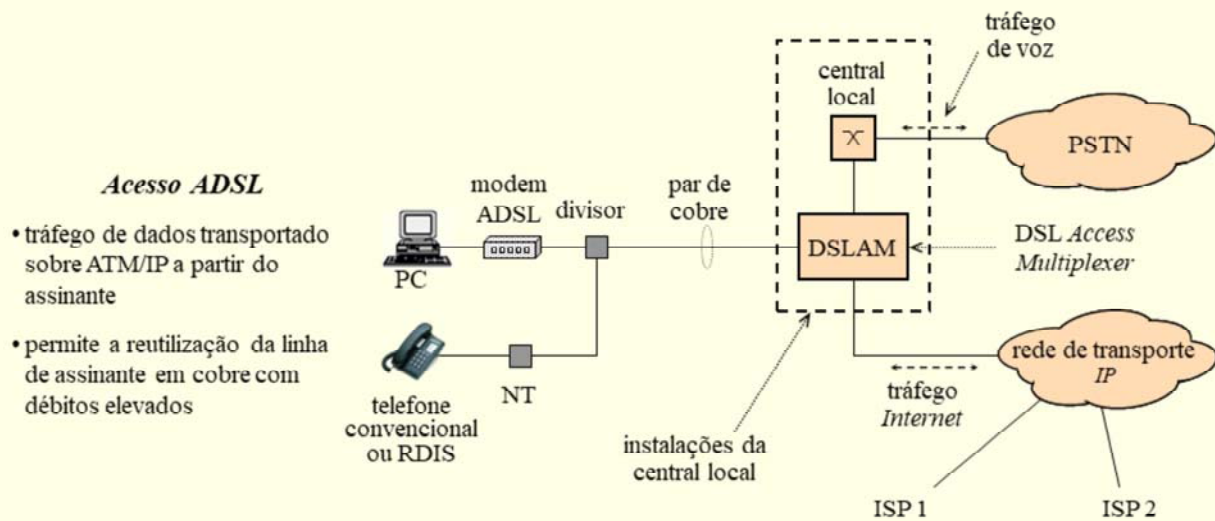
Em áreas onde existem multiplexadores remotos de assinante, poderá proceder-se de igual modo, encaminhando as chamadas de acesso à Internet para uma unidade de interoperação que fará a multiplexagem de pacotes sobre um único canal de dados de acesso à rede de transporte IP.

Desta forma, evita-se a utilização ineficiente de circuitos de interligação para aceder aos ISPs (*Internet Service Providers*) - haverá multiplexagem estatística dos vários utilizadores sobre o mesmo canal de dados.

Evolução da rede

Convergência com redes de dados

Evolução do acesso Internet → migração da rede comutada para rede IP



Cenários de evolução do acesso Internet na rede fixa de telecomunicações (2)

Sistemas de Telecomunicações

Rede Fixa de Telecomunicações

No acesso ADSL, a comunicação faz-se normalmente em pacotes IP transportados sobre células ATM. No par de cobre do utilizador, o tráfego de dados ocupa uma banda colocada acima da banda ocupada pela telefonia analógica (ou RDIS), pelo que a disponibilização deste tipo de acesso não obriga à instalação de novos suportes físicos de transmissão.

Além disso, esta solução permite fornecer um acesso "sempre ligado" - não há necessidade de estabelecer um circuito para permitir a comunicação.

Uma solução equivalente tem vindo a ser disponibilizada pelos operadores de redes por cabo, em que um modem de cabo (*cable modem*) de assinante comunica com um sistema de terminação de modems de cabo (CMTS, *Cable Modem Termination System*), onde se fará a agregação do tráfego de dados de múltiplos assinantes.

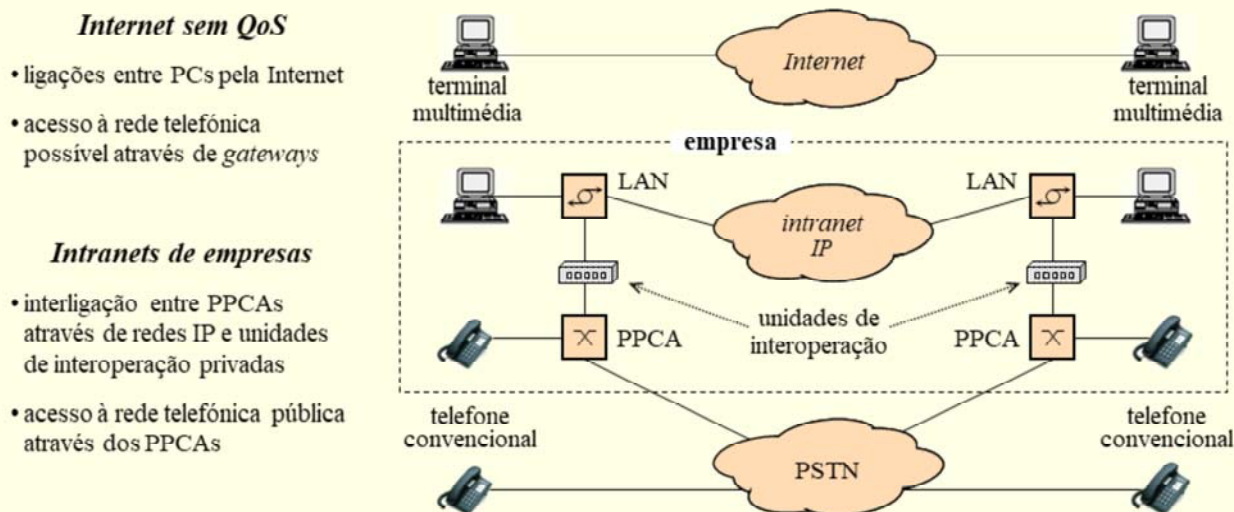
Em qualquer destes cenários, a fronteira da rede de pacotes chega diretamente ao utilizador, permitindo o transporte integrado de serviços sobre redes de dados, o que, especialmente no caso de utilizadores residenciais, representa um avanço significativo.

Na perspectiva dos operadores incumbentes, isto é, que exploraram durante longos anos a rede básica de telecomunicações, a utilização generalizada de acessos à Internet por ADSL ou por cabo, em detrimento de acessos comutados, tem vindo a reduzir a enorme pressão que se estava a sentir em termos de sobrecarga dos comutadores locais.

Evolução da rede

Convergência com redes de dados

Evolução do transporte de voz → migração da rede comutada para rede IP



Cenários de evolução do transporte de voz na rede fixa de telecomunicações (1)

Sistemas de Telecomunicações

Rede Fixa de Telecomunicações

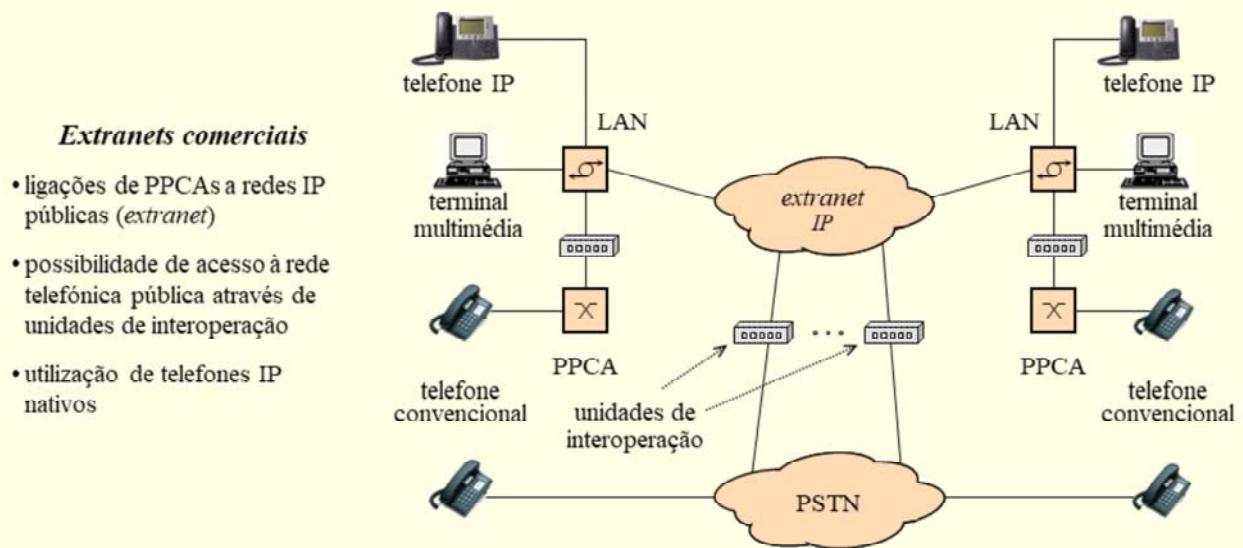
O transporte dos serviços convencionais de voz será progressivamente feito sobre as redes de dados, embora de forma faseada.

O cenário de telefonia pela Internet, embora isolado do resto da rede telefónica, é uma realidade desde 1995, quando foi demonstrada uma comunicação de voz com compressão envolvendo dois PCs com processadores a 33 MHz - o problema é a baixa qualidade de serviço (QoS) em situações de sobrecarga da rede.

O cenário de voz sobre IP em *intranets* de empresas já é utilizado há algum tempo por muitas empresas, o que também se tornou legalmente possível em Portugal, com os primeiros passos da liberalização do mercado.

Convergência com redes de dados

Evolução do transporte de voz → migração da rede comutada para rede IP



Cenários de evolução do transporte de voz na rede fixa de telecomunicações (2)

Sistemas de Telecomunicações

Rede Fixa de Telecomunicações

O cenário de *extranets* comerciais tornou-se possível com o aparecimento de novos operadores que instalaram de raiz redes de dados, sobre as quais transportam o tráfego de voz - a atribuição de banda é feita de forma conservativa, garantindo a qualidade do serviço.

A migração do tráfego de voz para redes de dados é um requisito essencial para a rentabilização da infraestrutura, que pode ser resolvido de várias formas:

- nos utilizadores comerciais que já usam LANs nas suas redes internas, poderão ser usados terminais que, suportando voz sobre IP, acedem diretamente à rede de dados; em alternativa, poderão ser usados telefones convencionais ligados a PPCA's, sendo necessário, neste caso, promover a interoperação na própria rede privada;
- para estender a oferta aos utilizadores com acesso telefónico convencional, a interoperação deverá ser feita na rede pública, o mais próximo possível da central local que serve o utilizador;
- nas redes de acesso por ADSL, por cabo ou por fibra ótica, já é possível disponibilizar serviços de voz sobre IP, estando, contudo o sucesso deste serviço assegurado pelo facto de os operadores disponibilizarem unidades de interoperação para acesso à rede fixa convencional.