

---

---

## *Acesso no Lacete Local*

**Acesso telefónico analógico**

**Transmissão digital no lacete local**

**Acesso por *modem* da banda de voz**

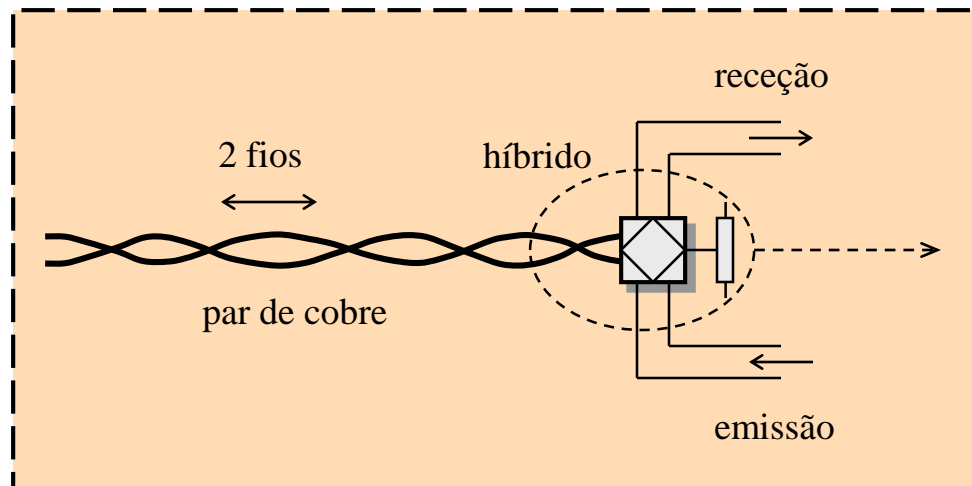
**Acesso DSL – *Digital Subscriber Line***

# Acesso telefónico analógico

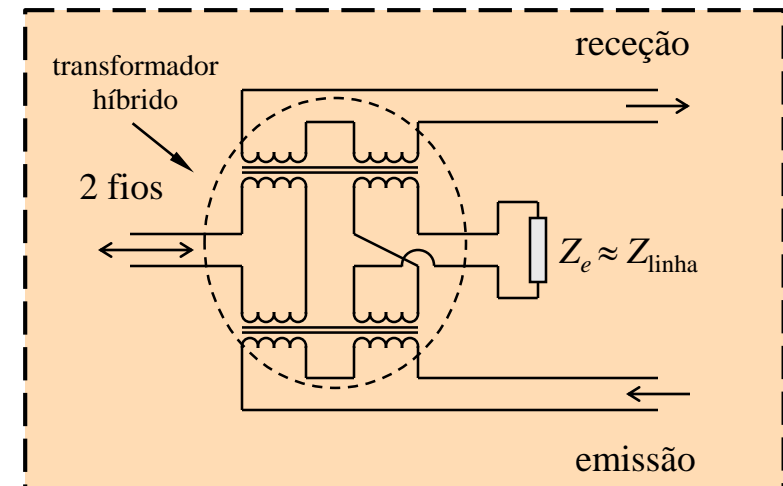
## Lacete local

### Características

- constituído por **um par de fios** balanceados
- permite a transmissão bidirecional num único suporte físico
- exige **circuitos híbridos** para **separar os sinais de emissão e receção nos extremos**
- **pares torcidos**: o ruído e interferências induzidos nos fios cancelam-se mutuamente



Lacete local e circuito híbrido



Circuito híbrido genérico  
com transformador

Valdar, A. (2017). Understanding Telecommunications Networks (2 ed). IET.

# Acesso telefónico analógico

## Suporte físico

Fios aéreos

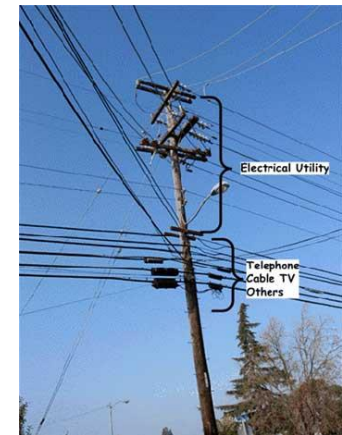
utilizados no lacete local em meios rurais  
(a cair em desuso)

- **fios nus de cobre suspensos por isoladores cerâmicos** em hastes transversais no topo de postes
- grande quantidade de cobre  $\Rightarrow$  baixa atenuação
- grande separação entre os fios, conduzindo à rápida saturação dos postes
- manutenção elevada



## Cabos de pares simétricos

- pares de cobre agrupados num cabo
- suspensos, enterrados ou enfiados em condutas
- capacidade muito diversa: tipicamente entre 6 e 2700 pares num cabo
- diâmetros mais comuns de 0,4 e 0,5 mm  $\Rightarrow$  atenuação relativamente elevada
- diâmetros de 0,6 a 0,9 mm utilizados em troços mais distantes de ligações longas
- distorção de amplitude elevada na banda de voz – possível compensar



# Acesso telefónico analógico

## Princípio de operação

### Configuração de acesso

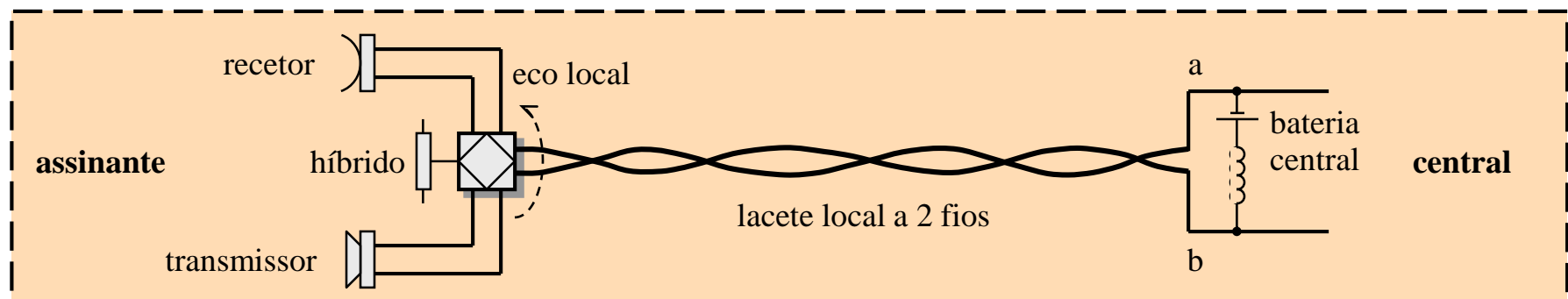
- um único par de cobre (2 fios) → interface a/b
- híbrido no assinante assegura acoplamento à linha do transmissor e do recetor

### Alimentação

- central local alimenta a linha de assinante a partir de uma bateria central (-48 V)

### Efeito local

- potencial desadaptação do híbrido produz um eco local (sem atraso)



**Acesso telefónico a dois fios**

# Acesso telefónico analógico

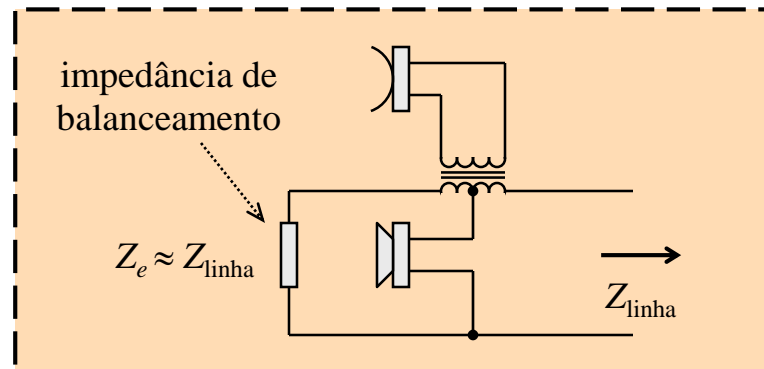
## Princípio de operação

### Híbrido baseado em transformador

- configuração simplificada utilizada desde os primórdios da telefonia
- montagem com um microfone simples e um altifalante, ambos sem amplificadores

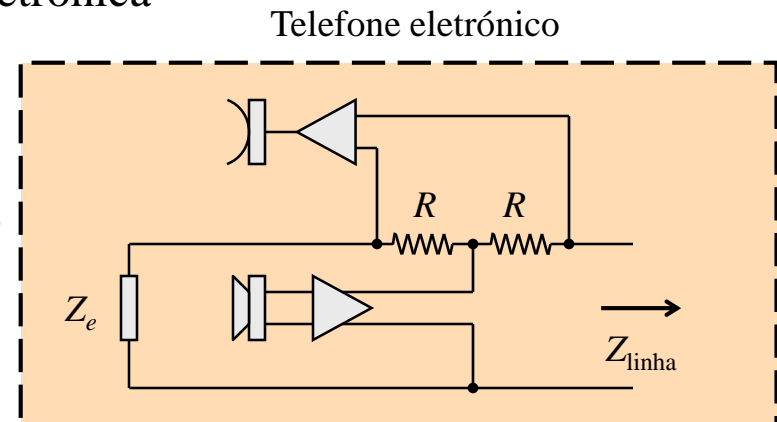
### Híbrido baseado em circuito resistivo

- configuração simplificada com T resistivo
- transmissor e recetor com amplificação eletrónica



**Híbrido simplificado baseado em transformador**

evolução



**Híbrido simplificado baseado em circuito resistivo**

# *Transmissão digital no lacete local*

---

## **Principais limitações da transmissão em pares de cobre**

### Limitações intrínsecas do canal

Atenuação e distorção de amplitude

- atenuação ( $A$ ) proporcional ao comprimento da linha ( $d$ )

$$A = \gamma \cdot d$$

$\gamma$  – atenuação específica (dB/km)

- atenuação agrava-se com pares de menor calibre (diâmetro 0,4 mm)
- atenuação aumenta significativamente com a frequência → distorção de amplitude

$$\gamma \approx k\sqrt{f}$$

ex: 20 dB/km @ 1 MHz

### **Medidas de proteção**

- amplificação nos repetidores e terminações de linha
- igualização do ganho do canal
- codificação de linha ou modulação com espectro compacto, evitando altas frequências

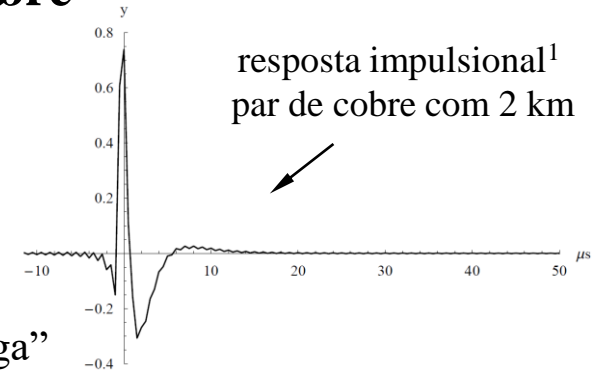
# Transmissão digital no lacete local

## Principais limitações da transmissão em pares de cobre

### Limitações intrínsecas do canal

#### Interferência intersimbólica

- resultam do facto da resposta impulsional do canal ser “longa”
- a decisão sobre um símbolo é afetada por resíduos dos símbolos precedentes
- aumenta com o comprimento da linha
- aumenta com o débito binário



<sup>1</sup>Charina et al., “ISI/ICI Comparision of DMT and Wavelet based MCM Schemes for Time-Invariant Channels”, in Proc. ITG-Conference Nets and Applications, Jan. 2002.

### Medidas de proteção

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

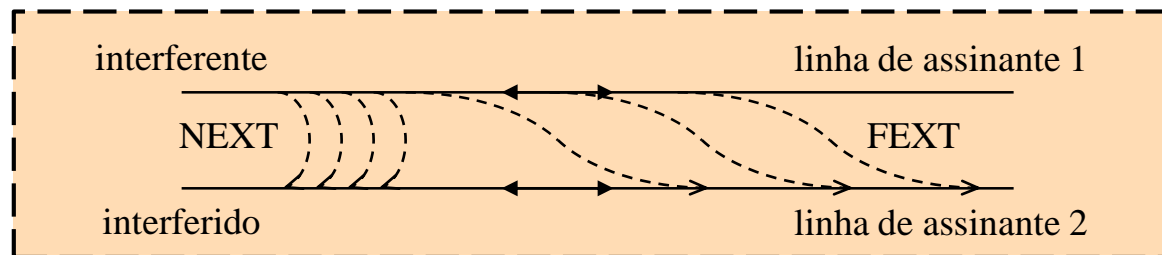
# Transmissão digital no lacete local

## Principais limitações da transmissão em pares de cobre

### Limitações intrínsecas do canal

#### Interferências entre canais

- resulta do acoplamento eletromagnético indesejável entre meios de transmissão
- interferência próxima (NEXT – *Near-End Crosstalk*) entre a emissão e a recepção
  - entre um **nível alto do interferente** e um **nível baixo do interferido**
- interferência remota (FEXT – *Far-End Crosstalk*) ao longo da linha
  - entre **níveis equivalentes do interferente e interferido**
- NEXT e FEXT → aumentam significativamente com a frequência
- NEXT > FEXT para a mesma frequência
- FEXT → aumenta com o comprimento da linha



Interferências entre canais



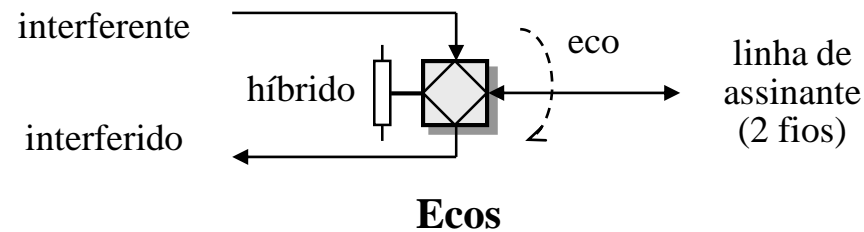
# Transmissão digital no lacete local

## Principais limitações da transmissão em pares de cobre

### Limitações intrínsecas do canal

#### Ecos

- provocados pela desadaptação em circuitos híbridos → conforme vimos no *slide 4*



#### **Medida de proteção para NEXT e FEXT**

- sinais com espectro compacto, evitando altas frequências

#### **Medida de proteção para NEXT e ecos**

- sinais nos dois sentidos não sobrepostos no tempo ou frequência (ver adiante)

#### **Medida de proteção para ecos**

- cancelamento de eco (ver adiante)

# Transmissão digital no lacete local

## Principais limitações da transmissão em pares de cobre

### Limitações intrínsecas do canal

Interferências de radiofrequências

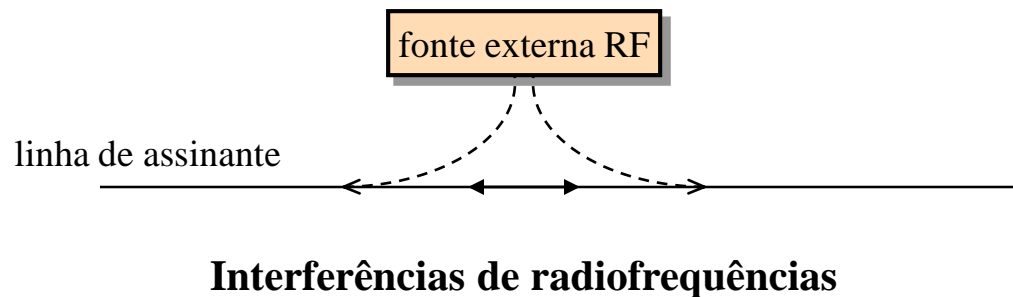
ocorre em **períodos** relativamente **longos**

- resultantes de serviços de radiocomunicações
- concentradas em bandas específicas
- esporadicamente muito significativas

radioamadores

### Medida de proteção

técnicas avançadas de modulação (exemplo: modulação DMT<sup>1</sup> – ver adiante)



<sup>1</sup> Discrete Multi-Tone

# Transmissão digital no lacete local

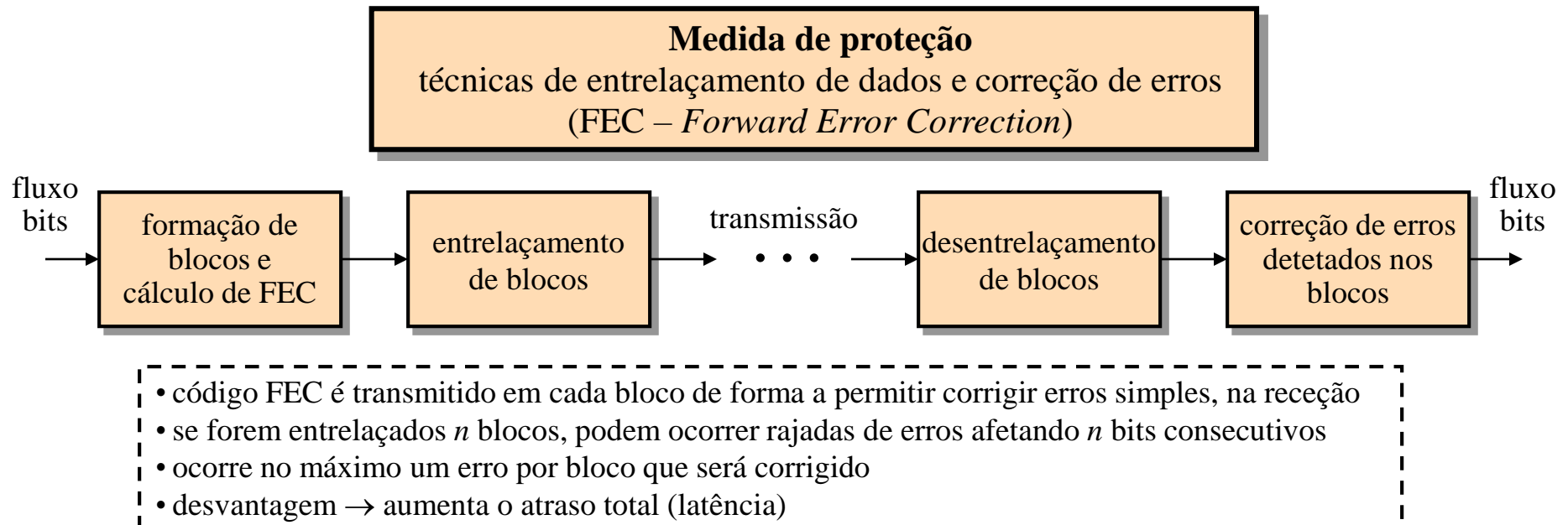
## Principais limitações da transmissão em pares de cobre

### Limitações intrínsecas do canal

Ruído impulsivo

ocorre em **períodos curtos** mais ou menos esporádicos

- sinalização em acessos analógicos (sobretudo transições da corrente de lacete)
- efeitos atmosféricos
- ruído de máquinas elétricas (fábricas, veículos)



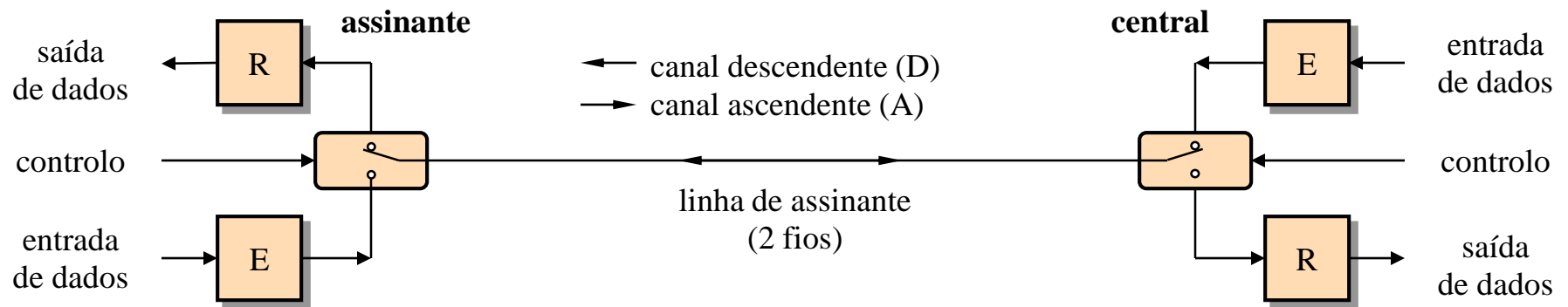
# Transmissão digital no lacete local

## Técnicas de transmissão bidirecional

### TCM – Time Compressed Multiplexing

### TDD – Time Division Duplex

- transmissão alternada de cada sentido a mais do dobro do ritmo
  - reservados tempos de espera: períodos de guarda e tempo de propagação
  - elimina o efeito dos ecos e da interferência NEXT
- requer mais do dobro da banda de cada sentido
  - aumenta a atenuação/distorção e a interferência FEXT entre canais
- eficiência reduz com o aumento da distância / tempo de propagação
  - pouco relevante na linha de assinante, por ser relativamente curta



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

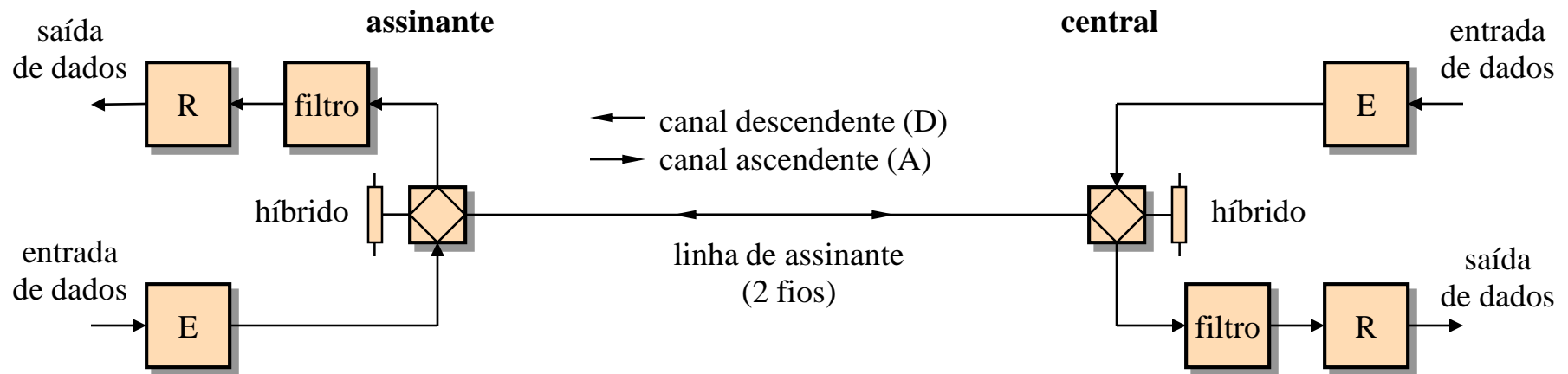
# Transmissão digital no lacete local

## Técnicas de transmissão bidirecional

### FDM – Frequency Division Multiplexing

### FDD – Frequency Division Duplex

- transmissão dos dois sentidos em bandas de frequência distintas
  - reservadas frequências de guarda
  - necessário filtrar convenientemente os sentidos de transmissão
  - resolve o problema dos ecos e interferência NEXT se o filtro for eficaz
- requer mais do dobro da banda de cada sentido
  - aumenta a atenuação/distorção e a interferência FEXT entre canais



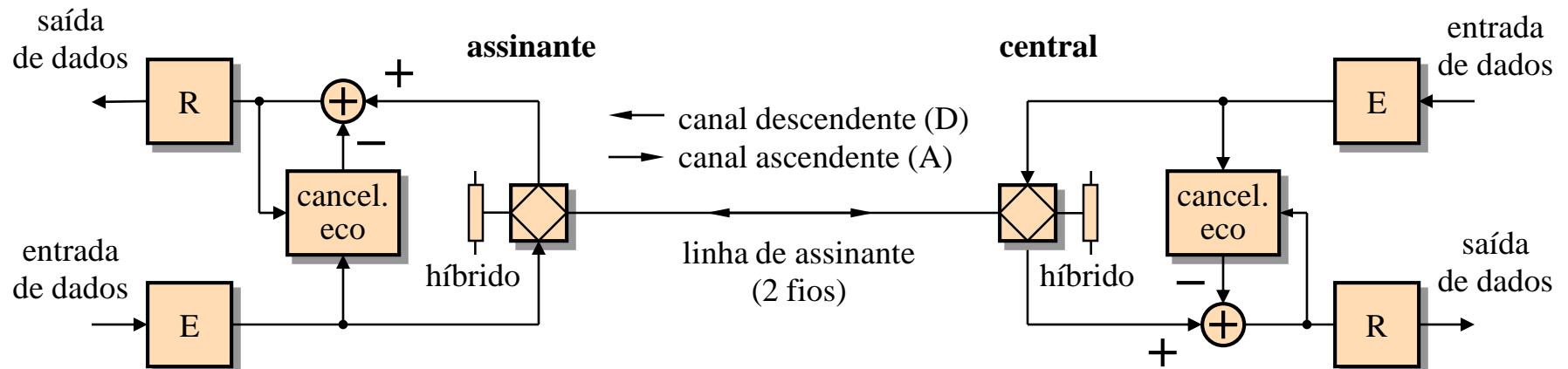
Sistema baseado em *Frequency Division Multiplexing*

# Transmissão digital no lacete local

## Técnicas de transmissão bidirecional

### Cancelamento de eco

- transmissão simultânea dos dois sentidos, na mesma banda
  - híbrido desadaptado introduz eco local e remoto
  - recorre-se ao cancelamento de eco com filtro digital adaptativo
  - o filtro sintetiza os sinais interferentes, removendo-os do sinal recebido (compensa os ecos local e remoto)
- mantém a banda requerida em cada sentido
  - não aumenta a atenuação/distorção e a interferência entre canais



**Sistema baseado em cancelamento de eco**

# Transmissão digital no lacete local

## Sistemas de acesso de assinante

Nome	Data	Descrição	Débito	Simetria	Aplicações na rede de acesso
V.21 ... V.92	1964 ... 2000	Modems da banda de voz	300 bit/s ... D 56 000 bit/s A 48 000 bit/s	Simétrico ... Assimétrico	Comunicação de dados sobre um canal telefónico
HDSL	1990	<i>High-speed Digital Subscriber Line</i>	2 320 kbit/s	Simétrico	Ligações E1/T1 ponto a ponto da rede fixa Acesso a LANs, WANs
ADSL	1999	<i>Asymmetric Digital Subscriber Line</i>	D até 7 Mbit/s A até 800 kbit/s	Assimétrico	Acesso a Internet, <i>video-on-demand</i> , acesso a LANs, multimédia interativa
SHDSL	2001	<i>Single-pair High-speed DSL</i>	até 2 320 kbit/s	Simétrico	Ligações E1/T1 ponto a ponto da rede fixa Acesso a LANs, WANs
ADSL2+	2003	<i>High-speed Digital Subscriber Line</i>	D até 24 Mbit/s A até 1 Mbit/s	Assimétrico	Acesso a Internet, <i>video-on-demand</i> , acesso a LANs, multimédia interativa
VDSL2	2005	<i>Very high-speed Digital Subs. Line</i>	Vários modos A+D até 200 Mbit/s	Simétrico Assimétrico	As mesmas que o SHDSL As mesmas que o ADSL + HDTV

**NOTA** – as datas referem-se à ratificação pela UIT das respetivas recomendações, numa fase estável

# Acesso por modem da banda de voz

## Modems baseados na modulação de portadoras

### Princípio de operação

- começaram por usar FSK e separação dos sentidos de transmissão por FDM
- evoluíram tecnologicamente nos seguintes aspetos
  - modulações QAM com número crescente de estados
  - transmissão bidirecional na mesma banda com cancelamento de eco
  - técnicas de correção de erro de tipo FEC (*Forward Error Correction*)
- limitados pelo ruído de quantização da lei A / lei  $\mu$ 
  - estão muito próximo da capacidade teórica do canal de voz com quantização

V.34 → 240 estados

Teorema de Shannon     $B \cong 3,1 \text{ kHz}$      $S/N \cong 36 \text{ dB}$      $C = B \log_2 (1 + S/N) = 37 \text{ kbps}$

### Exemplos:

evolução  
contínua do  
débito de  
transmissão

Nome	Data	Débito	Modo
V.21	1964	300 bit/s	Simétrico
V.22	1968	1 200 bit/s	
V.32	1984	9 600 bit/s	
V.32 bis	1991	14 400 bit/s	
V.34	1996	33 600 bit/s	

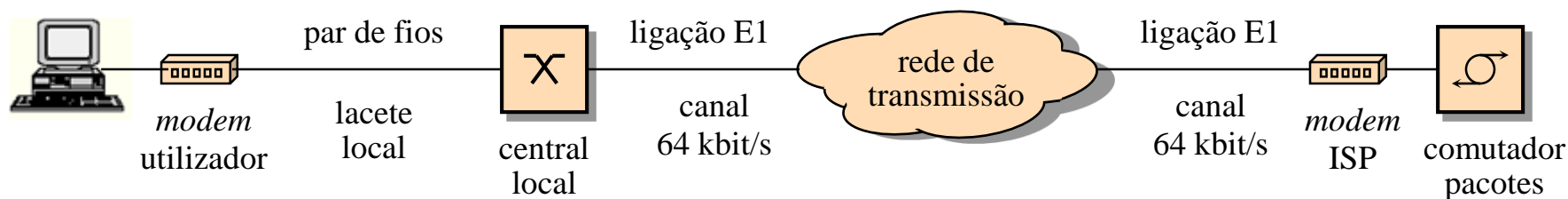


# Acesso por modem da banda de voz

## Modems baseados em PCM

### Configuração

- ligação utilizador – central local → um par
- ligação central local – ISP → um canal digital de voz PCM a 64 kbit/s



### Configuração de acesso por *modem* baseado em PCM

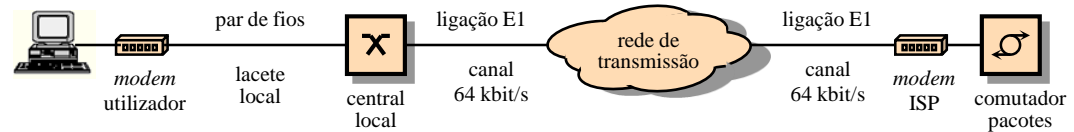
### Princípio de operação

- sinal transmitido no lacete local consiste em impulsos multinível
- sentido descendente ISP → utilizador
  - **modem ISP:** geração de palavras PCM (8 bits @ 8kHz)
  - **central local:** conversão D/A de palavras PCM em símbolos multinível
  - **modem utilizador:** receção de símbolos, conversão A/D e extração de dados

# Acesso por modem da banda de voz

## Modems baseados em PCM

### Princípio de operação



– sentido ascendente utilizador → ISP

- **modem utilizador:** transmissão de símbolos multinível
- **central local:** conversão A/D dos símbolos multinível em palavras PCM
- **modem ISP:** receção de palavras PCM e extração dos dados
- requer adicionalmente uma fase de treino para ajustar os níveis dos símbolos transmitidos aos níveis do D/A da central local

Exemplos:

Nome	Data	Débito	Modo	Princípio de operação
V.90	1998	D 56 000 bit/s	Assimétrico	Baseado em PCM
		A 33 600 bit/s		Baseado em portadora (idêntico a V.34)
V.92	2000	D 56 000 bit/s	Assimétrico	Baseado em PCM
		A 48 000 bit/s		

## *Referências*

---

Valdar, A. (2017). Understanding Telecommunications Networks (2 ed). IET.

---

## *Acesso no Lacete Local*

Acesso telefónico analógico

Transmissão digital no lacete local

Acesso por *modem* da banda de voz

**Acesso DSL – *Digital Subscriber Line***

# Digital Subscriber Line – xDSL

família de técnicas adequadas a  
diversas aplicações

## Características gerais

**HDSL** → *High-speed Digital Subscriber Line*



ITU Rec. G.991.1

- cancelamento de eco adaptativo e funcionamento em banda base
- transmissão sobre 2 ou 3 pares (mais recentemente 1 par – HDSL2)

**SHDSL** → *Single-pair High-speed Digital Subscriber Line*

ITU Rec. G.991.2

- evolução de HDSL para sistemas multisserviço e multidébito

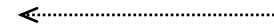
**ADSL** → *Asymmetric Digital Subscriber Line*



ITU Rec. G.992.1/2

- modulações sofisticadas, permitindo débitos elevados, sobretudo o descendente
- transmissão sobre 1 par
- desenvolvimentos mais recentes →

ADSL2



ITU Rec. G.992.3/4

ADSL2+



ITU Rec. G.992.5

**VDSL** → *Very high-speed Digital Subscriber Line*



ITU Rec. G.993.1/2

- prolongamento dos sistemas ADSL/SHDSL para maiores débitos de linha

número  
de pares

alcance

débito  
binário

simetria

cada tecnologia estabelece um  
compromisso entre vários objetivos

# *HDSL – High-speed Digital Subscriber Line*

---

## **Características gerais**

Objetivo geral da tecnologia HDSL

- serviço equivalente a ligações simétricas G.703 E1/T1
- cobertura sem repetidores para a maioria de assinantes

Sistema americano (1 544 kbit/s)

- sistema original em 2 ligações a 784 kbit/s em 2 pares
- evoluiu para um sistema com uma única ligação a 1578 kbit/s num par (HDSL2)

Sistema europeu (2 048 kbit/s)

- tecnologia original americana reutilizável na Europa com mais 1 par
- sistemas atuais permitem 2 pares, ou mesmo 1 par, com alcances aceitáveis

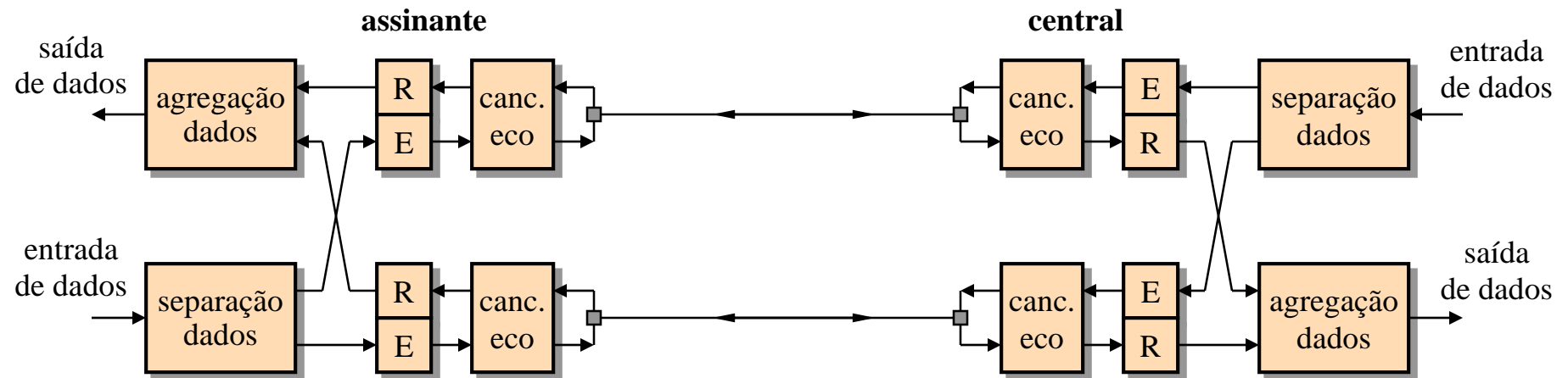
<b>Débito HDSL</b>	<b>Número de pares</b>	<b>Débito por par</b>	<b>Alcance (<math>d=0,5</math> mm)</b>
2 048 kbit/s	2	1 168 kbit/s	4,3 km
	1	2 320 kbit/s	3,0 km

# HDSL – High-speed Digital Subscriber Line

## Princípio de operação

Transmissão em múltiplos pares

- fluxo total de bits em cada sentido é **distribuído por cada um dos pares de cobre**
- a comunicação é **bidirecional em cada par**
- reduz-se assim a banda ocupada em cada par



Sistema básico de transmissão HDSL sobre 2 pares

# *HDSL – High-speed Digital Subscriber Line*

---


## **Princípio de operação**

Codificação de linha

- codificação multinível 2B1Q

Isolamento dos sentidos de transmissão

- cancelamento de eco adaptativo efetuado em cada par



tecnologias já  
utilizadas na RDIS

Interferências **entre pares da mesma ligação**

- NEXT significativo nas duas extremidades
- pode igualmente ser compensado por cancelamento de eco adaptativo

Interferências **entre pares de ligações diferentes**

- NEXT significativo nas duas extremidades
- não pode ser compensado por cancelamento de eco
- limita o alcance em sistemas HDSL



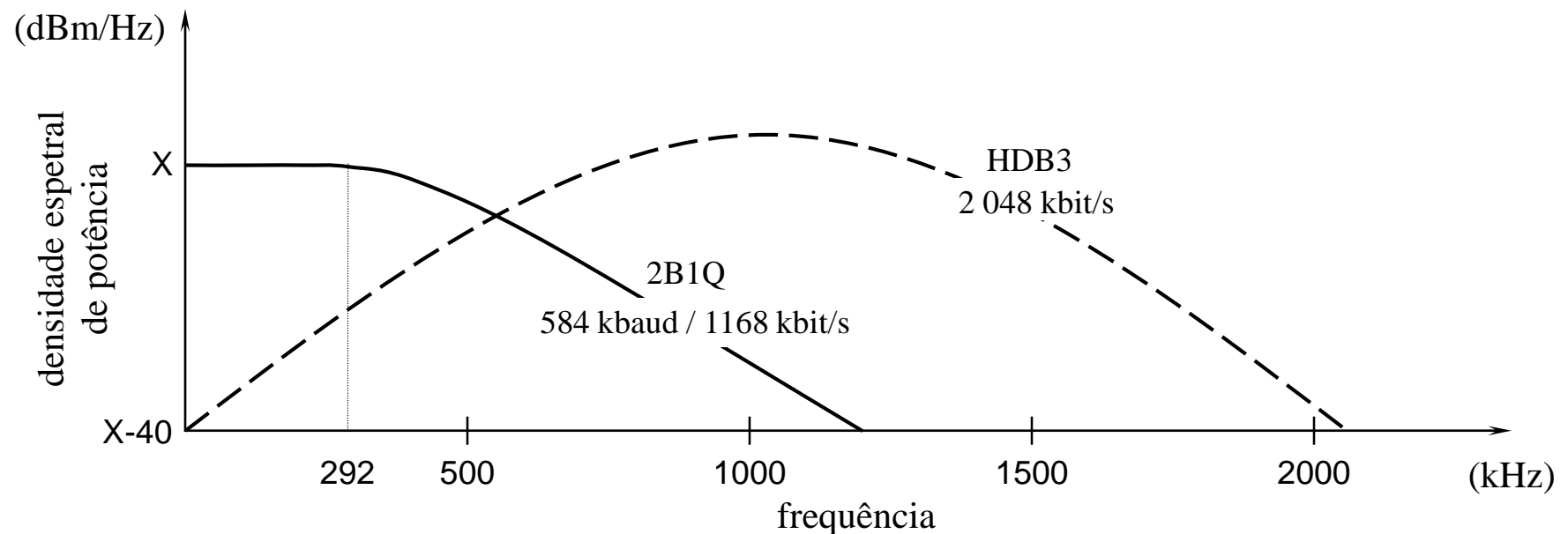
# *HDSL – High-speed Digital Subscriber Line*

## **Princípio de operação**

### Ocupação espectral

- espectro 2B1Q relativamente eficiente
- ocupação diminui com o aumento do número de pares

bastante mais compacto do que HDB3



**Banda ocupada por HDSL (2 pares) em comparação com sistema G.703 de 2 Mbit/s**

# SHDSL – Single-pair High-speed Digital Subscriber Line

## Características gerais

Objetivo geral da tecnologia SHDSL

substitui progressivamente os sistemas HDSL

- acesso por um **único par de cobre** existente no lacete local
- melhoria das técnicas utilizadas em HDSL no sentido de permitir maior alcance
- suporte de modos circuito, ATM e pacote
- débito configurável de acordo com os requisitos do utilizador
  - aumenta o alcance para débitos mais baixos
  - permite custos mais baixos para o utilizador
- possibilidade de utilizar dois pares ou repetidores para aumentar o alcance

*multi-service*

*multi-rate*

Débito (*)	Alcance ( $d=0,5$ mm)
2 320 kbit/s	3,4 km
192 kbit/s	9,0 km

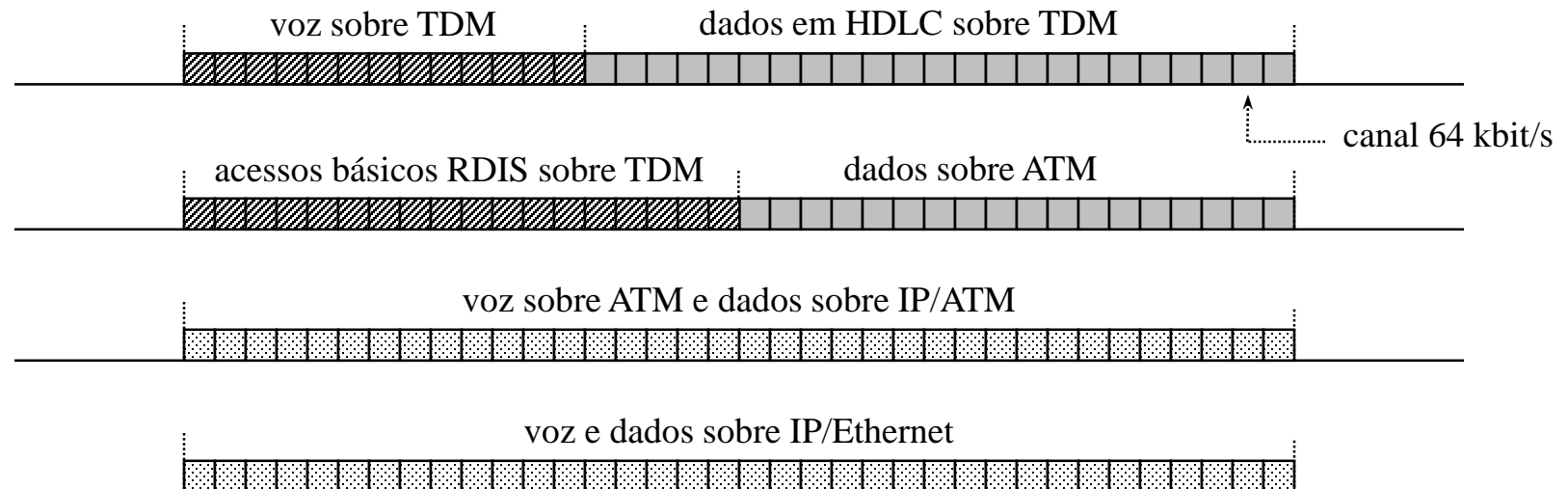
(\*) definida opção sobre 2 pares com o dobro do débito

# *SHDSL – Single-pair High-speed Digital Subscriber Line*

## Características gerais

### Canais suportados

- modo circuito **TDM** ( $p \times 64$  kbit/s), modo ATM e modo pacote
- várias combinações de modos de transporte e serviços
- possibilidade de partilha de banda entre modos



### Combinações de modos de transporte e serviços (exemplos)

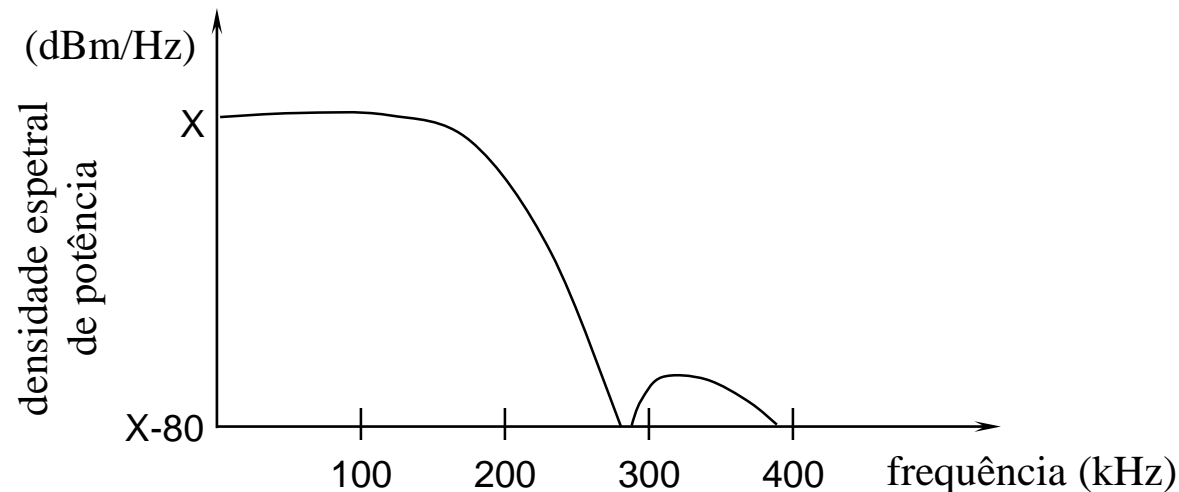
# *SHDSL – Single-pair High-speed Digital Subscriber Line*

---

## Princípio de operação

### Modulação

- 8-ASK com codificação Trellis (conhecida pelo acrónimo TC PAM-8)
- débito ajustável entre **192 e 2320 kbit/s** em saltos de **8 kbit/s**
- espectro compacto compatível com outras tecnologias DSL



**Espectro de SHDSL (exemplo a 768 kbit/s)**

# ADSL – Asymmetric Digital Subscriber Line

## Características gerais

Objetivo geral da tecnologia ADSL

- utiliza a linha telefónica existente: um único par
- acrescenta um *modem* “sempre ligado” para serviços multimédia
- suporta o transporte de dados em modo circuito ( $p \times 32$  kbit/s) e modo pacote
- cobertura sem repetidores para a maioria de assinantes

Canais suportados

- um canal duplex para telefonia ou RDIS
- um canal ascendente de média velocidade
- um canal descendente de alta velocidade

transmissão assimétrica

Canal ADSL	Capacidade	Alcance
Telefonia	Analogico	2 – 6 km ( $d=0,5\text{mm}$ )
RDIS	160 kbit/s	
Ascendente (A)	16 - 800 kbit/s	
Descendente (D)	1,5 - 9 Mbit/s	

Sistemas correntes		Débito
G.992.1	ADSL <i>Full-rate</i>	A 0,640 Mbit/s
		D 6,144 Mbit/s
G.992.2	ADSL <i>Lite</i> ( <i>splitterless</i> )	A 0,512 Mbit/s
		D 1,536 Mbit/s

# ADSL – Asymmetric Digital Subscriber Line

---

## Princípio de operação

Tecnologia de modulação → DMT (*Discrete Multi-Tone*)

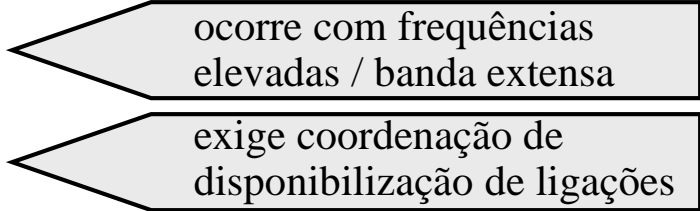
- maximiza o débito de transmissão de acordo com as características da linha
- opera de forma adaptativa

Isolamento dos sentidos de transmissão

- FDM
- cancelamento de eco

Interferências

- FEXT no canal descendente limita o alcance
- problema de NEXT com acessos RDIS e HDSL



ocorre com frequências  
elevadas / banda extensa

exige coordenação de  
disponibilização de ligações

Controlo de erros

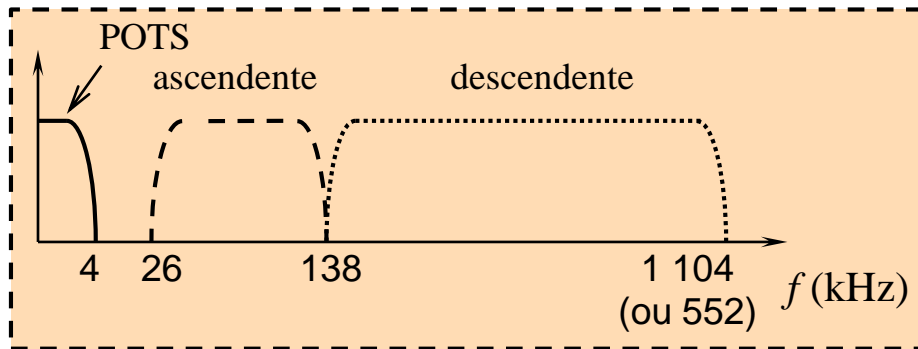
- utiliza técnicas de entrelaçamento de dados e correção de erros (FEC)

# ADSL – Asymmetric Digital Subscriber Line

## Princípio de operação

Ocupação espectral

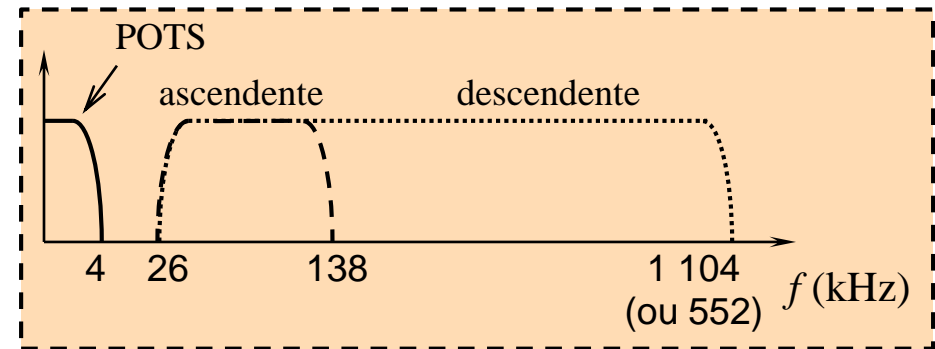
<i>Full-rate</i>	$f_{max} = 1\ 104\ \text{kHz}$
<i>Lite (splitterless)</i>	$f_{max} = 552\ \text{kHz}$



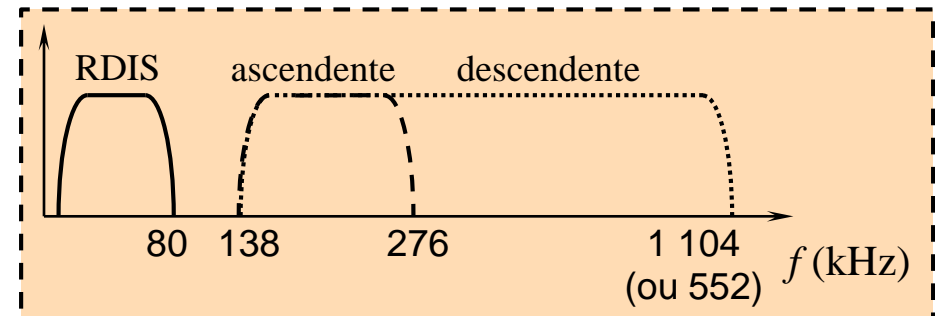
**ADSL baseado em FDM**

- elimina NEXT
- ocorre FEXT numa banda extensa
- limita a capacidade

- ocorre NEXT nas baixas frequências
- ocorre FEXT numa banda extensa
- permite maior capacidade



(a) acesso ADSL + POTS



(b) acesso ADSL + RDIS

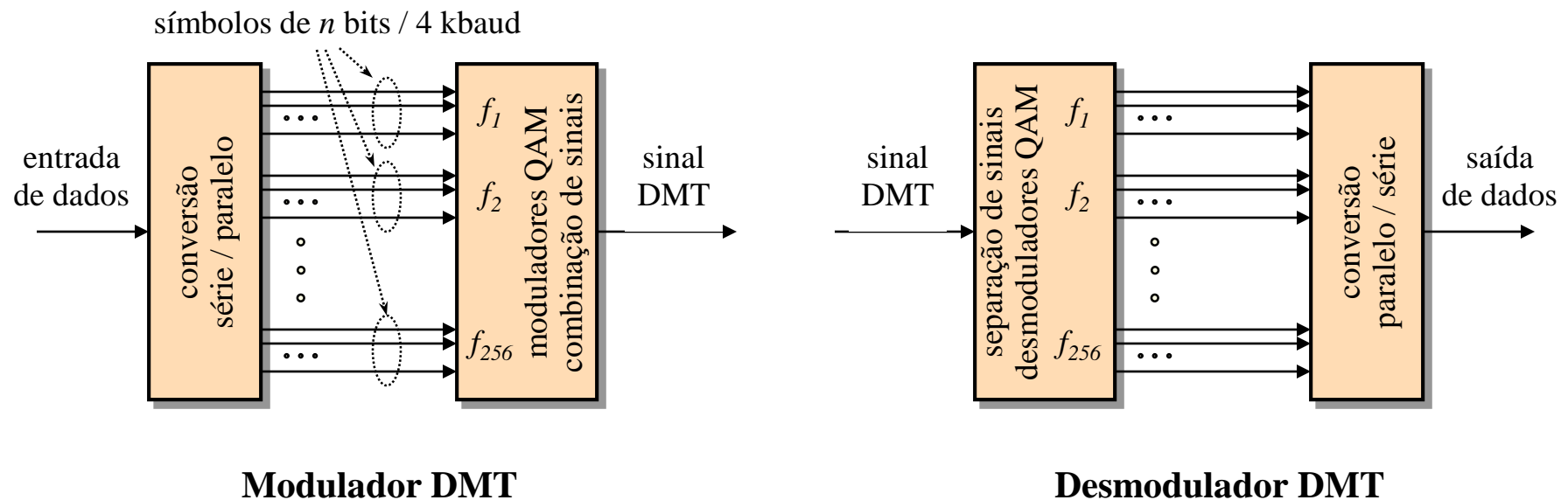
**ADSL baseado em cancelamento de eco (CE)**

# ADSL – Asymmetric Digital Subscriber Line

## Princípio de operação

### Modulação DMT – *Discrete Multi-Tone*

- a banda entre 0 e 1,1 MHz é dividida em 256 canais (4,3125 kHz de banda cada)
- em cada intervalo de 250  $\mu$ s, os bits a transmitir são segmentados pelos 256 canais
- em cada canal os bits são transmitidos em sub-portadoras moduladas em QAM
- no recetor as sub-portadoras são recebidas e os bits recuperados e agregados



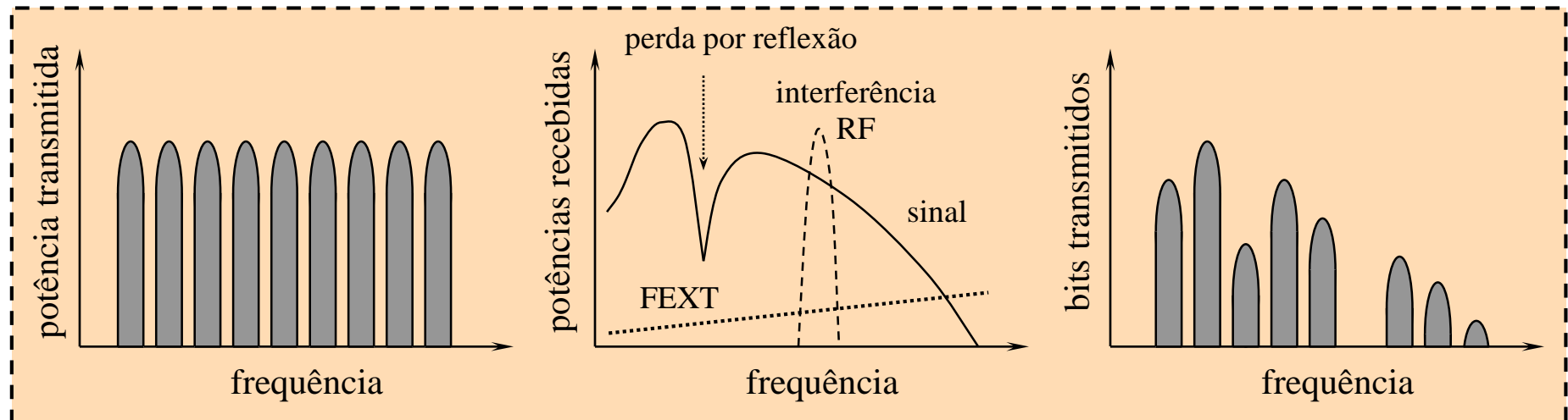


# ADSL – Asymmetric Digital Subscriber Line

## Princípio de operação

### Modulação DMT – *Discrete Multi-Tone*

- modulação QAM é dinamicamente adaptada à relação S/N em cada sub-canal
- constelação suporta entre 2 e 15 bits (no limite, a portadora é suprimida)
- débito total sofre incrementos / decrementos de 32 kbit/s (granularidade)
- aproxima-se o sistema da capacidade teórica do canal



**Capacidade adaptativa da modulação DMT às características do canal**

# ADSL – Asymmetric Digital Subscriber Line

## Princípio de operação

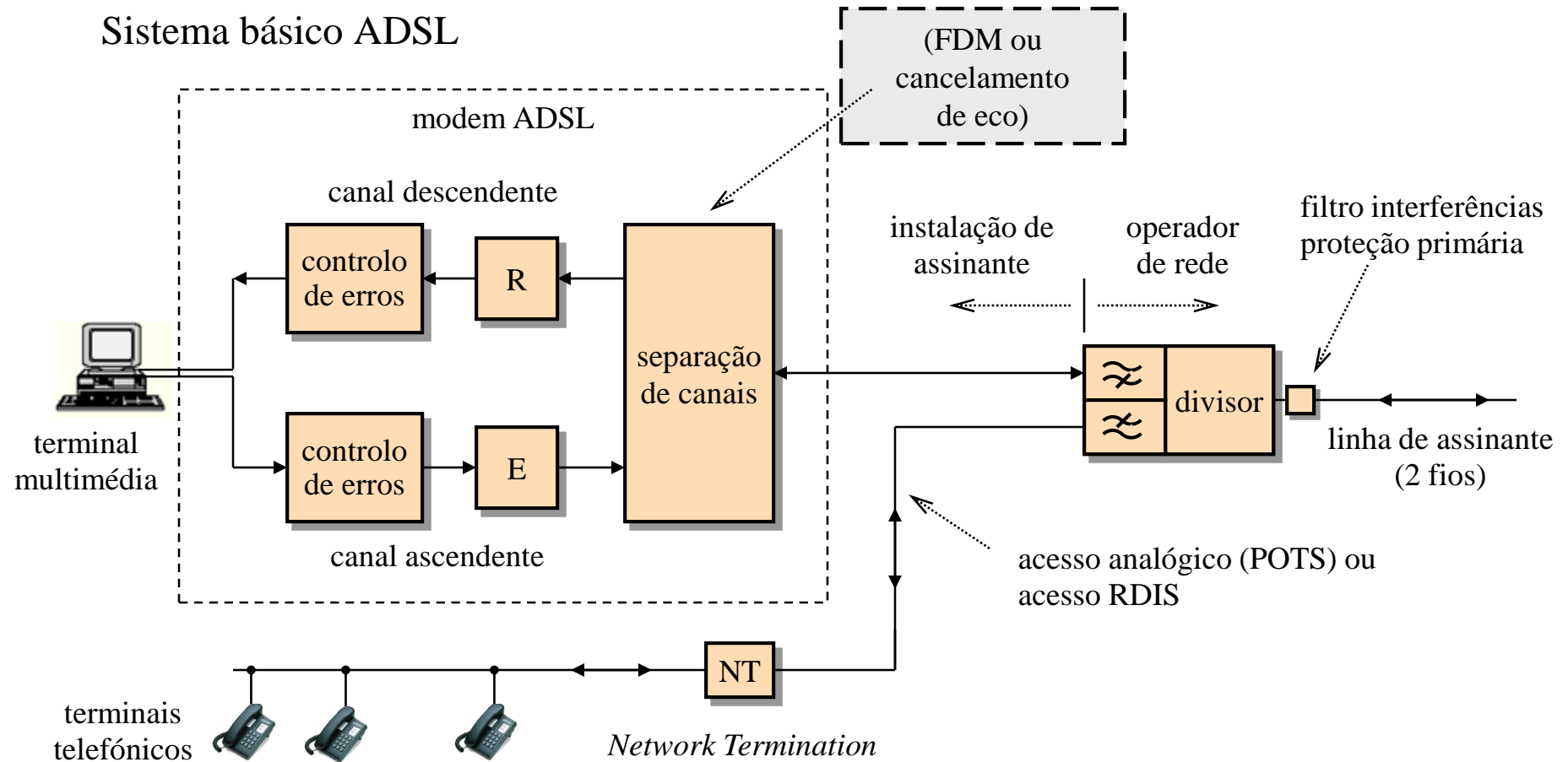
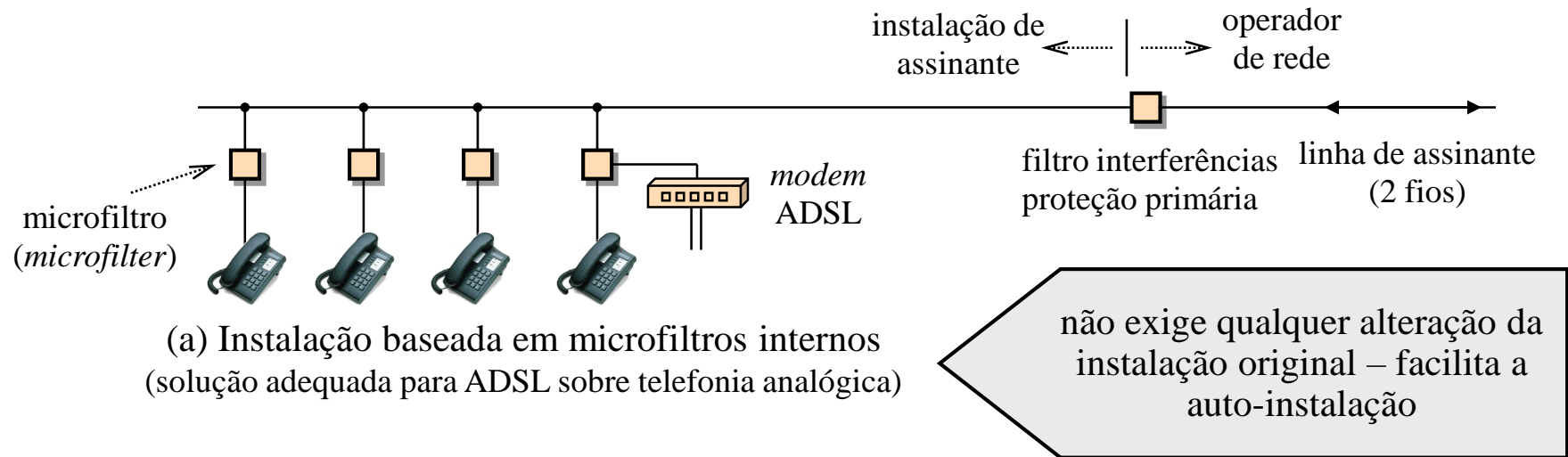


Diagrama-blocos da instalação ADSL no assinante

# ADSL – Asymmetric Digital Subscriber Line

## Princípio de operação

### Sistema básico ADSL



### Alternativa simplificada da instalação ADSL no assinante

# ADSL – Asymmetric Digital Subscriber Line

## Princípio de operação

### Sistema básico ADSL

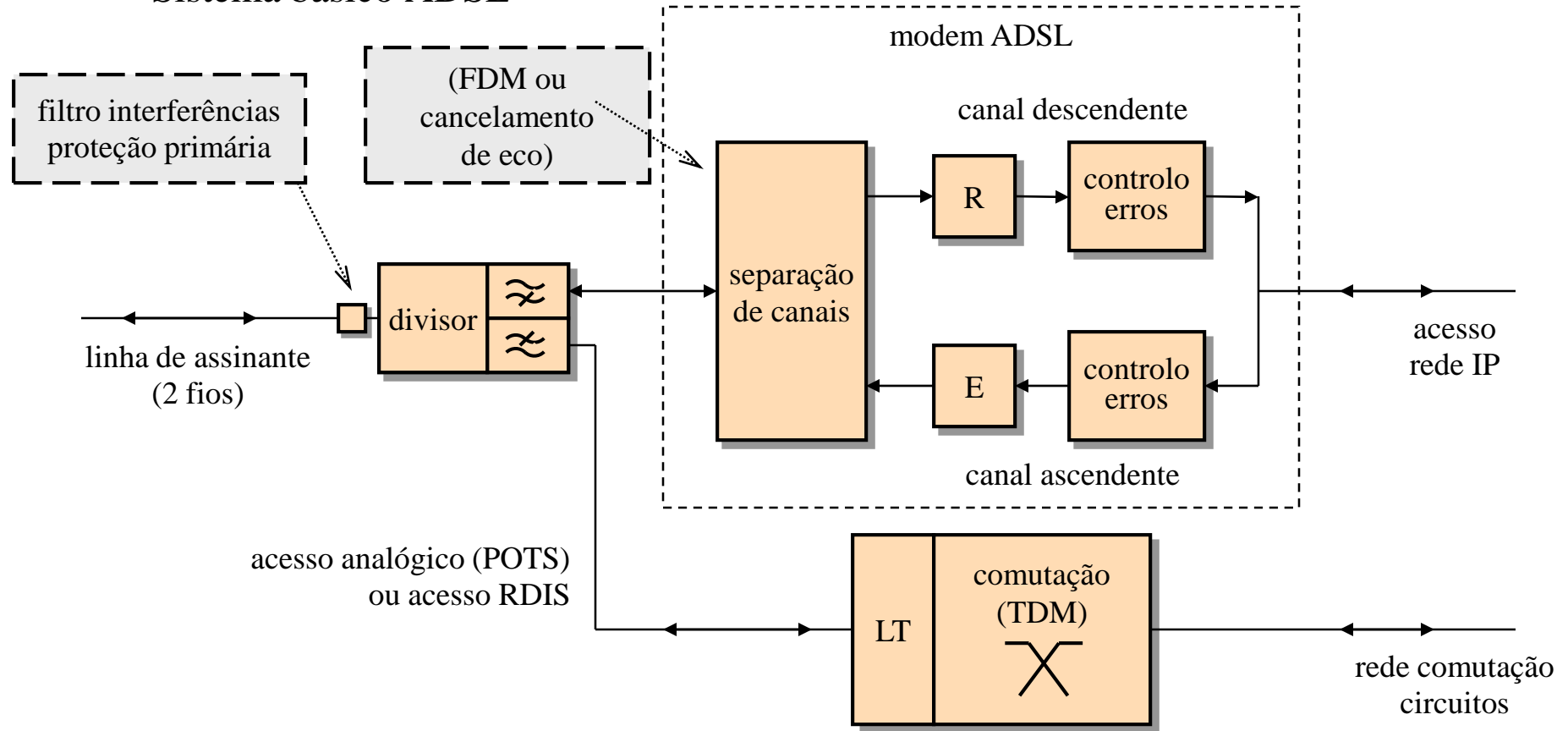


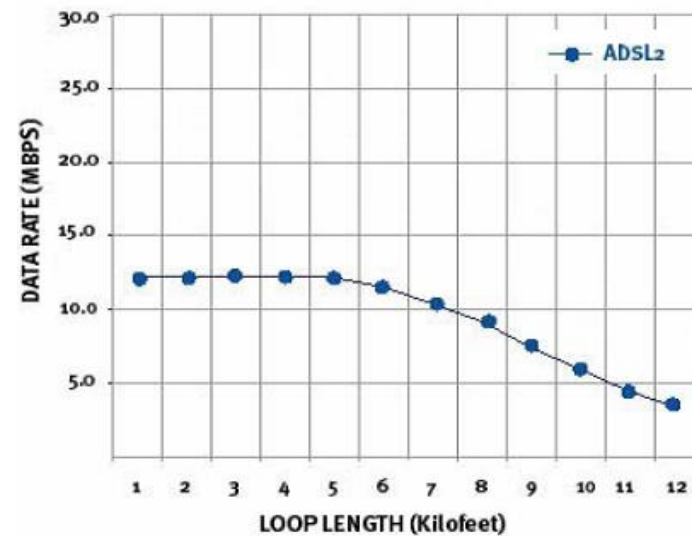
Diagrama-blocos da instalação ADSL na central

# ADSL2 / ADSL2+

## Características gerais da tecnologia ADSL2

Débito *versus* alcance

- aumento do débito em linhas curtas (<1,5 km)
  - mínimo de 800 kbit/s + 8 Mbit/s descendente
  - tipicamente 1 Mbit/s ascendente + 12 Mbit/s descendente
- aumento do débito em linhas longas (ex: 200 → 250 kbit/s @ 6 km)



Alcance de ADSL2 (débito descendente)

# ADSL2 / ADSL2+

---

## Evolução da tecnologia ADSL2 em relação a ADSL

Maior débito em função do alcance

- maior eficiência de modulação
  - 8-15 bits por portadora com codificação Trellis
  - modo de 1 bit por portadora em situações de S/N baixo (linhas longas)
- *overhead* programável de 4-32 kbit/s (ADSL → *overhead* fixo de 32 kbit/s)
- codificação FEC mais eficiente → proteção adaptável conforme o nível de S/N
- inicialização otimizada → maximiza os bits por sub-portadora
- reconfiguração dinâmica melhorada
  - realocação de bits entre sub-portadoras
  - controlo de amplitude das sub-portadoras
  - reconfiguração do débito

adapta-se a variações da linha

# ADSL2 / ADSL2+

---

## Evolução da tecnologia ADSL2 em relação a ADSL

Melhoria do diagnóstico da linha

- medição de parâmetros nas duas extremidades
- disponibiliza a atenuação, ruído, interferências

Modo de inicialização rápida

- reduz inicialização de mais de 10 segundos para menos de 3 segundos

Modos de baixa potência

- reduz a potência em modos de *stand-by*/adormecido

Aumento do débito ascendente (opções)

- utilização da banda de voz para dados (modo totalmente digital)
  - aumenta em 256 kbit/s o débito ascendente
- separação das bandas ascendente/descendente passa de 138 para 276 kHz
  - eleva o débito ascendente de 1 para 3,5 Mbit/s
- alternativas relevantes para aplicações empresariais

"naked" DSL

Anexo M

# *ADSL2 / ADSL2+*

---

## **Evolução da tecnologia ADSL2 em relação a ADSL**

### Capacidade multicanal

- possibilidade de definir até 4 canais com diferentes qualidade de serviço
- aplicações de **voz** → canais com menor proteção contra erros (menor latência)
- aplicações de **dados** → canais com maior proteção contra erros (maior latência)

### Suporte multisserviço

- disponibiliza canais de 64 kbit/s para aplicações de circuitos
- permite o transporte direto de serviços baseados em pacotes (ex: Ethernet, IP)

### Agregação de linhas

- pode operar com dois (ou mais) pares simétricos
- multiplica os débitos disponibilizados

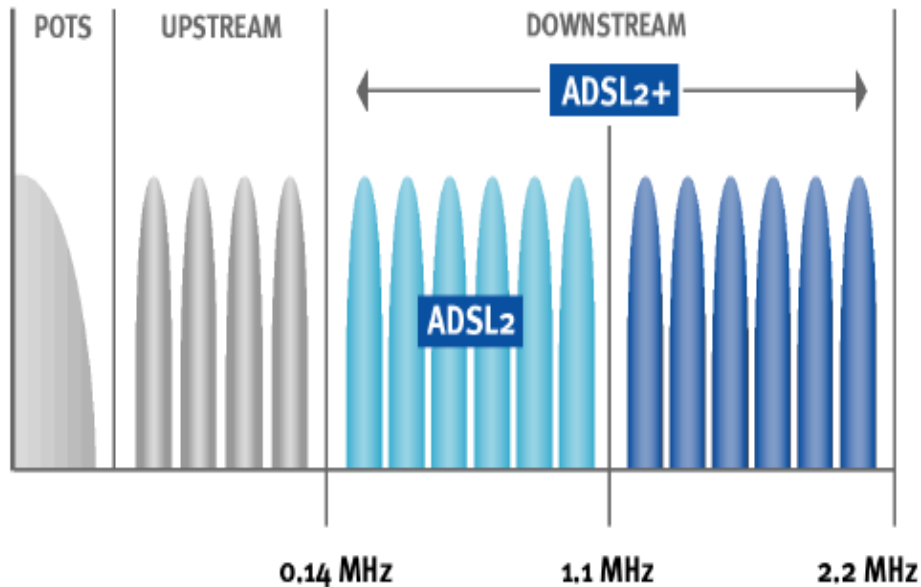


# ADSL2 / ADSL2+

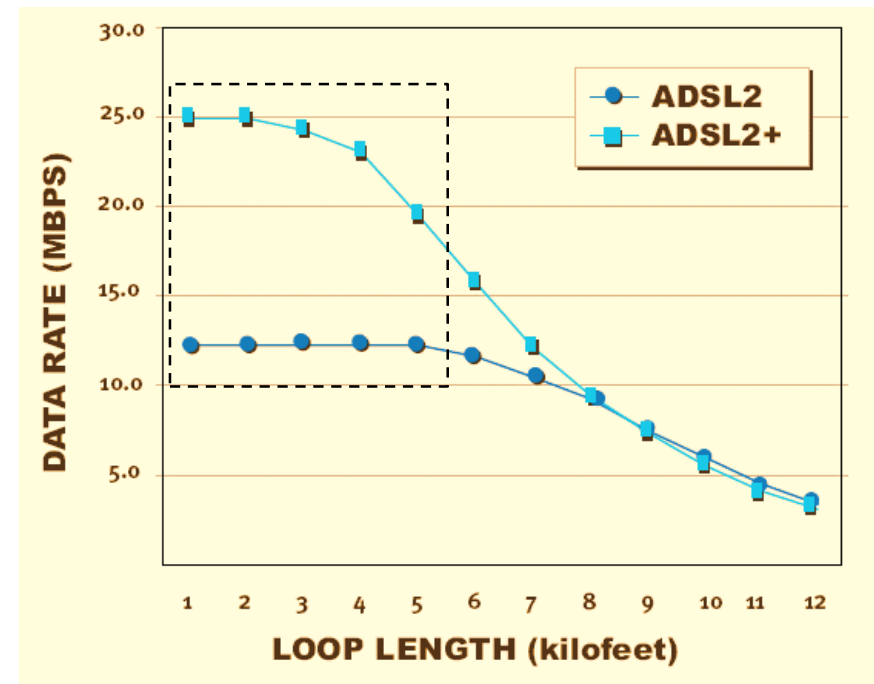
## Características gerais da tecnologia ADSL2+

Aumento da capacidade

- **duplica** a banda do canal descendente
- **aumenta** significativamente o **débito descendente** em linhas curtas



Ocupação espectral de ADSL2+



Alcance de ADSL2 e ADSL2+

# VDSL – *Very high-speed Digital Subscriber Line*

---

## Características gerais

Objetivo geral da tecnologia VDSL

- permite **débitos muito altos** num **único par**, sobretudo em **linhas curtas**
- solução adequada para configurações FTTC e FTTB
- modos de operação
  - assimétrico → expande as aplicações de ADSL
  - simétrico → expande as aplicações de SHDSL
- versões ratificadas pela UIT
  - versão inicial → VDSL G.993.1 (2004)
  - versão atual → VDSL2 G.993.2 (2005)

pouco tempo de vida útil

### Exemplos de configurações de VDSL2

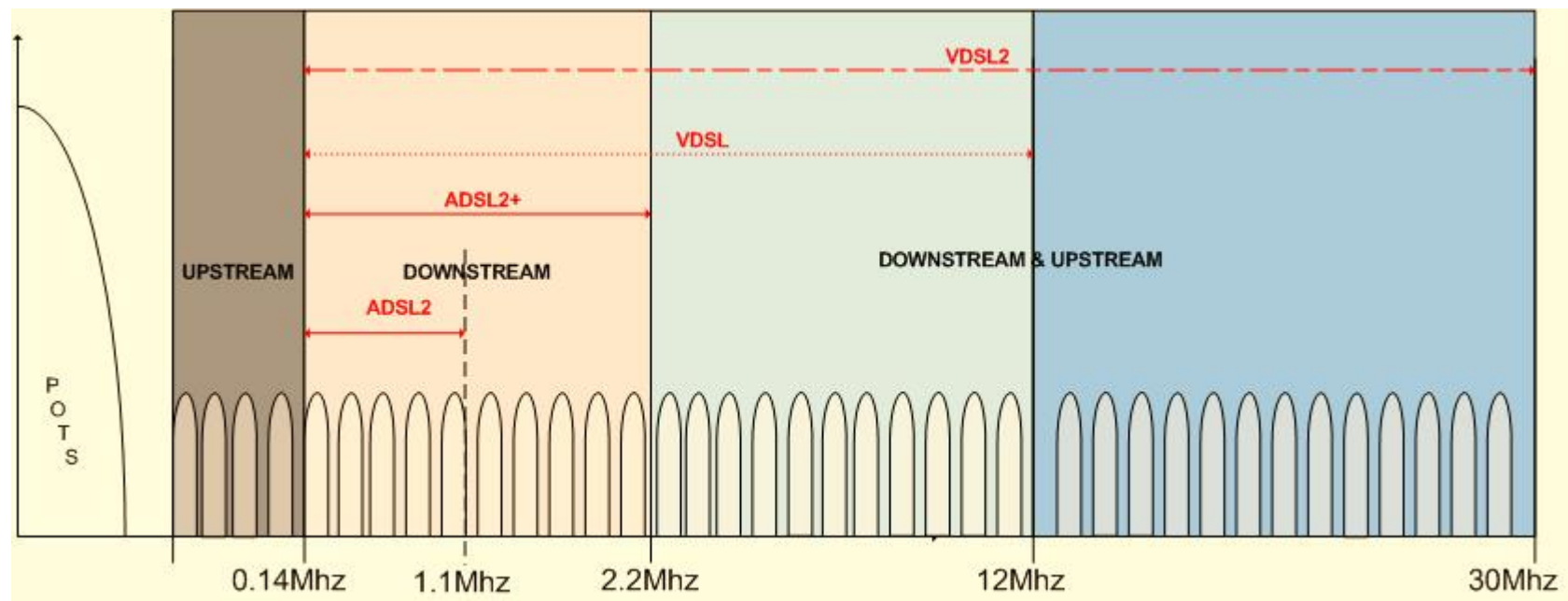
Modo	Débito ascendente	Débito descendente	Alcance
Assimétrico	30 Mbit/s	55 Mbit/s	500 m
Simétrico	100 Mbit/s	100 Mbit/s	300 m

# VDSL – *Very high-speed Digital Subscriber Line*

## Características gerais

### Ocupação espectral

- suporta o acesso analógico telefónico (POTS) ou RDIS como em ADSL
- aumento significativo da banda para 12 MHz (VDSL) / 30 MHz (VDSL2)

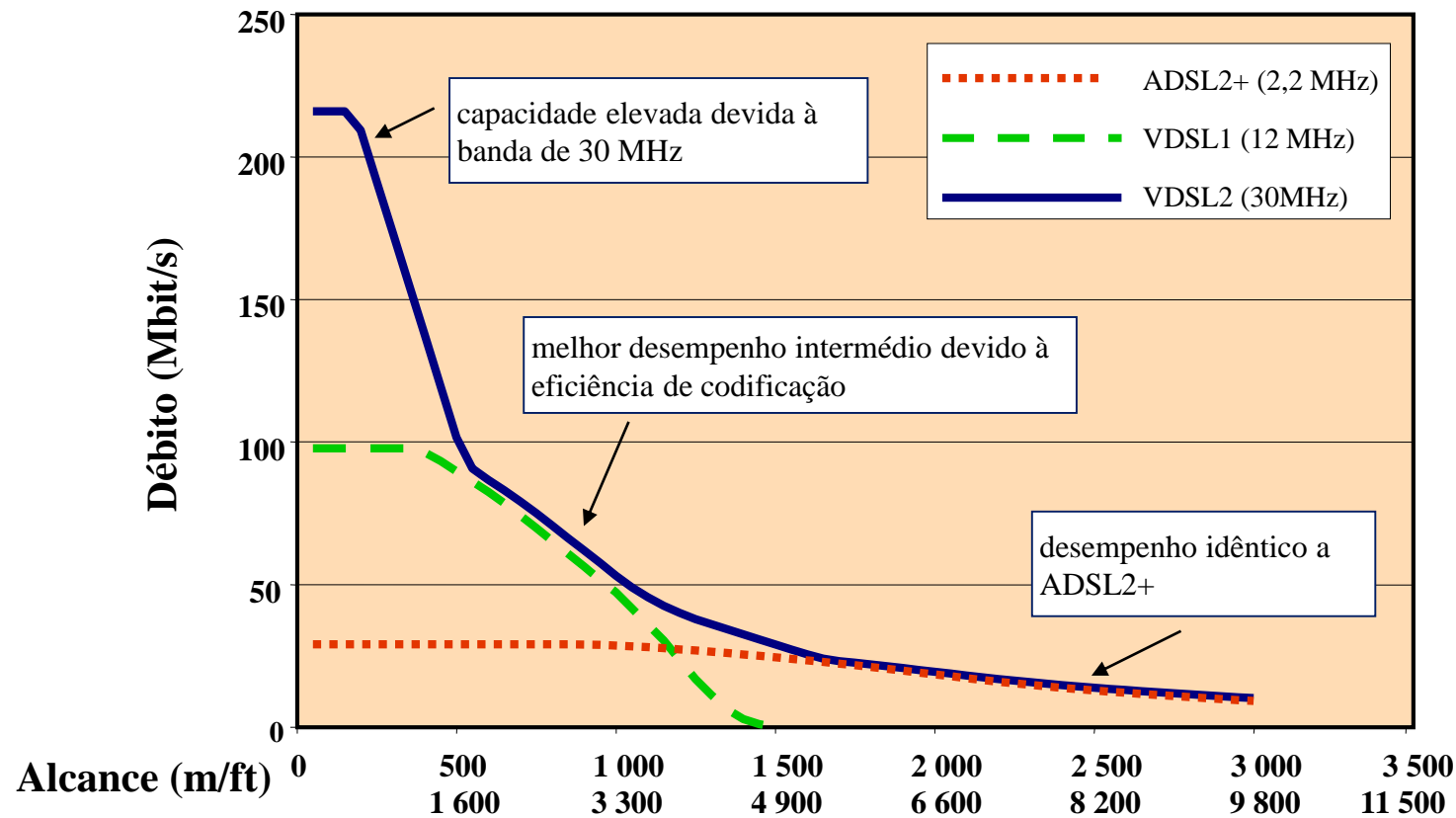


**Ocupação espectral de VDSL em comparação com ADSL**

# VDSL – *Very high-speed Digital Subscriber Line*

## Características gerais

Débito *versus* alcance



Débito total de VDSL em função da distância

# VDSL – *Very high-speed Digital Subscriber Line*

---

## Características gerais da tecnologia VDSL2

### Funcionalidades **baseadas em ADSL2+**

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

### Perfis

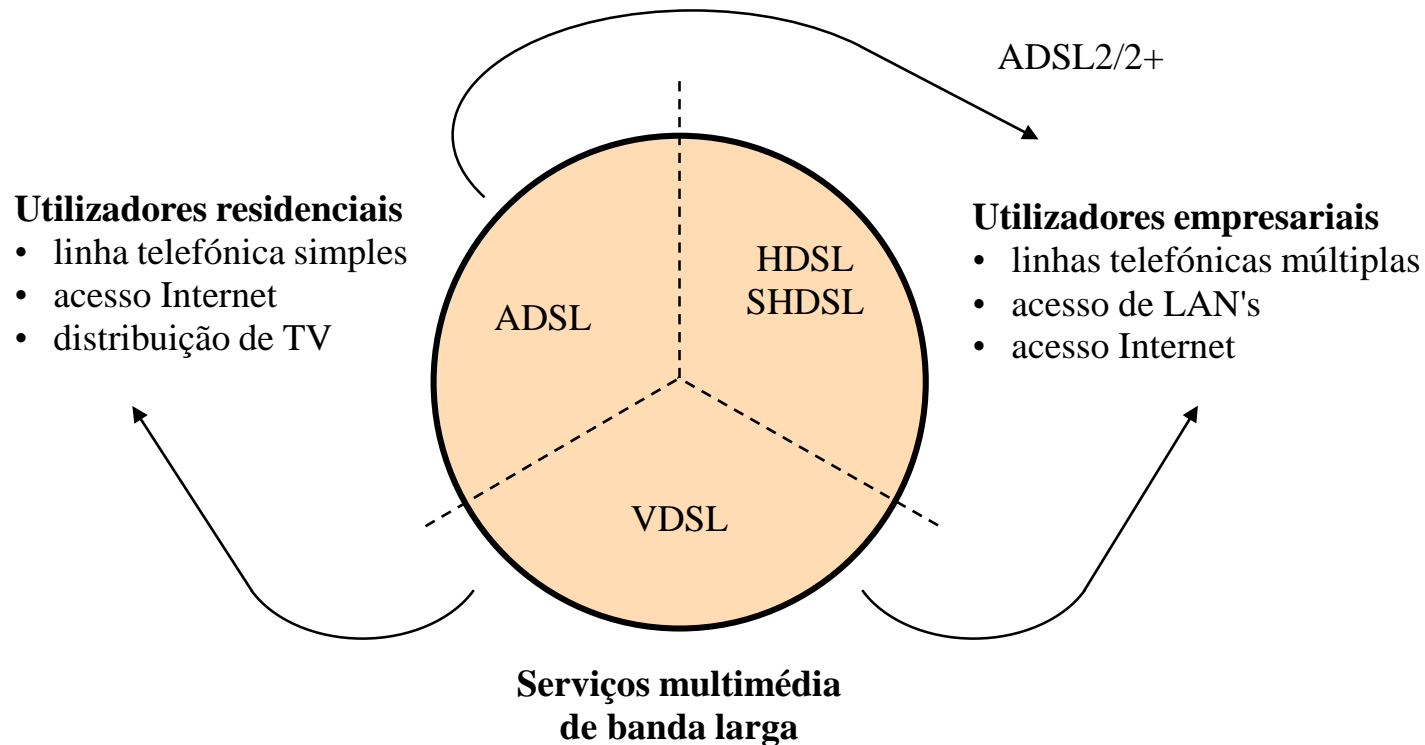
- definidos múltiplos perfis em termos de potência transmitida e débitos suportados
- *modems* devem suportar pelo menos um perfil

### Compatibilidade com ADSL

- *modems* VDSL2 retro compatíveis com ADSL

# Aplicações do acesso DSL

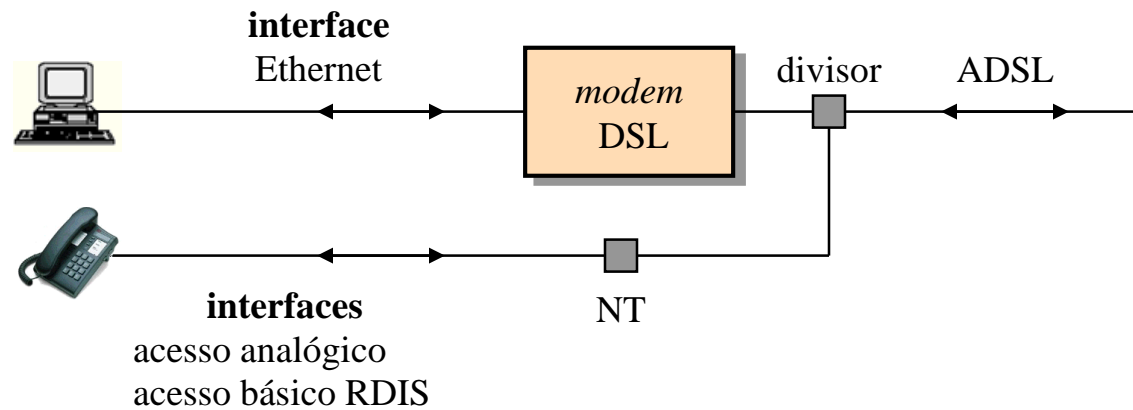
## Utilizadores de serviços baseados em DSL



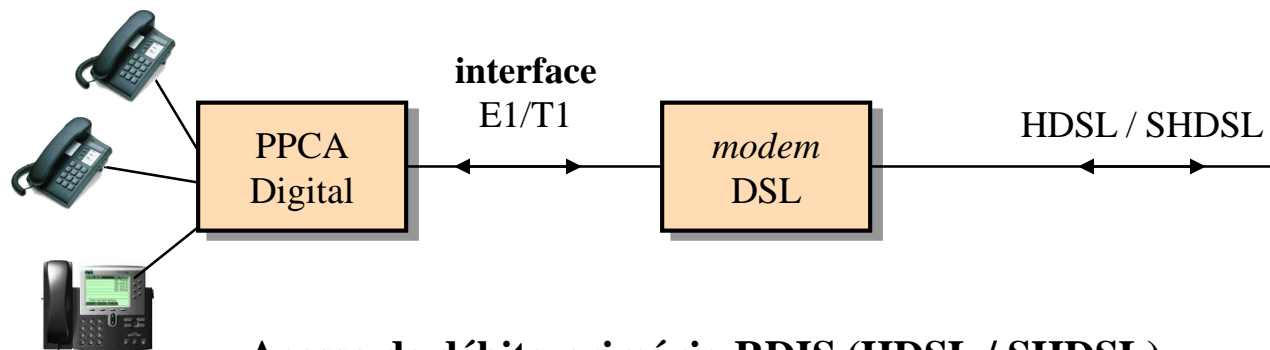
Diferentes tecnologias DSL e suas aplicações

# Aplicações do acesso DSL

## Configurações de acesso de utilizador



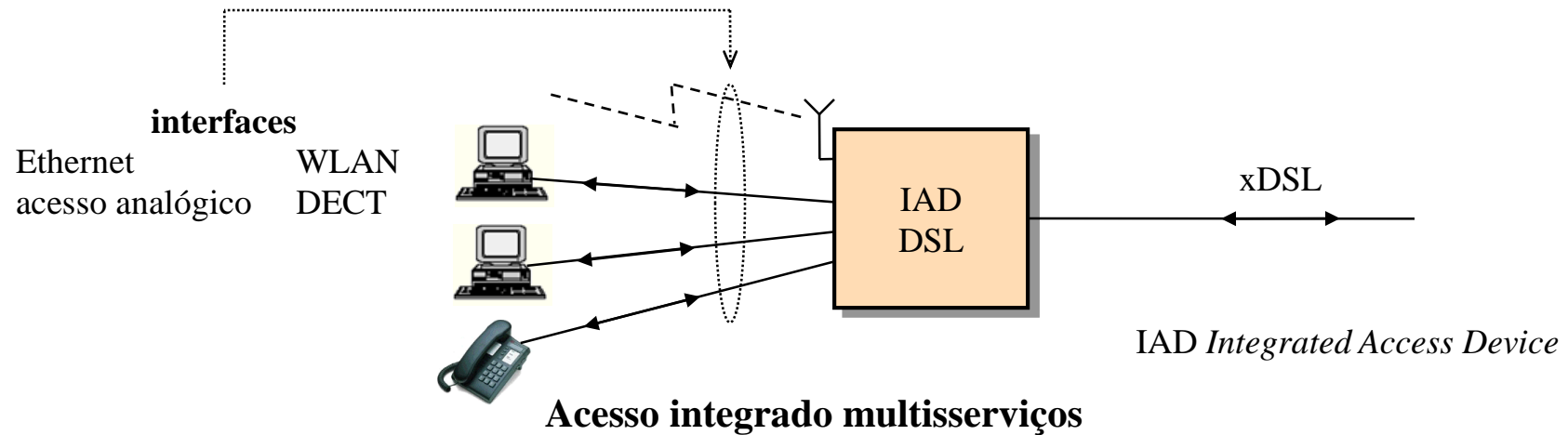
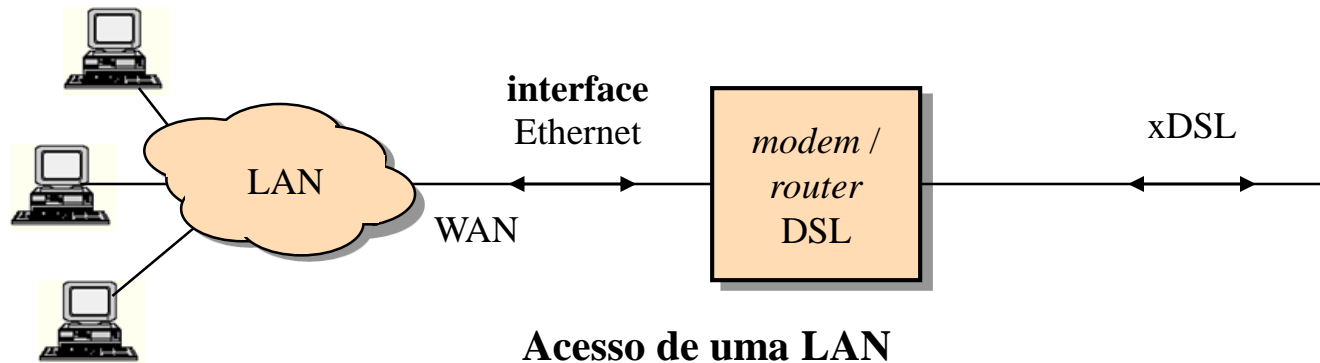
**Acesso de um utilizador individual (ADSL)**



**Acesso de débito primário RDIS (HDSL / SHDSL)**

# Aplicações do acesso DSL

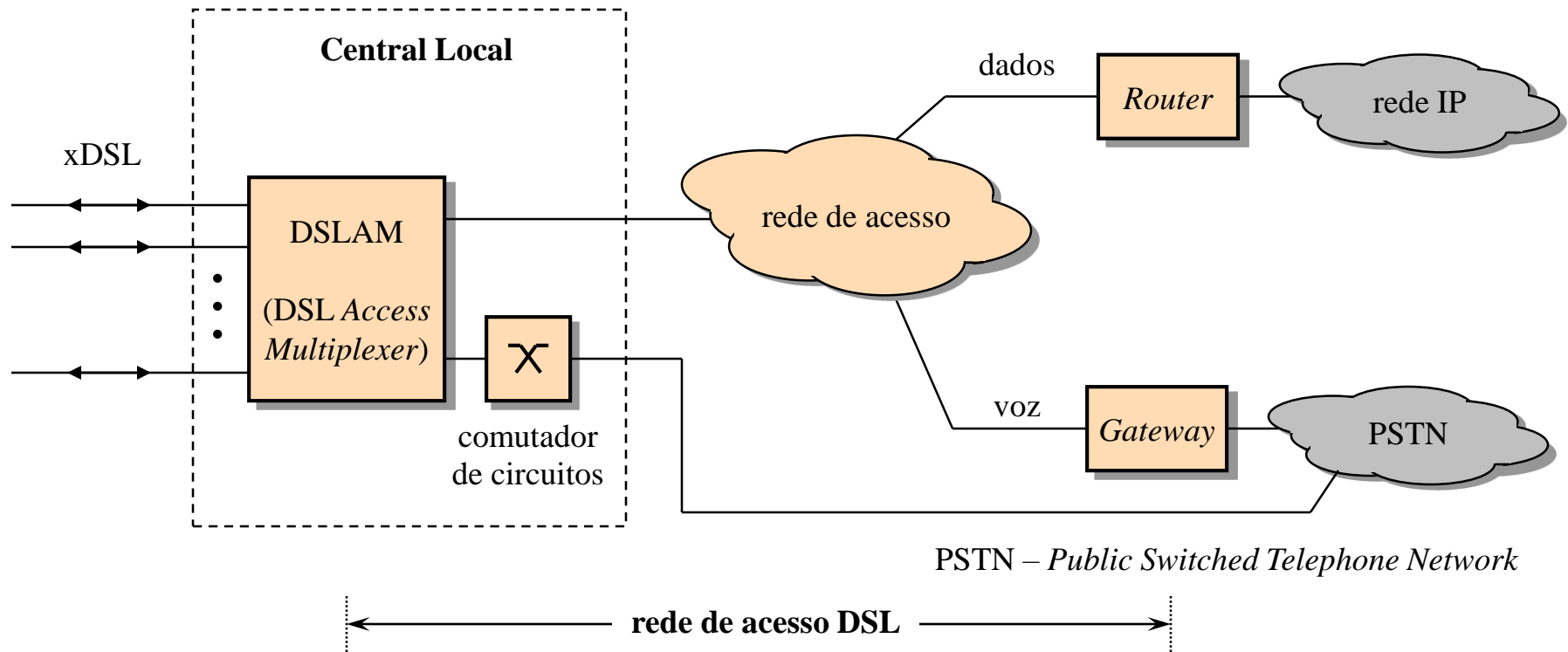
## Configurações de acesso de utilizador





# Aplicações do acesso DSL

## Rede de acesso



**Rede de acesso DSL com interligação a outras redes**

## *Referências*

---

Valdar, A. (2017). Understanding Telecommunications Networks (2 ed). IET.

Recomendações UIT referidas ao longo dos slides