

Redes de Telecomunicações

(Capítulo 2 - Serviços)

2006/2007

Um pouco de ficção científica ...

“Pois no princípio a Terra tinha possuído o único super-continente de Pangeia, que se tinha dividido ao longo da eternidade. O mesmo tinha sucedido à espécie humana, em incontáveis tribos e nações; agora estavam a juntar-se, à medida que as antigas divisões linguísticas e culturais começavam a desaparecer...

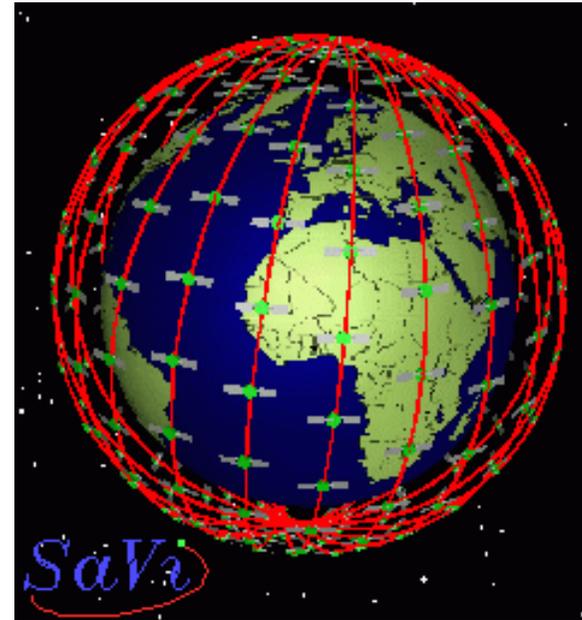
Com a histórica abolição das taxas de longa distância a 31 de Dezembro do ano 2000, todas as chamadas telefónicas se tornaram locais, e a raça humana saudou o novo milénio transformando-se numa enorme família tagarela.”



(2061: Odisseia 3, Capítulo 3, Arthur C. Clarke)

A realidade...

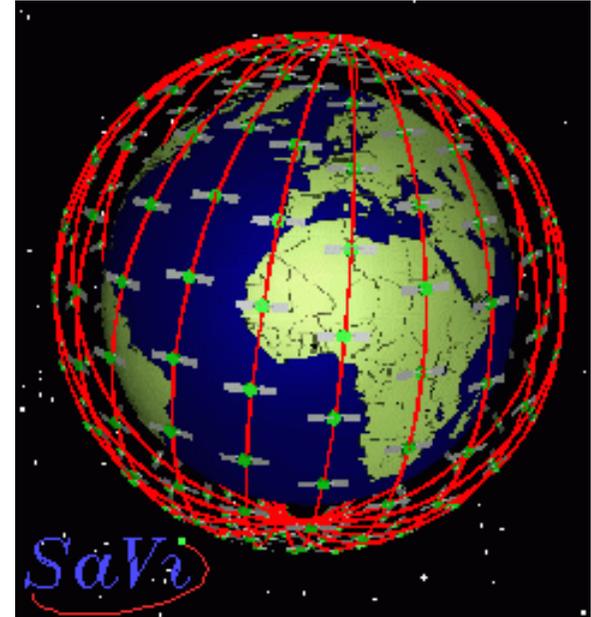
À excepção de umas poucas tribos em vias de extinção em florestas igualmente cada vez mais reduzidas, a raça humana quase se transformou actualmente numa entidade única, dividida por zonas temporais e não pelas fronteiras geográficas naturais.



(Para Além da Aldeia Global,
Arthur C. Clarke)

A realidade...

As mesmas redes de notícias televisivas cobrem o globo; o globo encontra-se ligado pela mais complexa máquina jamais concebida pelo género humano – a rede de telecomunicações ...e no Final da Taça do Mundo mais de 50% dos machos podem ser encontrados sentados em frente de um aparelho de televisão ...



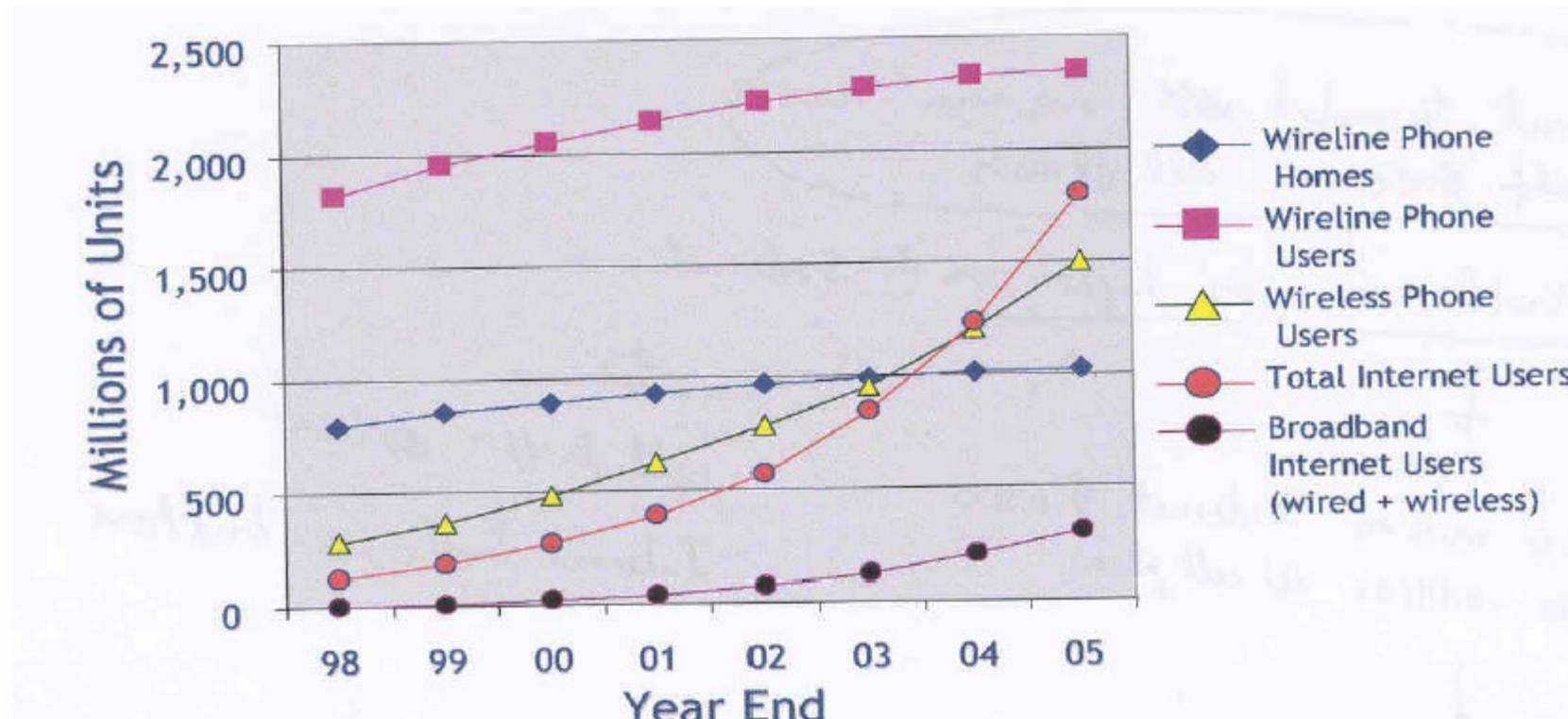
(Para Além da Aldeia Global,
Arthur C. Clarke)

Evolução da Rede

- **1876 - Invenção do telefone (Alexander Graham Bell)**
- **1891 - Primeira central de comutação automática (Strowger)**
- **1936 - Invenção do PCM (Alec Reeves)**
- **1964 - Concepção da comutação por pacotes (Paul Baran)**
- **1965 - Primeiro satélite geo-estacionário (Intelsat1, 240 circuitos)**
- **1965 - Transmissão a 2 Mbit/s no Reino Unido (30 circuitos)**
- **1966 - Proposta de usar as fibras ópticas em telecomunicações (Kao)**
- **1968 - Primeira central de comutação digital (tecnologia TTL)**
- **1969 - ARPANET (1ª rede de pacotes)**
- **1980 - Início da normalização do GSM**
- **1985 - Proposta da SONET (Belcore)**
- **1988 - Primeiro cabo transatlântico digital em fibras ópticas (4000 circuitos)**
- **1990 – Digitalização das redes a nível mundial usando como suporte a SDH**
- **1995 – Mais de 800 milhões de telefones em todo o mundo**
- **1996 - Cabo submarino óptico TAT12/13 (122 880 circuitos) 107 circuitos)**
- **2000 - Sistemas de transmissão óptica com 160x10 Gbit/s ($\approx 10^7$ circuitos)**

Evolução dos Serviços

A evolução do número de utilizadores dos diferentes serviços de telecomunicações a nível mundial mostra um crescimento pouco expressivo para a telefonia fixa e um crescimento muito acentuado para a telefonia móvel e para a Internet.



Maurizio Dècina, ECOC 2003

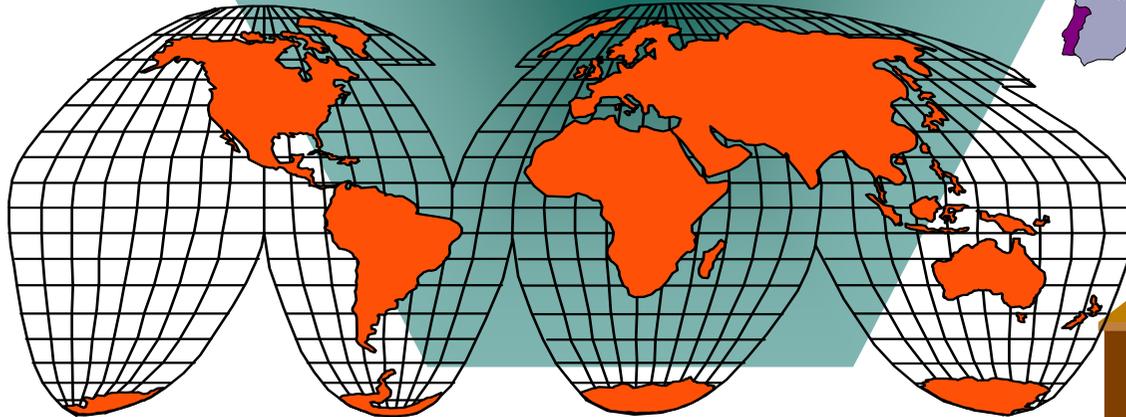
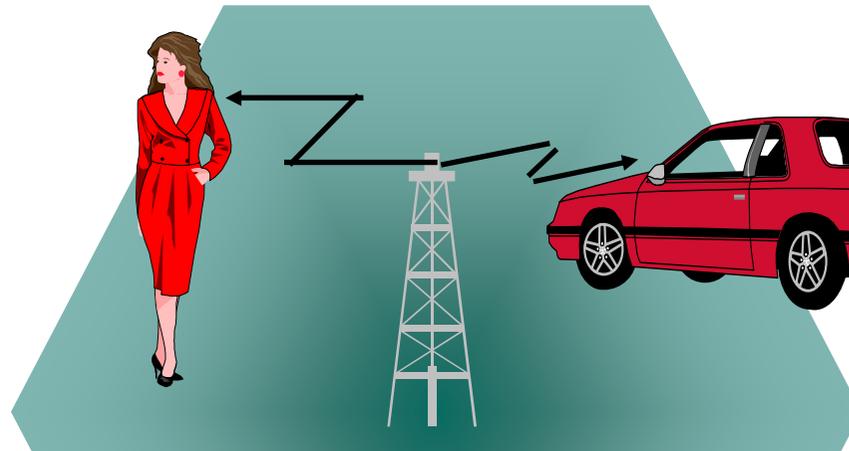
Os 4As das redes de telecomunicações

Anywhere

Anyone



Anytime

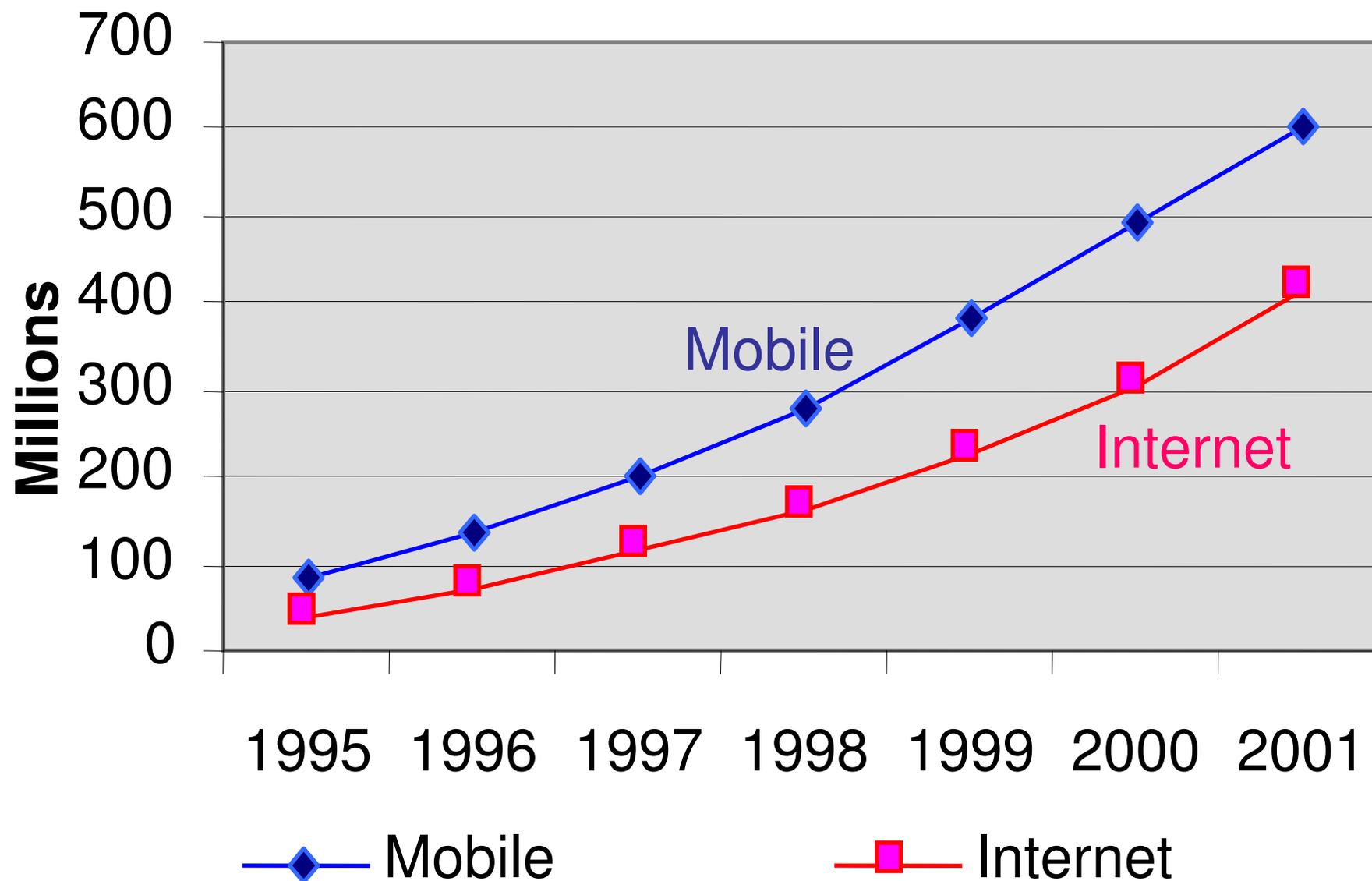


Anything

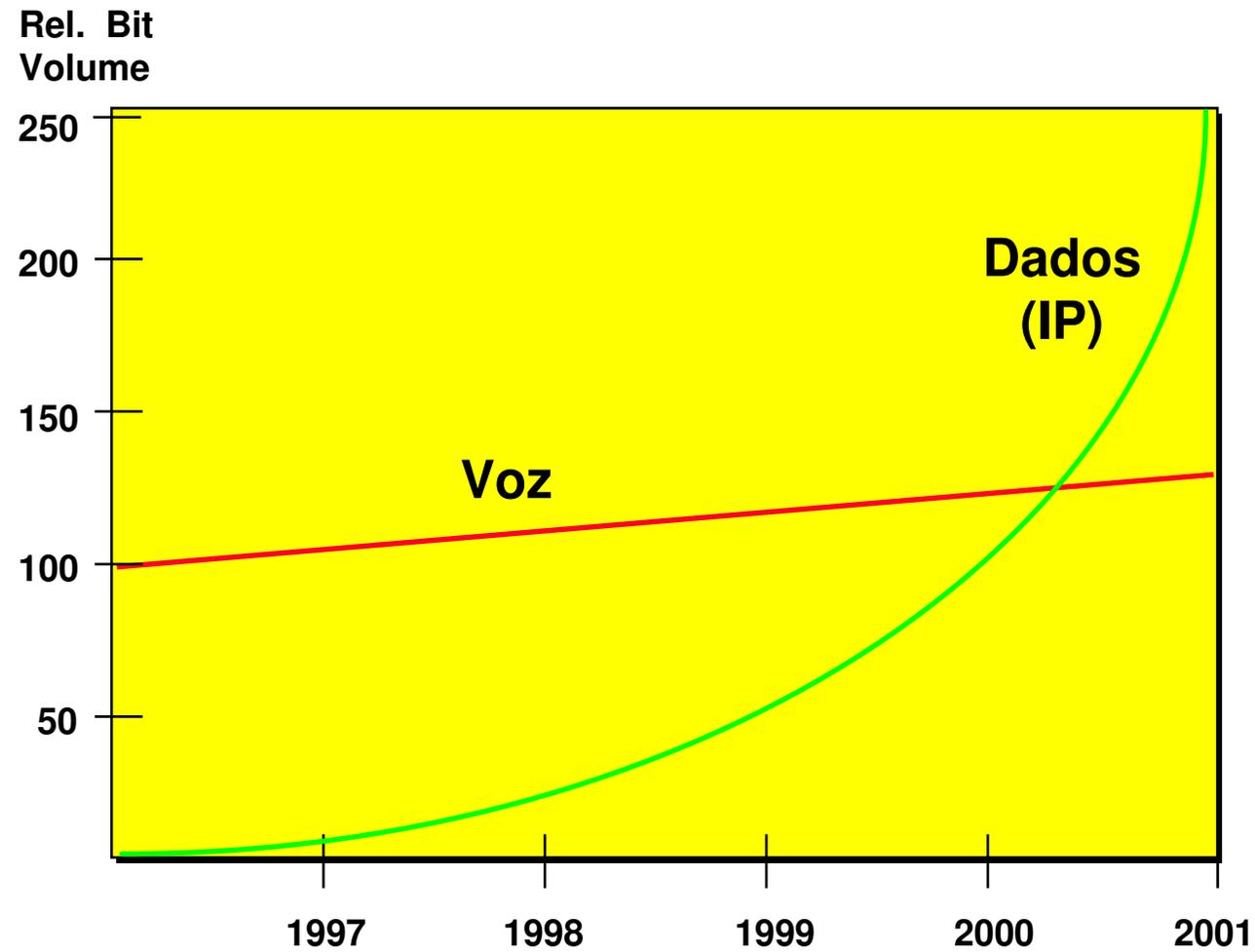
Internet



Crescimento das comunicações móveis e da Internet

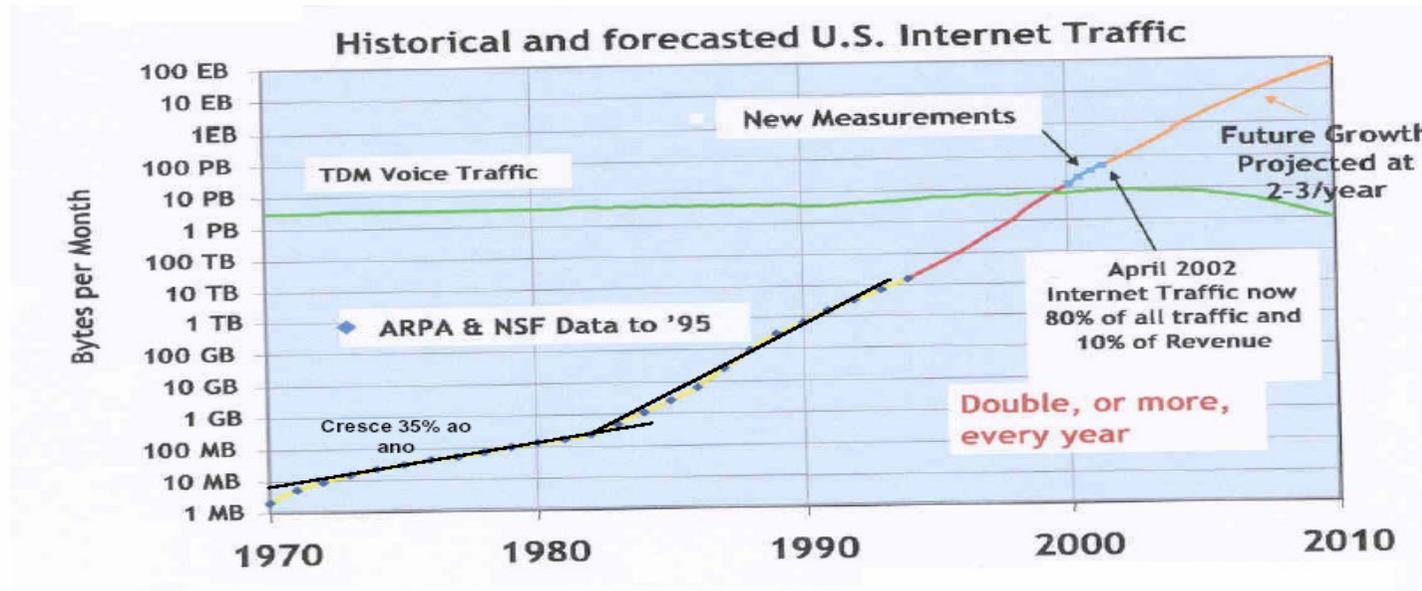


Qual o tráfego da rede ?



Qual o tráfego da rede ?

As análises de tráfego nos E. U. A. mostram que o tráfego Internet passou a ser dominante a partir do ano 2000, com um crescimento que duplica todos os anos.



Fonte: Maurizio Dècina, ECOC 2003

Classificação dos serviços

Com base na direcção do fluxo:

- Serviços distribuídos (TV)
 - Sem controlo de apresentação (TV)
 - Com controlo de apresentação (Vídeo a pedido)
- Serviços interactivos
 - Normalmente bidireccionais: serviços de conversação, serviços de consulta e serviços de mensagem
 - Podem ser em tempo real ou não

Classificação dos serviços

- Modo de representação
 - Monomédia
 - multimédia

Classificação dos serviços

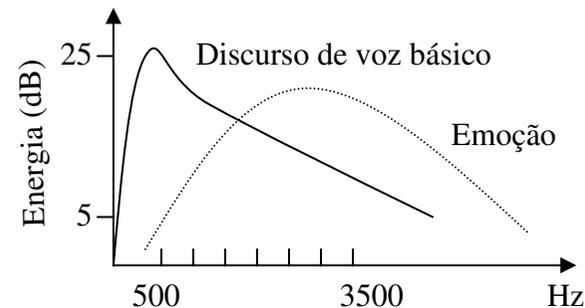
- Débito binário
 - Constante ou variável
 - Banda estreita < 2 Mbit/s
 - Band larga > 2 Mbit/s
- Simetria
 - Traduz a relação entre as larguras de banda entre necessária para os dois sentidos da ligação

Classificação dos serviços

- Tipo de ligação
 - Orientado à ligação (connectionless)
 - Não orientado à ligação
- Sensibilidade a certos parâmetros como:
 - Atrasos
 - Erros de transmissão

Características do sinal de voz

- Análise na frequência:
 - a voz apresenta um conteúdo espectral que vai de 20 Hz a 20 KHz;
 - os sons vozeados ou nasais (e.g. vogais e algumas consoantes j, l, m) apresentam um espectro discreto com uma frequência fundamental de 100 a 200 Hz nos homens e 200 a 400 Hz nas mulheres;
 - os sons não vozeados (e.g. f, s, p, ch) que são gerados pelo fluxo de ar na boca modulado pelos maxilares, língua e lábios apresentam uma variação aleatória. O seu espectro é contínuo;
 - as frequências mais baixas transportam a energia do sinal e as mais elevadas a emoção.

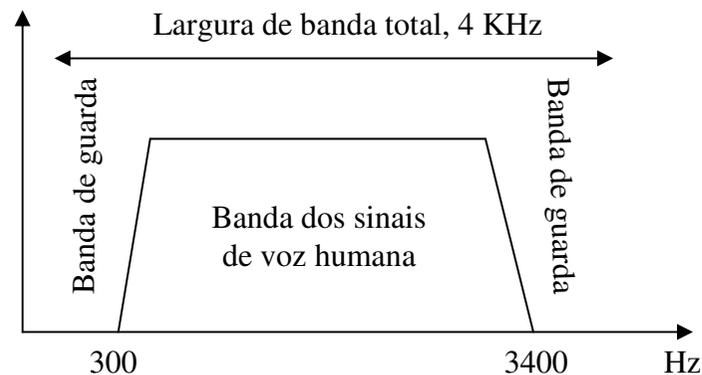


Características do sinal de voz (cont.)

- Análise no tempo:
 - várias sílabas por segundo;
 - a fala concentra-se em intervalos de duração aleatória (com média de cerca de 1 seg.) separados por intervalos de duração aleatória (superior a 100 ms, quando se está a falar) \Rightarrow variação temporal bastante irregular e aleatória;
 - o sinal de voz só está presente, em média, em 40% do tempo. Pode-se aproveitar este facto para intercalar outras conversações (sistema TASI - time assignment speech interpolation).

Banda de frequências normalizada para a voz

- As recomendações G.132 e G.151 do ITU-T indicam a banda atribuída ao sinal de voz de 300 - 3400 Hz;
- Nos EUA a banda de frequências atribuída para um canal de voz é 200 - 3200 Hz;
- Estas larguras de banda resultam de um compromisso entre o que os assinantes telefónicos pretendem e o que lhes pode ser fornecido economicamente.



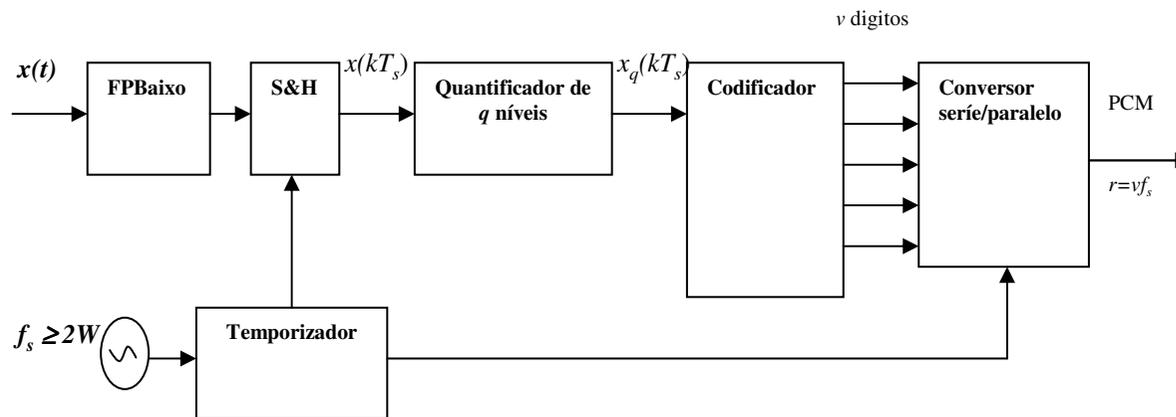
Caracterização do sistema auditivo

- Um indivíduo normal com idade compreendida entre os 18 e 25 anos é capaz de detectar sons puros entre 20 Hz e 20 KHz;
- Com a idade, o limite superior da frequência audível reduz-se significativamente, e.g. em média um homem de 65 anos tem a 8 KHz uma perda de sensibilidade de 40 dB;
- A sensibilidade do ouvido varia com a frequência e com a intensidade sonora. Este aspecto terá de se reflectir na análise do desempenho das redes telefónicas, em particular na medida da potência do ruído;
- O ouvido tem uma elevada gama dinâmica, com valores que podem ir acima dos 100 dB. Para uma boa reprodução basta valores da ordem dos 30 dB.

Modulação por Código de Pulso

PCM – Pulse Code Modulation

Emissor PCM



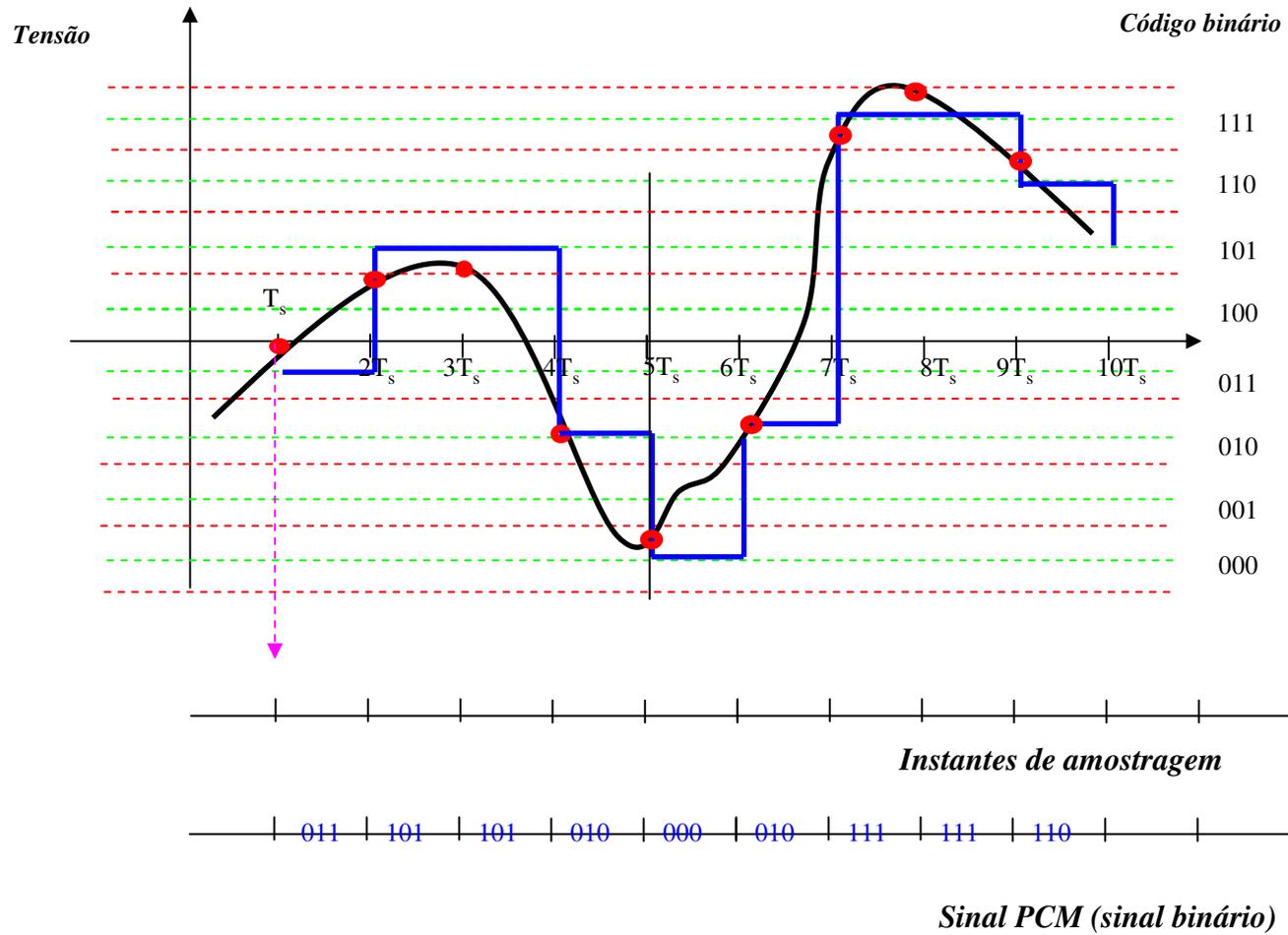
$$|x(t)| \leq 1 \text{ V}$$

q níveis igualmente espaçados

$$\Delta = \frac{2}{q} \quad \text{separação entre níveis}$$



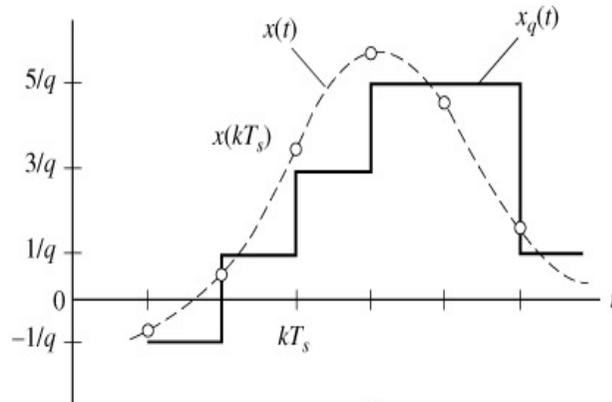
- sinal analógico $x(t)$
- sinal amostrado $x(kT_s)$
- sinal quantificado $x_q(kT_s)$
- níveis de quantificação
- níveis de decisão



Operações envolvidas na geração de sinais PCM

- Amostragem de acordo com o critério de Nyquist;
 - Considerando um sinal analógico $x(t)$ com largura de banda W , a frequência de amostragem mínima utilizada é $f_s=2W$
- quantificação, o sinal é quantificado para o nível mais próximo, nesta operação é cometido o erro de quantificação;
- cada nível de quantificação é codificado utilizando-se v bits, $q=2^v$;
 - a taxa de geração de dados binários é $r_b=vf_s$

Erro de quantificação



$$\varepsilon_k = x_q(kT_s) - x(kT_s)$$

Sinal amostrado

Sinal quantificado

erro de quantificação do símbolo k

Quando a quantificação é uniforme. Se as amplitudes a quantificar tiverem uma distribuição uniforme entre $+1$ e -1 V, a distribuição de ε_k é também uniforme:

$$f(\varepsilon_k) = \begin{cases} \frac{1}{\Delta} & \text{para } -\frac{\Delta}{2} \leq \varepsilon_k \leq \frac{\Delta}{2} \\ 0 & \text{outros valores} \end{cases}$$



$$\sigma_q^2 = \overline{\varepsilon_k^2} = \int_{-\infty}^{\infty} f(\varepsilon_k) \varepsilon_k^2 d\varepsilon_k = \int_{-\Delta/2}^{\Delta/2} \frac{\varepsilon_k^2}{\Delta} d\varepsilon_k = \frac{\Delta^2}{12}$$



Potência do ruído de quantificação

Erro de quantificação

(RSR – Relação Sinal Ruído)- Relação entre a potência do sinal e a potência do ruído de quantificação

(SNR – Signal Noise Ratio)

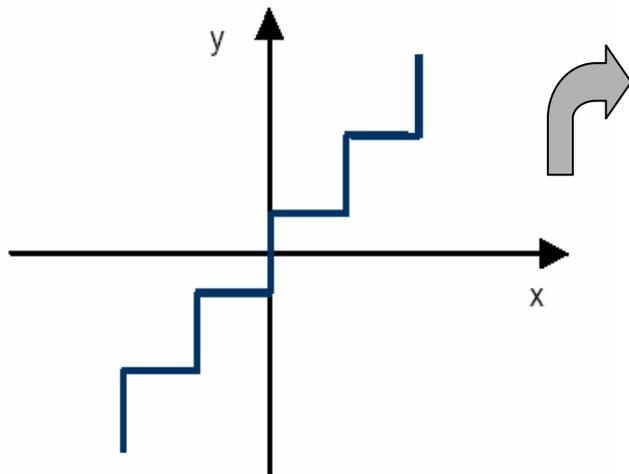
$$RSR = \frac{S_x}{\sigma_q^2}$$

Considerando a normalização $|x(t)| < 1$, temos então que:

$$\begin{aligned} RSR &= 10 \log_{10} (S_x 3q^2) \\ &= 10 \log_{10} (S_x 3 \times 2^{2v}) \\ &\leq 4.8 + 6.0v \text{ dB} \end{aligned}$$

Típicamente sistemas de voz PCM têm $v=8$ e $RSR < 52.8$ dB

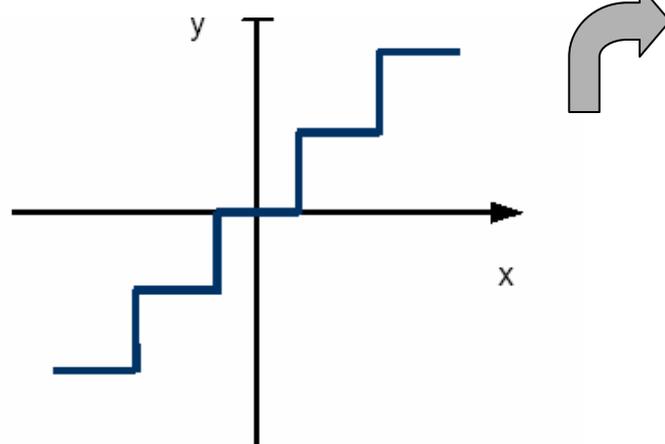
Ruído do canal em repouso



O ruído pode ser maior do que o sinal quando os valores das amostras estão no 1º intervalo de quantificação

Efeito do ruído do canal em repouso

Pode ser minimizado colocando-se um nível de quantificação 0.



Os sistemas deste tipo usam um número ímpar de níveis de quantificação.

Distorção de sobrecarga



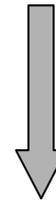
- Quando o sinal excede a gama dinâmica de entrada
 - O sinal é quantificado com o nível máximo permitido
- Os sinais com estas características dizem-se que estão na **região de corte**

Quantificação não uniforme

Quantificação uniforme

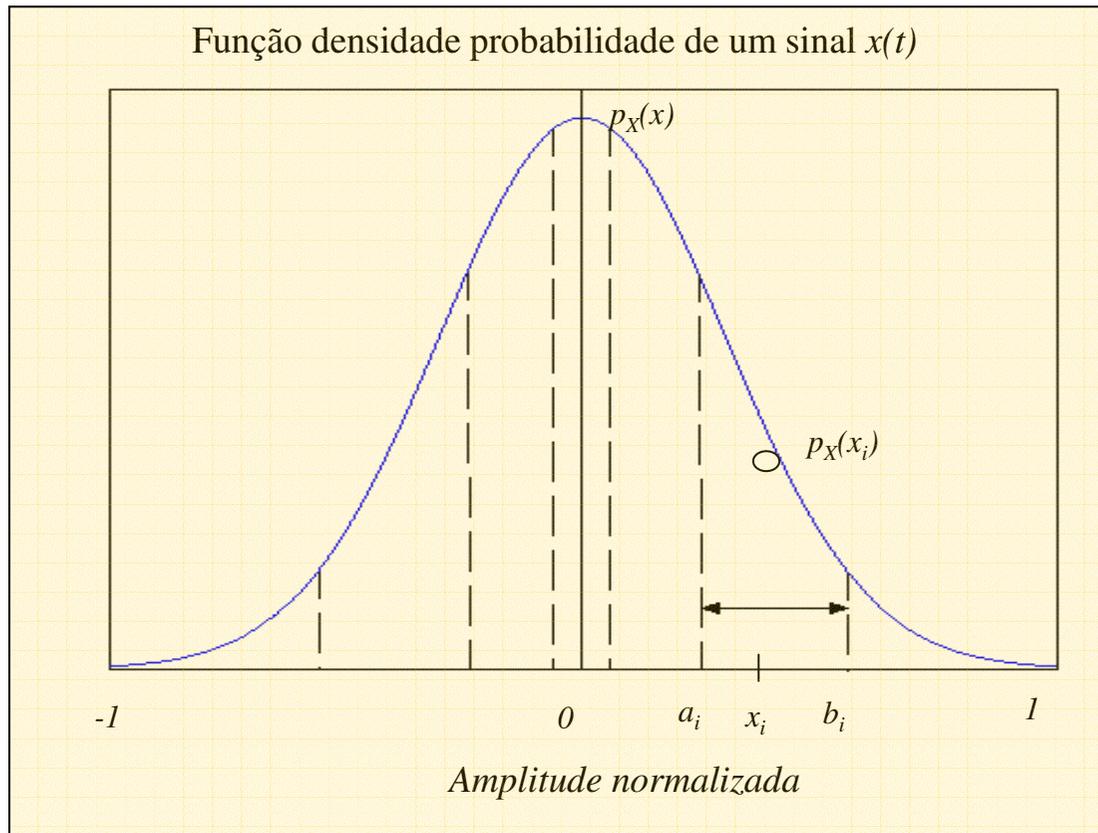


Sinais de baixa amplitude sofrem mais distorção do que sinais de alta amplitude



Solução

Quantificação não uniforme



Potência do ruído de quantificação não-uniforme

- O erro quadrático médio total é dado, em termos estatísticos, por

$$n_q = \langle \varepsilon_q^2 \rangle = \sum_{i=1}^L \int_{x_i - \delta x_i/2}^{x_i + \delta x_i/2} (x_i - x)^2 p(x) dx \approx \sum_{i=1}^L p(x_i) \int_{-\delta x_i/2}^{\delta x_i/2} \varepsilon_i^2 d\varepsilon_i \longrightarrow \varepsilon_i \text{ é o erro de quantificação do intervalo } i$$

Contribuição de cada intervalo de quantificação

Assume-se que a fdp de x é constante em cada intervalo

$$n_q = \sum_{i=1}^L p(x_i) \frac{(\delta x_i)^3}{12} = \sum_{i=1}^L \frac{(\delta x_i)^2}{12} p(x_i) \delta x_i = \frac{1}{3L^2} \sum_{i=1}^L \left(\frac{dx}{dy} \right)^2 p(x_i) \delta x_i$$

NOTA: no caso da quantificação uniforme $\delta x_i = q$ resultando em $n_q = \Delta^2/12$

Probabilidade do sinal x estar no i -ésimo intervalo

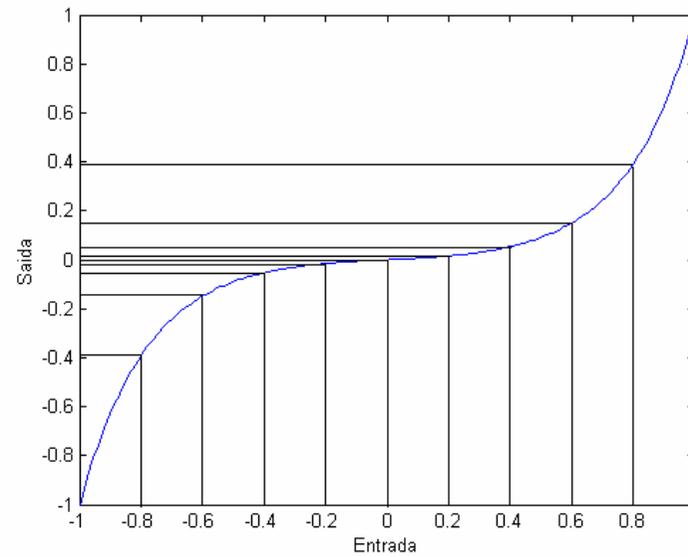
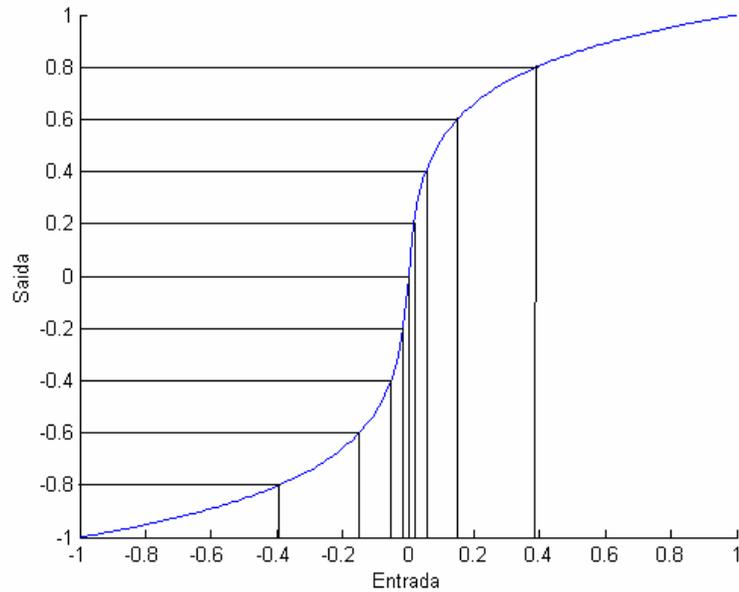
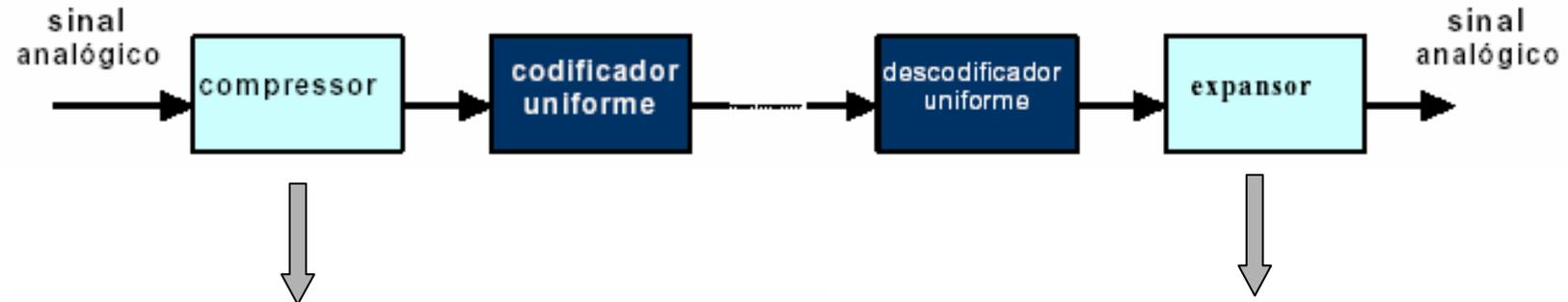
$$\delta x_i = \frac{2}{L} \left(\frac{dx}{dy} \right)$$

O ruído de quantificação depende da estatística do sinal analógico a discretizar

No caso em que L é elevado ($\delta x_i \rightarrow 0$):

$$n_q = \frac{1}{3L^2} \int_{-1}^1 \left(\frac{dx}{dy} \right)^2 p(x) dx$$

PCM não linear



PCM não linear (leis A e μ)

Lei de compressão A
(Japão, USA)



$$y = \frac{\log(1 + \mu x)}{\log(1 + x)}$$

com $\mu=255$
 μ

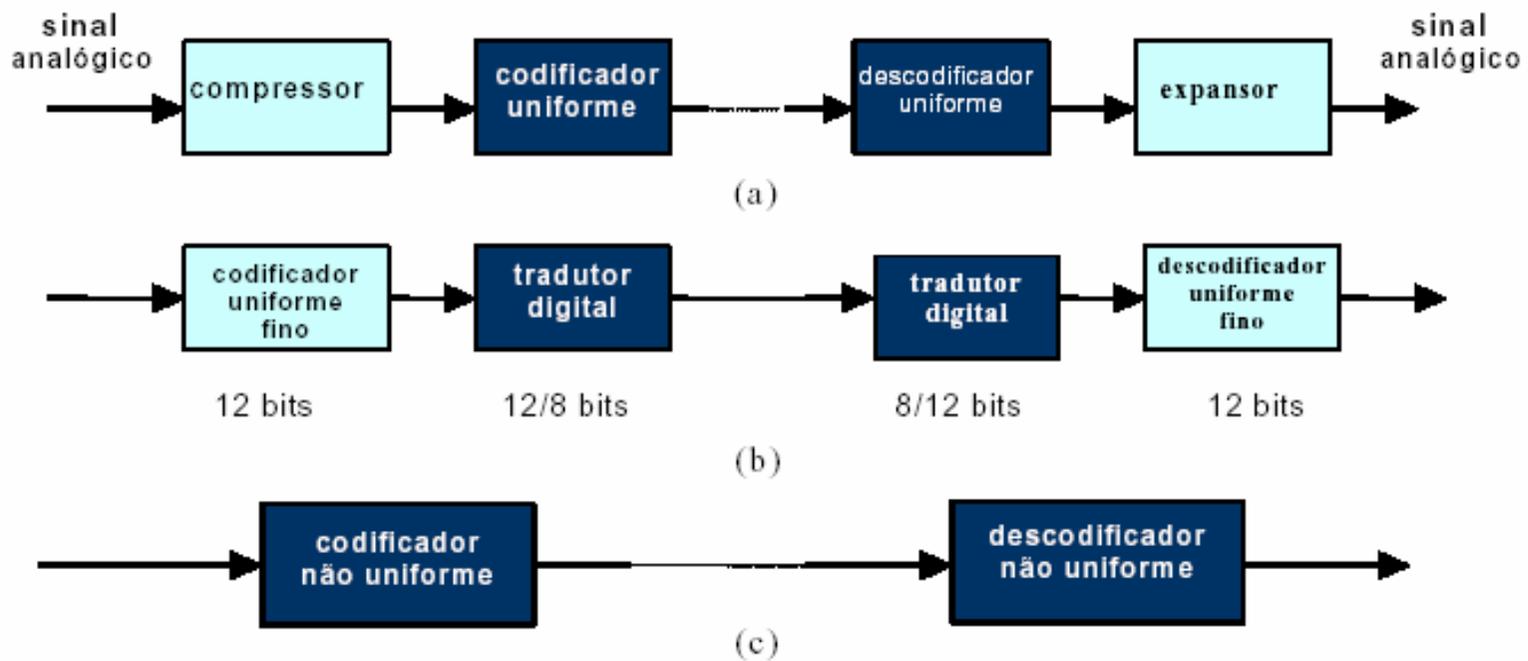
Lei de compressão μ
(Europa)



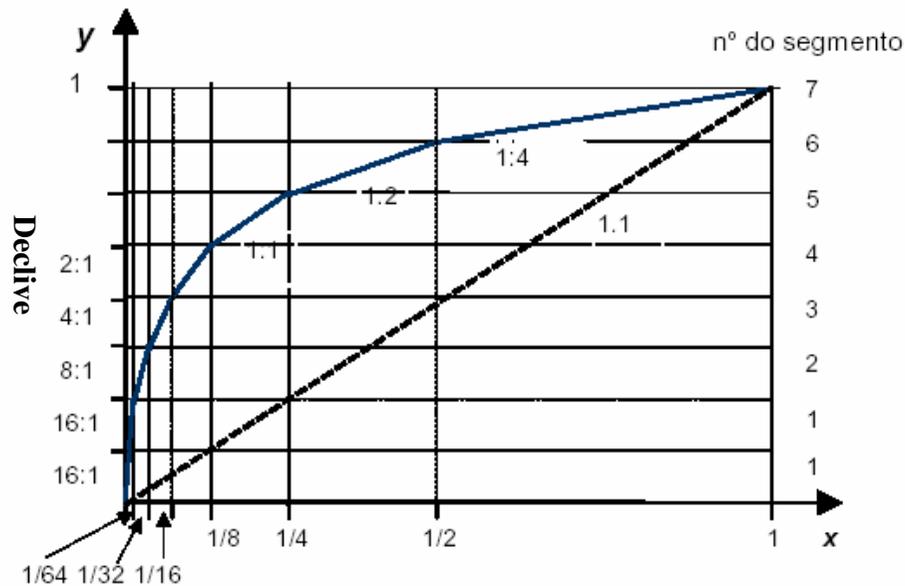
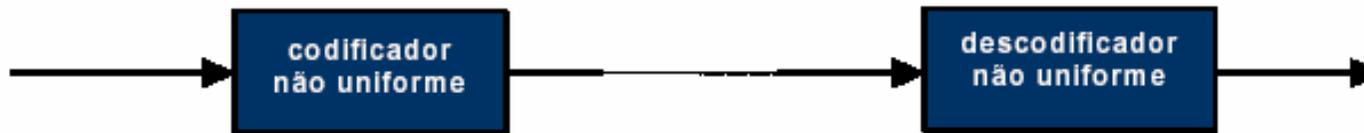
$$y = \frac{ax}{1 + \log(a)} \text{ para } 0 \leq |x| \leq 1/a$$
$$y = \text{sign}(x) \frac{1 + \log(a|x|)}{1 + \log(a)} \text{ para } 1/a < |x| \leq 1$$

com $a=87.6$

Técnicas de realização de codificação não uniforme



Técnicas de realização de codificação não uniforme



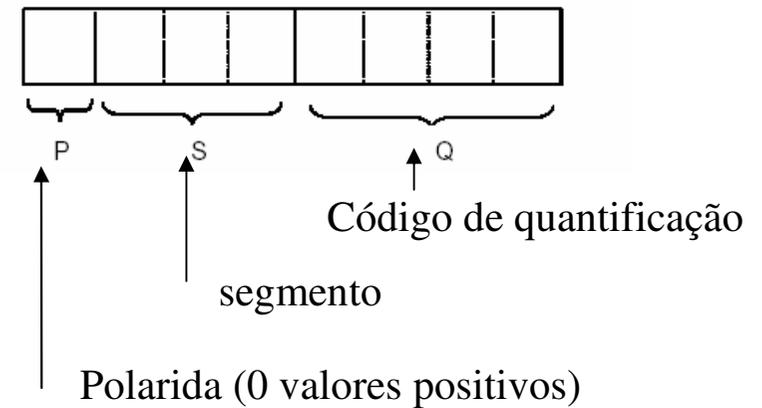
Lei A usa:

- 13 segmentos (7 positivos e 7 negativos, os 2 1^{os} segmentos são contabilizados com um único segmento)
- No interior de cada segmento a quantificação é uniforme com 16 níveis (32 no segmento central)

Técnicas de realização de codificação não uniforme

número do segmento	gama do sinal	dimensão do passo	código do segmento	código de quantificação
1	0-2	2	000	0000
	2-4			0001
	.			.
	30-32			1111
2	32-34	4	010	0000
	.			.
	62-64			1111
	64-68			0000
3	124-128	8	011	0000
	.			.
4	248-256	16	100	0000
	.			.
5	496-512	32	101	0000
	.			.
6	992-1024	64	110	0000
	.			.
7	1024-1088	128	111	0000
	.			.
	1984-2048			1111
	2048-2176			0000
	.			.
	3968-4096			1111

Estrutura de uma palavra PCM (lei A)



Requisitos do sinal de voz / Parâmetros típicos do PCM para a voz

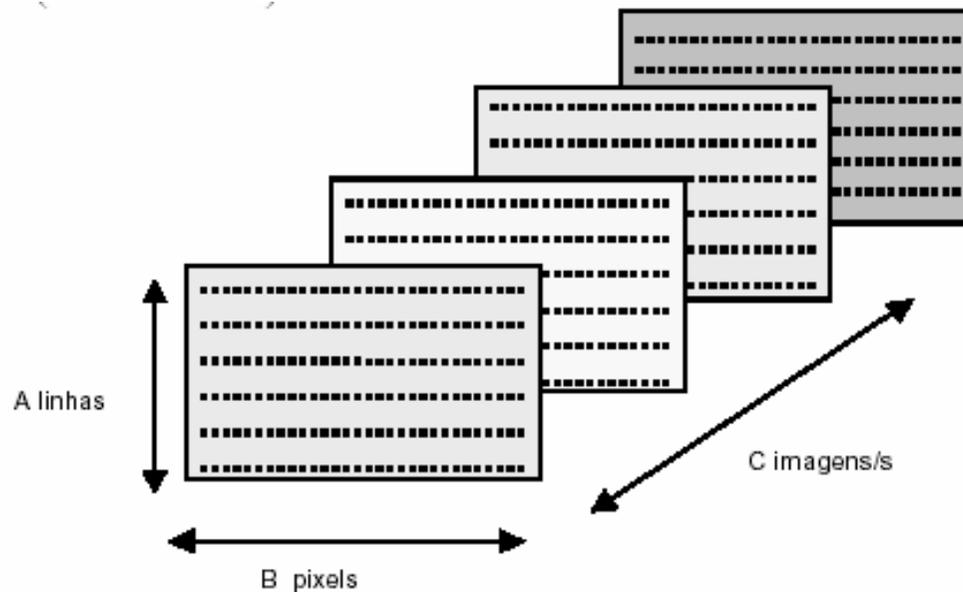
- Requisitos para transmissão de voz:
 - Testes demonstraram que para garantir uma boa qualidade de transmissão de voz é necessário garantir
 - Esta condição deve ser respeitada para uma gama dinâmica da ordem dos 30 dB.
- Características do sistema PCM para a voz:
 - Frequência de amostragem: 8000 amostras/s
 - Quantificação não uniforme com $L = 256$ níveis;
 - Compressão segundo a lei A com 13 segmentos (Europa) ou lei μ (EUA e Japão) com 15 segmentos;
 - palavras PCM de 8 bits;
 - Ritmo binário: 64 Kbps.

Sinal Vídeo

Artigo

<http://www.img.lx.it.pt/~fp/artigos/I&I.doc>

<http://www.img.lx.it.pt/~fp/cav/com.htm>



Uma imagem é composta por um conjunto finito de elementos de imagem designados por **pixels**.

Cada pixel é caracterizado por:

- posição
- brilho (luminância)
- cor (crominância)

Sensação de movimento contínuo é necessário transmitir > 16-18 imagens/s

Sinal Vídeo

Nº de linhas

Baixa definição ---- menos de 300-400 linhas

Média definição ---- entre 500 a 600 linhas

Alta definição ---- mais de 1000 linhas

No sistema PAL (Phase Alternation Line) nº de linhas é de 625 só 575 são visíveis

Nº de elementos de imagem transmitidos por segundo:

$M=ABC= 10.35 \times 10^6$ elementos

Para: $C=25$ imagens/s, $A= 575$ linhas, $B= 720$ elementos/linha



Largura de banda máxima $M/2=5.175$ MHz

Trata-se de uma análise simplista, uma análise mais rigorosa, conduz ao valor de 5.5 MHz. Para TV de alta definição $A=1080$, $B=1920$ e $C=25$. Largura de banda de 25.92 MHz.