

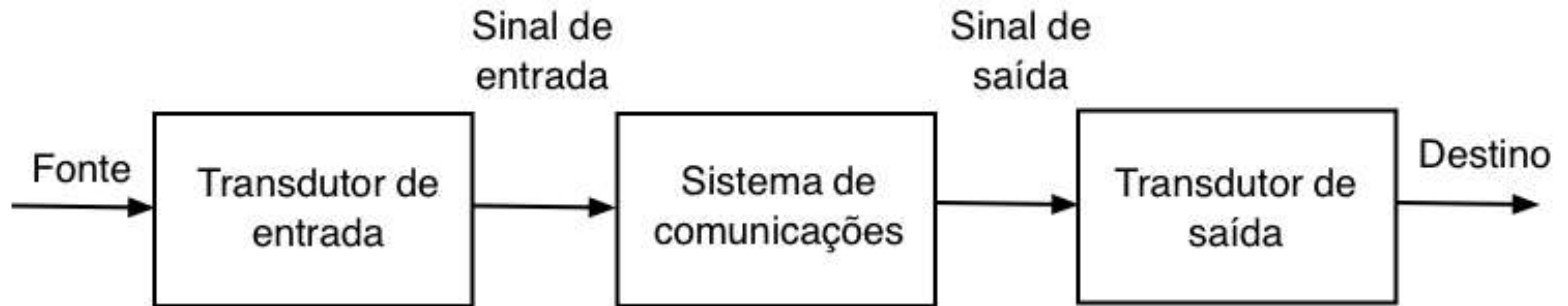
Curso: Engenharia de Computação

Sistemas de Comunicações Móveis

Prof. Clayton J A Silva, MSc
clayton.silva@professores.ibmec.edu.br

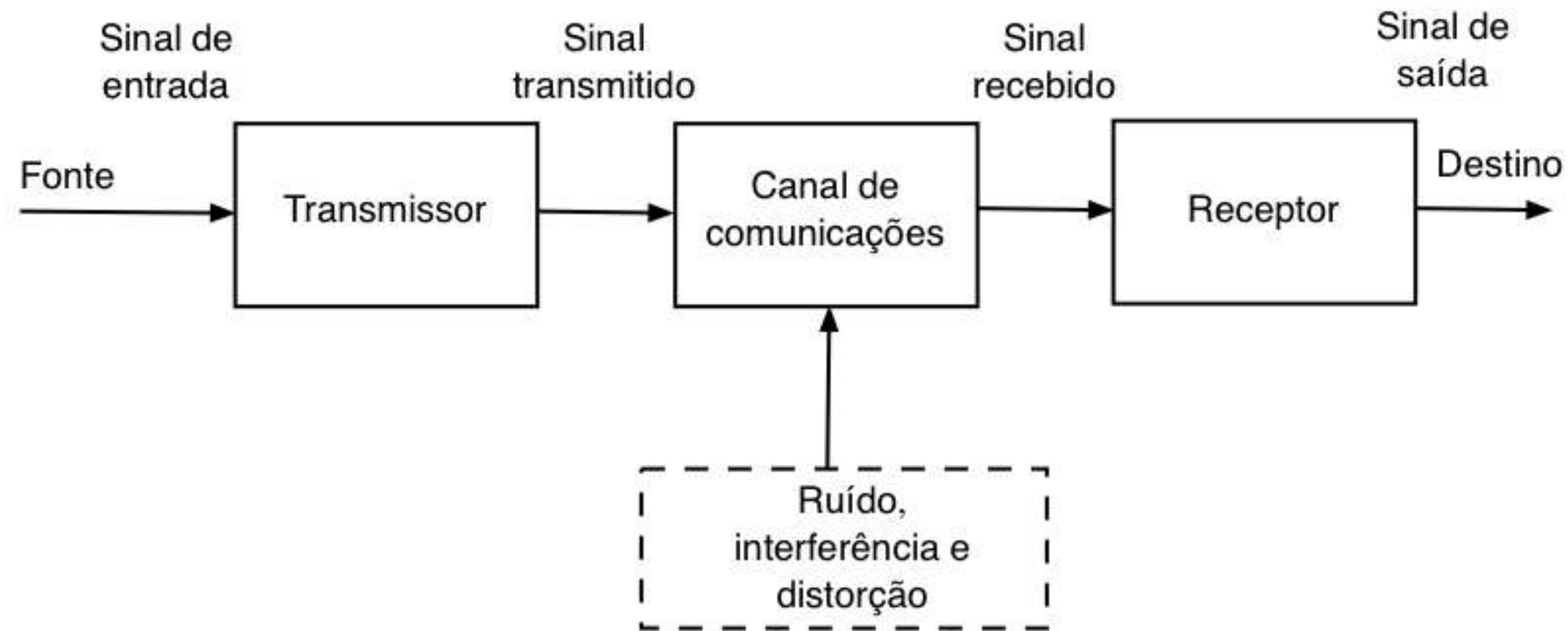


Sistema de comunicações transdutores e sinais elétricos



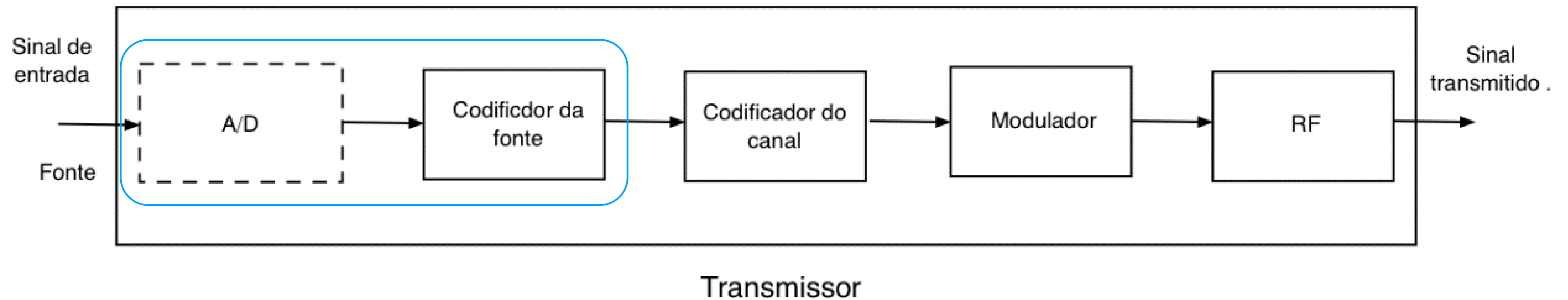
Modelo do sistema de comunicações

Modelo do Sistema de Comunicações



Modelo do transmissor

Transmissor



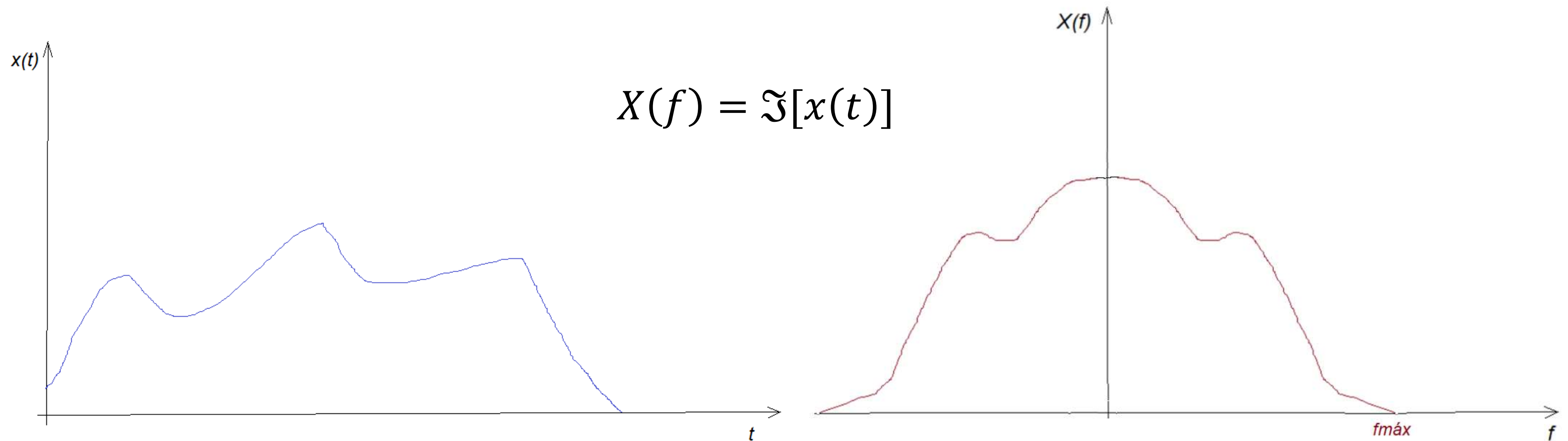
O problema da digitalização

Formalizando o teorema da amostragem

- Se o sinal for contínuo no tempo, precisará ser discretizado.
- A taxa de amostragem deve ser suficiente para que possa ser reconstruído .
- **Teorema de *Nyquist***: um sinal $x(t)$ limitado por uma frequência $f_{máx}$ pode ser reconstruído sem erro a partir das suas amostras se for amostrado a uma taxa f_A tal que

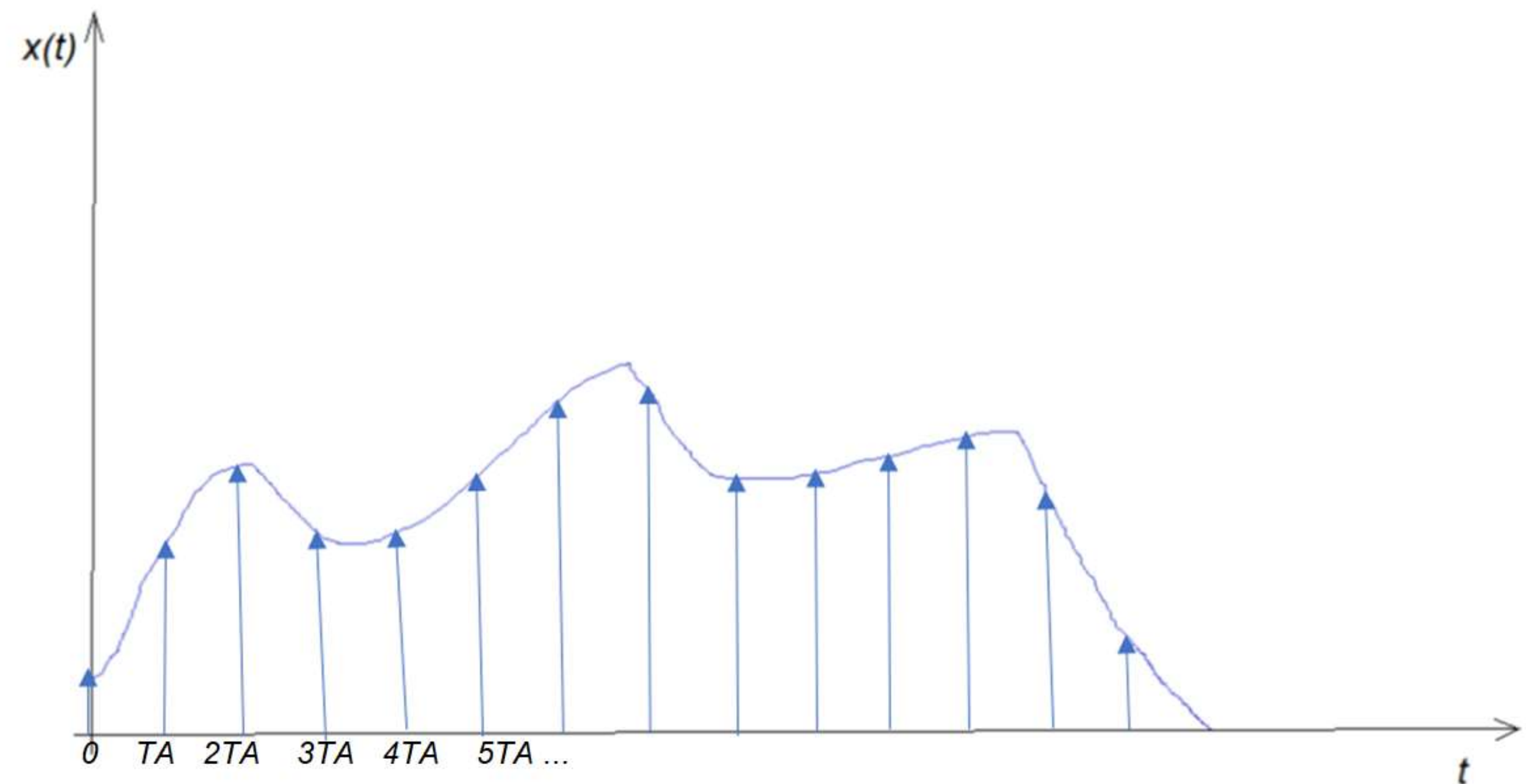
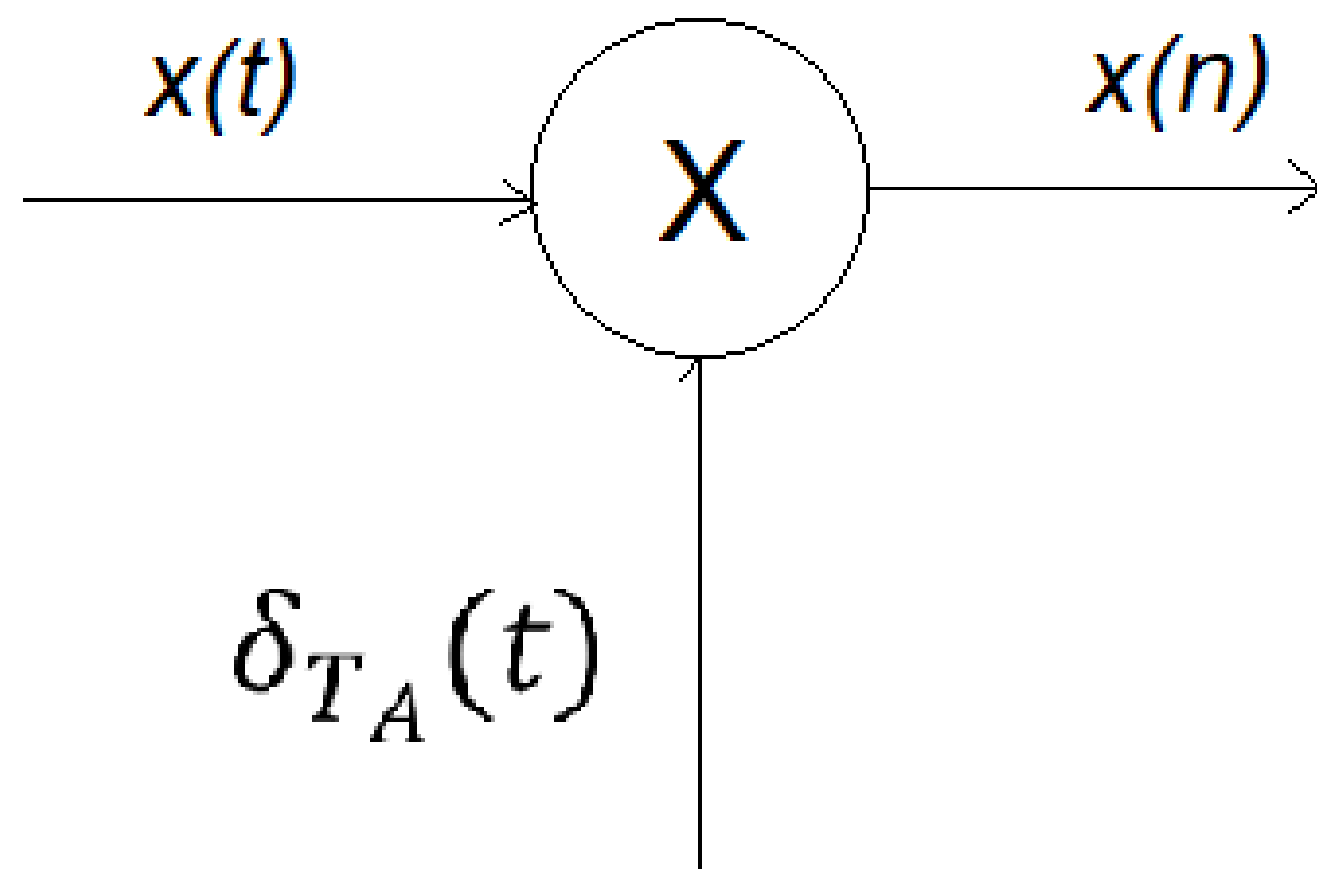
$$f_A > 2f_{máx}$$

O sinal analógico e seu comportamento espectral

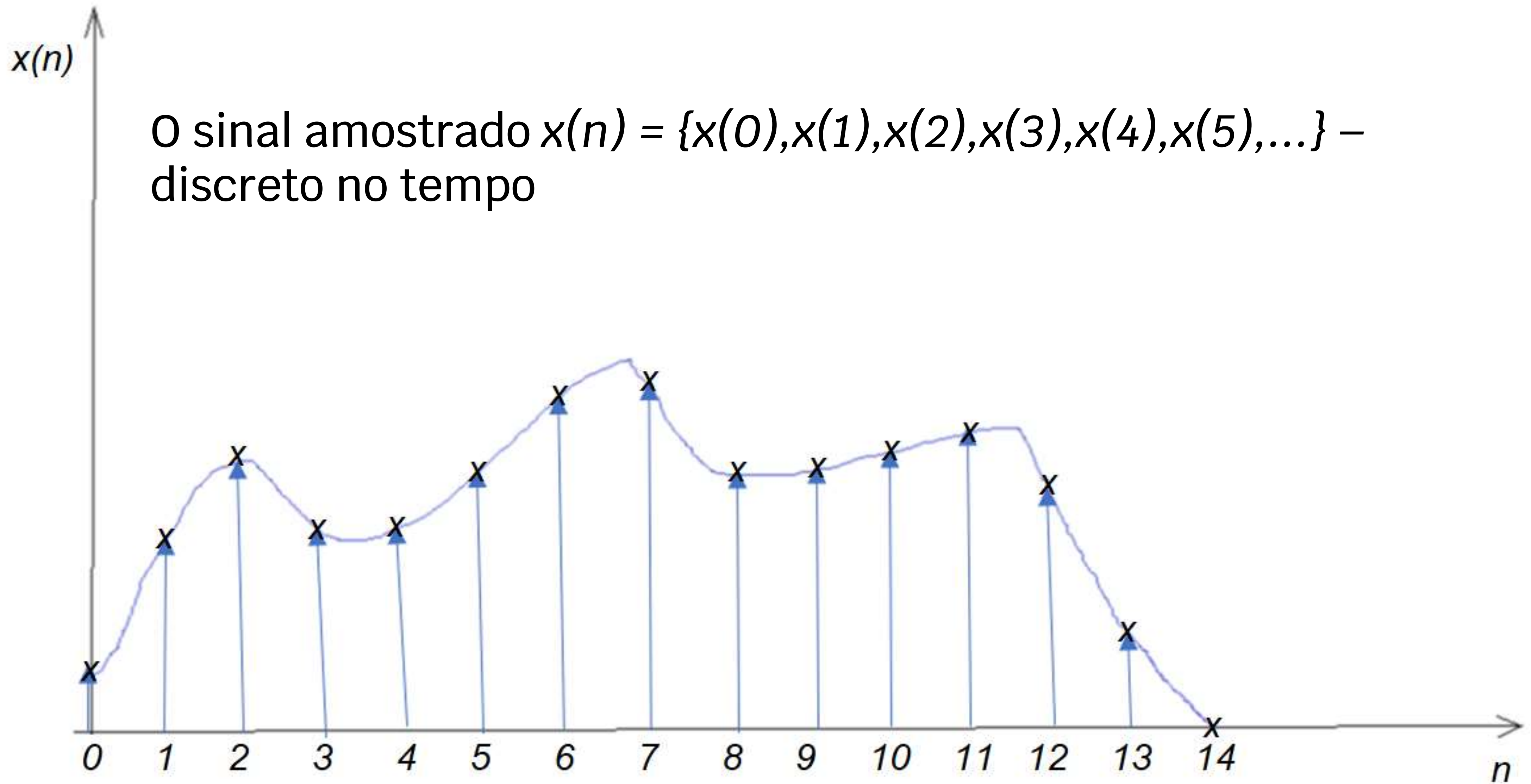


A amostragem

Para amostrar o sinal pode-se multiplicá-lo por um sinal $\delta_{T_A}(t)$ – onde $\delta(t)$ representa delta de Dirac ou função impulso, ou seja, **um trem de impulsos**, o que resultaria em $x(t) \cdot \delta_{T_A}(t)$

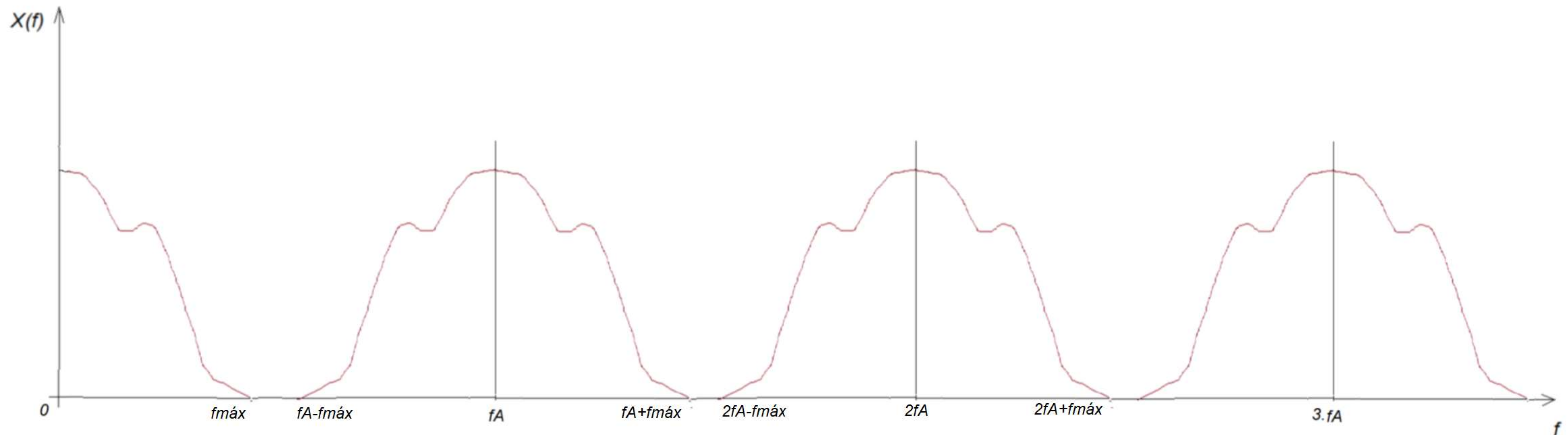


O sinal amostrado $x(n) = \{x(0), x(1), x(2), x(3), x(4), x(5), \dots\}$ – discreto no tempo



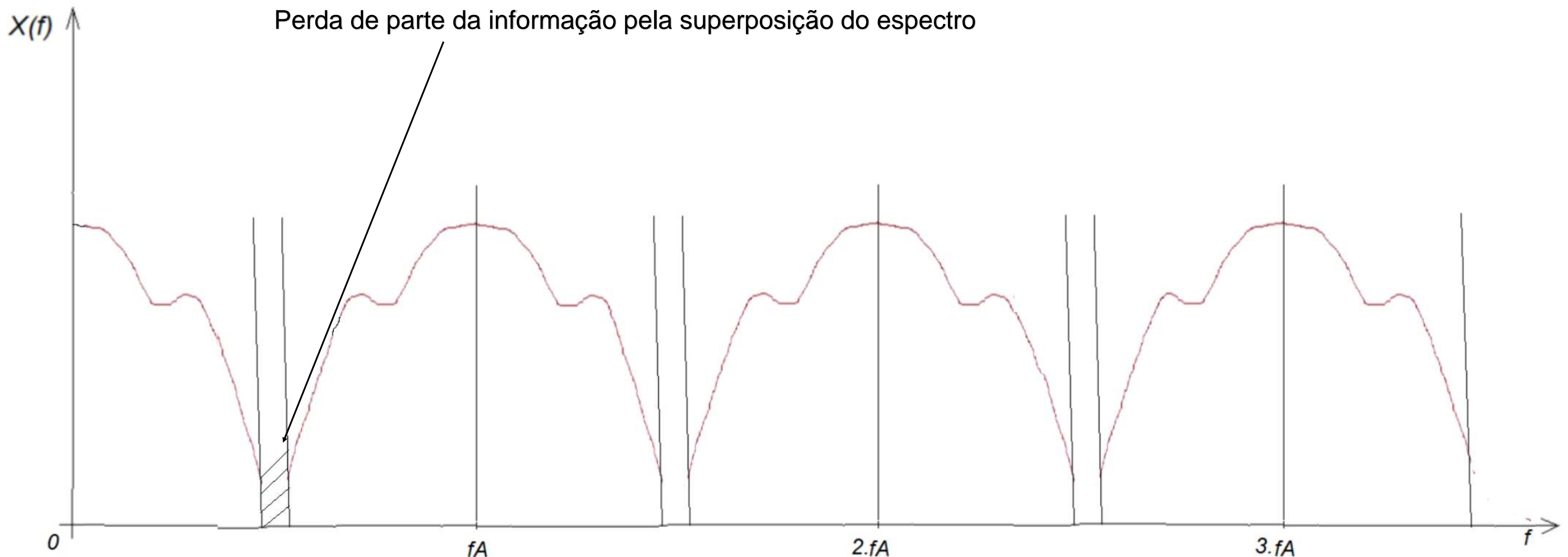
Espectro do sinal amostrado

Pode-se demonstrar matematicamente que o sinal resultante da amostragem teria um **comportamento espectral** de



Aliasing

Uma frequência de amostragem que não respeita a taxa de Nyquist pode levar a perda de informação do sinal amostrado



Sinais analógicos de interesse para comunicações: espectro sonoro

Espectro sonoro^[1]

Espectro sonoro ^[1]													
Espectros	Silêncio	Infrassom	Som audível						Ultrassom				Hiper-som ^[2]
			Subgrave	Grave	Médias baixas	Médios	Médias altas	Agudo					
Frequência	0	0.001 Hz - 20Hz	20Hz	23Hz	250Hz	640Hz	2,5KHz	20.000 Hz	30.000 Hz	10 ⁵ Hz	10 ⁶ Hz	10 ⁸ Hz	10 ⁹ Hz
Descrição	Ausência de som		faixa da audição humana (perspetivável ao ouvido humano)						frequência típica do sonar	limite da audição de morcegos e golfinhos	frequência típica de ultrassons para fins médicos		

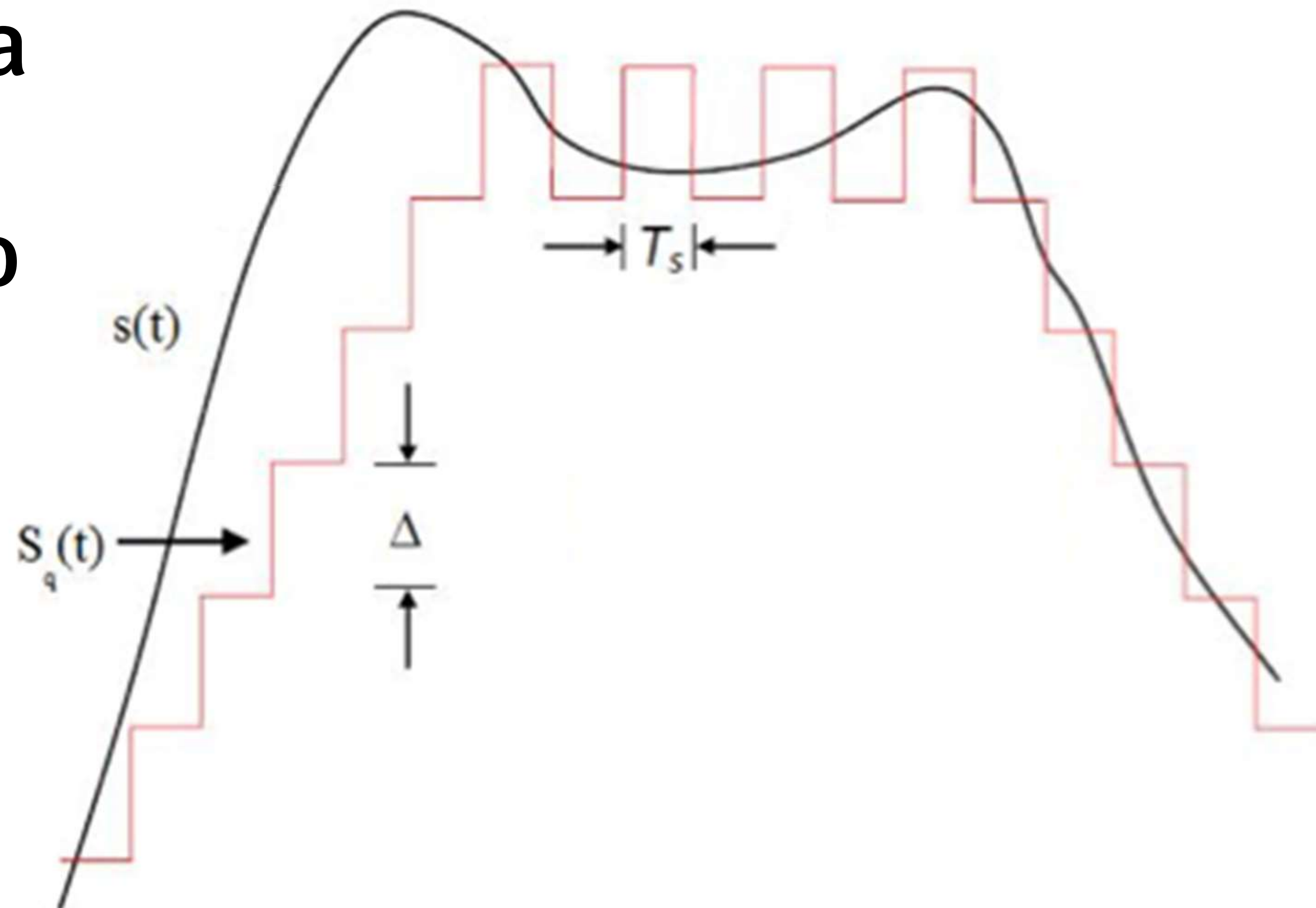
Sinais analógicos de interesse para comunicações: espectro do sinal de voz

- Os limites típicos do sinal de voz no domínio da frequência situam-se na **faixa entre 10 Hz e 3400 Hz**.
- O espectro não é limitado, pois existem componentes que se estendem além desses limites, porém com **menor intensidade**.
- Tipicamente, a **maior energia** do sinal de voz situa-se na **faixa entre 500 Hz e 800 Hz**.
- Para **aplicações em telefonia**, a frequência de amostragem adotada internacionalmente é de $f_A = 8 \text{ kHz}$

Sinais analógicos de interesse para comunicações: sinal de vídeo analógico

- O sinal de vídeo é gerado a partir da **leitura sequencial de um quadro**, da esquerda para a direita, de cima para baixo, de acordo com a **intensidade luminosa de pontos (*pixels*)**
- O sinal resultante é um sinal que varia no tempo cujas características espectrais dependem do:
 - **número de *pixels* e**
 - **da velocidade da varredura** com que se monta a matriz dos *pixels* para a formação da imagem – normalmente definida pelas linhas do quadro

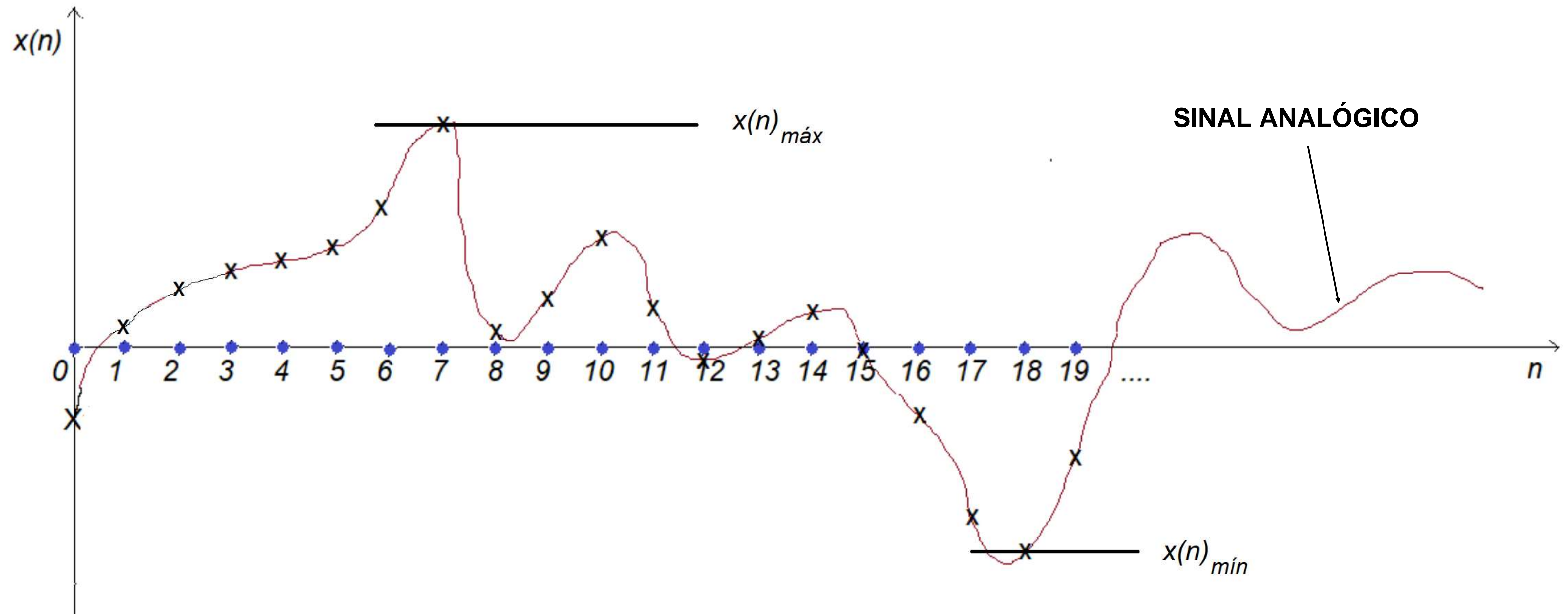
O problema da digitalização: a quantização escalar



A função de quantização

- A função de quantização, $q(x)$, é o valor para o qual o sinal amostrado, $x(n)$, será aproximado.
- O sinal amostrado $x(n)$, possui um valor pico-a-pico do sinal que pode ser calculado por $x_{pp} = x(n)_{máx} - x(n)_{mín}$
- Considerando que sejam usados L níveis de quantização, o degrau de quantização (Δ) é definido por $\Delta = \frac{x_{pp}}{L-1}$
- A função $q(x)$ aproxima $x(n)$ a um dos possíveis níveis.

A função de quantização



A função de quantização

- O ruído ou erro de quantização consiste na diferença entre o sinal de entrada no quantizador e o sinal na saída $d(n) = x(n) - q[x(n)]$, onde $q(x)$ representa a função de quantização.
- A razão sinal/ruído de quantização, em dB, é dada por $SQNR = 10 \log \frac{\sum_n x^2(n)}{\sum_n d^2(n)}$

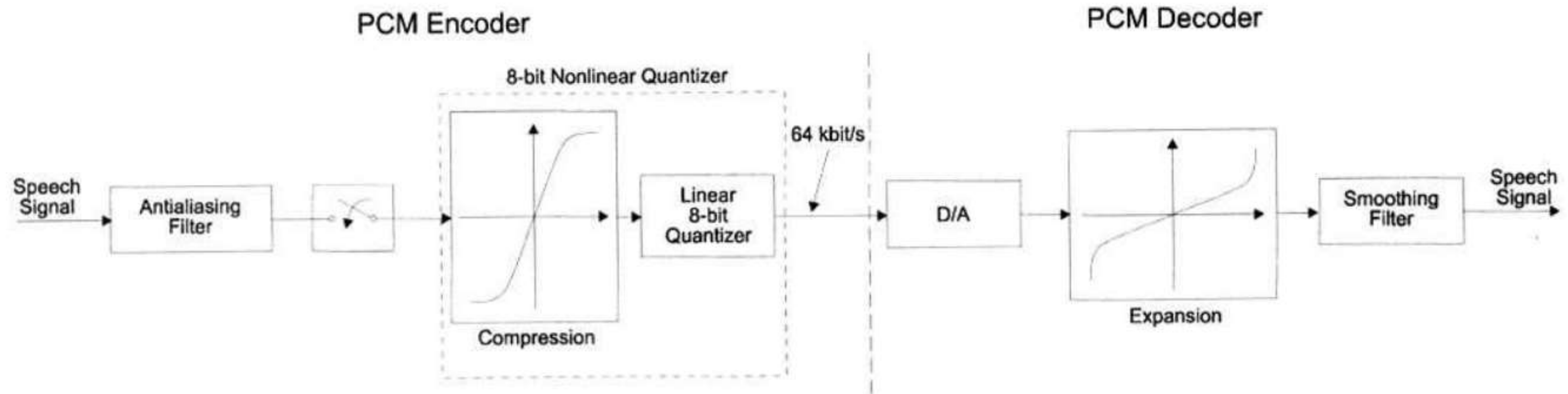
A função de quantização

- Existem vários algoritmos para implementar a quantização buscando a eficiência do processo, considerando, por exemplo, a minimização do erro de ruído de quantização
- Alguns são recomendados pela ITU-T (União Internacional de Telecomunicações)

Sinais analógicos de interesse para comunicações: espectro do sinal de voz

- Para aplicações em telefonia
 - O sinal de voz é quantizado para **256 níveis** distintos, logo exigindo um **código de 8 bits** ($2^8 = 256$)
 - Considerando f_A e o número de bits do código, é necessário uma **banda em aplicações de telefonia de 64 kHz para transmissão de sinal de voz**

Codificador de fonte – exemplo: *PCM (Pulse Code Modulation)*



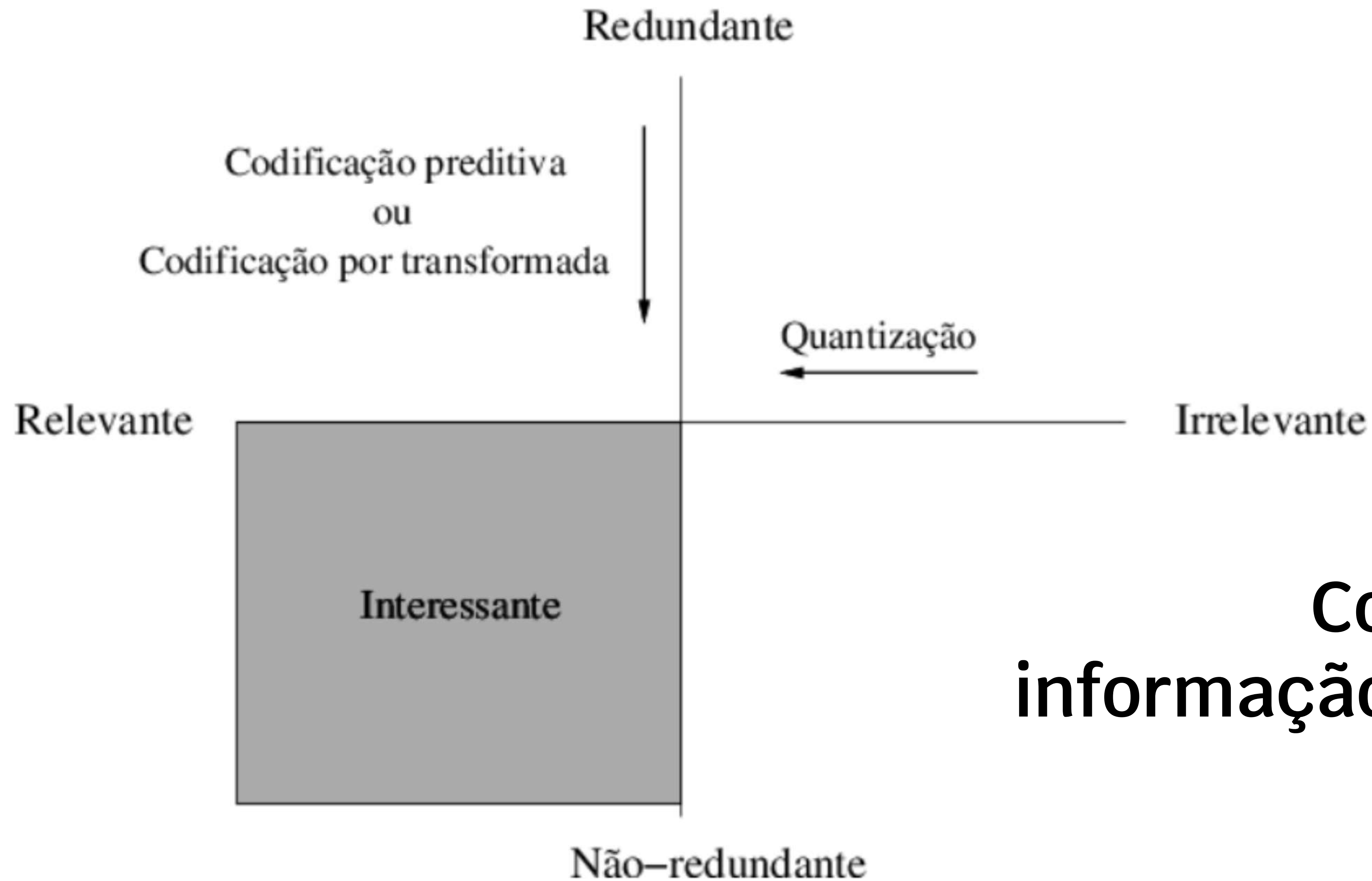
Codificador da fonte

Codificador da fonte

- Processamento de símbolos para melhorar a comunicação quando a informação é **digital** ou pode ser aproximada na forma de **símbolos discretos**.
- Transforma uma **mensagem digital** em uma nova **sequência de símbolos**.

Compressão de sinais

Na codificação da fonte se realiza a compressão de sinais, cujo objetivo fundamental é reduzir o número de bits necessários para representar adequadamente os sinais a serem transmitidos



**Compressão:
informação dos sinais**

Compressão informação dos sinais

- Componente relevante – transmitida
- Componente irrelevante – reduzida por meio da **quantização**
- Componente não redundante – **transmitida**
- Componente redundante, reduzida por meio de **técnicas de predição e transformação do sinal**

Compressão desempenho

- O problema geral da compressão é **minimizar a taxa de bits na representação digital do sinal**, mantendo os níveis requeridos de:
 1. Qualidade do sinal reconstruído
 2. Complexidade da implementação
 3. Retardo da comunicação

Qualidade do sinal reconstruído

- Medidas de qualidade: subjetiva (qualitativas) ou objetiva (definidas matemática e estatisticamente)
- Medidas de qualidade objetiva:
 - Erro instantâneo, $e(n)$;
 - Erro médio (ME);
 - Erro médio quadrático (MSE); e
 - razão sinal-ruído de erro (SEN R)

Qualidade do sinal reconstruído

- Seja um sinal $x(n)$ e o sinal processado $y(n)$, reconstruído pelo receptor, o erro em um instante n é dado por $e(n) = x(n) - y(n)$
- O erro médio é dado por $ME = \frac{1}{N} \sum_n x(n) - y(n)$
- O erro médio quadrático é dado por $MSE = \frac{1}{N} \sum_n e^2(n)$
- A energia no sinal de erro é dada por $E_e = \sum_n e^2(n) = \sum_n [x(n) - y(n)]^2$

Qualidade do sinal reconstruído

- A razão sinal/ruído de erro, em dB, é dada por $SENR = 10 \log \frac{\sum_n x^2(n)}{\sum_n e^2(n)}$

Complexidade do algoritmo de codificação

- **Número de instruções na unidade de tempo**, normalmente medida em MIPS, e **requisitos de espaço de armazenamento** em memória requeridos para processamento do algoritmo.
- **Tamanho físico, custo e consumo de potência** do codificador, decodificador ou *codec* (codificador+decodificador)

Retardo da comunicação

- O retardo ou atraso decorrente do processamento pelo *codec*
- O impacto do atraso sobre a comunicação depende da aplicação. Algumas aplicações admitem **limites** mais rigorosos de atraso.

Referências

[1] Alencar, Marcelo S.; Telefonía Celular Digital; Capítulo 3; érica Saraiva;



IBMEC.BR

 /IBMEC

 IBMEC

 @IBMEC_OFICIAL

 @IBMEC

 **ibmec**