



Módulo 3 – Teoria da Amostragem

Sistemas Multimédia

Ana Tomé

José Vieira

Departamento de Electrónica, Telecomunicações e
Informática

Universidade de Aveiro



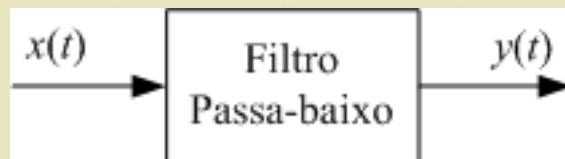
Sumário

- Noção de filtro
- Conversão A/D
- Amostragem de sinusóides
- Amostragem e “aliasing”
- Critério de Nyquist
- O som digital



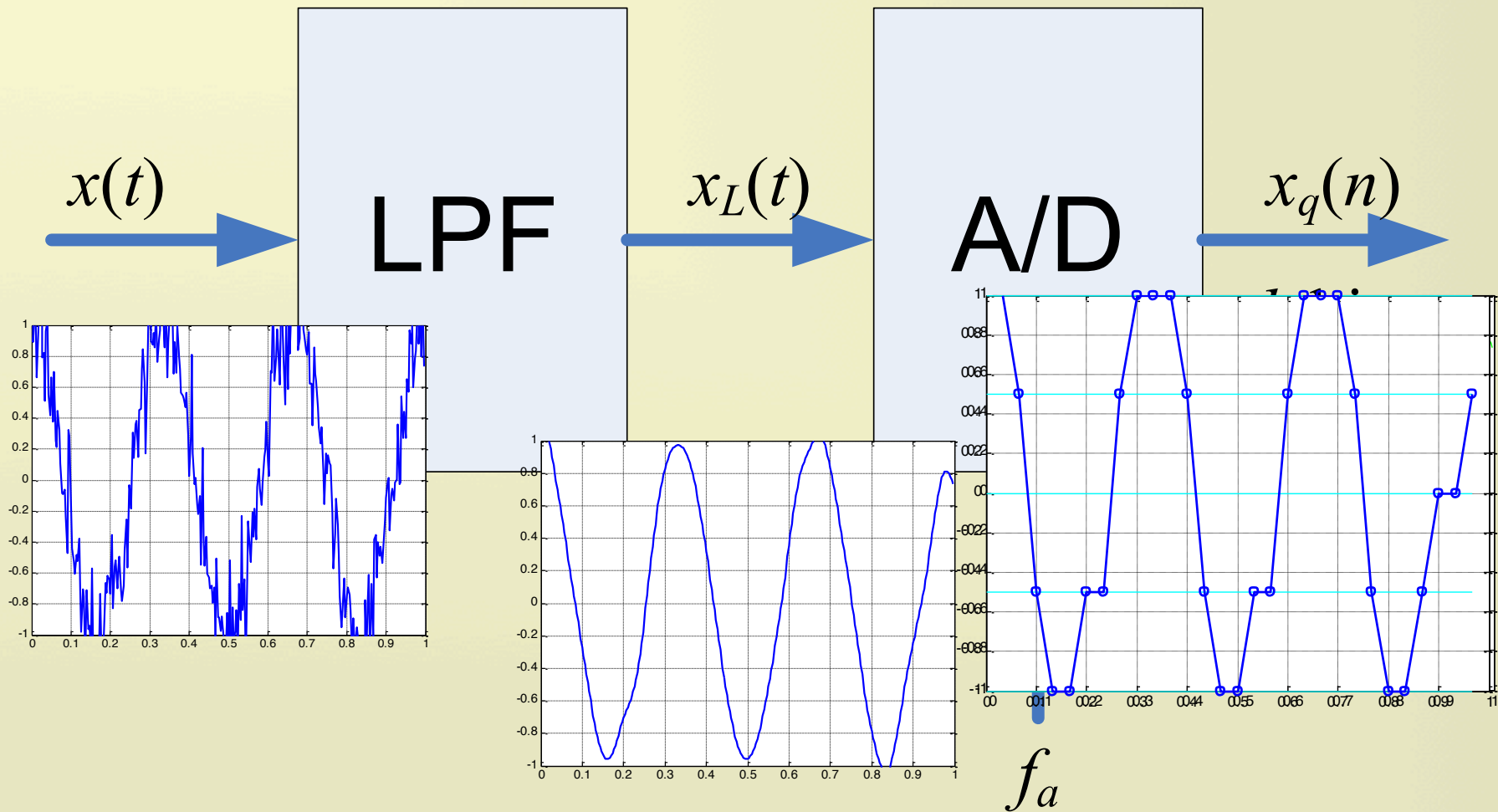
Filtros

- Os filtros são elementos essenciais no processamento e manipulação de sinais. Uma vez que permitem separar sinais que se situam em zonas diferentes do espectro.
- O exemplo mais simples de filtro é o passa-baixo. Apenas as frequências inferiores à frequência de corte conseguem passar.
- Existem ainda os seguintes tipos:
 - Passa-alto
 - Passa-banda
 - Rejeita-banda



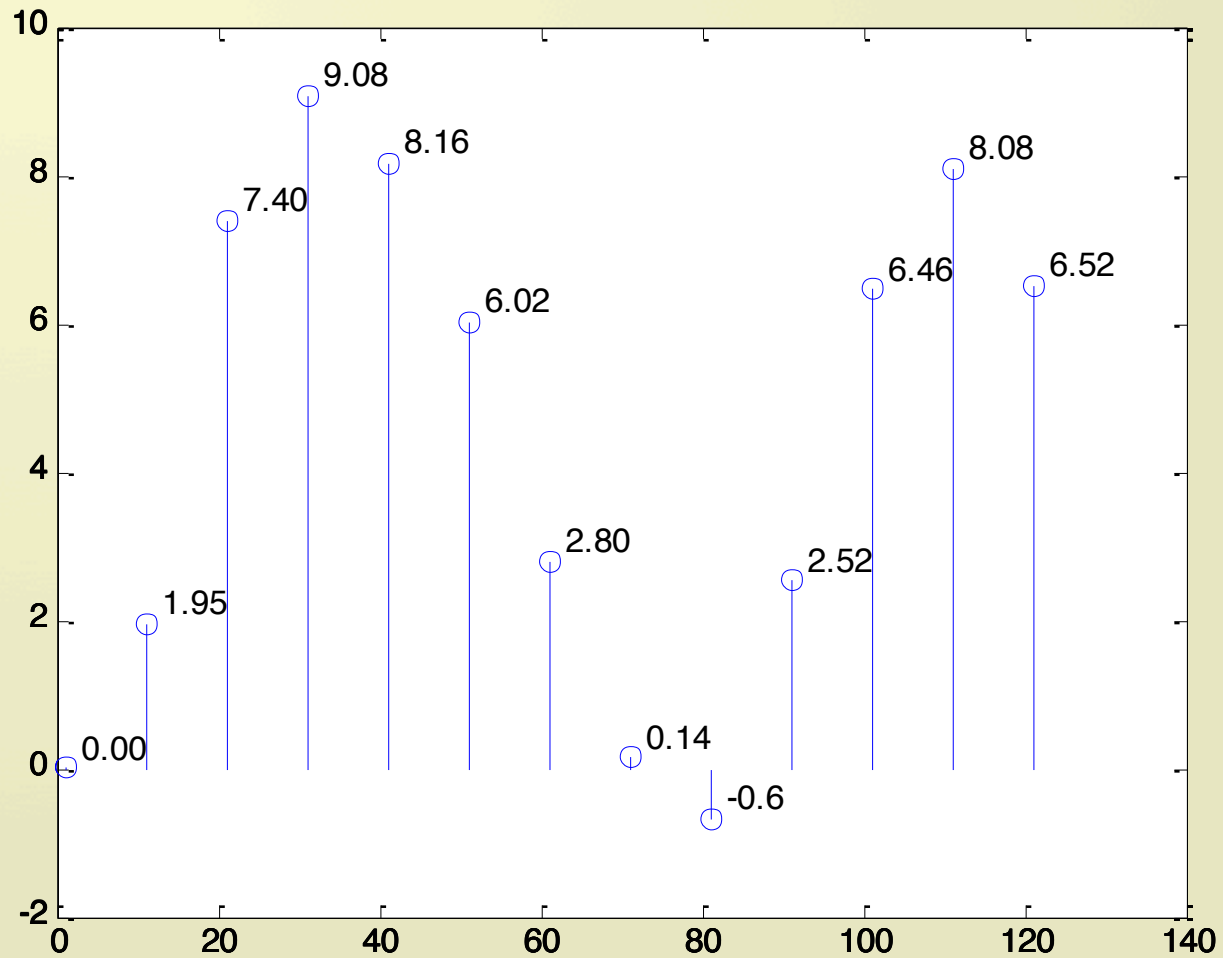


Conversão Analógico Digital



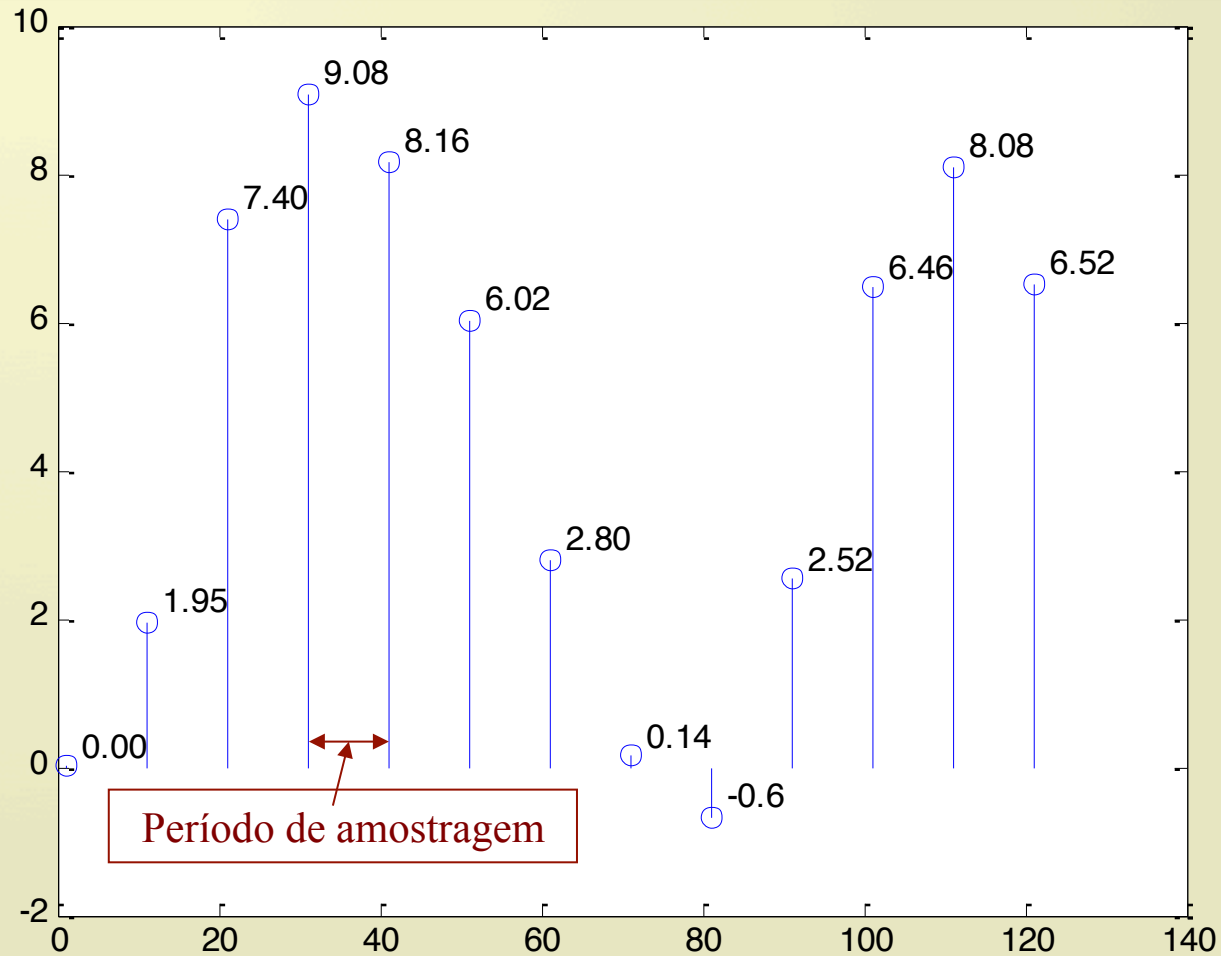


Amostragem





Amostragem





Amostragem

- Questão: Em que condições a informação contida nas amostras é idêntica à contida no sinal original?
- Objectivo: Não desperdiçar recursos com sobre-amostragem.
- Critério de Nyquist: A frequência de amostragem deve ser maior que o dobro da frequência máxima do sinal.



Amostragem de Sinusóides

- Considere-se uma sinusóide de frequência f_0 [Hz]

$$x(t) = \cos(2\pi f_0 t) = \cos(\omega_0 t) \quad \omega_0 [\text{rad/seg}]$$

- Se se amostrar esta sinusóide a uma frequência

$$f_a = 1/T_a, \text{ teremos } x(nT_a) = \cos(2\pi f_0 nT_a)$$

que pode ser colocada na forma

$$x(nT_a) = \cos(2\pi \frac{f_0}{f_a} n) = \cos(2\pi F_0 n)$$

em que F_0 é a frequência normalizada $F_0 \in [0 \dots 1/2]$

- Fazendo $\Omega_0 = 2\pi F_0$

temos finalmente $x(nT_a) = \cos(\Omega_0 n) \quad \Omega_0 \in [0 \dots \pi]$



Amostragem de Sinusóides e Alias

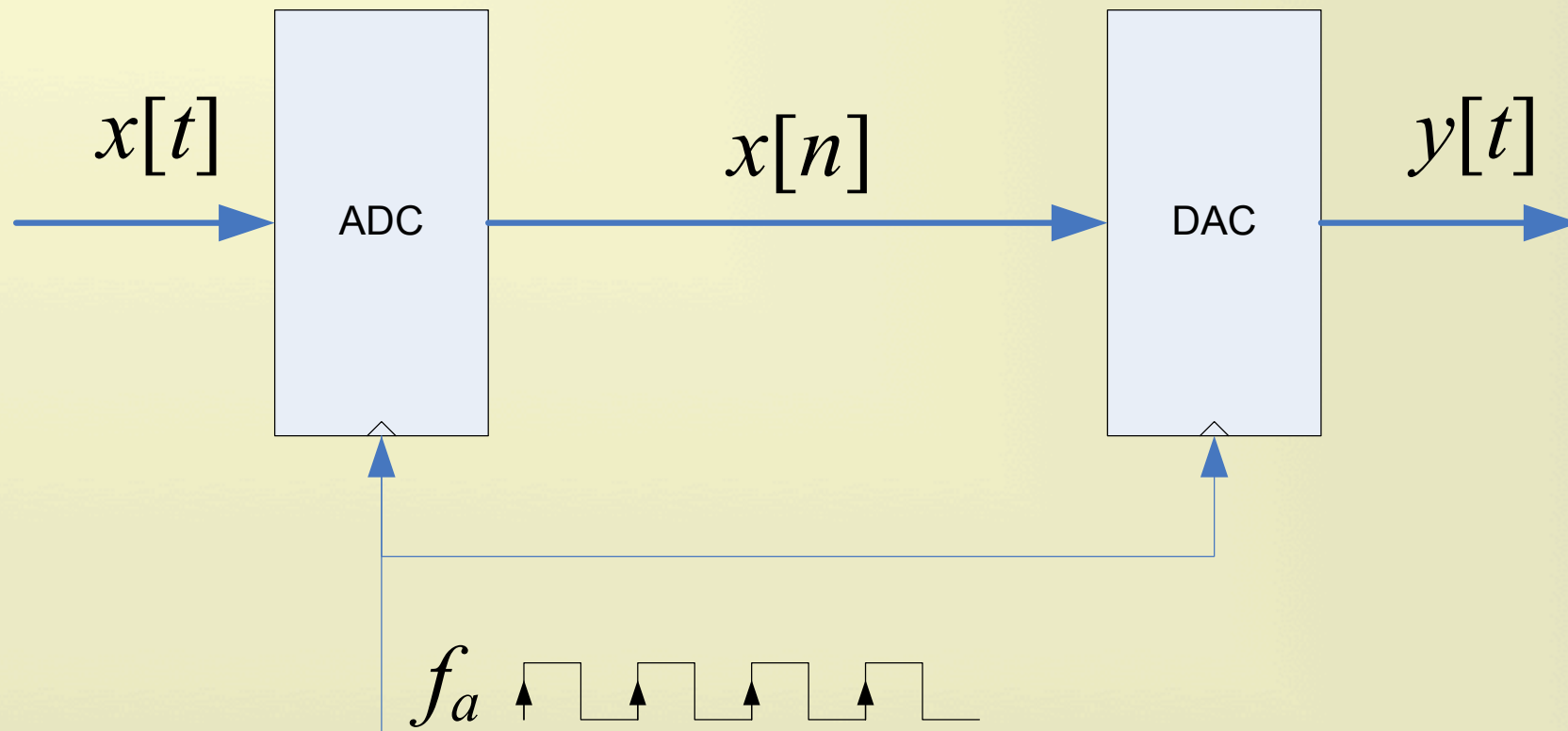
- Questão: se se amostrar uma sinusóide a uma dada taxa de amostragem f_a , quantas sinusóides, de diferente frequência, existem que depois de amostradas resultam no mesmo sinal discreto?

$$\begin{aligned}x(nT_a) &= \cos\left(2\pi \frac{f_0}{f_a} n\right) = \cos\left(2\pi \frac{\pm f_0}{f_a} n + 2\pi kn\right) = \\&= \cos\left(2\pi \left(\frac{\pm f_0}{f_a} + k\right) n\right) = \cos\left(2\pi \left(\frac{\pm f_0 + kf_a}{f_a}\right) n\right)\end{aligned}$$

- Resposta: Todas as sinusóides de frequência $f_0 + kf_a$ em que $k \in \{0, \pm 1, \pm 2, \dots\}$

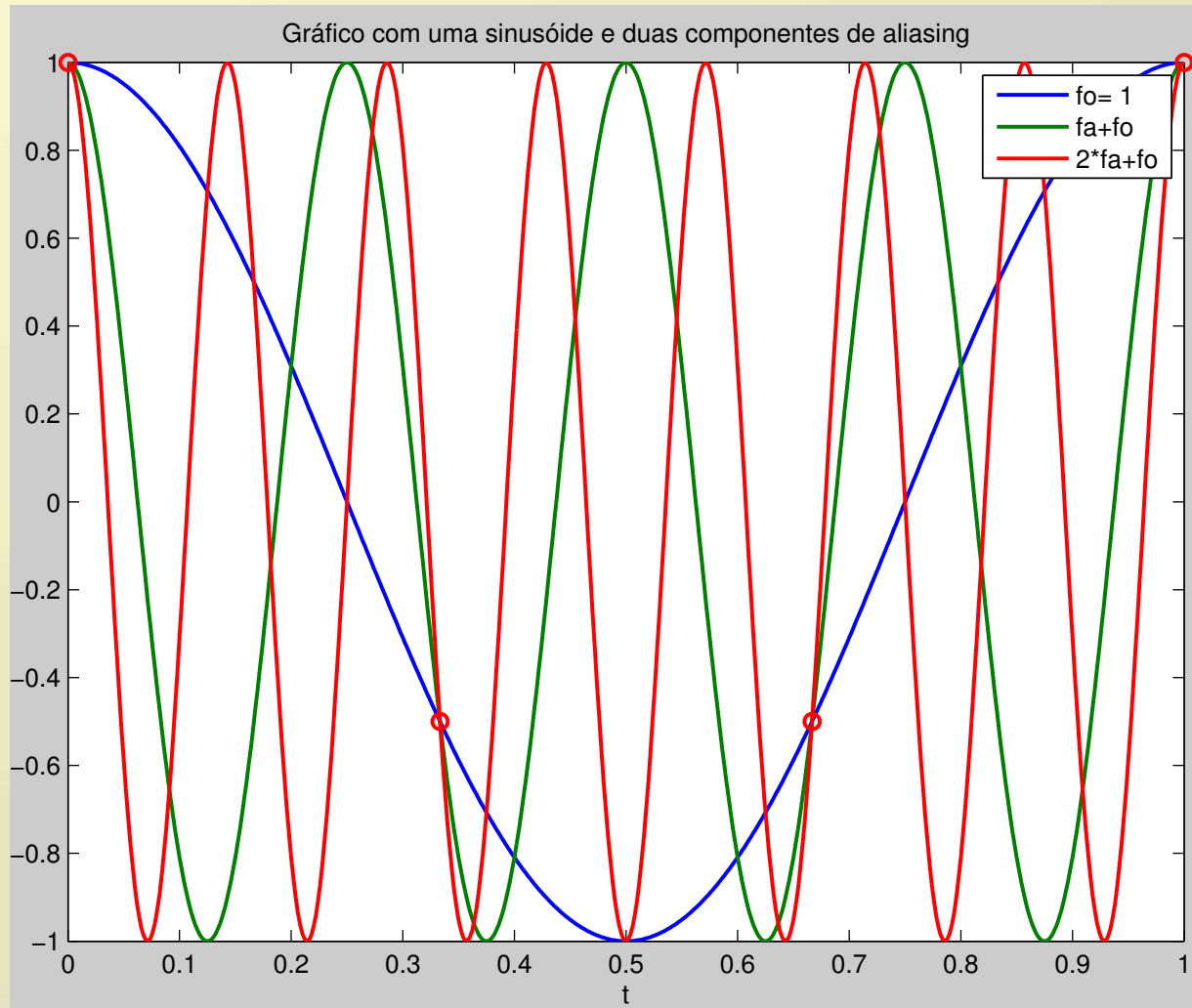


Conversão A/D e D/A



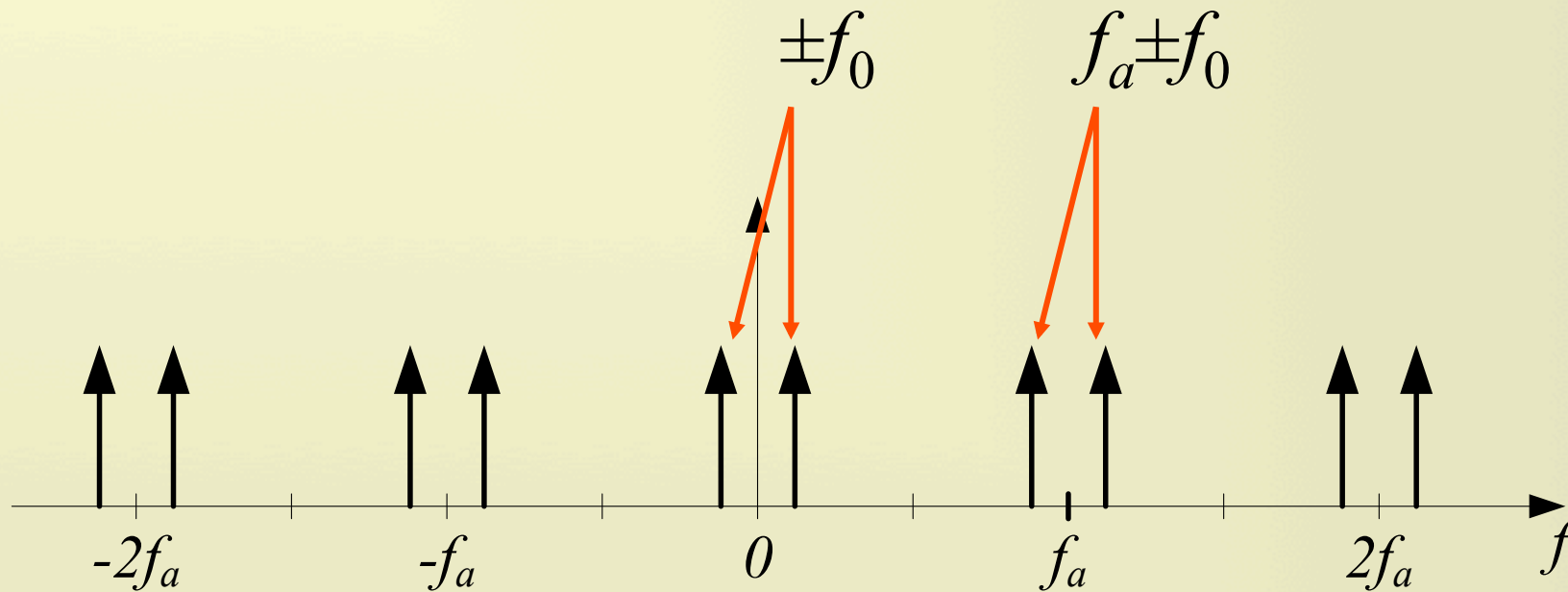


Alias



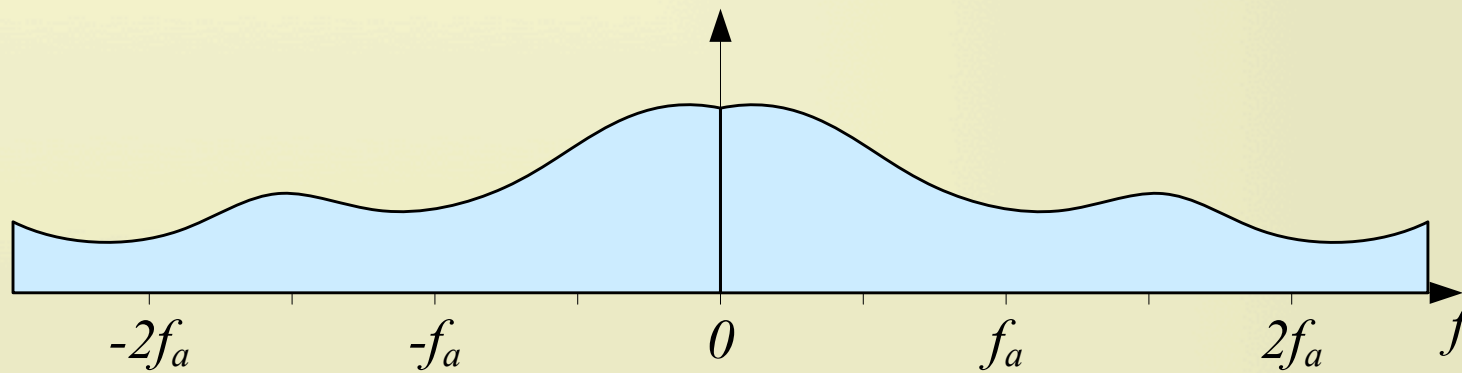


Componentes de “alias”



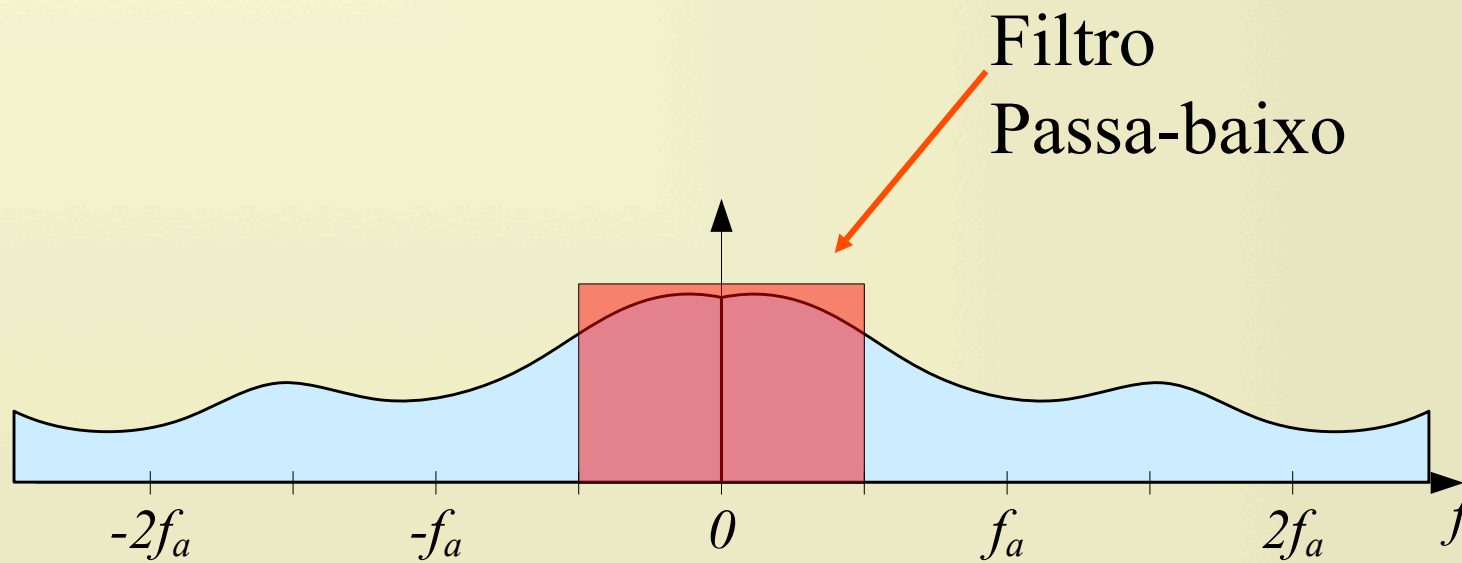


Conversão A/D sem “alias”





Conversão A/D sem “alias”

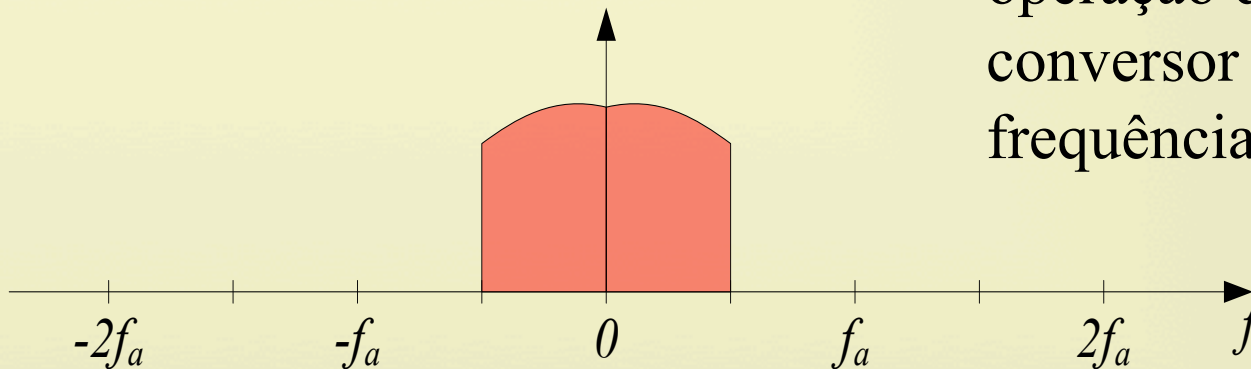




Conversão A/D sem “alias”

Critério de Nyquist

Para evitar o “aliasing” na operação de amostragem, o conversor A/D só deve “ver” as frequências menores que $f_a/2$

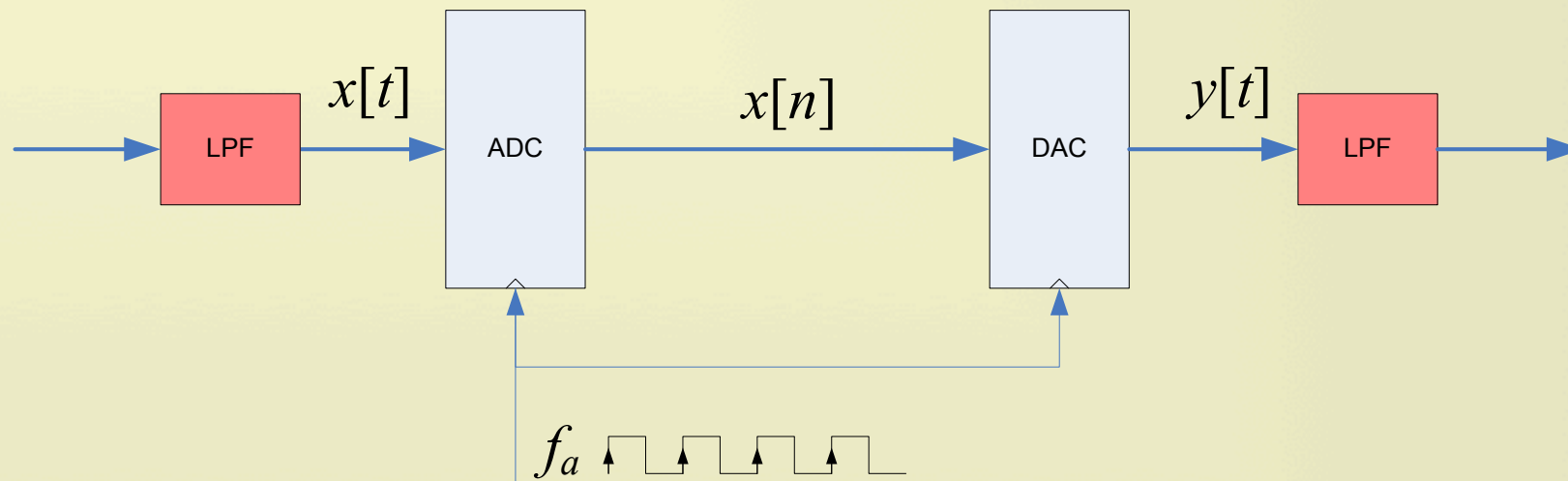


Critério de Nyquist: Para que não ocorra “alias” na operação de amostragem a frequência de amostragem f_a deve ser maior que o dobro da frequência máxima f_{max} do sinal:

$$f_a > 2f_{max}$$



Conversão A/D e D/A sem “aliasing”





O Som Digital

Dos discos de vinil ao Compact Disc

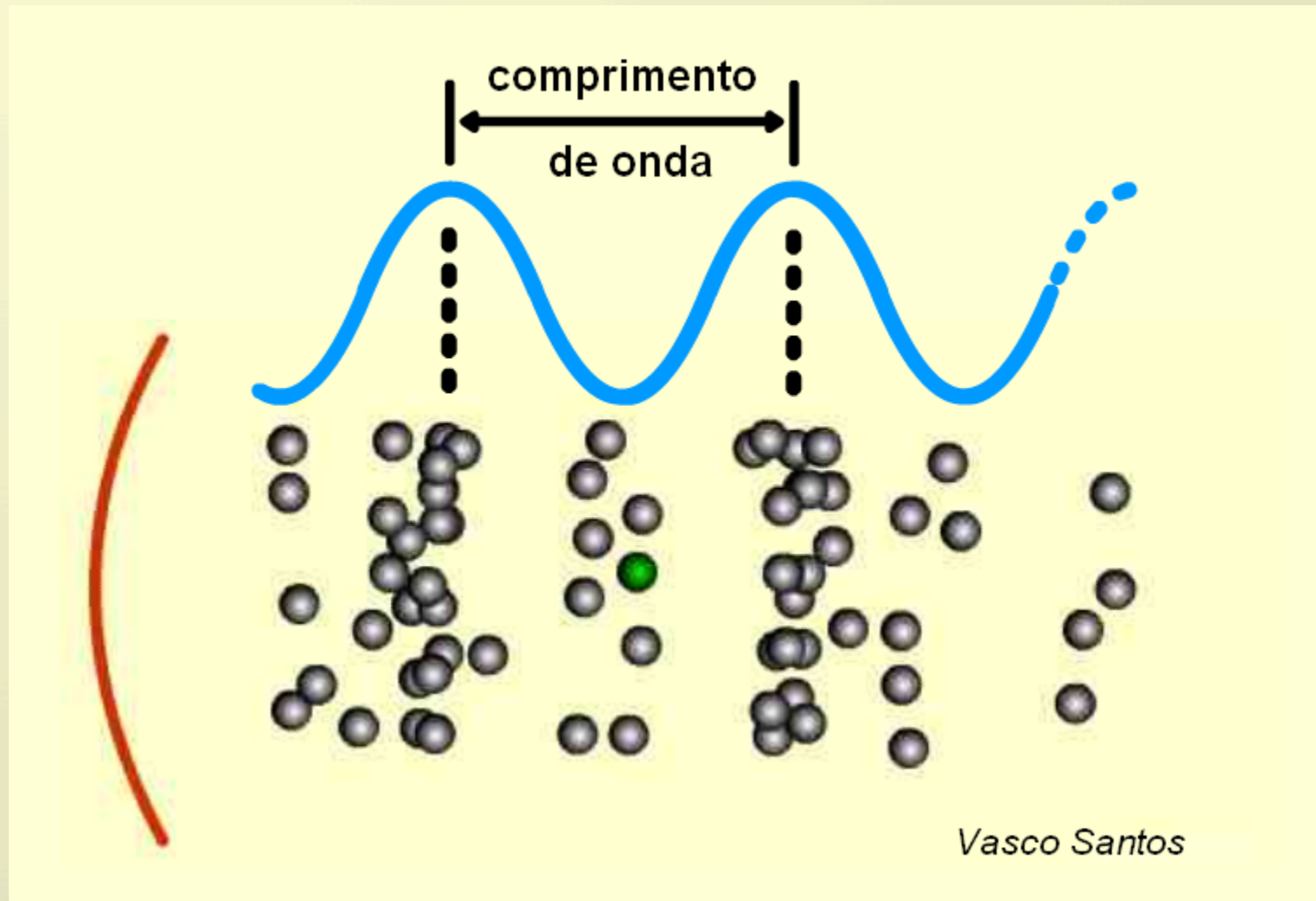


O que é o Som?

- Quando algum objecto vibra, comunica esse movimento às partículas de ar mais próximas que por sua vez empurram as suas vizinhas
- Este movimento propaga-se pelo ar dando origem ao que se designa por som
- No ar o som propaga-se a 340 metros por segundo
- O som também se propaga em materiais sólidos e líquidos mas com velocidades diferentes



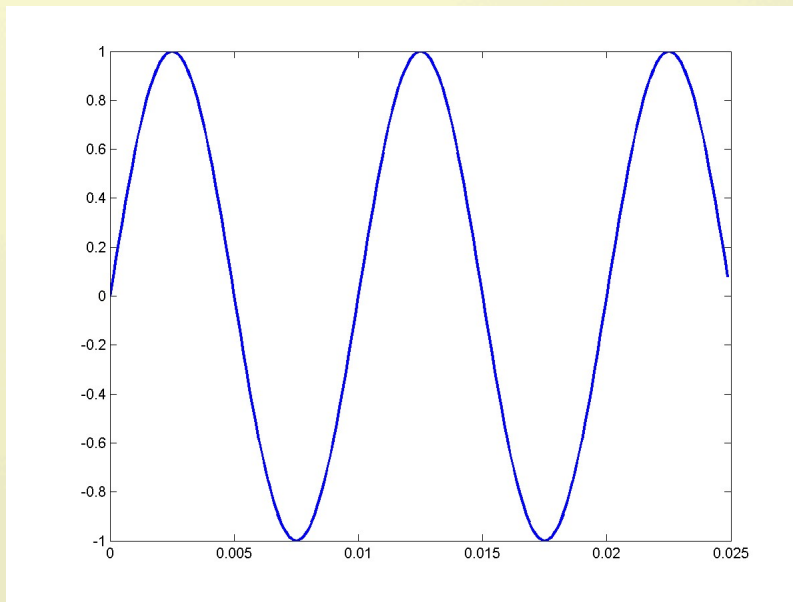
Comprimento de onda



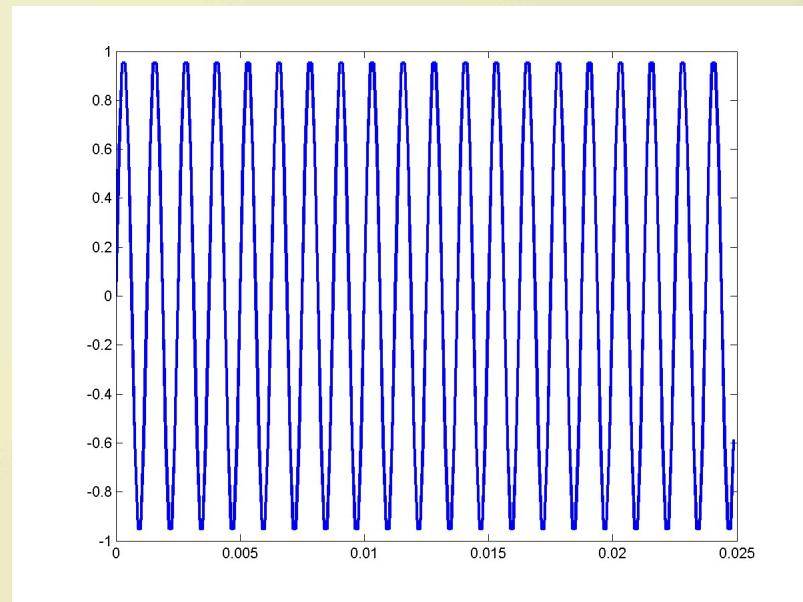


Frequência

Som grave (250Hz)



Som agudo 1kHz

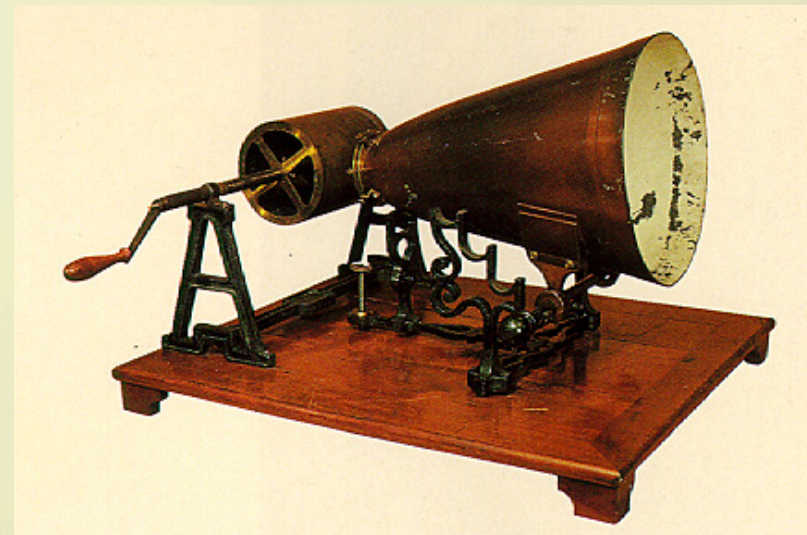


O comprimento de onda λ relaciona-se com a frequência f por $v = \lambda f$, em que v é a velocidade do som



Um pouco de história

Em 1877 foi realizada a primeira gravação da voz humana por Thomas Edison com um “phonautograph” inventado por Scott





Os discos de vinil

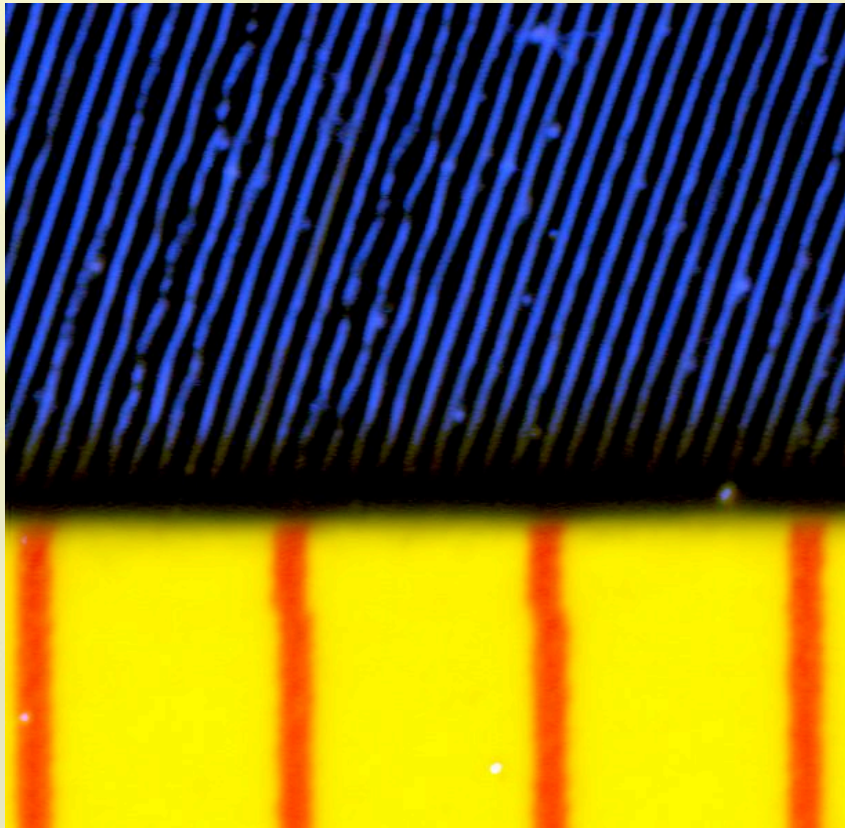
- O disco de vinil foi um suporte bastante popular para distribuição de música até aos anos 90
- Um dos maiores problemas residia na acumulação de partículas de pó nos sulcos e que causava muito ruído.



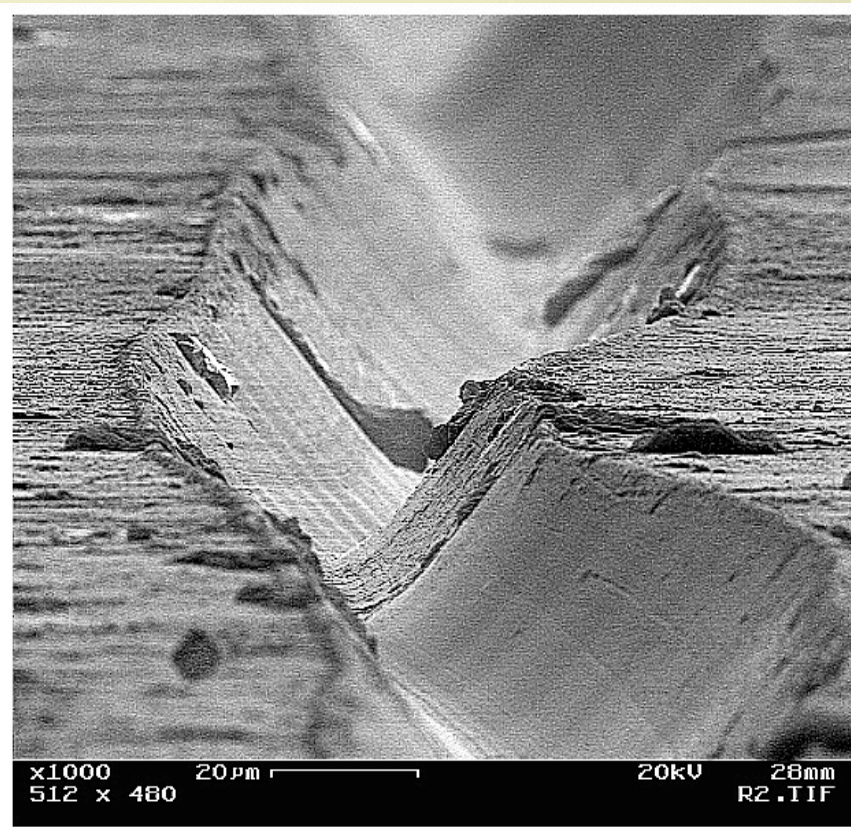


O ruído nos discos de vinil

Sulcos de um disco de vinil



**Sulcos de um disco de vinil
com pó que causa ruídos**



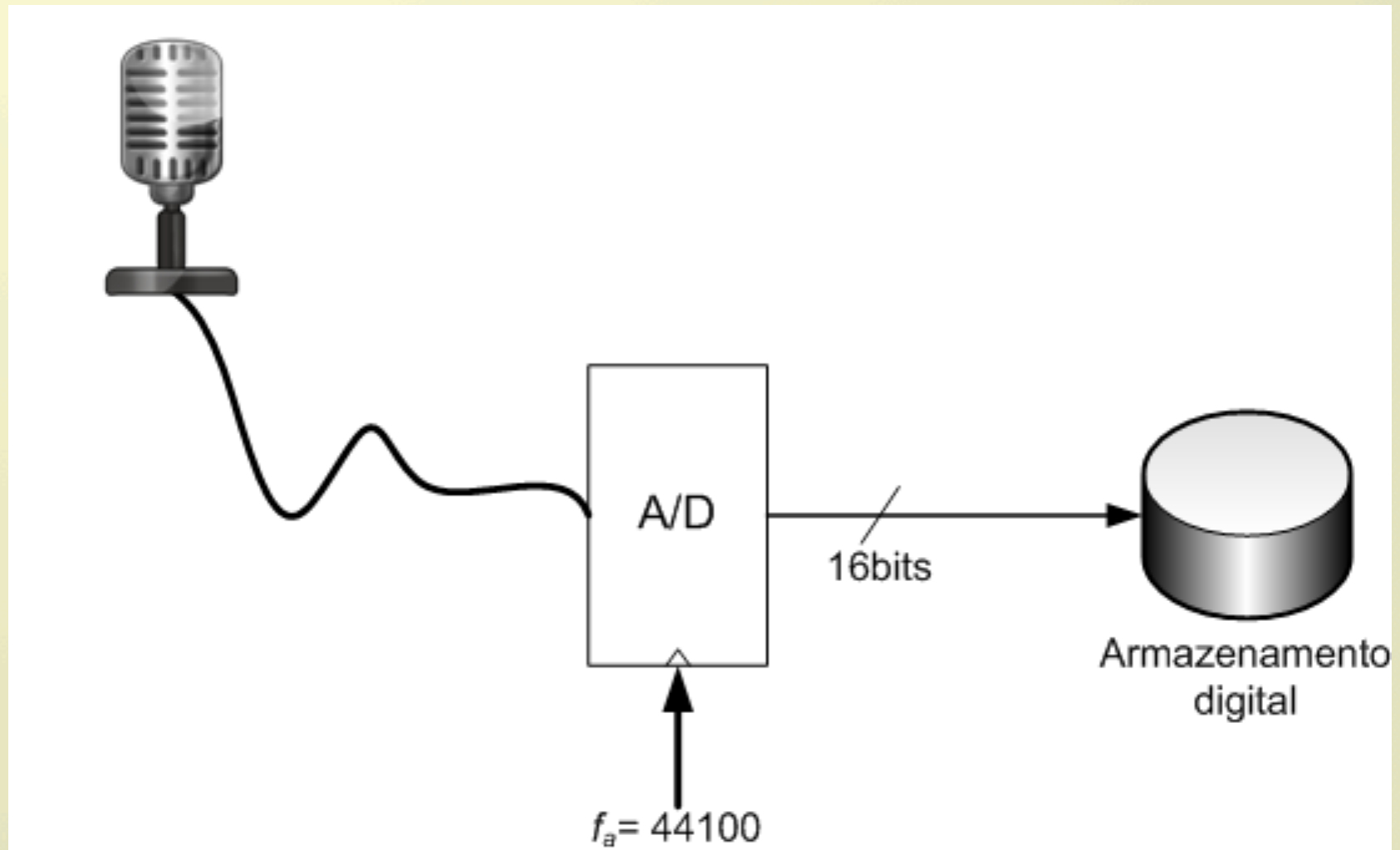


O som digital

- A partir dos anos 90, com o surgimento dos computadores, tornou-se possível armazenar som em formato digital.
- No formato digital, o som é transformado em números, pelo que se não ocorrerem erros na sua leitura a qualidade original não se degrada.
- A operação que transforma o som em números designa-se por conversão analógico / digital.



Conversão para digital





Ouvir os números

- O som +1 -1 +1 -1 +1



$$f_a = 8\text{kHz}$$

- O som -1 0 +1 0 -1 0 +1



- No formato digital os sons são armazenados como sequências de números que representam a amplitude de cada amostra

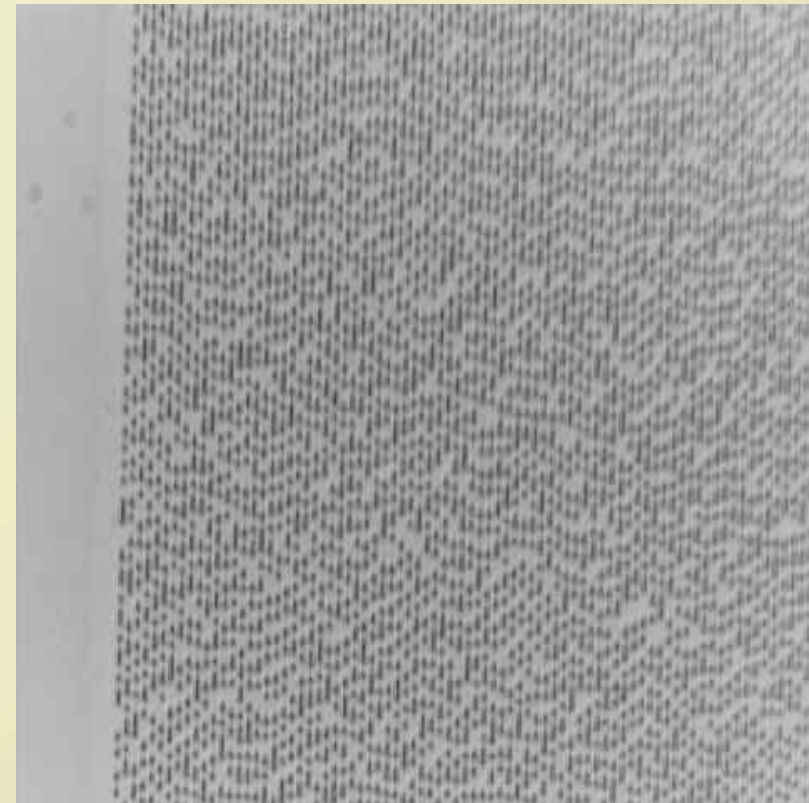
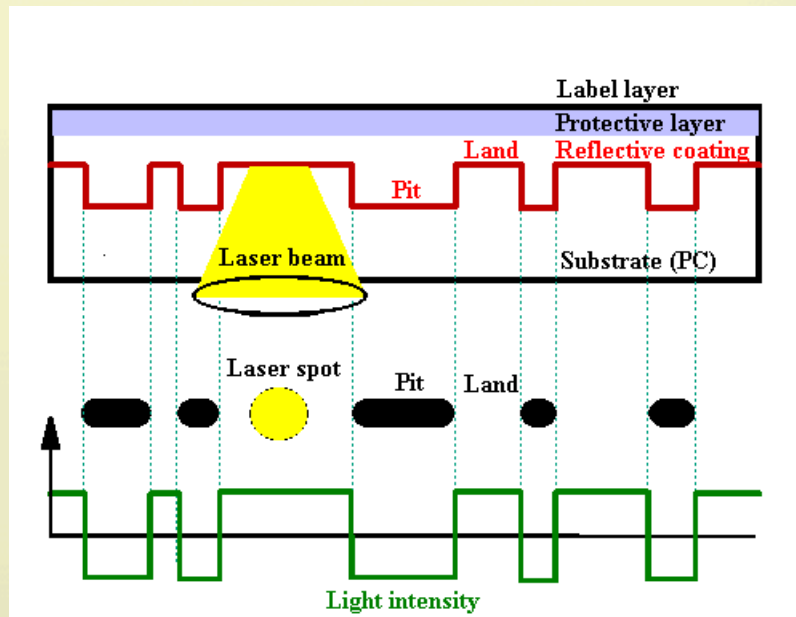


O Compact Disc (CD)

- Os CD foram um formato bastante popular para o armazenamento de música em formato digital até ao aparecimento dos leitores de MP3.
- Nos CDs, cada amostra é representada com 16 bits permitindo a representação de 65536 níveis de amplitude. A frequência de amostragem utilizada é de 44100Hz.
- A capacidade de armazenamento de um CD é de cerca de 807MBytes.
- Um CD pode assim armazenar cerca de 80 minutos de música estéreo: $80 \text{ minutos} \times 60 \text{ segundos} \times 2 \text{ bytes por amostra} \times 2 \text{ canais} \times 44100 \text{ amostras por segundo} \approx 807 \text{ Mbytes}$
- Nota: 1MByte= 1024×1024 bytes



O Compact Disc (CD)



Superfície do CD ampliada



Formatos de áudio digital

- Existem vários formatos para armazenar áudio não comprimido.
- O mais popular em ambiente Windows é o formato [“wav”](#). No entanto, este formato também armazenamento de áudio comprimido mantendo a mesma extensão.
- Outro formato popular no ambiente Mac é o [“au”](#).
- Os ficheiros destes dois formatos são constituídos por um cabeçalho em que são definidos parâmetros tais como: frequência de amostragem, nº de bits por amostra, nº de canais, etc.
- O programa gratuito [audacity](#) permite a reprodução e edição deste tipo de ficheiros.
- No Matlab com o comando **wavread** podemos igualmente ter acesso às amostras guardadas num ficheiro “wav” e passá-las para um vector.



O Formato MIDI

- Midi – Musical Instrument Digital Interface
- Esta norma foi criada em 1983 por grupo de empresas e é mantido pela MMA (Midi Manufactures Association)
- Permite codificar a informação contida num trecho musical;
- Deste modo podemos escolher que instrumento irá ser usado para tocar a música, em geral um sintetizador



Instrumentos MIDI



Teclado MIDI

Cabo MIDI

1001 0000

Sempre que se prime uma tecla no teclado MIDI este envia pela interface MIDI um comando que o PC interpreta.



PC com interface Midi

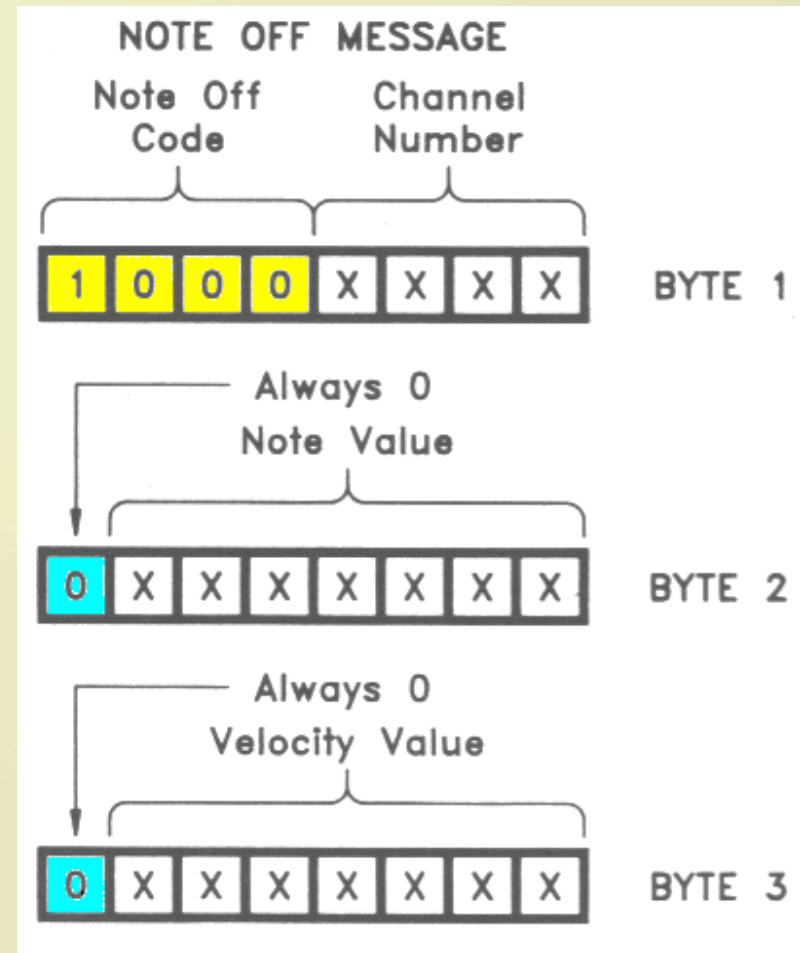
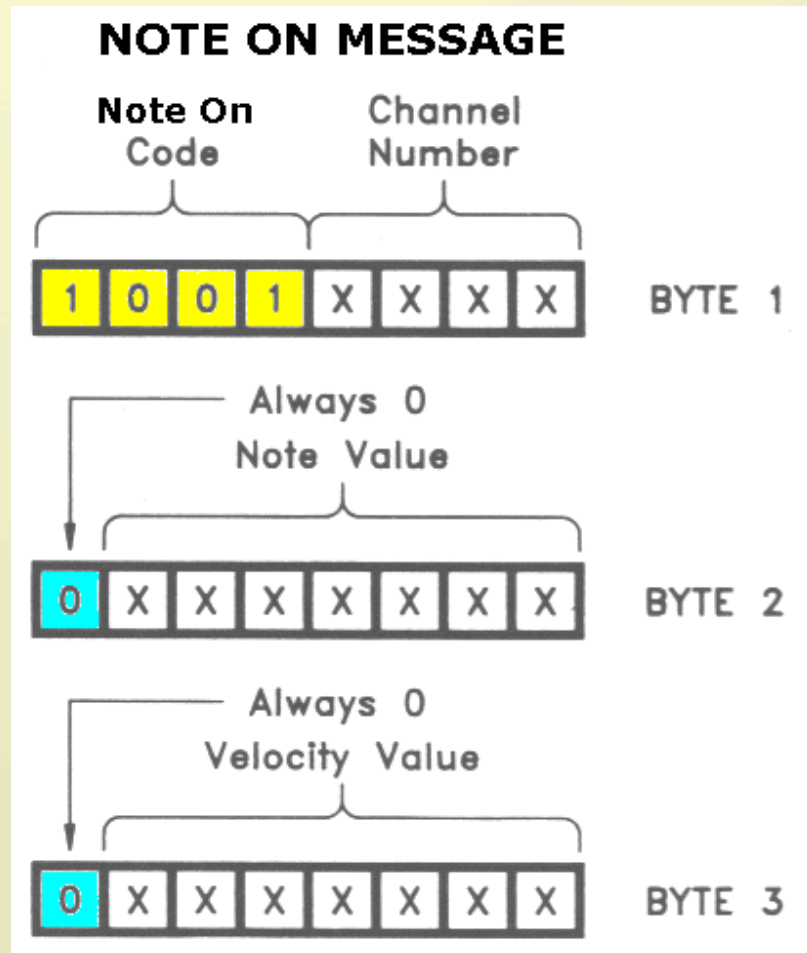


Modos do MIDI

- Modo 1 – Omni on / poly. Neste modo o instrumento interpreta todas as notas independentemente da informação de canal. Permite tocar várias notas em simultâneo.
- Modo 2 – Omni on / mono. Idêntico ao modo 1 mas apenas permite que seja tocada uma nota de cada vez.
- Mode 3 – Omni off / poly. Permite vários canais (instrumentos) e permite tocar várias notas em simultâneo.
- Modo 4 – Omni off / mono. Permite vários canais (instrumentos) mas apenas permite uma nota de cada vez.



Mensagens MIDI





Midi Toolbox para Matlab

- Toolbox desenvolvida pelo departamento de música da universidade de Jyväskylä na Finlândia.
- Para o trabalho para casa nº3 apenas interessa a função `readmidi`.
- Disponível no endereço
<https://www.jyu.fi/hum/laitokset/musiikki/en/research/coe/materials/miditoolbox>
- Utilização: `nmat = readmidi('laksin.mid');`

			nota		inicio	duração
ONSET (BEATS)	DURATION (BEATS)	MIDI channel	MIDI PITCH	VELOCITY	ONSET (SEC)	DURATION (SEC)
nmat =						
0	0.9000	1.0000	64.0000	82.0000	0	0.5510
1.0000	0.9000	1.0000	71.0000	89.0000	0.6122	0.5510
2.0000	0.4500	1.0000	71.0000	82.0000	1.2245	0.2755
2.5000	0.4500	1.0000	69.0000	70.0000	1.5306	0.2755