



Departamento de
Engenharia Elétrica e
de Computação

SEL 434

IMAGENS RADIOLOGICAS DIGITAIS

Prof. Homero Schiabel



SISTEMAS DE DIGITALIZAÇÃO DE IMAGENS RADIOLÓGICAS

IMAGEM DIGITAL

IMAGEM → função bidimensional $f(x,y)$ de intensidade da luz

(x,y) → coordenadas espaciais
 f → proporcional ao brilho (ou níveis de cinza) da imagem no ponto (x,y)

origem



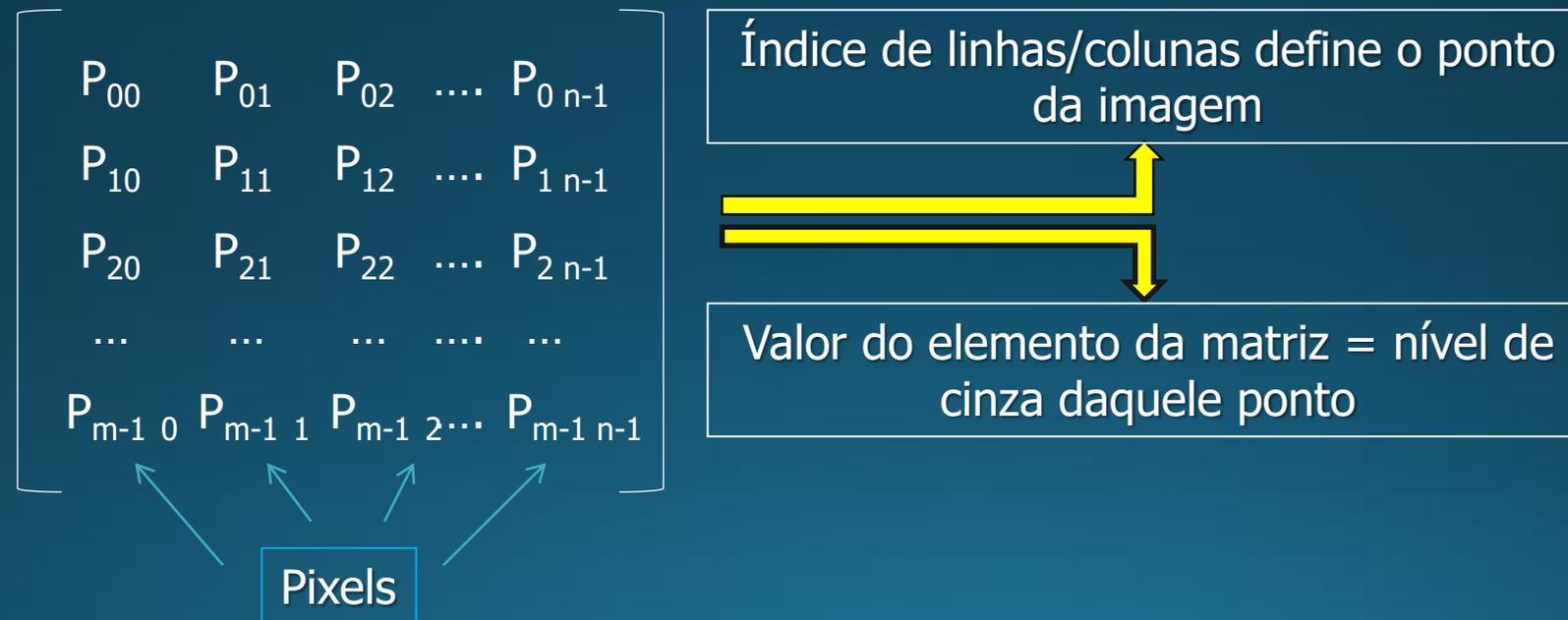
y

x

Se representarmos a figura em 3D (com 3o. eixo = brilho)
→ gráfico de picos e vales

IMAGEM DIGITAL

Imagem Digital → imagem $f(x,y)$ discretizada tanto em coordenadas espaciais quanto em brilho → **Matriz**



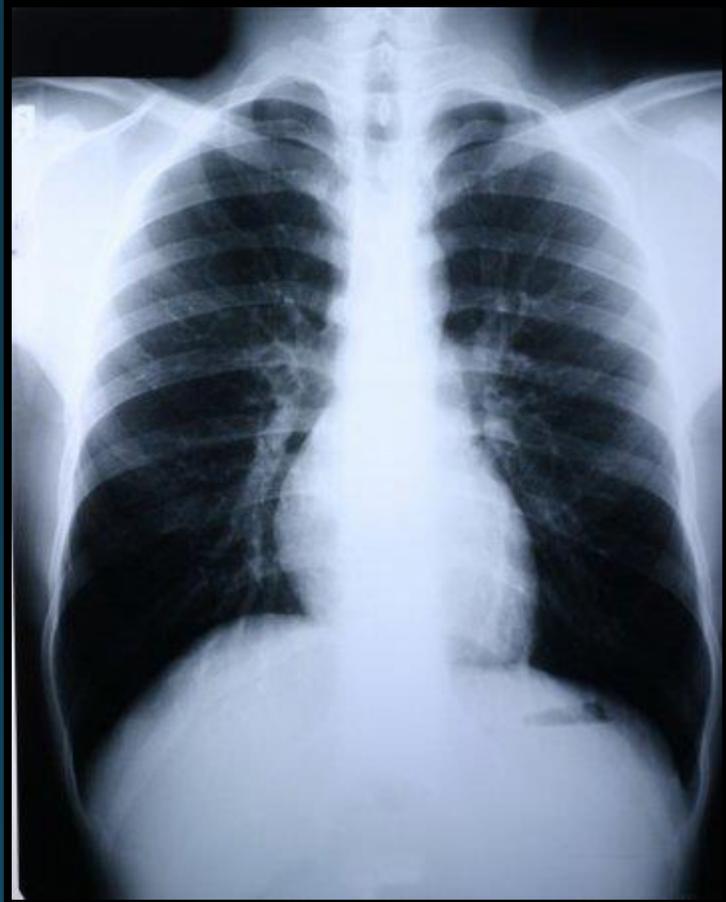
AQUISIÇÃO DA IMAGEM DIGITAL

DIGITALIZADOR ➔ Conversão da saída elétrica de um dispositivo de sensoramento em forma digital



Princípios: REFLEXÃO e TRANSMISSÃO

AQUISIÇÃO DA IMAGEM DIGITAL



<https://mms.mckesson.com/product/381332/McKesson-Brand-58KDD>

AQUISIÇÃO DA IMAGEM DIGITAL



■ Microdensitômetros

Fotografia ou transparência (filme radiográfico) → montada num suporte plano ou enrolada num tambor → focalização da luz (comum ou laser) na imagem → suporte se movimenta (ou gira) → feixe focalizado num fotodetector → nível de cinza de cada ponto registrado (proporcional à intensidade de luz)

AQUISIÇÃO DA IMAGEM DIGITAL

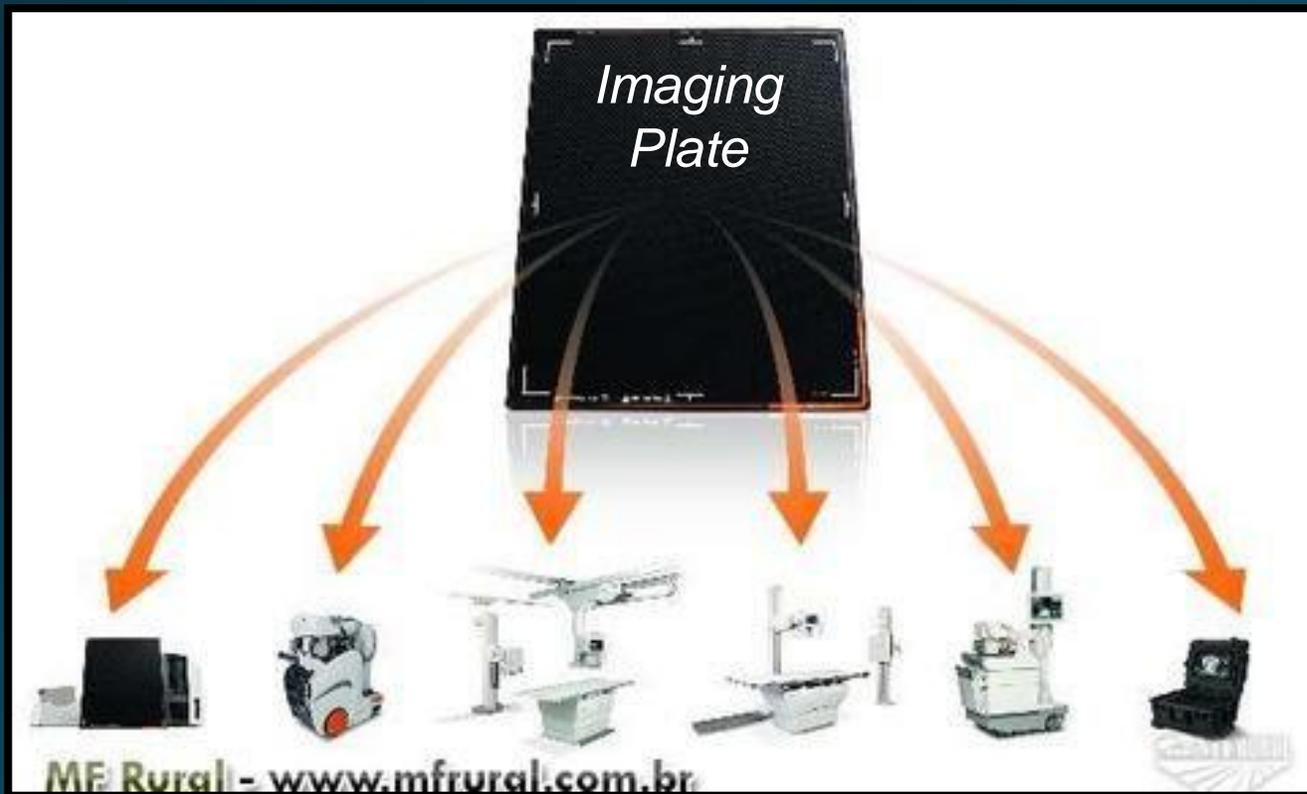
■ *Scanners convencionais*

Fotografia ou transparência (filme radiográfico) → montada numa superfície de vidro → elementos de imageamento de Si discretos acoplados a uma fonte de luz: sistema móvel → sensor detecta a luz refletida (ou que transpassa o filme) → tensão de saída proporcional à intensidade de luz incidente



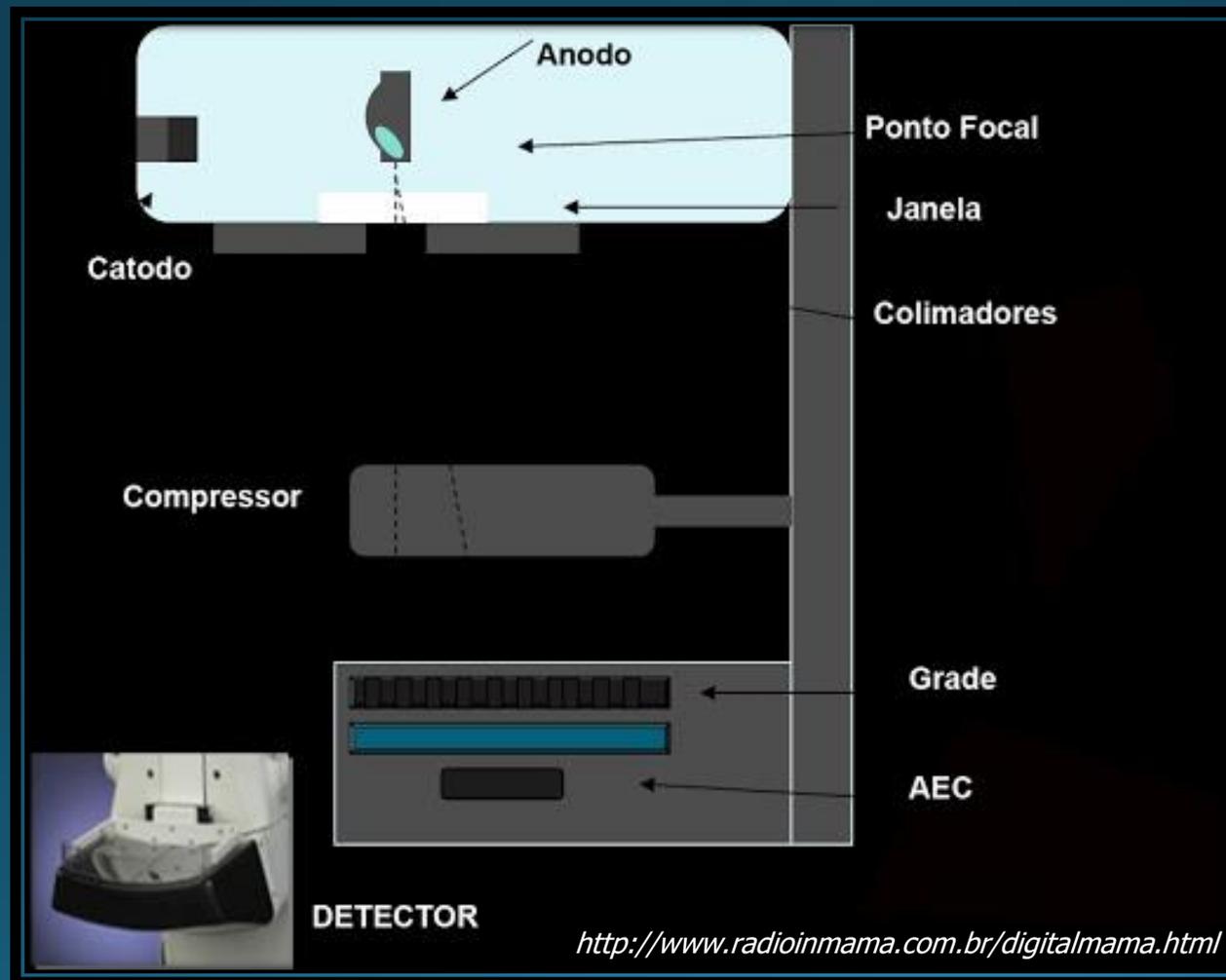
AQUISIÇÃO DA IMAGEM DIGITAL

■ *Aquisição indireta – Sistemas CR*



AQUISIÇÃO DA IMAGEM DIGITAL

■ *Aquisição direta – Sistemas DR*



AQUISIÇÃO DA IMAGEM DIGITAL

■ *Aquisição direta – Sistemas DR*



<https://www.tomoserv.com.br/informacoes/diferencas-entre-radiografia-digital-e-convencional>



<https://www.clirad.com/radios-x-digital/>

AQUISIÇÃO DA IMAGEM DIGITAL

- *Aquisição direta – Sistemas DR - CT*



AMOSTRAGEM E QUANTIZAÇÃO

AMOSTRAGEM E QUANTIZAÇÃO

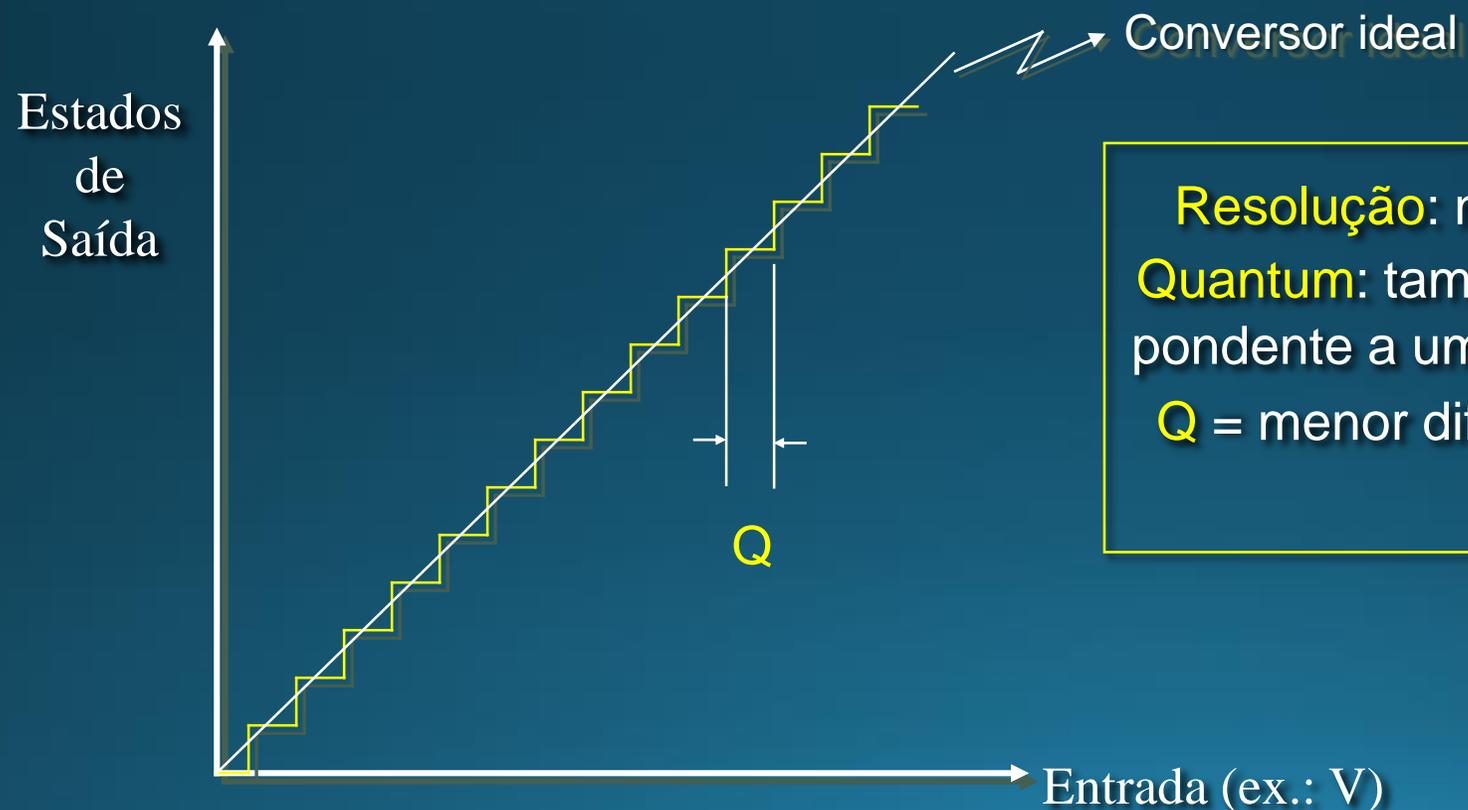
- **Imagem $f(x,y)$** deve ser digitalizada espacialmente e em amplitude
- Digitalização das coordenadas espaciais (x,y) ➡ **AMOSTRAGEM**
- Digitalização da amplitude ➡ **QUANTIZAÇÃO** em níveis de cinza

FLASH BACK

TEORIA DA QUANTIZAÇÃO

Quantização → transferência de um sinal contínuo analógico num conjunto de estados discretos

Codificação → associação de um código digital a cada um desses estados



Resolução: nº estados de saída → $e = 2^n$

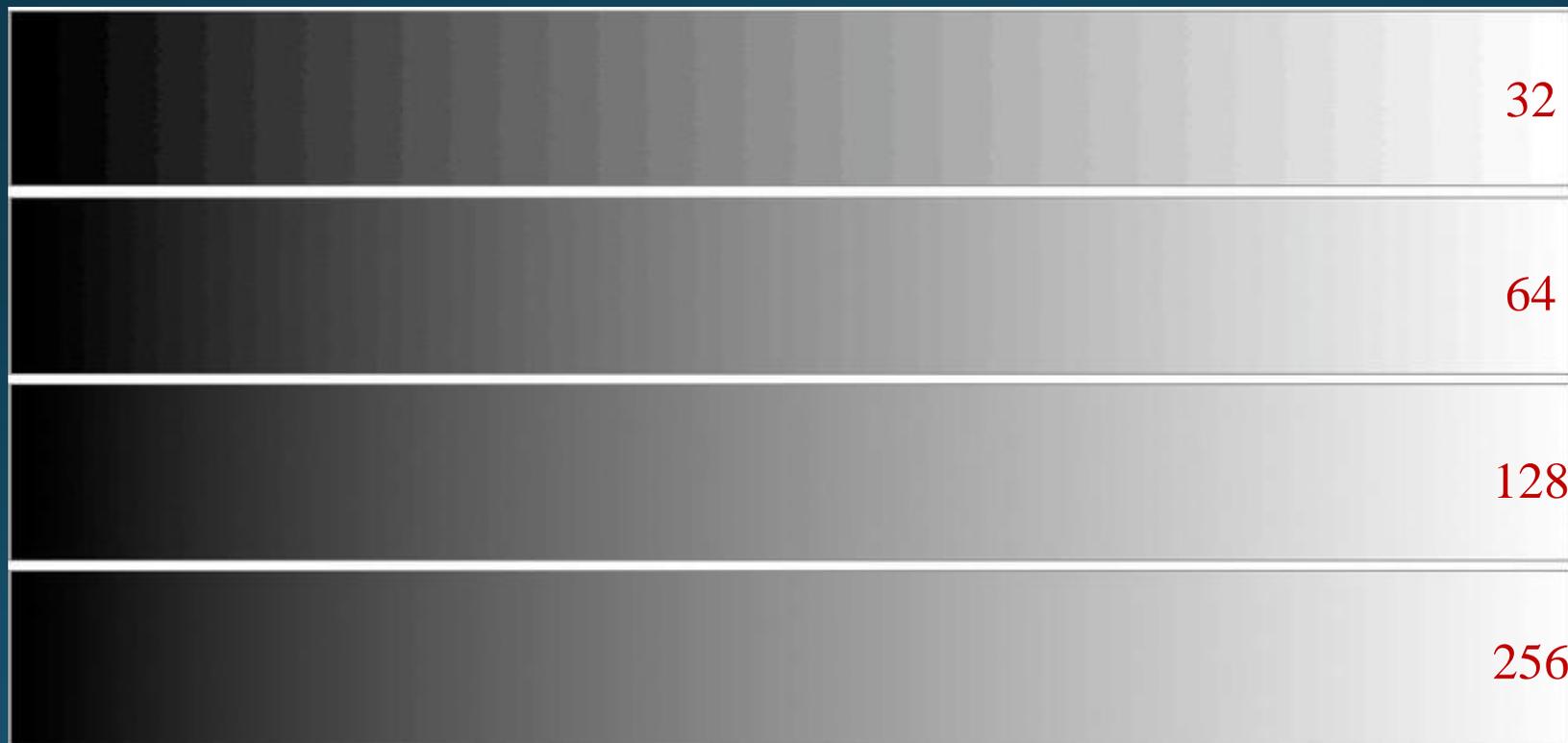
Quantum: tamanho da qti// analógica correspondente a um est. saída discreto: $Q = V / 2^n$

Q = menor diferença analógica sensível ao conversor

TEORIA DA QUANTIZAÇÃO

Quantização → transferência de um sinal contínuo analógico num conjunto de estados discretos

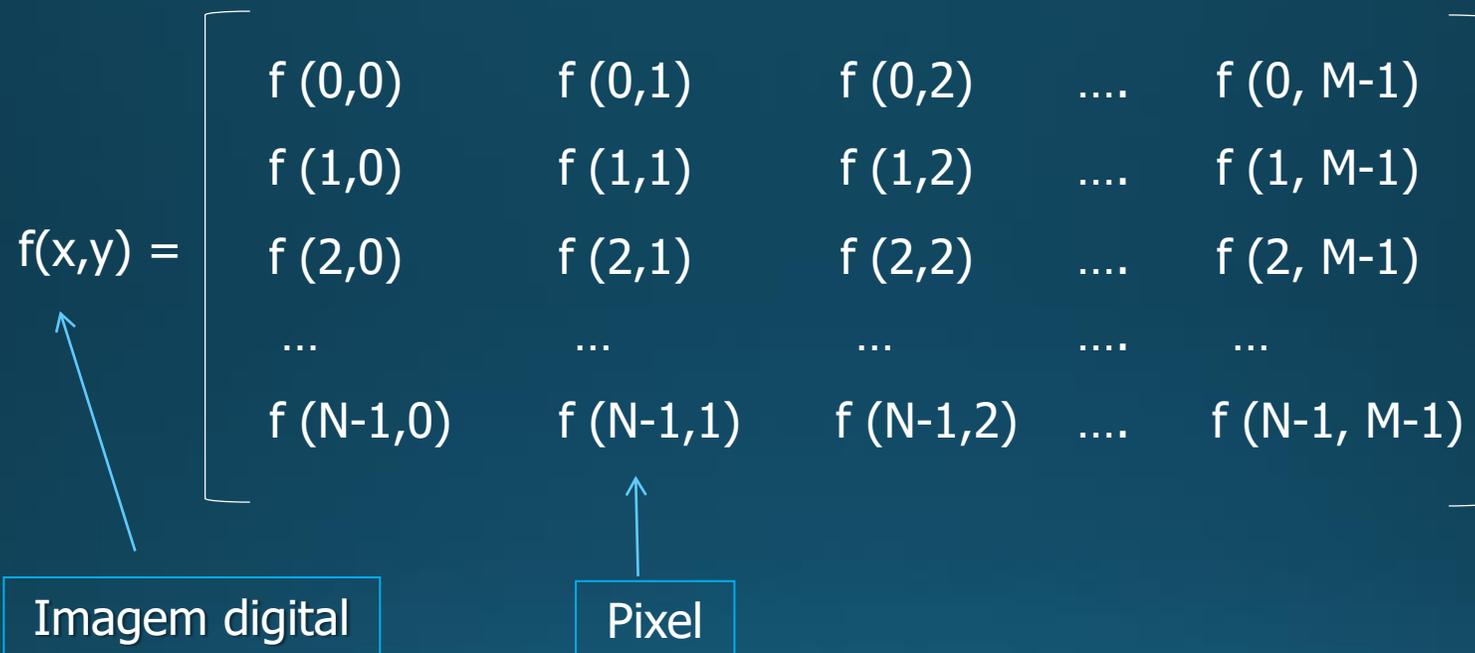
Codificação → associação de um código digital a cada um desses estados



BACK TO THE FUTURE



AMOSTRAGEM E QUANTIZAÇÃO



- Digitalização** envolve definições sobre **N**, **M** e o número de níveis de cinza

$$N = 2^n$$

$$M = 2^k$$

$$G = 2^m$$

Níveis cinza

AMOSTRAGEM E QUANTIZAÇÃO

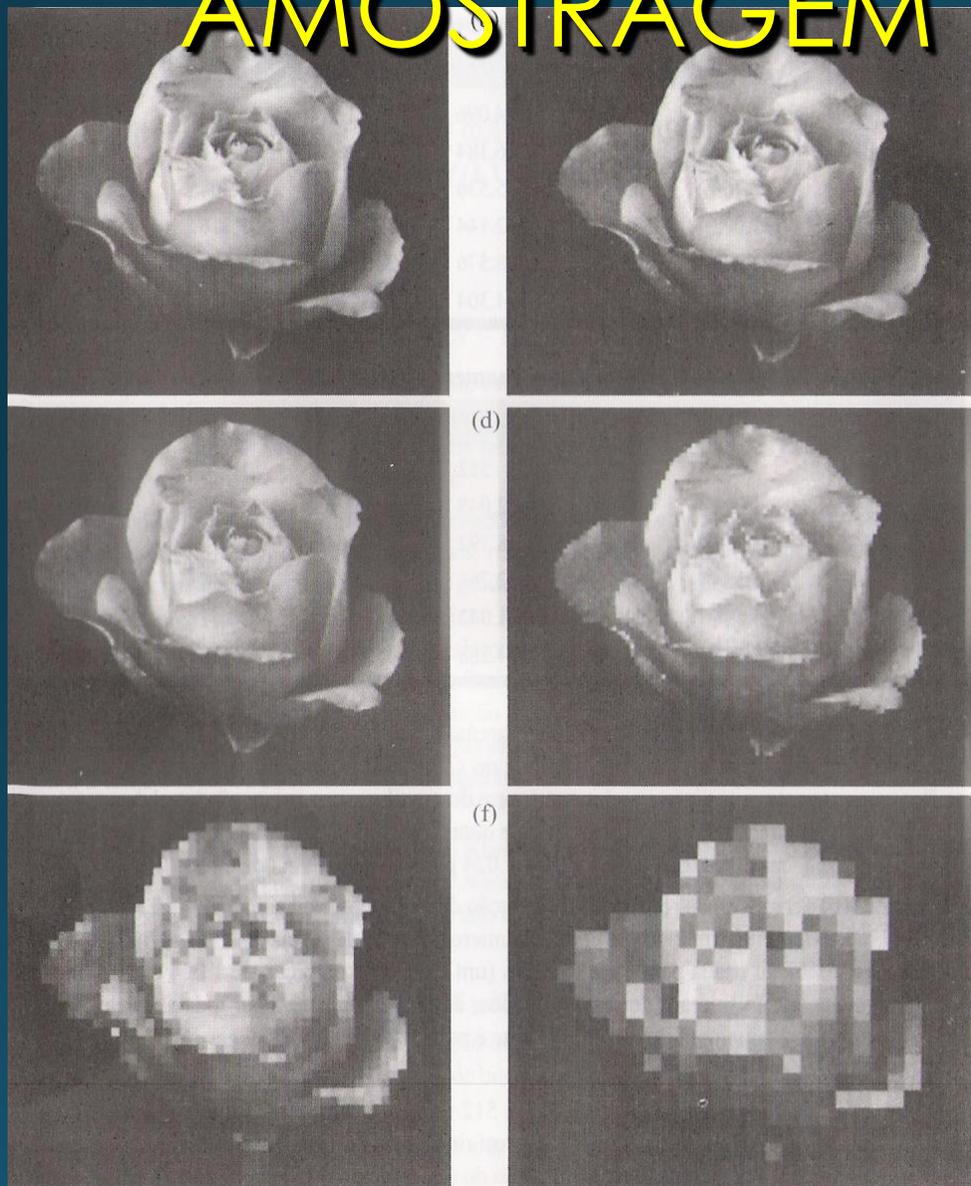
$b = N \cdot M \cdot m \Rightarrow$ n° bits necessários para armazenar a imagem digital*

* Se $M = N \Leftrightarrow b = N^2 m$

| m | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|-------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| N | | | | | | | | |
| 32 | 1024 | 2048 | 3072 | 4096 | 5120 | 6144 | 7168 | 8192 |
| 64 | 4096 | 8192 | 12288 | 16384 | 20480 | 24576 | 28672 | 32768 |
| 128 | 16384 | 32768 | 49152 | 65536 | 81920 | 98304 | 114688 | 131072 |
| 256 | 65536 | 131072 | 196608 | 262144 | 327680 | 393216 | 458752 | 524288 |
| 512 | 262144 | 524288 | 786432 | 1048576 | 1310720 | 1572864 | 1835008 | 2097152 |
| 1024 | 1048576 | 2097152 | 3145728 | 4194304 | 5242880 | 6291456 | 7340032 | 8388608 |

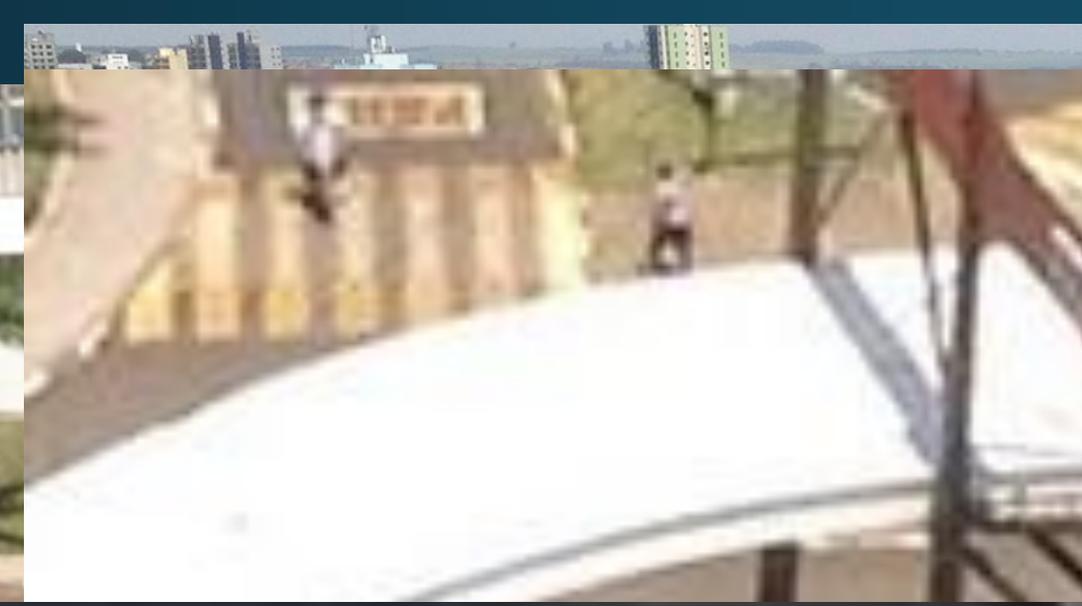
Nro. bits de armazenamento para vários valores de **N** e **m**

AMOSTRAGEM E QUANTIZAÇÃO

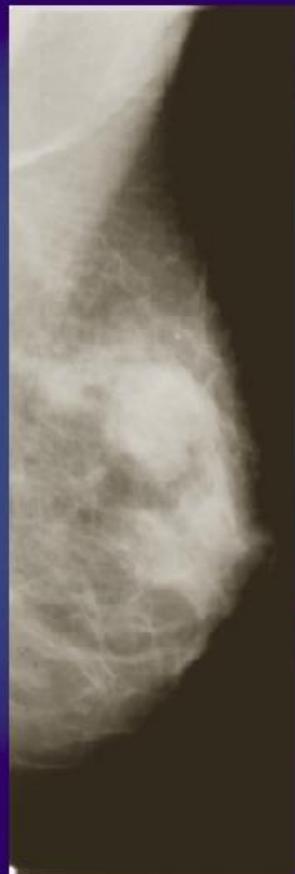


*Efeitos da variação de
resolução espacial
das imagens*

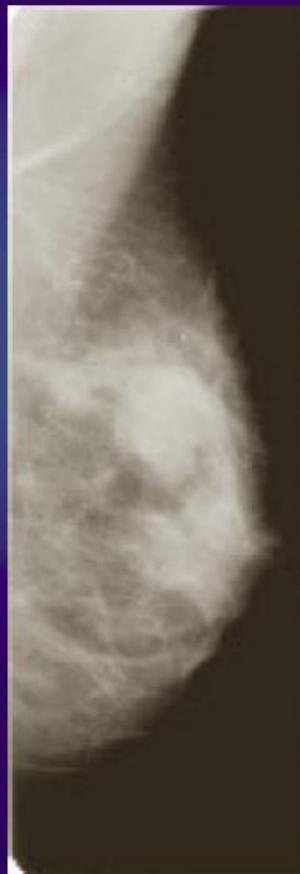




AMOSTRAGEM E QUANTIZAÇÃO



100 dpi



50 dpi



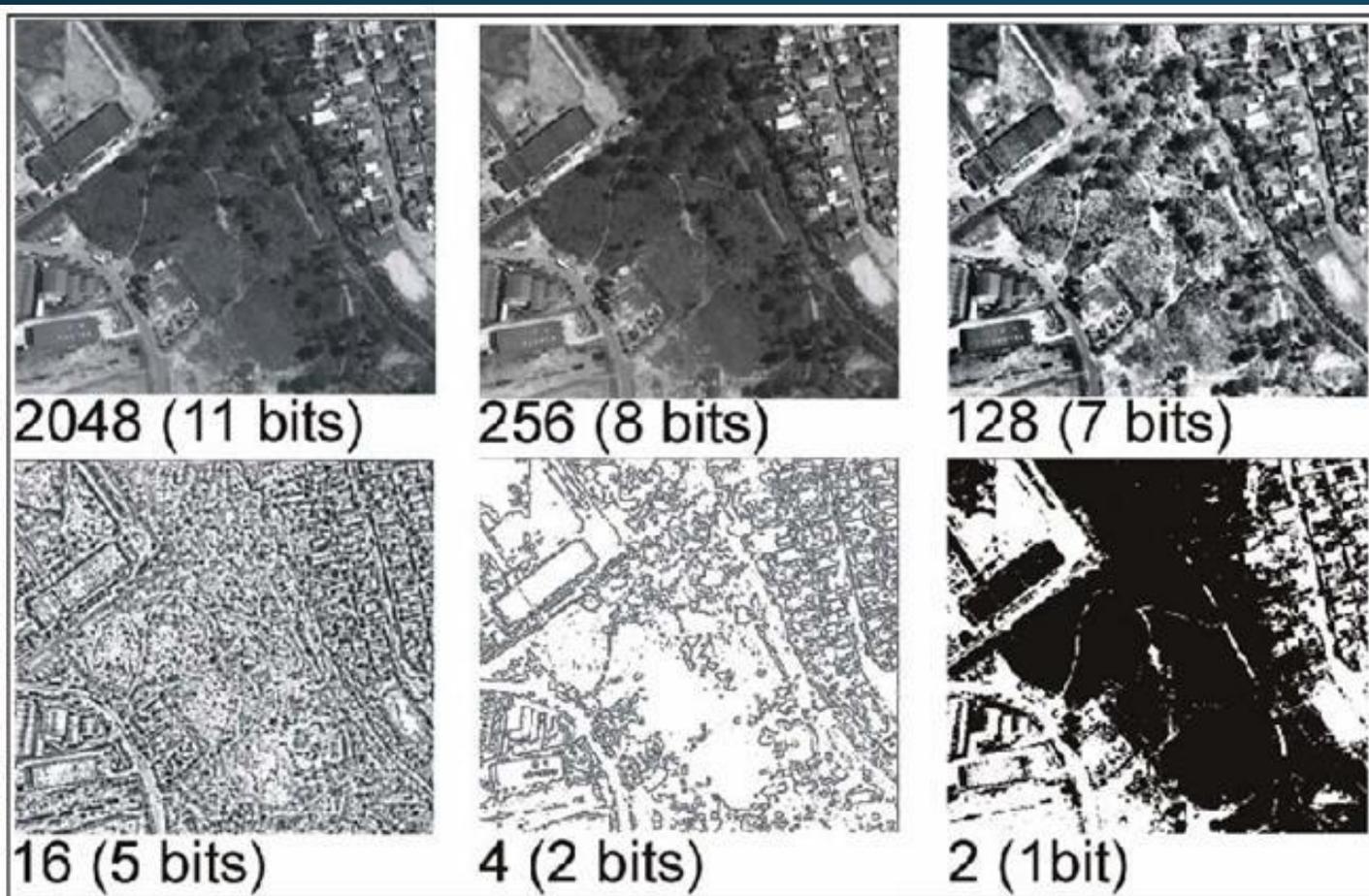
25 dpi



12 dpi

*Efeitos da variação de
resolução espacial
das imagens*

AMOSTRAGEM E QUANTIZAÇÃO



*Efeitos da variação de **níveis de cinza** (resolução de contraste) das imagens*

**ESPERANDO OS
PROFESSORES**



Engenheiro Sincero



**POSTAREM A NOTA
NO PORTAL**

(imagem original – 8 bits)

**ESPERANDO OS
PROFESSORES**



Engenheiro Sincero



**POSTAREM A NOTA
NO PORTAL**

(7 bits)

**ESPERANDO OS
PROFESSORES**



Engenheiro Sincero
f y t i



**POSTAREM A NOTA
NO PORTAL**

(imagem original – 8 bits)

**ESPERANDO OS
PROFESSORES**



Engenheiro Sincero
f y t i



**POSTAREM A NOTA
NO PORTAL**

(6 bits)

**ESPERANDO OS
PROFESSORES**



Engenheiro Sincero
f y t i



**POSTAREM A NOTA
NO PORTAL**

(imagem original – 8 bits)

**ESPERANDO OS
PROFESSORES**



Engenheiro Sincero
f y t i



**POSTAREM A NOTA
NO PORTAL**

(5 bits)



(imagem original – 256 níveis cinza)

<https://pt.dreamstime.com/fotos-de-stock-raio-da-espinha-cervical-image19294723>

*Efeitos da
variação de níveis
de cinza
(contraste) das
imagens*



(128 níveis cinza)



(imagem original – 256 níveis cinza)

<https://pt.dreamstime.com/fotos-de-stock-raio-da-espinha-cervical-image19294723>

*Efeitos da
variação de níveis
de cinza
(contraste) das
imagens*



(64 níveis cinza)



(imagem original – 256 níveis cinza)

<https://pt.dreamstime.com/fotos-de-stock-raio-da-espinha-cervical-image19294723>

*Efeitos da
variação de níveis
de cinza
(contraste) das
imagens*



(32 níveis cinza)



(imagem original - 256 níveis cinza)

<https://pt.dreamstime.com/fotos-de-stock-raio-da-espinha-cervical-image19294723>

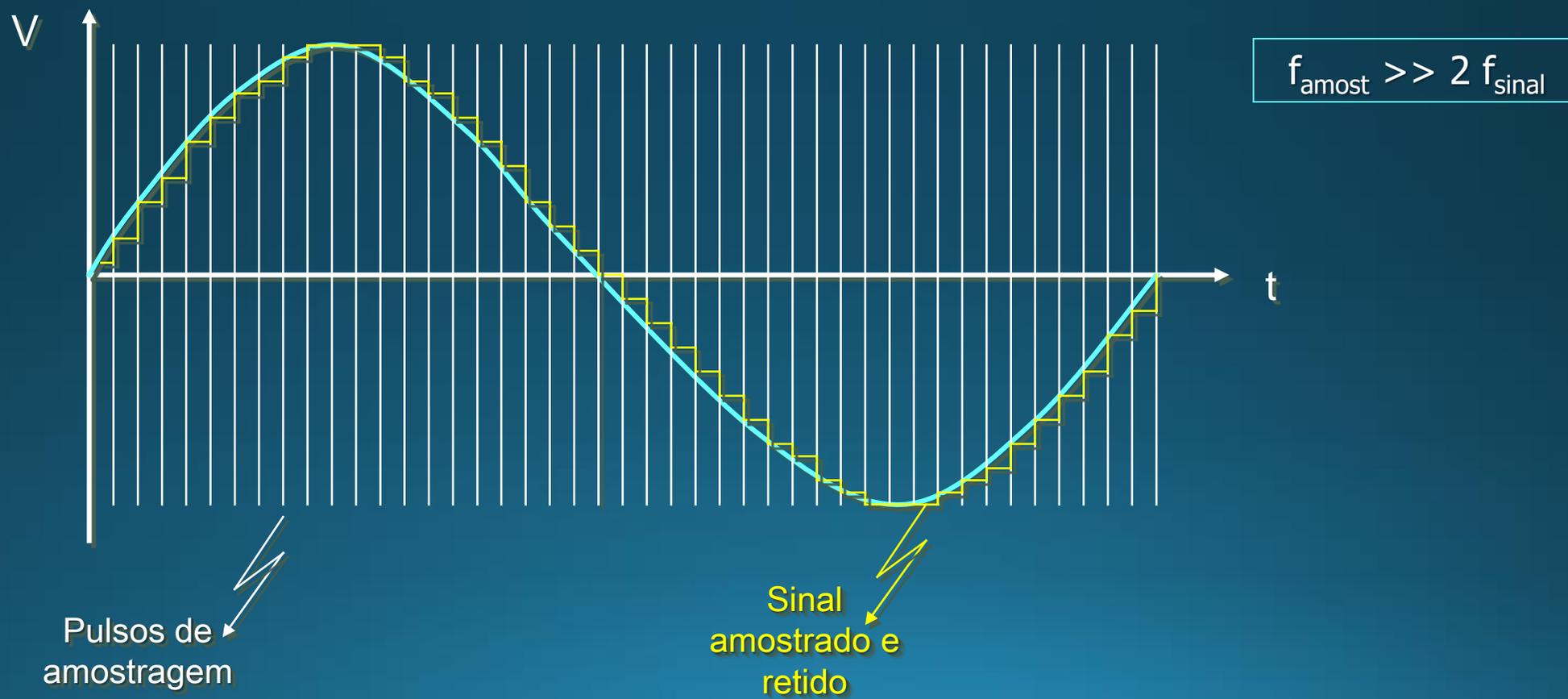
*Efeitos da
variação de níveis
de cinza
(contraste) das
imagens*



(2 níveis cinza)

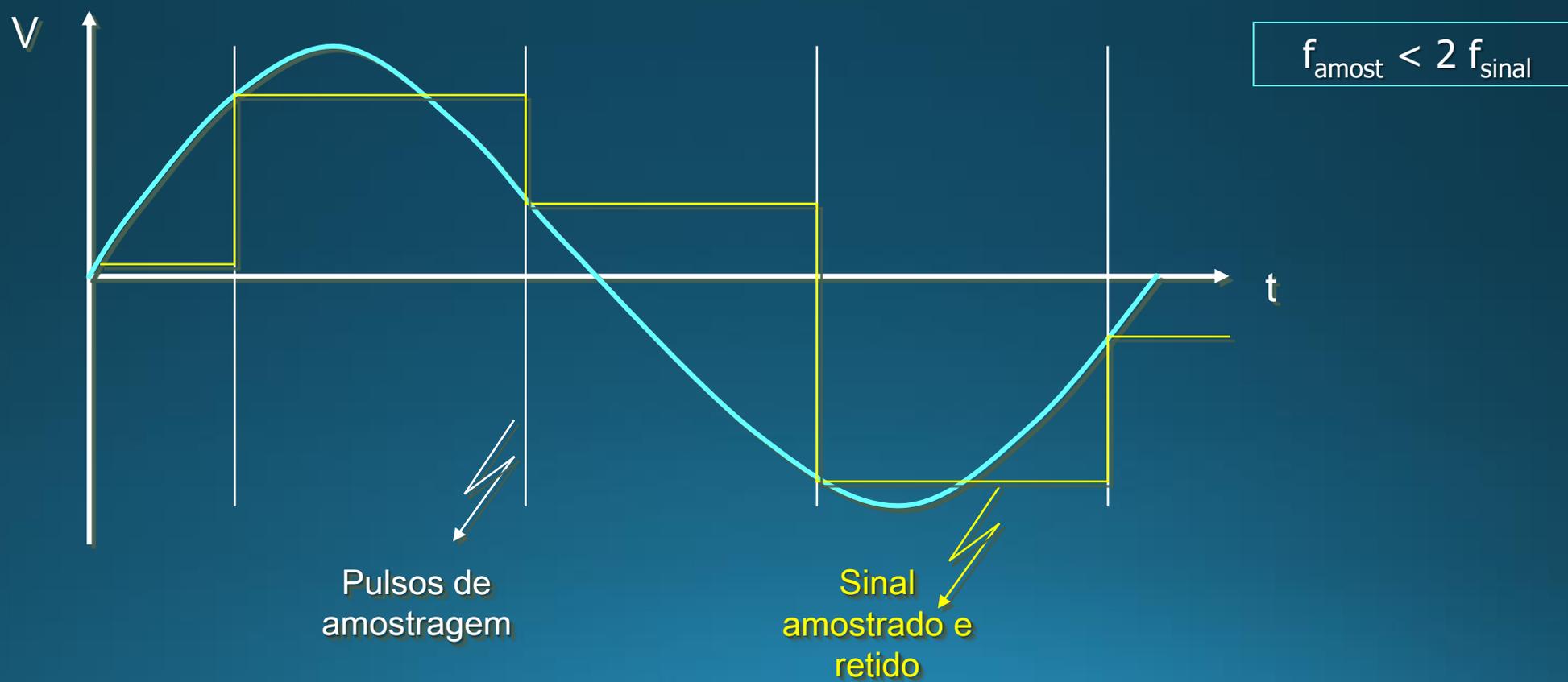
AMOSTRAGEM E QUANTIZAÇÃO

AMOSTRAGEM UNIDIMENSIONAL



AMOSTRAGEM E QUANTIZAÇÃO

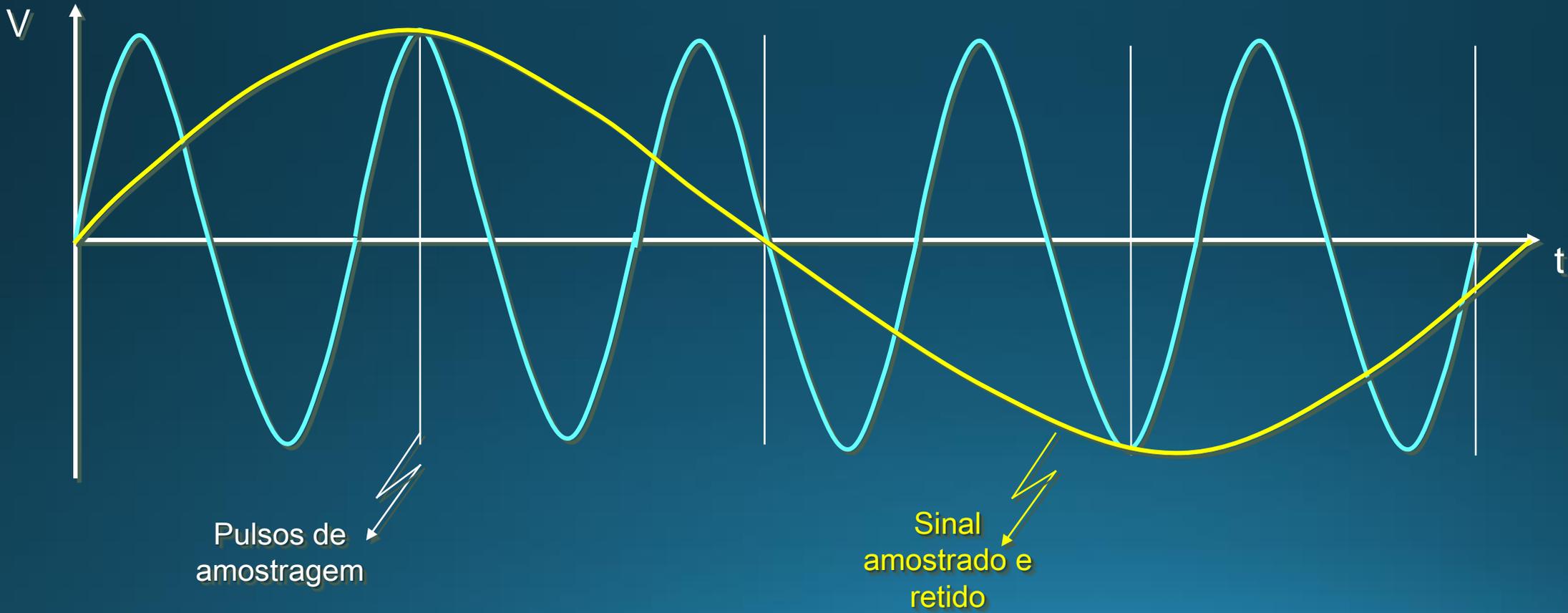
AMOSTRAGEM UNIDIMENSIONAL



AMOSTRAGEM E QUANTIZAÇÃO

AMOSTRAGEM UNIDIMENSIONAL

SUBAMOSTRAGEM



AMOSTRAGEM E QUANTIZAÇÃO

AMOSTRAGEM UNIDIMENSIONAL (IMAGENS)

- Digitalização adequada de uma imagem requer alguns cuidados para que nenhuma informação seja perdida no processo de amostragem.



Escolha correta do **espaçamento** entre as amostras extraídas da imagem contínua

AMOSTRAGEM E QUANTIZAÇÃO

AMOSTRAGEM UNIDIMENSIONAL (IMAGENS)

- Frequência de amostragem (F_a) \rightarrow frequência com que as amostras são tomadas (agora no domínio do espaço)

$$F_a = \frac{1}{\Delta x}$$

*Intervalo de amostragem na
direção x*

AMOSTRAGEM E QUANTIZAÇÃO

AMOSTRAGEM UNIDIMENSIONAL (IMAGENS)

$$F_a = \frac{1}{\Delta x}$$

- Escolha de $F_a \Rightarrow$ Teorema (da amostragem) de Whitaker-Shannon:

Um sinal contínuo pode ser completamente reconstruído a partir de um conjunto de amostras se

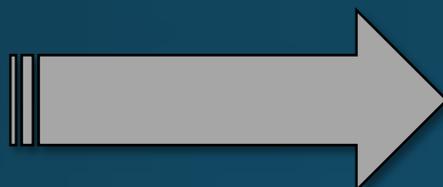
$$\Delta x \leq \frac{1}{2B}$$

(B = máxima frequência espacial na direção x)

AMOSTRAGEM E QUANTIZAÇÃO

AMOSTRAGEM UNIDIMENSIONAL (IMAGENS)

$$F_a = \frac{1}{\Delta x}$$



$$F_a \geq 2B$$

(Limite de Nyquist)

- Escolha de $F_a \Rightarrow$ Teorema (da amostragem) de Whitaker-Shannon:

Um sinal contínuo pode ser completamente reconstruído a partir de um conjunto de amostras se

$$\Delta x \leq \frac{1}{2B}$$

(B = máxima frequência espacial na direção x)

AMOSTRAGEM E QUANTIZAÇÃO

AMOSTRAGEM UNIDIMENSIONAL (IMAGENS)

- E o que acontece se a frequência de Nyquist não for respeitada?



Aliasing

(fenômeno de subamostragem)

AMOSTRAGEM E QUANTIZAÇÃO

AMOSTRAGEM UNIDIMENSIONAL (IMAGENS)

- Para obter versão amostrada de $f(x)$ \Rightarrow multiplica-se $f(x)$ por $s(x)$



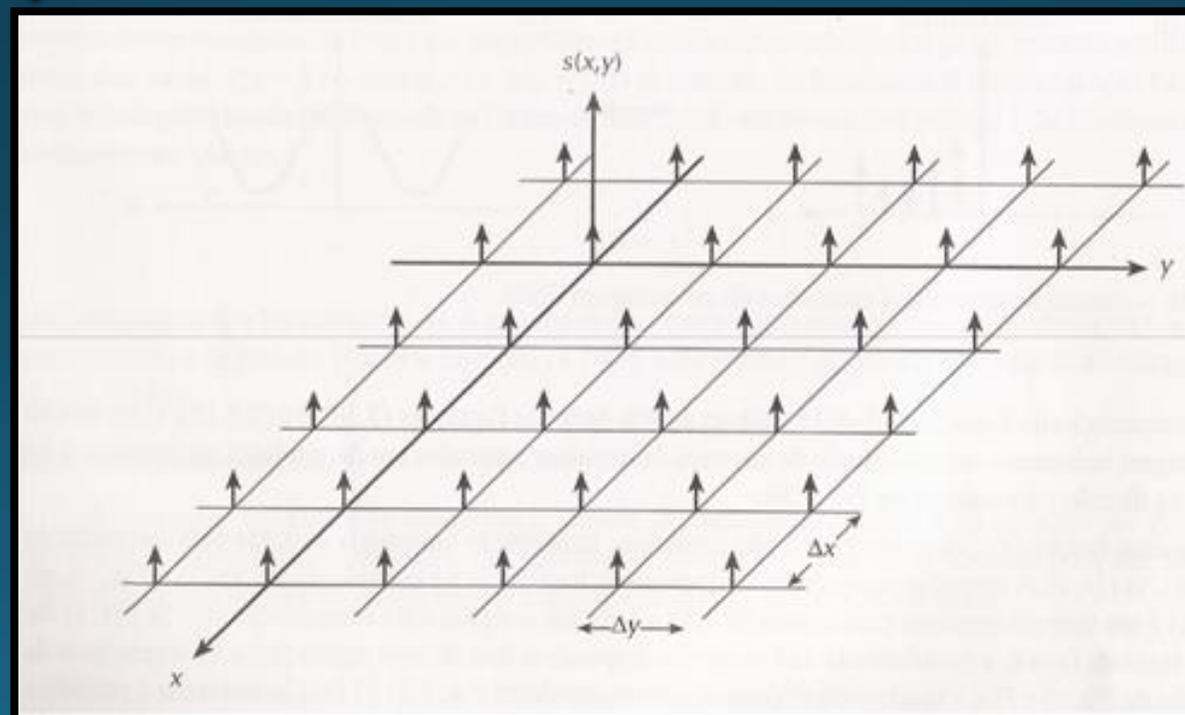
Função de amostragem – trem de pulsos separados por Δx

- **Multiplicação** no domínio do espaço \Leftrightarrow **convolução** no domínio da frequência

AMOSTRAGEM E QUANTIZAÇÃO

AMOSTRAGEM BIDIMENSIONAL

- Função de amostragem bidimensional \Rightarrow trem de pulsos separados por Δx unidades em x e Δy unidades em y



AMOSTRAGEM E QUANTIZAÇÃO

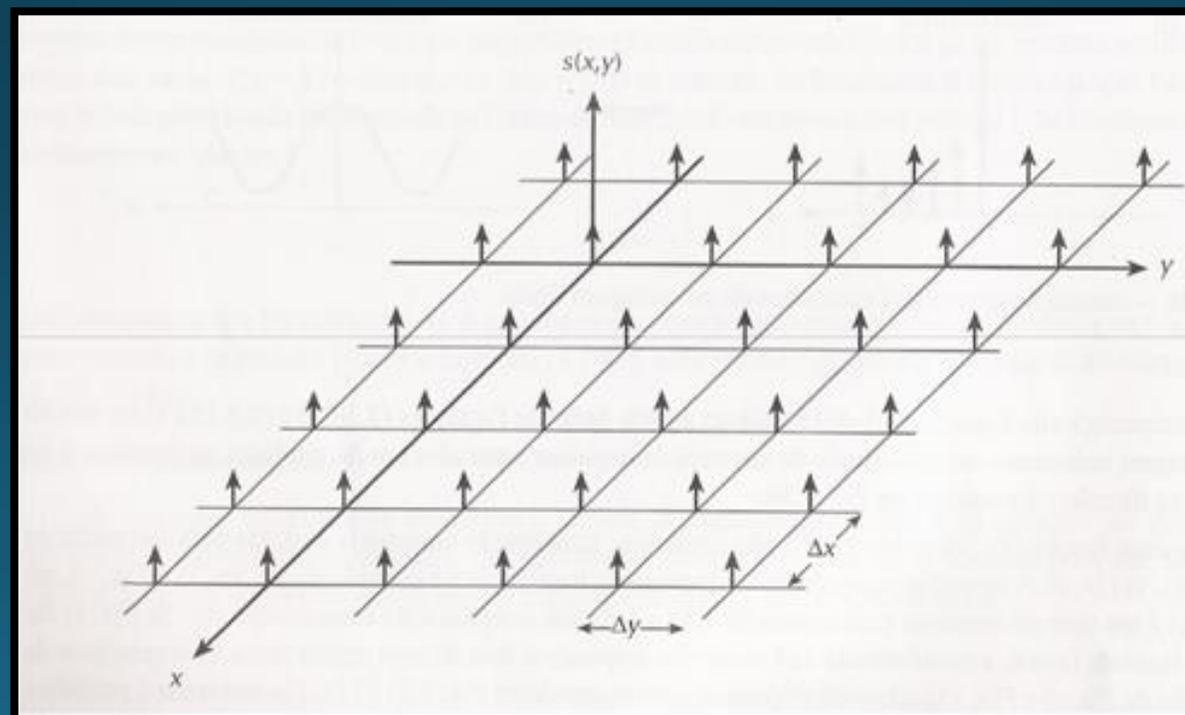
AMOSTRAGEM BIDIMENSIONAL

Para o caso bidimensional: supondo um sinal $f(x,y)$ com banda limitada $2W_x$ e $2W_y$ (nas direções x e y , respectivamente), o sinal pode ser completamente reconstruído se

$$\Delta x \leq \frac{1}{2W_x}$$

e

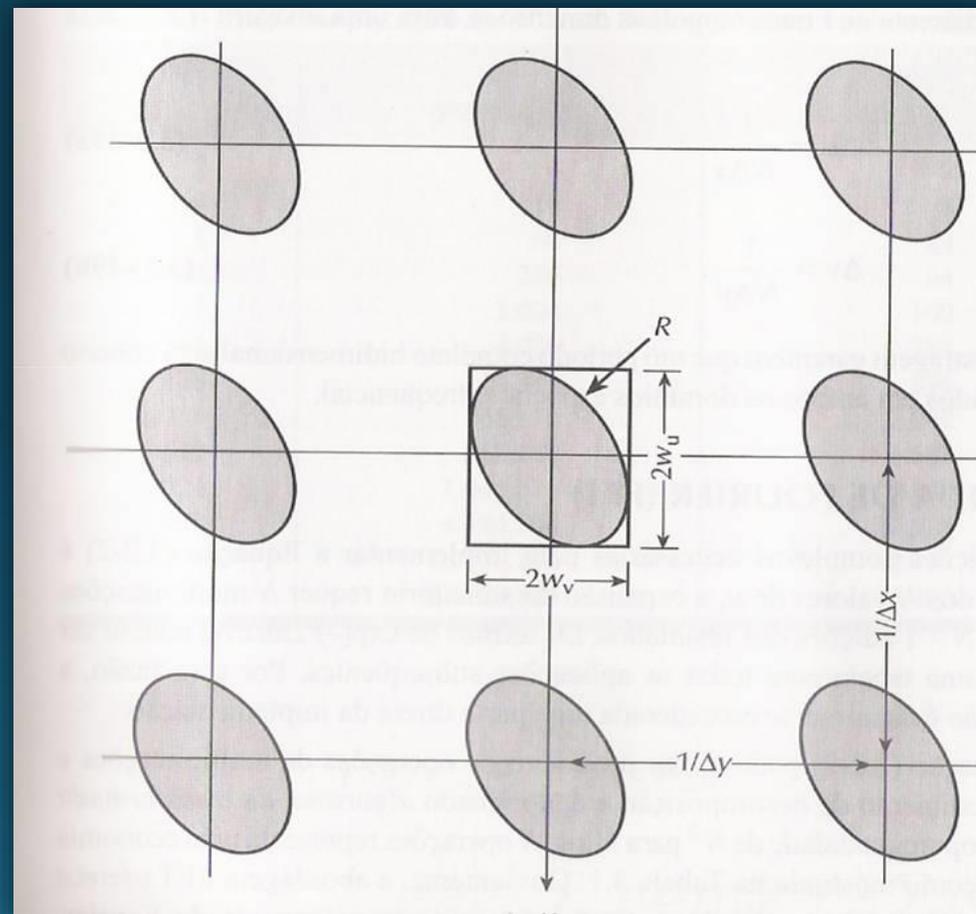
$$\Delta y \leq \frac{1}{2W_y}$$



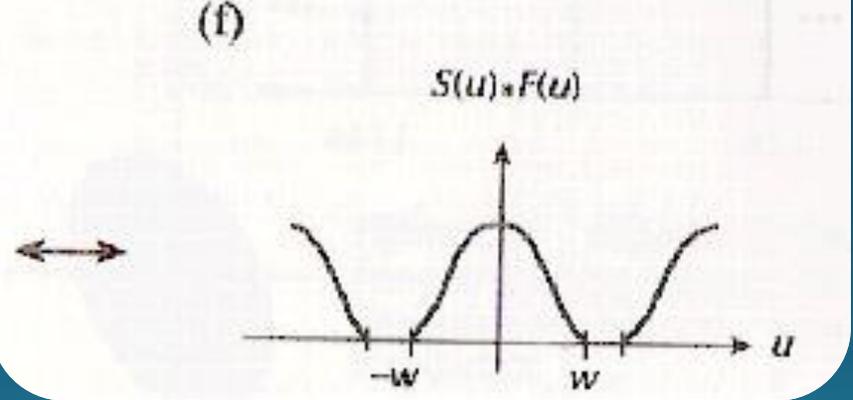
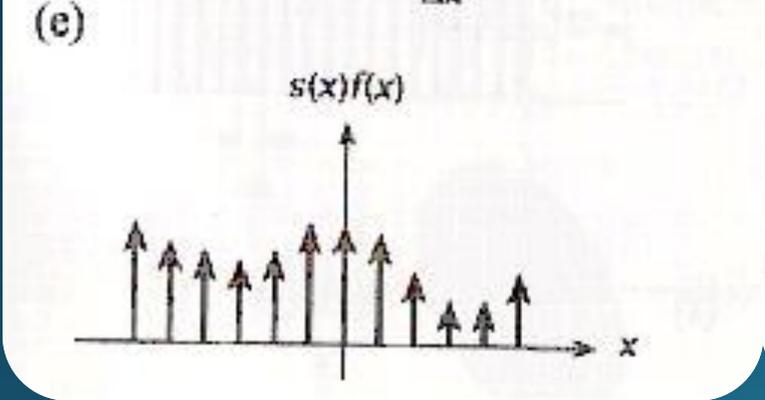
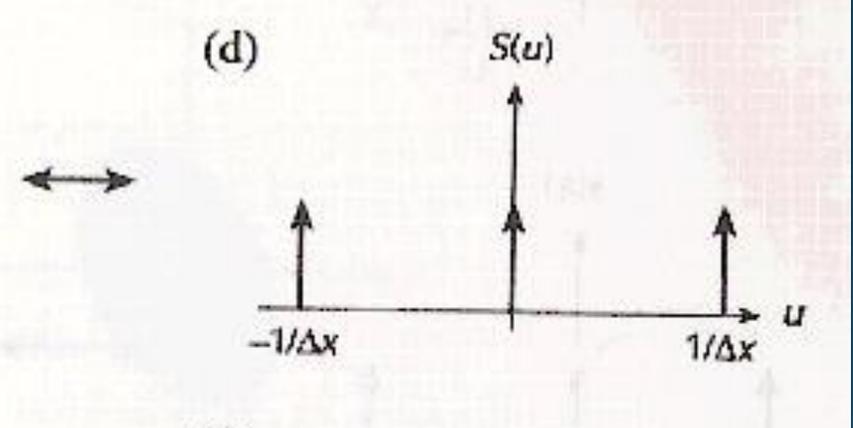
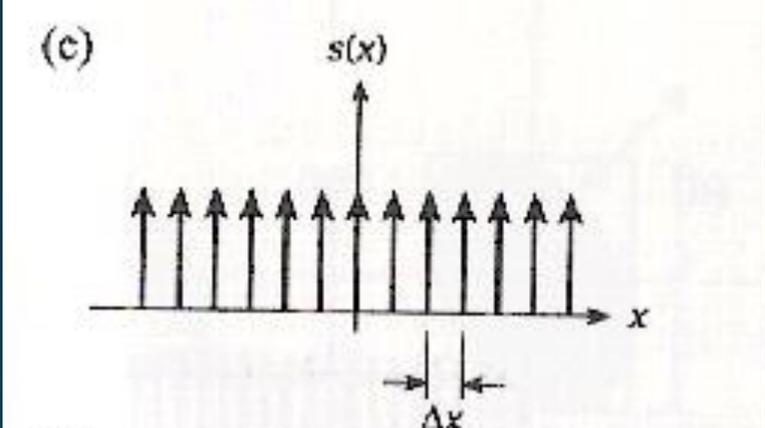
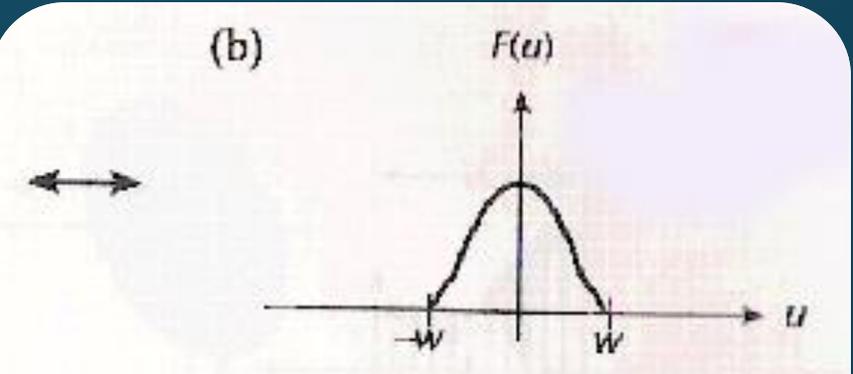
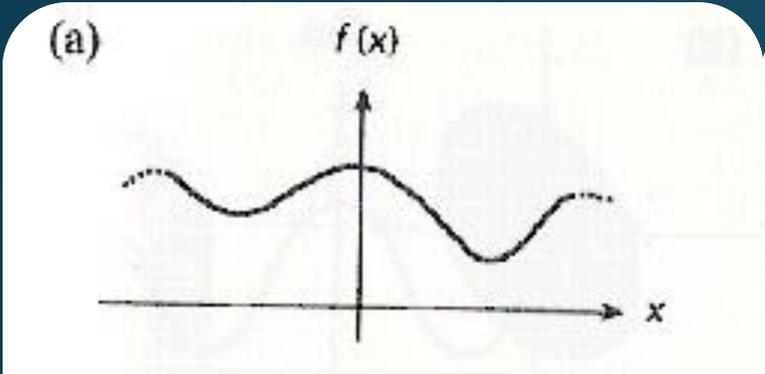
AMOSTRAGEM E QUANTIZAÇÃO

AMOSTRAGEM BIDIMENSIONAL

- Amostragem de $f(x,y)$ é o produto $f(x,y) \cdot s(x,y)$



- No domínio da frequência:
 $F(u,v) * S(u,v)$



Domínio do espaço x

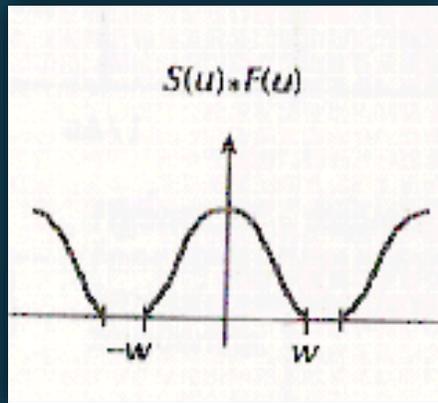
Domínio da frequência u

AMOSTRAGEM E QUANTIZAÇÃO

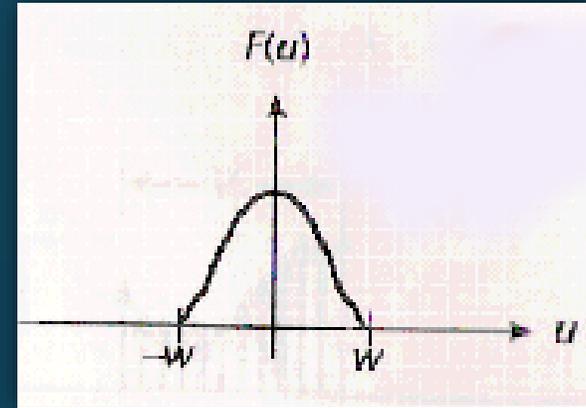
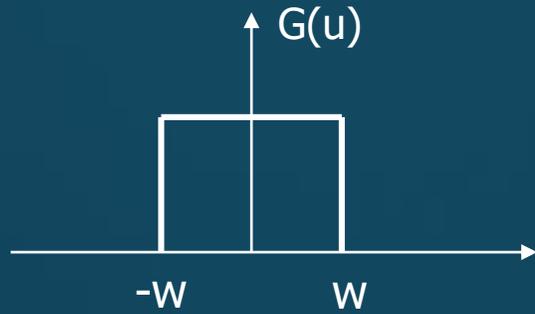
AMOSTRAGEM BIDIMENSIONAL

Mantidas as condições do Teorema da Amostragem para evitar *aliasing*, recupera-se a função original multiplicando-se (S^*F) por

$$G(u,v) = \begin{cases} 1 & \text{se } (u,v) \text{ dentro do retângulo incluindo } R \\ 0 & \text{caso contrário} \end{cases}$$



x



- Logo: $\mathfrak{F}^{-1} \text{ de } G [S * F] = f(x,y)$

