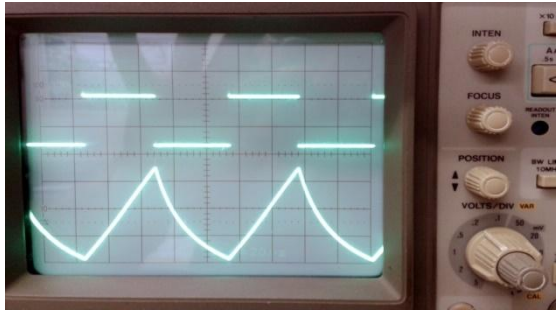
Amostragem Espacial / Temporal : Varredura

PTC2457 – Princípios de TV Digital

EPUSP – 2017

Guido Stolfi

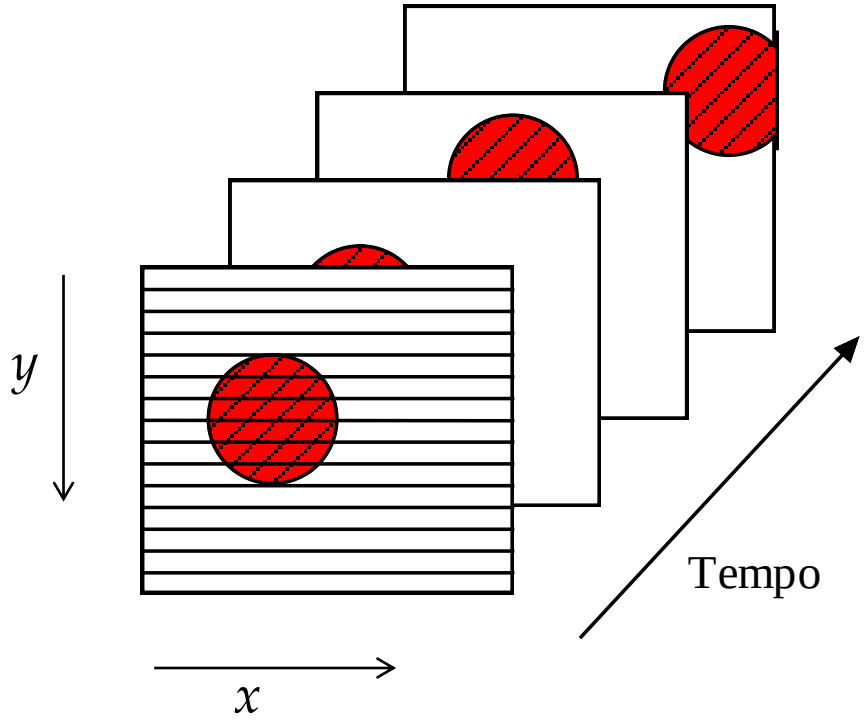


Tópicos Abordados

- Amostragem temporal
- Amostragem Espacial
- Aplicações da TV no Ambiente Doméstico
- Função de Transferência de Contraste / Modulação
- Requisitos de Banda Passante
- Fator de Kell
- Sinal de Vídeo Composto – RS-170
- Análise no Domínio da Frequência
- Funções de Reconstrução
- Aliasing Espacial e Temporal
- Padrões e Sistemas de TV e HDTV

Amostragem de uma Imagem em Movimento

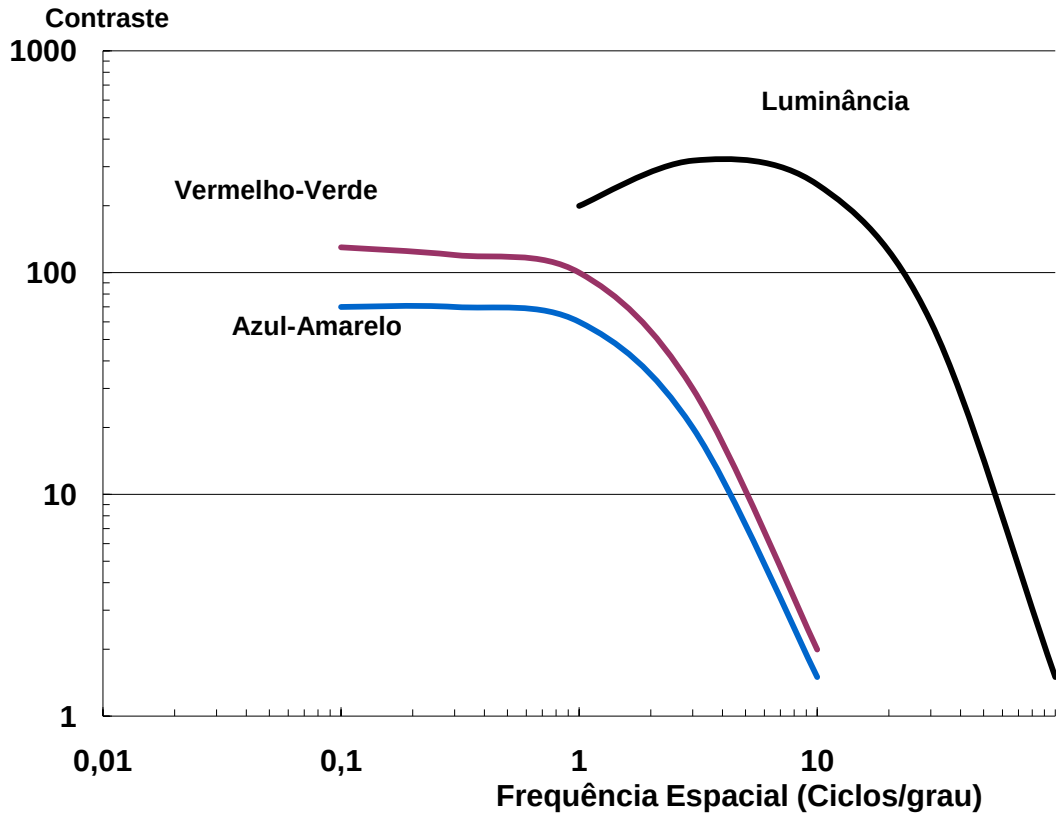
$$\mathbf{u} = f(x, y, t)$$



Critérios de Resolução Temporal

- Remanência da Visão: 15 a 20 imagens (quadros) por segundo
- Cintilação: 48 ~ 60 imagens por segundo
- Interferências com a Rede Elétrica: 50 / 60 Hz
  - 60 imagens por segundo (EUA, Japão, Brasil
  - 50 imagens por segundo (Europa, Ásia, etc.)

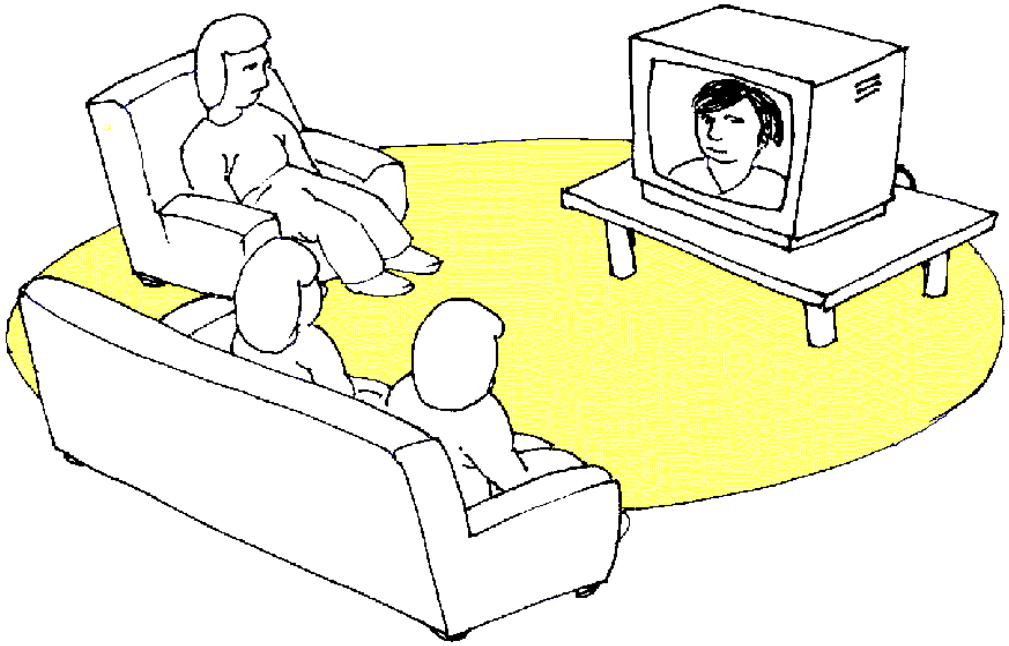
Resolução Espacial da Visão



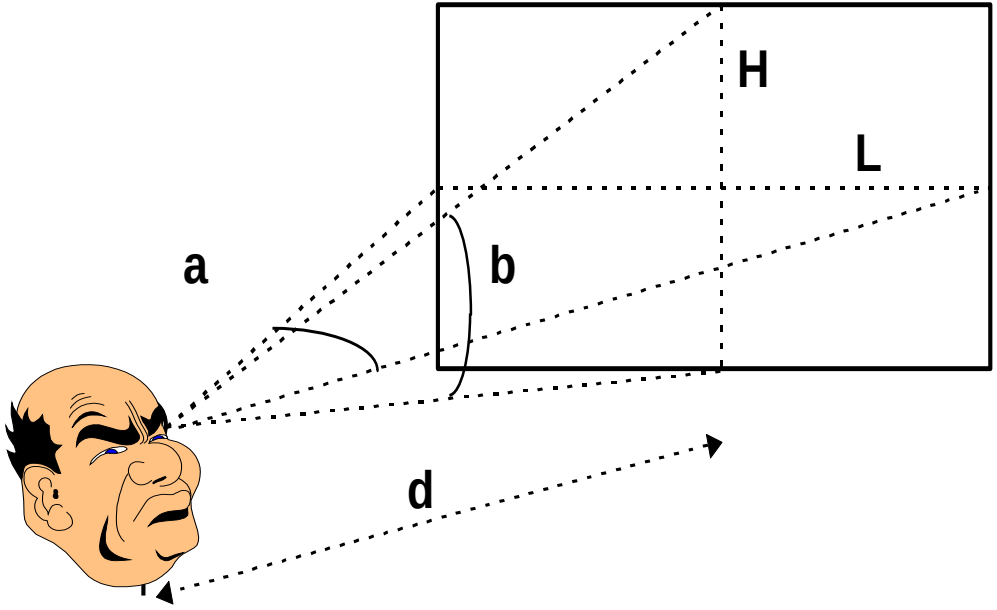
Critérios de Resolução Espacial

- Acuidade Visual: ~ 1 minuto de grau
- Proporção: 4:3 (igual ao cinema)
- Tamanho da Imagem: ?
- Distância de Observação: ?

A Televisão como Entretenimento

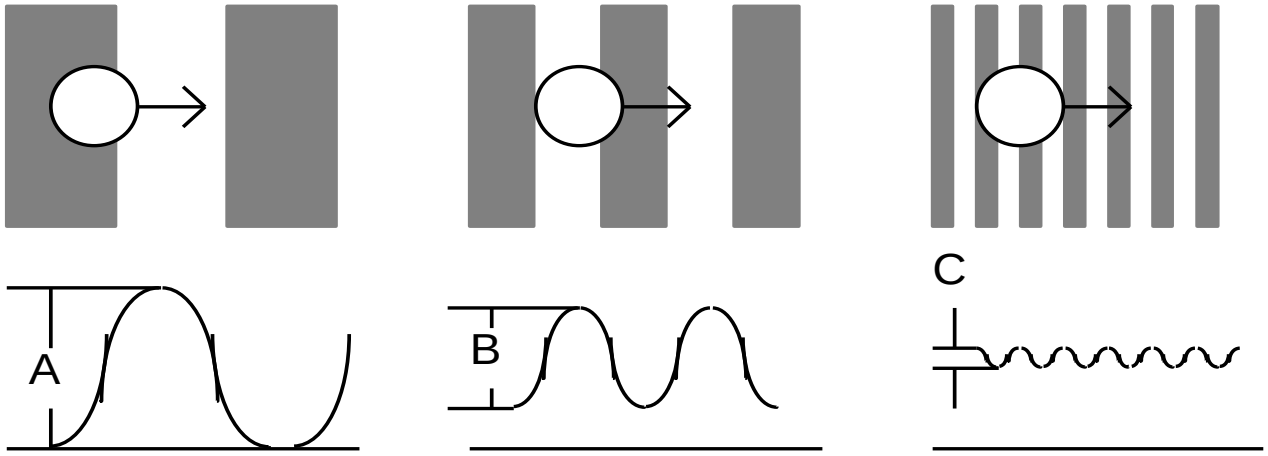


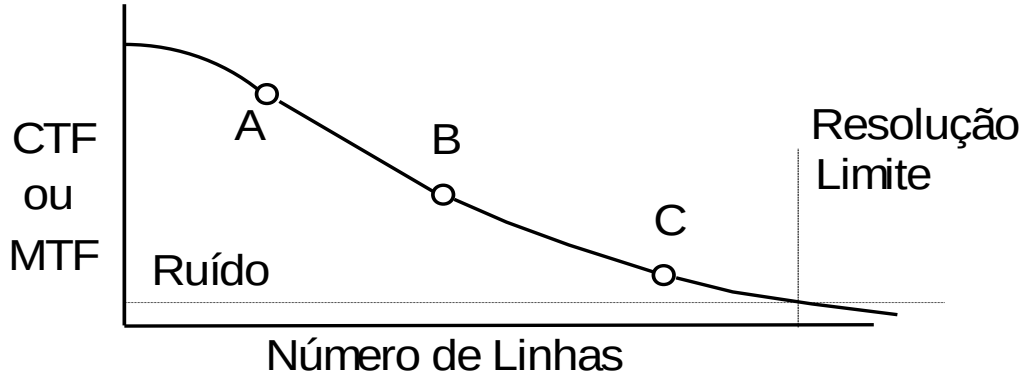
Ângulos de Visualização da TV (Padrão M)



H / L = ¾ a = 10º b = 7.5º

Função de Transferência de Contraste (CTF)

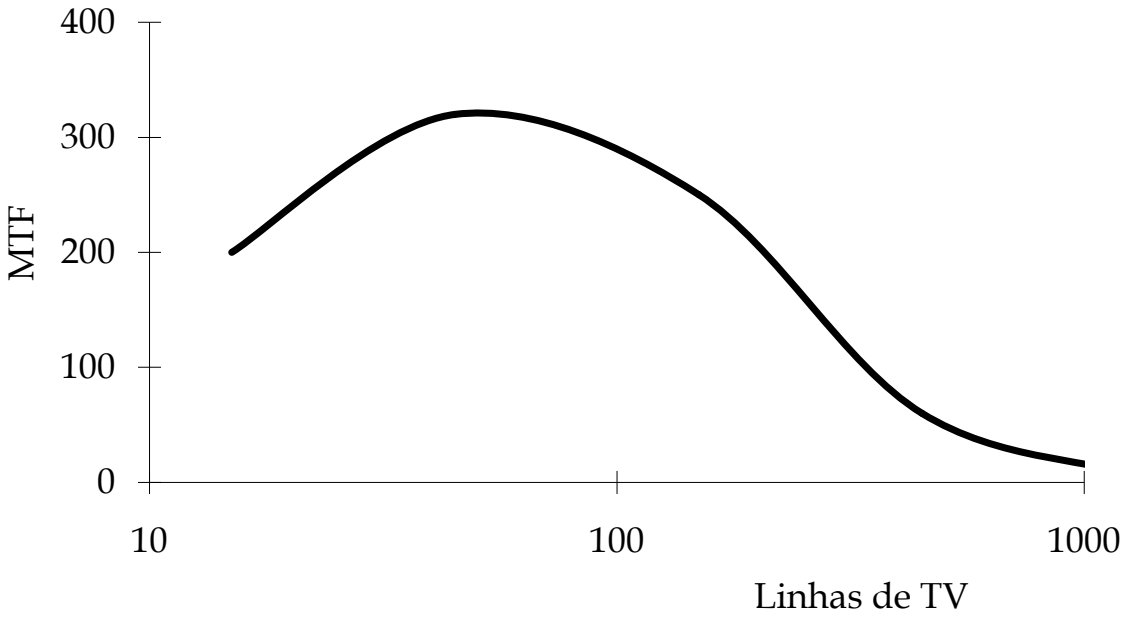




Função de Transferência de Modulação (MTF)

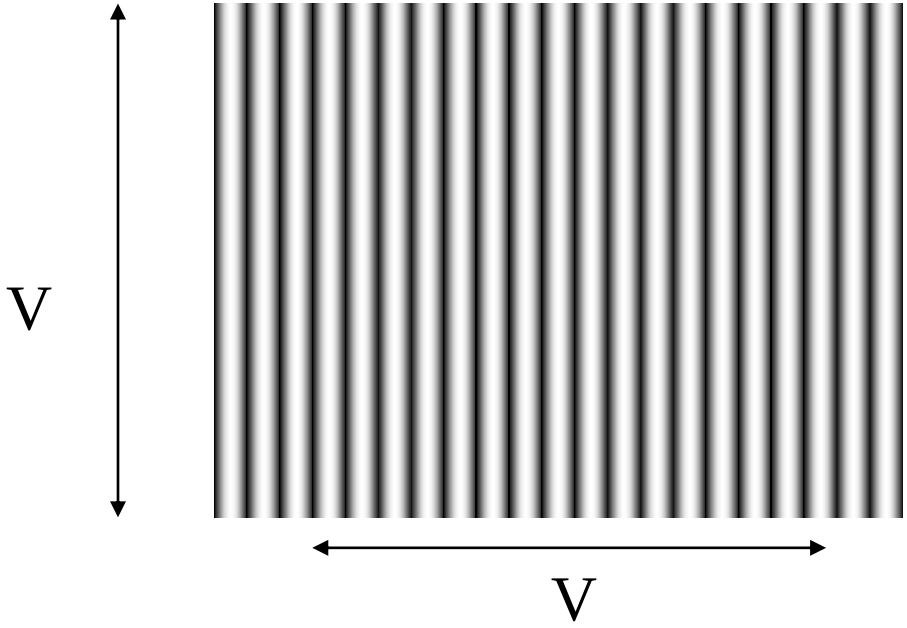
- Obtida da mesma forma que a CTF, quando o padrão de barras tem variação senoidal de luminância (ao invés de retangular)
- É a resposta em frequência espacial do sistema
- MTF de um sistema com elementos em série é o produto das MTF's dos elementos

MTF da Visão Humana



Unidade de Medida: Linhas de TV

- Quantidade de linhas pretas + brancas contidas em uma distância igual à altura da imagem



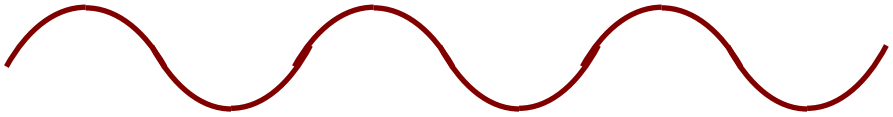
Dimensionamento de um Sistema de TV: Padrão “M”

- Acuidade Visual: 1/60 de grau
- Ângulo de visualização: 10 x 7.5 graus
- $\Rightarrow$ 600 x 450 elementos de imagem (pixels)

Requisitos de Banda Passante

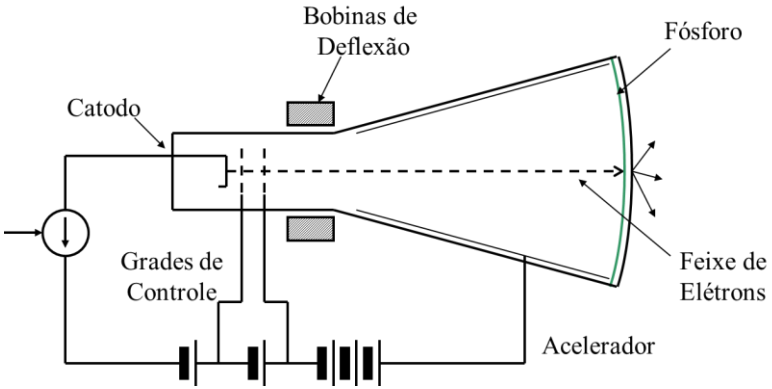
- 60 quadros por segundo, 600 x 450 pixels

$$B_W = \frac{1}{2} \times 600 \times 450 \times 60 = 8{,}1 MHz$$

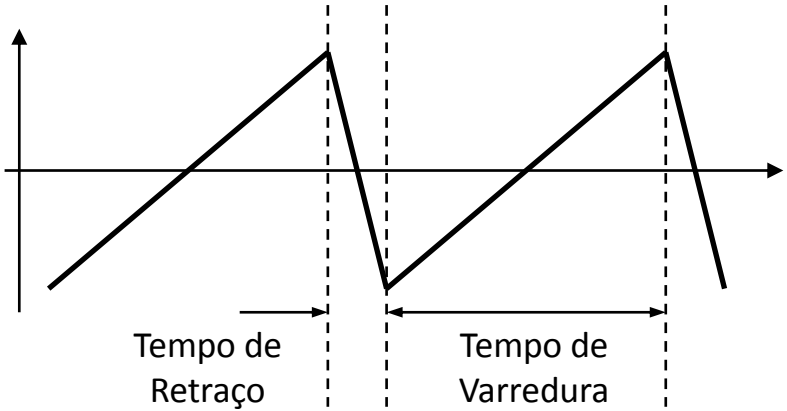


1 pixel = 1 semiciclo da maior frequência necessária

Agravante: Tempo de Retraço



Tubo de Raios Catódicos
com deflexão magnética



Requisitos de Banda Passante

- Tempo de retraço: 20% na varredura horizontal e 9% na vertical

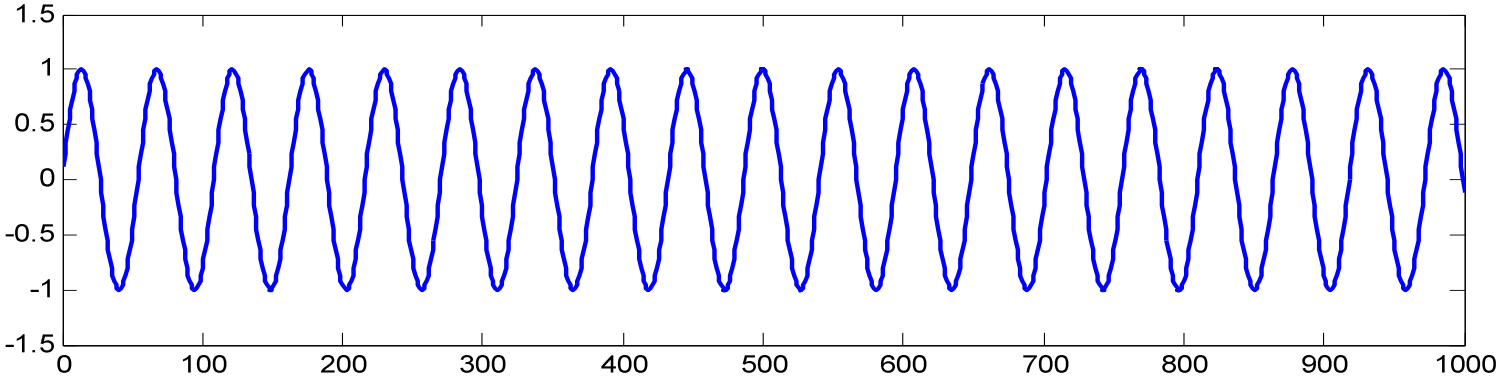
$$B_W = \left(\left(\frac{1}{2} \times 600 \right) \times 1{,}2 \right) \times \left(450 \times 1{,}09 \right) \times 60 = 10{,}595 MHz$$

Agravante: Fator de Kell

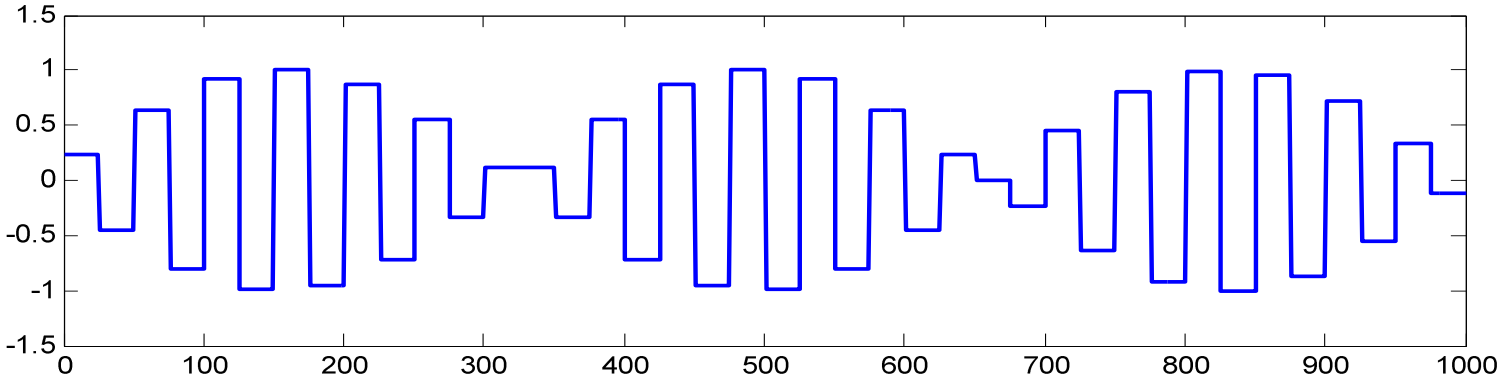
- Teorema da Amostragem diz: número de linhas de varredura deve ser **maior** que o número de linhas (alternadas) a serem exibidas na imagem ($f_a > 2 \times f_s$)

- Fator de Kell = 0,7 (experimental) implicaria em 450 ÷ 0,7 = 643 linhas de varredura na imagem visível.

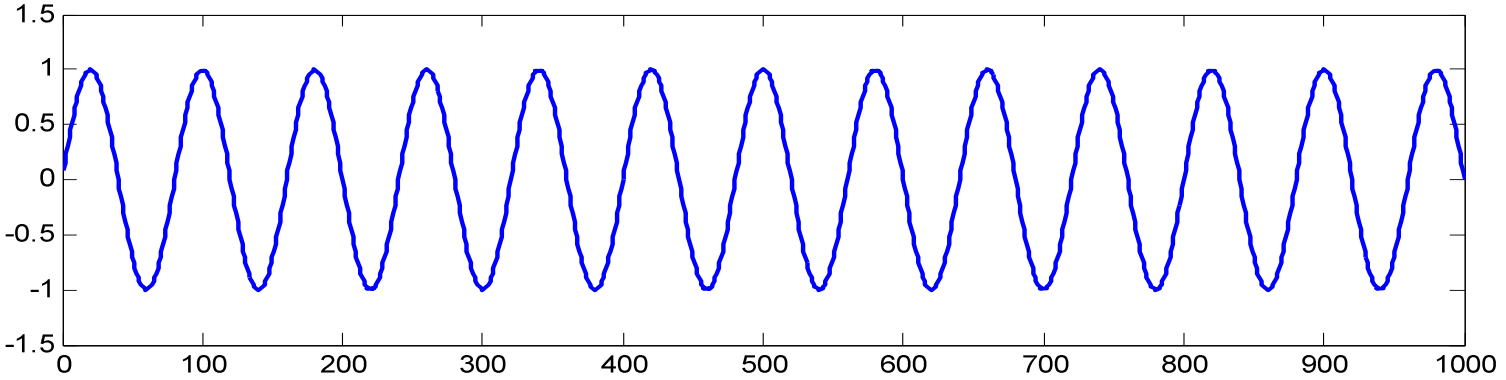
Reconstrução com Pulso Retangular (Obedecendo Critério de Nyquist)



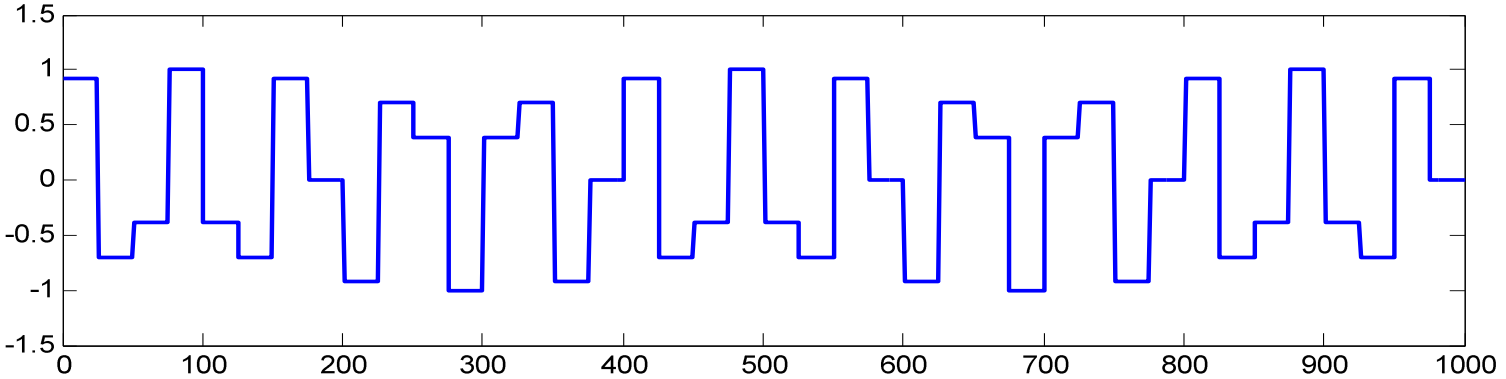
$f_A = 2{,}2\ f_M$



Reconstrução com Pulso Retangular (Obedecendo Critério de Kell)



$f_A = 3{,}3\ f_M$



Requisitos de Banda Passante

- Considerando tempo de retraço e fator de Kell:

$$B_W = \left(\left(\frac{1}{2} \times 600 \right) \times 1{,}2 \right) \times 643 \times 1{,}09 \times 60 = 15{,}14 MHz$$

- Modulação AM exigiria 2 x 15 = 30 MHz de banda.

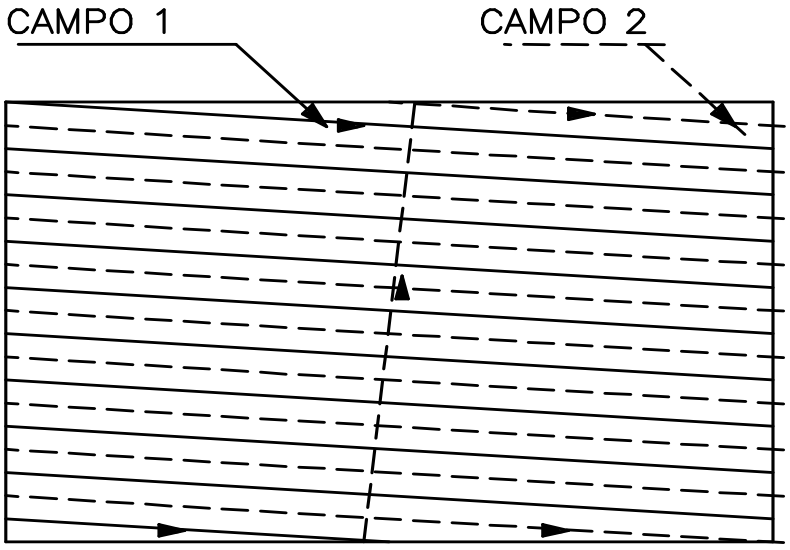
Atenuante: Acuidade Visual

- Adotado Limite de Acuidade Visual como 1,33 minutos de grau
- Imagem visível passa para 340 x 450 elementos de resolução (480 linhas de amostragem)
- Adotadas 525 linhas de varredura (incluindo retraço)

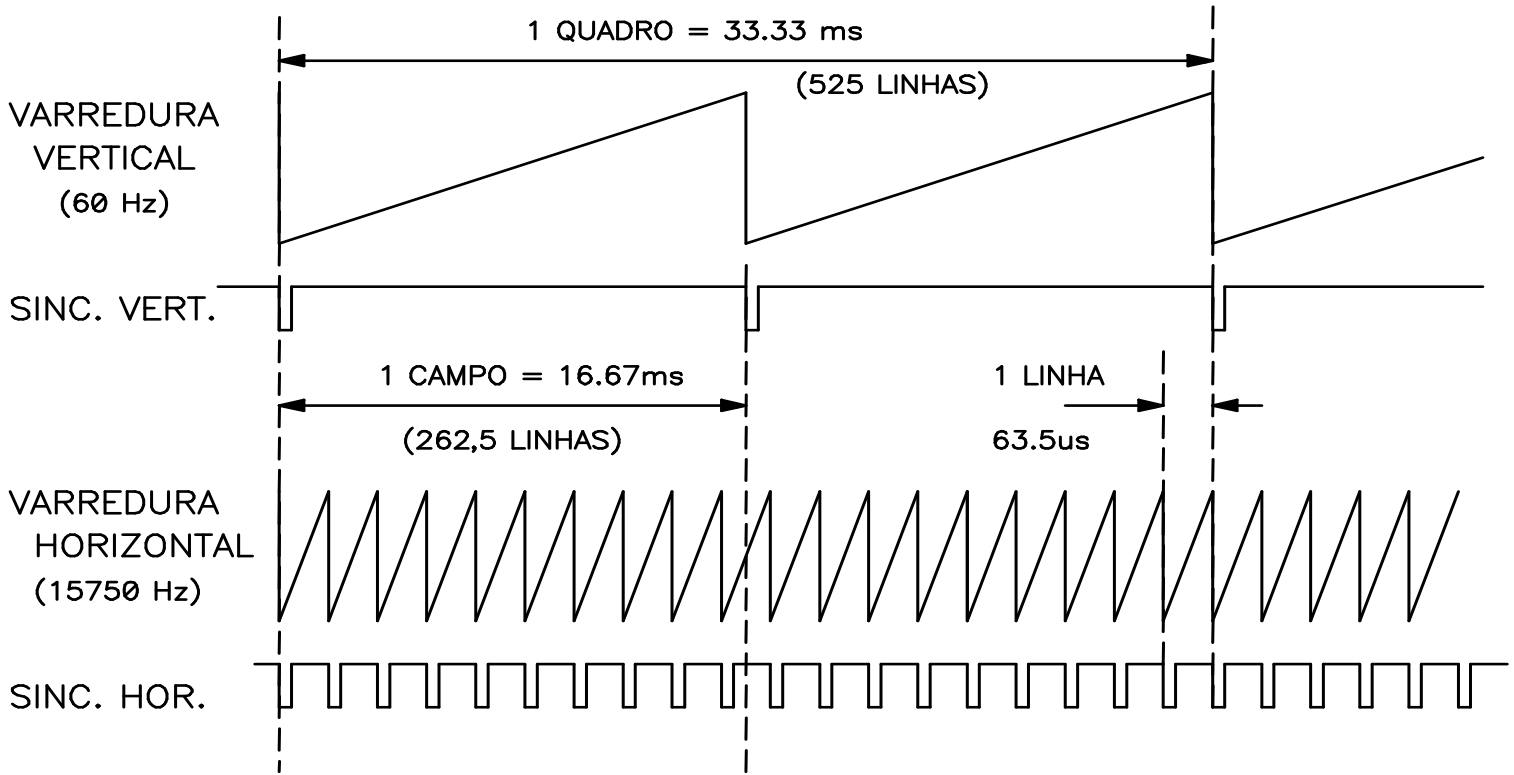
$$B_W = \left(\frac{1}{2} \times 450 \times 1.2 \right) \times 625 \times 60 = 8{,}4 MHz$$

Atenuante: Entrelaçamento

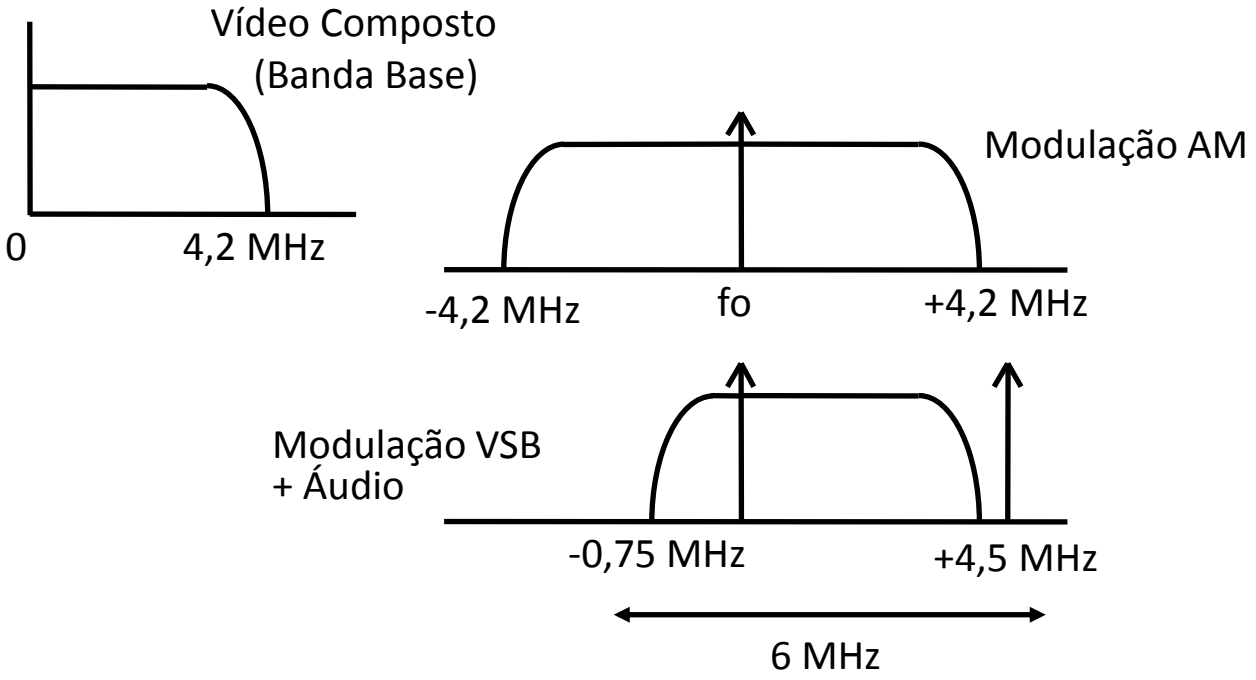
- Frequência de Cintilação para objetos pequenos é muito menor
- Imagem é subdividida em 2 campos (par e ímpar)
- Banda Passante cai pela metade (4.2 MHz)



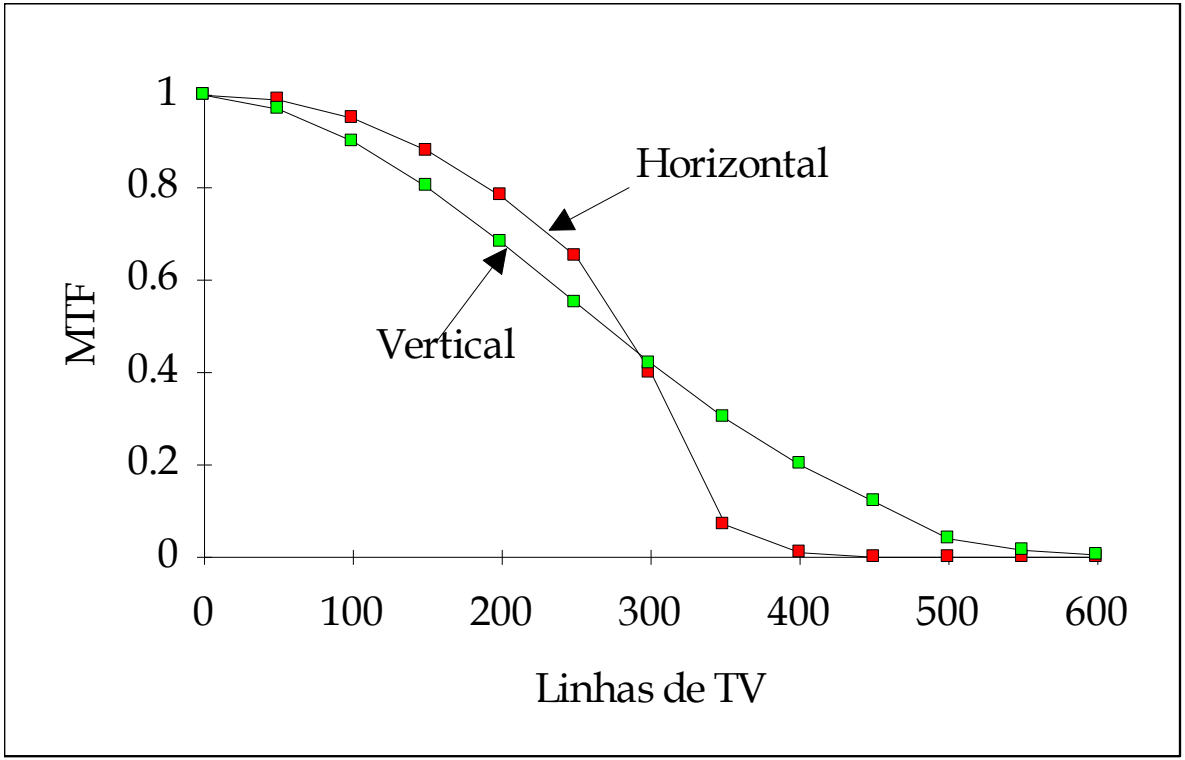
Varredura Entrelaçada - Padrão “M”



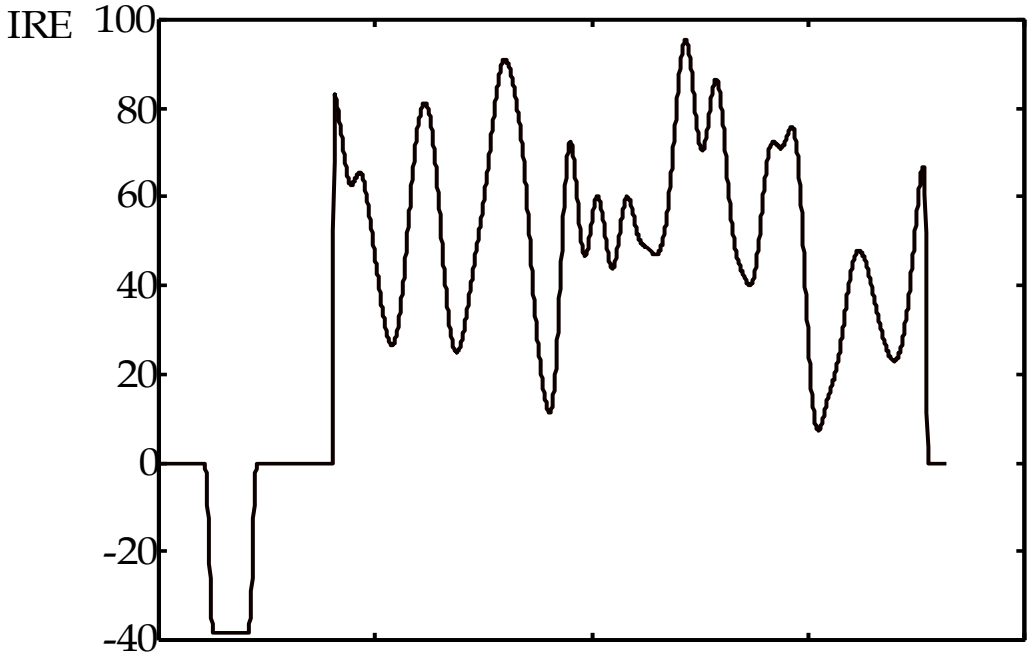
Atenuante: Modulação Vestigial (VSB)



MTF da Televisão Convencional



Sinal de Vídeo Composto RS-170



Período Horizontal: 1H = 63,56 μs

Apagamento Horizontal: 10,9±0,2 μs

Pulso de Sincronismo: 4,7 ± 0,1 μs

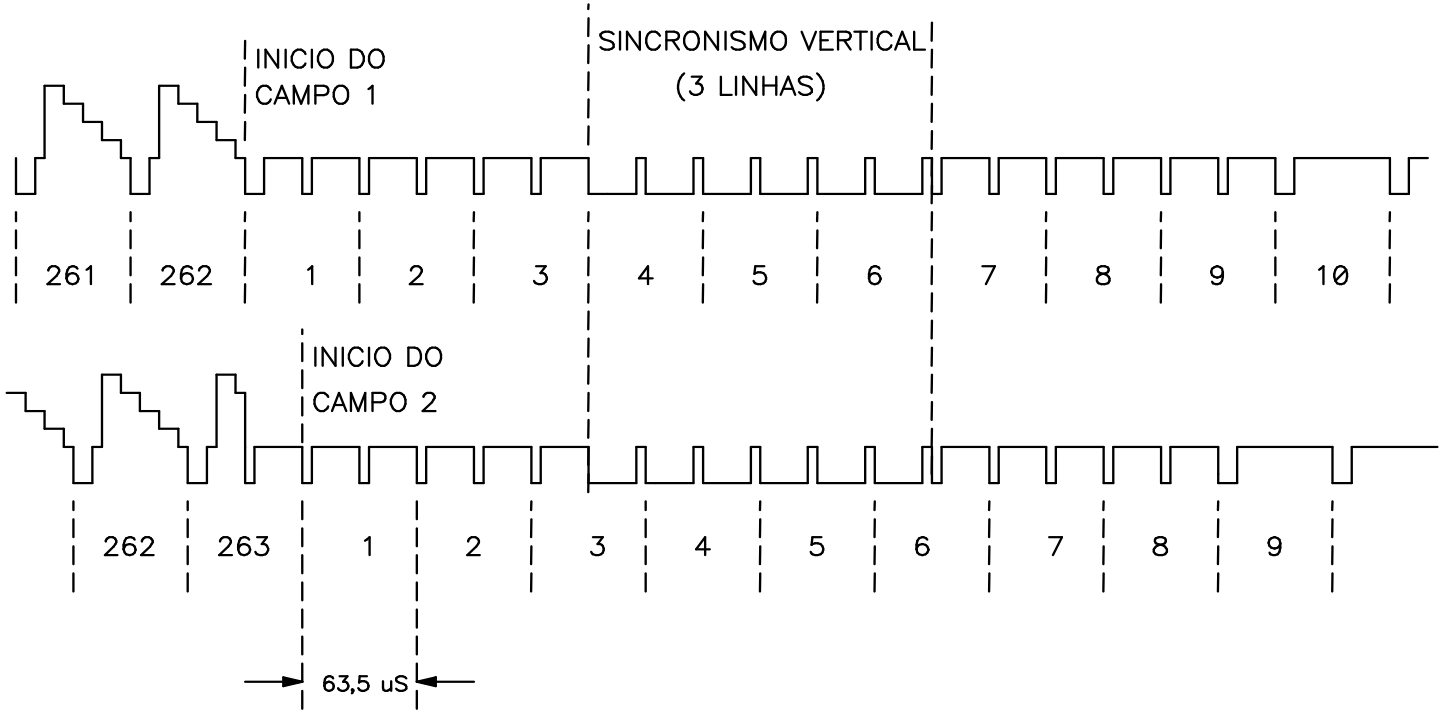
Pórtico Frontal: 0,02H = 1,3 μs

Amplitude do Sinc.: 40 IRE (286 mV)

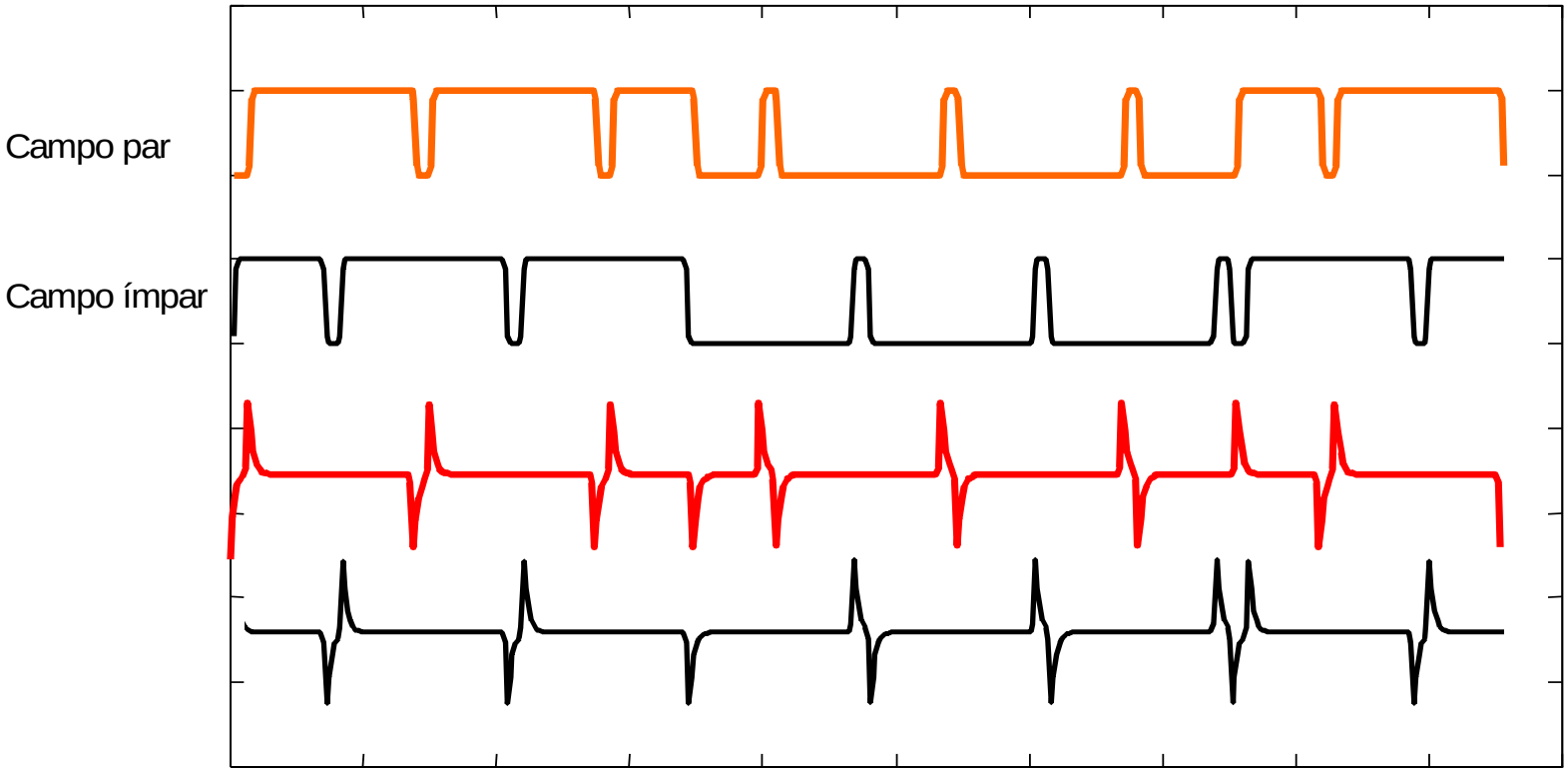
Amplitude Total do Sinal de Vídeo : 140 IRE (1 Volt)

(1 unidade IRE = 7,14 mV)

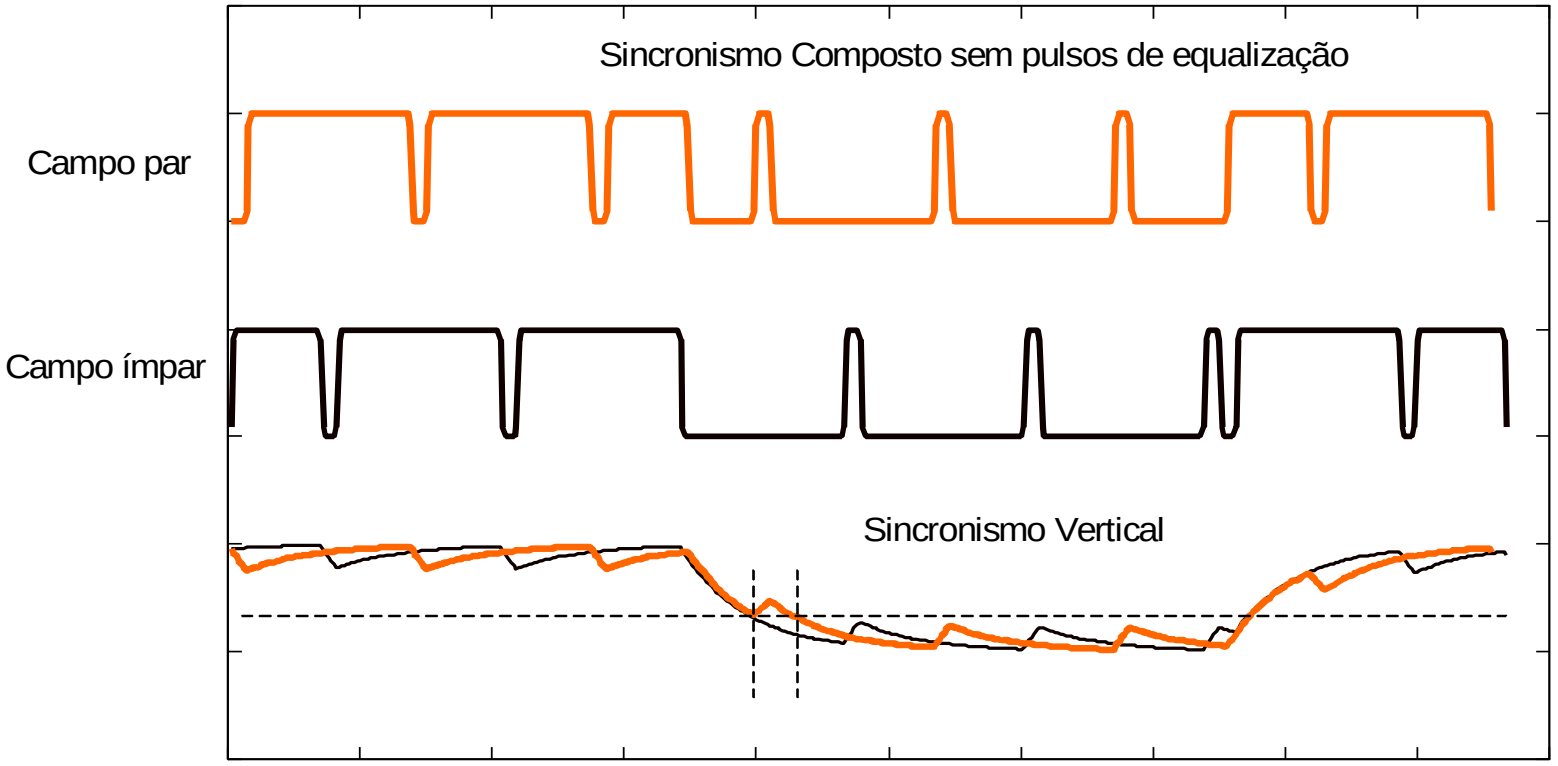
Sincronismo Composto com Entrelaçamento



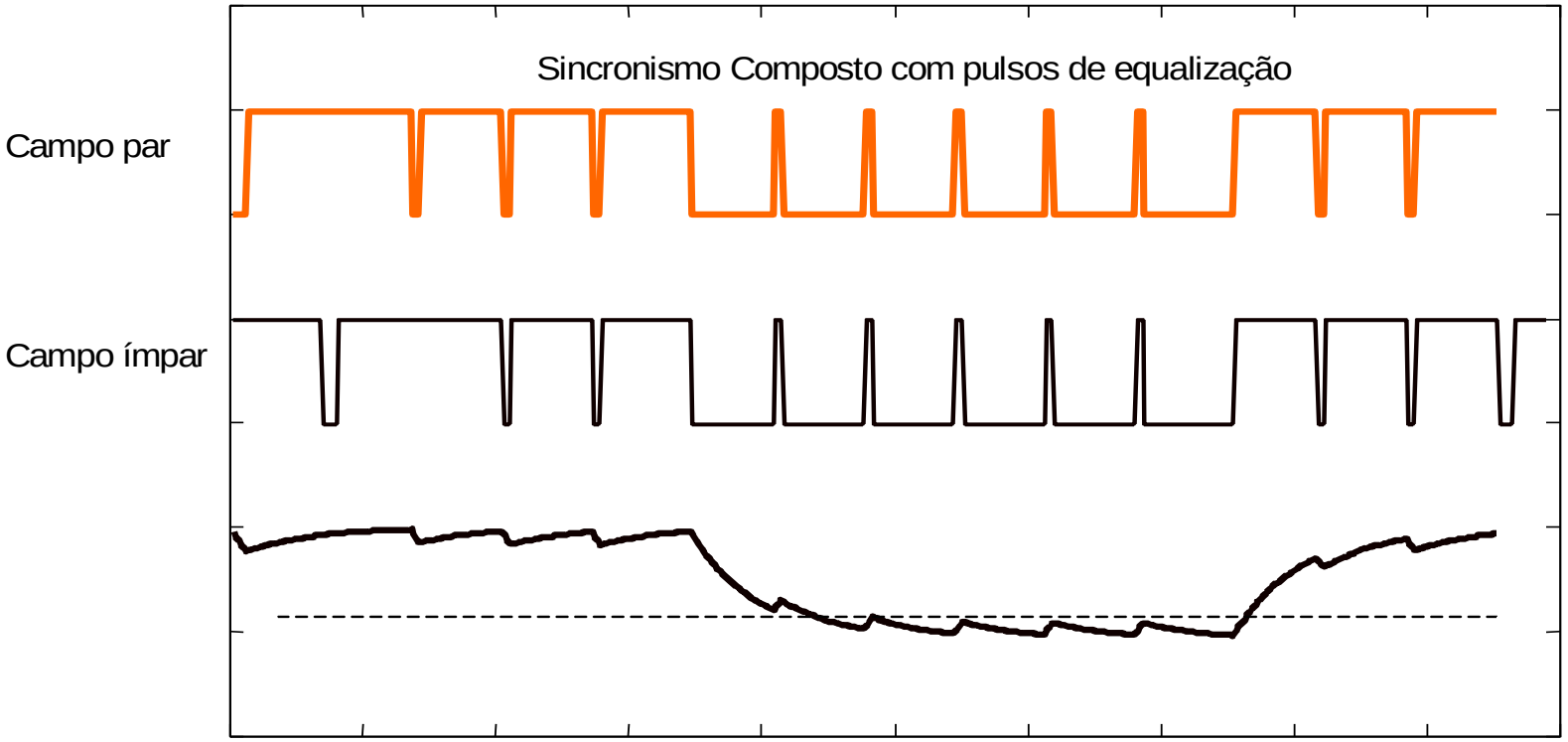
Separação do Sincronismo Horizontal



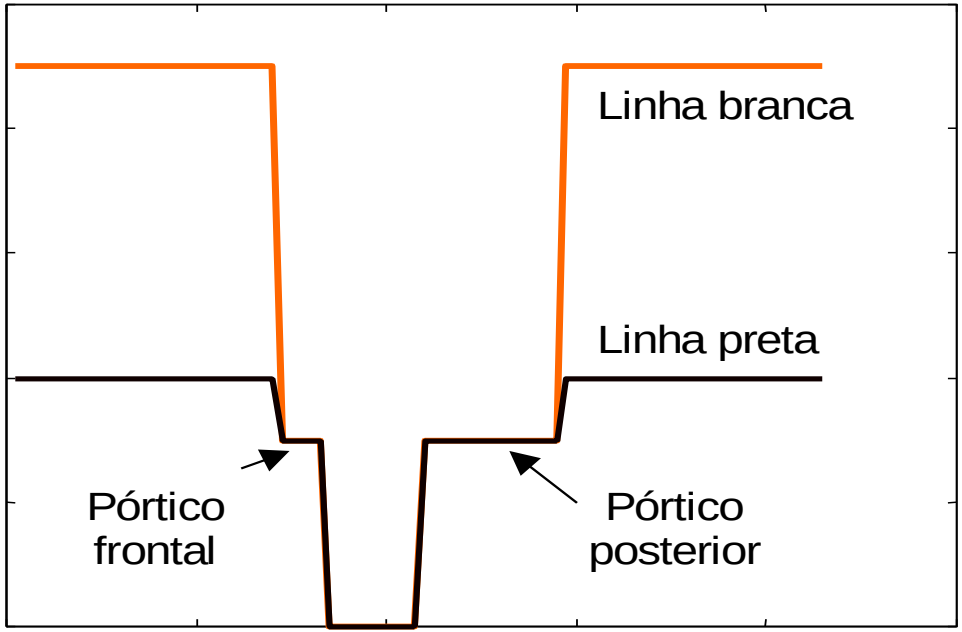
Separação do Sincronismo Vertical



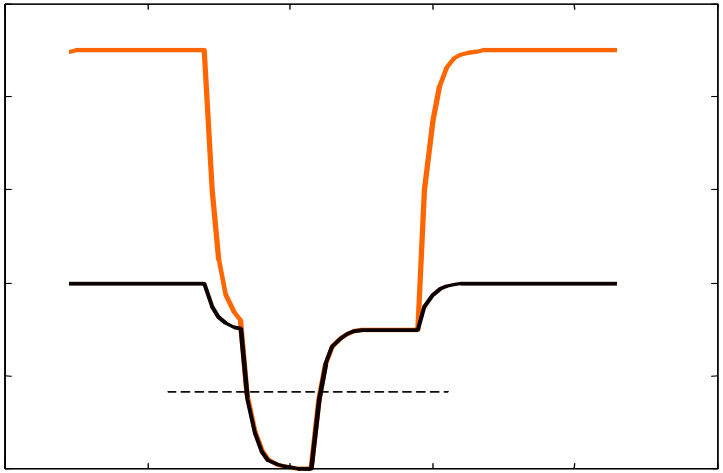
Efeito dos Pulsos de Equalização



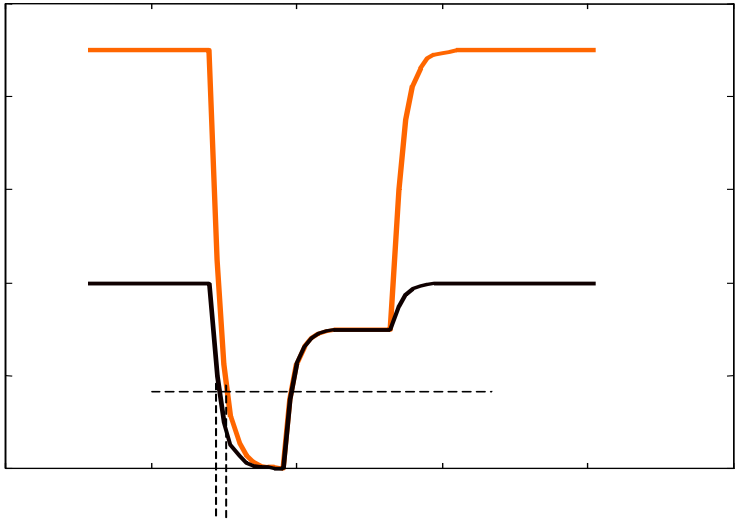
Pórticos (*Porch*) no Sincronismo Horizontal



Efeito do Pórtico Frontal

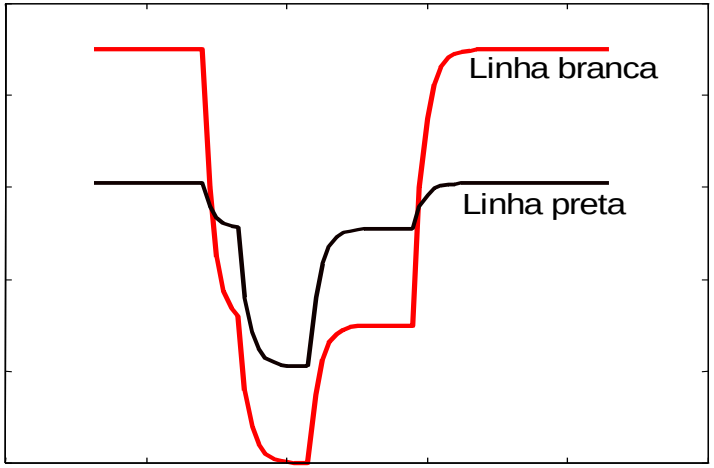


Sinal com Banda Limitada

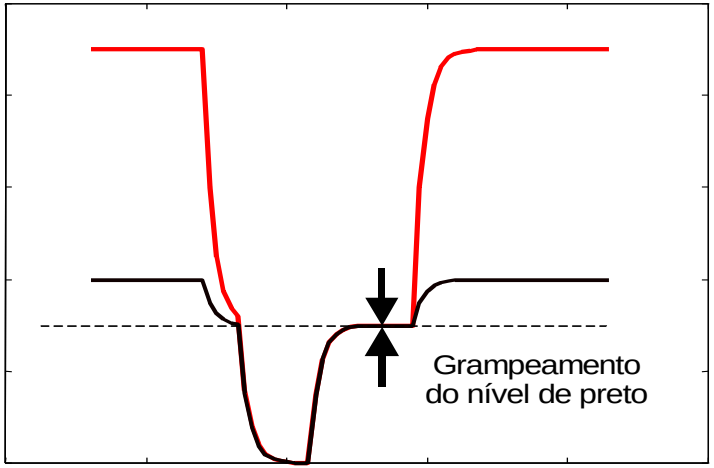


Limitação de Banda sem Pórtico Frontal

Efeito do Pórtico Posterior

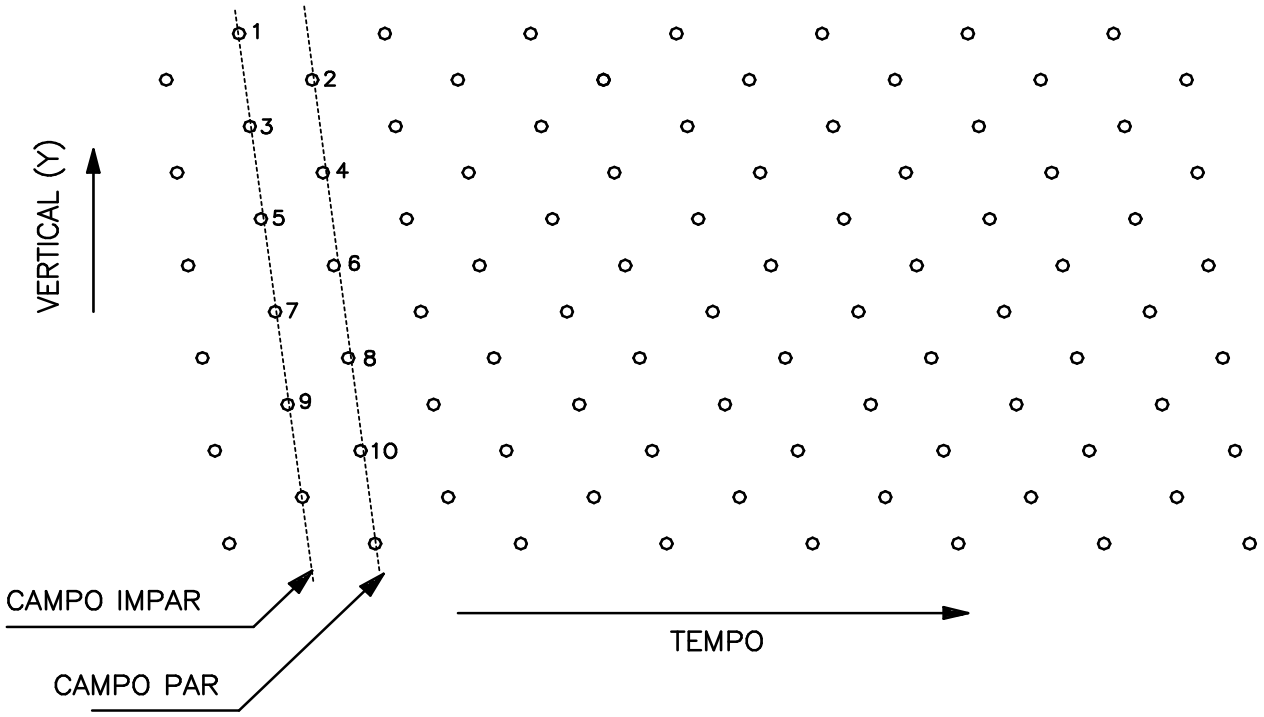


Acoplamento AC do Sinal
de Vídeo Composto

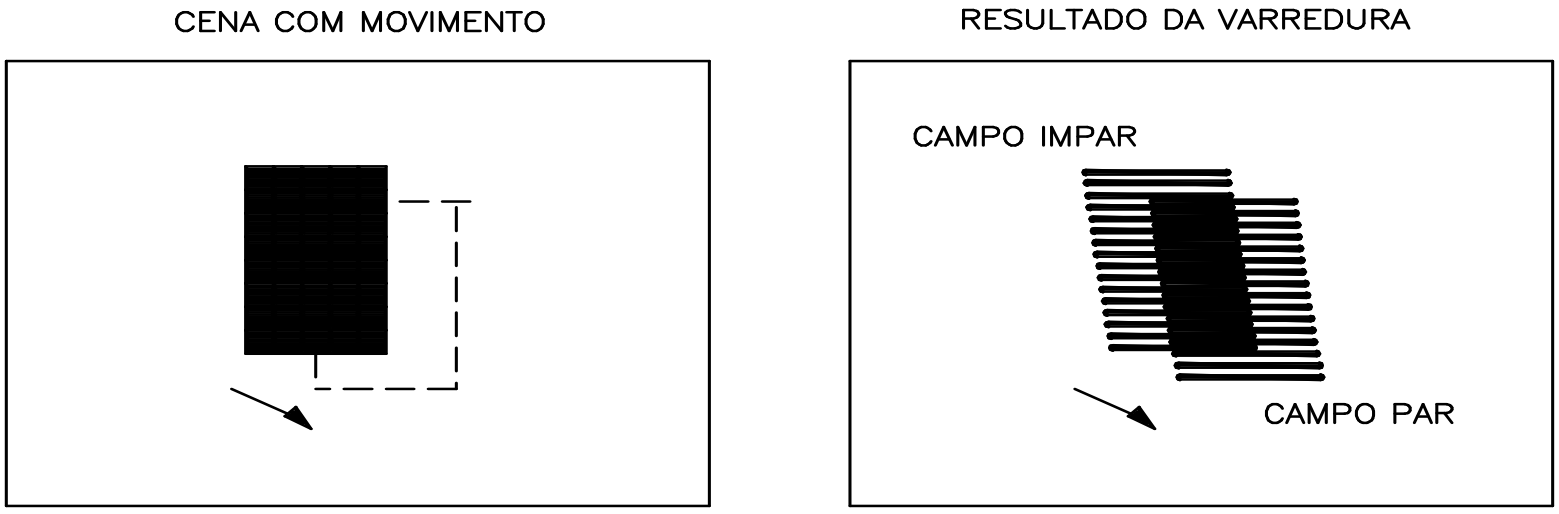


Sinal de Vídeo com
Grampeamento DC

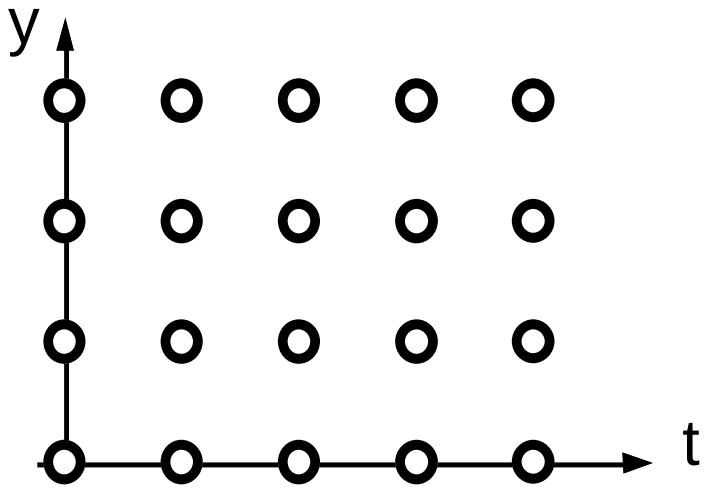
Estrutura de Amostragem Espacio-temporal



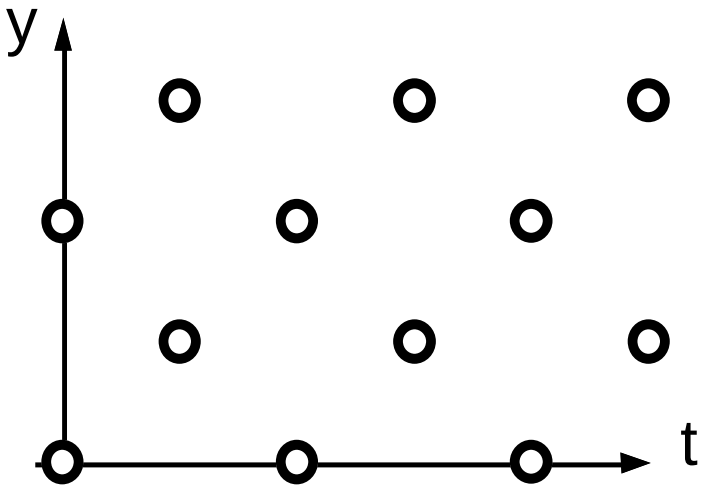
Amostragem Entrelaçada de um Objeto em Movimento



Estruturas de Varredura

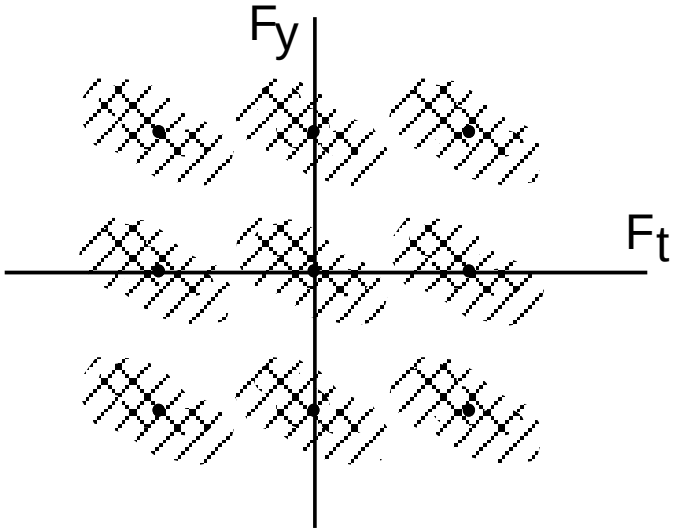


Varredura Progressiva

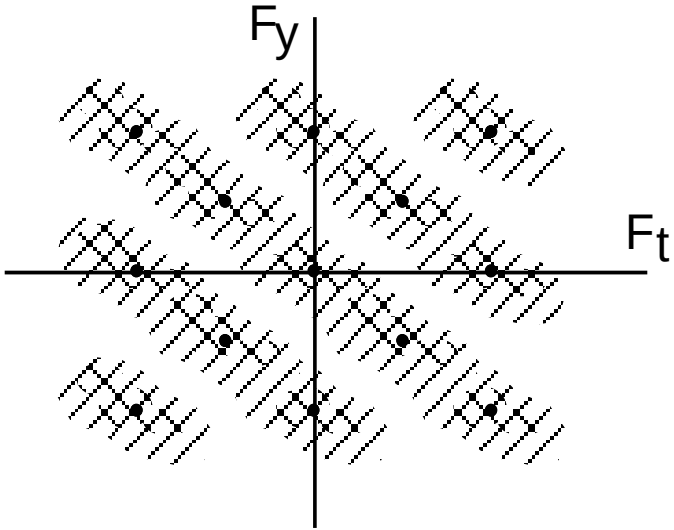


Varredura Entrelaçada

Espectros das Estruturas de Varredura

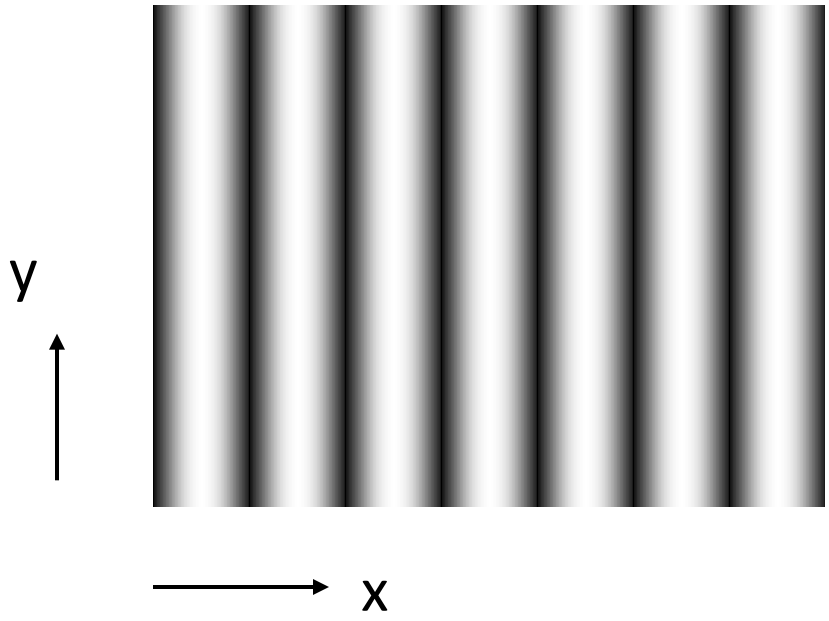


Varredura Progressiva

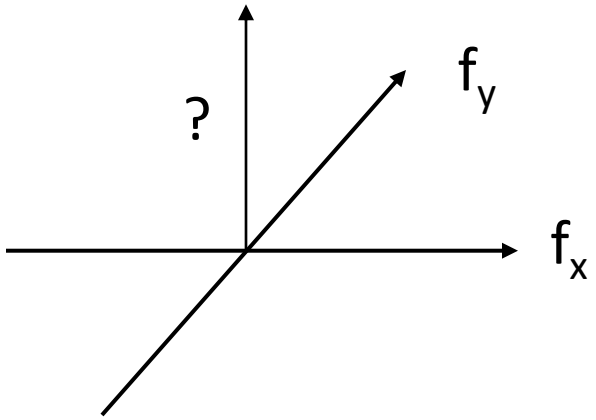


Varredura Entrelaçada

Espectro Bi-dimensional

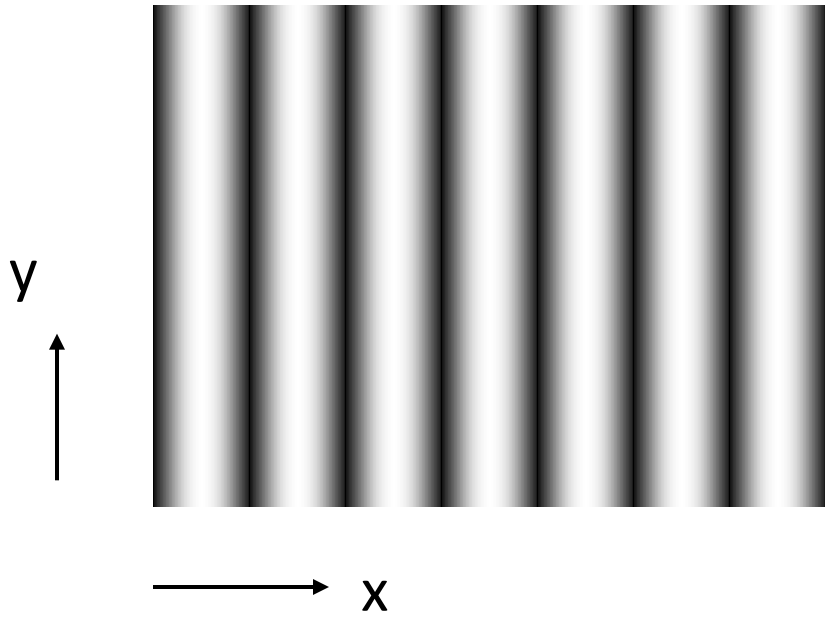


Domínio do Espaço

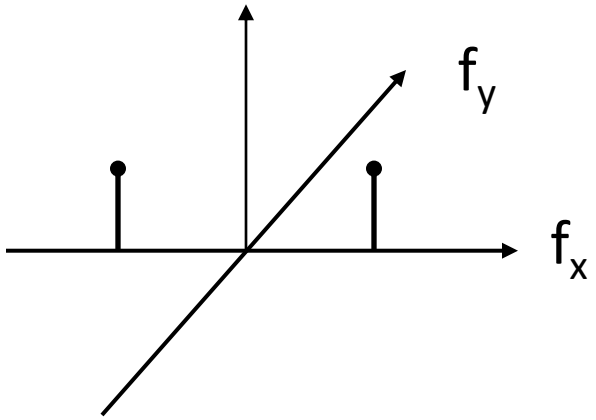


Domínio da Frequência Espacial

Espectro Bi-dimensional

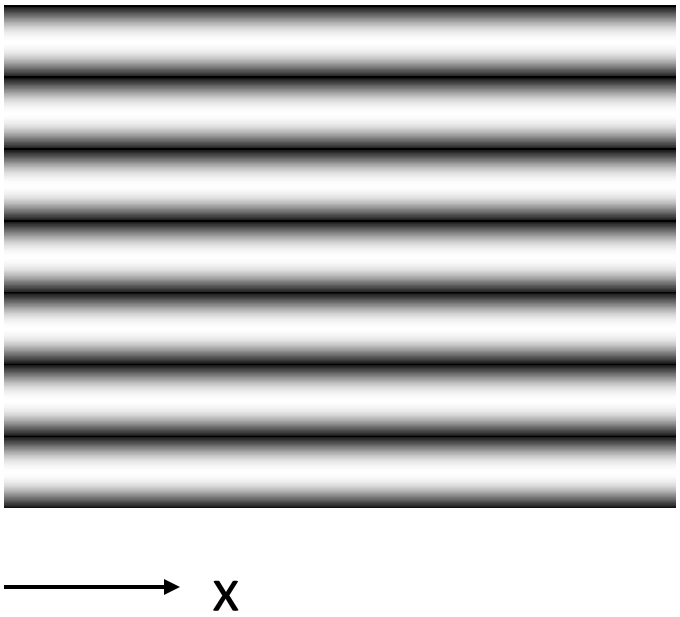


Domínio do Espaço

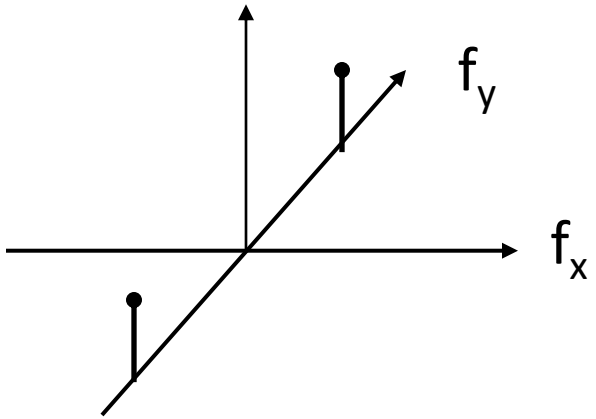


Domínio da Frequência Espacial

Espectro Bi-dimensional

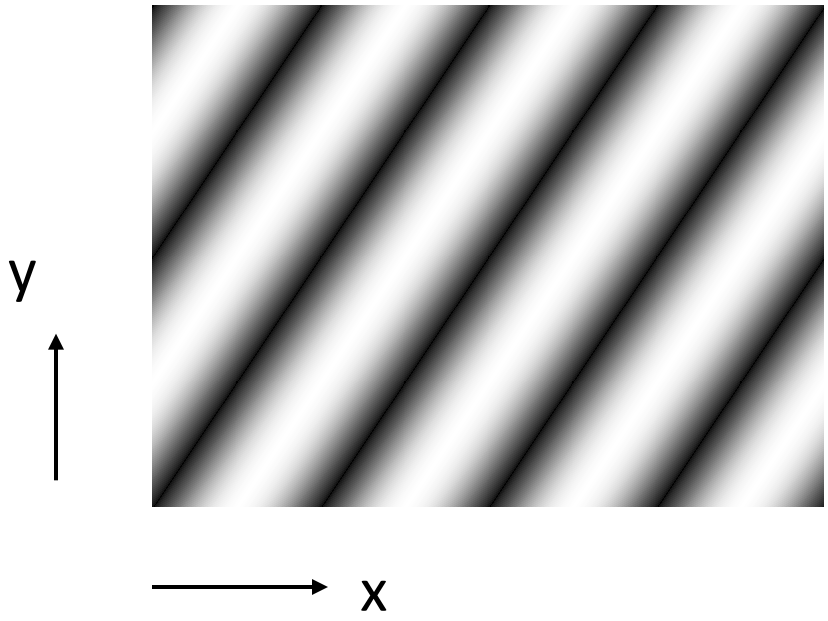


Domínio do Espaço

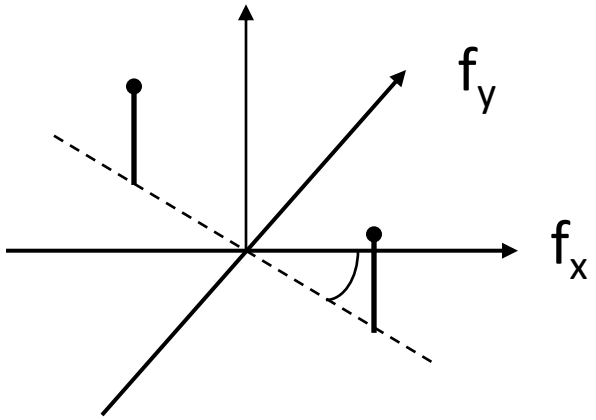


Domínio da Frequência Espacial

Espectro Bi-dimensional

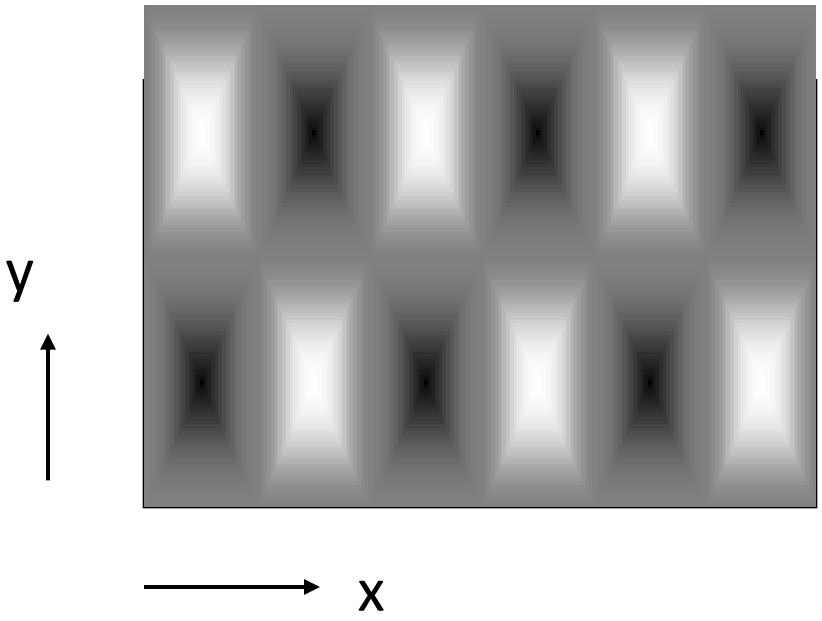


Domínio do Espaço

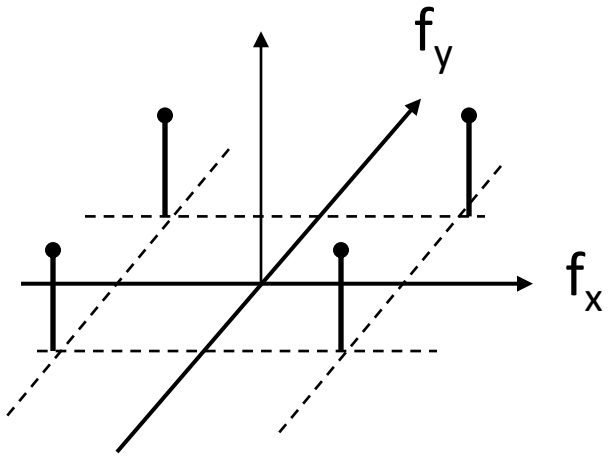


Domínio da Frequência Espacial

Espectro Bi-dimensional

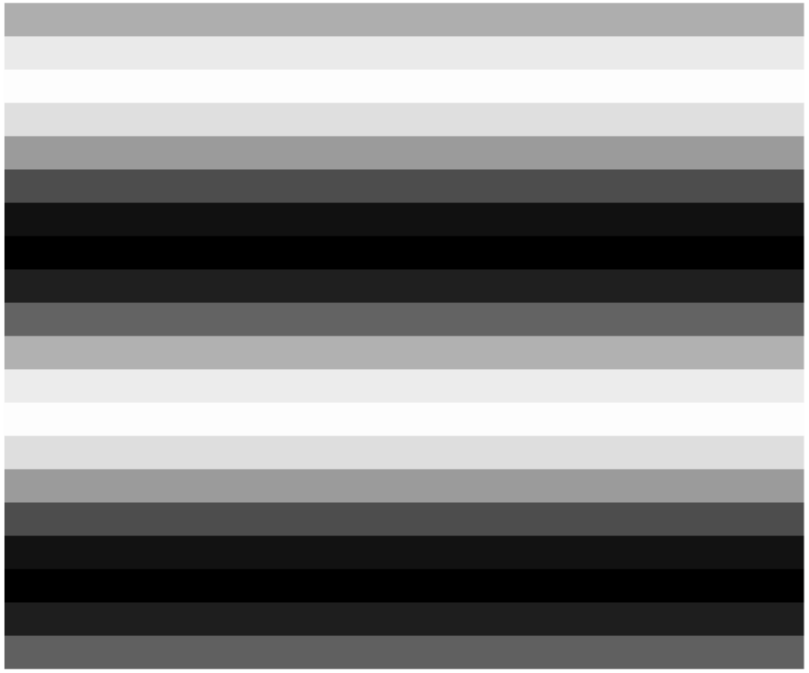


Domínio do Espaço



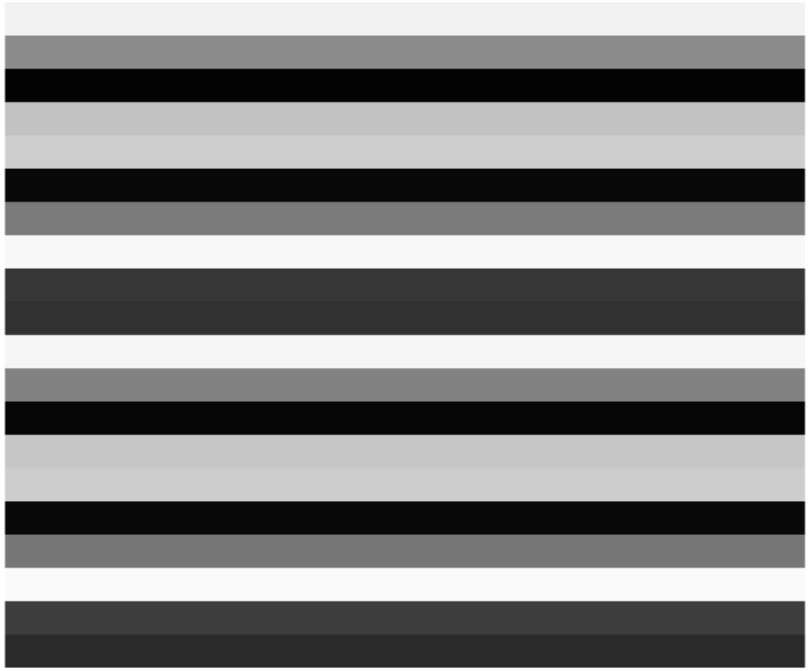
Domínio da Frequência Espacial

Critério de Kell x Nyquist

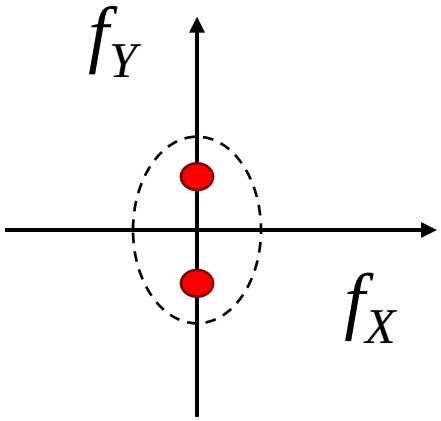


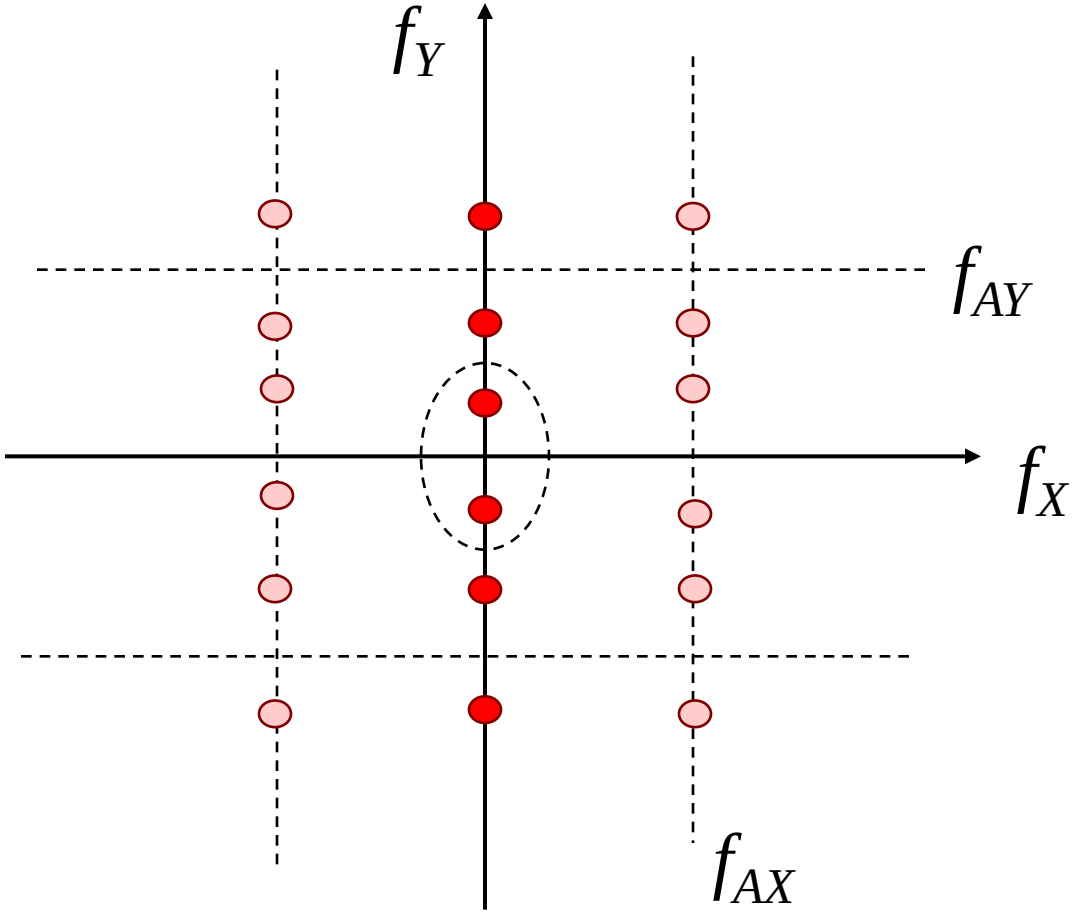
$f_M / f_A = 0{,}2$

$f_M / f_A = 0{,}3$

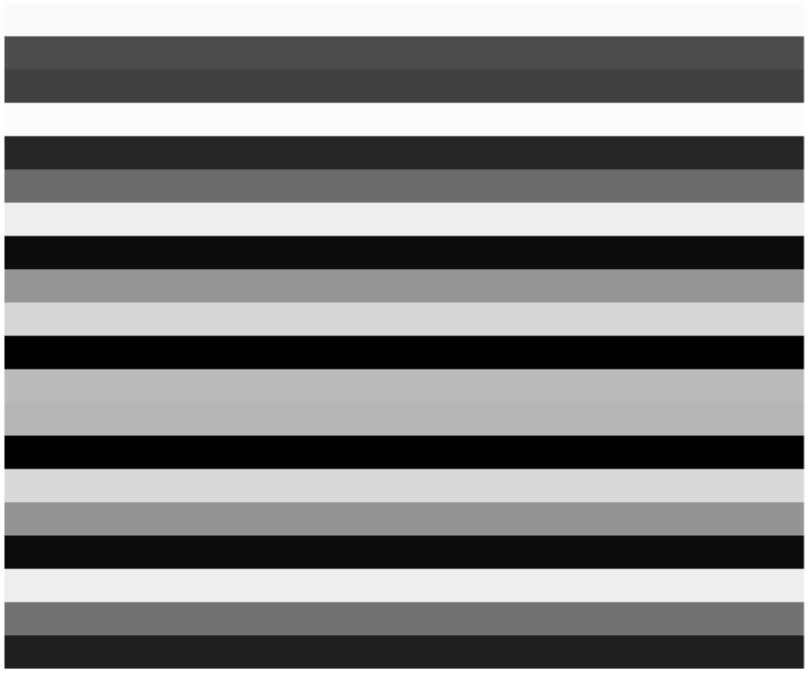


$f_M / f_A = 0{,}3$

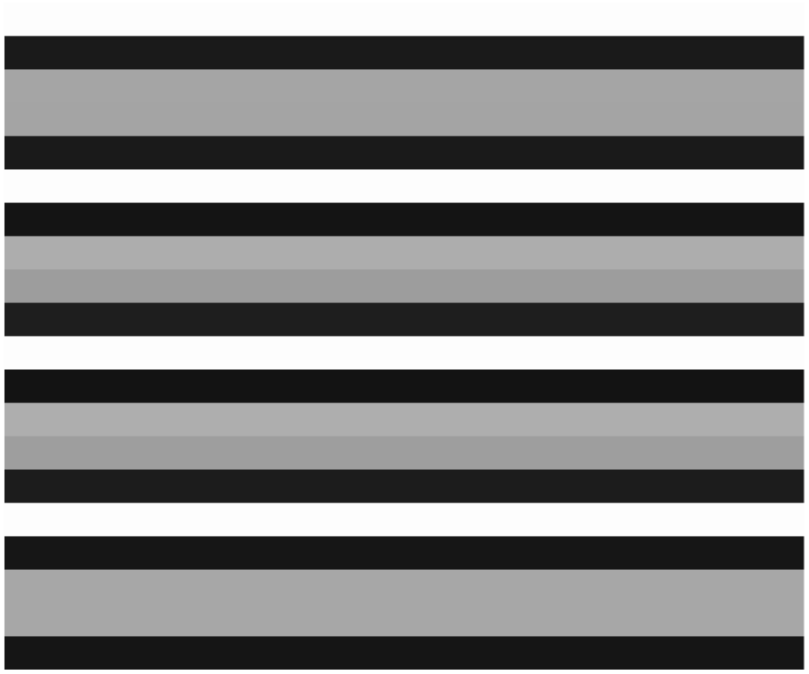


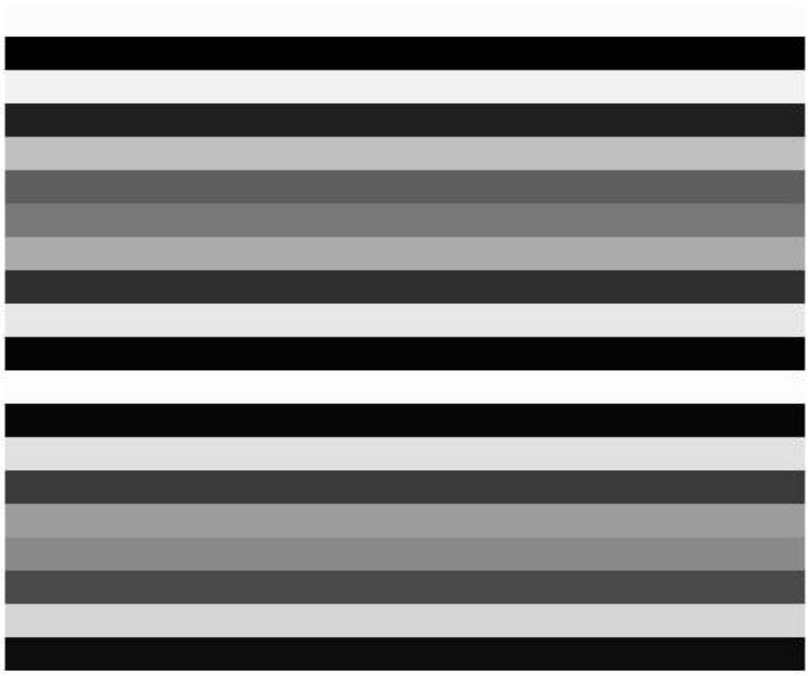


$f_M / f_A = 0{,}35$

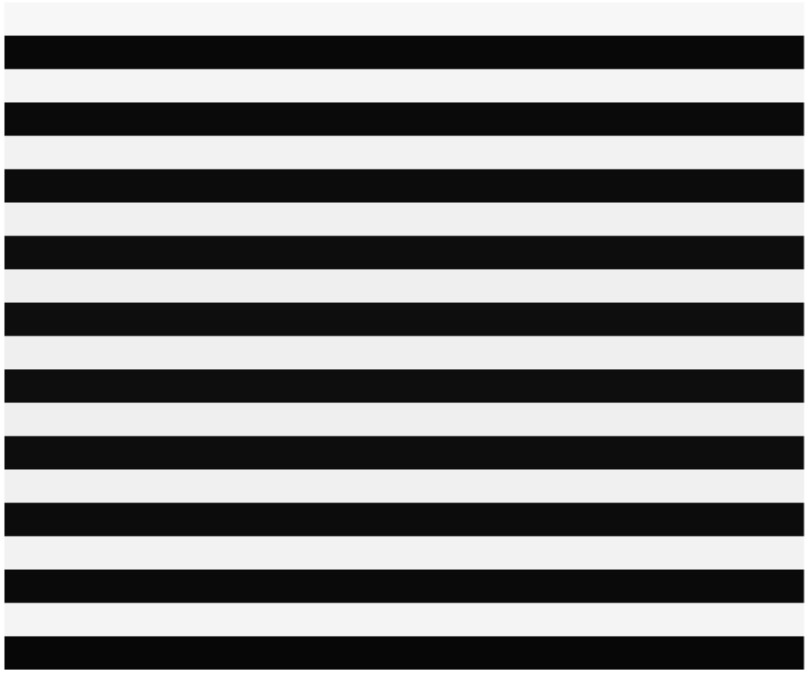


$f_M / f_A = 0{,}4$

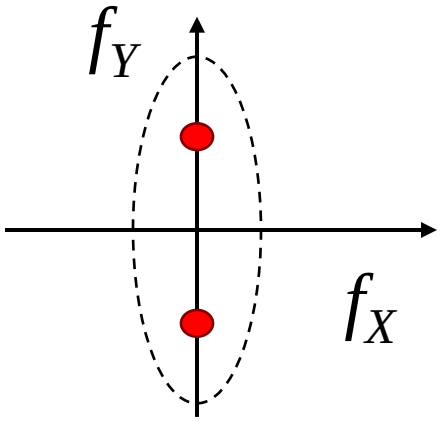


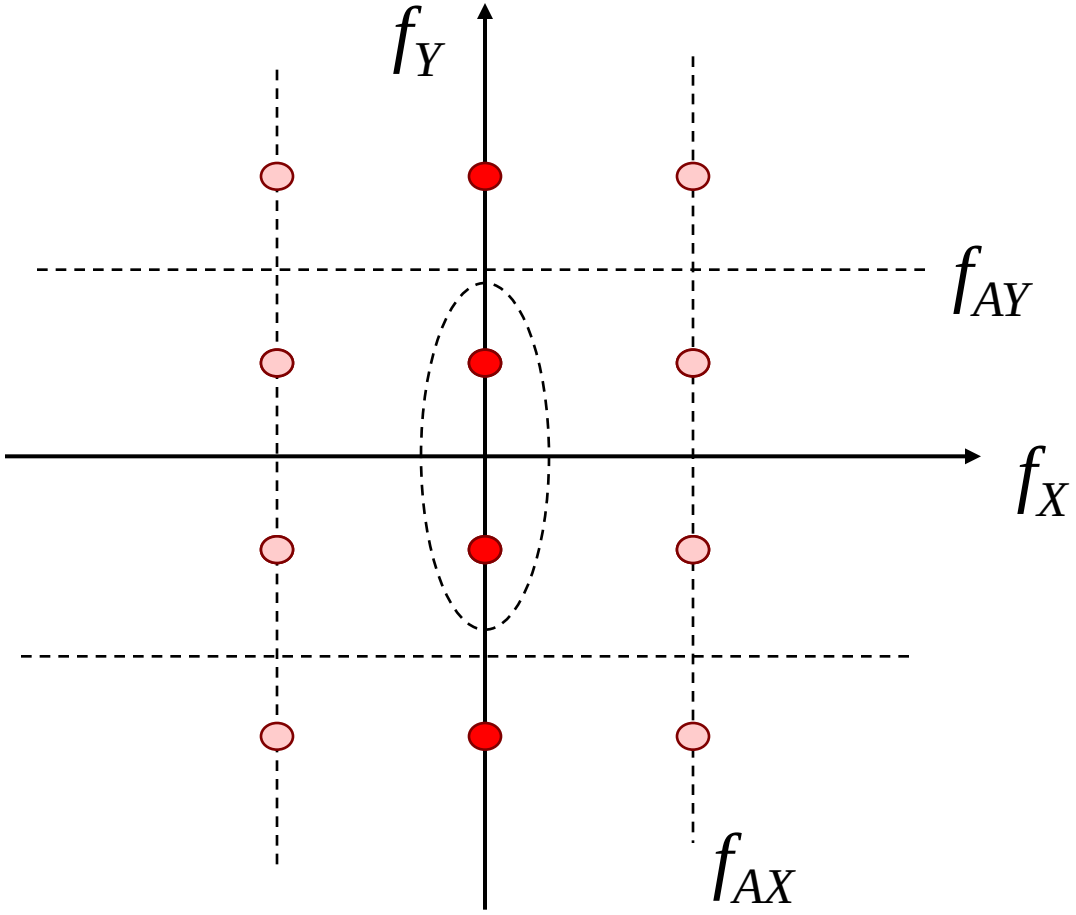


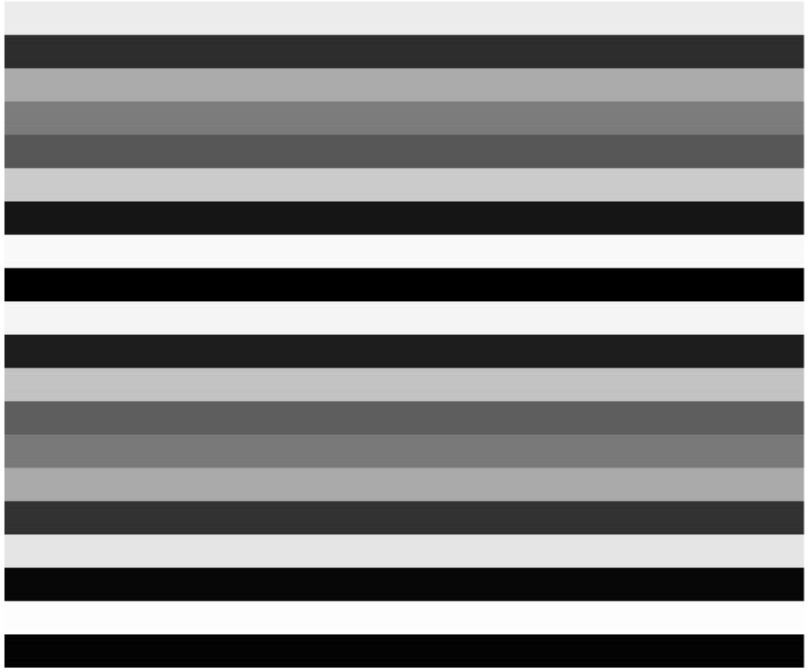
$f_M / f_A = 0{,}5$



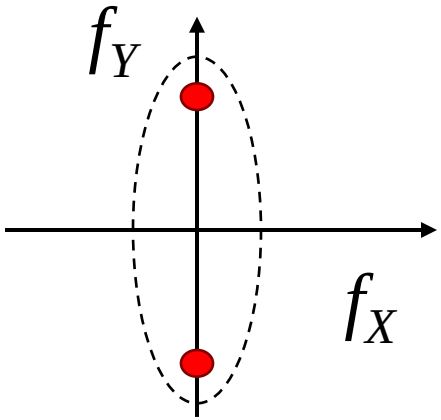
$f_M / f_A = 0{,}5$

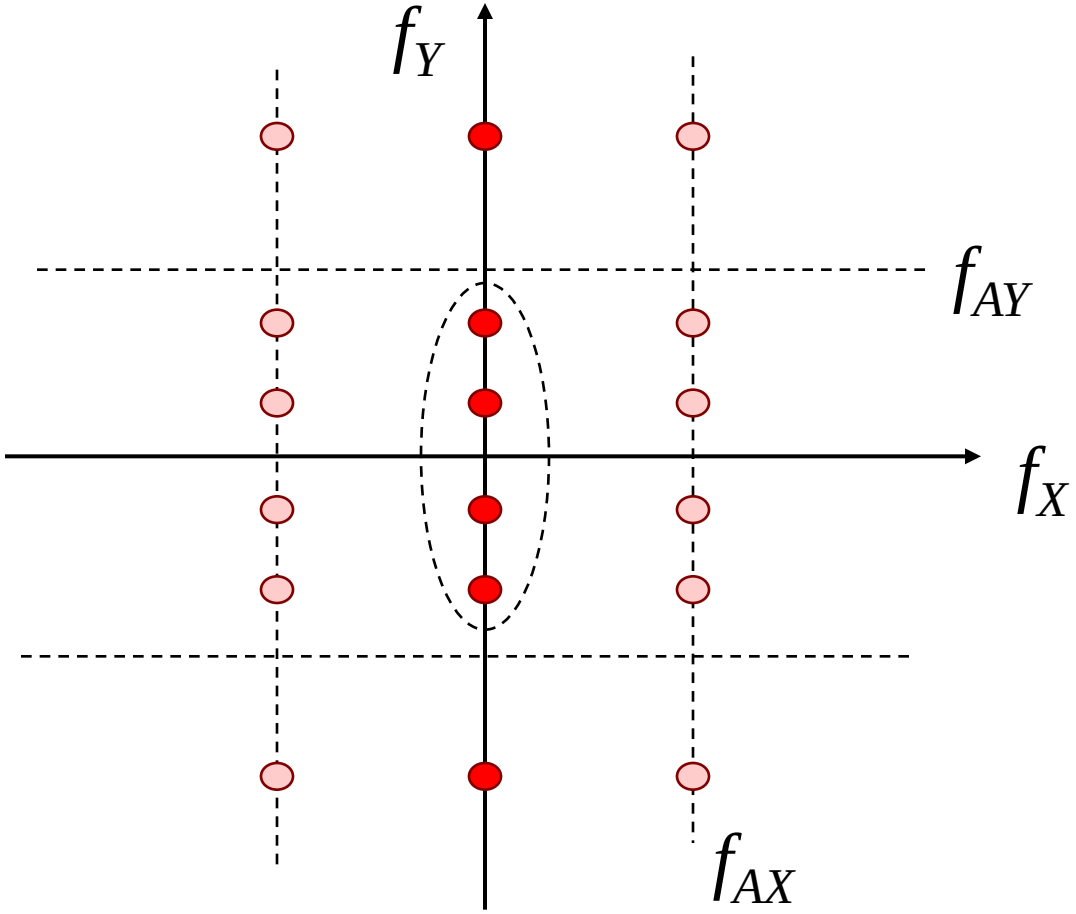


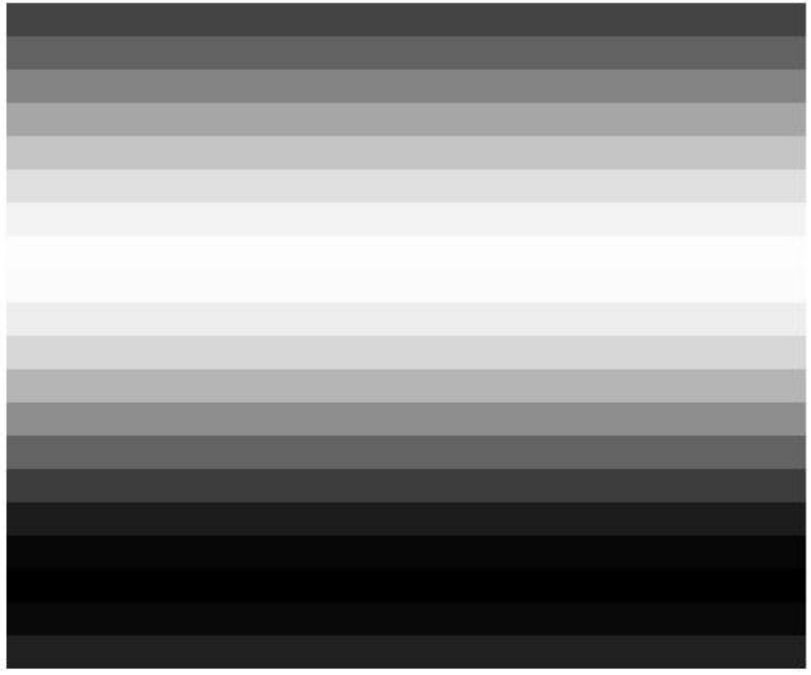




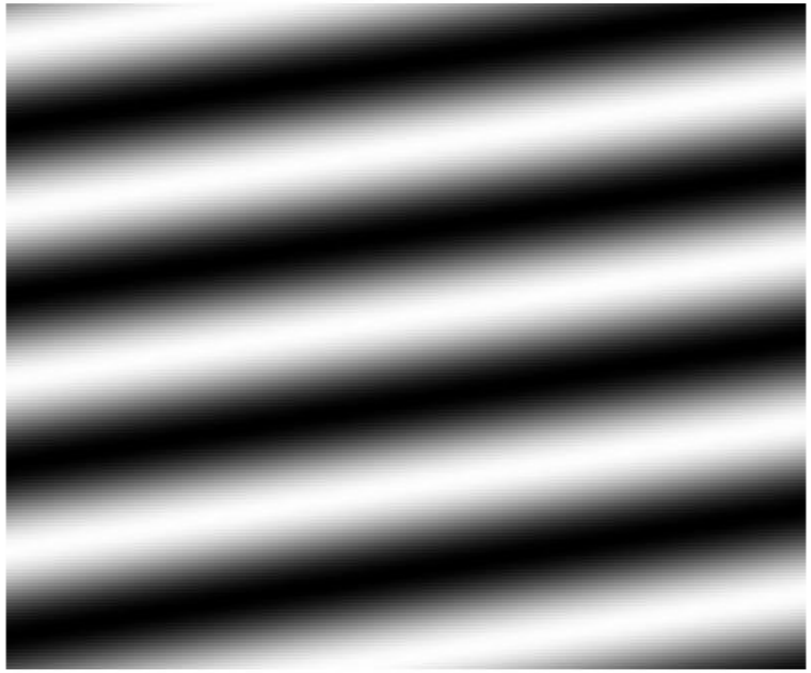
$f_M / f_A = 0{,}8$

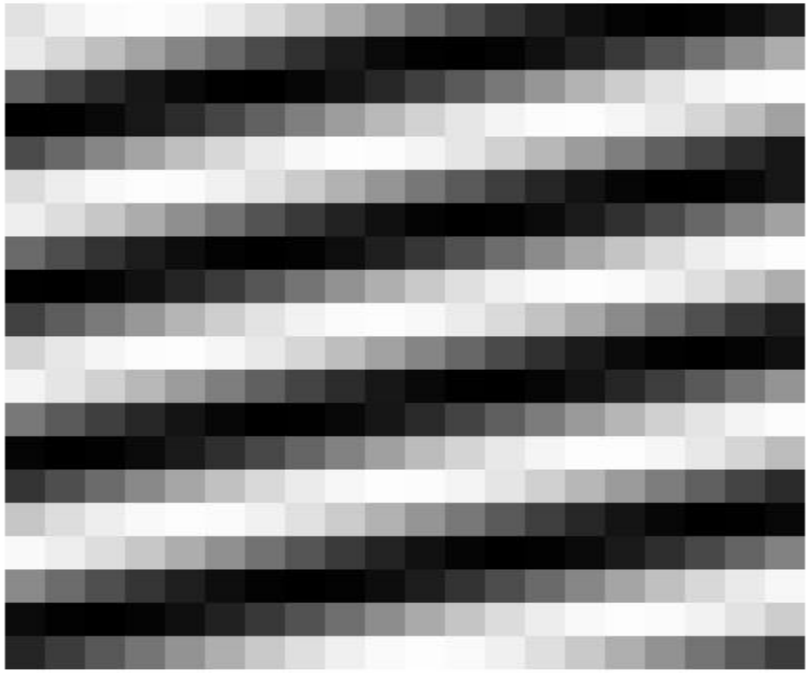




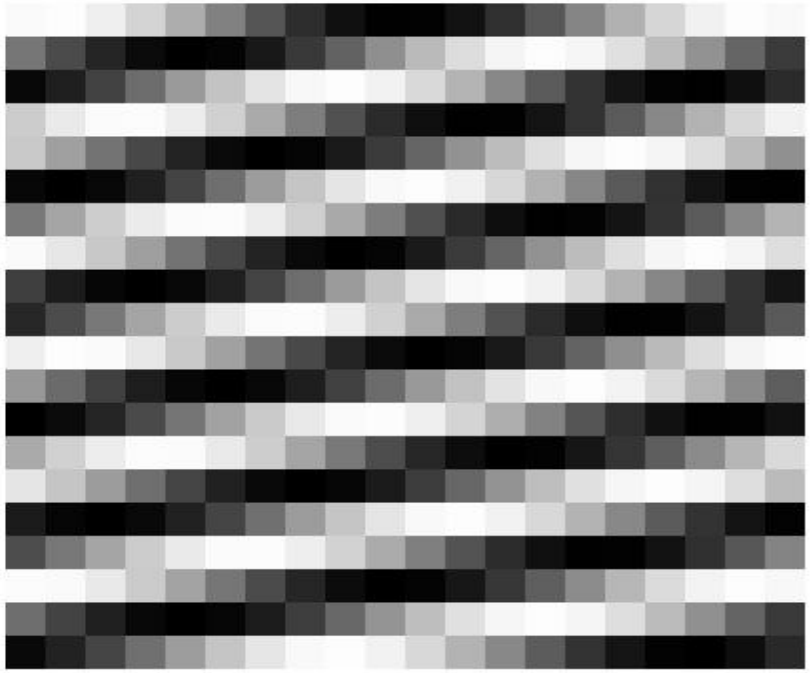


$f_M / f_A = 0{,}2$

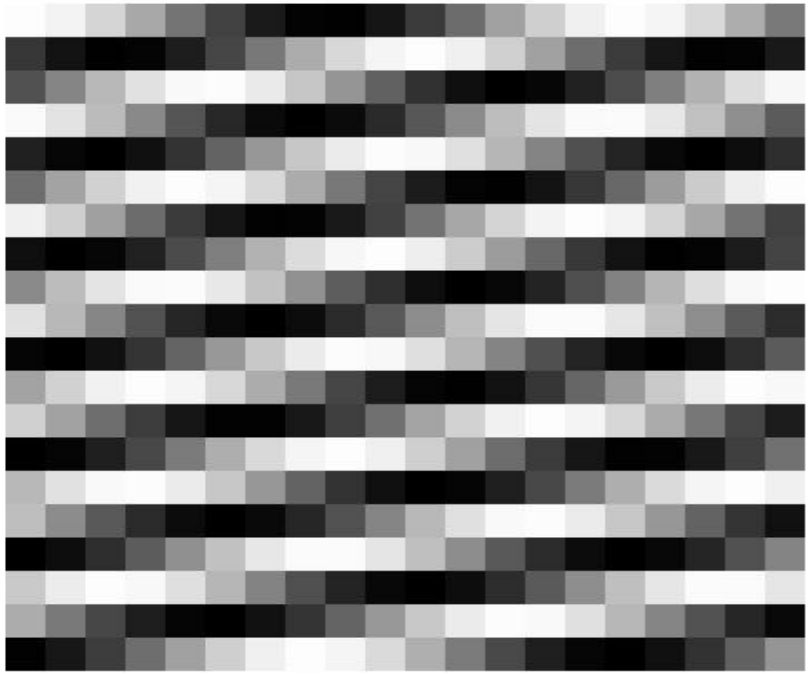


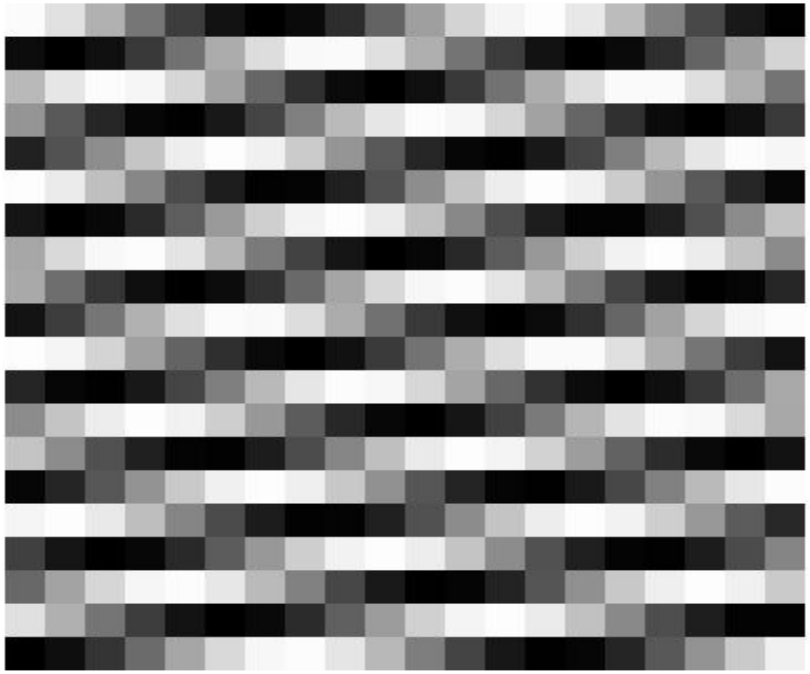


$f_M / f_A = 0{,}3$

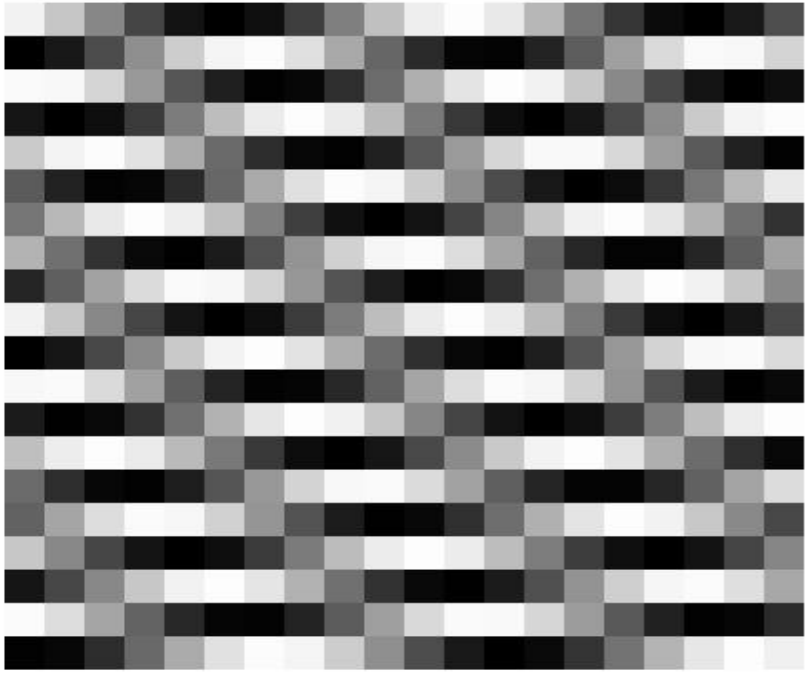


$f_M / f_A = 0{,}35$

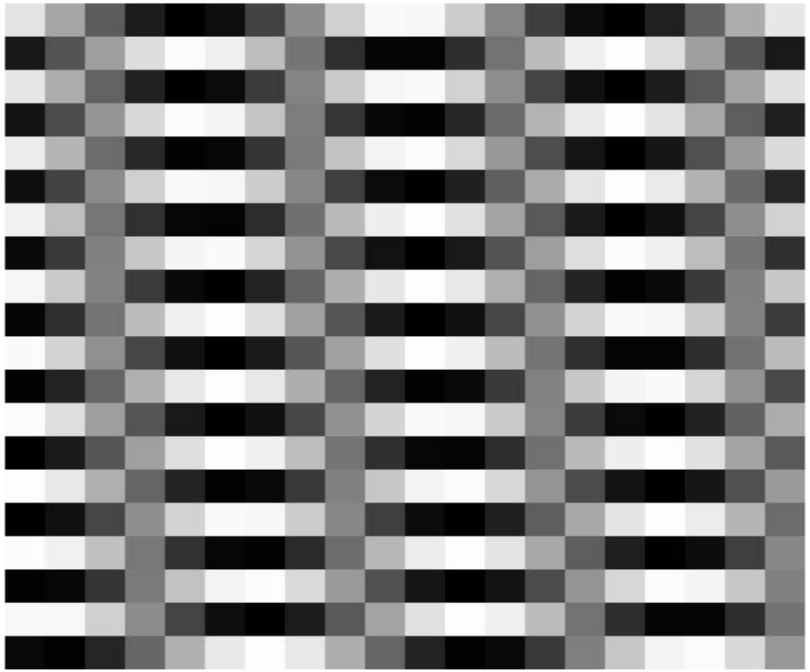




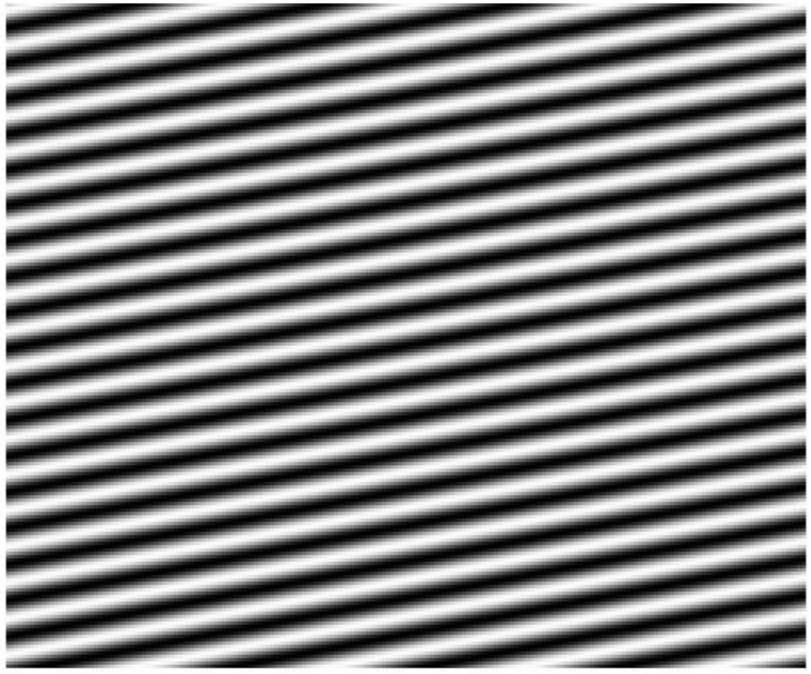
$f_M / f_A = 0{,}45$

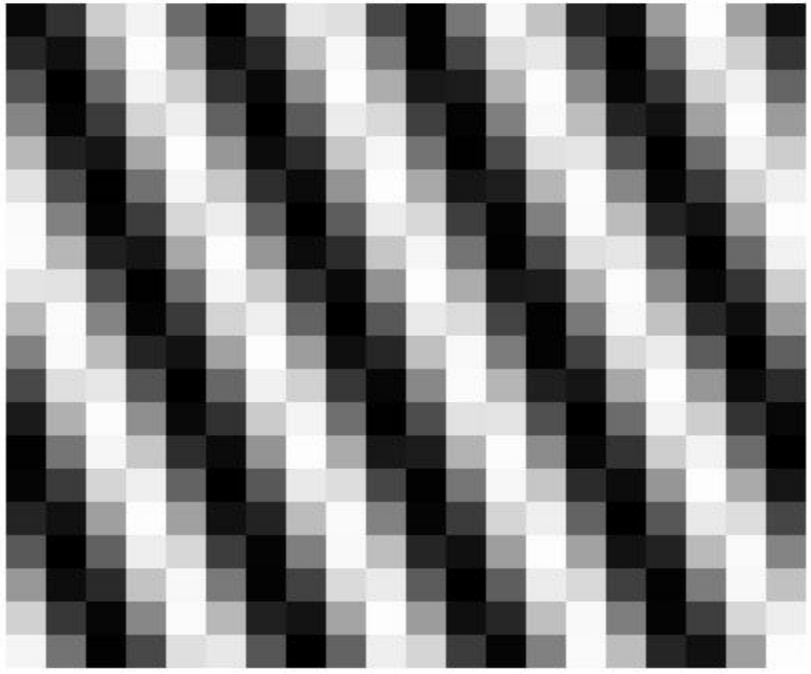


$f_M / f_A = 0{,}5$

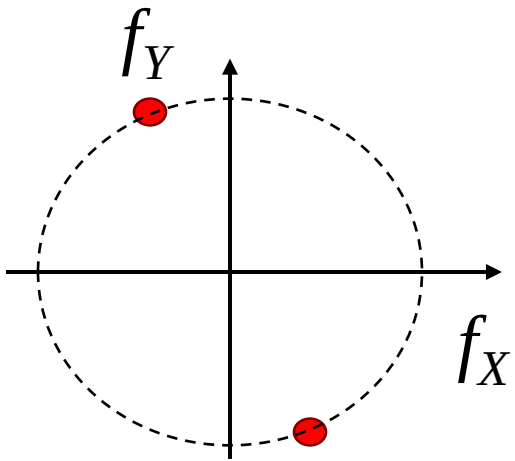


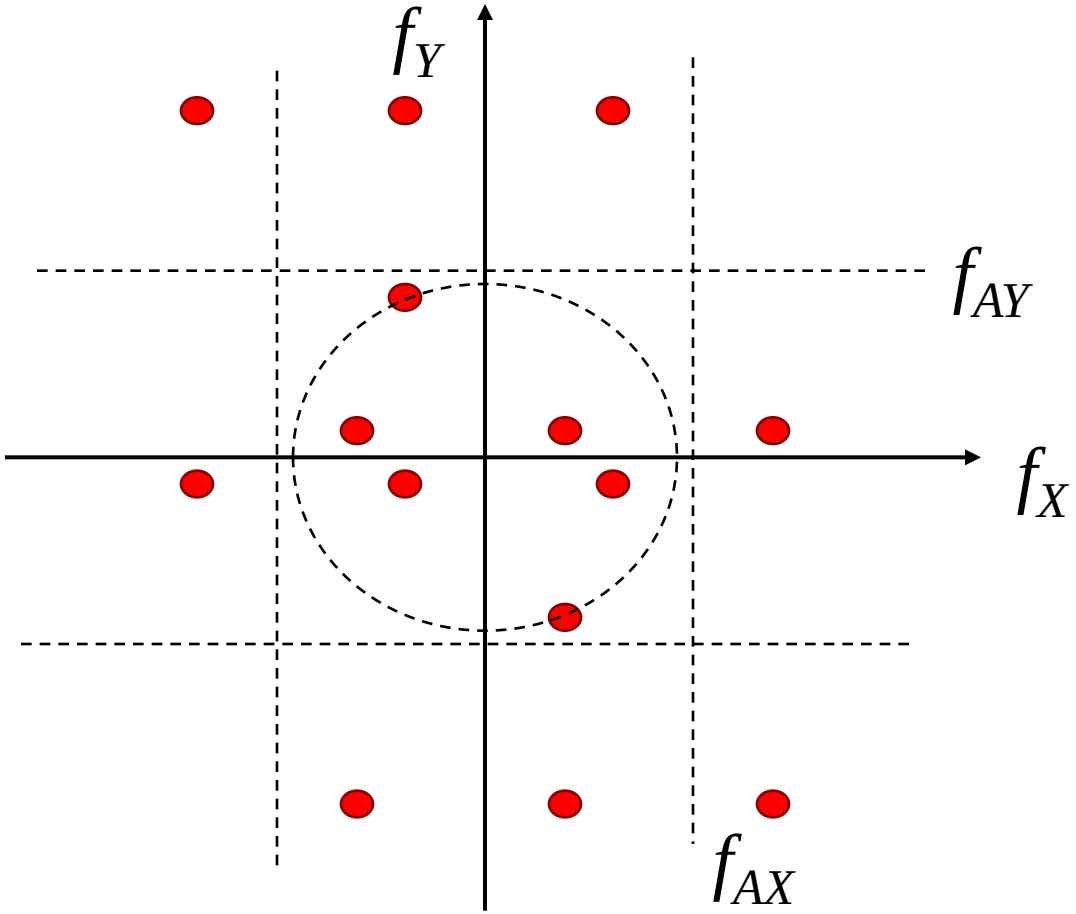
$f_M / f_A = 0{,}95$



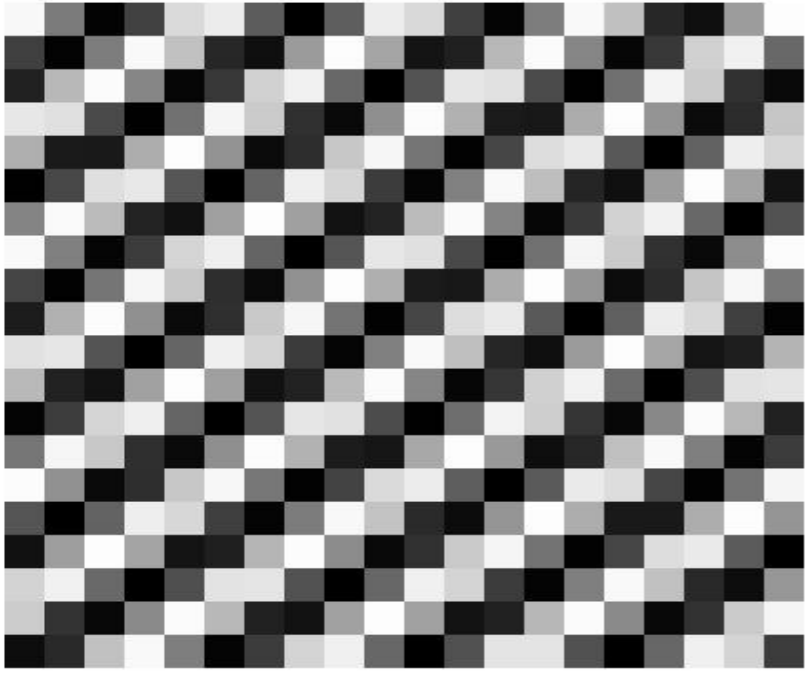


$f_M / f_A = 0{,}95$

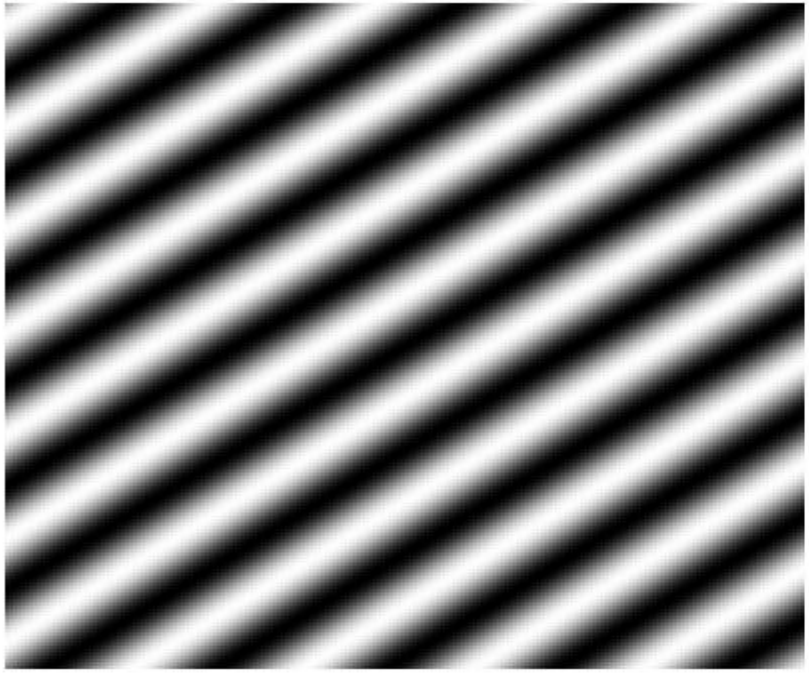


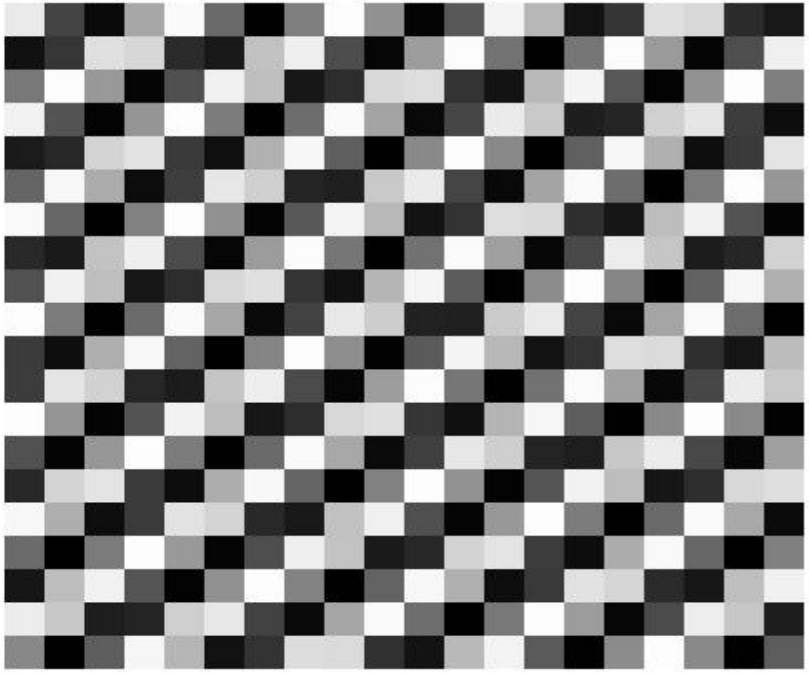


$f_M / f_A = 0{,}35$

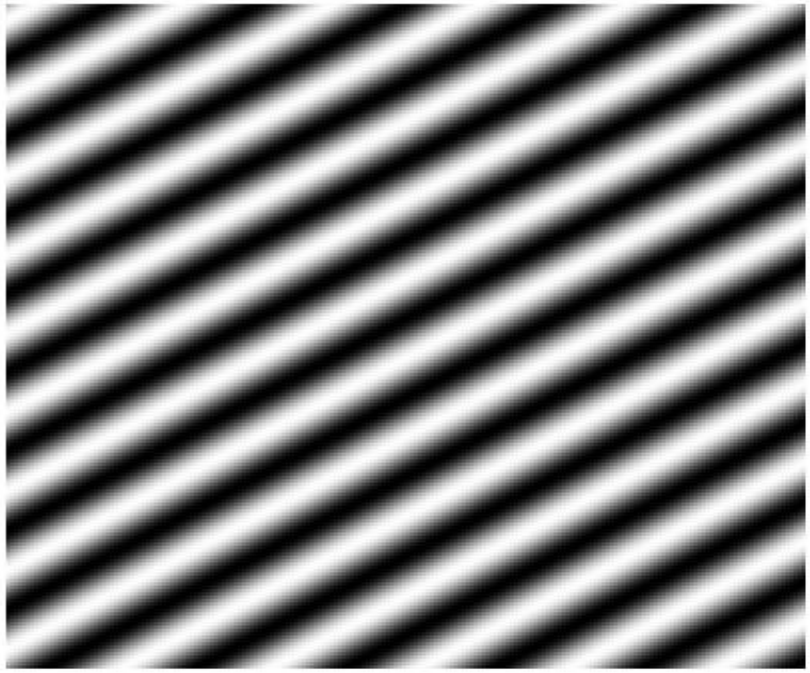


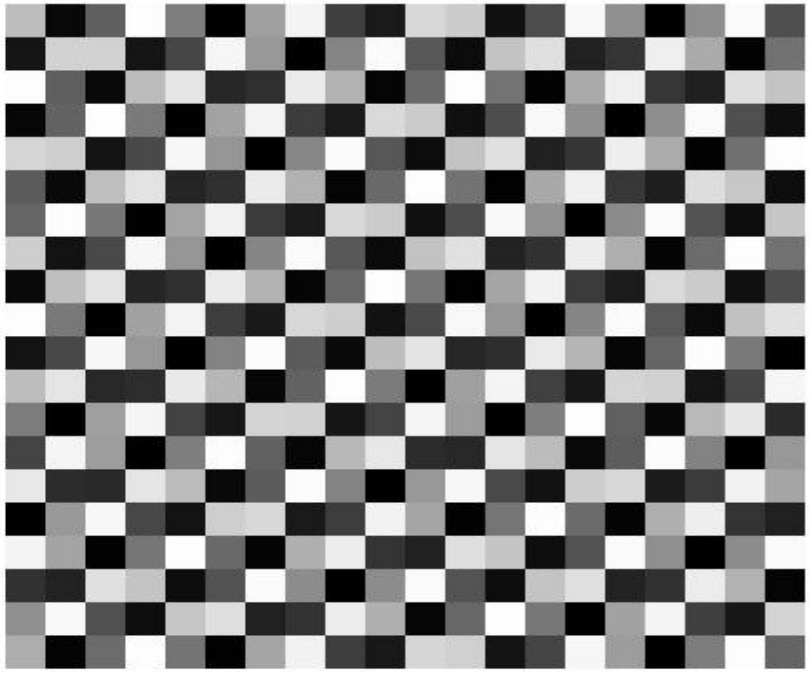
$f_M / f_A = 0{,}4$



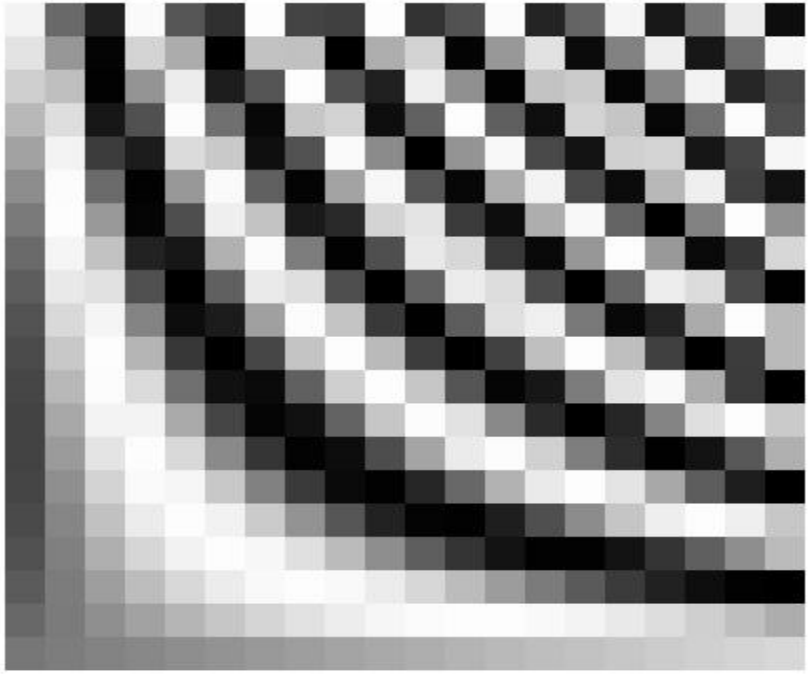


$f_M / f_A = 0{,}5$

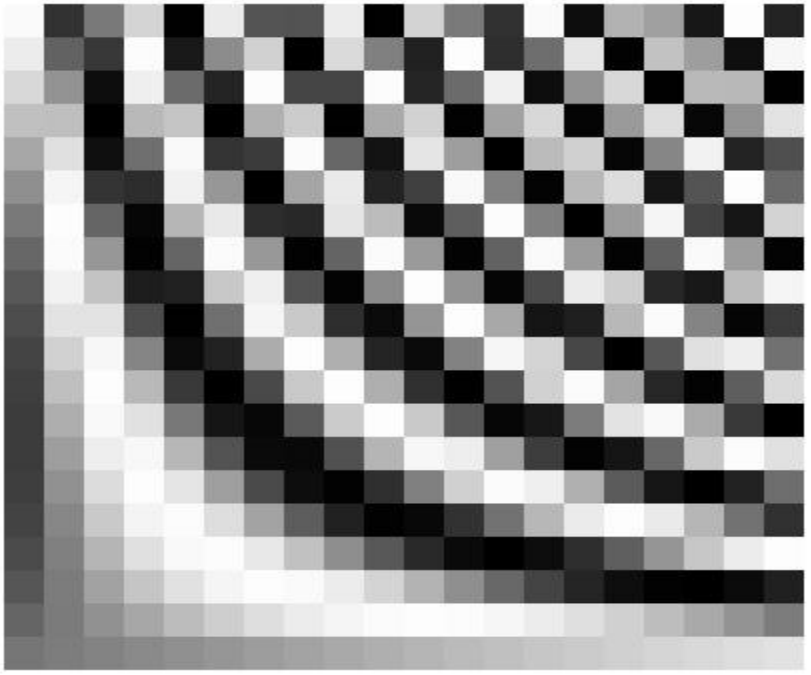




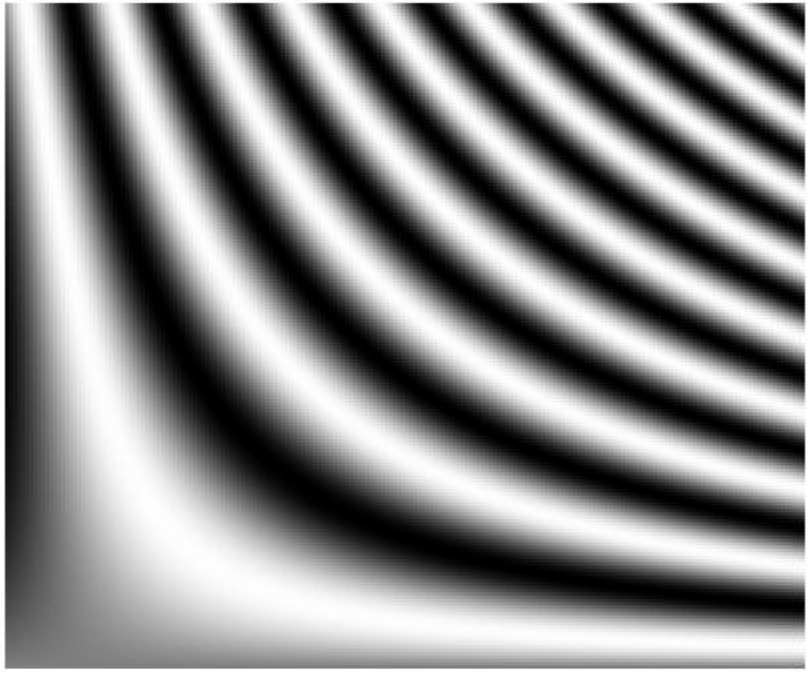
$f_M / f_A = 0{,}35$

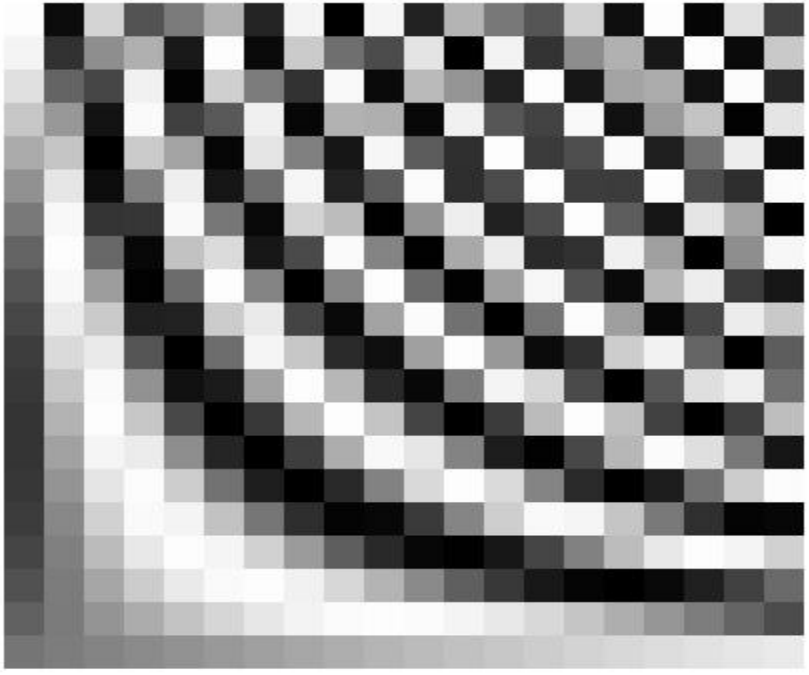


$f_M / f_A = 0{,}4$

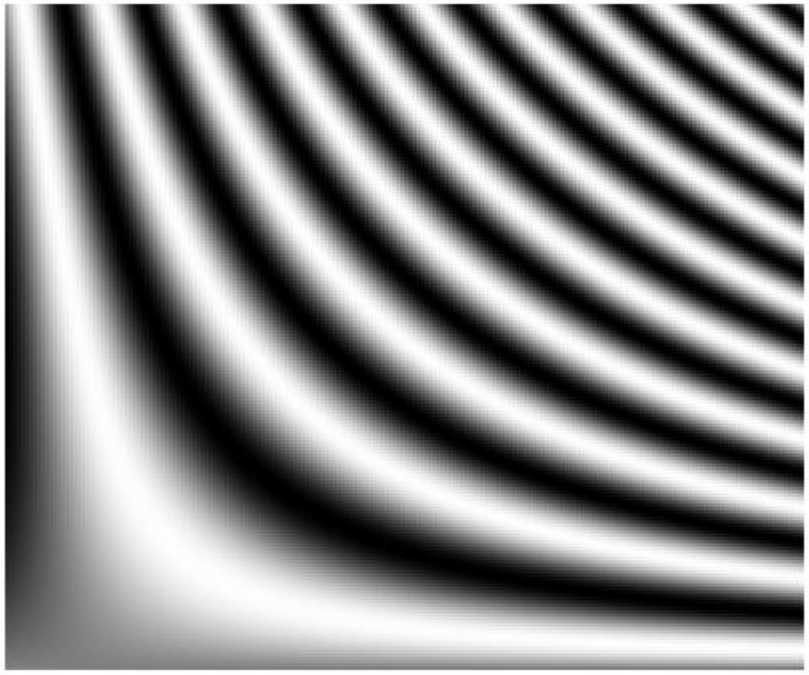


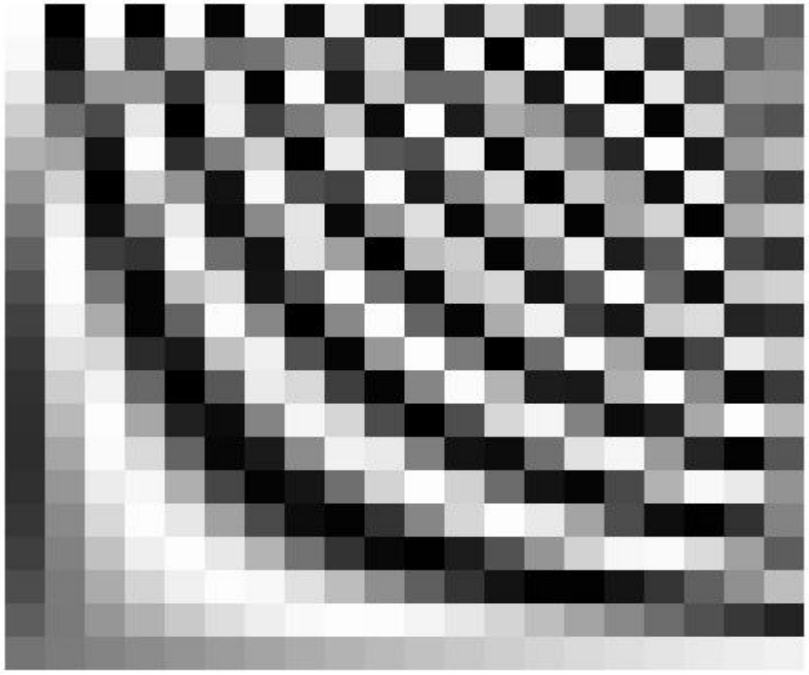
$f_M / f_A = 0{,}45$





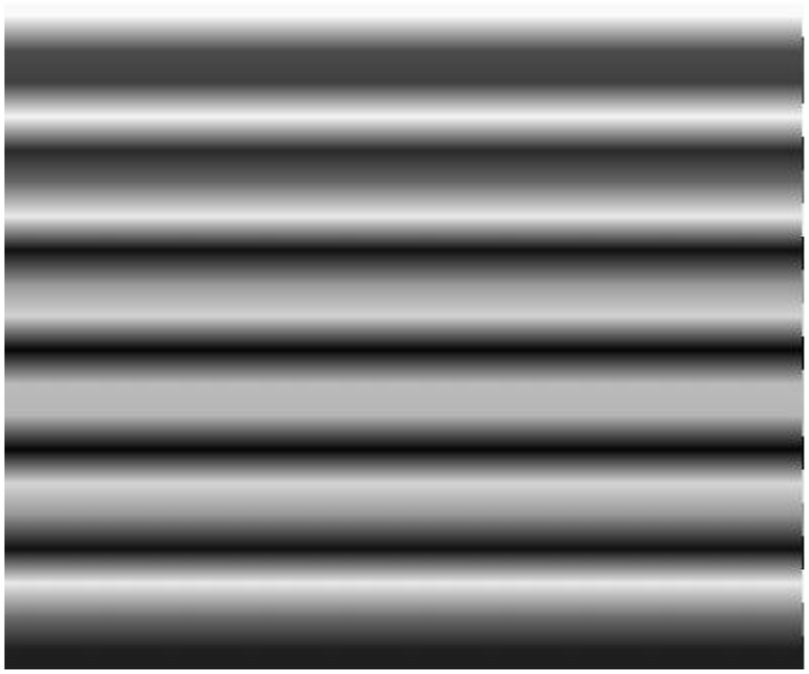
$f_M / f_A = 0{,}5$



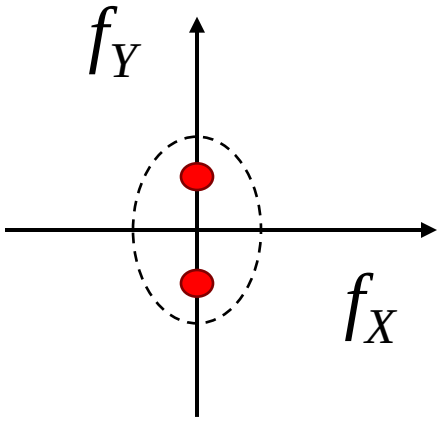


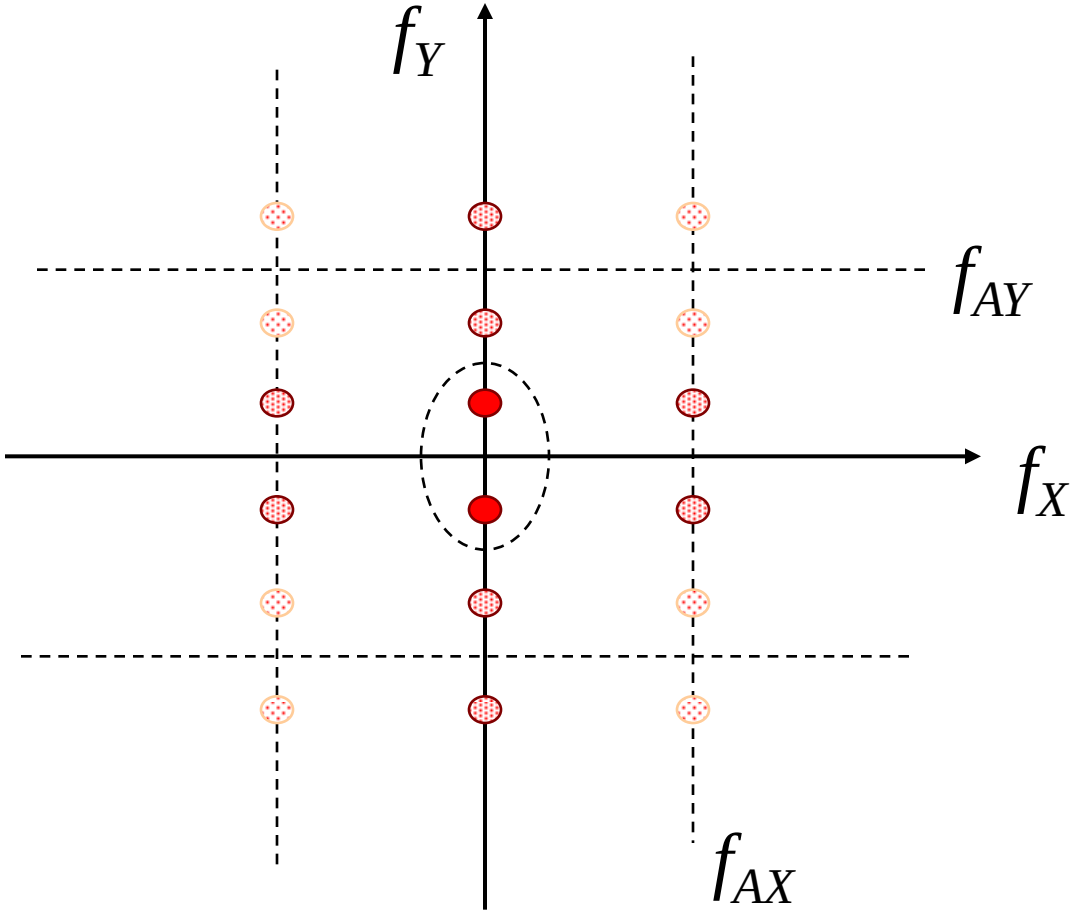
Amostragem com Função de Reconstrução Triangular

$f_M / f_A = 0{,}35$

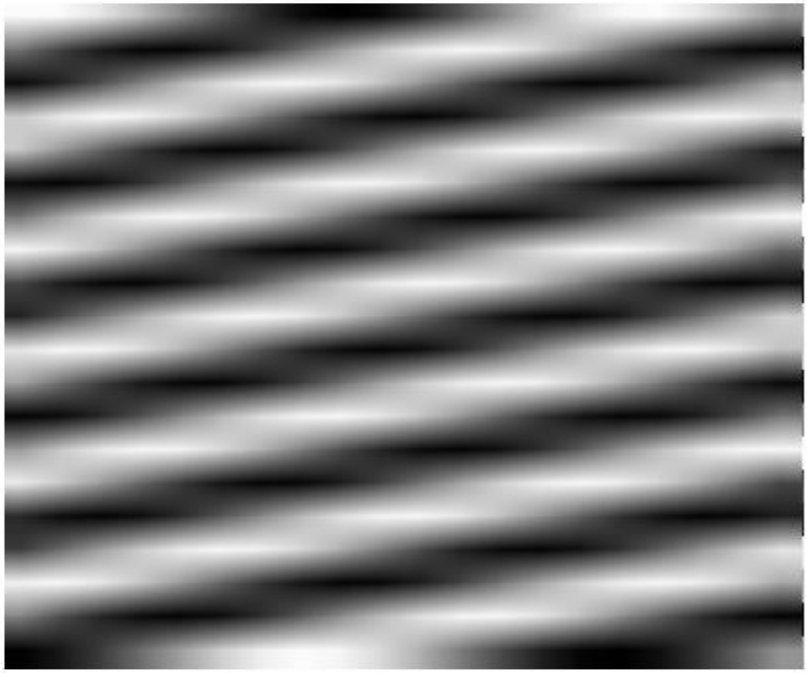


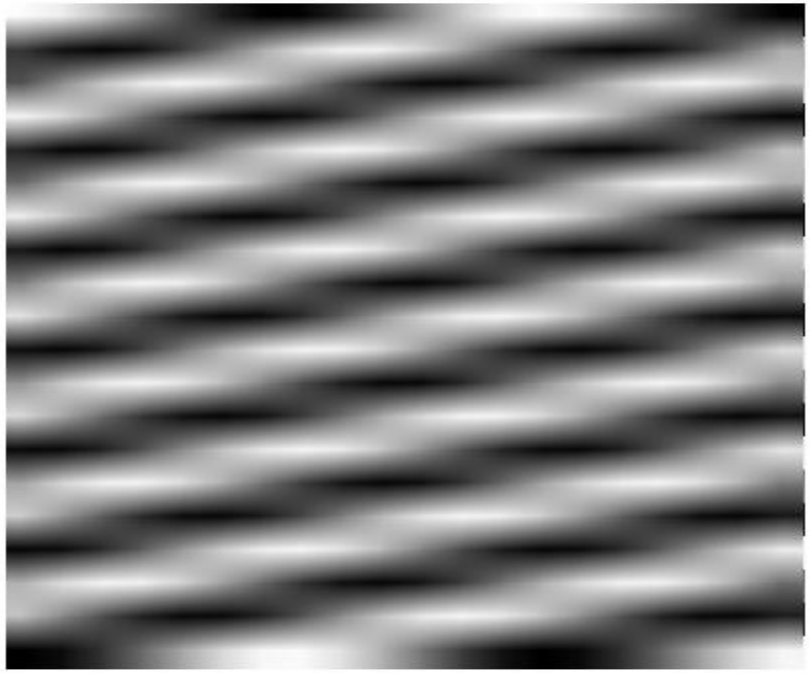
$f_M / f_A = 0{,}35$



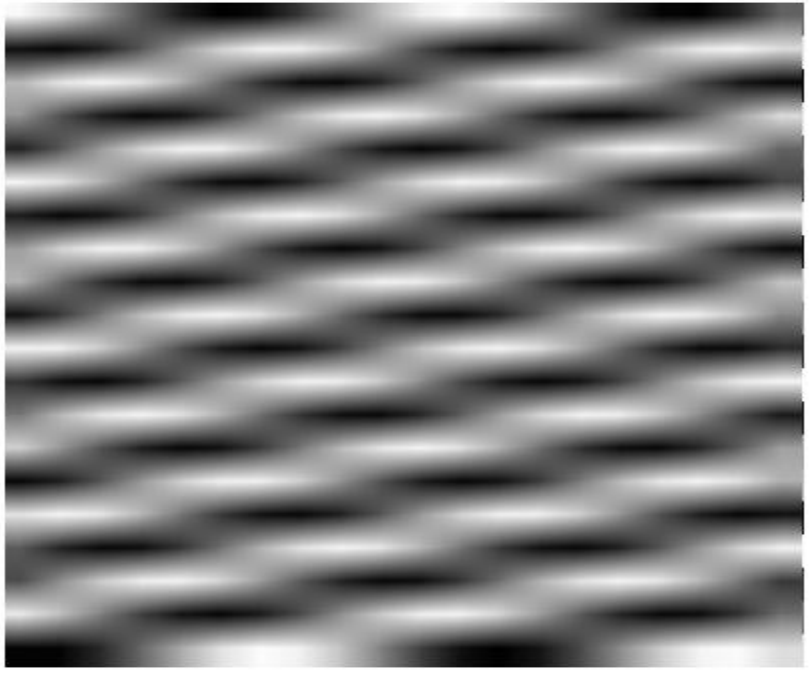


$f_M / f_A = 0{,}3$

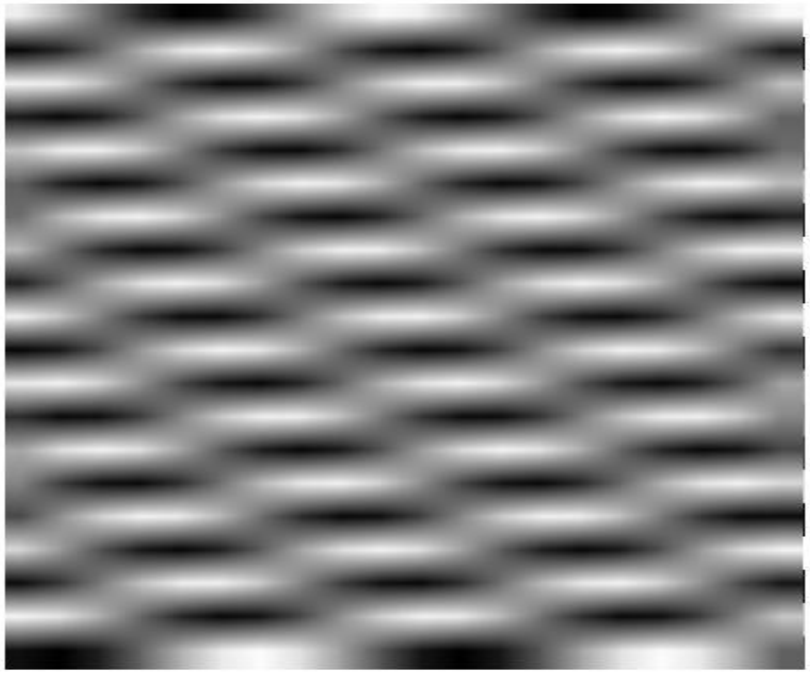




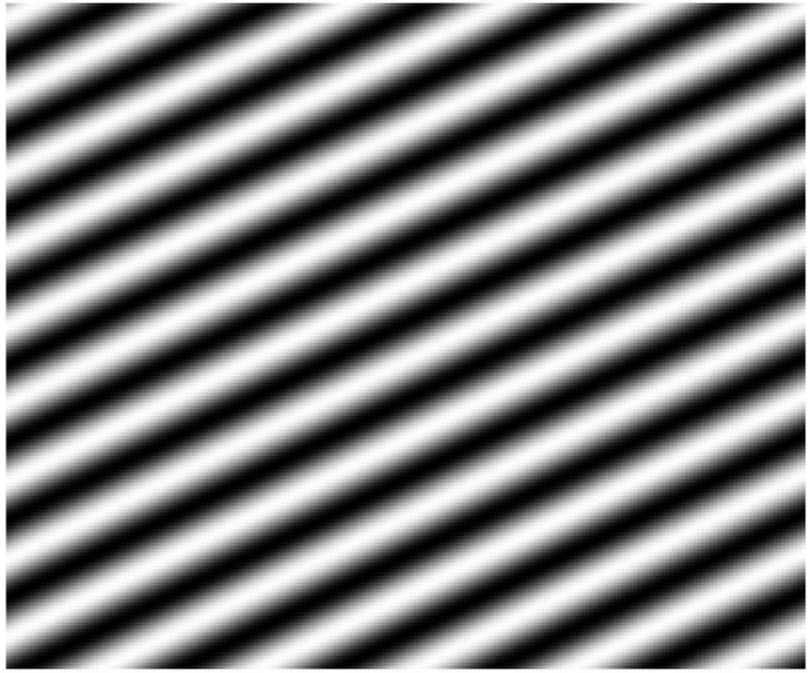
$f_M / f_A = 0{,}4$

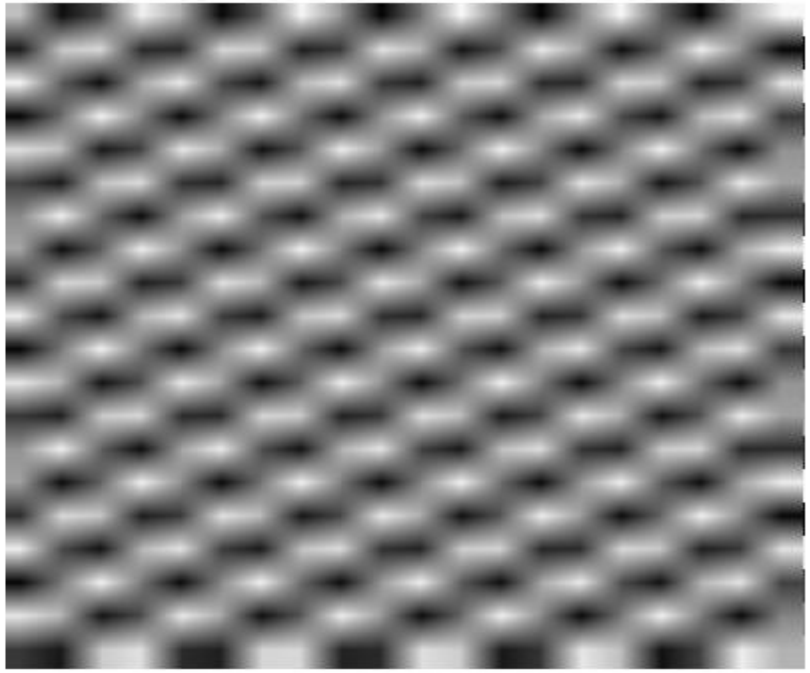


$f_M / f_A = 0{,}45$



$f_M / f_A = 0{,}5$





“Aliasing” Espacial: Efeito “Moirée”

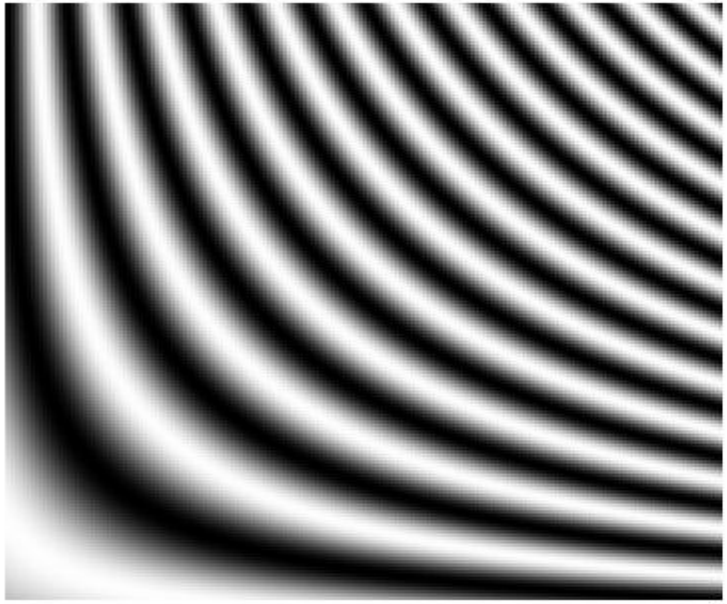


Imagem Original

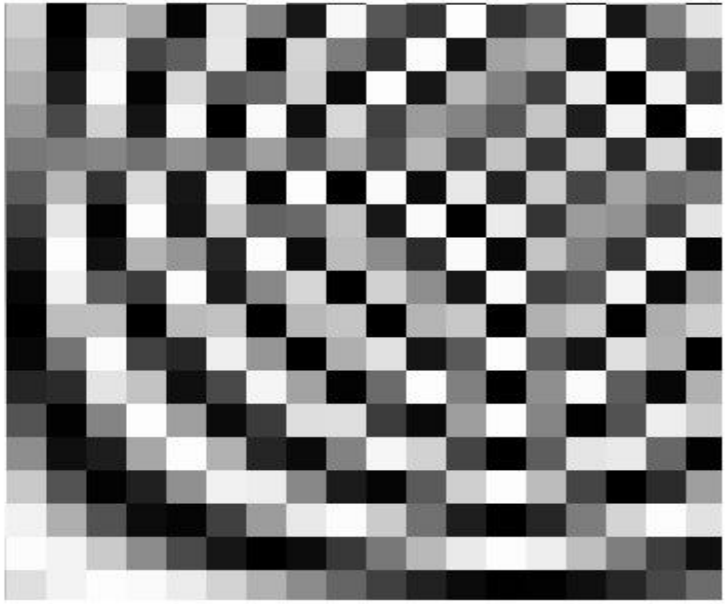


Imagem Amostrada

“Aliasing” Espacial: Efeito “Moirée”

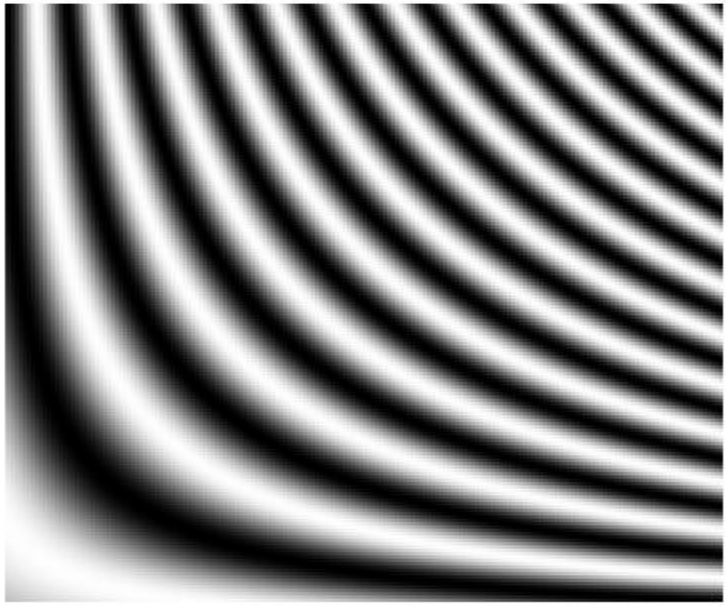


Imagem Original

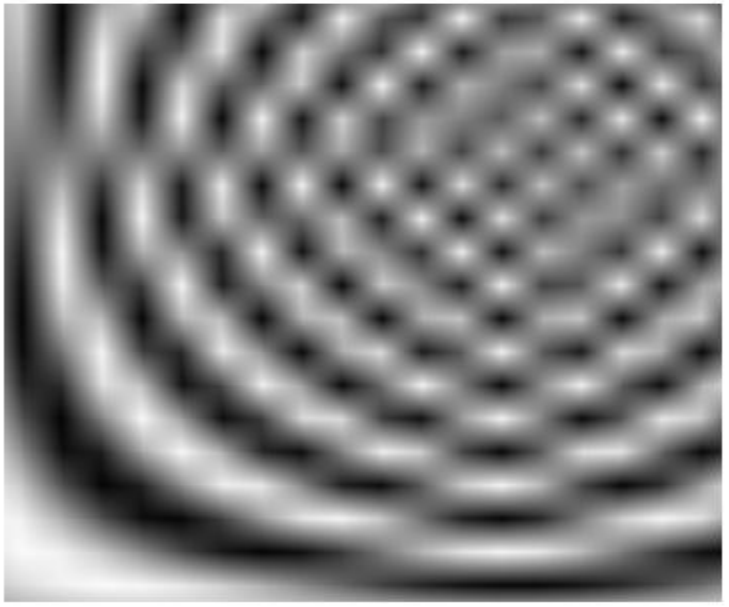
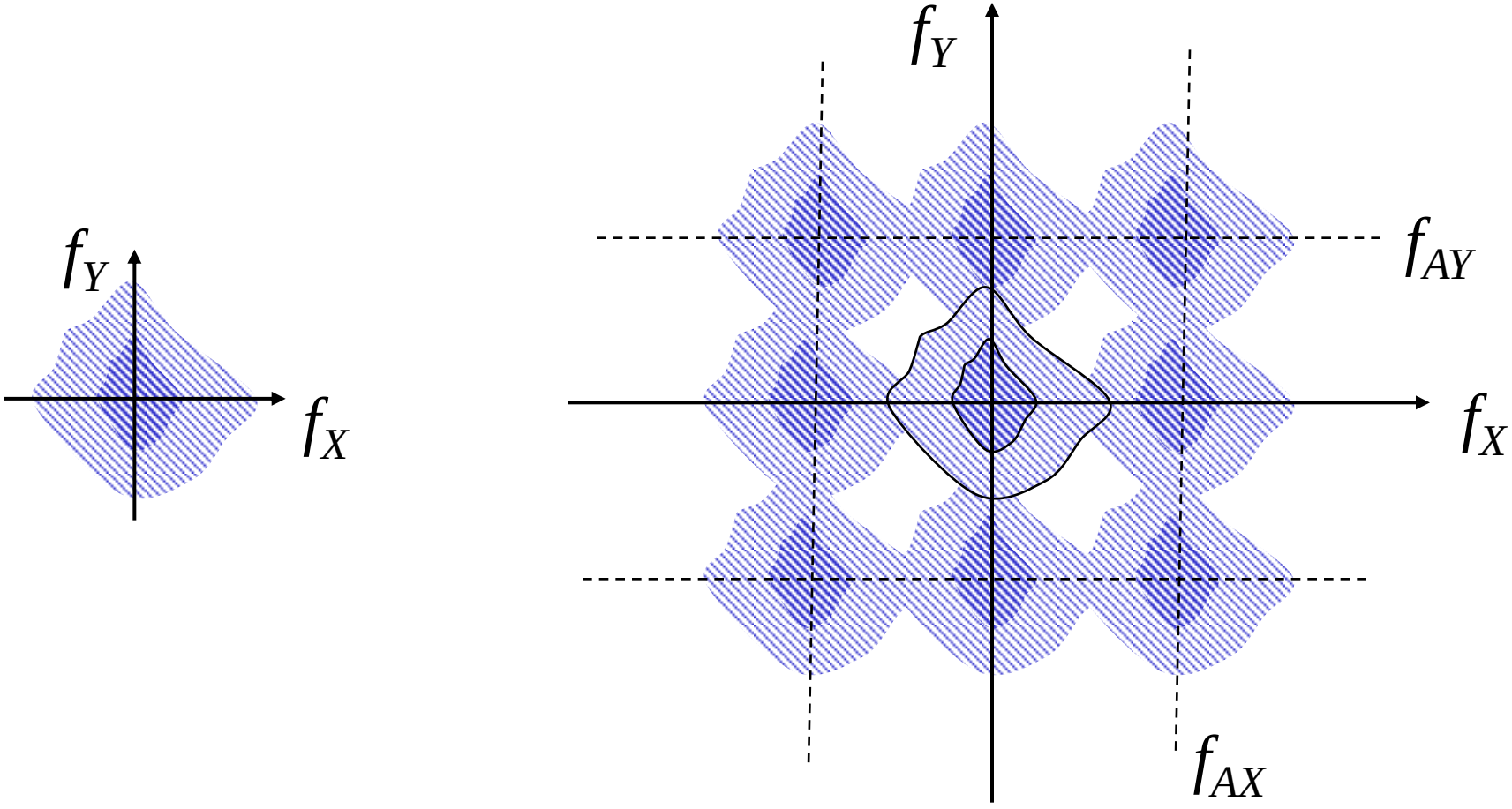


Imagem Amostrada
e reconstruída

Espectro 2-D da Imagem Amostrada



Redução do “Aliasing” Espacial por Filtragem

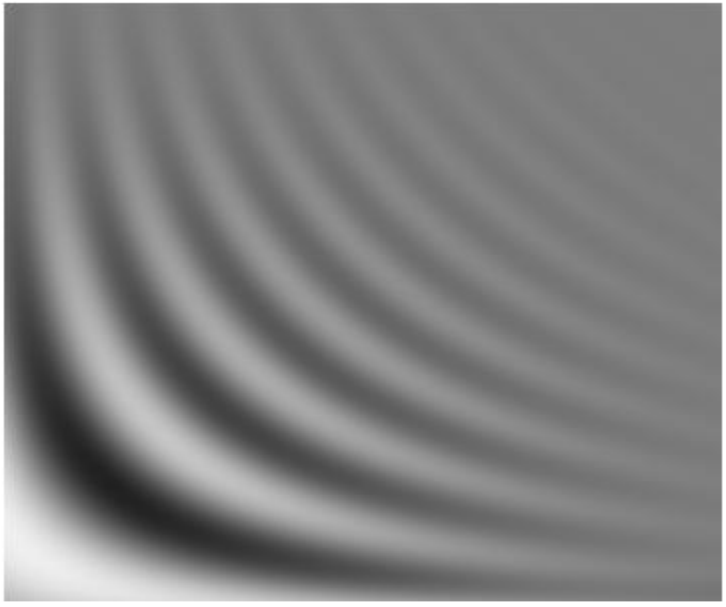
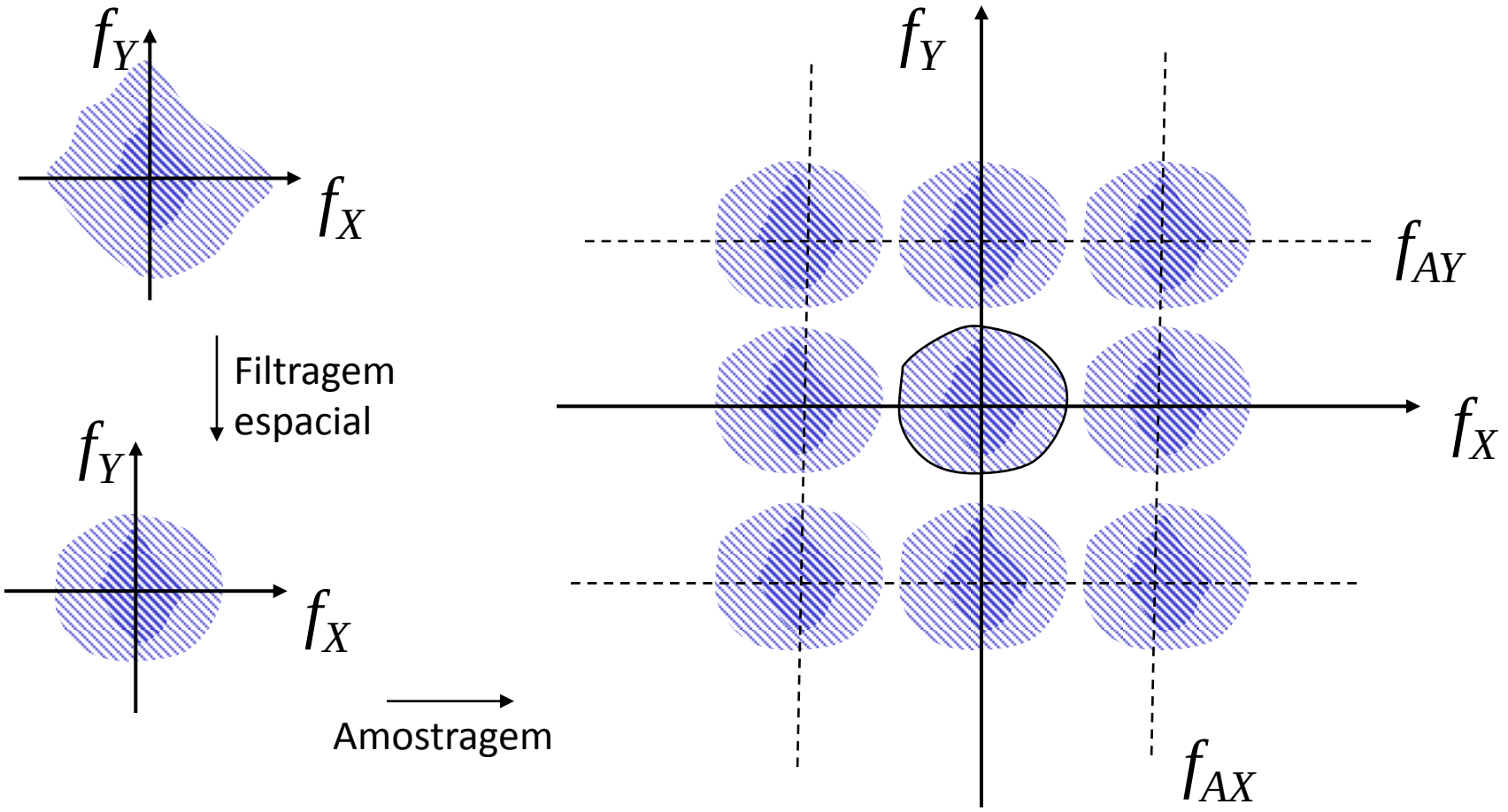


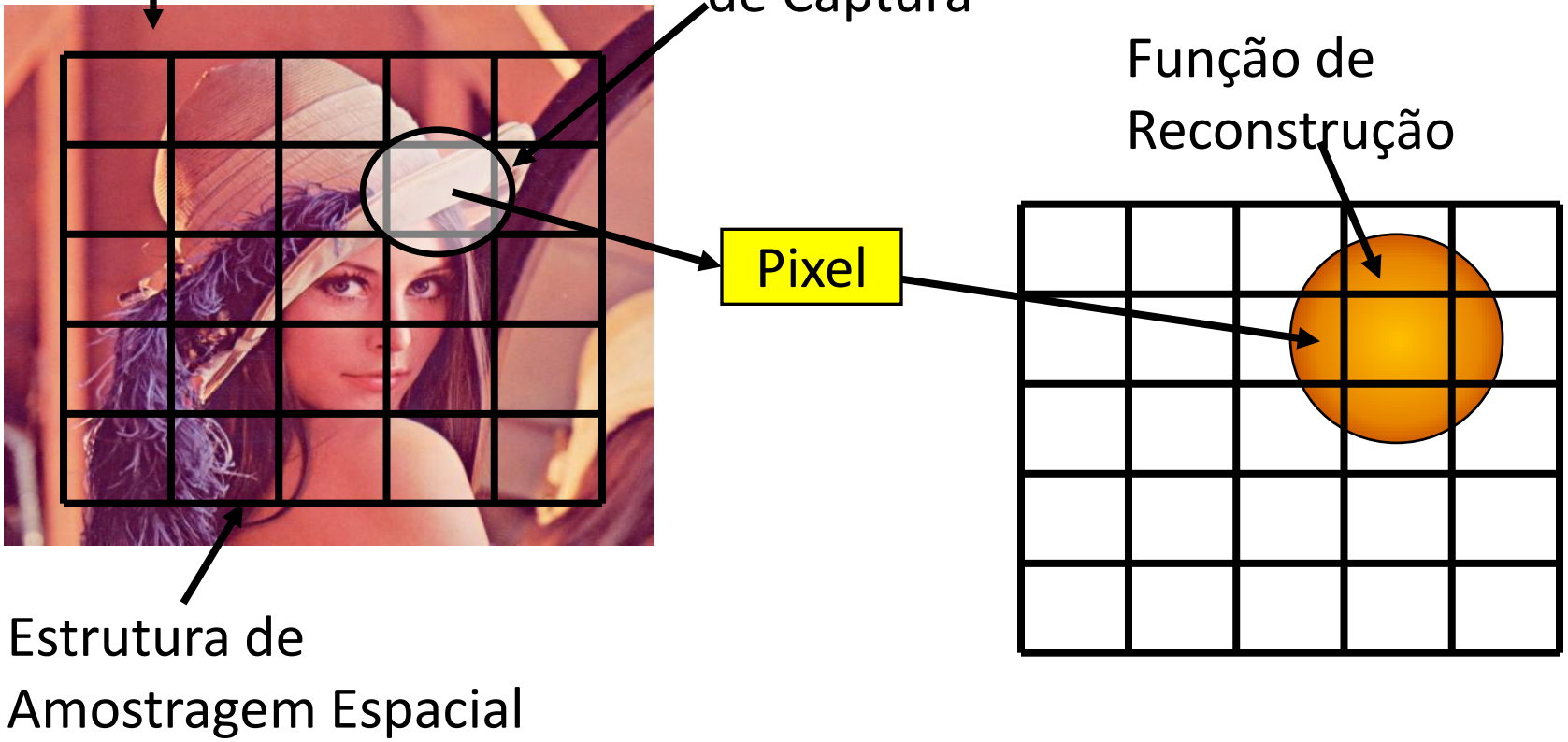
Imagem Filtrada por abertura equivalente

Imagem Amostrada e reconstruída

Espectro 2-D da Imagem Filtrada



Amostragem e Reconstrução



Amostragem e Reconstrução

- No domínio Espacial:
  - Convolução da imagem com a abertura equivalente de captura
  - Amostragem
  - Convolução da amostra com a função de Reconstrução

- No domínio da Frequência:
  - Filtragem pela MTF do processo de captura
  - Amostragem (translação e replicação espectral)
  - Filtragem pela MTF do processo de reconstrução

Imagem com Função de Reconstrução Quadrada

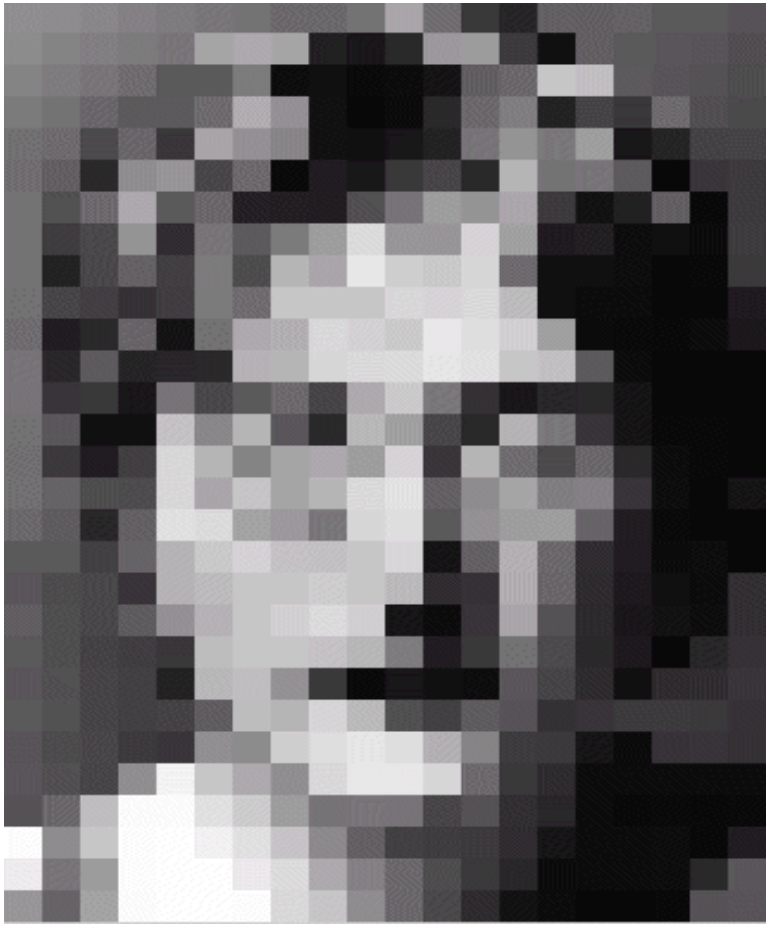
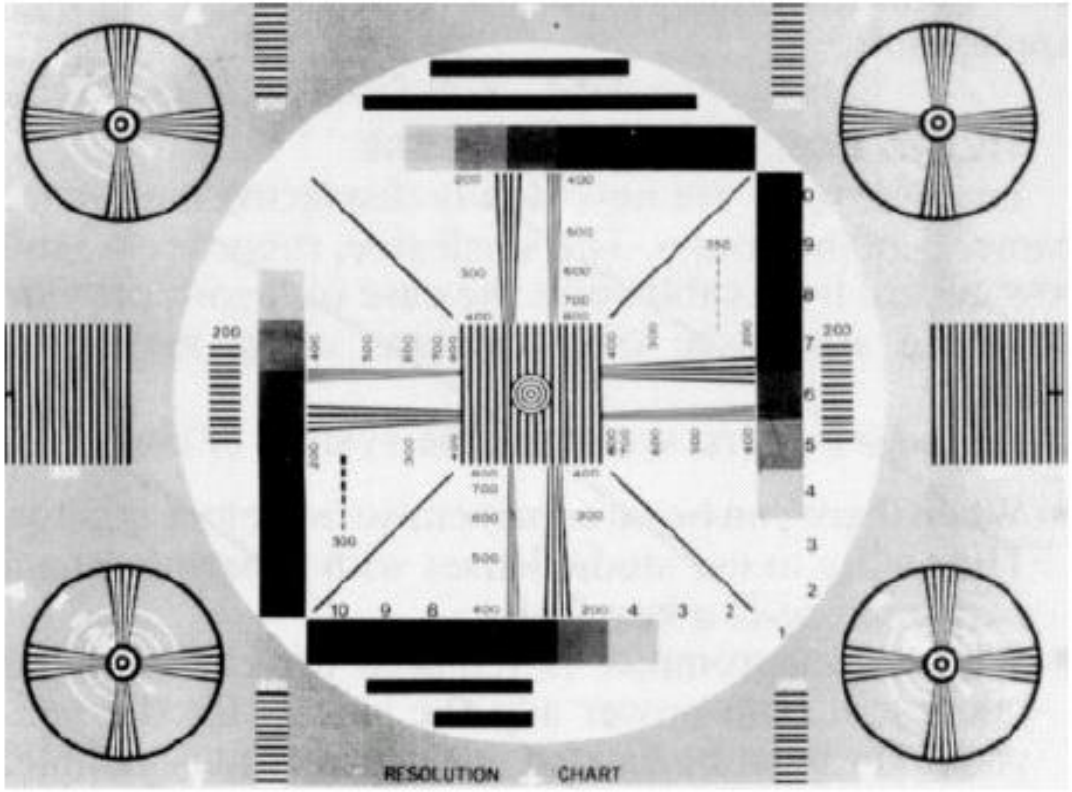


Imagem com Função de Reconstrução Gaussiana

John Lennon

Padrão de Teste de Resolução Espacial



Amostragem Temporal

Espectro Tri-dimensional (Espaço / Tempo)

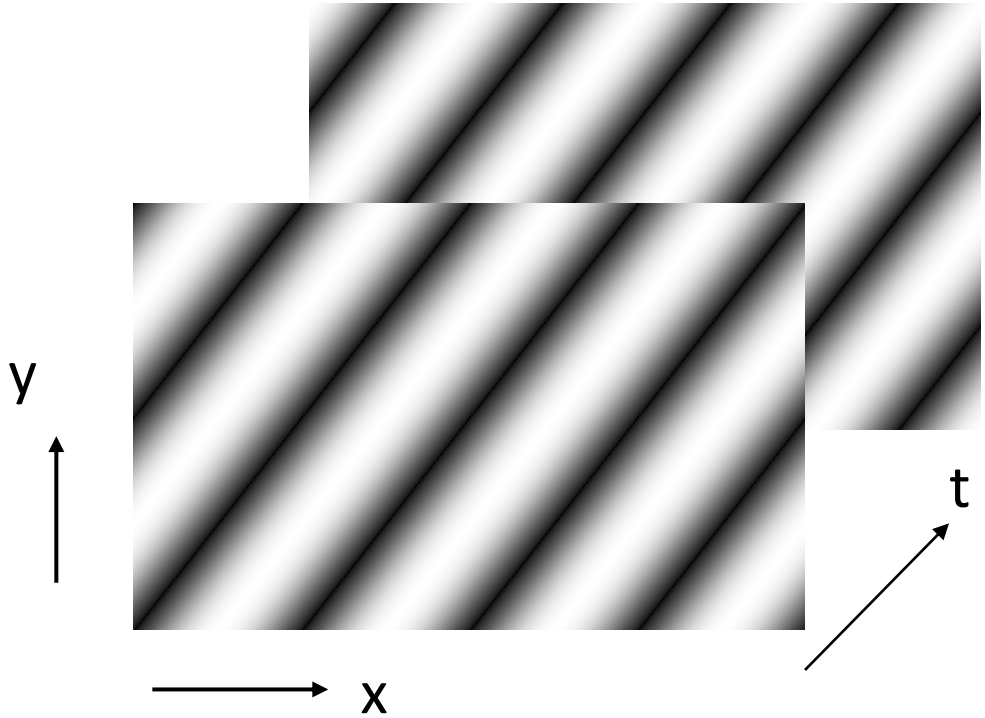
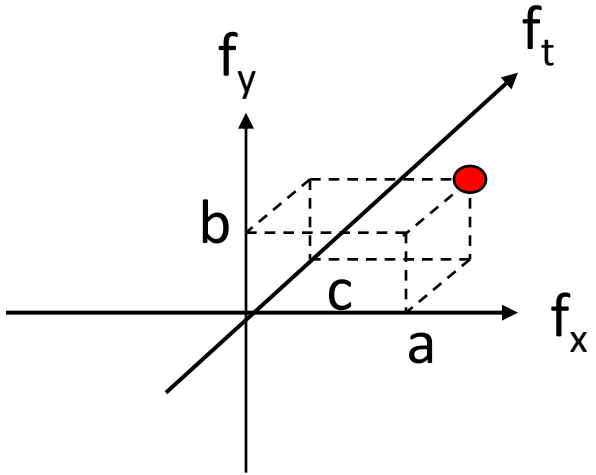
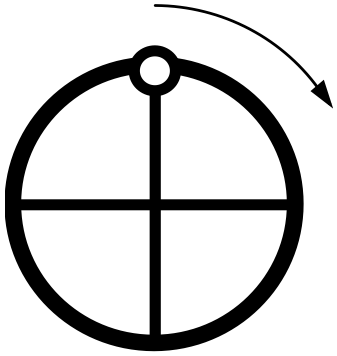


Imagem com Movimento

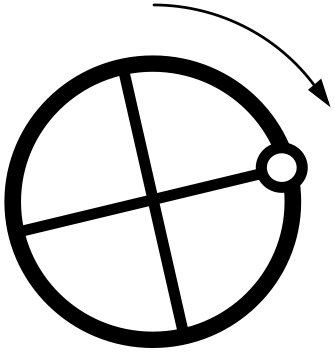


Espectro Tri-dimensional

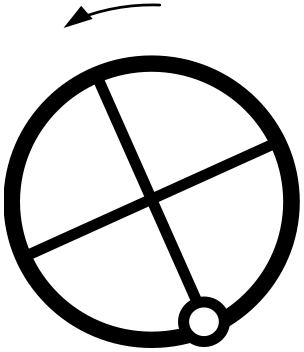
“Aliasing” Temporal: Efeito “Roda de Carroça”



Uma Rotação de 85 graus em sentido Horário...

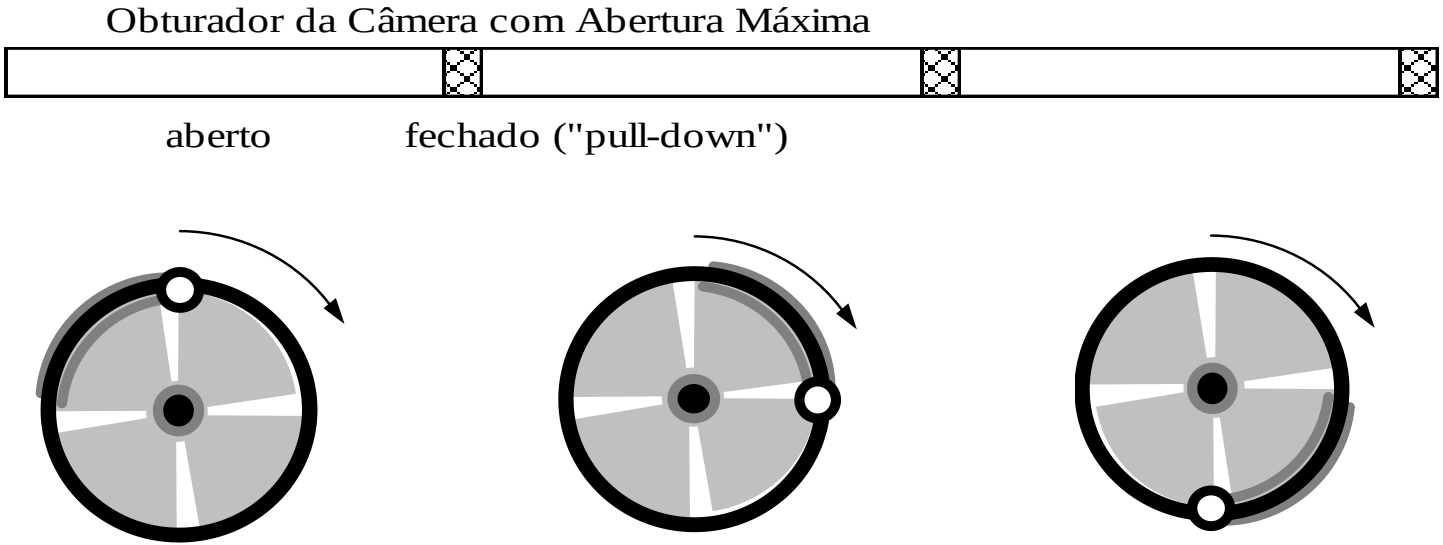


...confunde-se com uma rotação de 5 graus...

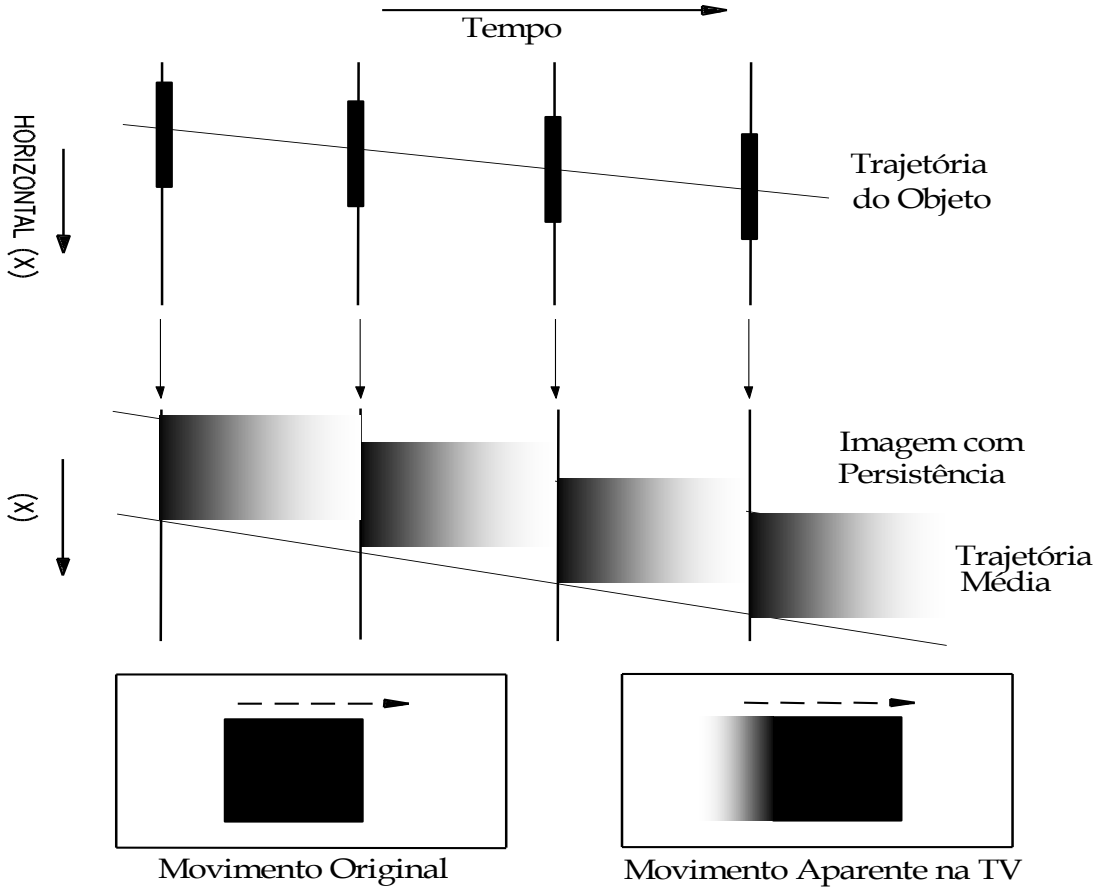


...em sentido anti-horário.

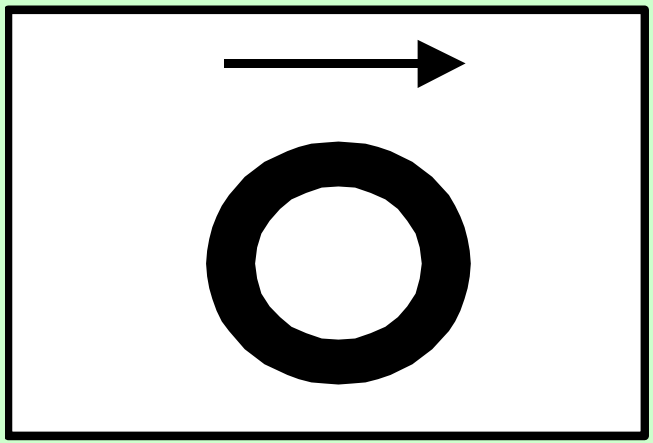
Redução do “Aliasing” Temporal pelo Tempo de Exposição



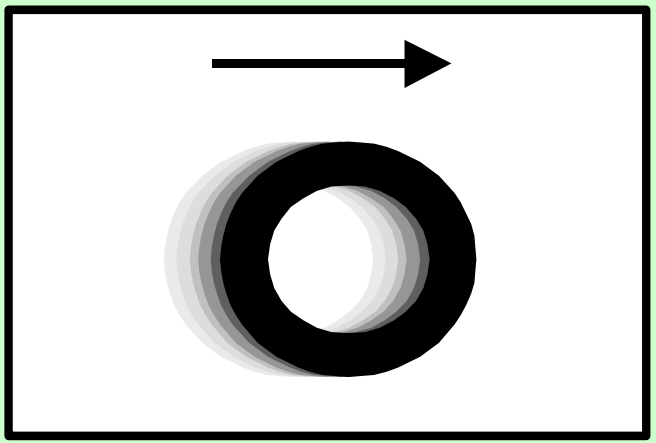
Persistência Luminosa da Imagem



Efeito Visual da Persistência

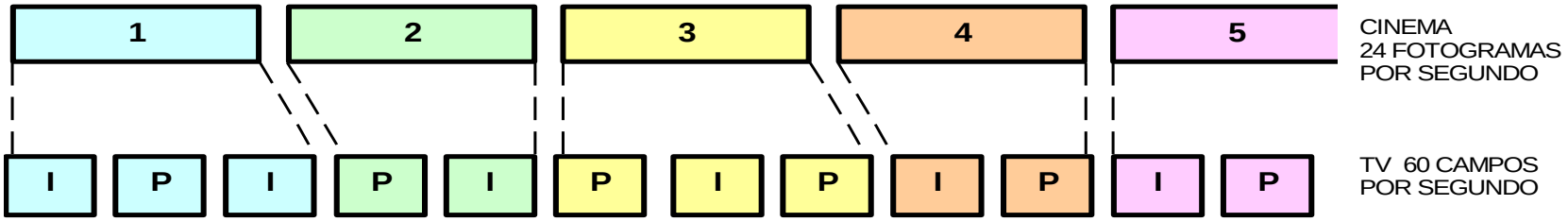


Movimento Original

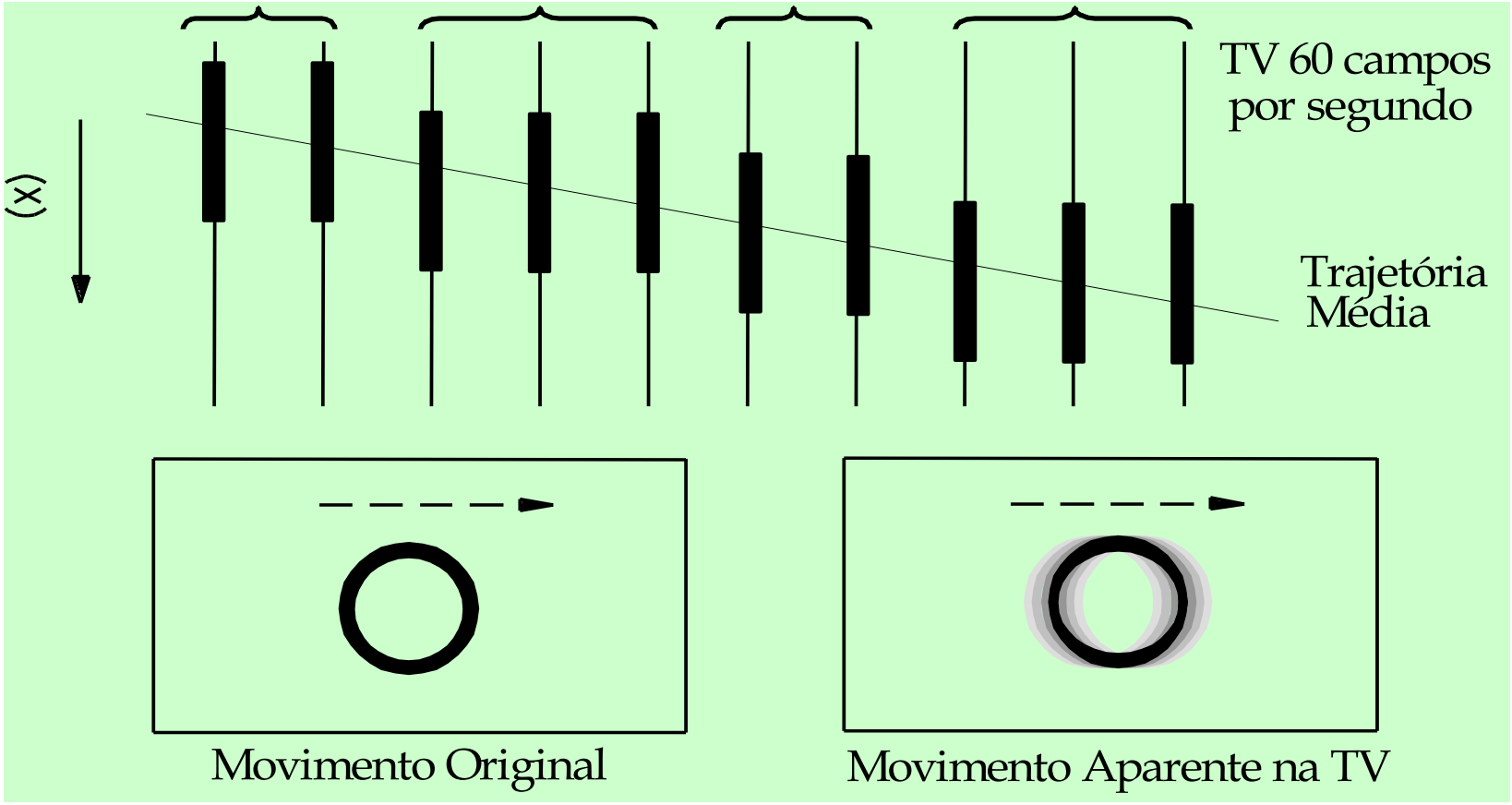


Movimento Aparente na TV

Telecinagem com Pull-down 3:2



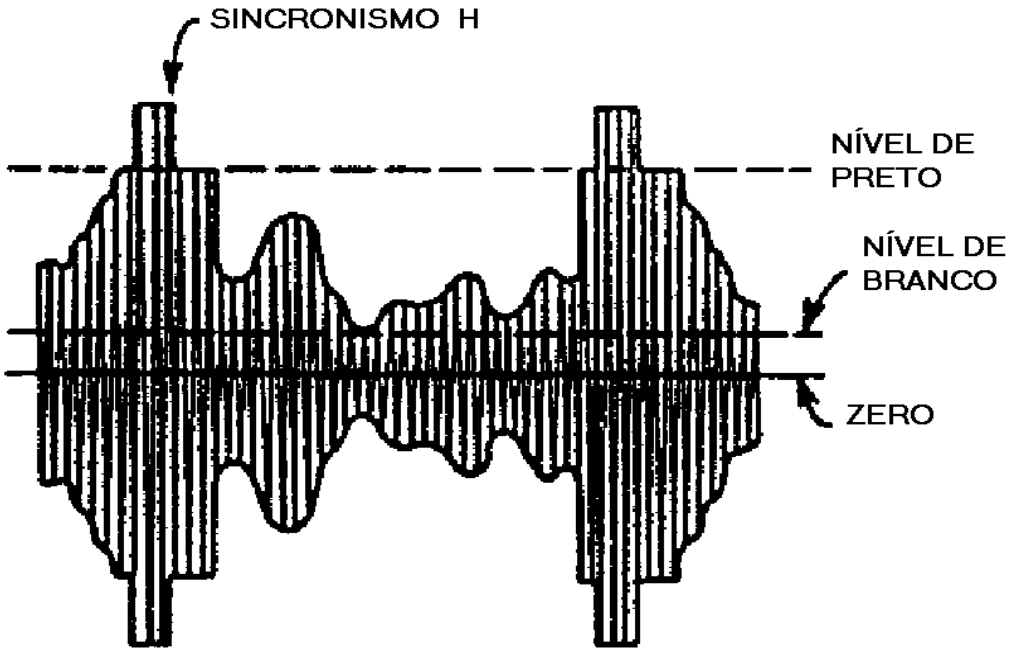
Efeito da Telecinagem 3:2



Resumo

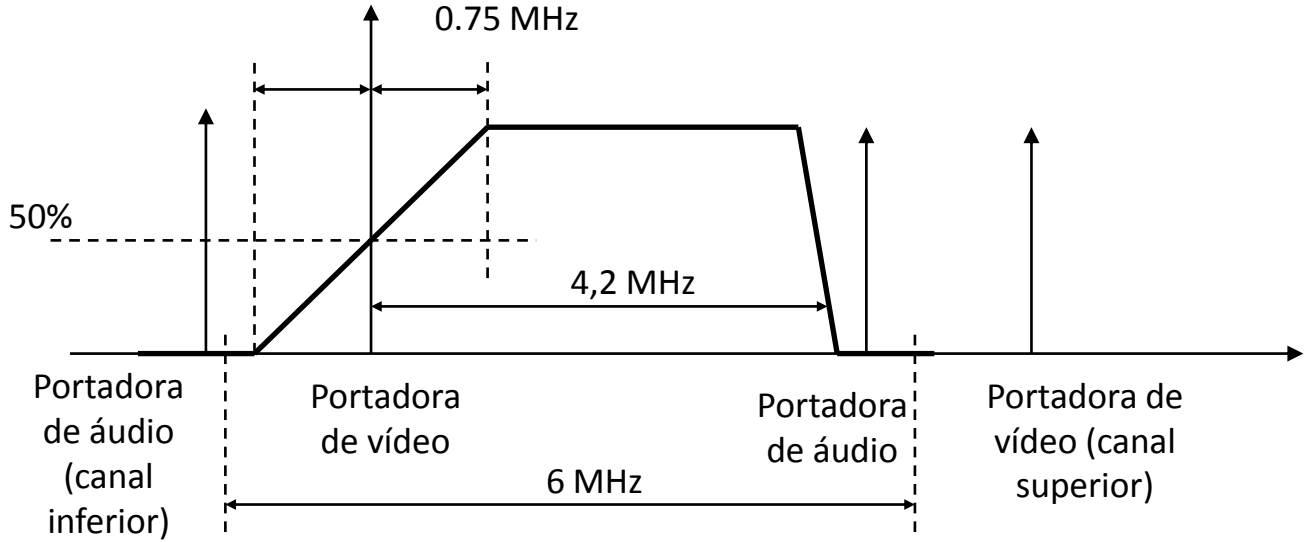
- Processos diferentes de limitação de banda nas dimensões *T, x* e *y*
- Características perceptuais diferentes para essas dimensões
- “Aliasing” pode ser aceitável em relação à perda de definição espacial ou temporal

Radiodifusão de TV Monocromática (Padrão "M")

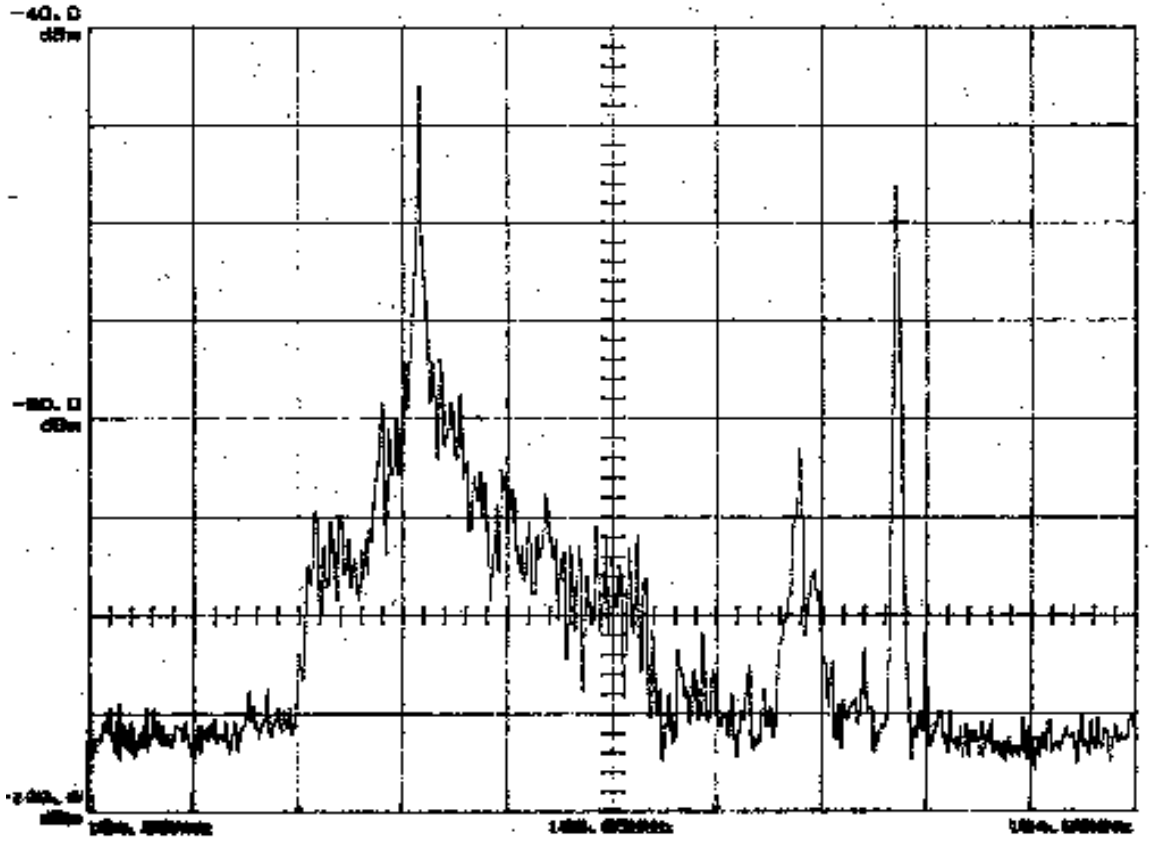


Modulação AM Vestigial Negativa

Resposta em Frequência Ideal do Receptor de TV



Espectro de um Sinal de TV Analógica



- Padrão: Banda passante, disposição das portadoras dentro do canal, frequências nominais dos canais
  - B, D, G, H, I, K, K1, L, M, N
- Sistema: Formato de varredura e codificação da Cor
  - NTSC, SECAM, PAL

Padrões e Sistemas

Padrão	Banda do Canal (MHz)	Portadora de Vídeo	Portadora de Áudio	Banda do Vídeo	Banda Vestigial	Fator Gama
B	7,0	1,25	+5,5	5,0	-0,75	2,8
D, K	8,0	1,25	+6,5	6,0	-0,75	2,8
G	8,0	1,25	+5,5	5,0	-0,75	2,8
H	8,0	1,25	+5,5	5,0	-1,25	2,8
I	8,0	1,25	+5,5	5,5	-1,25	2,8
K1, L	8,0	1,25	+6,5	6,0	-1,25	2,8
M, N	6,0	1,25	+4,5	4,2	-0,75	2,2

M= 60 Hz; demais padrões = 50 Hz

Padrões e Sistemas Analógicos no Mundo

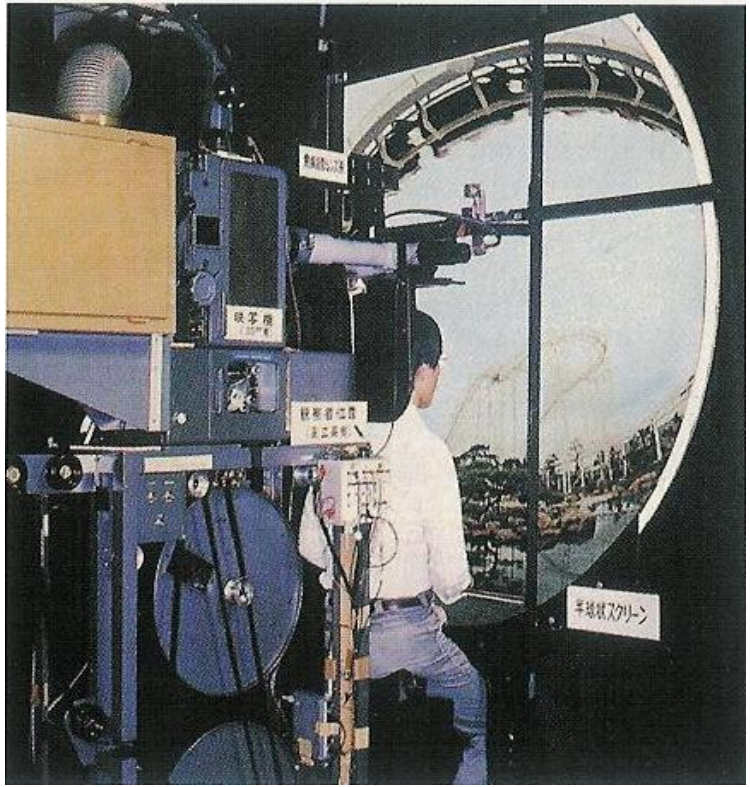
País	Padrão	Sistema	Fv (Hz)
Brasil, Vietnã	M	PAL	60
Argentina, Paraguai, Uruguai	N	PAL	50
Chile, Peru, Venezuela, Equador, Colombia	M	NTSC	60
EUA, Canadá, México, Coréia do Sul	M	NTSC	60
China, Coréia do Norte, Congo	D	PAL	50
Rússia, Ucrânia, Bulgária	D	SECAM	50
França	L	SECAM	50
Itália, Áustria, Alemanha, Dinamarca, Líbano, Israel, Hungria, Bósnia, Kuwait, Portugal	B/G	PAL	50
Grécia	B/G	SECAM	50
Inglaterra, Hong Kong, Angola, África do Sul, Irlanda	I	PAL	50
Gabão, Guiana, Taiti, Nigéria, Ruanda	K	SECAM	50

Alguns Formatos de Varredura para Monitores de Vídeo

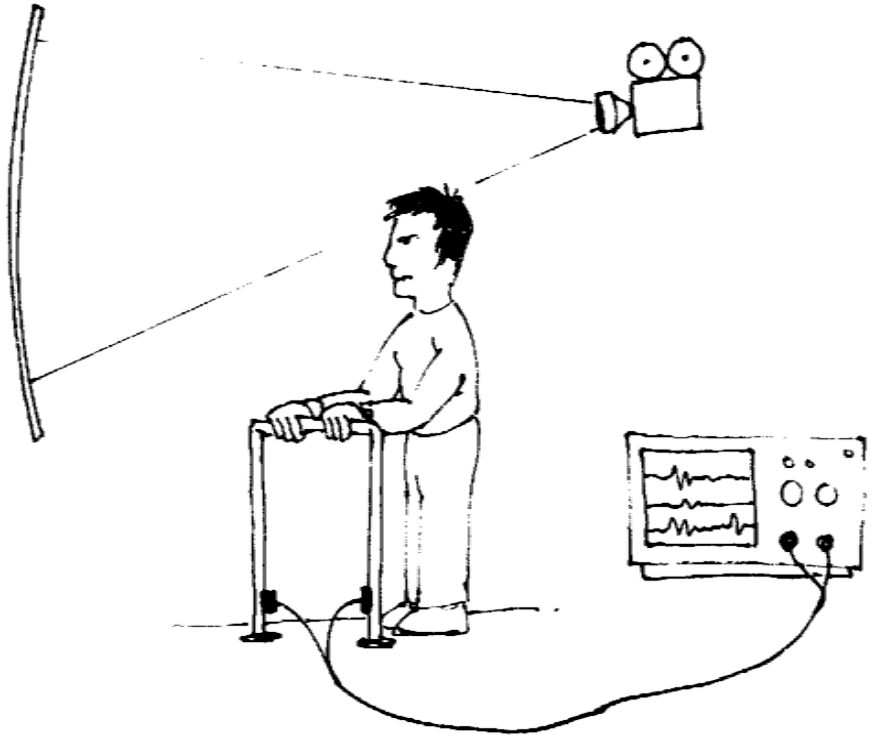
Padrão	Resolução V x H	Freq. Vert. (Hz)	Freq. Hor. (kHz)	Varredura	Bw (MHz)
CGA	320 200	60	15.75	progress.	3.2
VGA	640 480	60	31.5	progr.	13
VESA	640 480	72	37.8	progr.	16
SVGA	800 600	75	46.8	progr.	25
XGA	1024 768	87	35.5	entrelac.	23
SVGA	1280 1024	71	76.0	progr.	63
SVGA	1280 1024	86	45.8	entrelac.	40
Mac II	1152 870	75	68.7	progr.	50
UXGA	1600 1200	75	93,6	progr.	100

TV de Alta Definição: “Hi-Vision”

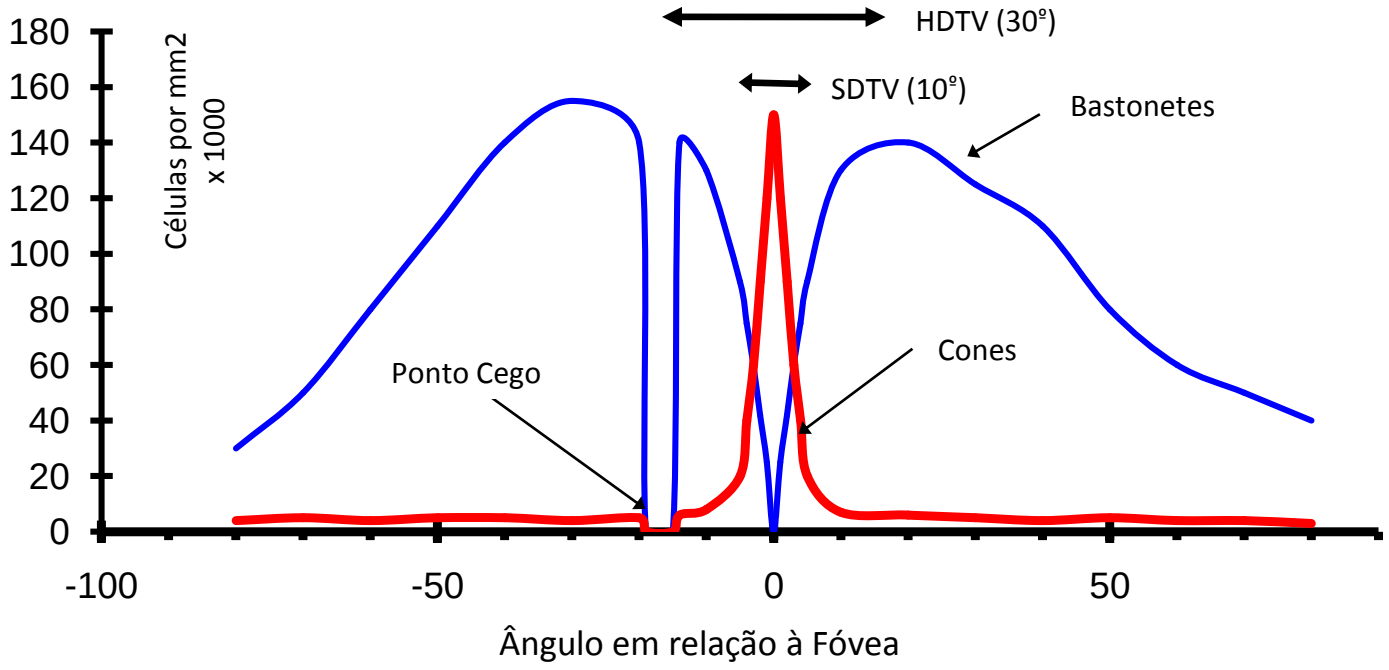
Dimensionamento do Ângulo de Visualização para a “Hi-Vision”



Dimensionamento do Ângulo de Visualização para a “Hi-Vision”

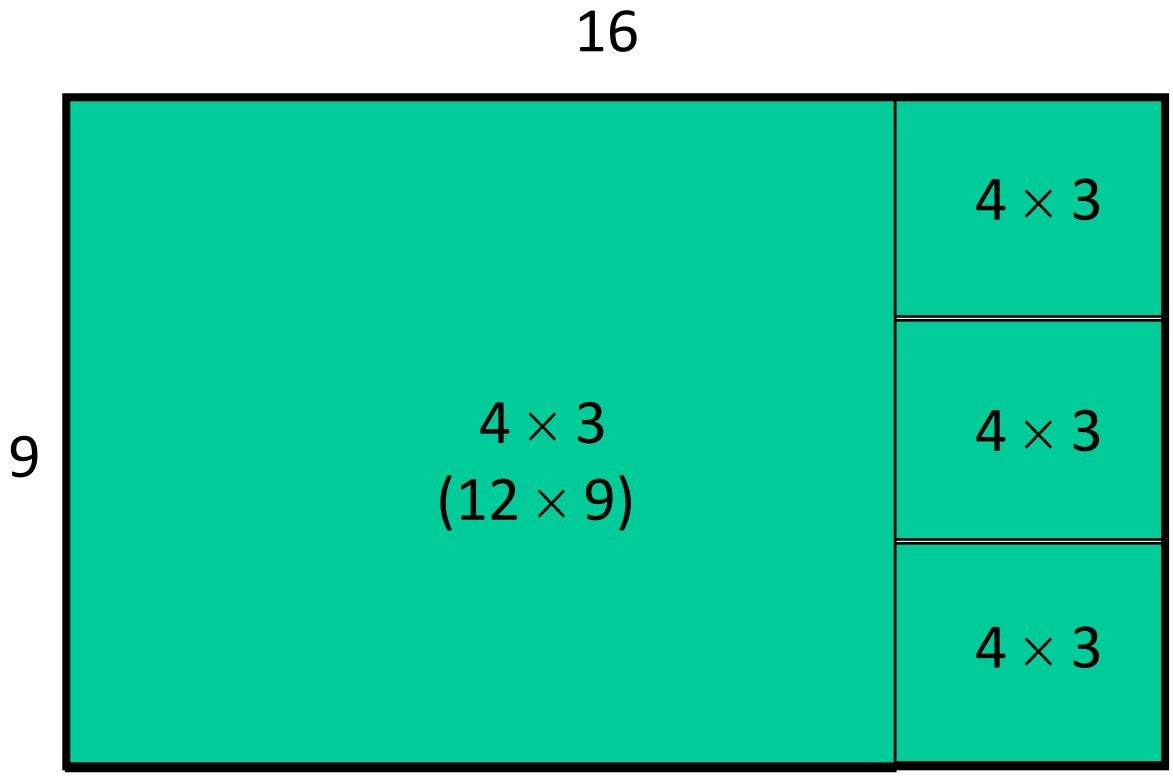


Ocupação do Campo Visual



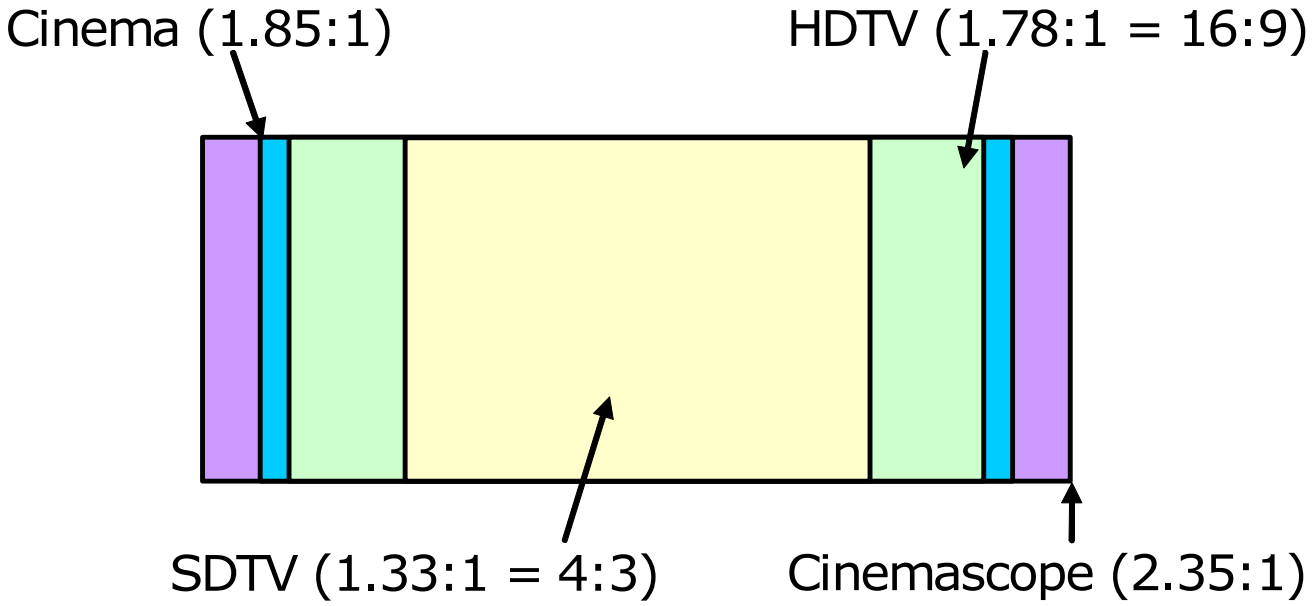
Relação de Aspecto da TV de Alta Definição

- Compatibilidade com imagens 4:3 (SDTV)



Relação de Aspecto da TV de Alta Definição

- Compatibilidade com formatos de Cinema



TV de "Mesma Definição"

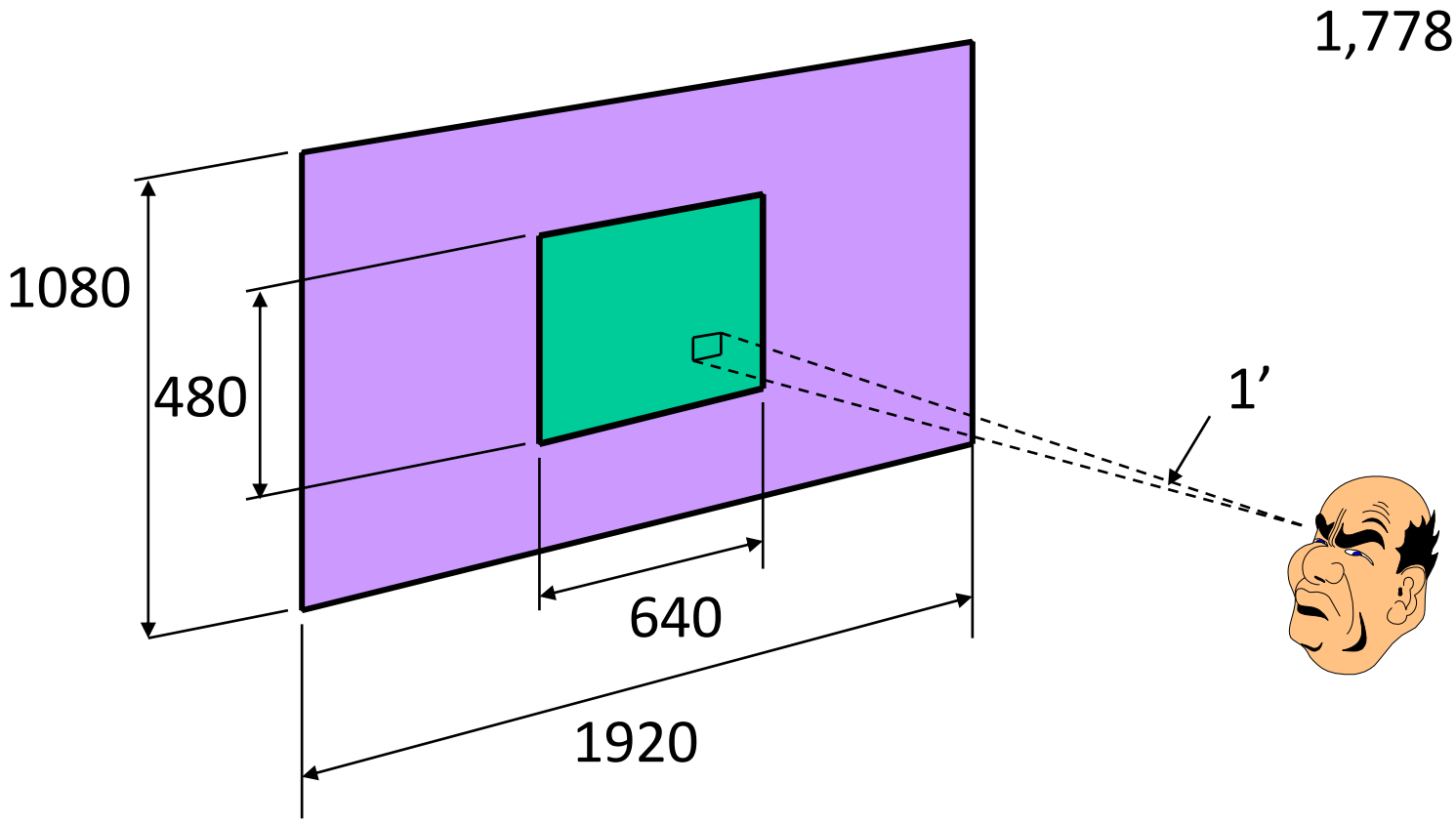
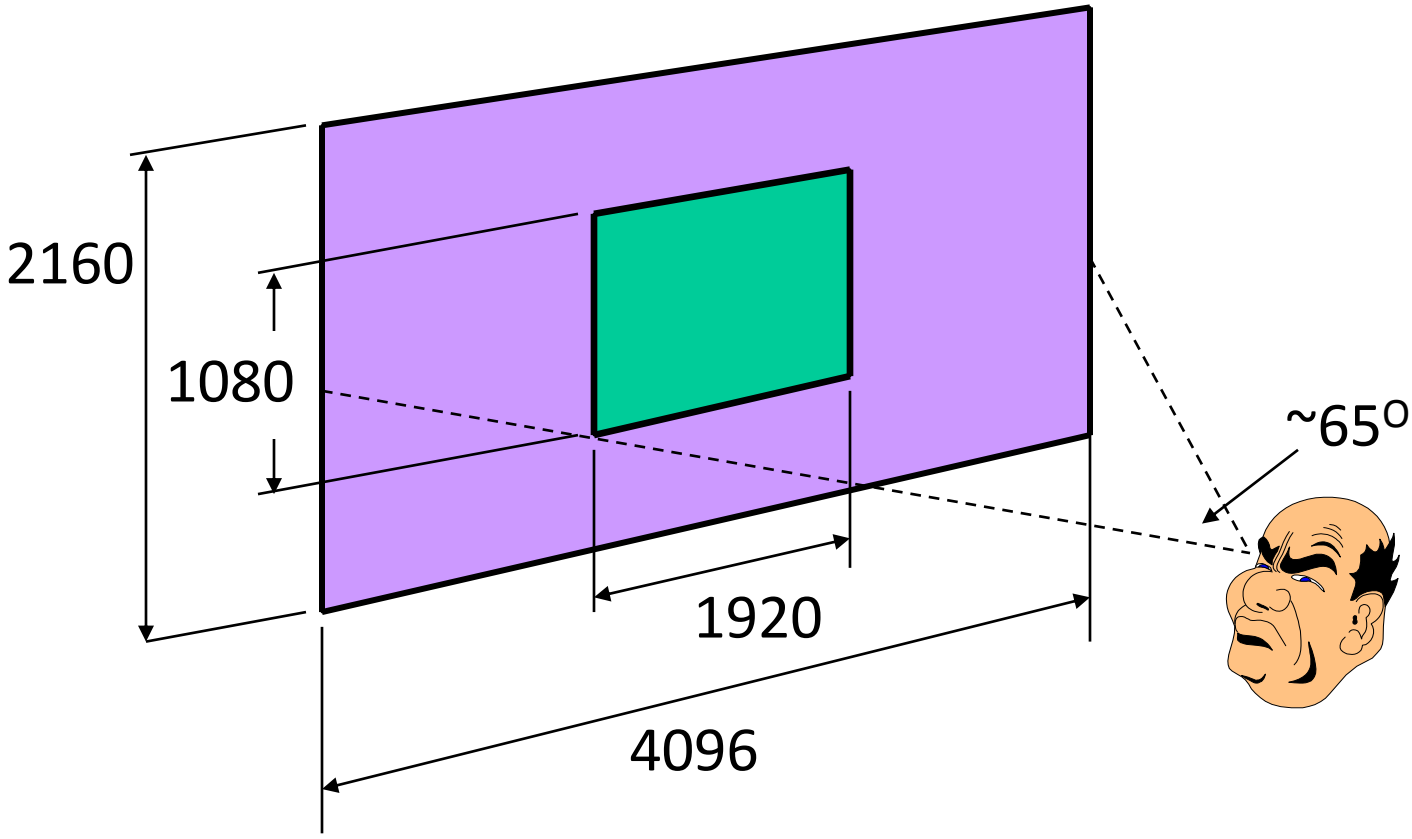


Imagem Hi-Vision

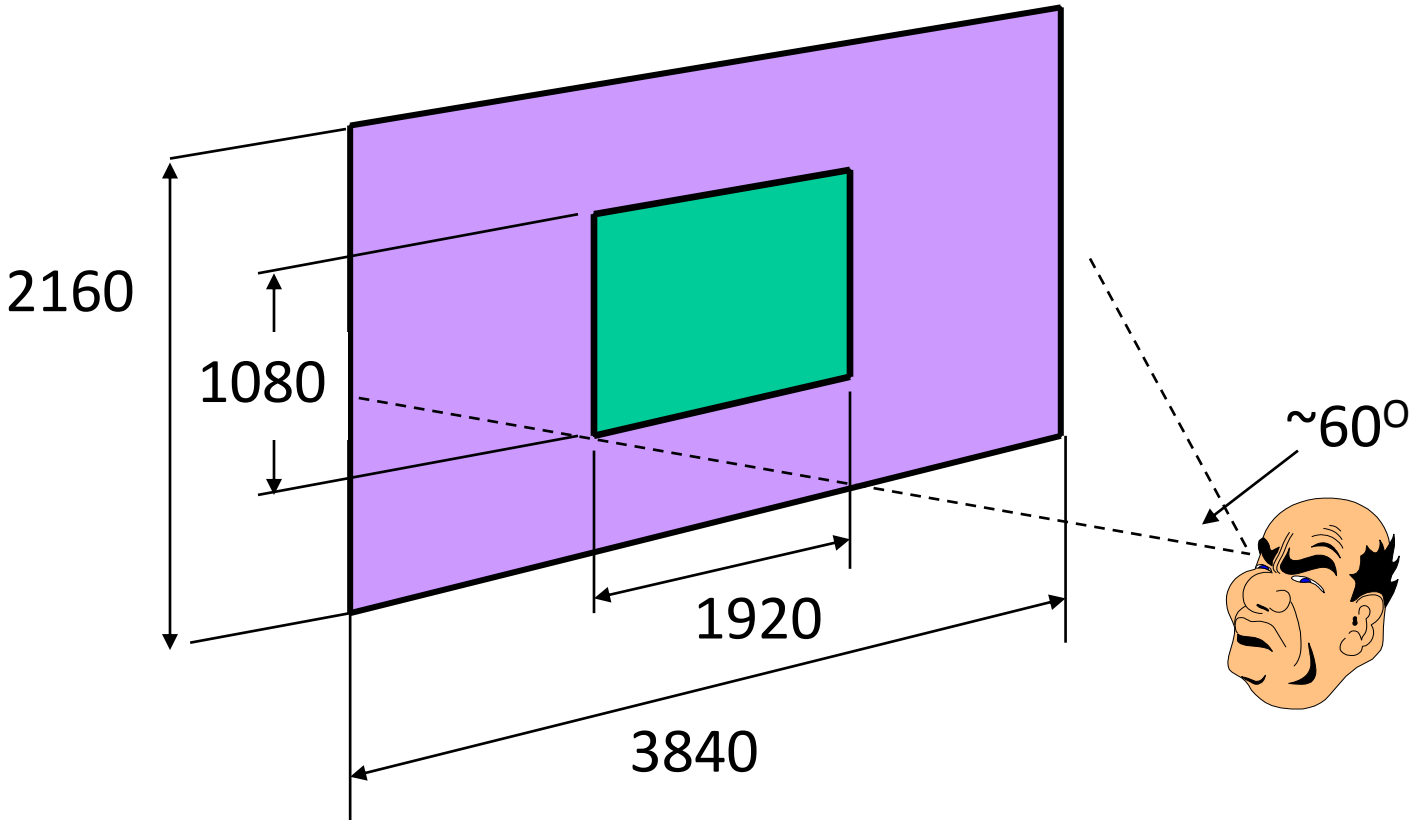
Formatos de TV de Alta Definição

- Resolução da Imagem (H x V):
  - 1920 x 1080 , 1280 x 720
- Taxa de Imagens por segundo:
  - 60, 59.94, 50, 30, 29.97, 25, 24, 23.98
  - Varredura Progressiva (p) e Entrelaçada (i)
- Frequência de Amostragem (pixel), MHz:
  - 148.5, 148.352, 74.250, 74.176
- Formatos Preferenciais (74.176 MHz):
  - 1080i (29.97)
  - 720p (59.94)

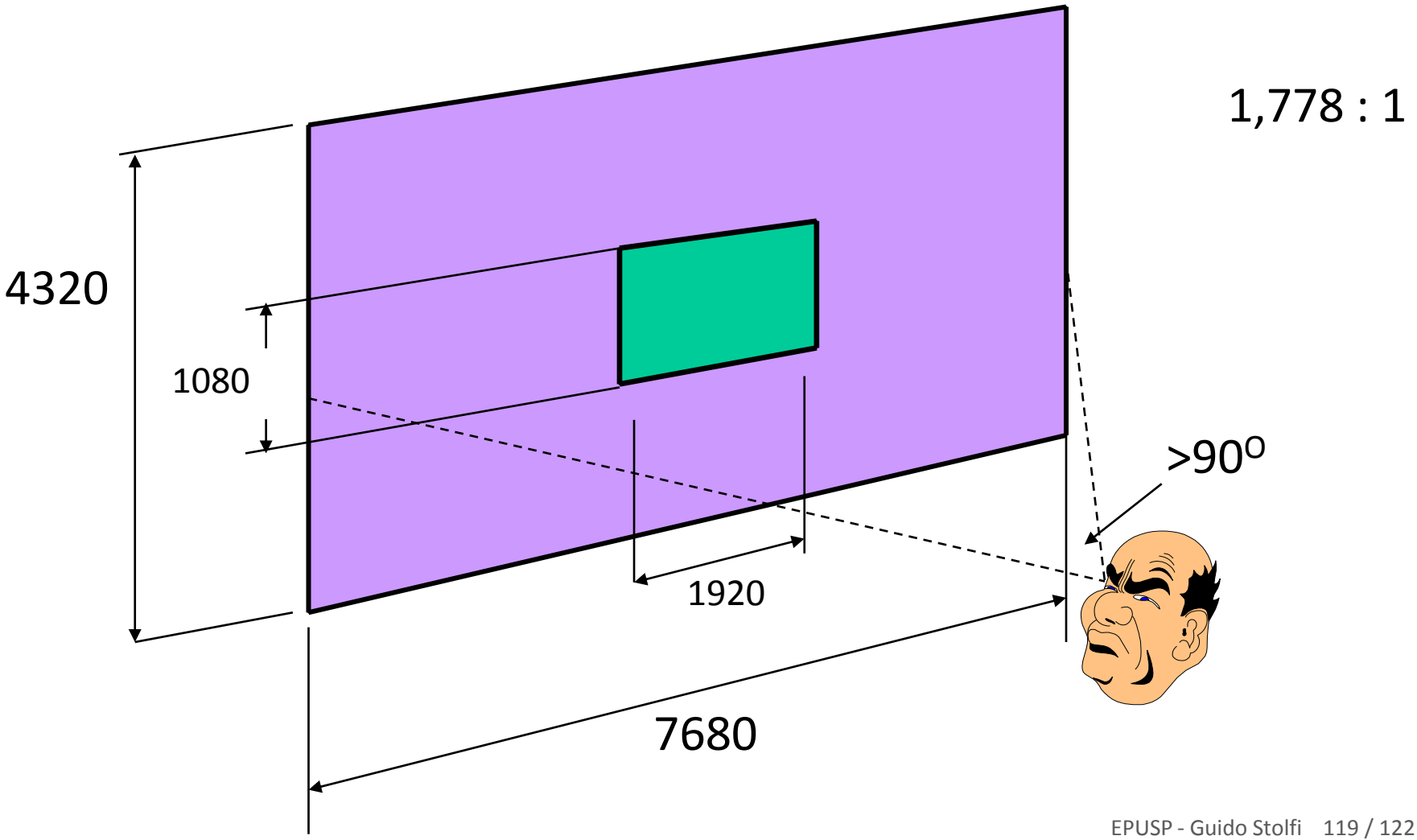
No Futuro ?


1,896 : 1
2160
1080
~65º
1920
4096

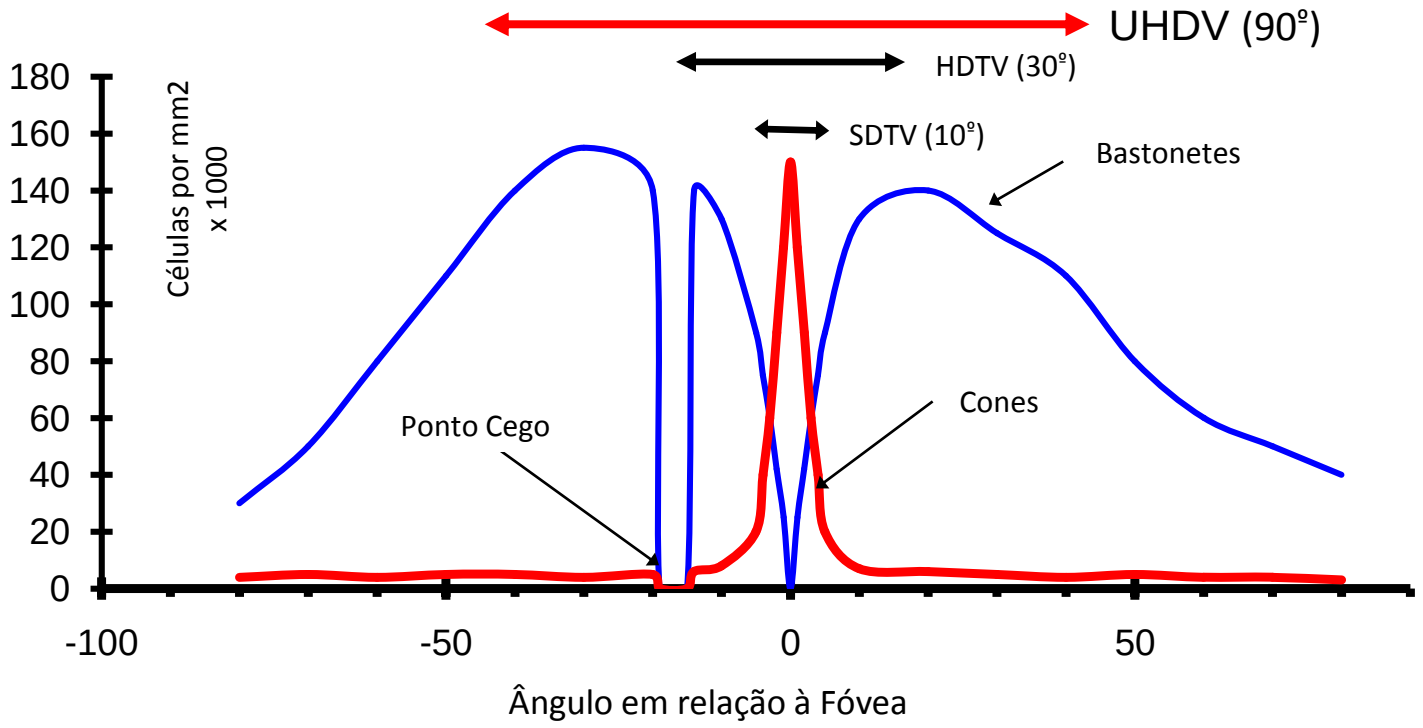
“4k” (falso UHDV)



UHDV (8k) – Ultra High Definition Video (2005)



UHDV (8k) – Ultra High Definition Video (2005)



UHDV (8k) - NHK

UHDV (8k) - NHK