



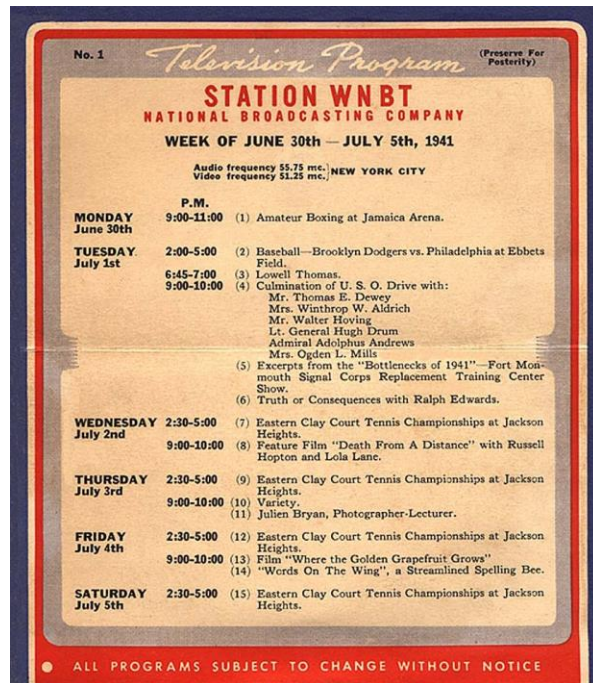
C209 – Computação Gráfica e Multimídia
EC215 – Multimídia

Sistema de TV Digital
Partes 1 e 2: Introdução e RX/TX

Marcelo Vinícius Cysneiros Aragão
marcelovca90@inatel.br

Histórico

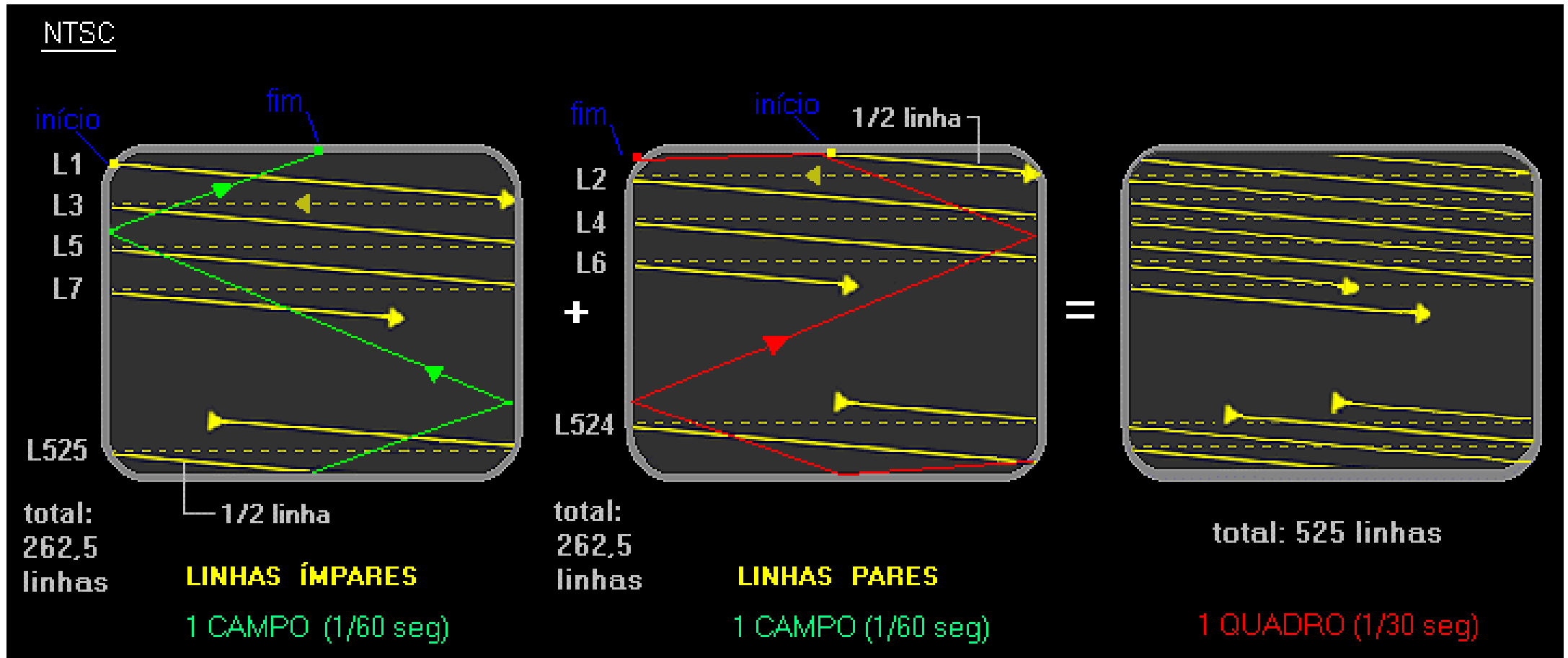
- 1941: a Comissão Federal de Comunicações Norte-Americana (FCC – *Federal Communications Commission*) autorizou o funcionamento das duas primeiras estações de TV em preto-e-branco nos EUA.



Histórico

- 1945: existiam nove estações de televisão autorizadas naquele país, sendo que seis já estavam em funcionamento.
- 1952: inauguração da primeira estação de TV em preto-e-branco, em São Paulo/SP.
 - O Brasil adotou o mesmo padrão que os EUA (Padrão M).
- 1954: foi definida a versão final do sistema norte-americano de TV em cores, o NTSC (*National Television System Committee*).
 - Inicialmente, as transmissões de TV colorida apresentavam problemas de fidelidade das cores. Por este motivo, os países europeus criaram outros sistemas para tentar resolver este problema.
 - Na França, surgiu o sistema Secam (*Sequential Couleur Avec Mémoire*).
 - Na Alemanha, foi criado o sistema PAL (*Phase Alternation Line*).

Histórico



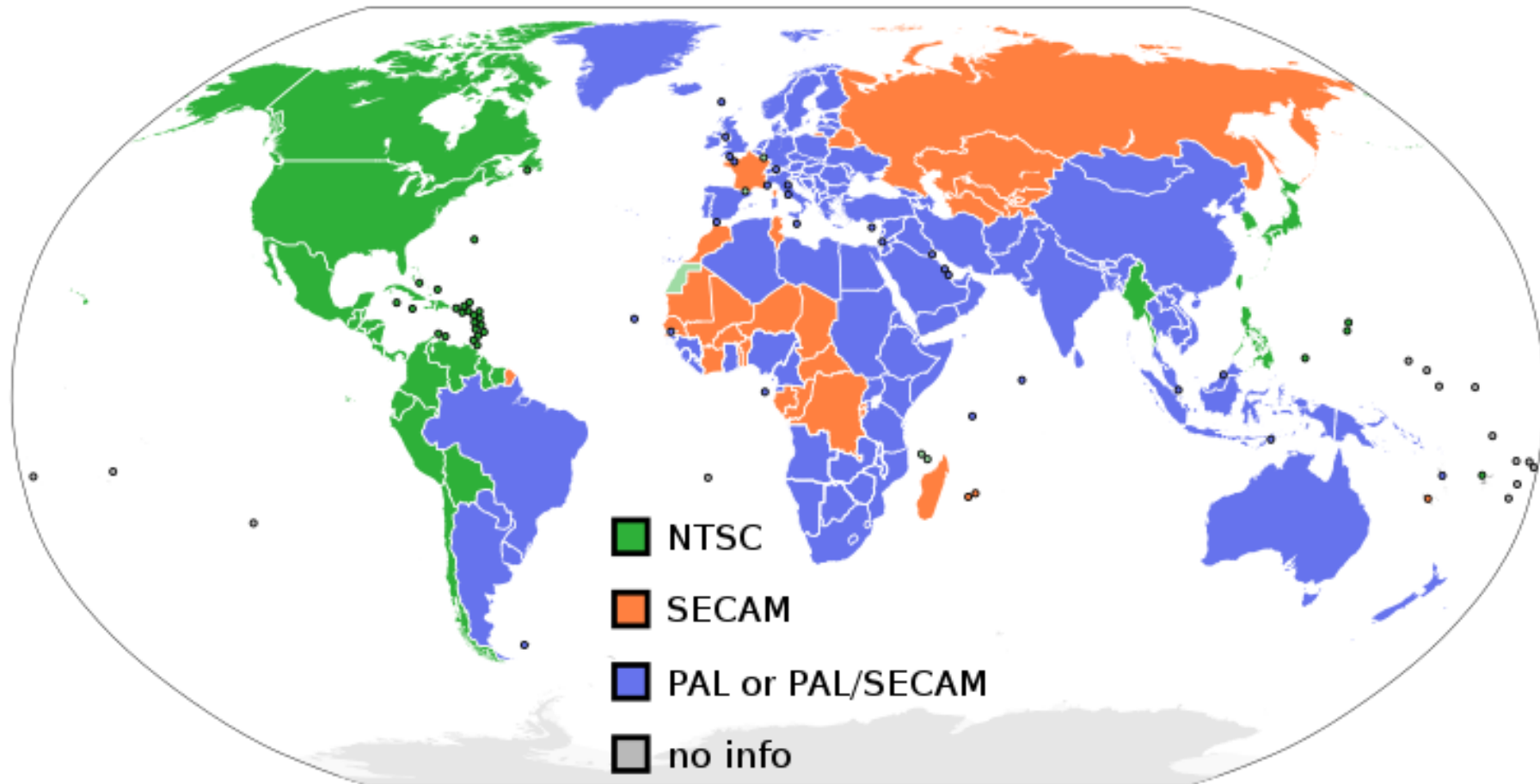
Histórico

- 1974: o Brasil adotou o sistema PAL de TV em cores, porém compatível com o sistema de TV preto-e-branco já existente (Padrão M).
- 1998: surgiram as primeiras transmissões de TV digital terrestre (propagação pelo ar).
 - Os EUA adotaram o sistema *Advanced Television Systems Committee* (ATSC);
 - Os europeus adotaram o sistema *Digital Video Broadcasting-Terrestrial* (DVB-D);
 - No Japão, foi criado o sistema *Integrated System Digital Broadcasting-Terrestrial* (ISDB-T), que somente entrou em operação comercial a partir de 2003.

Histórico

Aspecto	NTSC	PAL	SECAM
Taxa de atualização	60 Hz	50 Hz	50 Hz
Número de linhas	525	625	625
Requer controle de matiz nos televisores	Sim	Não	Não
Tipo de modulação	QAM	QAM	FM
Envio de cores	Sinais <i>R</i> e <i>B</i> enviados simultaneamente	Sinais <i>R</i> e <i>B</i> enviados simultaneamente	Sinais <i>R</i> e <i>B</i> enviados alternadamente

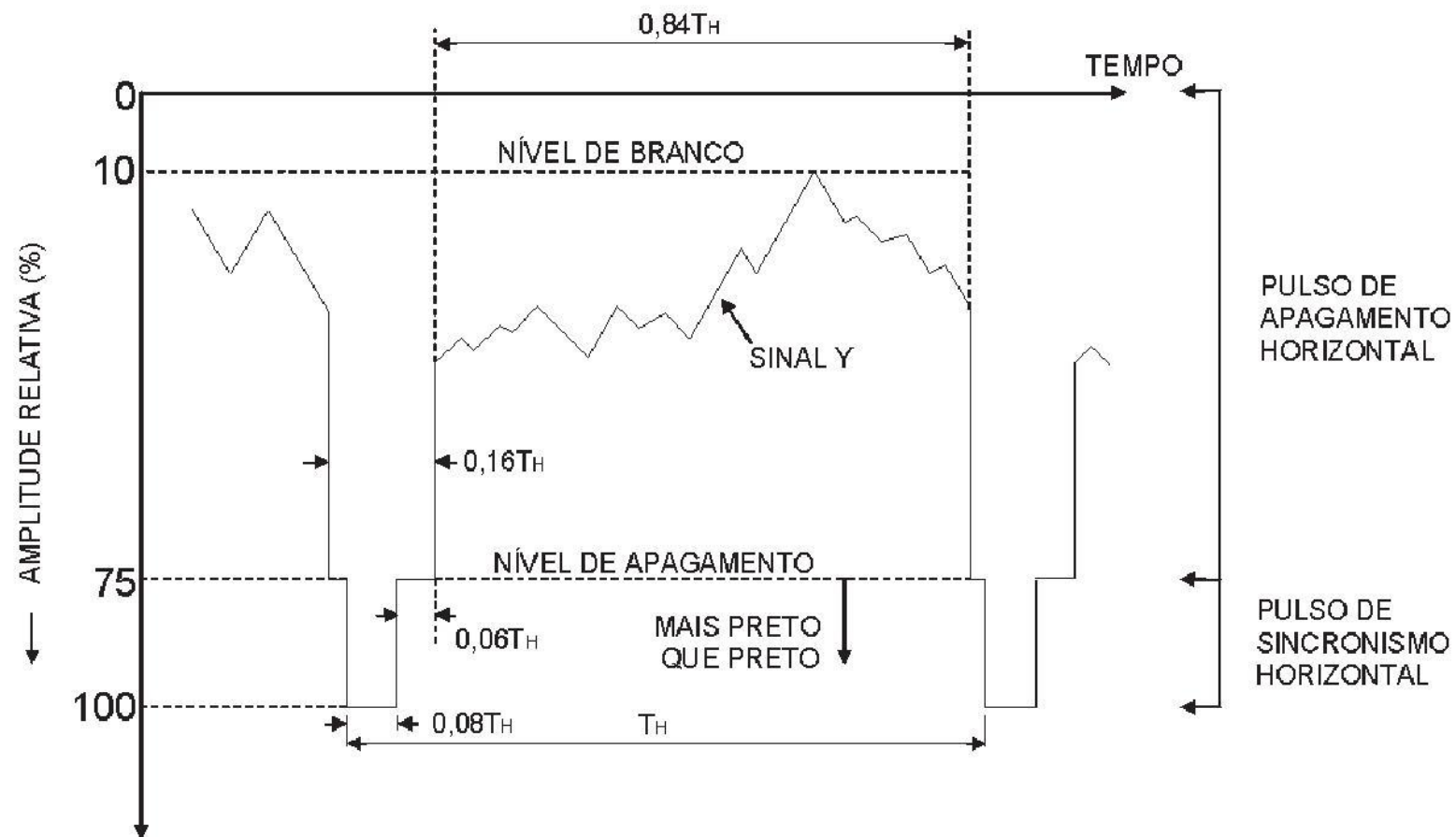
Histórico



TV em preto-e-branco

- Durante o tempo de varredura da esquerda para a direita, é enviado o sinal de luminância, que pode excursionar entre 10% (que corresponde ao branco) até 75% (que corresponde ao preto).
- Durante o tempo de retorno horizontal, ocorre o “apagamento (*blanking*) horizontal”, ou seja, o sinal fica “mais preto do que preto”.
 - Durante o intervalo de “apagamento horizontal”, a estação envia um sinal conhecido como “pulso de sincronismo horizontal” cuja função é a sincronização horizontal entre o receptor e a estação.
- Durante o retorno vertical, ocorre o “apagamento (*blanking*) vertical”, dentro do qual é feito o “sincronismo vertical” entre o receptor e a estação.

TV em preto-e-branco



TV em preto-e-branco

- No padrão M, estabeleceu-se para cada canal de transmissão uma banda de 6MHz.
 - VHF (*Very High Frequency*): faixa de radiofrequências de 30 até 300 MHz.
 - UHF (*Ultra High Frequency*): faixa de radiofrequências de 300 MHz até 3 GHz.

VHF

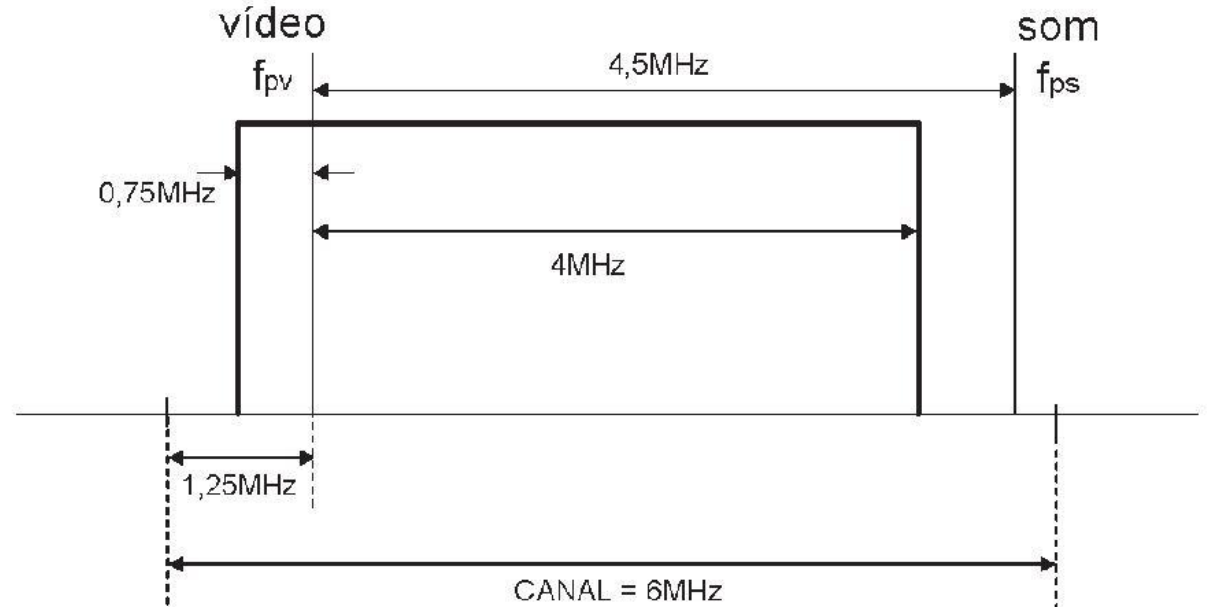
Canal	Frequência Banda, MHz
2	54-60
3	60-66
4	66-72
5	76-82
6	82-88
7	174-180
8	180-186
9	186-192
10	192-198
11	198-204
12	204-210
13	210-216
14	470-476
15	476-482
16	482-488
17	488-494
18	494-500
19	500-506
20	506-512
21	512-518
22	518-524
23	524-530
24	530-536

UHF

Canal	Frequência Banda, MHz
25	536-542
26	542-548
27	548-554
28	554-560
29	560-566
30	566-572
31	572-578
32	578-584
33	584-590
34	590-596
35	596-602
36	602-608
37	608-614
38	614-620
39	620-626
40	626-632
41	632-638
42	638-644
43	644-650
44	650-656
45	656-662
46	662-668
47	668-674
48	674-680
49	680-686
50	686-692
51	692-698
52	698-704
53	704-710
54	710-716
55	716-722
56	722-728
57	728-734
58	734-740
59	740-746
60	746-752
61	752-758
62	758-764
63	764-770
64	770-776
65	776-782
66	782-788
67	788-794
68	794-800

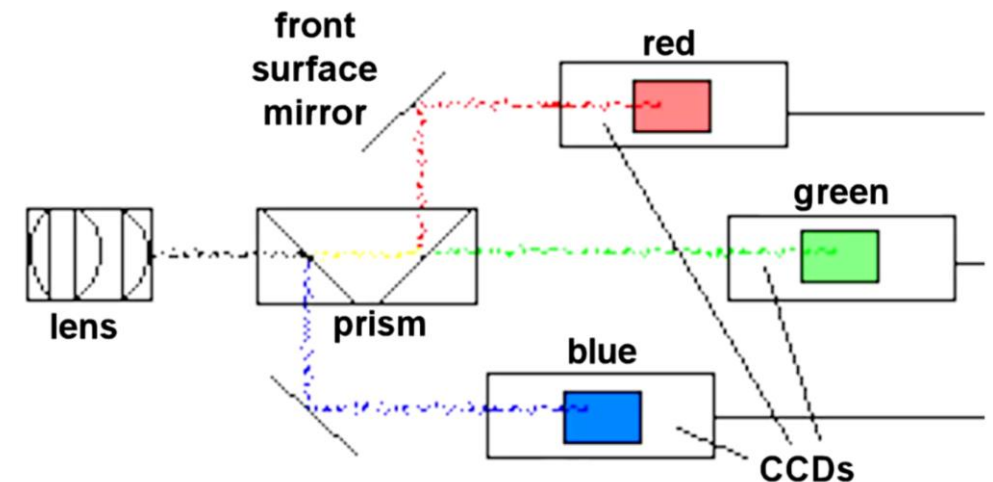
TV em preto-e-branco

- O sinal de vídeo modula em AM (amplitude modulada) uma portadora de vídeo localizada a 1,25MHz do início do canal.
- Para a transmissão do sinal de áudio, utiliza-se uma portadora localizada 4,5MHz acima da portadora de vídeo.



TV em cores analógica

- A TV em cores só foi possível porque o olho humano possui sensores (cones) predominantes para as três cores primárias: vermelho (R), verde (G) e azul (B). As demais cores provêm de excitações proporcionais das três cores primárias.
- Baseada nesse princípio, a estação utiliza uma câmera tricromática com filtros especiais que analisam a imagem e cria três sinais R , G e B com faixa de 4 MHz.
- No receptor utiliza-se uma tela luminescente com três feixes que, ao receberem os sinais R , G e B , excitam proporcionalmente as cores vermelha, verde e azul, reproduzindo assim a imagem original.



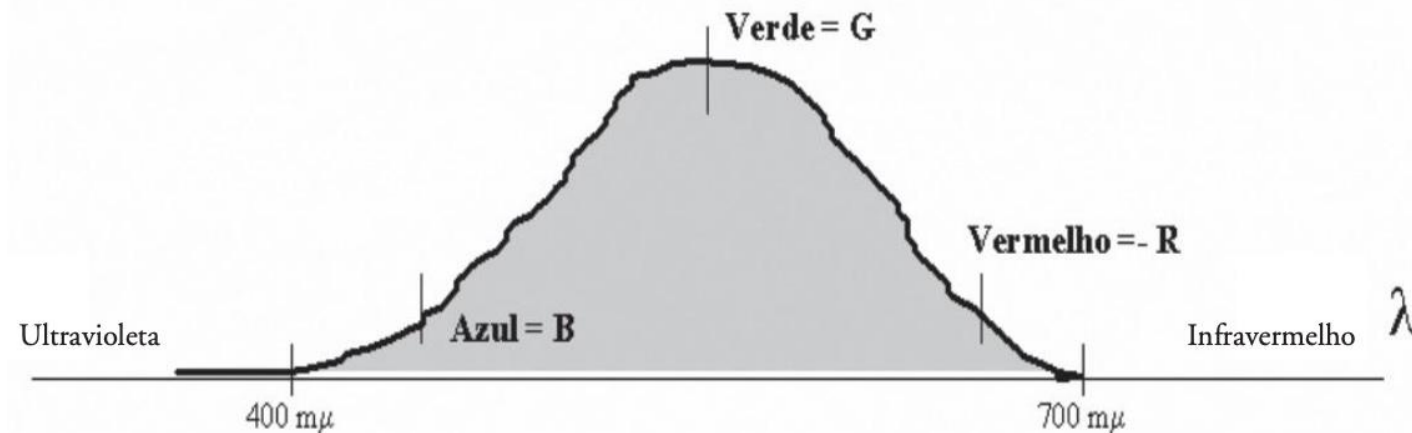
TV em cores analógica

- A TV em cores foi implantada após cerca de 10 anos de existência da TV em preto-e-branco, ou seja, já existiam milhões de receptores em preto-e-branco no mercado.
- No início da implantação, os receptores de TV em cores eram muito caros, e a pequena quantidade de receptores não justificaria a criação de programas em cores exclusivos.
- Assim sendo, chegou-se à conclusão de que a melhor solução seria tornar os dois sistemas compatíveis entre si, ou seja, os receptores em cores deveriam funcionar corretamente em preto e branco e vice-versa.



TV em cores analógica

- Para satisfazer os receptores em preto-e-branco, a estação em cores deve transmitir o sinal de luminância (Y), obtido pela combinação dos sinais R , G e B que saem da câmera tricromática conforme os respectivos pesos no brilho da imagem obtidos a partir da curva de luminosidade.

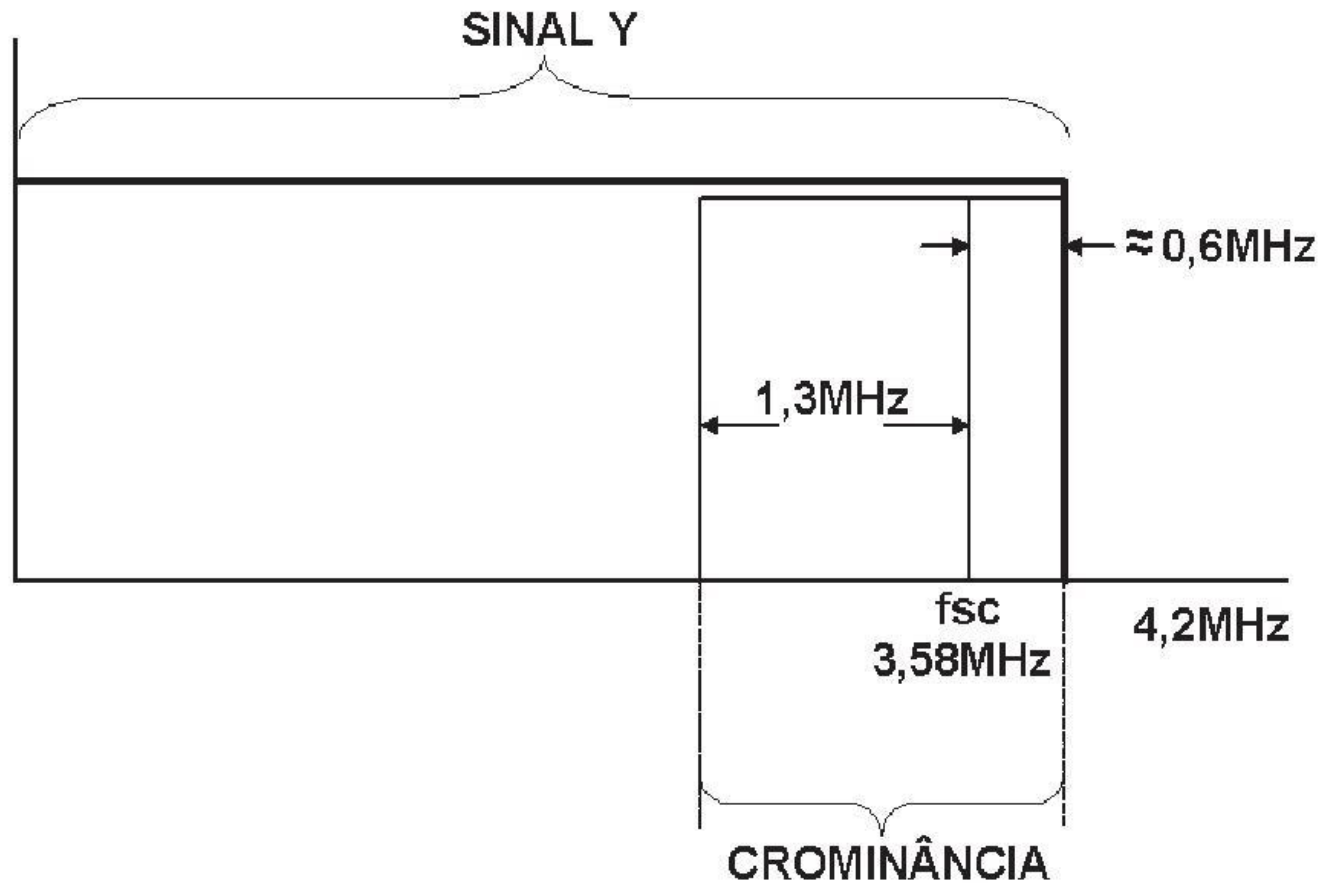


- $Y = 0,30R + 0,59G + 0,11B$

TV em cores analógica

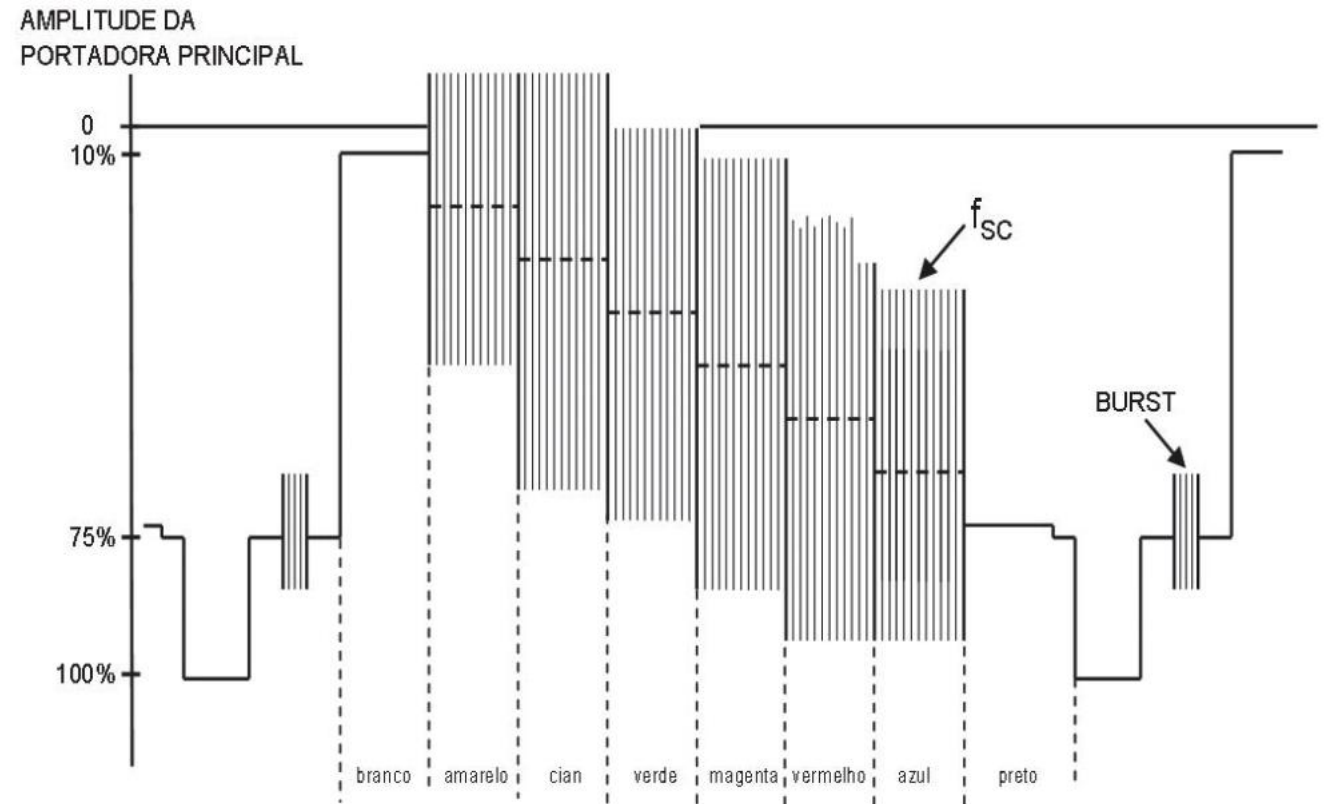
- Além de Y , são enviados os sinais “diferença de cor” $(R - Y)$ e $(B - Y)$.
- Estudos do comportamento da visão humana mostraram que a sensibilidade do olho humano para cores é inferior à do brilho.
- Portanto, apesar de o sinal Y conter frequências de até 4 MHz, os sinais “diferença de cor” não precisariam de frequências acima de 1,3 MHz.
- Para transmitir $(B - Y)$ e $(R - Y)$, a estação de TV em cores cria dois sinais, $U = 0,493(B - Y)$ e $V = 0,877(R - Y)$, constituindo sistema YUV .
- Os sinais U e V são os mesmos nos EUA (NTSC) e no Brasil (PAL-M).

TV em cores analógica



TV em cores analógica

- Como se pode observar, durante a varredura horizontal, a estação de TV em cores envia uma informação conhecida como “sincronismo de cor” ou “*color burst*”.
- Sua finalidade é sincronizar o oscilador necessário no receptor para recuperar corretamente os sinais U e V .



Digitalização dos sinais de TV analógica

- Hoje, praticamente todos os procedimentos de estúdio já são digitais.
- Até mesmo os receptores de TV analógica recorrem a técnicas de digitalização para execução de funções mais sofisticadas, como inserção de relógio e textos, memorização e função PIP (*“picture in picture”*).
- Geralmente se digitalizam os sinais Y , R , G e B (faixa de 4,2 MHz) e $(B - Y)$, $(R - Y)$, U e V (faixa de 1,3 MHz).
- Também foram padronizados outros dois sinais “diferença de cor” $P_B = 0,564(B - Y)$ e $P_R = 0,713(R - Y)$ (com faixa de 1,3 MHz), também conhecidos como Cb e Cr (espaço de cor $YCbCr$).

Digitalização dos sinais de TV analógica

- A teoria, através do teorema de Nyquist, mostra que o valor da frequência de amostragem (f_A) deve ter pelo menos o dobro do valor da máxima frequência do sinal amostrado.
- Embora no início não existisse um valor específico para a frequência de amostragem, atualmente a recomendação conhecida como ITUR601 padronizou como unidade fundamental de amostragem o valor $f_{UF} = 3,375 \text{ MHz}$.
 - Este valor foi escolhido pois é um número múltiplo da frequência de deflexão horizontal tanto para o padrão M (525 linhas @ 59,94 Hz) como para o padrão utilizado na Europa (625 linhas @ 50 Hz).
 - Para os sinais Y , R , G e B , $f_A = 4f_{UF} = 13,5 \text{ MHz}$.
 - Para os sinais $(B - Y)$, $(R - Y)$, U , V , P_B e P_R , emprega-se $f_A = 1f_{UF} = 3,375 \text{ MHz}$ ou $f_A = 2f_{UF} = 6,75 \text{ MHz}$ ou $f_A = 4f_{UF} = 13,5 \text{ MHz}$.

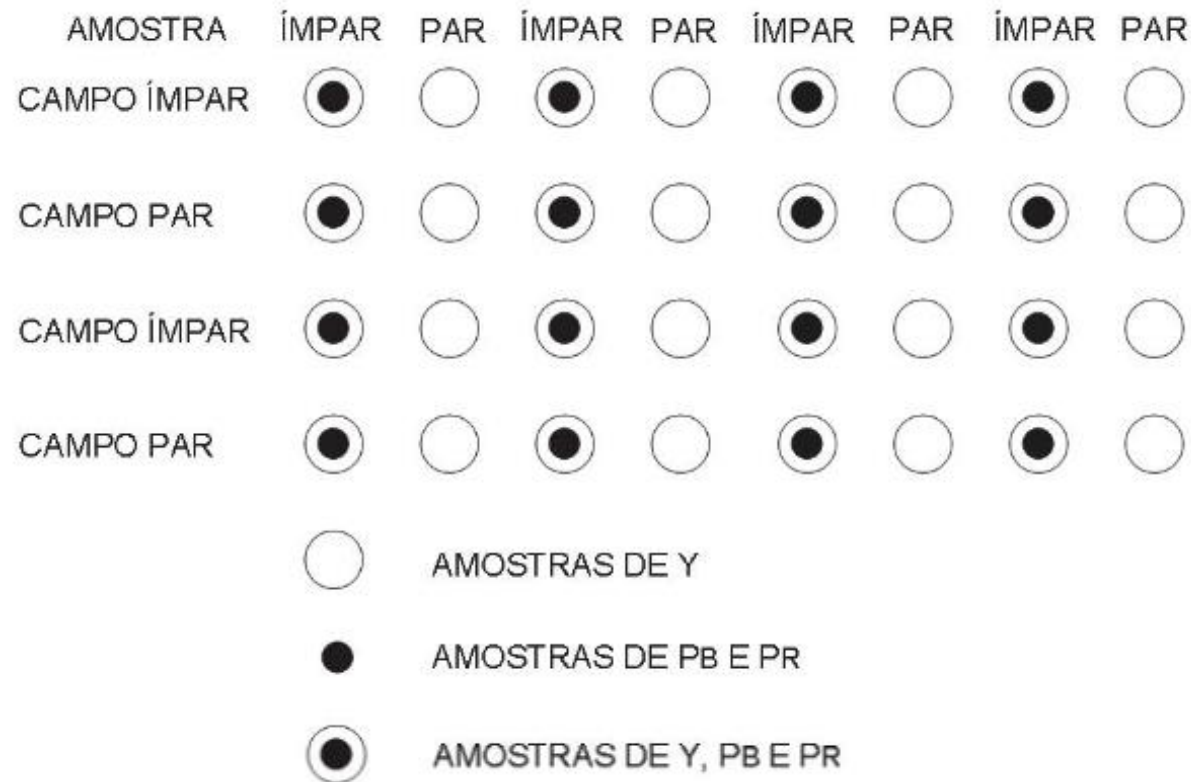
Digitalização dos sinais de TV analógica

- Em um televisão, a quantização utilizando com 8 ou 10 bits é suficiente.
- Existem vários formatos de digitalização, definidos pelo número de unidades de f_{UF} utilizado na amostragem:

Formato	Comentário	Componente		
		Y	P_B	P_R
4:4:4	Usado para teleproduções de altíssima qualidade	$4f_{UF}$	$4f_{UF}$	$4f_{UF}$
4:2:2	É o mais utilizado, com qualidade de imagem muito boa.	$4f_{UF}$	$2f_{UF}$	$2f_{UF}$
4:1:1	Só era aceitável para aplicações de baixa qualidade.	$4f_{UF}$	$1f_{UF}$	$1f_{UF}$
4:2:0	<ul style="list-style-type: none">• O sinal de uma linha é amostrado com 4:2:2 e o da linha seguinte com 4:0:0, ou seja, sem P_B e sem P_R.• Isso é possível porque o olho humano tem menor sensibilidade para as cores do que para a luminância.• A vantagem desse formato é a economia na taxa de bits resultante.			

Digitalização dos sinais de TV analógica

- A figura a seguir mostra detalhes da estrutura do formato 4:2:2.



Digitalização dos sinais de TV analógica

- A taxa de bits do formato 4:2:2 de 10 bits pode ser calculada desta forma:

$$\begin{aligned} \text{(Taxa de bits)} &= [(4 \times 3,375 + 2 \times 3,375 + 2 \times 3,375) \text{ (Mega amostras)/s}] \times 10 \text{ Bit/amostra} \\ \text{ou (Taxa de bits)} &= 270 \text{ MBit/s} = 270 \text{ Mbps} \end{aligned}$$

- Note-se que o valor da taxa de bits é bastante alto e que tal informação não poderia ser transmitida por métodos convencionais através da banda de 6MHz dos canais de TV.

Televisão de alta definição (HDTV)

- A TV analógica tradicional se baseou no antigo cinema de 16mm.
- Entretanto, o cinema evoluiu: a resolução melhorou e as imagens ficaram mais largas, aumentando o campo de visão.
- Desde 1980 foram feitas várias experiências de transmissão de TV de alta definição, tais como o sistema japonês NHK e o sistema europeu Eureka.
- Entretanto, a transmissão de HDTV através dos canais aéreos de TV só foi possível após a implantação da TV Digital.

Televisão de alta definição (HDTV)

- A razão de aspecto empregada nos padrões de HDTV é 16:9.
- Nos Estados Unidos existem dois formatos para HDTV:
 - Sistema de 1125 linhas por quadro entrelaçadas, com 60 campos por segundo, ou senha, 30 quadros por segundo. O número de linhas ativas por quadro é 1080. Esse sistema também é chamado de 1080i.
 - Sistema de 750 linhas por quadro com varredura progressiva, com 60 quadros por segundo. O número de linhas ativas por quadro é 720. Esse sistema também é conhecido como 720p.
- O valor máximo da frequência do sinal de vídeo analógico resultaria em um número superior a 20MHz para ambos os sistemas, ou seja, seria impossível transmitir este sinal através da banda de 6MHz dos canais de TV já existentes.

Televisão de alta definição (HDTV)

- Como já foi visto anteriormente, os sinais “diferença de cor” foram criados para compatibilizar a TV em cores analógica com a TV em preto-e-branco.
- No caso da TV digital, para a transmissão do sinal de HDTV, poderiam ter sido usadas outras soluções. Entretanto, chegou-se à conclusão de que a melhor solução seria continuar usando os sinais Y , P_B e P_R .
- Para HDTV, a norma SMPTE 240M padronizou os três sinais desta forma:

$$Y = 0,212R + 0,701G + 0,087B$$

$$P_B = 0,548(B - Y)$$

$$P_R = 0,635(R - Y)$$

Televisão de alta definição (HDTV)

- **Sistema de 1125 linhas/quadro, com varredura entrelaçada e 30 quadros/s**

Este sistema possui 1080 linhas ativas por quadro, ou seja, 1080 pixels na vertical.

Logo: número de pixels na horizontal = $1080 \times (16/9) = 1920$

Então, tem-se: $(1080 \times 1920) \text{ pixel/quadro} = 2,07 \text{ Mpixel/quadro}$

Ou, tem-se: $(2,07 \text{ MPixel/quadro}) \times (30 \text{ quadros/s}) = 62,1 \text{ Mpixel/s}$

Finalmente, fazendo amostragem total para Y , amostrando os sinais “diferença de cor” a cada dois pixels e supondo um sistema de 10 bits, tem-se:

$(\text{taxa mínima de bits}) = [62,1 \times 10 + (62,1/2) \times 10 + (62,1/2) \times 10] \text{ Mbps} = 1,24 \text{ Gbps}$

Televisão de alta definição (HDTV)

- **Sistema de 750 linhas/quadro, com varredura progressiva e 60 quadros/s**

Este sistema possui 720 linhas ativas por quadro, ou seja, 720 pixels na vertical.

Logo: número de pixels na horizontal = $720 \times (16/9) = 1280$

Então, tem-se: $(720 \times 1280) \text{ pixel/quadro} = 0,92 \text{ Mpixel/quadro}$

Ou, tem-se: $(0,92 \text{ MPixel/quadro}) \times (60 \text{ quadros/s}) = 55,3 \text{ Mpixel/s}$

Finalmente, fazendo amostragem total para Y , amostrando os sinais “diferença de cor” a cada dois pixels e supondo um sistema de 10 bits, tem-se:

$(\text{taxa mínima de bits}) = [55,3 \times 10 + (55,3/2) \times 10 + (55,3/2) \times 10] \text{ Mbps} = 1,1 \text{ Gbps}$

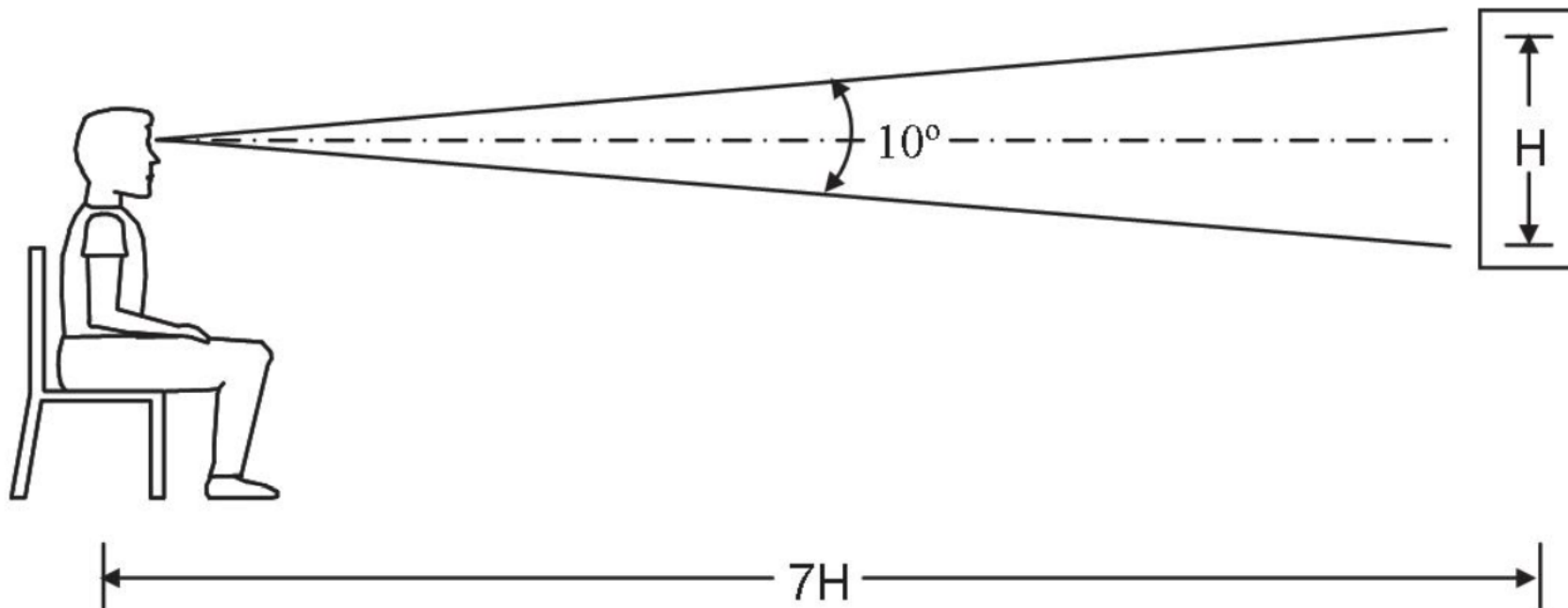
Monitores de HDTV

- Enquanto existia apenas a TV analógica de 525 linhas/quadro e razão de aspecto 4:3, o tradicional cinescópio à válvula, conhecido como “tubo de raios catódicos” (CRT – *Cathode Ray Tube*), foi sempre considerado como a melhor solução para a reprodução da imagem na tela.



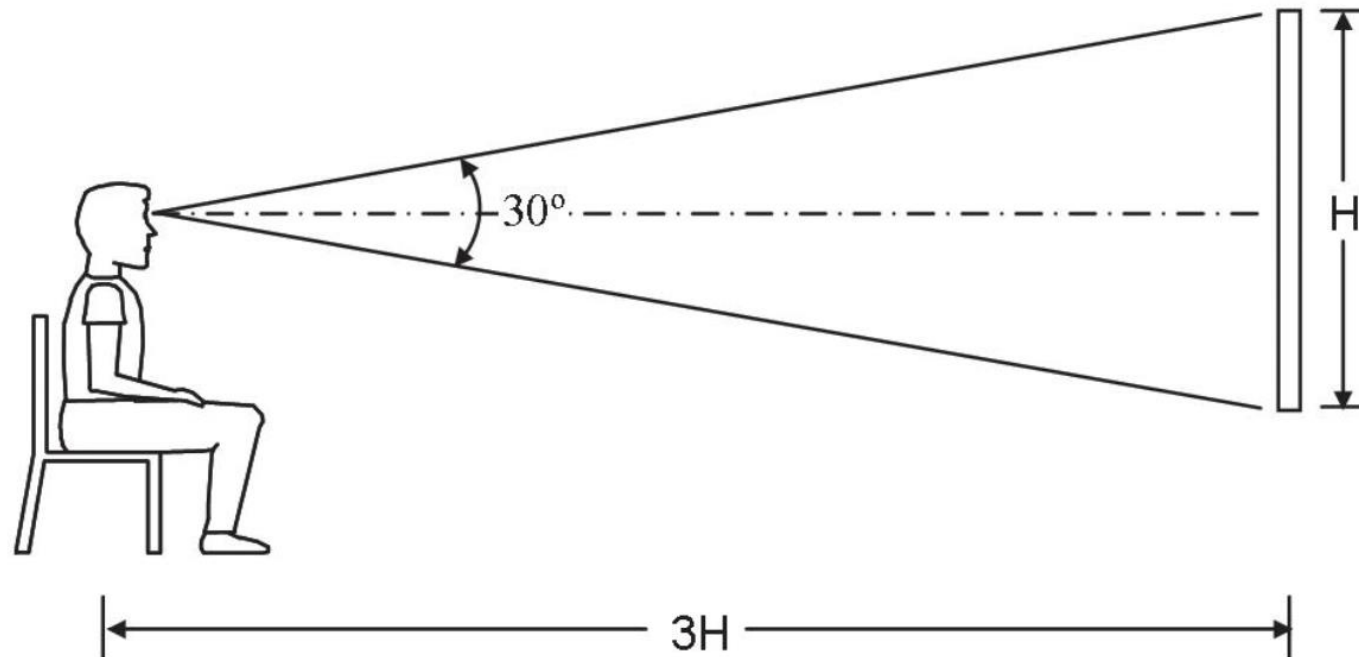
Monitores de HDTV

- Estudos mostram que, para evitar que sejam notadas deficiências na imagem da TV de 525 linhas entrelaçadas, o telespectador deve se localizar a uma distância equivalente a 7 vezes a altura da tela. Isso significa que, para uma tela de 29 polegadas (medida da diagonal), o usuário deve se localizar a 4 metros de distância do receptor.



Monitores de HDTV

- Para aproveitar toda a qualidade da HDTV, os estudos mostram que o telespectador deve se localizar a uma distância equivalente a apenas 3 vezes a altura da tela da imagem.
- Em outras palavras, um receptor de HDTV, com tela de 40 polegadas (valor da diagonal) e razão de aspecto de 16:9 deve ser assistido a uma distância de apenas 1,5 metro.



Monitores de HDTV

- Como se pode observar, o advento da HDTV está revolucionando o mercado de monitores de TV, pois receptores com tela de tamanho grande poderão ser utilizados em salas de pequenas dimensões.
- Outra observação importante é que a profundidade do CRT é relativamente grande (ex.: um receptor de HDTV com CRT de 40 polegadas possui cerca de 80 centímetros de profundidade).



Transmissor de TV digital

- Os circuitos do transmissor têm a função de **converter a informação** que se deseja levar da emissora até os telespectadores em sinais com características possíveis de usar o **espaço livre** como meio de transporte.
- Para isso, o conteúdo da informação é convertido em um sinal que possa **propagar pelo ar** sem dificuldade.



Transmissor de TV digital

- Decidiu-se enquadrar a transmissão de sinais de TV digital nas mesmas **condições já existentes** pela TV analógica, ou seja, a largura de banda de cada canal é 6 MHz e os canais são os mesmos mostrados anteriormente.
- Embora não existam diferenças fundamentais entre os transmissores para TV analógicos e digitais, a maior mudança está no processo de **modulação e demodulação**.

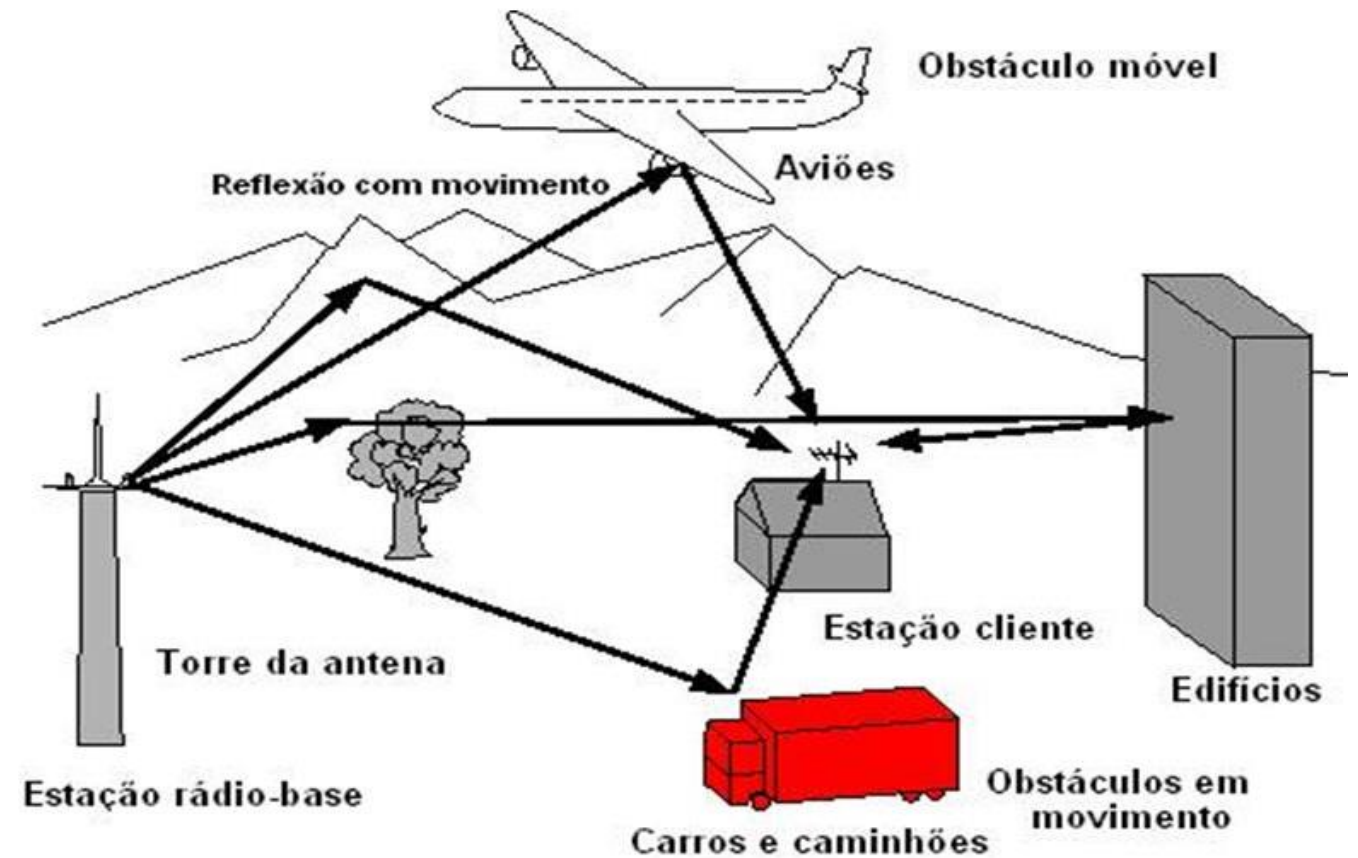
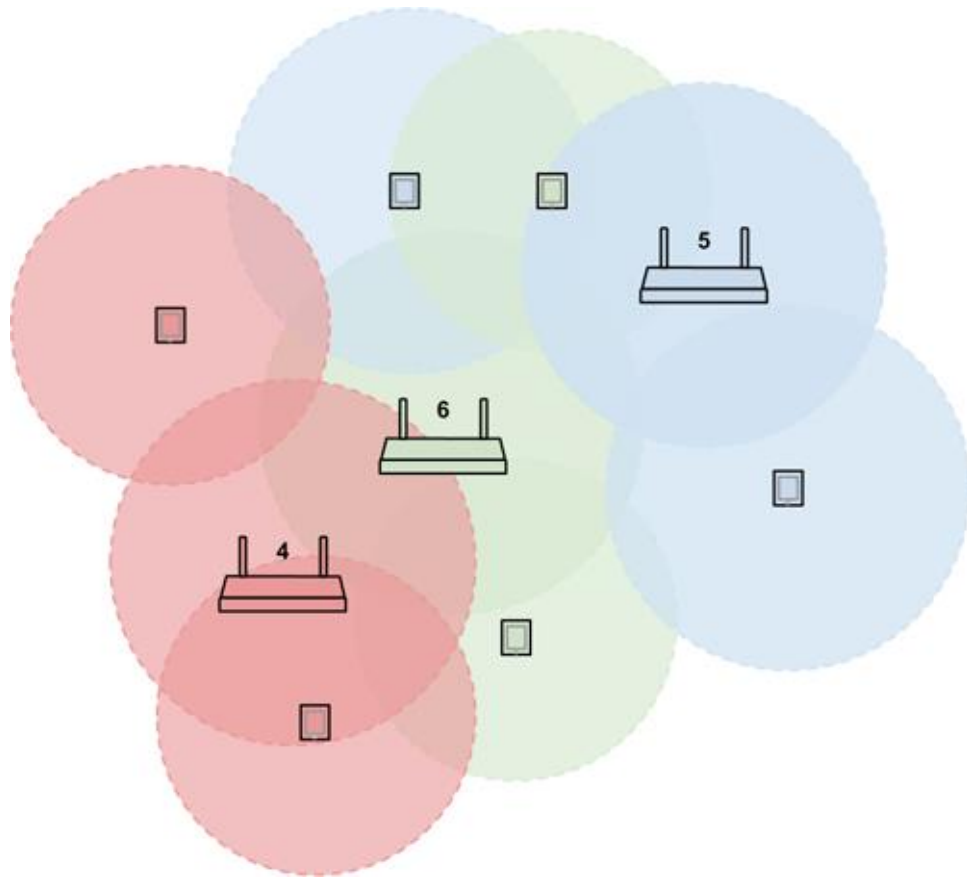


Transmissor de TV digital

- Os sinais de TV se propagando no espaço livre estão sujeitos a várias formas de **degradação** motivadas por interferências, tais como:
 - **ruído impulsivo** gerado por motores elétricos;
 - **ruído de ignição** de automóveis;
 - sinais provenientes de **multipercurso** devido a reflexões em obstáculos;
 - interferências de canais **adjacentes**;
 - frequências de TV **cocanais**, problemas esses que se podem notar nos televisores analógicos como imagens fantasmas ou faixas horizontais no meio da tela. Nos televisores digitais esses efeitos são percebidos como **artefatos** (minúsculos quadrados) que se espalham na tela.

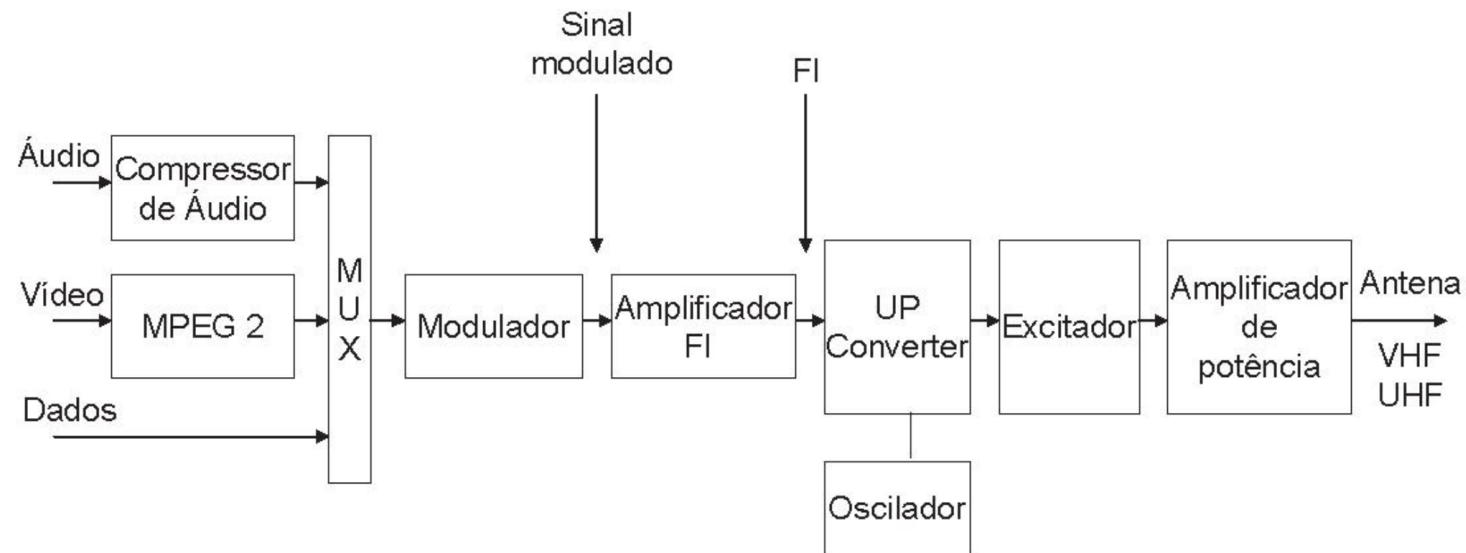


Transmissor de TV digital



Transmissor de TV digital

- No desenvolvimento da TV digital procurou-se minimizar esses efeitos com o uso de uma **modulação mais robusta** com aplicação de recursos como distribuição aleatória dos bits, correção de erros, embaralhamento do conteúdo dos dados etc.
- A seguir está mostrada a estrutura básica de um transmissor de TV digital.

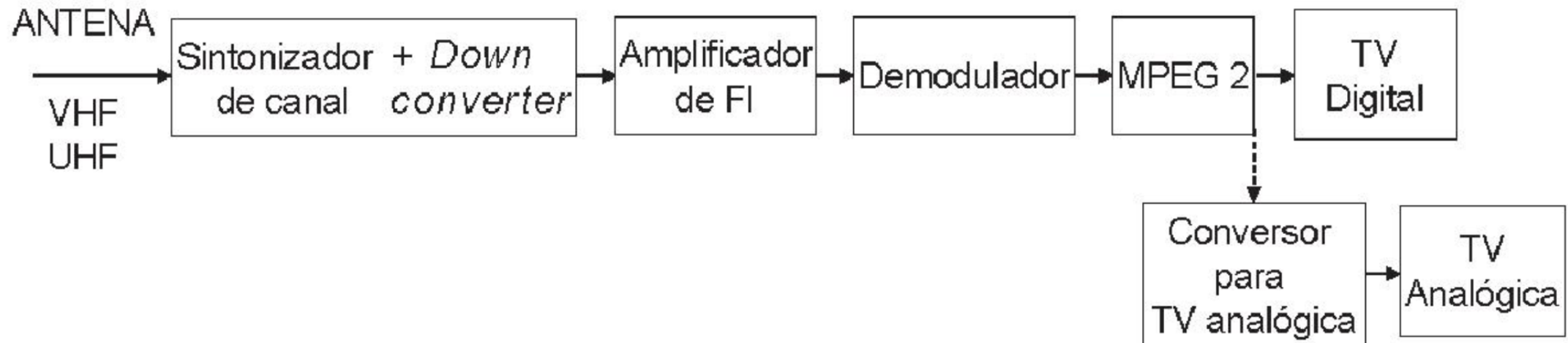


Receptor de TV digital

- Os receptores exercem a função inversa do transmissor, portanto os seus circuitos executam o processo exatamente inverso do que ocorre no transmissor.
- O grande desafio que os projetistas de receptores enfrentam é conseguir desenvolver um equipamento que atenda às características técnicas para uma boa recepção e, ao mesmo tempo, ser um produto de **baixo custo**.
- Isso porque, enquanto na transmissão é necessário um só aparelho por estação, portanto o custo é um parâmetro menos importante, do lado da recepção são necessárias milhares de unidades e ainda ser acessível à maioria da população.

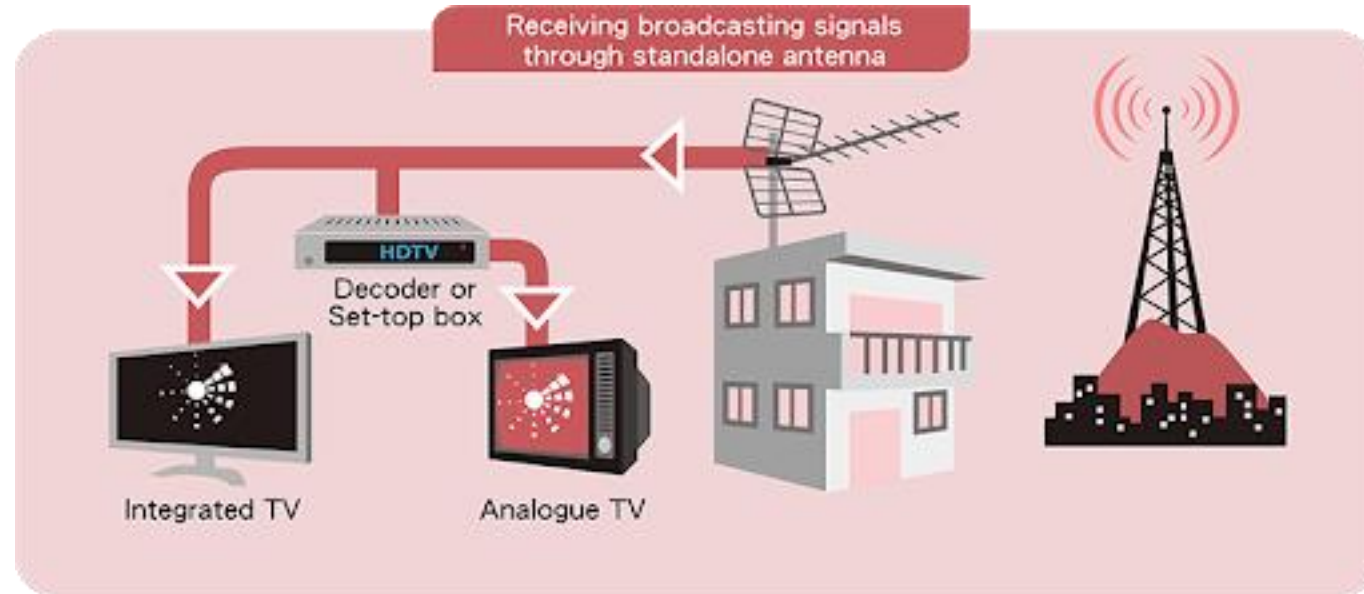
Receptor de TV digital

- Grande ajuda nesse sentido está sendo proporcionada pela grande evolução tecnológica na área de semicondutores, principalmente no desenvolvimento de **chips** o qual possibilita executar tarefas complexas em um único dispositivo.
- A figura a seguir ilustra os principais componentes de um receptor.



Receptor de TV digital

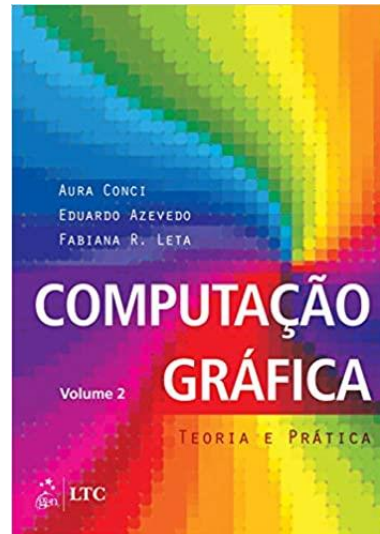
- Alguns receptores podem ainda ser dotados de **recursos adicionais**, como equalizadores, **antenas inteligentes** (que apresentam alto ganho na direção desejada e baixos ganhos nas direções cocanaís não desejadas) ou **combinador de diversidade** que permitem uma melhoria adicional para condições extremas de degradação devido a ruídos e interferências.



Referências & Links Interessantes

- YAMADA, F.; SUKYS, F.; BEDICKS JR., G.; AKAMINE, C.; RAUNHEITTE, L. T. M.;
DANTAS, C. E. Parte I - SISTEMAS DE TV DIGITAL. **Revista Mackenzie de Engenharia e Computação**, v. 5, n. 5, 17 mar. 2010.

Referências & Links Interessantes



- AZEVEDO, Eduardo; CONCI, Aura, Computação gráfica volume 1: geração de imagens. Rio de Janeiro, RJ. Editora Campus, 2003, 353 p. ISBN 85-352-1252-3.
- AZEVEDO, Eduardo; CONCI, Aura; LETA, Fabiana R. Computação gráfica volume 2: teoria e prática. Rio de Janeiro, RJ: Editora Elsevier, 2007, 384 p. ISBN 85-352-2329-0.
- PAULA FILHO, Wilson de Pádua, Multimídia: Conceitos e aplicações. Rio de Janeiro, RJ: LTC, 2000, 321 p. ISBN 978-85-216-1222-3.