

Compressão de Imagens em Movimento

Padrão MPEG-1 / Video

PTC2547 – Princípios de Televisão Digital
Guido Stolfi – 9/2017

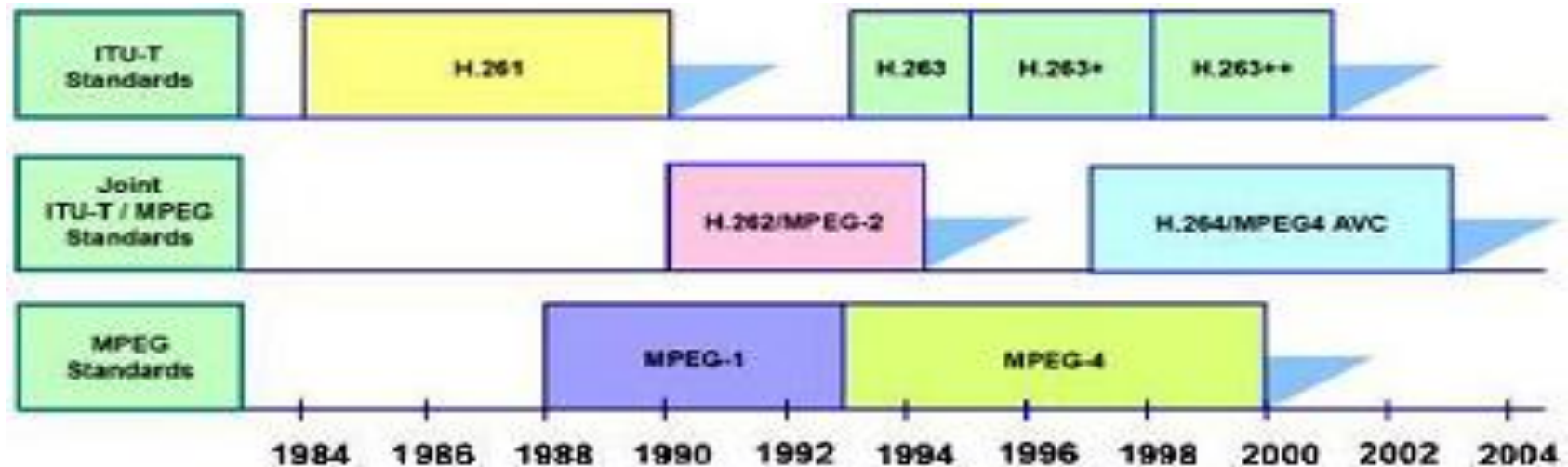


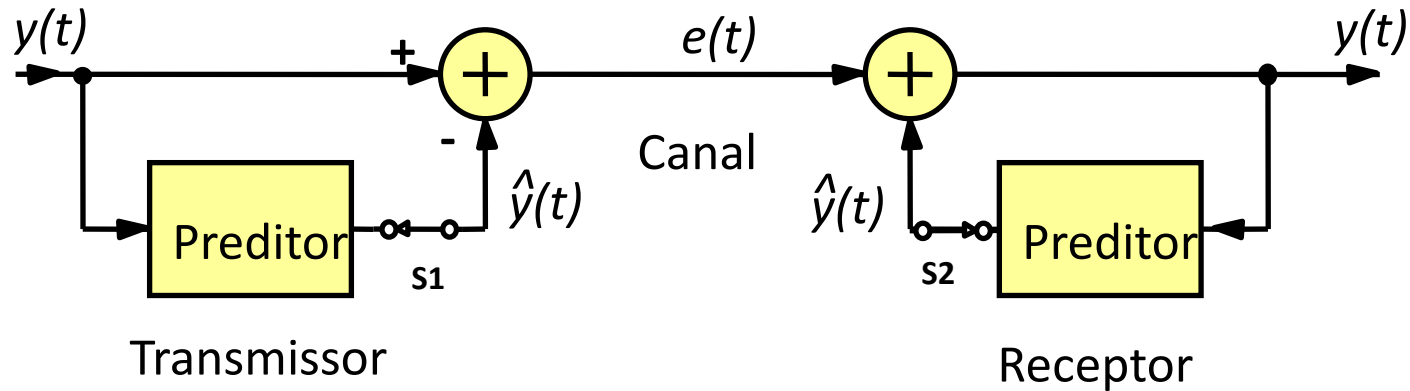
- M-JPEG
- Padrão MPEG-1
- Codificação com Preditor
- Compensação de Movimento
- Estrutura do Codificador MPEG-1
- Sintaxe do Fluxo de Dados
- MPEG-1: Sistema

- Considera cada quadro sucessivo como uma imagem independente
- Efetua compressão JPEG em cada imagem
- Controla o fator de compressão de modo a manter a taxa de bits dentro de limites estabelecidos
- Inconveniente: qualidade insuficiente, taxa de bits elevada.
- Ex.: Formato DCP – “*Digital Cinema Initiative Distribution Package*” – JPEG2000, 4k, até 250 Mbps

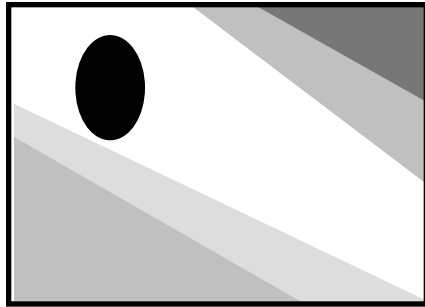
- *Moving Pictures Experts Group* - ISO/IEC 11172a
- Compressão de imagens não-entrelaçadas
- Taxas de informação até 1,5 Mb/s
- Aplicações: vídeo-conferência sobre troncos E1/T1; multimídia em CD-ROM

Evolução dos Padrões de Compressão

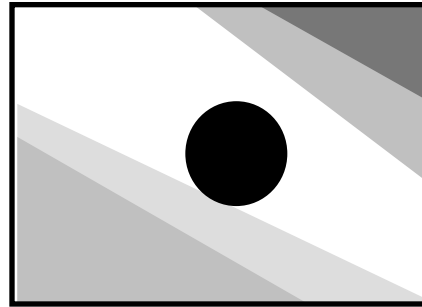




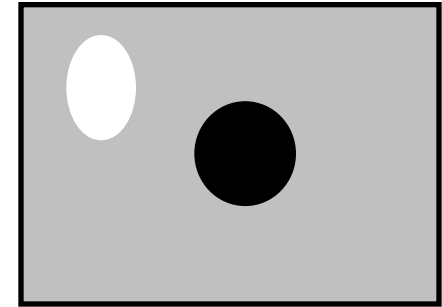
- Eficácia do preditor reduz a energia do sinal transmitido $e(t)$
- Chaves S_1 e S_2 devem ser abertas em instantes apropriados



Anterior
(referência)

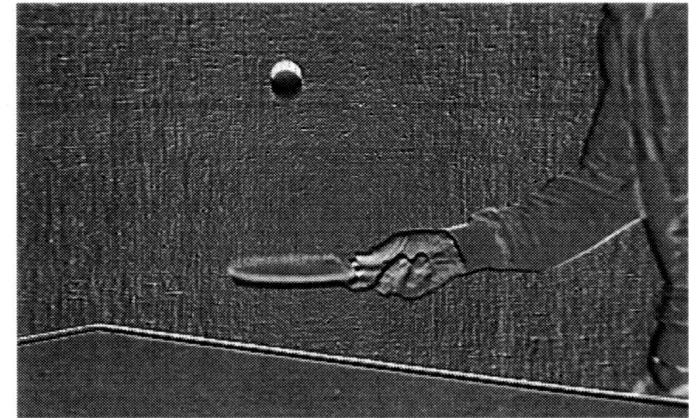
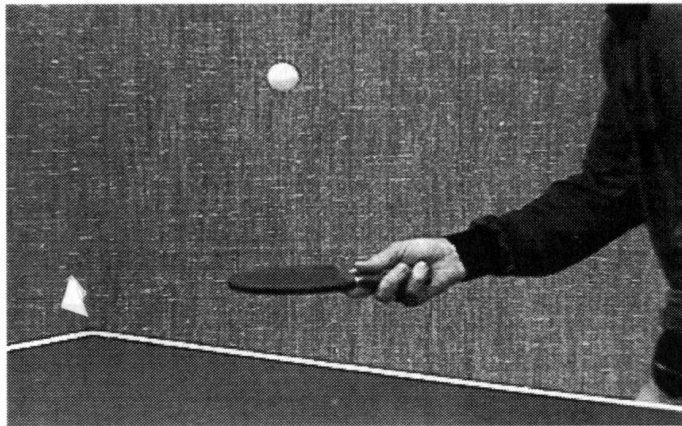
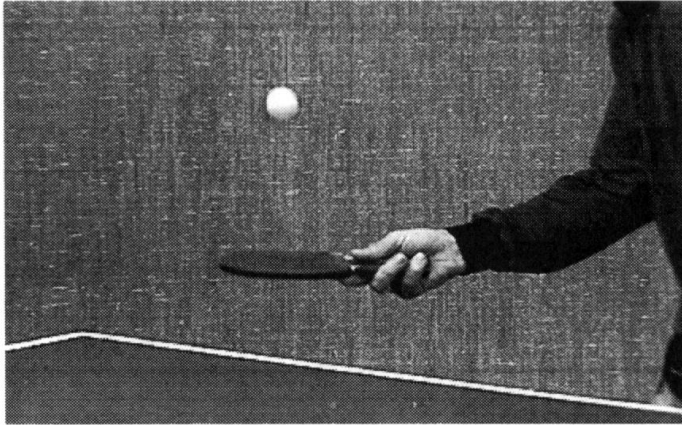


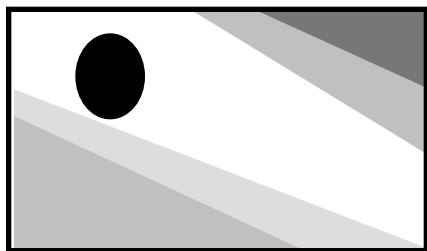
Atual



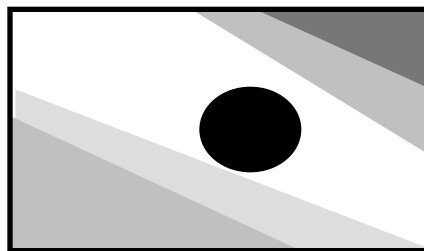
Erro de Predição
(diferença entre as
duas imagens)

Diferença Entre Imagens Sucessivas

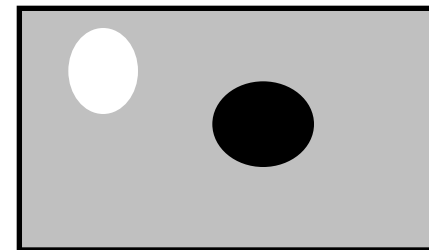




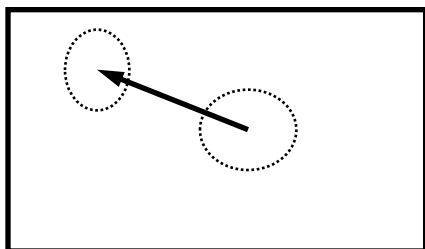
Anterior
(referência)



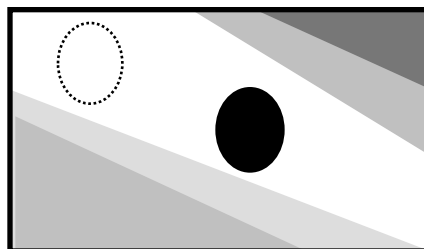
Atual



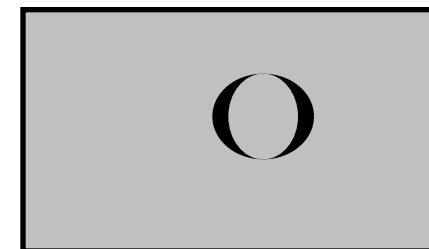
Erro de Predição
(sem compensação)



Vetor de Movimento



Predição
(com compensação)



Erro de Predição
(com compensação)

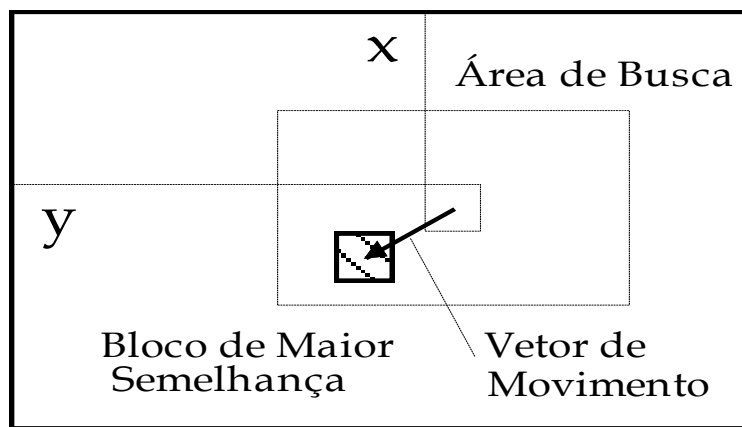


Imagem de Referência

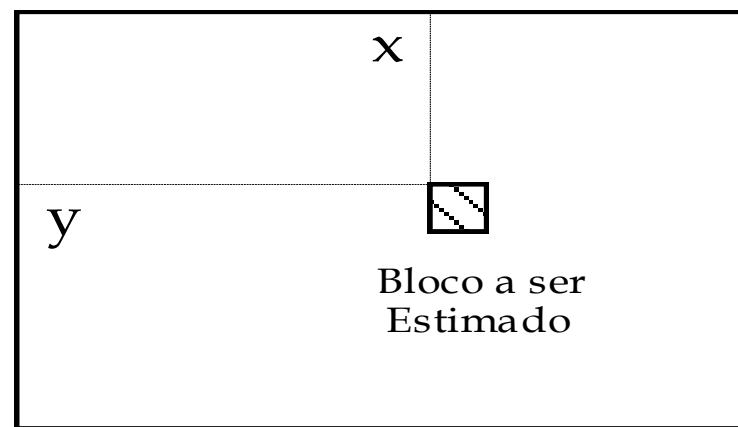
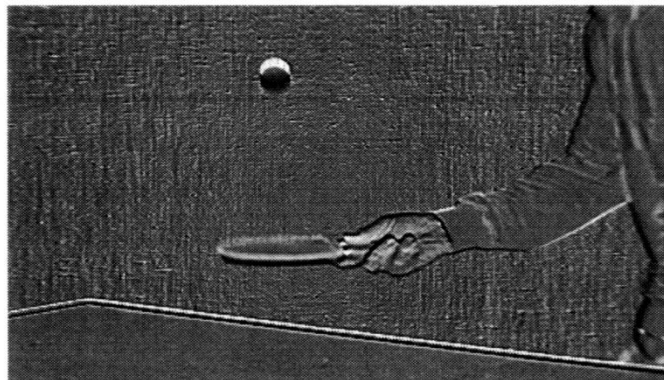
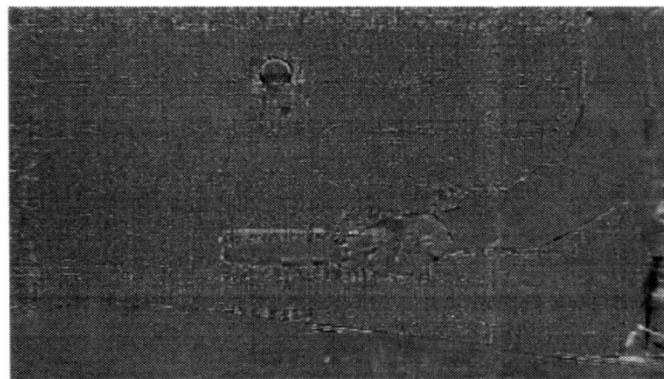


Imagem atual



Sem Compensação
de Movimento



Com Compensação
de Movimento

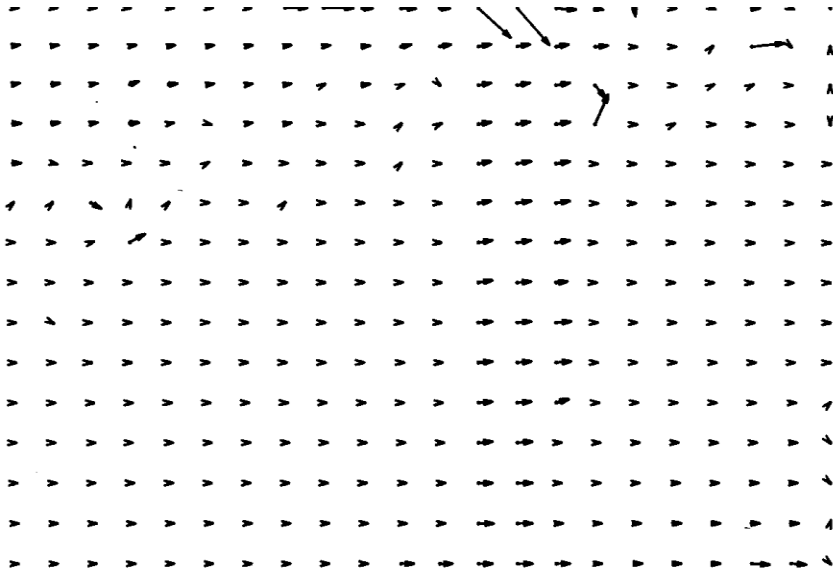
Sequência: “Jardim”



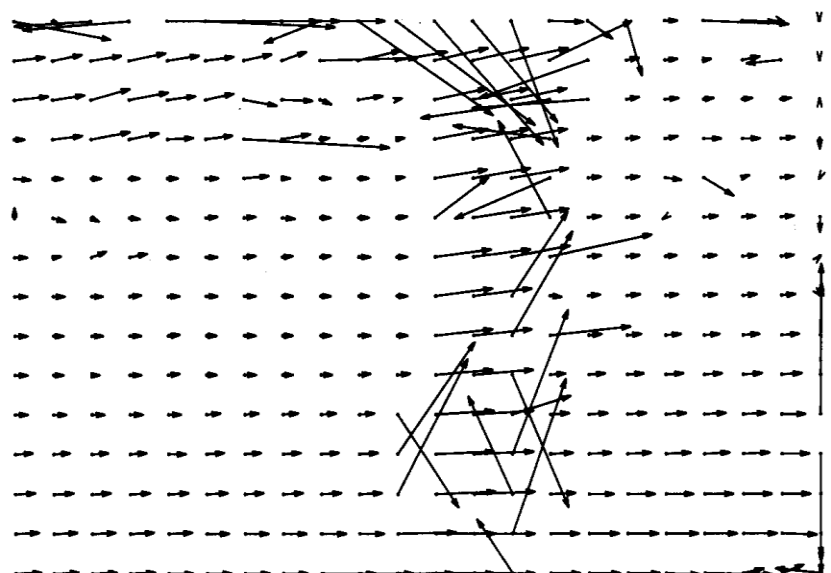
Quadro no. 2



Quadro no. 6

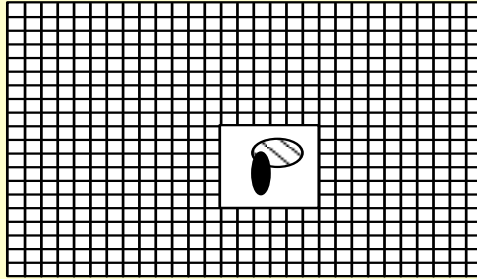


Quadro 2 para 3

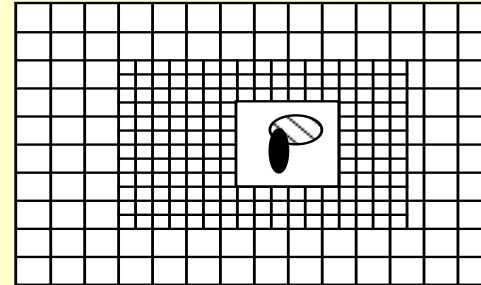


Quadro 2 para 6

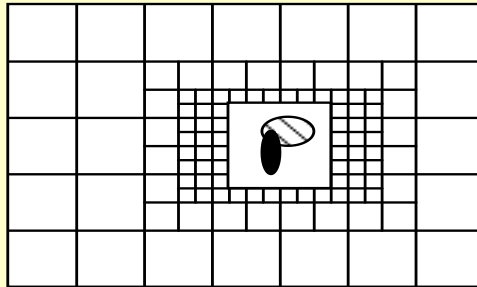
Busca Exaustiva



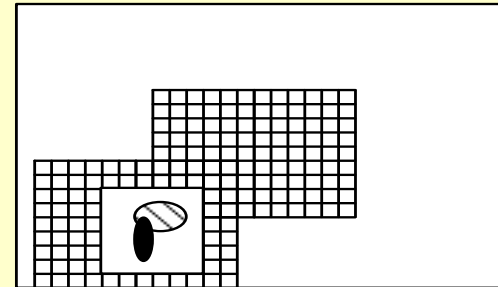
Busca Escalonada



Busca Hierárquica

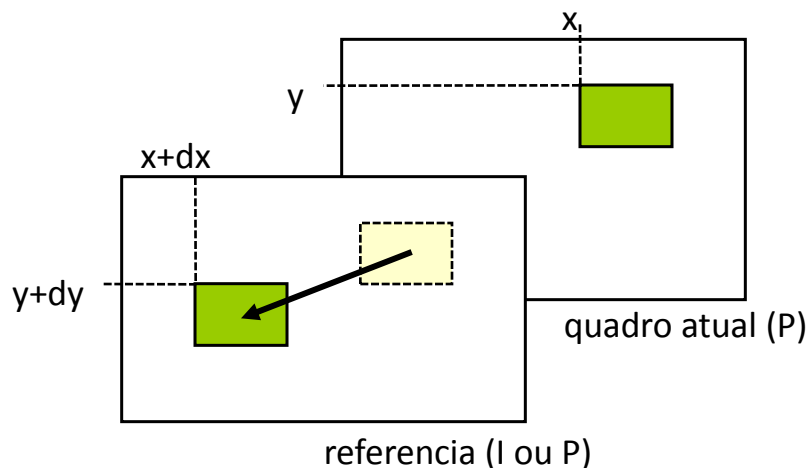


Busca Recursiva



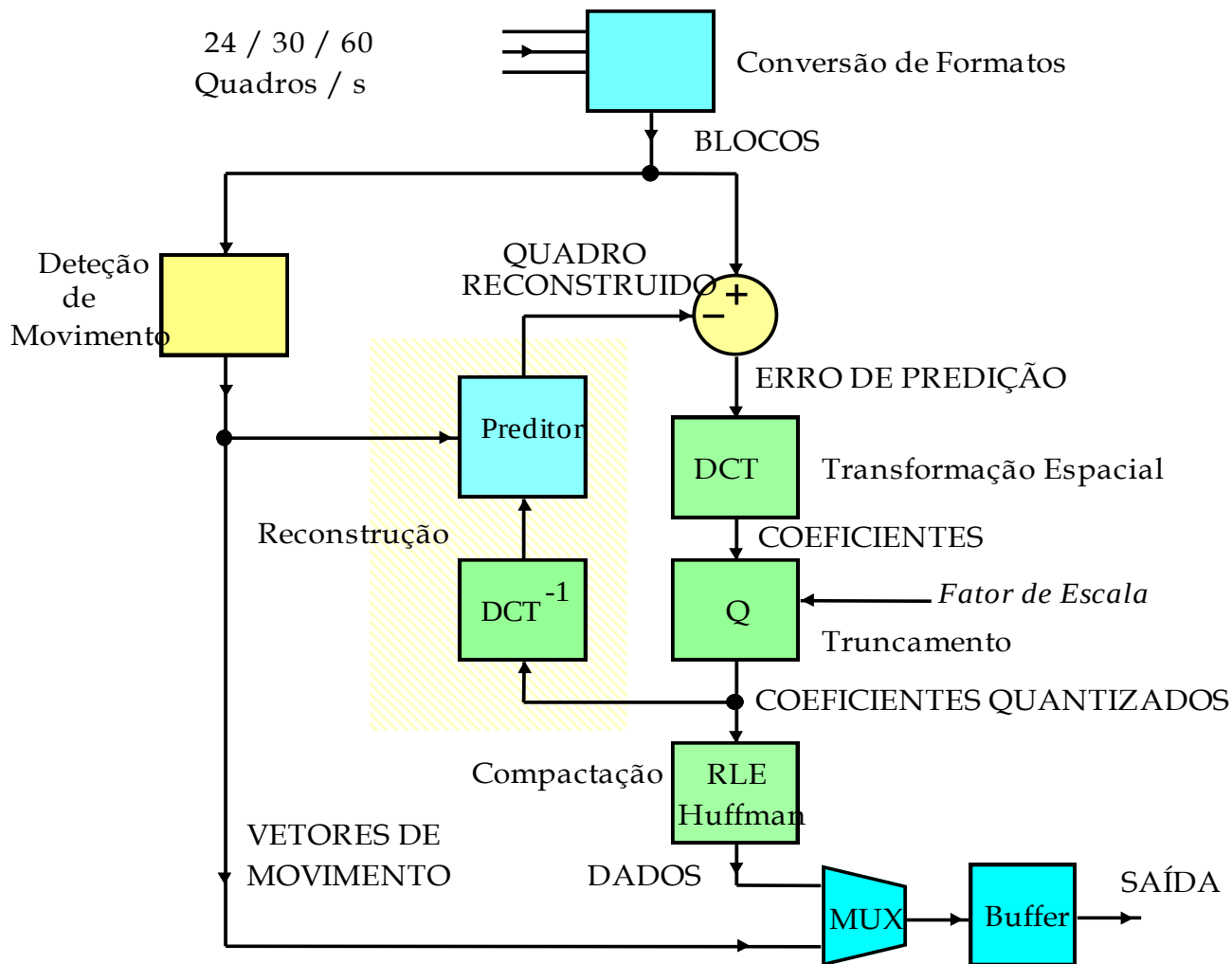
- Distorção Média Absoluta (DMA)

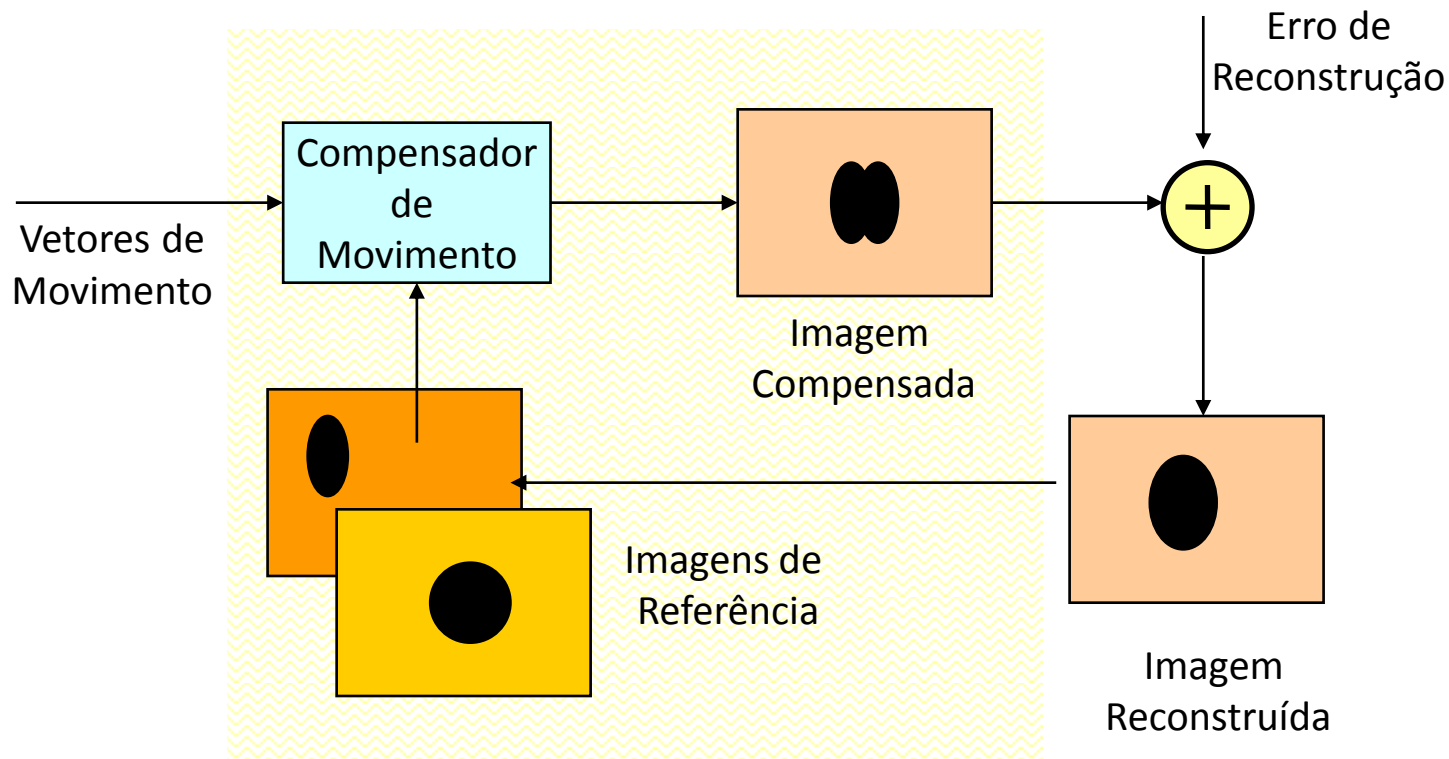
$$DMA(x, y) = \frac{1}{N} \sum_{i,j} |f(x+i, y+j) - ref(x+i+dx, y+j+dy)|$$



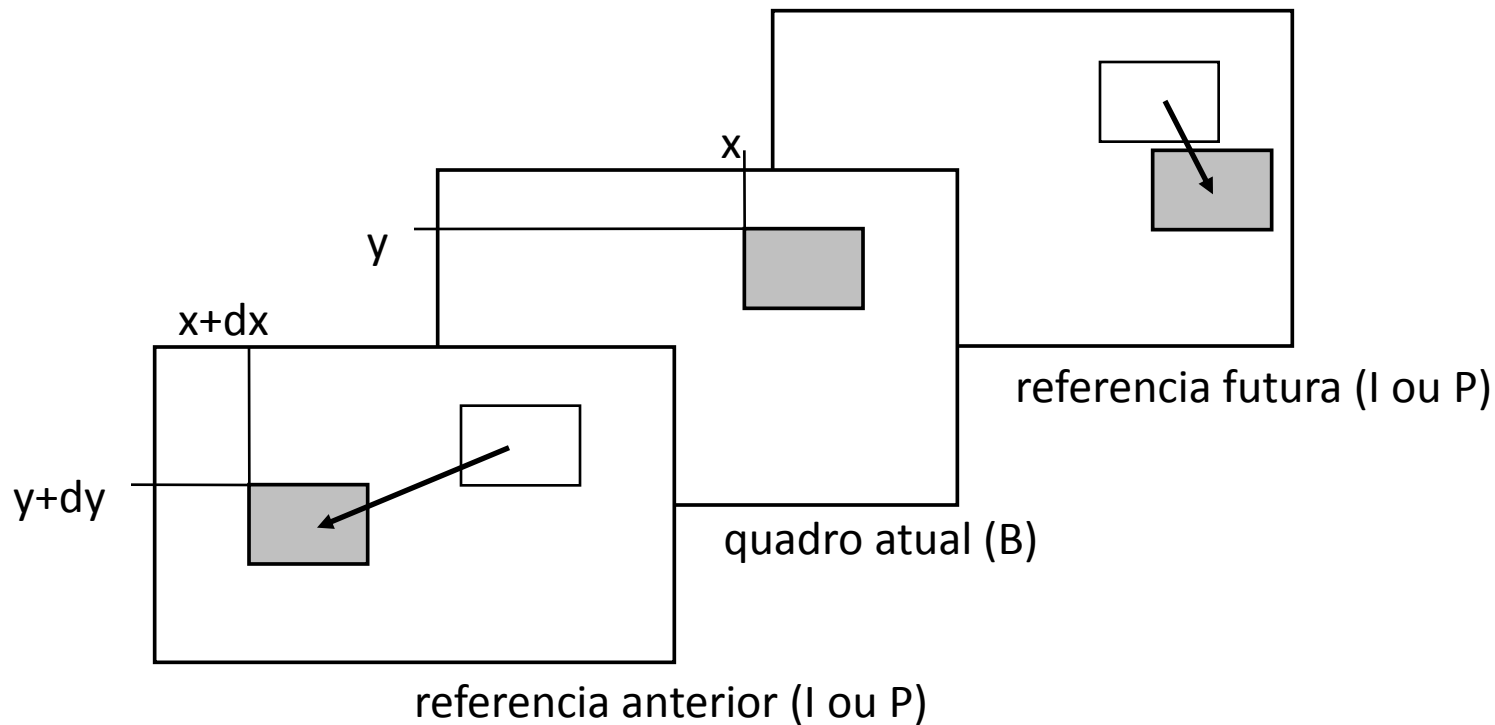
onde (dx, dy) é o deslocamento entre a imagem de referência $ref(x, y)$ e o bloco da imagem de entrada $f(x, y)$

MPEG-1: Estrutura do Codificador

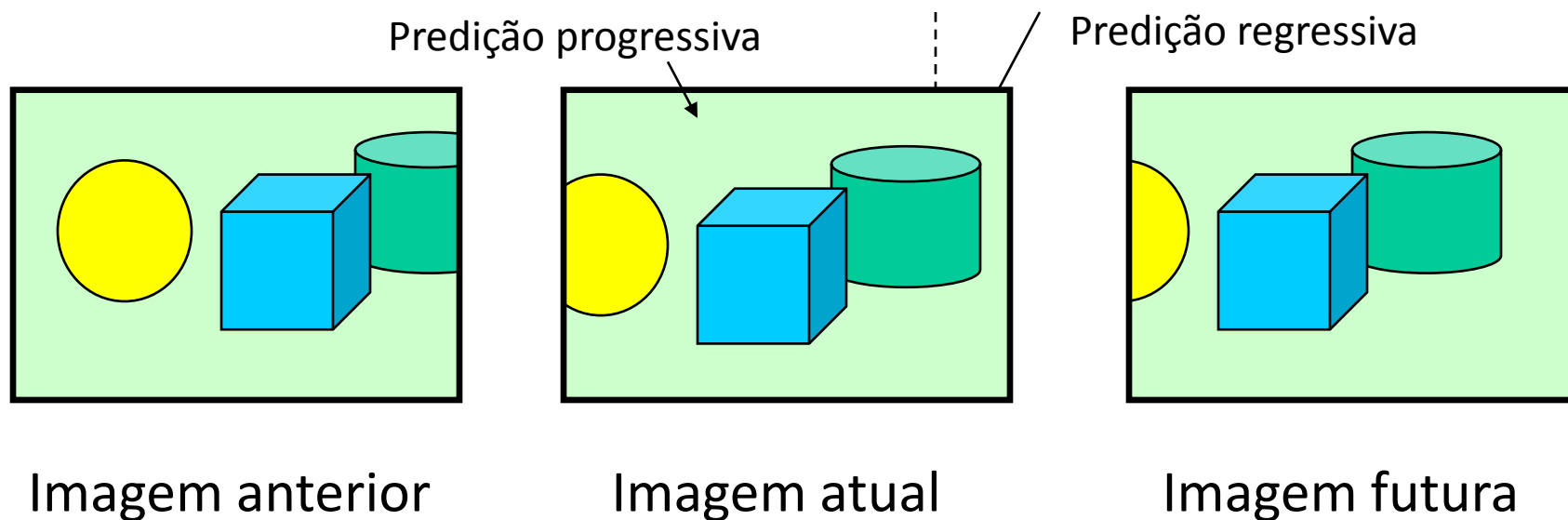


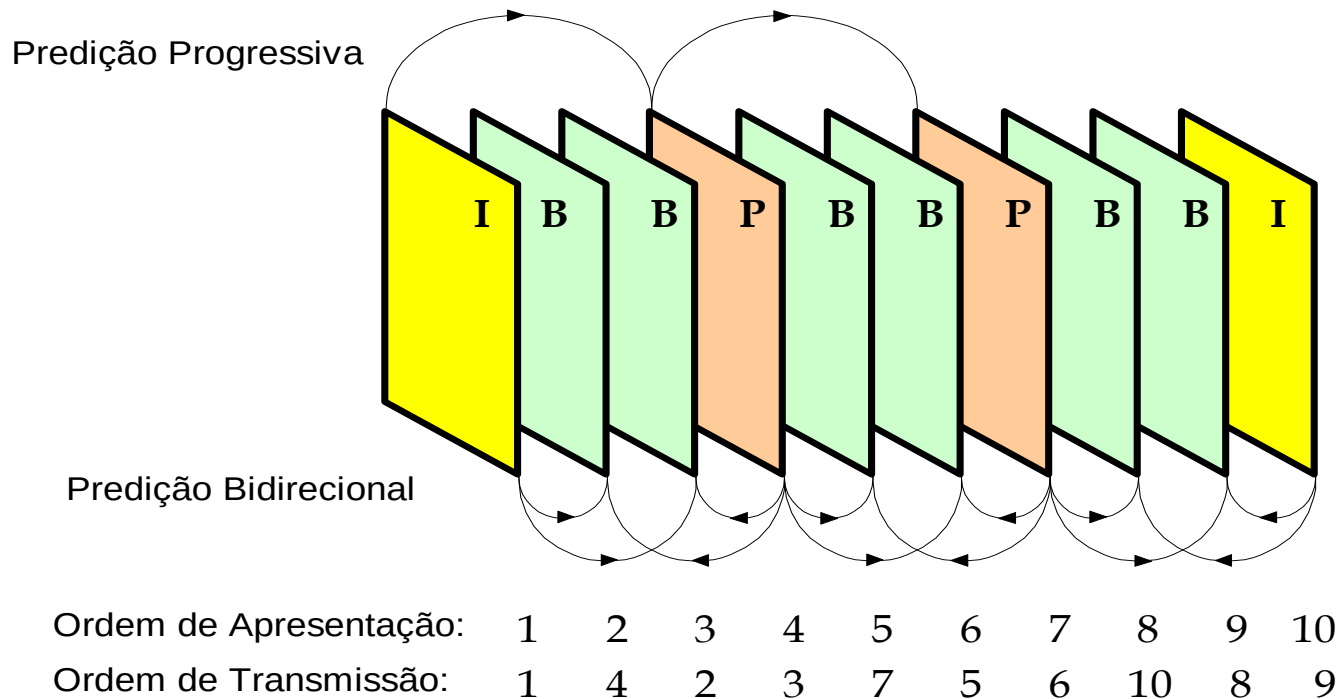


- **Imagens I** (Independentes, *Intra-frame*): codificadas sem predição de movimento, apenas por DCT, quantização e compactação
- **Imagens P** (predição *progressiva* de movimento): reconstruídas através de predição de movimento, baseando-se em imagens de referência anteriormente codificadas, tipo **I** ou **P**
- **Imagens B** (predição *bidirecional*): o preditor baseia-se em duas imagens de referência (anterior e posterior, do tipo **I** ou **P**)

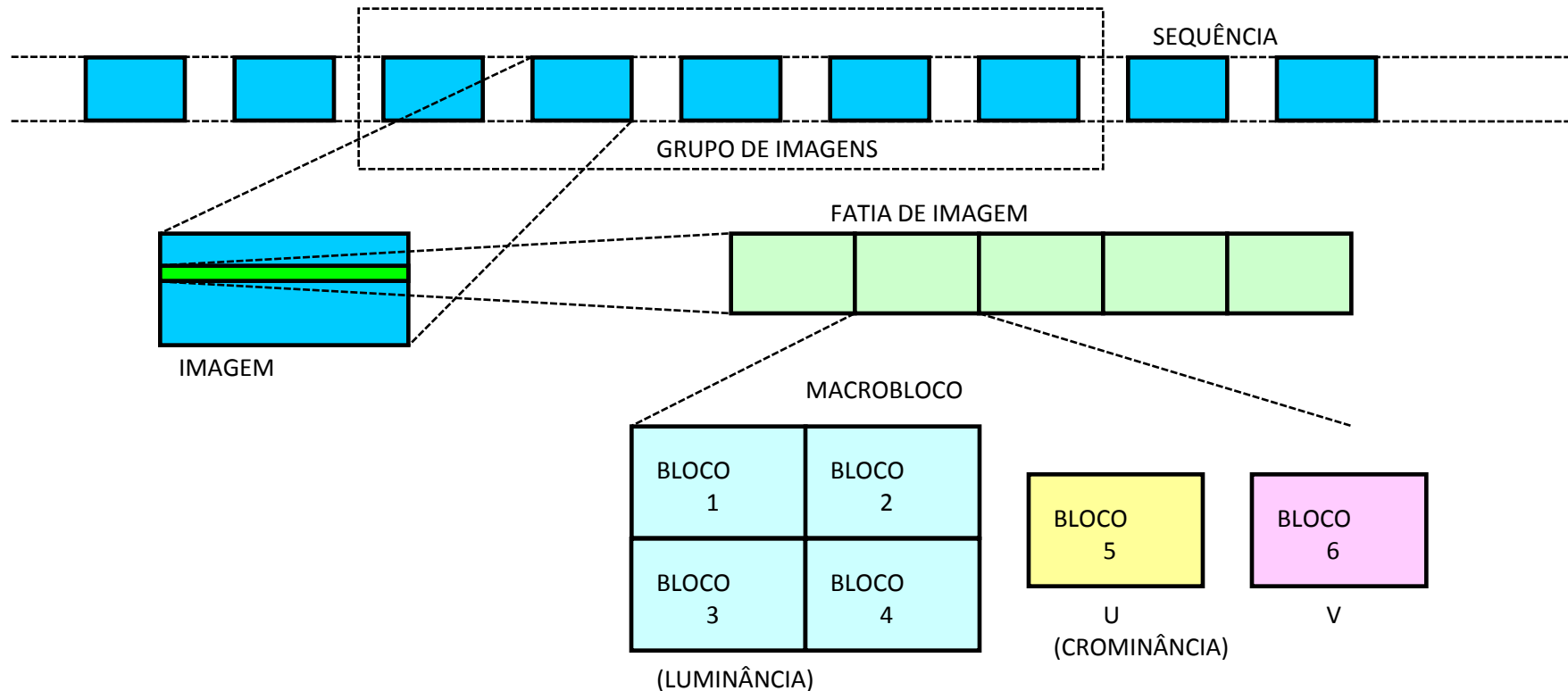


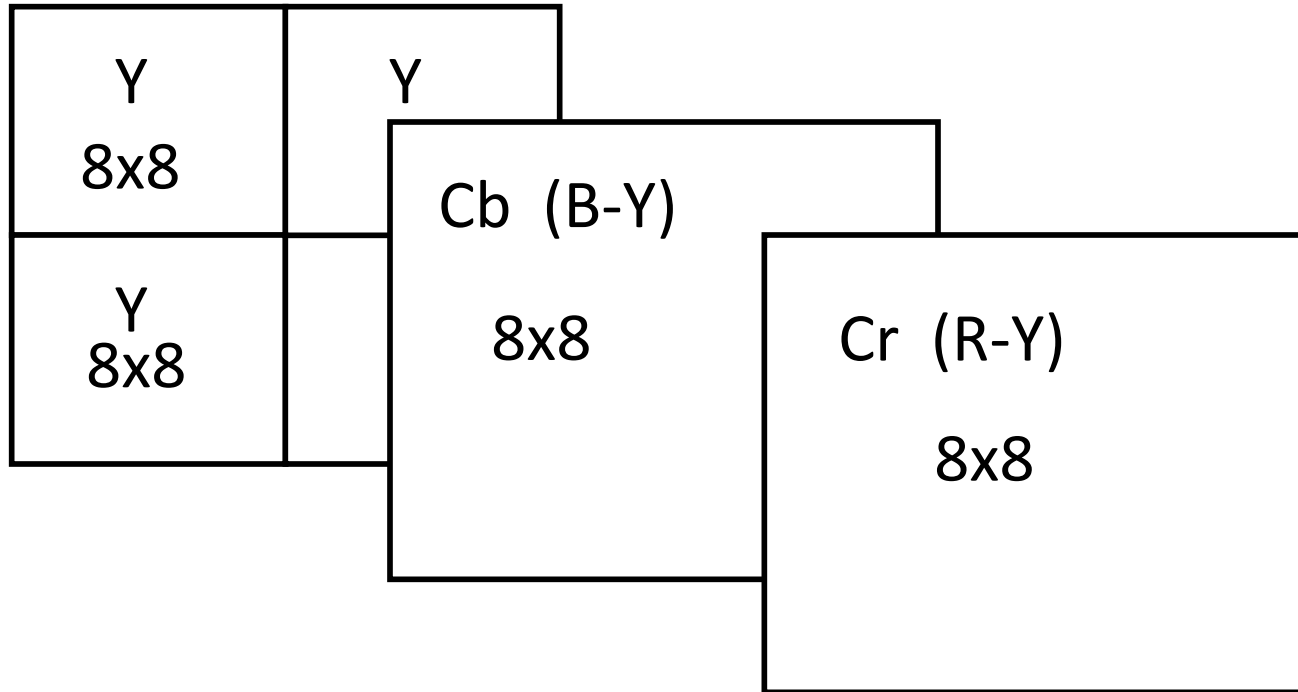
Ex.: Movimento de Câmera (Translação)

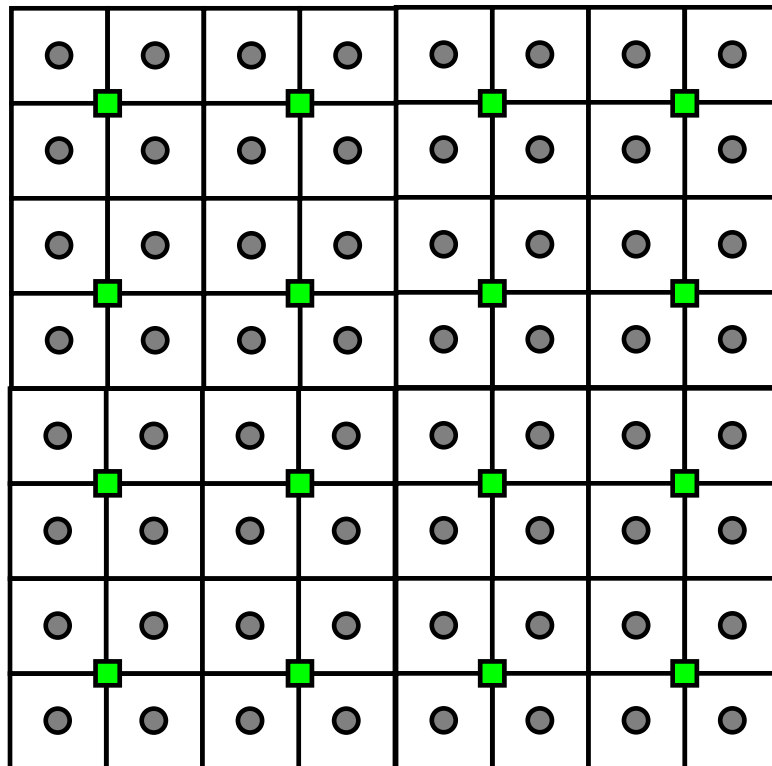




- M = Distância entre imagens Tipo I
- N = Distância entre imagens Tipo I / P
 - Ex.: **I B B P B B P B B (I)** ($M=9, N=3$)
- Grupo **Fechado**: não necessita de imagens de referência externas ao grupo.
 - Ex.: **| I B B P B B P B B P | I B B ...**







Amostras:

● γ

■ U, V

(Tabelas Padrão)

8	16	19	22	26	27	29	34
16	16	22	24	27	29	34	37
19	22	26	27	39	34	34	38
22	22	26	27	29	34	37	40
22	26	27	29	32	35	40	48
26	27	29	32	35	40	48	58
26	27	29	34	38	46	56	69
27	29	35	38	46	56	69	83

Intra-Frame (Imagens Tipo I)

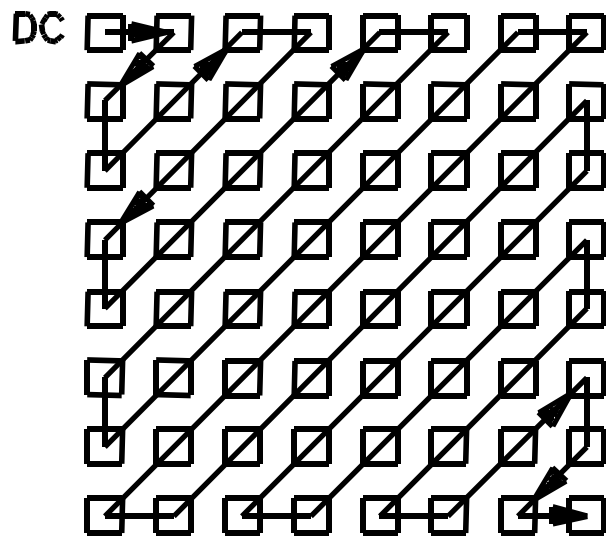
16	16	16	16	16	16	16	16
16	16	16	16	16	16	16	16
16	16	16	16	16	16	16	16
16	16	16	16	16	16	16	16
16	16	16	16	16	16	16	16
16	16	16	16	16	16	16	16
16	16	16	16	16	16	16	16
16	16	16	16	16	16	16	16

Inter-Frame (Imagens Tipo P, B)

$$F_q(u, v) = \begin{cases} \frac{F(0,0)}{8} & \text{para } u = v = 0 \\ \frac{F(u, v) \times 8}{q \times Q(u, v)} & \text{p/ } u, v \neq 0 \end{cases}$$

Blocos tipo I: arredondamento p/ inteiro mais próximo

Blocos tipo P, B: arredondamento em direção a zero

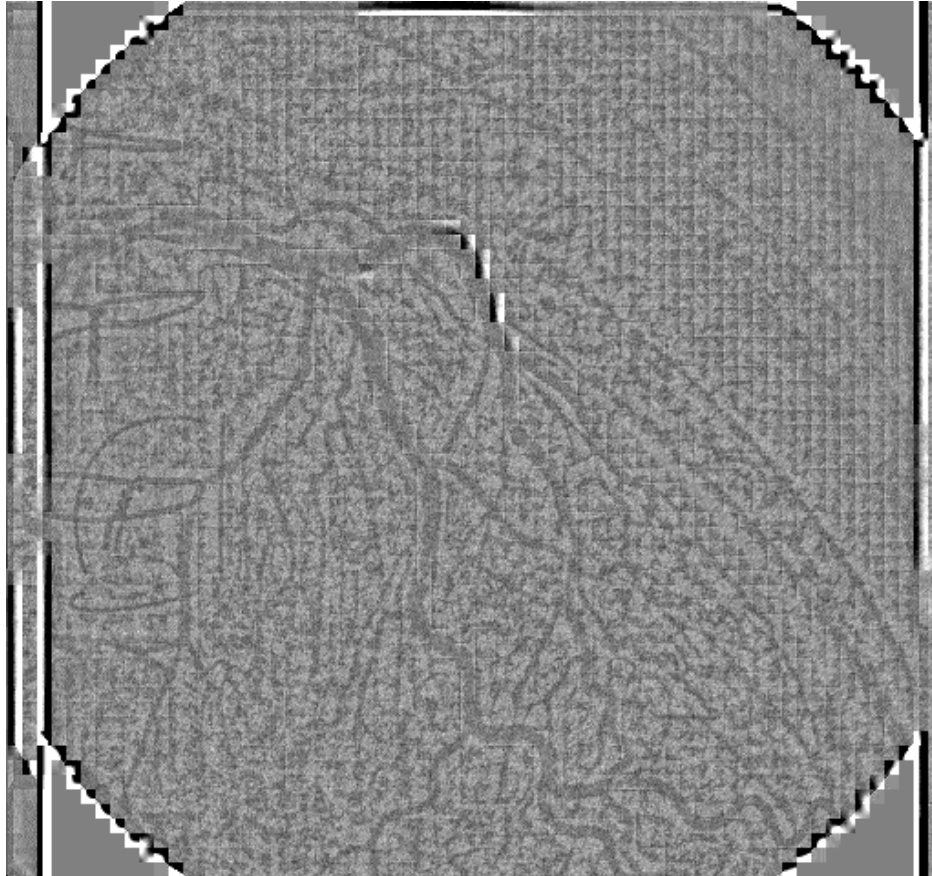


-26	-3	-6	2	2	0	0	0
1	-2	-4	0	0	0	0	0
-3	1	5	-1	-1	0	0	0
-4	1	2	-1	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0

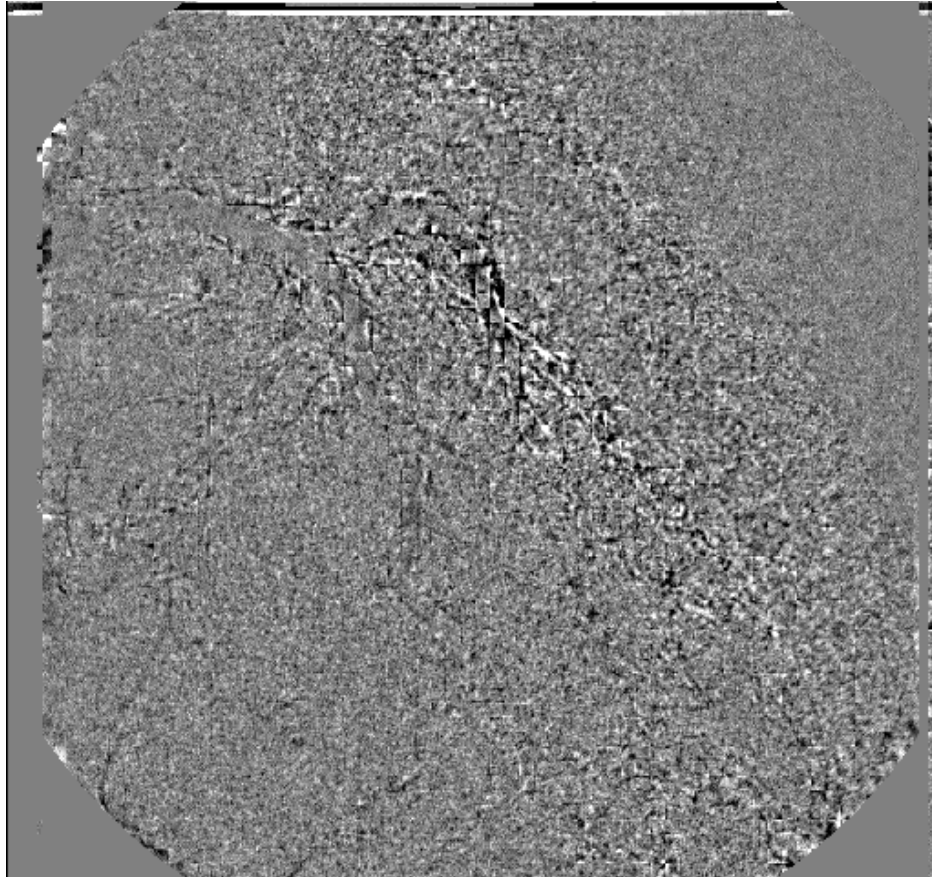
```
[  -26  -3   1  -3  -2  -6   2  -4   1  -4   1
   1   5   0   2   0   0  -1   2   0   0   0  -1
                -1  EOB ]
```



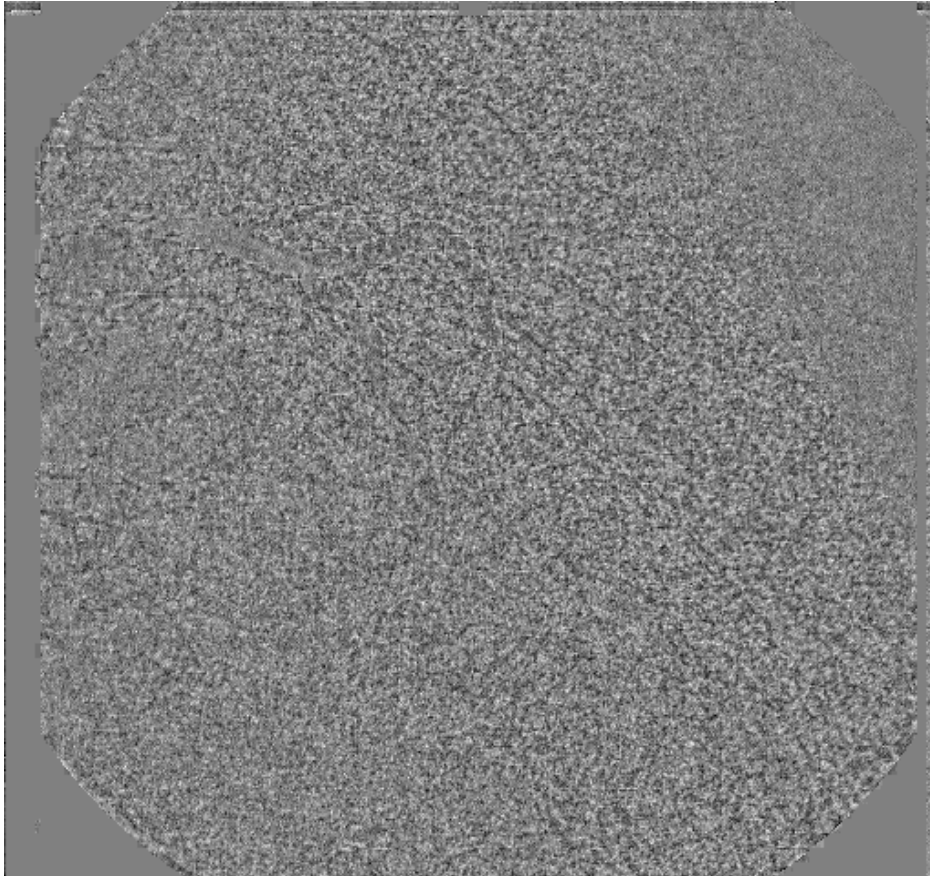
512 x 480
8 bits



Contraste
aumentado
(x 16)

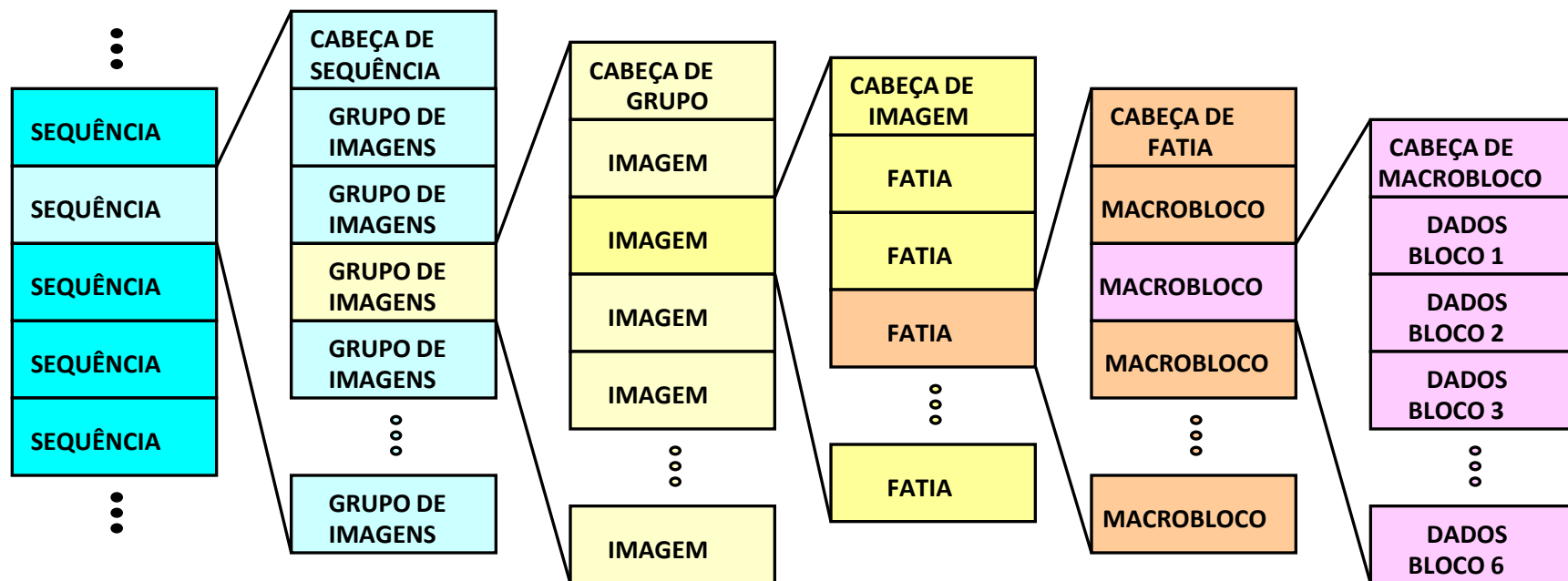


Contraste
aumentado
(x 16)



Contraste
aumentado
(x 16)

MPEG-1: Fluxo de Dados



Prefixo:	Código Hexadecimal:
Início de Sequência	00 00 01 B3
Início de Grupo de Imagens	00 00 01 B8
Início de Imagem	00 00 01 00
Início de Fatia (linha 1 até 175)	00 00 01 01 até 00 00 01 AF
Início de Extensão	00 00 01 B5
Fim de Sequência	00 00 01 B7
Início de Área de Dados do Usuário	00 00 01 B2

Código de Início de Sequência (00 00 01 B3 h)
Resolução Horizontal (12 bits)
Resolução Vertical (12 bits)
Relação de Aspecto (4 bits - Tabela 1)
Taxa de Frames por segundo (4 bits - Tabela 2)
Taxa de Bits por segundo (18 bits, múltiplo de 400 bps)
Tamanho de Buffer necessário (10 bits, mult. de 2 kBytes)
Matriz de Quantização (Opcional)
Matriz de Quantização Intra-Frame (64 valores)
Matriz de Quantização Inter-Frame (64 valores)
Código de Início de Extensões (Futuras) (00 00 01 B5 h)
Código de Área de Dados (Opcionais) (00 00 01 B2 h)

Tabela 1: Relação de Aspecto do Pixel

CÓDIGO	A/L
0000	Proibido
0001	1.00
0010	0.6735
0011	0.7175
0100	0.7615
0101	0.8055
0110	0.8495
0111	0.8935
1000	0.9375
1001	0.9815
1010	1.0255
1011	1.0695
1100	1.1135
1101	1.1575
1110	1.2015
1111	Reservado

Tabela 2: taxa de Quadros por segundo

CÓDIGO	Quadros / s
0000	Proibido
0001	23.976
0010	24
0011	25
0100	29.97
0101	30
0110	50
0111	59.94
1000	60
1001	Reservado
1010	Reservado
1011	Reservado
1100	Reservado
1101	Reservado
1110	Reservado
1111	Reservado

Código de Início de Grupo de Imagens (00 00 01 B8 h)
Time Code (25 bits - Tabela 4)
Flag de Grupo Aberto / Fechado
Flag de Sequência Interrompida
Código de Extensões (Futuras) (00 00 01 B5 h)
Código de Área de Dados (Opcionais) (00 00 01 B2 h)

Tabela 4

CAMPO	BITS	VALORES
Flag Drop Frame	1	0 / 1
Horas	5	0 - 23
Minutos	6	0 - 59
(Valor Fixo)	1	1
Segundos	6	0 - 59
Frames	6	0 - 59

Time Code: hh:mm:ss:ff + flag drop frame

Código de Início de Imagem (00 00 01 00 h)
Referência Temporal (10 bits)
Tipo de Imagem (3 bits - Tabela 5)
Tempo Previsto para Encher Buffer (16 bits)
* Flag de Precisão dos Vetores de Movimento (1 ou 0,5 pixels)
* Código dos Vetores de Movimento (3 bits, Tabela 6)
** Flag de Precisão dos Vetores Regressivos (1 ou 0,5 pixels)
** Código dos Vetores Regressivos (3 bits, Tabela 6)
Código de Extensões (Futuras) (00 00 01 B5 h)
Código de Área de Dados (Opcionais) (00 00 01 B2 h)
* - Apenas para Imagens P ou B ** - Apenas para Imagens B

Tabela 5 - Codificação do Tipo de Imagem

CÓDIGO	TIPO DE IMAGEM
000	Proibido
001	Imagem I
010	Imagem P
011	Imagem B
100	Imagem D
101	Reservado
110	Reservado
111	Reservado

Tabela 6 - Codificação do Tamanho dos Vetores de Movimento

CÓDIGO	TAMANHO	FATOR
001	0	1
010	1	2
011	2	4
100	3	8
101	4	16
110	5	32
111	6	64

TAMANHO = Número de bits da Codificação do Resíduo

FATOR = Fator Multiplicativo do Valor Base (Tabela 9)

CÓDIGO	ALCANCE (1/2 pixel)	ALCANCE (1 pixel)	MÓDULO
001	-8 a 7.5	-16 a 15	32
010	-16 a 15.5	-32 a 31	64
011	-32 a 31.5	-64 a 63	128
100	-64 a 63.5	-128 a 127	256
101	-128 a 127.5	-256 a 255	512
110	-256 a 255.5	-512 a 511	1024
111	-512 a 511.5	-1024 a 1023	2048

Código de Início de Fatia de Imagem (00 00 01 01 até 00 00 01 AF h)
Fator de Escala do Quantizador " q " (5 bits)
Flag de Informação Extra
Informação Extra (Opcional) (bytes)

$$F_{x,y} = \begin{cases} DC \times 8 & \text{para } x = 0; y = 0 \\ \frac{AC_{x,y} \times q \times Q_{x,y}}{8} & \text{demais casos} \end{cases}$$

Enchimento (11 bits = 000 0000 1111 b)
Incremento de Endereço de Macrobloco (1 a 11 bits - Tabela 7)
Tipo de Macrobloco (Tabela 8)
* Fator de Escala de Quantização Alternativo (5 bits)
* Vetores de Movimento Progressivos:
Horizontal (Base e Residual)
Vertical (Base e Residual)
* Vetores de Movimento Regressivos:
Horizontal (Base e Residual)
Vertical (Base e Residual)
* Padrão de Codificação de Blocos (Tabela 10)
Coeficientes DC e AC dos blocos codificados
* - Presentes de Acordo c/ Flags do Tipo de Macrobloco (Tabela 8)

Tabela 7 - Códigos de Incremento de Endereço de Macrobloco

CÓDIGO	INCREM.	CÓDIGO	INCREM.	CÓDIGO	INCREM.
1	1	0000 1000	13	000 0010 0000	25
011	2	0000 0111	14	000 0001 1111	26
010	3	0000 0110	15	000 0001 1110	27
0011	4	00 0001 0111	16	000 0001 1101	28
0010	5	00 0001 0110	17	000 0001 1100	29
0 0011	6	00 0001 0101	18	000 0001 1011	30
0 0010	7	00 0001 0100	19	000 0001 1010	31
000 0111	8	00 0001 0011	20	000 0001 1001	32
000 0110	9	00 0001 0010	21	000 0001 1000	33
0000 1011	10	000 0010 0011	22	000 0000 1000	Escape (33)
0000 1010	11	000 0010 0010	23	000 0000 1111	Enchimento
0000 1001	12	000 0010 0001	24		

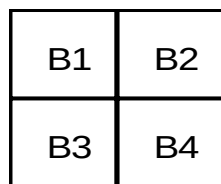
Tipo de Imagem	CÓDIGO	NOME	Fator de Escala	Movim. Progress.	Movim. Regress.	Padrão de Blocos	Codif. Intra
Tipo I	1	Intra-d	Não	Não	Não	Não	Sim
	01	Intra-q	Sim	Não	Não	Não	Sim
Tipo P	1	Pred-mc	Não	Sim	Não	Sim	Não
	01	Pred-c	Não	Não	Não	Sim	Não
	001	Pred-m	Não	Sim	Não	Não	Não
	00011	Intra-df	Não	Não	Não	Não	Sim
	00010	Pred-mcq	Sim	Sim	Não	Sim	Não
	00001	Pred-cq	Sim	Não	Não	Sim	Não
	000001	Intra-q	Sim	Não	Não	Não	Sim

Tipo de Imagem	CÓDIGO	NOME	Fator de Escala	Movim. Progress.	Movim. Regress.	Padrão de Blocos	Codif. Intra
Tipo B	10	Pred-i	Não	Sim	Sim	Não	Não
	11	Pred-ic	Não	Sim	Sim	Sim	Não
	010	Pred-b	Não	Não	Sim	Não	Não
	011	Pred-bc	Não	Não	Sim	Sim	Não
	0010	Pred-f	Não	Sim	Não	Não	Não
	0011	Pred-fc	Não	Sim	Não	Sim	Não
	00011	Intra-d	Não	Não	Não	Não	Sim
	00010	Pred-icq	Sim	Sim	Sim	Sim	Não
	000011	Pred-fcq	Sim	Sim	Não	Sim	Não
	000010	Pred-bcq	Sim	Não	Sim	Sim	Não
	000001	Intra-q	Sim	Não	Não	Não	Sim

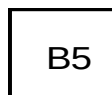
Tabela de Padrão de Codificação de Blocos

Código	B1	B2	B3	B4	B5	B6
111	1	1	1	1	0	0
1101	0	0	0	1	0	0
1100	0	0	1	0	0	0
1011	0	1	0	0	0	0
1010	1	0	0	0	0	0
10011	0	0	1	1	0	0
10010	1	1	0	0	0	0
10001	0	1	0	1	0	0
10000	1	0	1	0	0	0
01111	0	1	1	1	0	0
01110	1	0	1	1	0	0
01101	1	1	0	1	0	0
01100	1	1	1	0	0	0
01011	0	0	0	0	0	1
001100	1	1	1	1	1	1

Código	B1	B2	B3	B4	B5	B6
00011100	1	0	0	0	1	1
00011011	0	0	1	1	0	1
00011010	1	1	0	0	0	1
00011001	0	1	0	1	0	1
00011000	1	0	1	0	0	1
00010111	0	0	1	1	1	0
00010110	1	1	0	0	1	0
00010101	0	1	0	1	1	0
00010100	1	0	1	0	1	0
00010011	0	0	1	1	1	1
00010010	1	1	0	0	1	1
00010001	0	1	0	1	1	1
00010000	1	0	1	0	0	1
00001111	0	1	1	0	0	1
00001110	1	0	0	1	0	1



Y



Cb



Cr

Tabela 10 - (Trecho)

- Bloco pred-icq (Imagem tipo B):
 - Macrobloco interpolado, com predição bidirecional
 - 2 vetores de movimento (progressivo e regressivo)
 - Macrobloco codificado; alguns blocos individuais (Y, Cb ou Cr) podem ser omitidos
 - Fator de quantização q específico, consta do cabeçalho do macrobloco

CÓDIGO	VALOR BASE	CÓDIGO	VALOR BASE
1	0		
011	-1	010	1
0011	-2	0010	2
00011	-3	00010	3
0000111	-4	0000110	4
00001011	-5	00001010	5
00001001	-6	00001000	6
00000111	-7	00000110	7
0000010111	-8	0000010110	8
0000010101	-9	0000010100	9
0000010011	-10	0000010010	10
00000100011	-11	00000100010	11
00000100001	-12	00000100000	12
00000011111	-13	00000011110	13
00000011101	-14	00000011100	14
00000011011	-15	00000011010	15
00000011001	-16	00000011000	16

$$Mov(n) = Mov(n-1) + \left(BASE \times FATOR \pm RESIDUAL \right) \times k$$

CÓD. TAMANHO (LUMINÂNCIA)	CÓD. TAMANHO (CROMINÂNCIA)	TAMANHO AMPLITUDE	CÓD. VALOR DA AMPLITUDE	VALOR RESULTANTE
1111110	11111110	8	00000000...01111111	-128...-255
111110	1111110	7	0000000...0111111	-64...-127
11110	111110	6	000000...011111	-32...-63
1110	11110	5	00000...01111	-16...-31
110	1110	4	0000...0111	-8...-15
101	110	3	000...011	-4...-7
01	10	2	00...01	-2...-3
00	01	1	0	-1
100	00	0	-	0
00	01	1	1	1
01	10	2	10...11	2...3
101	110	3	100...111	4...7
110	1110	4	1000...1111	8...15
1110	11110	5	10000...11111	16...31
11110	111110	6	100000...111111	32...63
111110	1111110	7	1000000...1111111	64...127
1111110	11111110	8	10000000...11111111	128...255

Zeros	Amplitude	Código
EOB		10
0	1	1s
0	1	11s
0	2	0100s
0	3	00101s
0	4	0000110s
0	5	00100110s
0	6	00100001s
0	7	0000001010s
0	8	000000011101s
0	9	000000011000s
0	10	000000010011s
0	11	000000010000s
0	12	0000000011010s
0	13	0000000011001s
0	14	0000000011000s
0	15	0000000010111s
0	16	0000000001111s
0	40	000000000010000s

Zeros	Amplitude	Código
1	16	00000000000010010s
1	17	00000000000010001s
1	18	00000000000010000s
2	1	0101s
2	2	0000100s
2	3	0000001001s
2	4	000000010100s
2	5	0000000010100s
3	1	00111s
3	2	00100100s
3	3	000000011100s
3	4	0000000010011s
4	1	00110s
4	2	0000001111s
4	3	000000010010s
5	1	000111s
30	1	00000000000011100s
31	1	00000000000011011s
escape		000001

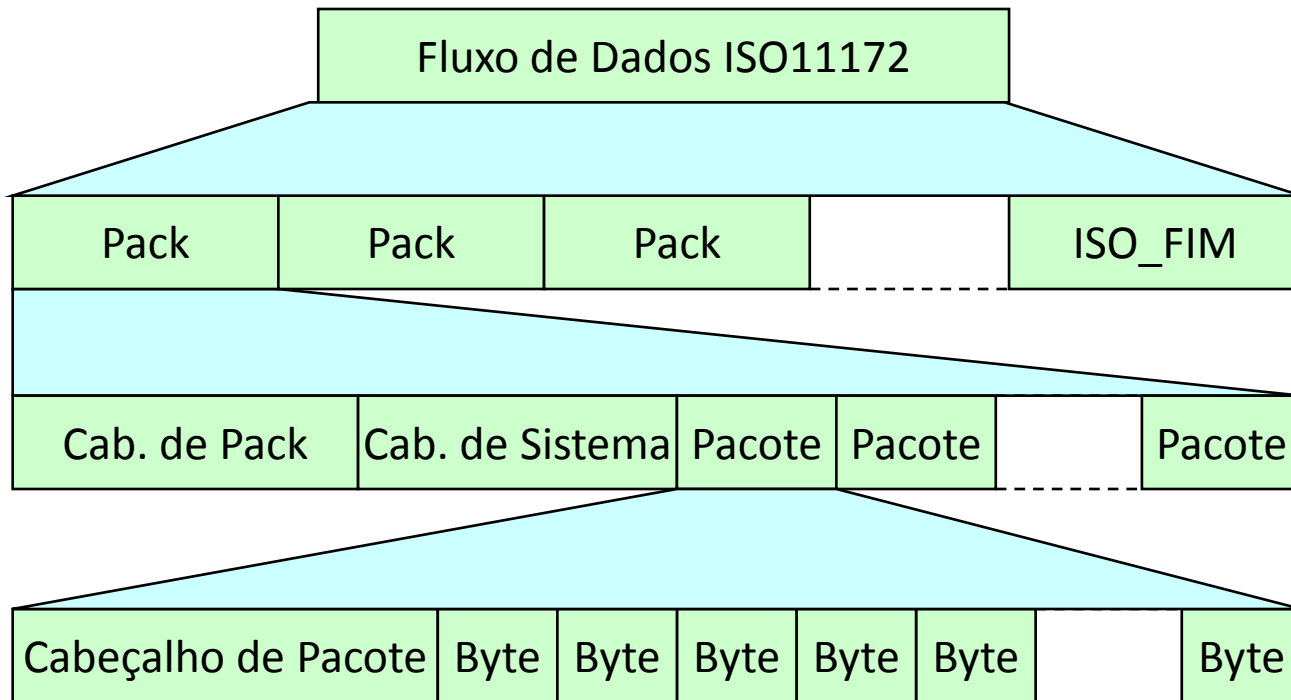
(Trechos)

Exemplo de Arquivo MPEG-1 Video

```
00000000 0000 01B3 0F00 B413 FFFF E0A4 0000 01B8 .....
00000010 0008 0040 0000 0100 000F FFF8 0000 0101 ...@.....
00000020 23F9 5525 6A7D C0D4 A2DA 9480 CF28 B34A #.U%j}.....(.J
00000030 51A2 2E52 8D48 8B34 8526 7C5C AC49 F573 Q..R.H.4.&|\.I.s
00000040 F035 1176 469F B5DB 006E 00C4 A00C 3742 .5.vF....n....7B
00000050 161B CE1C 817C 0DC2 EAE9 C8CF EF8C 5934 .....|.....Y4
00000060 A266 E92C BC56 C6A7 B5B3 802F 00D1 D8A4 .f.,.V...../.
00000070 A437 800A 0A4B 05F6 D7D0 89A0 1793 404E .7...K.....@N
00000080 1BCB 26A7 A56A 7EAO ED95 6302 8057 F66D ..&..j~...c..W.m
00000090 F8BC A23D 8209 9FE7 F6FC 0AEF C230 7FBF ...=.....0..
000000A0 0A18 00EC 981B C070 1B85 FD80 0636 1283 .....p.....6..
000000B0 4A2C EE1D CFBD 7014 0D4F 6084 E10D 7100 J,....p..0`...q.
000000C0 745F 5549 285D 9A13 FDF2 22FA 3970 FAD0 t_UI( )....".9p..
000000D0 E3EC AC45 E908 362C C294 88B9 5803 70C0 ...E..6,....X.p.
000000E0 094A 5381 FC61 E698 6D5D D60D 0074 5961 .JS..a..m]...tYa
000000F0 A94E 0DD8 74BE CDCE E49C 1F11 7CEC 0549 .N..t.....|..I
00000100 9FFD 8343 3FD9 FEC9 43EC 3D9C E94A 0D28 ...C?...C.=..J.(
00000110 9B9C A4A0 BD8F 19F2 582B DBB8 05C5 FE03 .....X+.....
00000120 946C E5FC AFF8 4E66 E2B0 7D98 0340 29C0 .l....Nf..}.@).
00000130 4D93 BA72 468C 5E57 5236 10C3 A62E 2F3D M..rF.^WR6..../=
00000140 25EC C74D 0FBC 5ABF 8BF8 73A2 7C68 F71E %..M..Z....s.|h..
00000150 2F48 4A2C C1E3 48F1 7290 8CC3 E2E5 2948 /HJ,..H.r.....)H
00000160 8B2F 5A5F 5D5B AD8E 36D0 1BDB AA21 77B8 ./Z_][..6....!w.
00000170 01F8 0678 0342 124B E7B2 B0BB EA80 3101 ...x.B.K.....1.
00000180 3960 2121 A7F7 EFDF FF79 7002 3013 F740 9`!!.....yp.0..@
```

MPEG1: Sistema

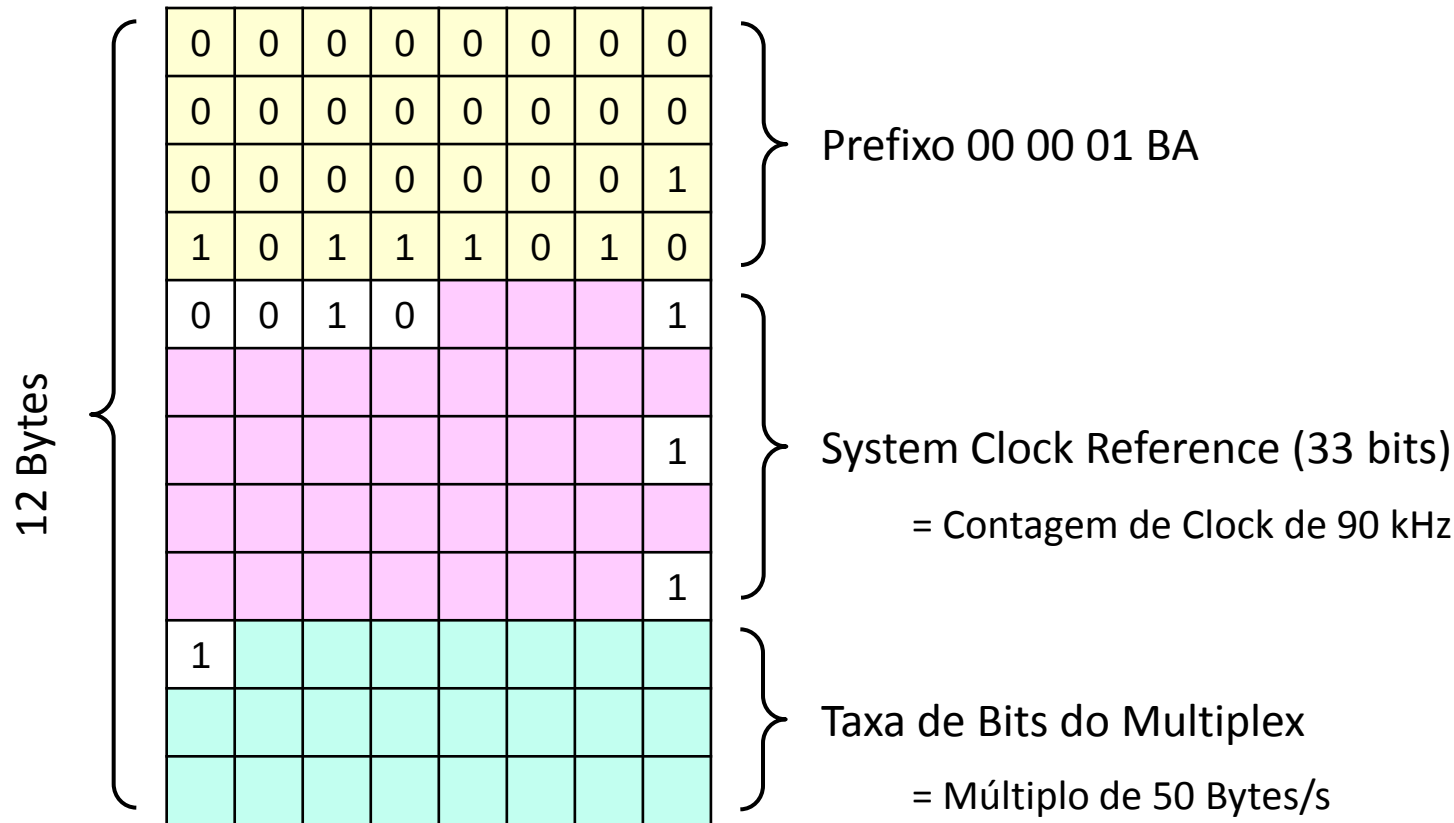
- Funções:
 - Combinar Áudio e Vídeo em um único fluxo de dados
 - Sincronismo temporal entre Áudio e Vídeo



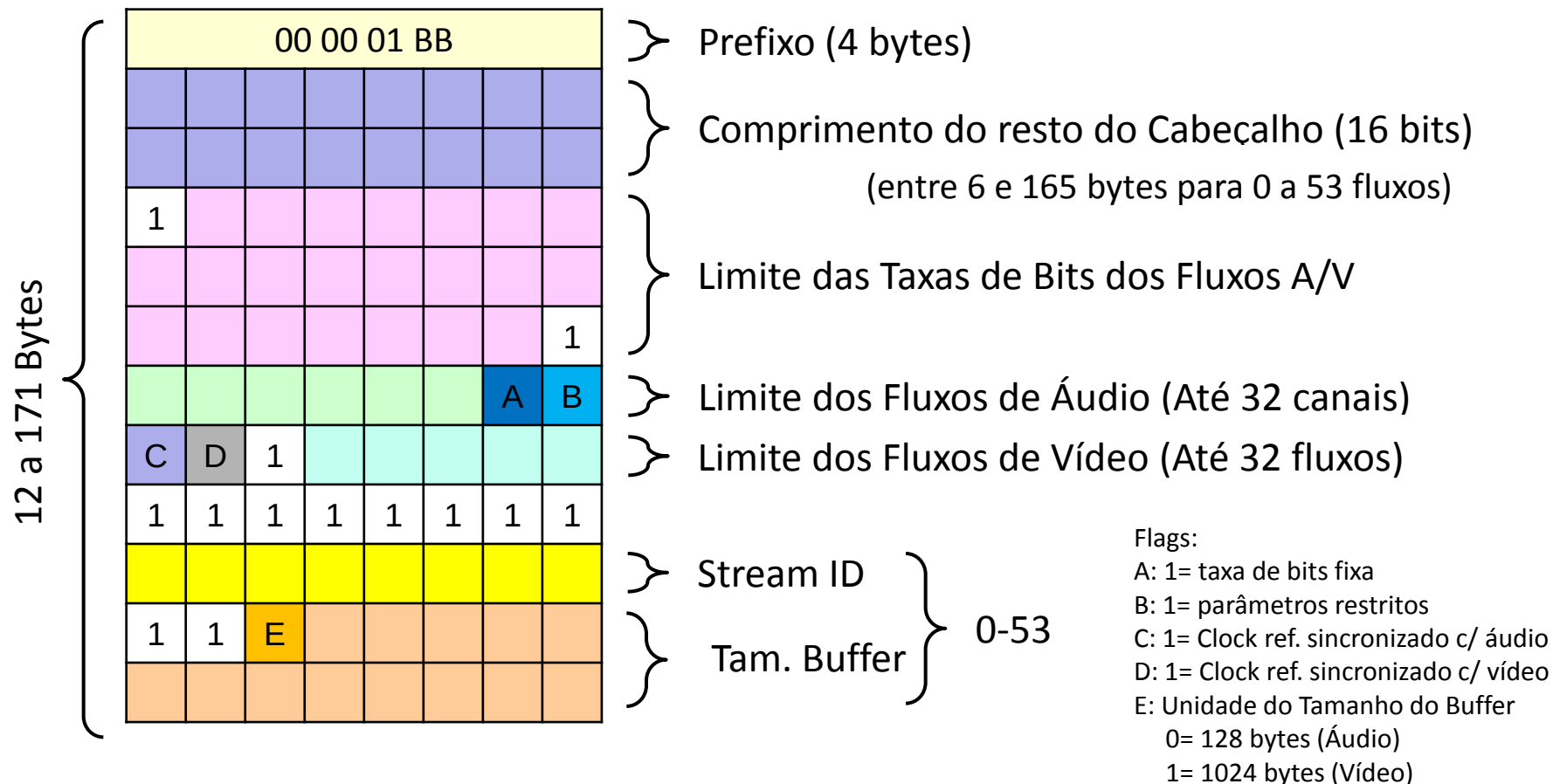
Prefixo:	Código Hexadecimal:
Início de “Pack” (“Pack_start”)	00 00 01 BA
Fim de Conjuntos (“ISO_FIM”)	00 00 01 B9
Cabeçalho de Sistema	00 00 01 BB
Pacote de Vídeo	00 00 01 E0 a 00 00 01 EF
Pacote de Áudio	00 00 01 C0 a 00 00 01 DF
Pacote de Enchimento	00 00 01 BE

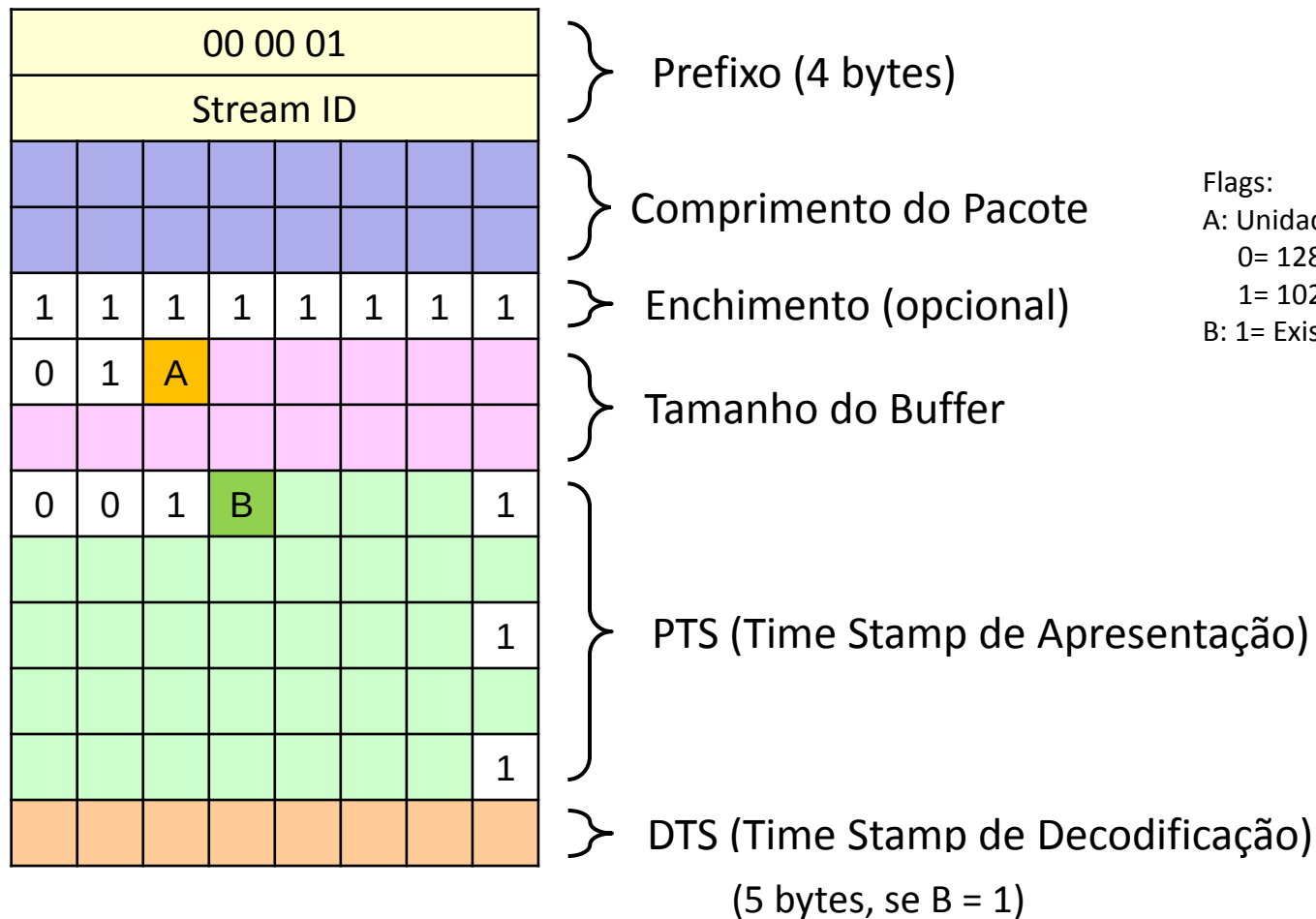
- Cabeçalho de “Pack”:
 - Referência de “Clock” temporal
- Cabeçalho de Sistema:
 - Comprimento do Cabeçalho
 - Taxas máximas de Vídeo e Áudio
- Cabeçalho de Pacote:
 - Tamanho do pacote
 - Instante absoluto de exibição do pacote

Cabeçalho de "Pack"



Cabeçalho de Sistema (necessário no primeiro "Pack")





Flags:

A: Unidade do Tamanho do Buffer

0= 128 bytes (Áudio)

1= 1024 bytes (Vídeo)

B: 1= Existe DTS