



C209 – Computação Gráfica e Multimídia
EC215 – Multimídia

Compressão de Imagens – Parte 2: JPEG

Marcelo Vinícius Cysneiros Aragão
marcelovca90@inatel.br

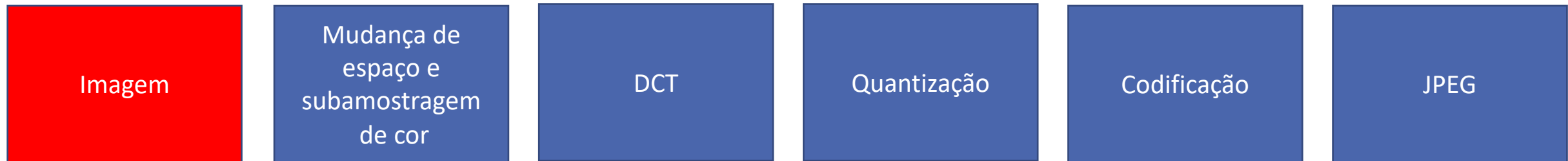
Introdução

- O método de compressão com perdas JPEG baseia-se na remoção de componentes “irrelevantes” das imagens.
- Para isto, depende no fato de não conseguirmos ver cores tão bem quanto vemos em escala de cinza.
- Nossos olhos são mais sensíveis ao verde do que a azul e vermelho.
- Não vemos mudanças de intensidade de alta frequência, então estes pedaços da imagem que mudam muito rapidamente podem ser removidos.

JPEG

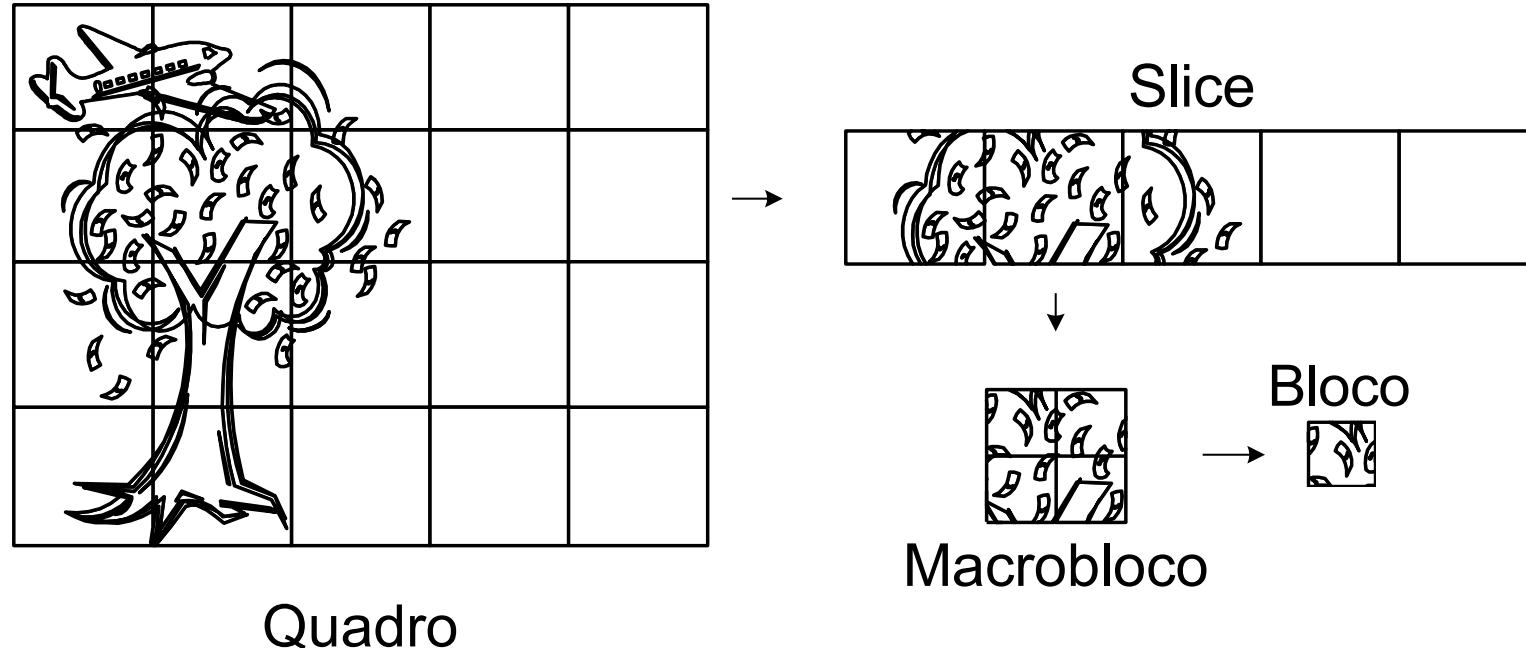


JPEG

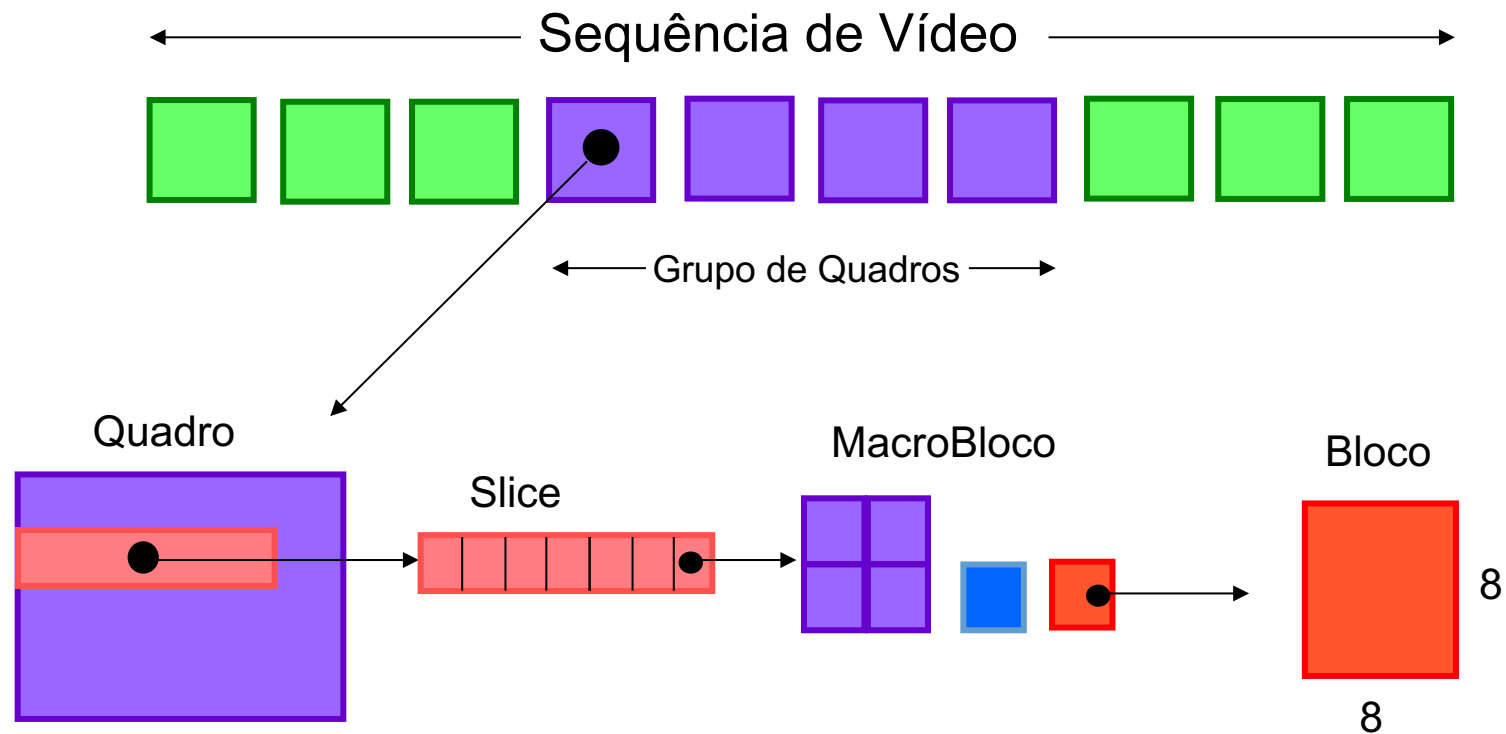


Imagem

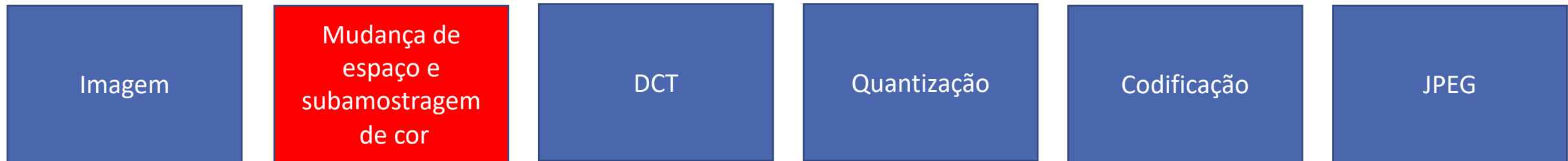
- JPEG: Joint Photographic Experts Group → grupo responsável pelo padrão JPEG.
- MPEG: Moving Picture Experts Group → formado pela ISO para definir padrões para a compressão e transmissão de áudio e vídeo.
- No MPEG, os pixels são organizados em uma hierarquia.
- O menor elemento tratável pelo MPEG é o Bloco, formado por uma matriz de 8x8 pixels.



Imagem

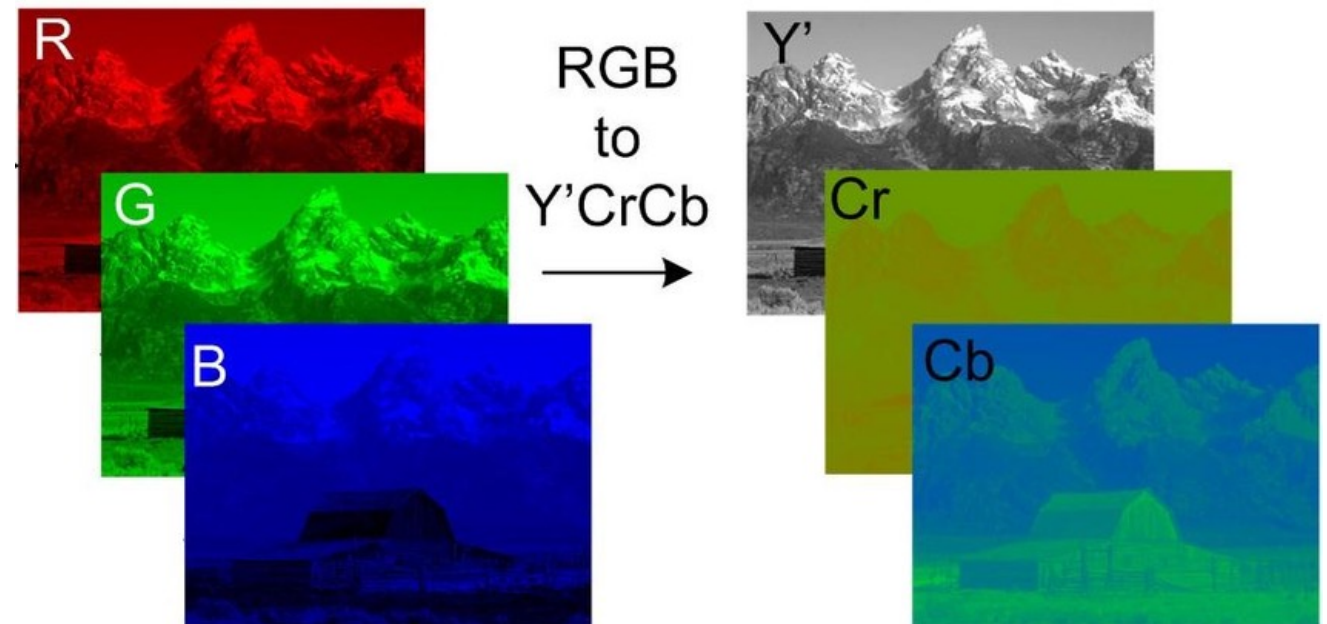
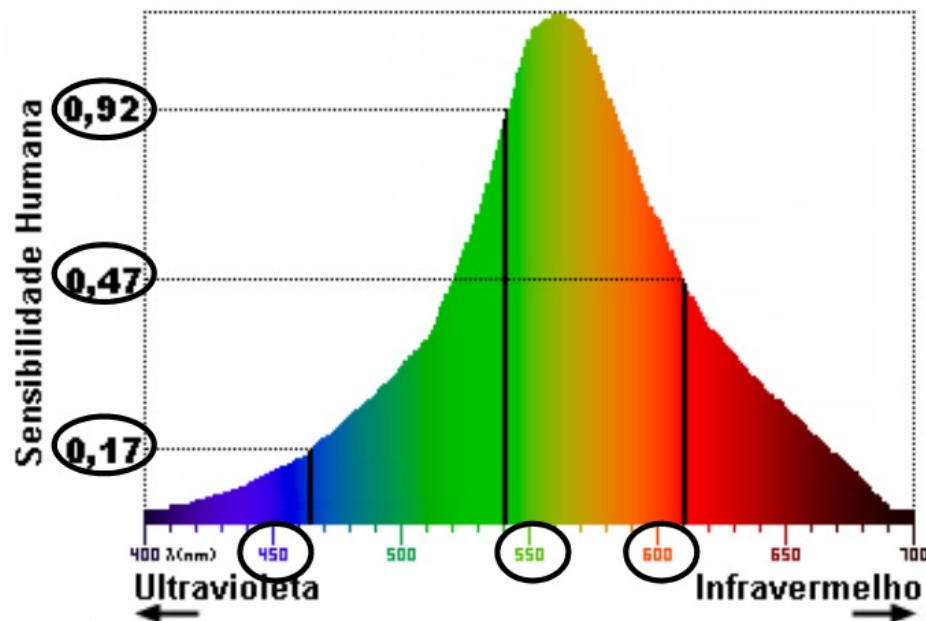


JPEG



Mudança de Espaço e Subamostragem de Cor

- Mudança do espaço de cor RGB para YCrCb.
 - Separar a luminância (brilho) e crominância (cor / vermelho e azul) de cada pixel.
 - Olho humano não percebe crominância muito bem.



Mudança de Espaço e Subamostragem de Cor

- Quantização do sinal RGB: 256 níveis para cada componente de cor.
- Número de bits/pixels: 24 bits/pixel.
- Sinal de luminância digital:

$$Y = 0,257\mathbf{R} + 0,505\mathbf{G} + 0,098\mathbf{B} + 16$$

- Sinais diferenças de cor

$$C_r = 0,439\mathbf{R} - 0,368\mathbf{G} - 0,071\mathbf{B} + 128$$

$$C_b = -0,148\mathbf{R} - 0,291\mathbf{G} + 0,439\mathbf{B} + 128$$

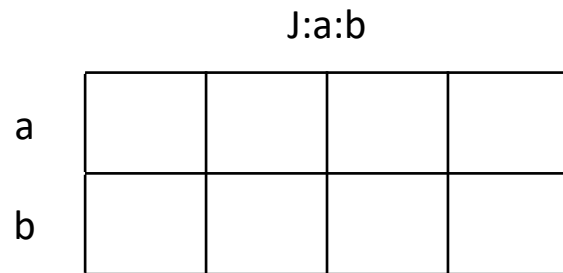
- As componentes R, G e B podem assumir valores entre 0 e 255.
- Os sinais Y , Cr e Cb também são representados com 8 bits cada.

Mudança de Espaço e Subamostragem de Cor

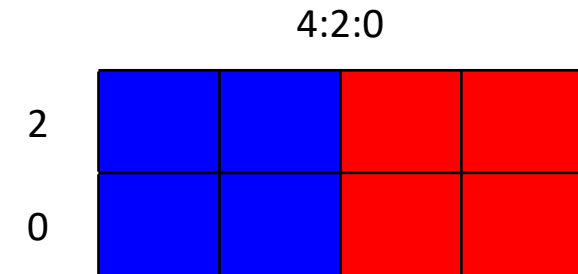
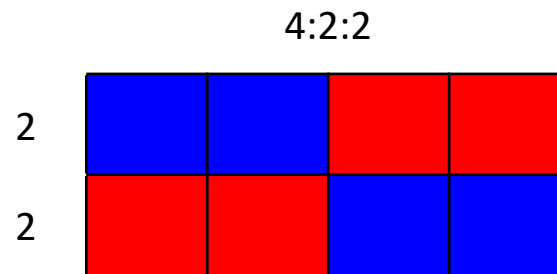
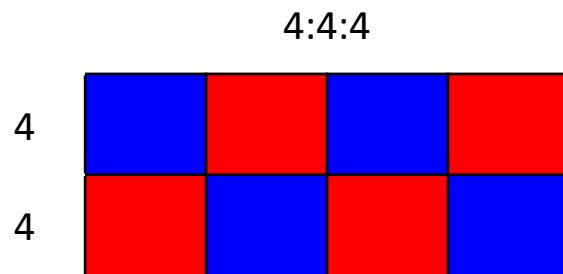
- Após a mudança de espaço de cor, é feita a subamostragem, ou seja, redução da quantidade de cor na imagem.
 - Redução significativa do tamanho com pouco impacto na qualidade da imagem.
 - Um fator de redução comum é “2 em cada direção” (ou seja, 4x menos cor no total).
 - Em softwares como o Photoshop, este fator pode ser ajustado pelo usuário.

Mudança de Espaço e Subamostragem de Cor

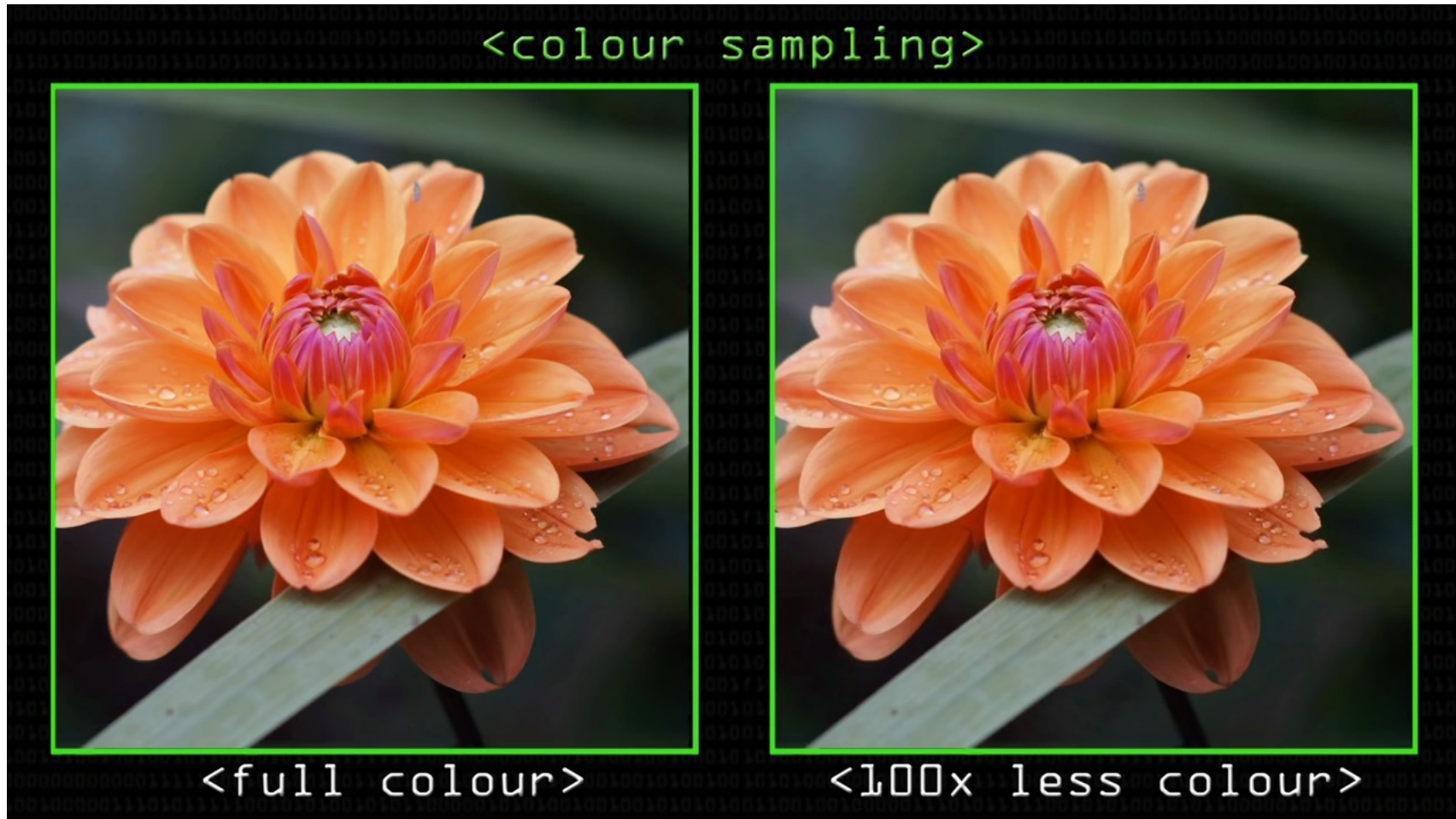
- Formato de subamostragem: $J:a:b \rightarrow$ um arranjo de $J \times 2$ pixels.



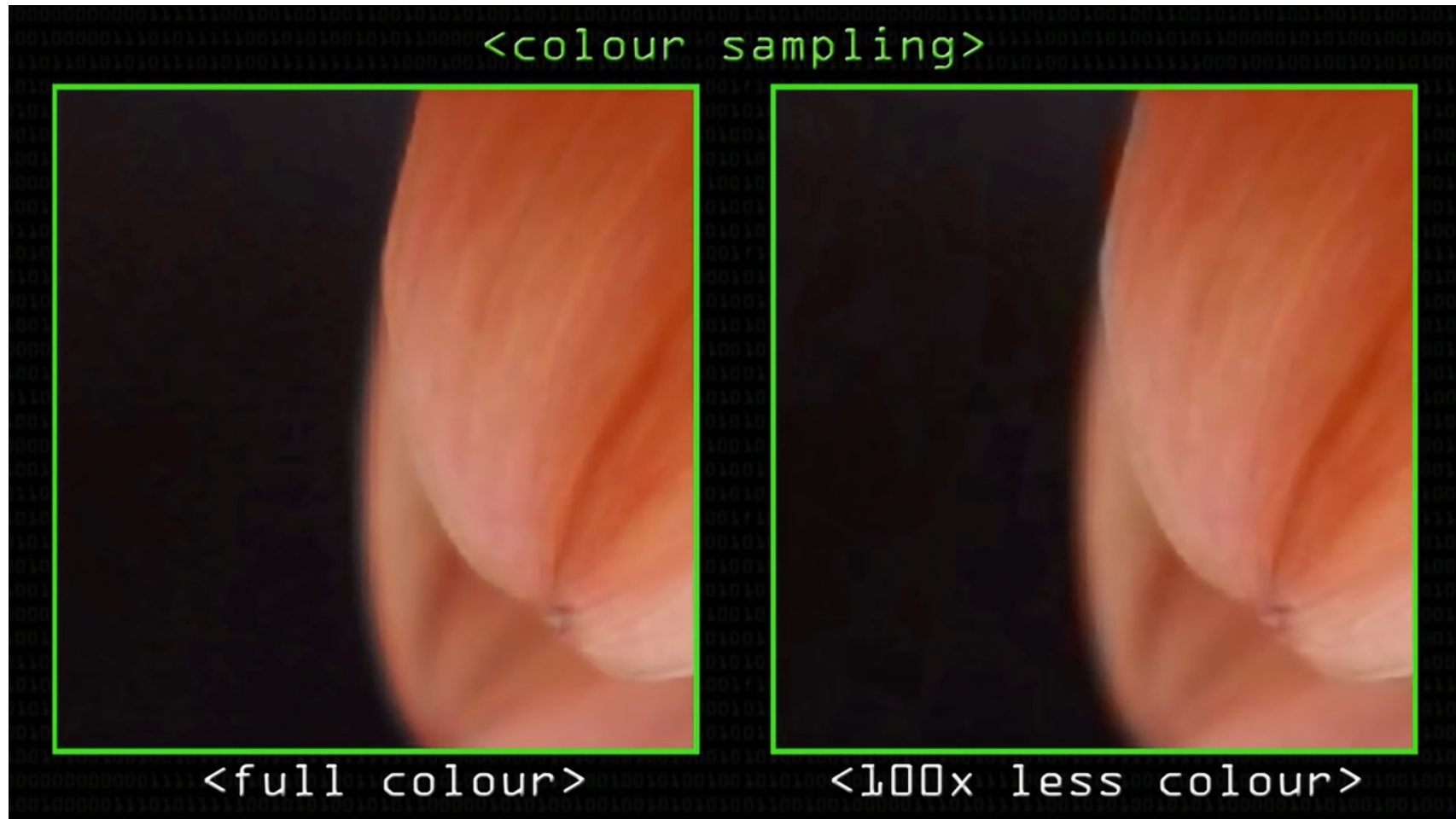
- J = # de pixels de luminância na primeira linha (ex.: 4)
- a = # de pixels de cromaância na primeira linha
- b = # de pixels de cromaância na segunda linha



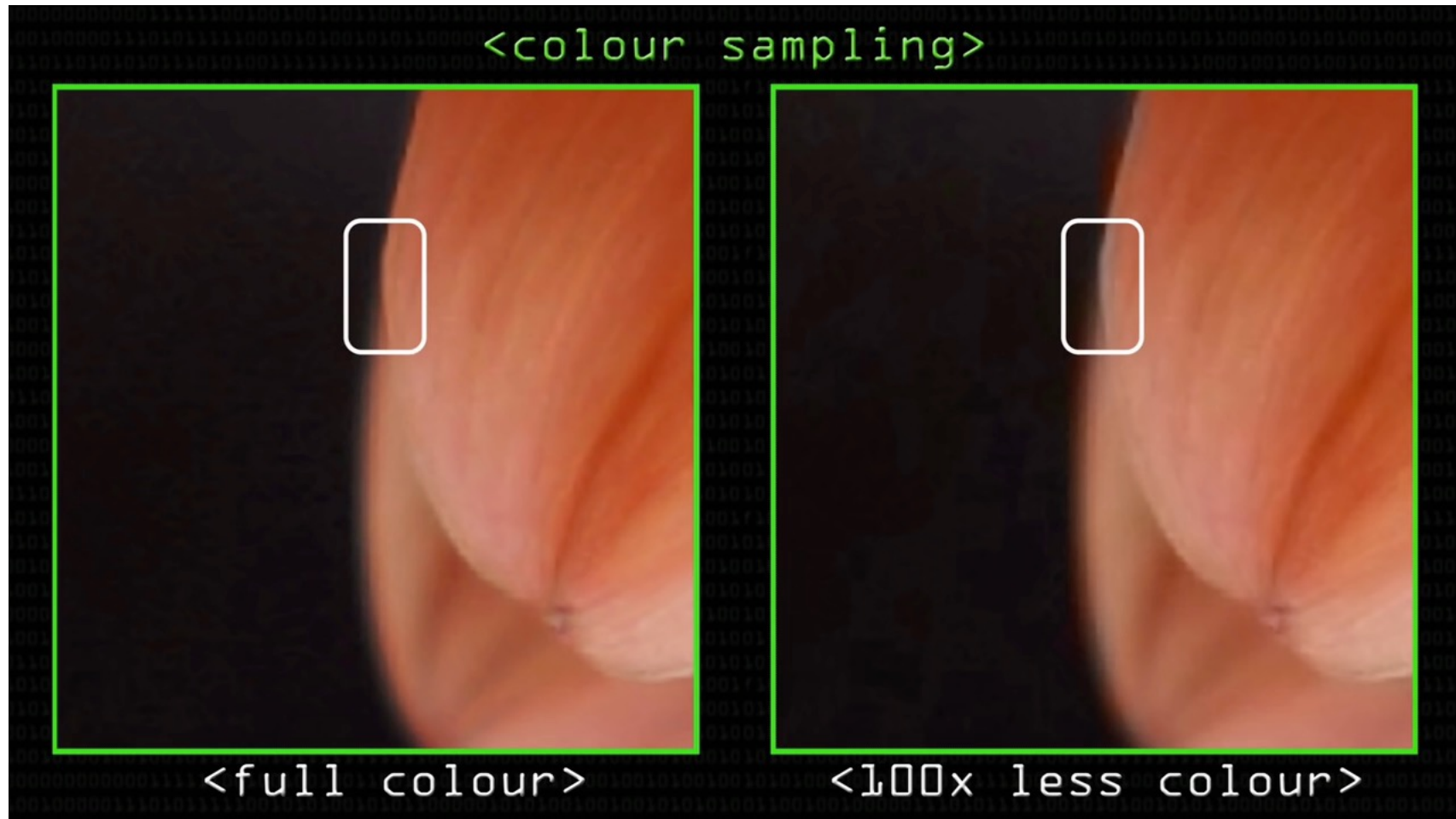
Mudança de Espaço e Subamostragem de Cor



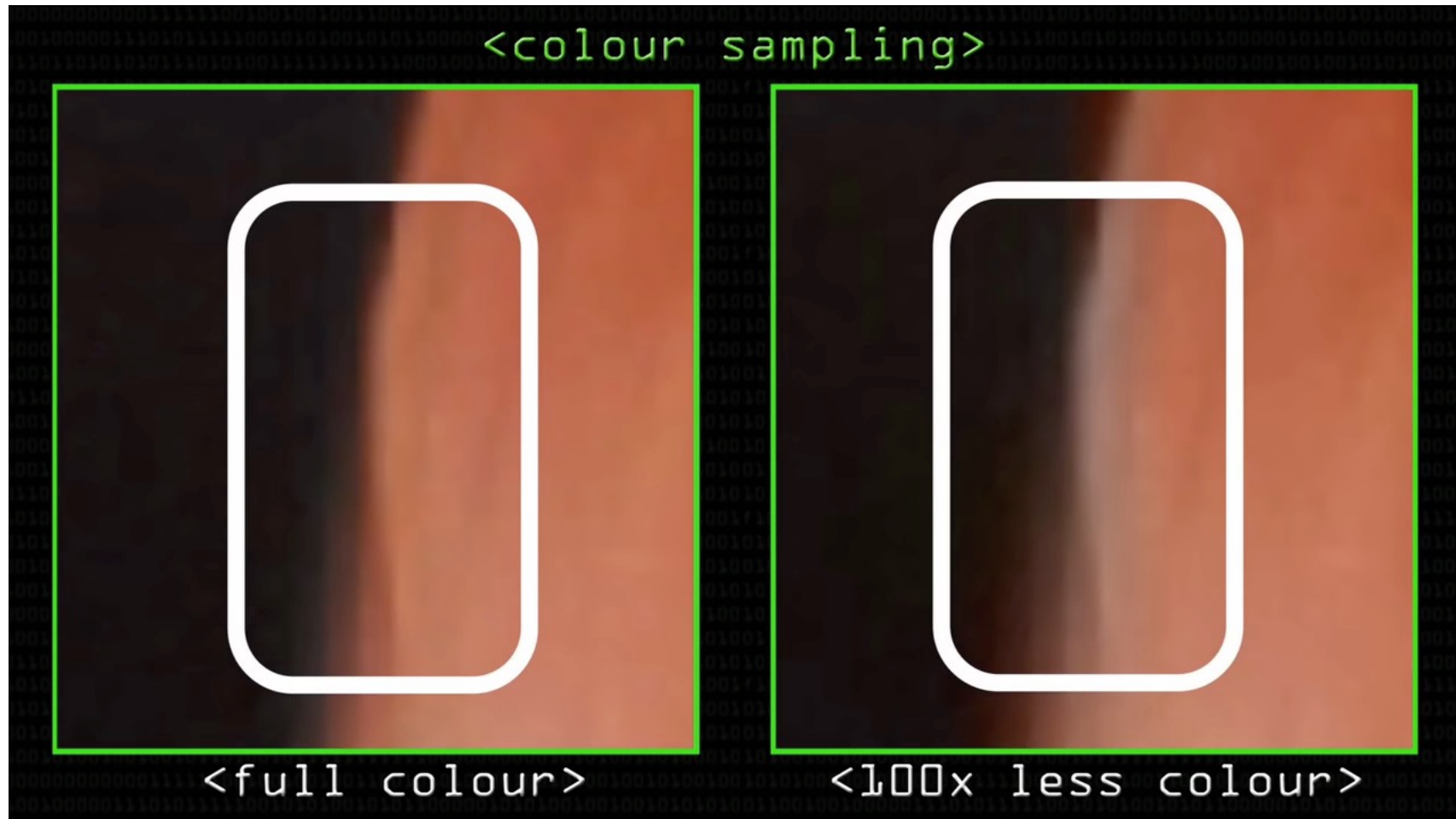
Mudança de Espaço e Subamostragem de Cor



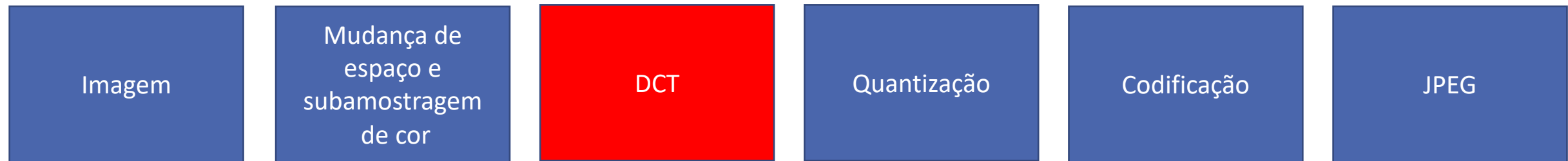
Mudança de Espaço e Subamostragem de Cor



Mudança de Espaço e Subamostragem de Cor



JPEG

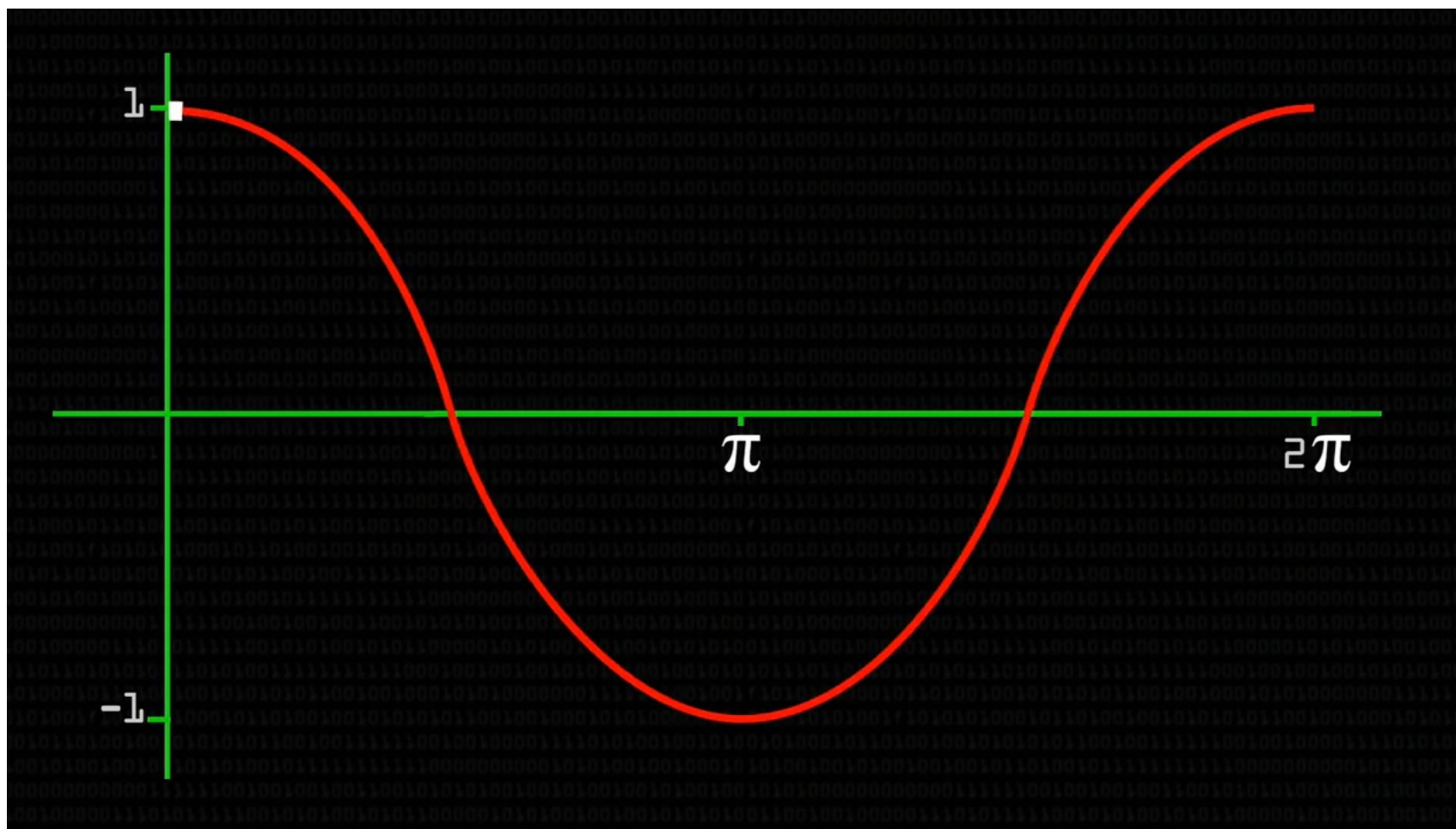


Transformada Discreta do Cosseno (DCT)

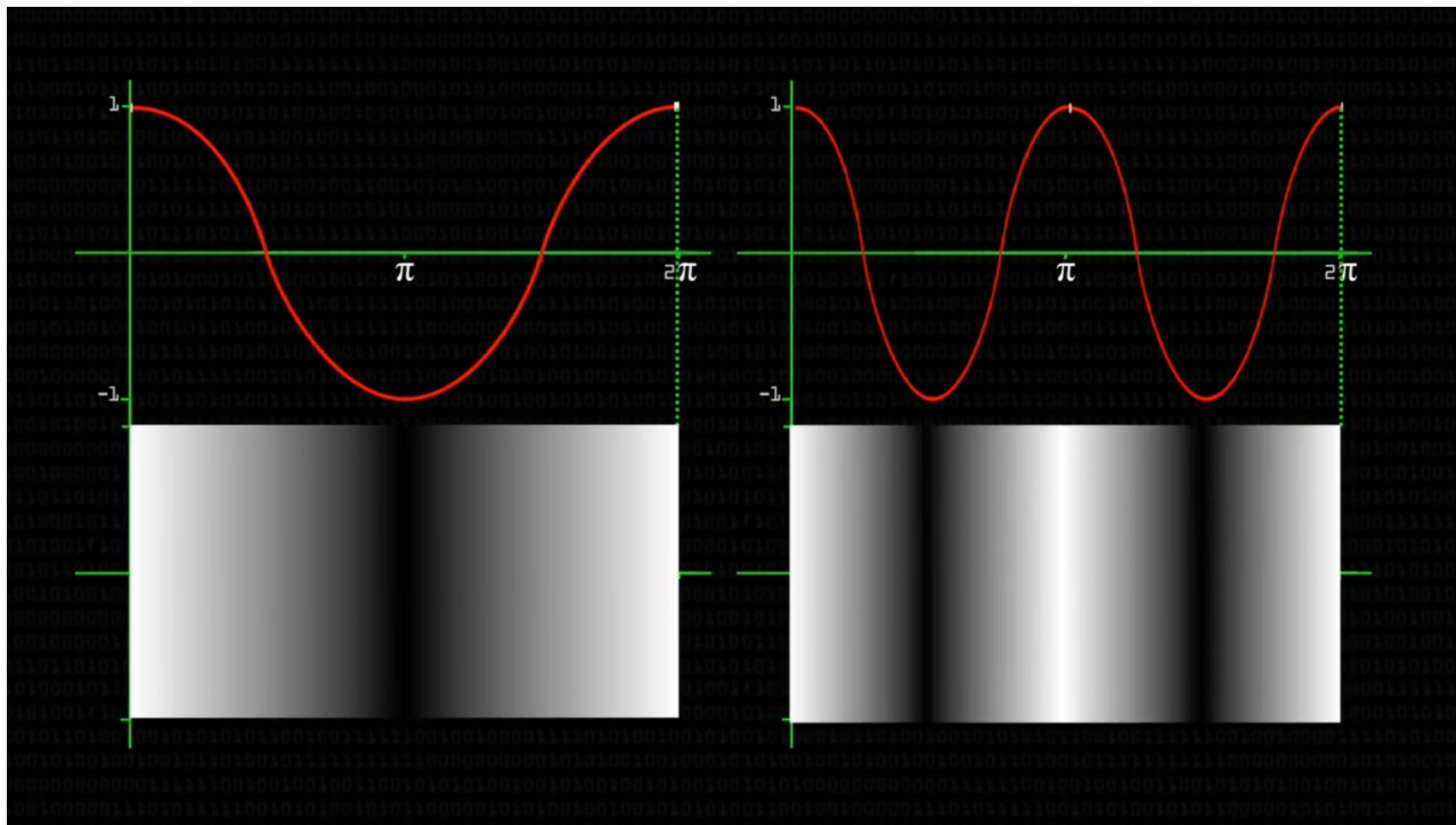
- Ideia geral: representar os dados da imagem como uma somatória de ondas cossenoidais.



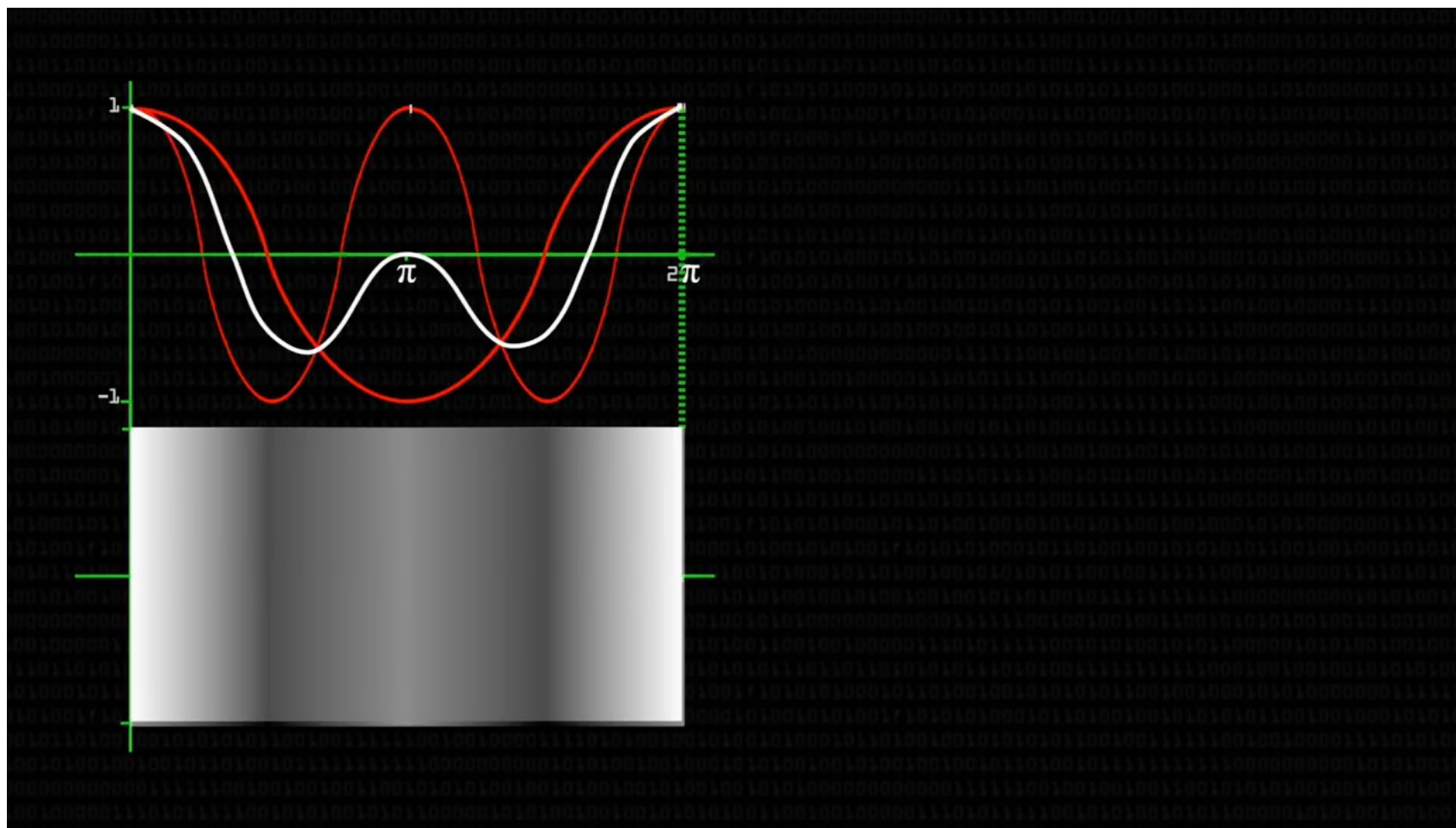
Transformada Discreta do Cosseno (DCT)



Transformada Discreta do Cosseno (DCT)



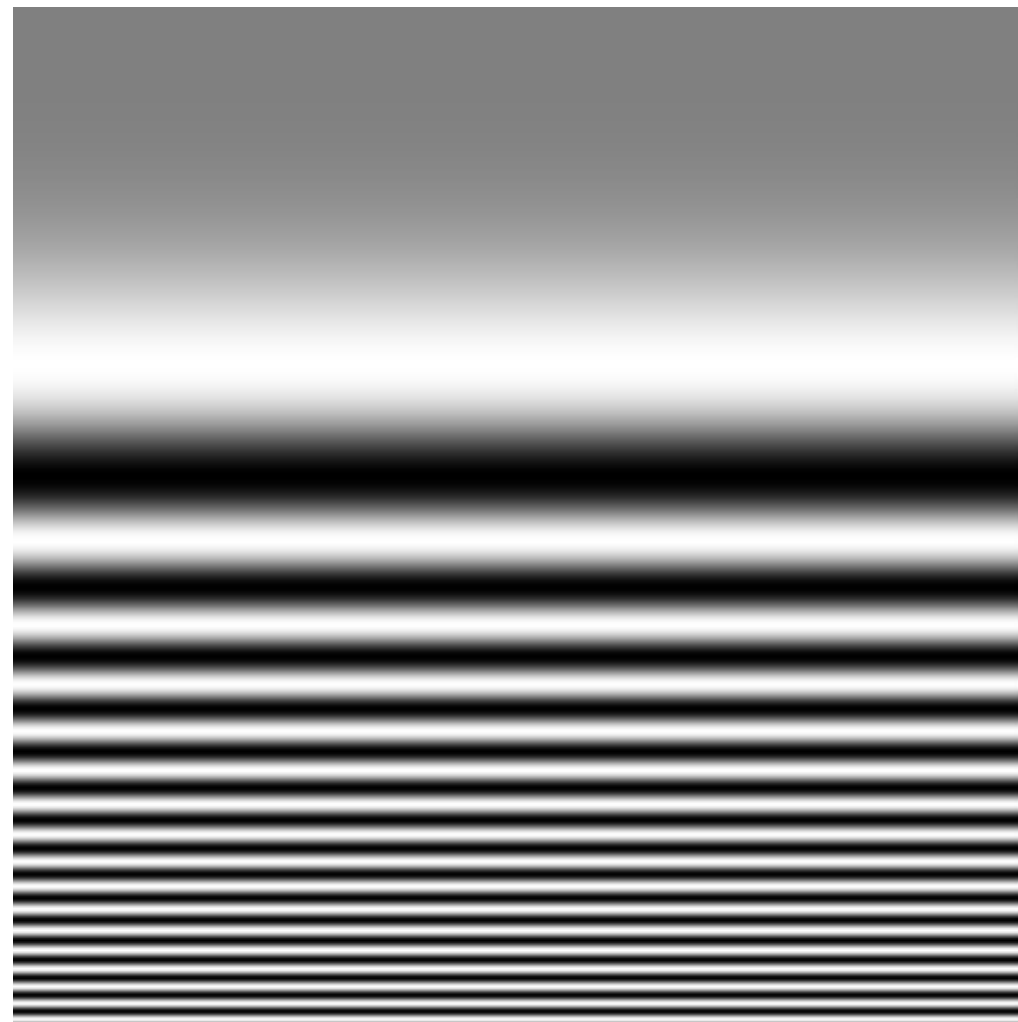
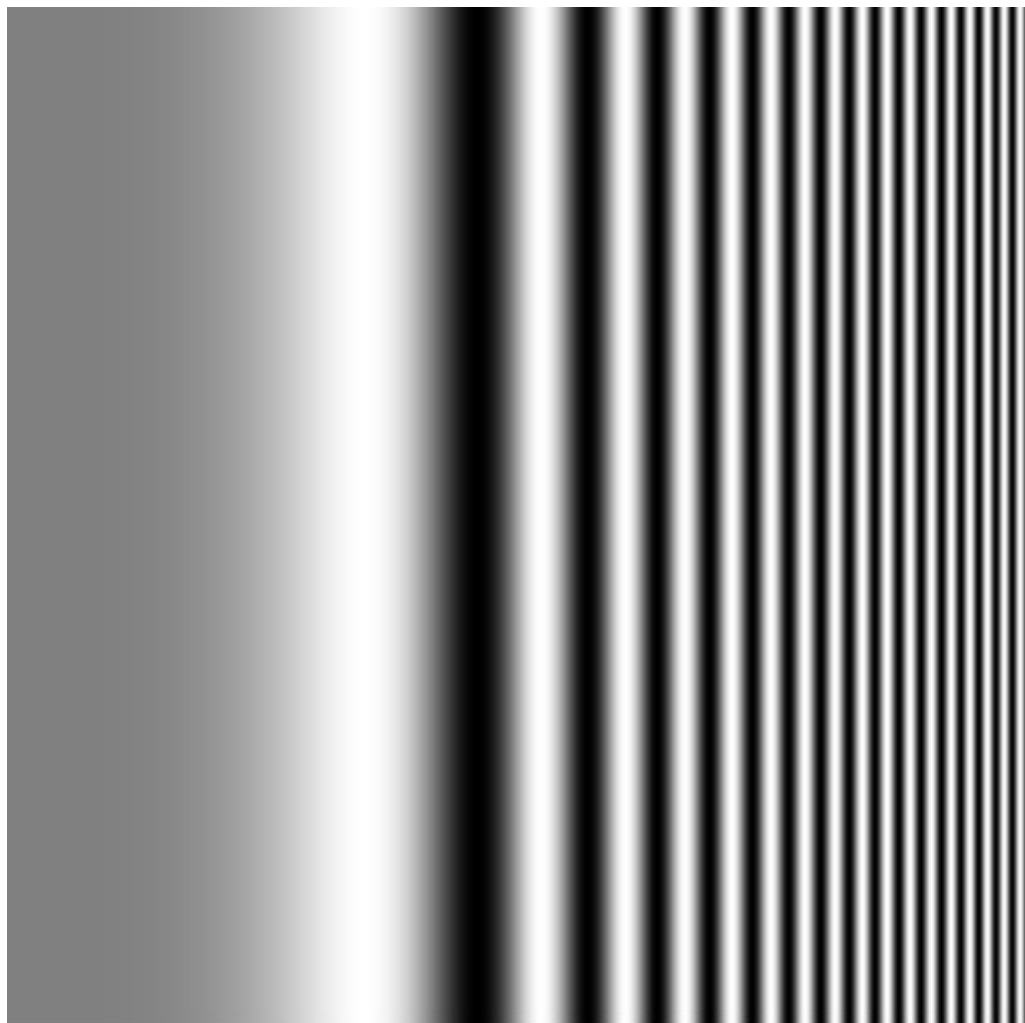
Transformada Discreta do Cosseno (DCT)



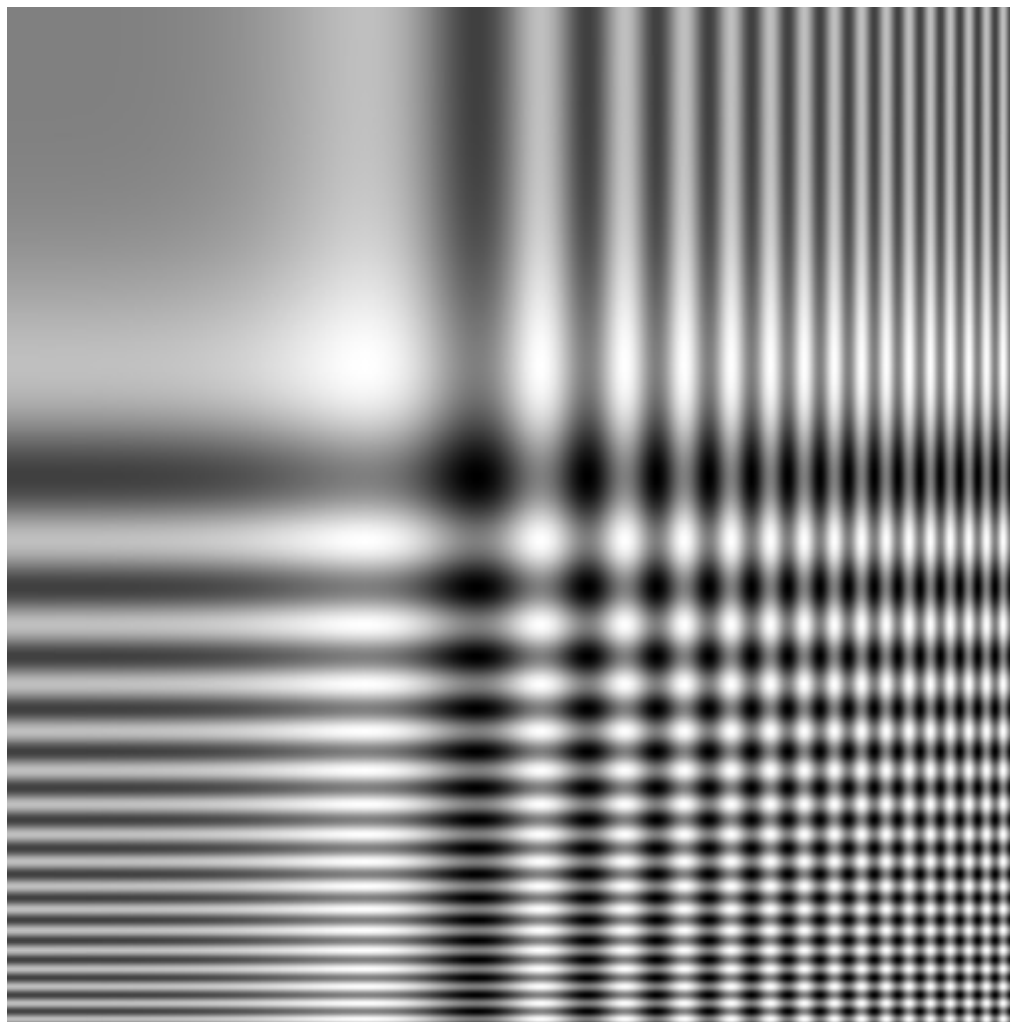
Transformada Discreta do Cosseno (DCT)

- Aumentando o número de cossenos, aumenta-se a quantidade de formas de onda que podem ser produzidas.
- A soma (combinação) das ondas pode ser feita de forma ponderada.
- Cada onda representa uma pequena parte constituinte da saída.
- Componentes de alta frequência na imagem → cossenoides de alta frequência.
- A remoção de componentes de alta frequência não deve afetar a visualização geral da imagem.

Transformada Discreta do Cosseno (DCT)



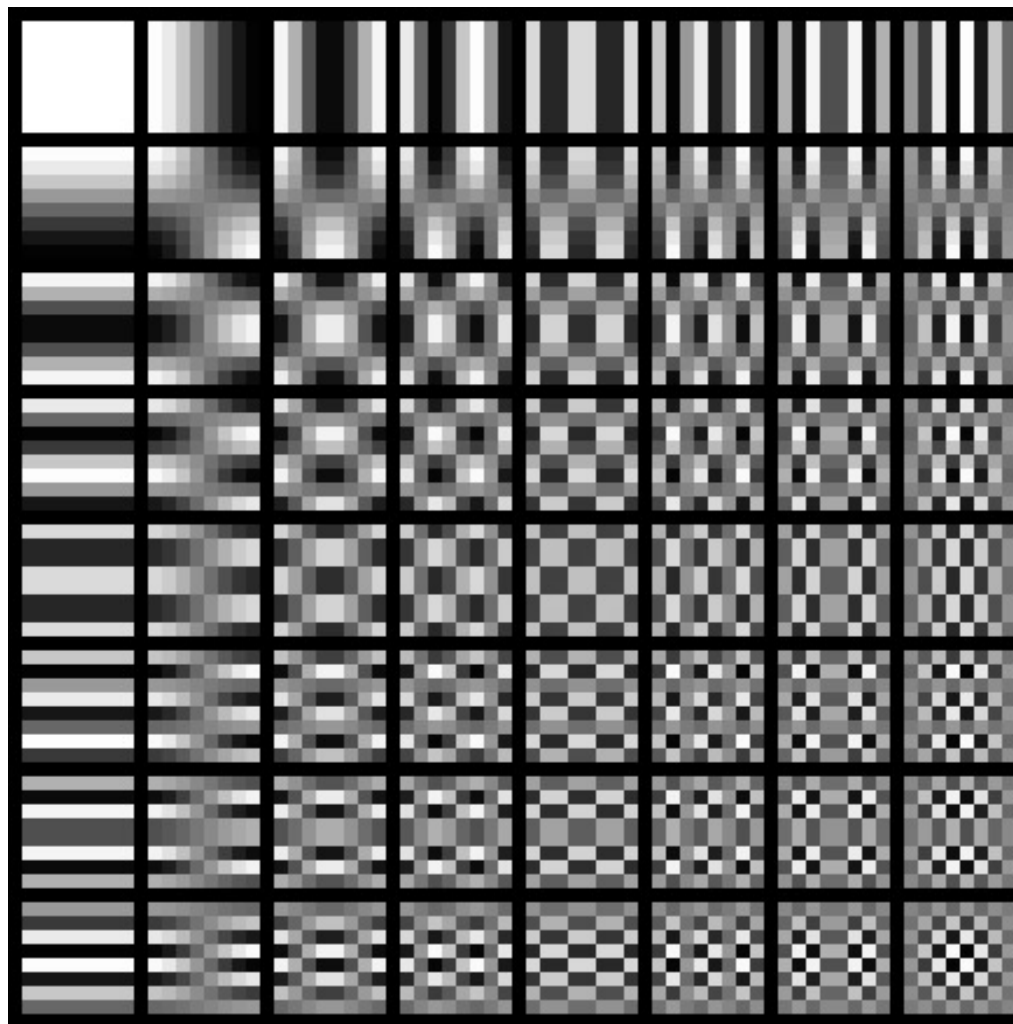
Transformada Discreta do Cosseno (DCT)



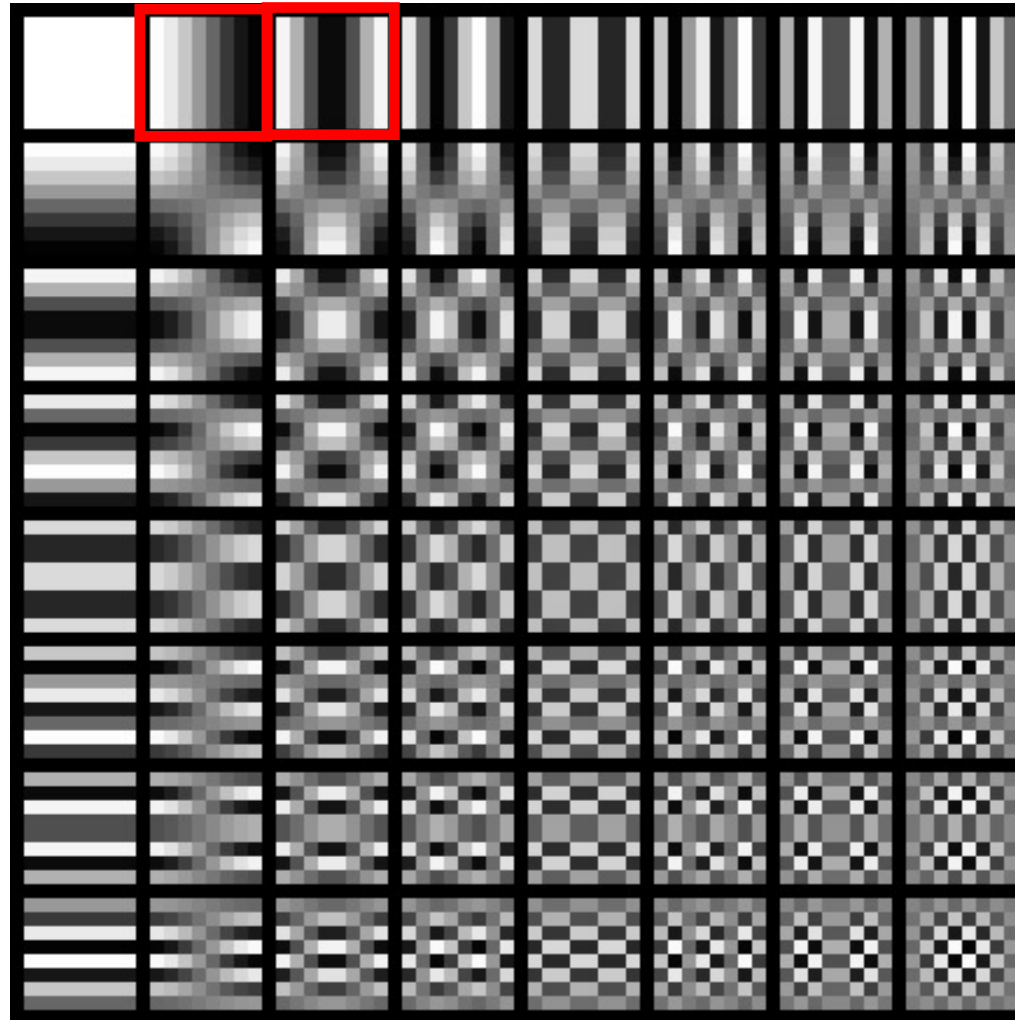
Transformada Discreta do Cosseno (DCT)

- Se tivermos um sinal de tamanho 8, é possível representá-lo com 8 ondas cossenoidais de frequências diferentes
- Dividir a imagem em grupos de 8x8 pixels
- Codificar separadamente cada grupo de pixels
- Estes grupos podem ser replicados exatamente usando 64 cossenoides
- A cada bloco, um coeficiente é associado, indicando qual a contribuição desta cossenoide na composição da imagem

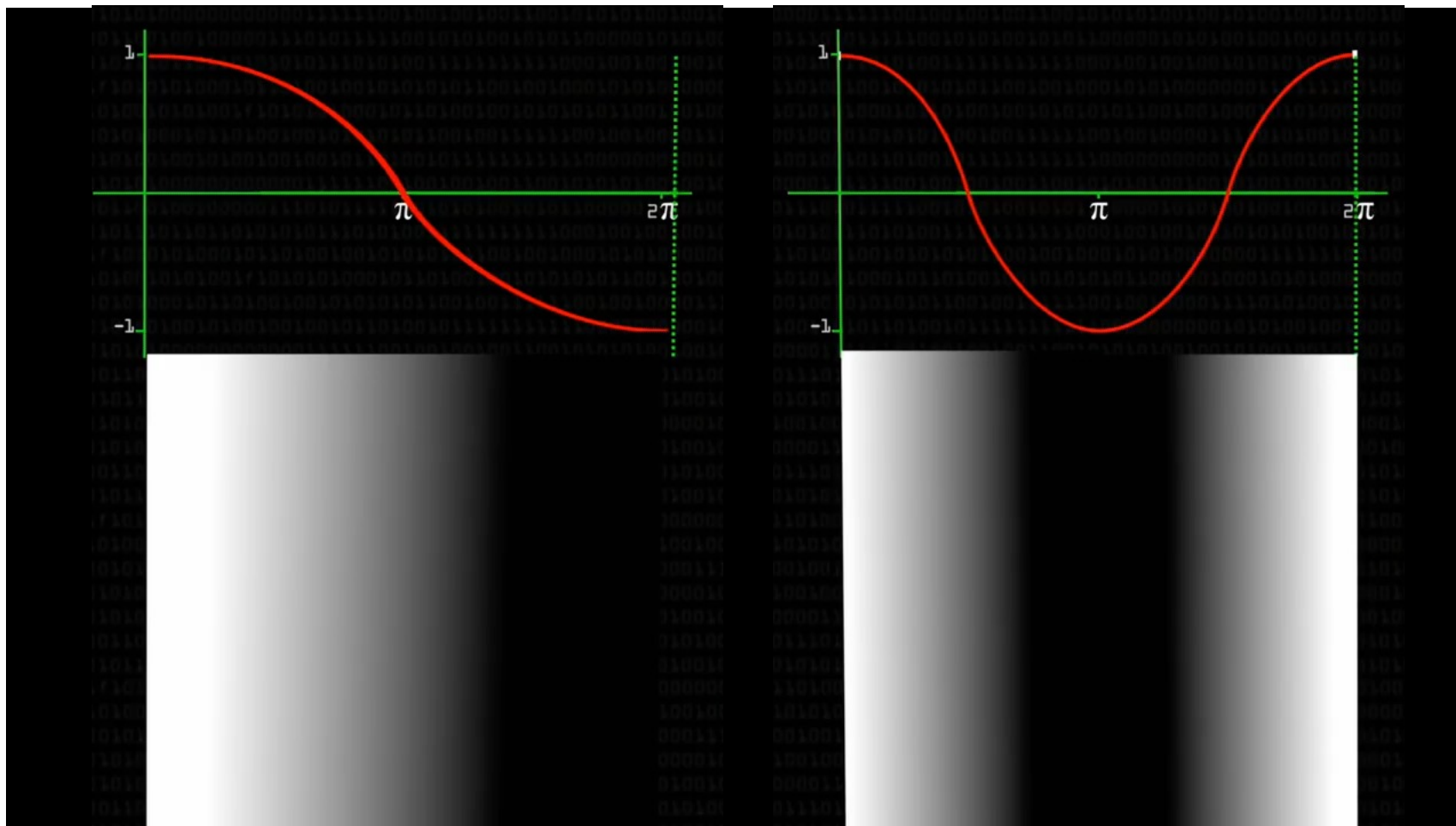
Transformada Discreta do Cosseno (DCT)



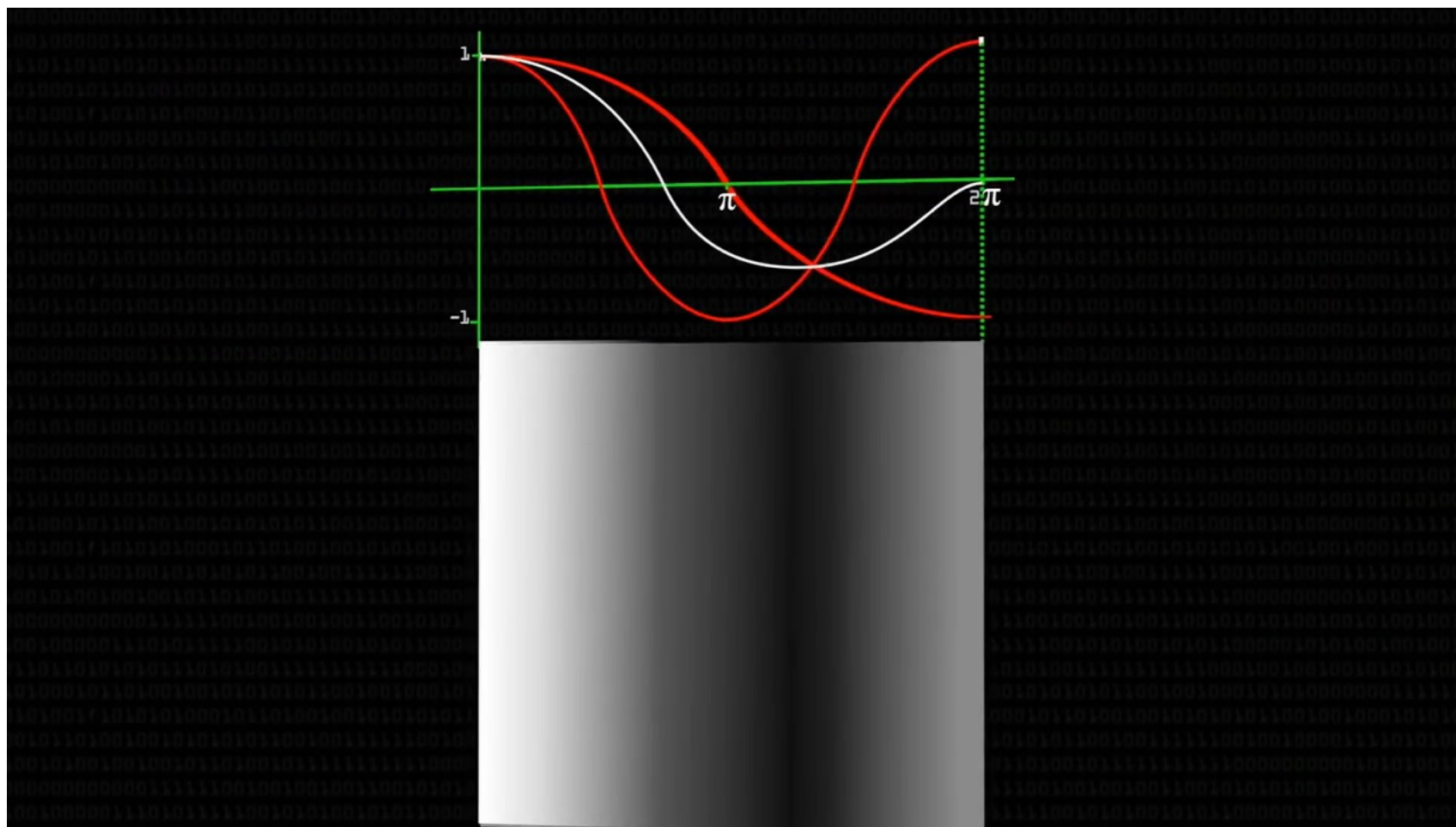
Transformada Discreta do Cosseno (DCT)



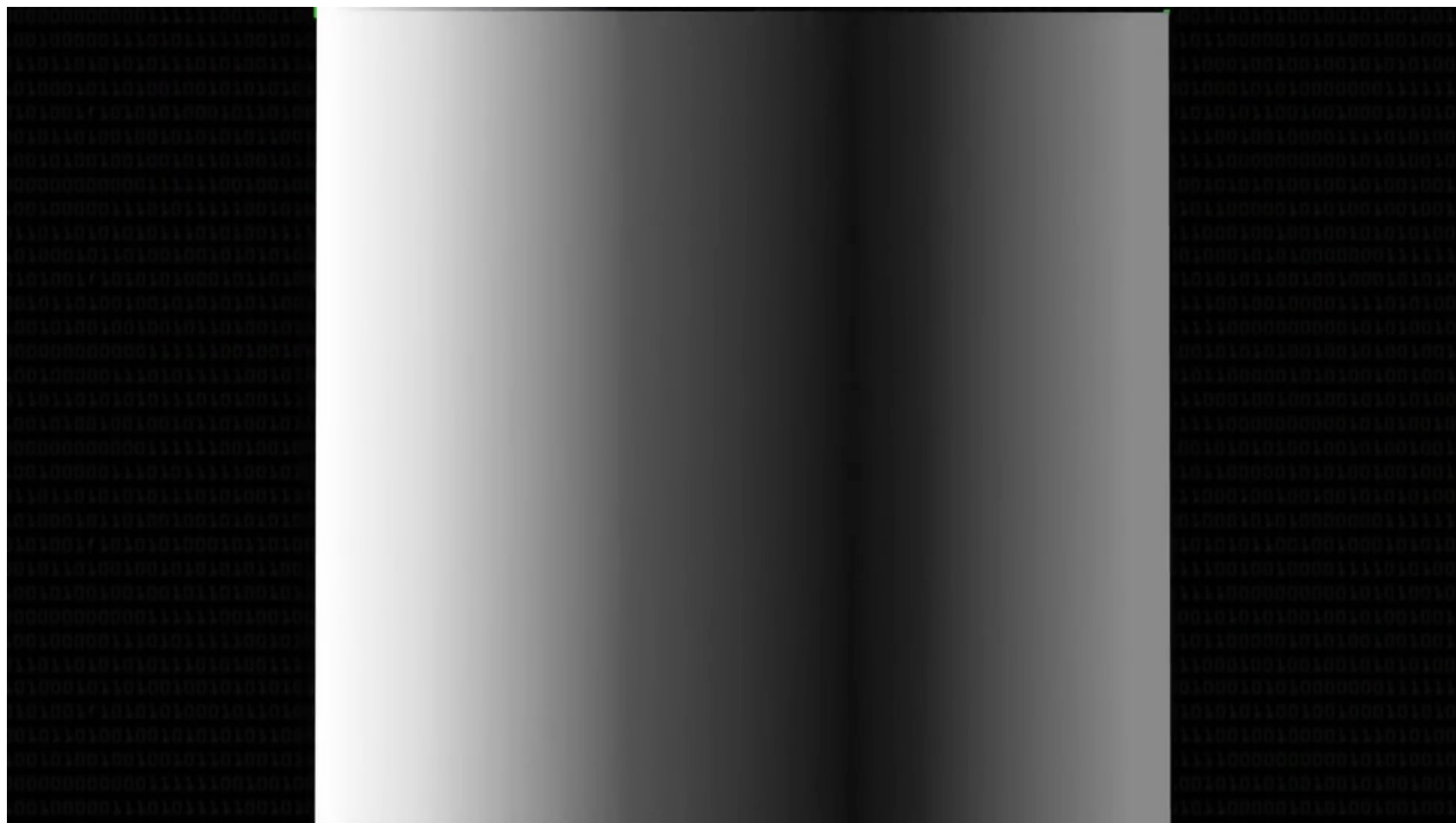
Transformada Discreta do Cosseno (DCT)



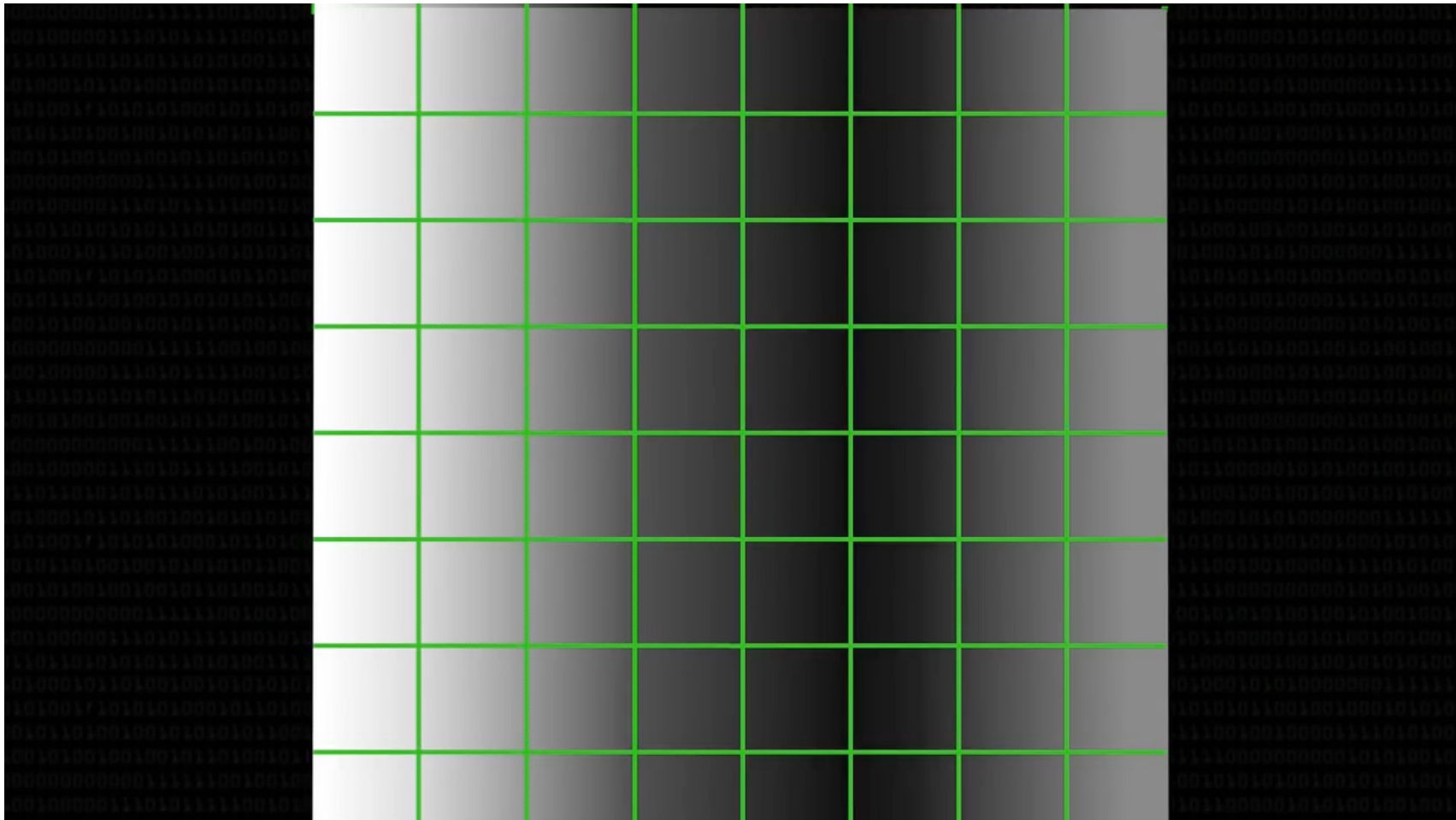
Transformada Discreta do Cosseno (DCT)



Transformada Discreta do Cosseno (DCT)



Transformada Discreta do Cosseno (DCT)



Transformada Discreta do Cosseno (DCT)

- Considere a seguinte imagem em escala de cinza como exemplo.



Transformada Discreta do Cosseno (DCT)

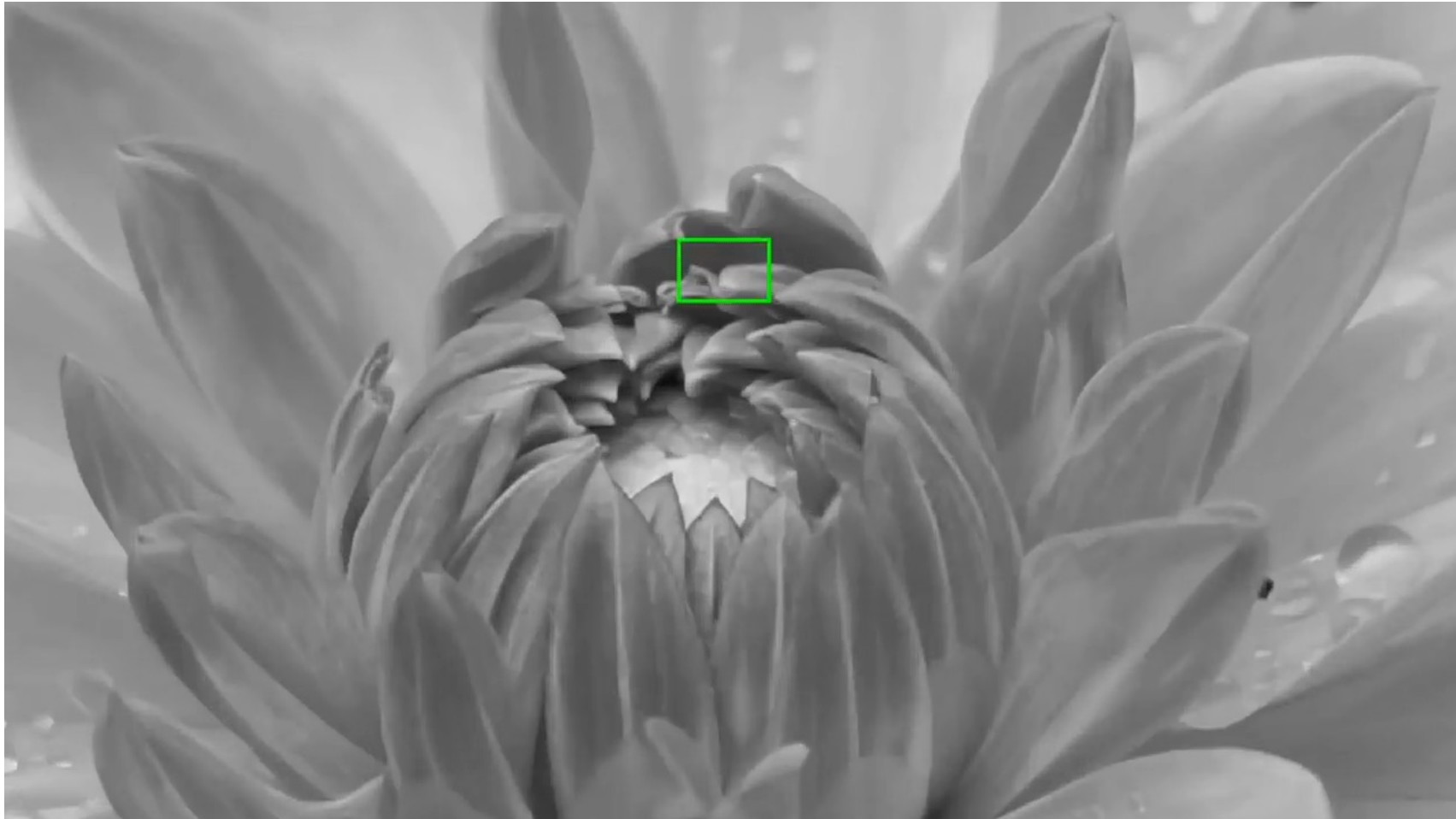
- Como saber quais cossenoides devem ser usadas?
- Como calcular a contribuição de cada uma para formar aquela imagem?



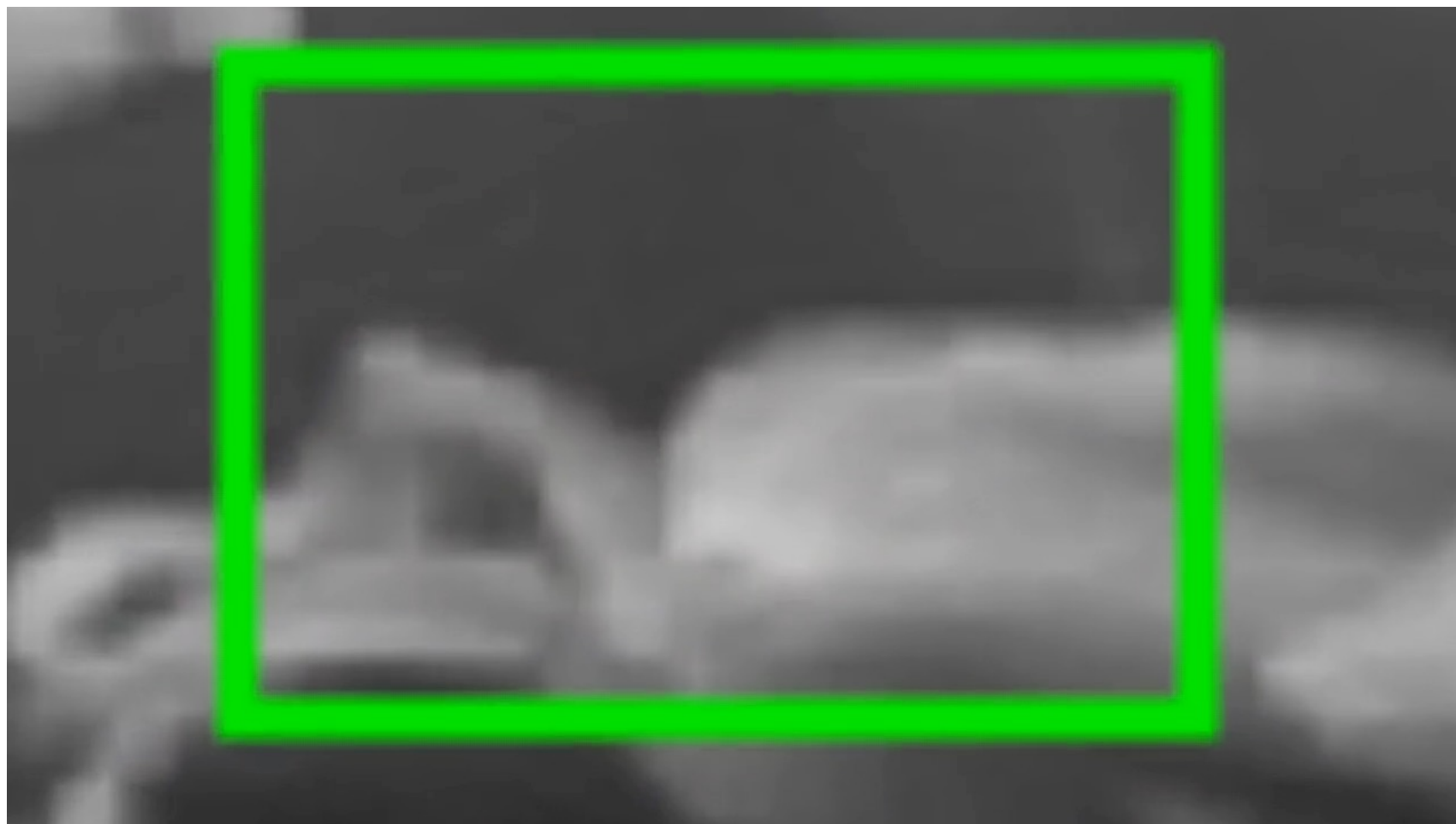
Transformada Discreta do Cosseno (DCT)



Transformada Discreta do Cosseno (DCT)



Transformada Discreta do Cosseno (DCT)



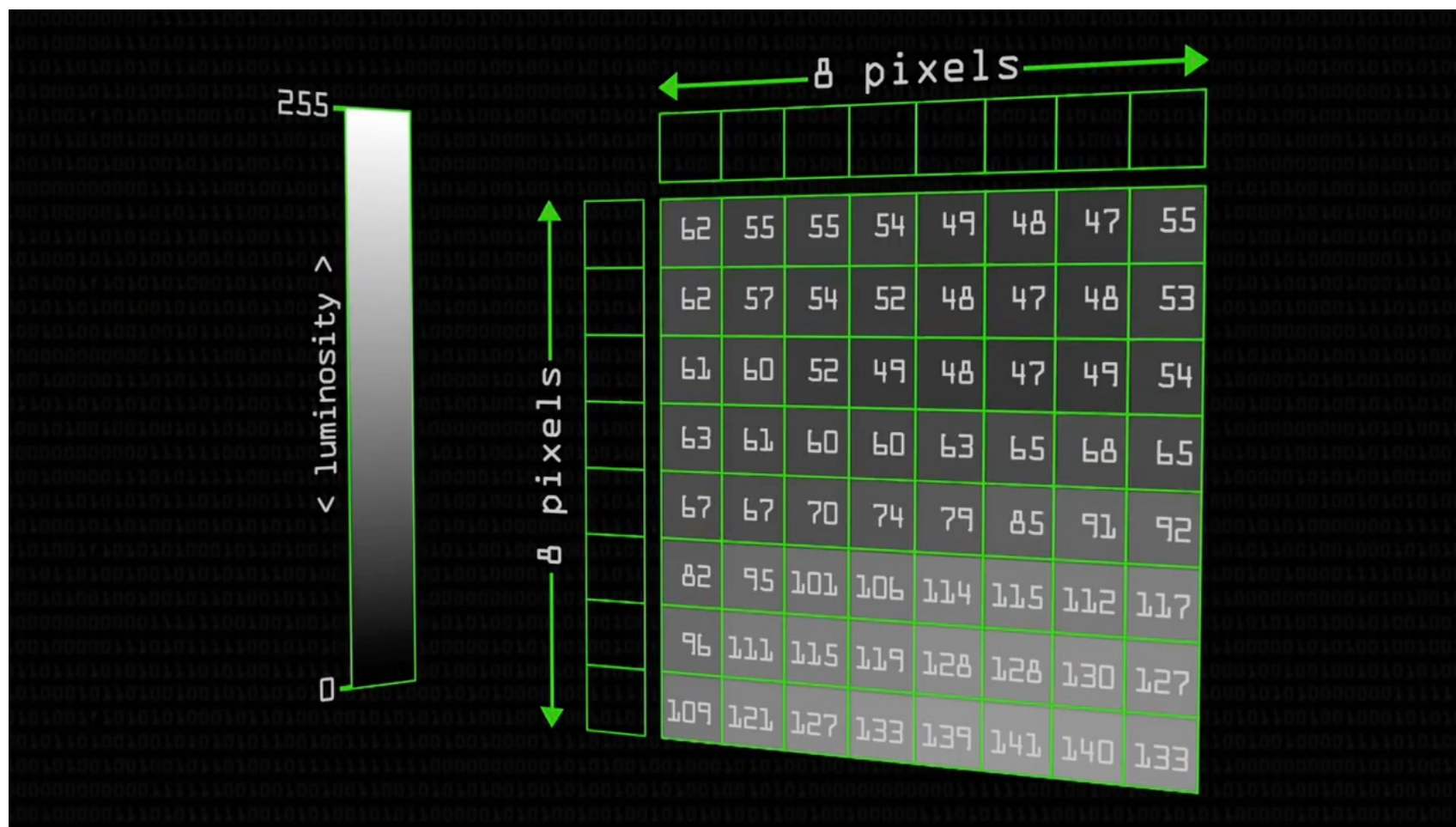
Transformada Discreta do Cosseno (DCT)



Transformada Discreta do Cosseno (DCT)



Transformada Discreta do Cosseno (DCT)



Transformada Discreta do Cosseno (DCT)

Passo 0: dispor os valores de brilho dos pixels do bloco em uma matriz

Input Block							
62	55	55	54	49	48	47	55
62	57	54	52	48	47	48	53
61	60	52	49	48	47	49	54
63	61	60	60	63	65	68	65
67	67	70	74	79	85	91	92
82	95	101	106	114	115	112	117
96	111	115	119	128	128	130	127
109	121	127	133	139	141	140	133

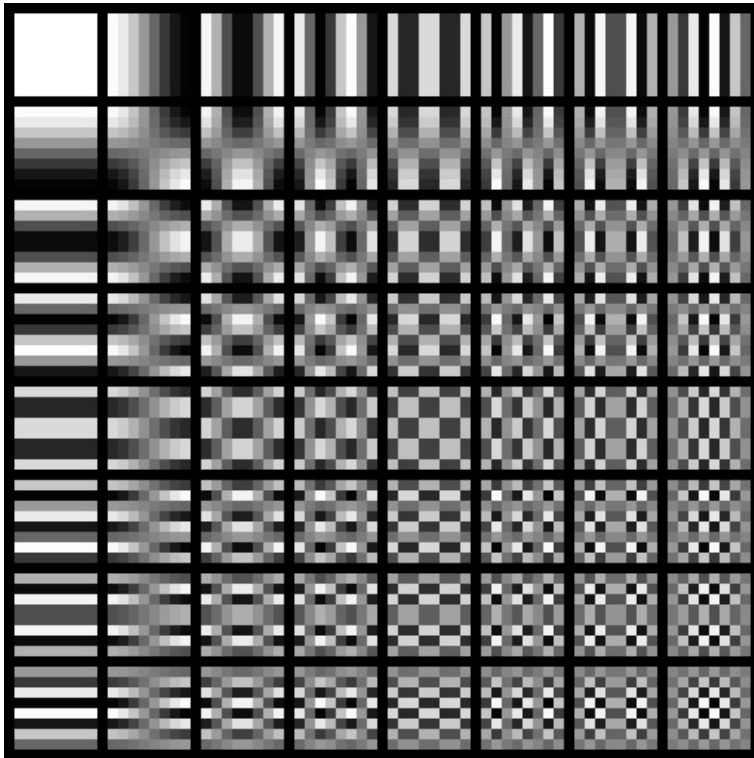
Transformada Discreta do Cosseno (DCT)

Passo 1: subtrair 128 de todos os valores do *input block* → *shifted block*

Shifted Block							
-66	-73	-73	-74	-79	-80	-81	-73
-66	-71	-74	-76	-80	-81	-80	-75
-67	-68	-76	-79	-80	-81	-79	-74
-65	-67	-68	-68	-65	-63	-60	-63
-61	-61	-58	-54	-49	-43	-37	-36
-46	-33	-27	-22	-14	-13	-16	-11
-32	-17	-13	-9	0	0	2	-1
-19	-7	-1	5	11	13	12	5

Transformada Discreta do Cosseno (DCT)

Passo 2: aplicar a DCT no *shifed block* → *DCTII coefficients*



- Cálculo da DCT:

$$F(u, v) = \frac{1}{4} C_u C_v \sum_{x=0}^7 \sum_{y=0}^7 f(x, y) \cos\left[\frac{(2x+1)u\pi}{16}\right] \cos\left[\frac{(2y+1)v\pi}{16}\right]$$

$$C_u = \frac{1}{\sqrt{2}} \quad \text{para } u = 0, \quad C_u = 1 \quad \text{caso contrário}$$

$$C_v = \frac{1}{\sqrt{2}} \quad \text{para } v = 0, \quad C_v = 1 \quad \text{caso contrário}$$

- Cálculo da IDCT:

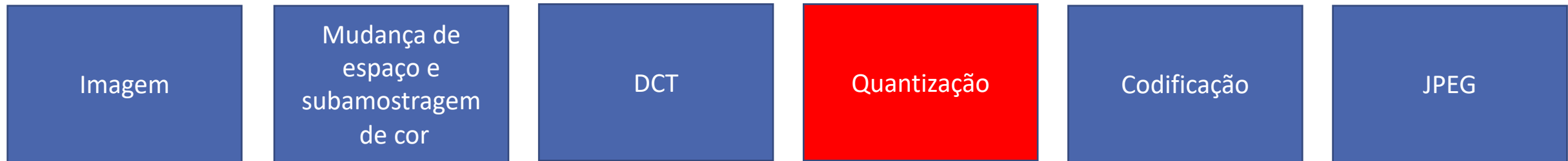
$$f(x, y) = \frac{1}{4} \sum_{u=0}^7 \sum_{v=0}^7 C_u C_v F(u, v) \cos\left[\frac{(2x+1)u\pi}{16}\right] \cos\left[\frac{(2y+1)v\pi}{16}\right]$$

Transformada Discreta do Cosseno (DCT)

Isto resultará em uma matriz onde cada coeficiente indica a contribuição de sua respectiva cossenoide.

DCTII Coefficients							
-370	-29,7	-2,6	-2,5	-1,1	-3,7	-1,5	-0,08
-231	44,9	24,5	-0,3	9,3	3,9	4,3	-1,4
62,8	8,5	-7,6	-2,7	0,3	-0,4	0,5	-0,8
12,5	-14,6	-3,5	-3,4	2,4	-1,3	2,7	-0,4
-4,9	-3,9	0,9	3,6	0,1	5,1	1,1	0,5
0,5	3,1	-1,4	0,2	-1,1	-1,5	-1,1	0,9
4,4	2,3	-1,7	-1,6	1,1	-2,7	1,1	-1,4
-10,2	-1,8	5,9	-0,4	0,3	0,4	-1	0

JPEG



Quantização

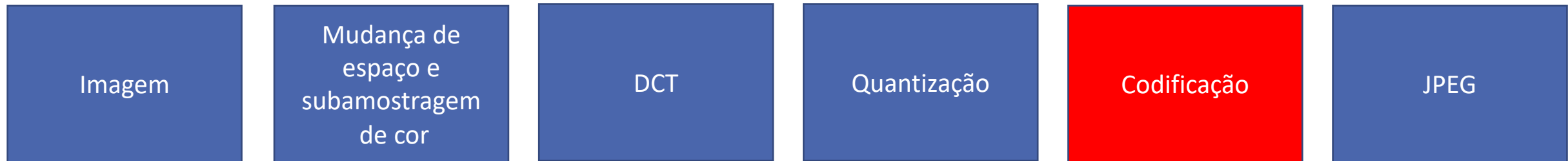
- O processo de remoção dos dados de alta frequência é chamado de quantização. Para isto, utilizam-se tabelas de quantização.
- Divide-se cada coeficiente pelo valor de quantização, arredondando o resultado para o inteiro mais próximo.

DCTII Coefficients							
-370	-29,7	-2,6	-2,5	-1,1	-3,7	-1,5	-0,08
-231	44,9	24,5	-0,3	9,3	3,9	4,3	-1,4
62,8	8,5	-7,6	-2,7	0,3	-0,4	0,5	-0,8
12,5	-14,6	-3,5	-3,4	2,4	-1,3	2,7	-0,4
-4,9	-3,9	0,9	3,6	0,1	5,1	1,1	0,5
0,5	3,1	-1,4	0,2	-1,1	-1,5	-1,1	0,9
4,4	2,3	-1,7	-1,6	1,1	-2,7	1,1	-1,4
-10,2	-1,8	5,9	-0,4	0,3	0,4	-1	0

JPEG Quantization Table							
16	12	14	14	18	24	49	72
11	10	16	24	40	51	61	12
13	17	22	35	64	92	14	16
22	37	55	78	95	19	24	29
56	64	87	98	26	40	51	68
81	103	112	58	57	87	109	104
121	100	60	69	80	103	113	120
103	55	56	62	77	92	101	99

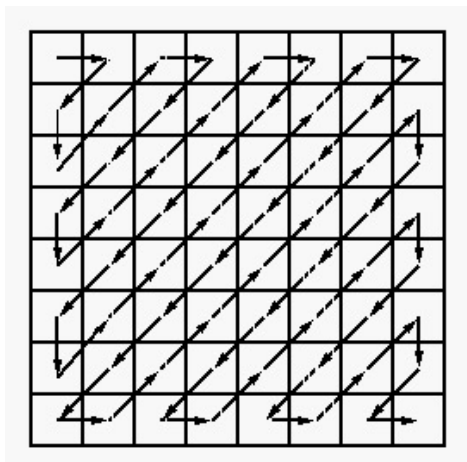
Quantized							
-23	-2	0	0	0	0	0	0
-21	4	2	0	0	0	0	0
5	1	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0

JPEG



Codificação

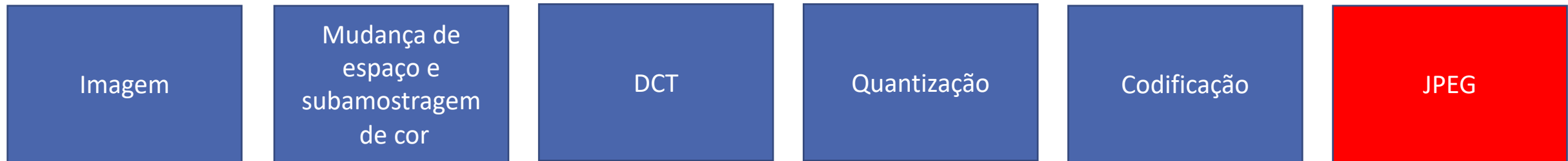
- Para serem escritos em arquivo, os valores são codificados usando um algoritmo como o de Huffman para comprimir ainda mais os dados.
- O percurso é feito em zig-zag: -23, -2, -21, 5, 4, 0, 0, 2, 1, 1, 0, 0, ... , 0
- Percorrendo desta forma, obtém-se vários zeros consecutivos, que são facilmente comprimidos pelo algoritmo de Huffman, RLE etc.



Quantized							
-23	-2	0	0	0	0	0	0
-21	4	2	0	0	0	0	0
5	1	0	0	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
0	0	0	0	0	0	0	0



JPEG



JPEG

- Para descomprimir uma imagem, faz-se o processo no sentido contrário:
 - Multiplica-se os valores presentes no arquivo pelos seus respectivos coeficientes da tabela de quantização, que também é salva no arquivo (uma para cada bloco);
 - Aplica-se a Transformada Inversa do Cosseno (DCTIII) → *shifted block*;
 - Soma-se o valor 128 a todos os valores → *output block*.
- Ao comparar as imagens original e descomprimida, alguns valores estarão faltando. É justamente neste fato que reside a compressão.
- Uma forma de ajustar a qualidade no momento da compressão é diminuindo (ex.: dividindo por dois) ou aumentando (ex.: multiplicando por dois) os valores da tabela de quantização.



Referências

- Ask Alex - **The 411 on 4:4:4**. Disponível em <https://www.youtube.com/watch?v=7JYZDnenaGc>.
- Computerphile - **JPEG 'files' & Colour (JPEG Pt1)**. Disponível em https://www.youtube.com/watch?v=n_uNPbdenRs.
- Computerphile - **JPEG DCT, Discrete Cosine Transform (JPEG Pt2)**. Disponível em <https://www.youtube.com/watch?v=Q2aEzeMDHMA>.