

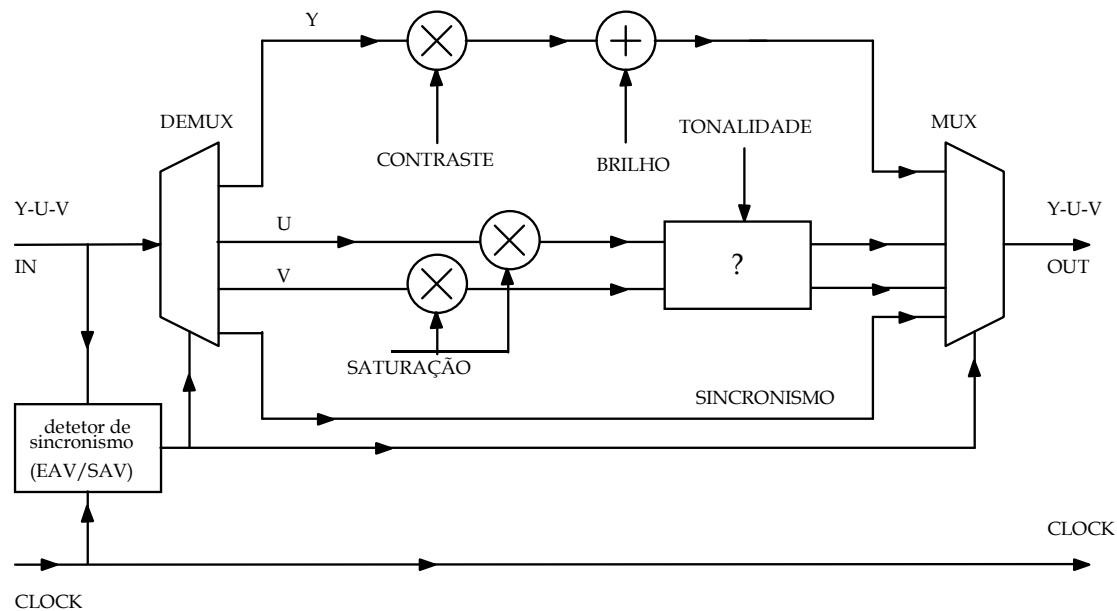
PTC3547

Resolução da Lista de Exercícios 2

Prof. Guido Stolfi – 05/2025

Questão 1.1: Processador Digital de Vídeo

1.1 - O diagrama de blocos abaixo representa um processador digital de vídeo, capaz de controlar o brilho, saturação e contraste de um sinal digitalizado pelo padrão CCIR-601 (D-1).



- (0,4) É correto o controle de CONTRASTE atuar apenas sobre o sinal de luminância? Porque?
- (0,4) É correto o controle de SATURAÇÃO atuar apenas sobre as componentes U e V? Porque?
- (0,4) Desenhe um diagrama de blocos com as operações realizadas dentro do bloco [?] de modo a implementar um controle de TONALIDADE de cor (capaz de efetuar uma rotação vetorial da informação de crominância).

Questão 1.1: Processador Digital de Vídeo

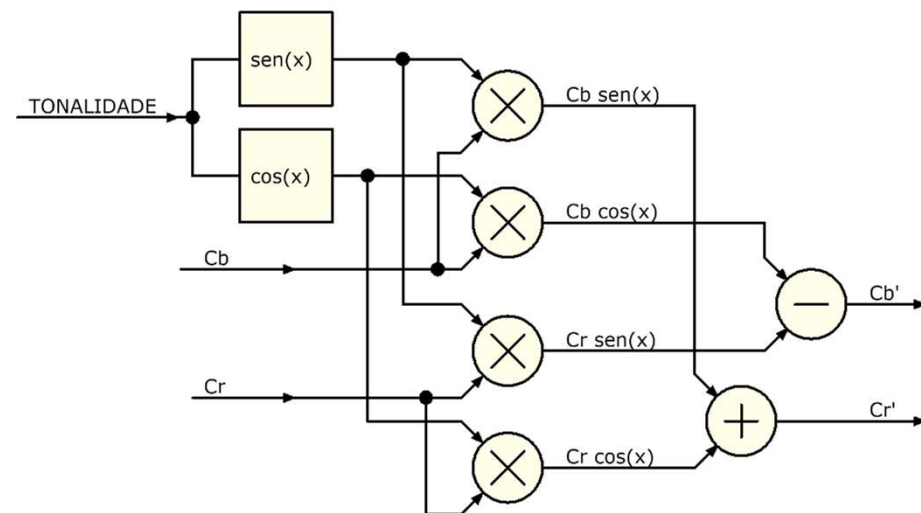
- a) É correto o controle de CONTRASTE atuar apenas sobre o sinal de luminância?
Por quê?
- Não, o Contraste deve atuar também nas componentes C_B e C_R , para manter a proporção relativa entre as componentes R, G e B após a decodificação. Caso contrário, ao aumentar o contraste, as relações entre as componentes R, G e B irão se alterar, e a saturação vai diminuir.
- b) É correto a SATURAÇÃO atuar apenas sobre as componentes **CB** e **CR**? Por quê?
- Sim, para não alterar o contraste. Por exemplo, em imagens preto e branco, a saturação não deve ter efeito nenhum sobre a luminância.

Questão 1.1: Processador Digital de Vídeo

a) Desenhe um diagrama de blocos com as operações realizadas dentro do bloco [?] de modo a implementar um controle de TONALIDADE de cor (capaz de efetuar uma rotação vetorial da informação de crominância).

- Este bloco deve efetuar uma rotação do fasor descrito pelas duas componentes de crominância. Pode ser feito aplicando a matriz de rotação R :

$$R = \begin{bmatrix} \cos\theta & -\text{sen}\theta \\ \text{sen}\theta & \cos\theta \end{bmatrix}$$



- 1.2 - (0,4) Um sinal de vídeo de alta definição é digitalizado com 10 bits, com frequência de amostragem de 74.174 MHz. Sabendo que o sinal analógico (luminância) tem amplitude de 0,7 Vpp, enquanto que o fundo de escala do conversor A/D é de 1,1 Vpp; e que a banda passante do sinal é de 30 MHz, calcule a relação S/R do processo de digitalização. (Considere que o efeito da MTF da visão humana é de 6,81 dB, uma vez que a resolução aparente da imagem é a mesma que no caso da TV convencional).

Questão 1.2: Conversão A/D

$$\frac{S}{Q_e} = 6,02 \times 10 + 10,8 + 10 \cdot \log\left(\frac{74,174}{60}\right) - 20 \cdot \log\left(\frac{1,1}{0,7}\right) + 6,81 = 74,8 \text{ dB}$$

Fator p-p →

f_S ↓

V_T ↓

↑ *10 bits*

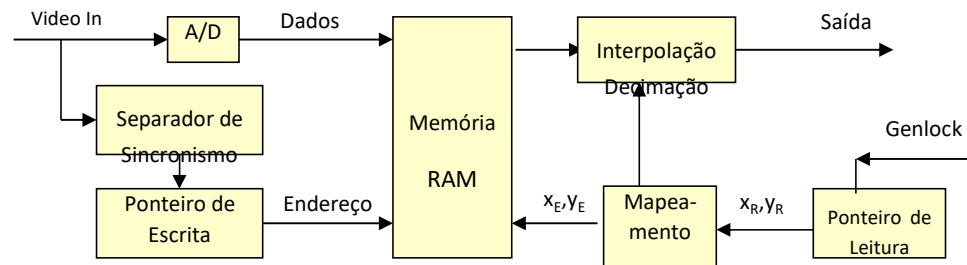
↑ $2 f_V$

↑ *Amplitude do sinal*

↑ $A(f)$

Questão 1.3: Transformação Espacial

- O diagrama de blocos abaixo representa outro processador digital de vídeo, capaz de efetuar transformações geométricas em imagens em tempo real. O bloco “Mapeamento” transforma as coordenadas de reprodução (x_R , y_R) em coordenadas de entrada (x_E , y_E) através de uma matriz 2×3 :

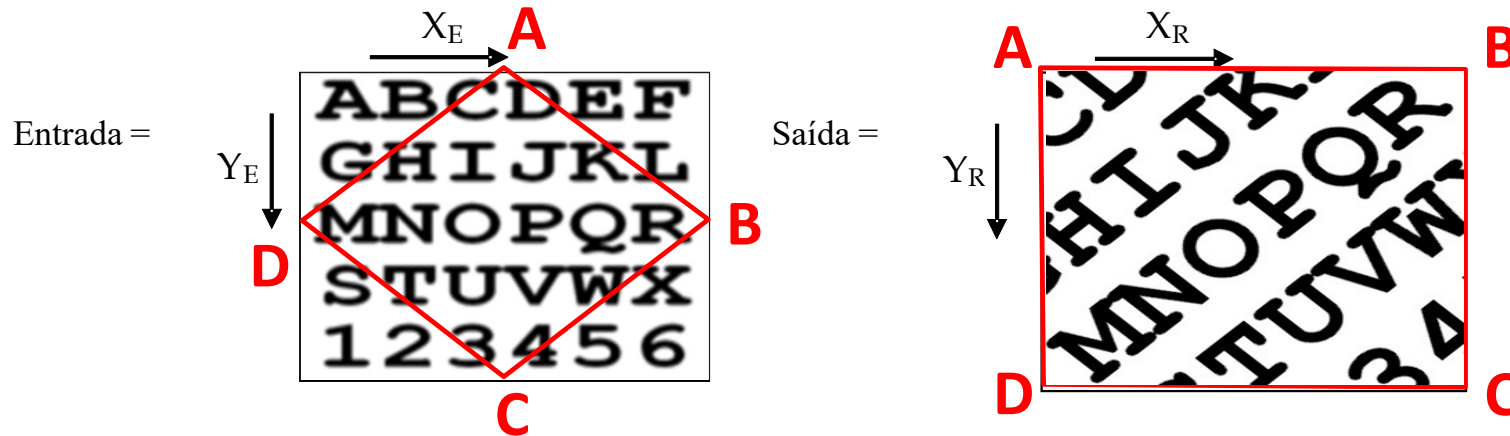


$$\begin{bmatrix} x_E \\ y_E \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A & B & C \\ D & E & F \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x_R \\ y_R \\ 1 \end{bmatrix}$$

Determine os valores APROXIMADOS de A, B, C, D, E e F para que, dada a imagem de entrada abaixo, à esquerda, seja obtida a imagem de saída da direita. Suponha que as coordenadas x e y variam de 0 a 1. Sugestão: não use concatenação de operações (rotação + escalamento etc.); apenas mapeie os vértices da imagem de saída nos pontos correspondentes da imagem de entrada.



1.3 - Mapeamento de Vértices



Ponto	Coordenadas de Reprodução	Coordenadas de Entrada
A	x = 0, y = 0	x = 0.5, y = 0
B	x = 1, y = 0	x = 1, y = 0.5
C	x = 1, y = 1	x = 0.5, y = 1
D	x = 0, y = 1	x = 0, y = 0.5

1.3 - Mapeamento de Vértices

$$\mathbf{A} \quad \begin{bmatrix} 0,5 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A & B & C \\ D & E & F \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}$$

$$0A + 0B + 1C = 0,5 \rightarrow C = 0,5$$

$$0D + 0E + 1F = 0 \rightarrow F = 0$$

$$\mathbf{B} \quad \begin{bmatrix} 0 \\ 0,5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A & B & C \\ D & E & F \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix}$$

$$0A + 1B + 1C = 0 \rightarrow B = -C = -0,5$$

$$0D + 1E + 1F = 0,5 \rightarrow E = 0,5$$

$$1A + 0B + 1C = 1 \rightarrow A = 1 - C = 0,5$$

$$\mathbf{C} \quad \begin{bmatrix} 1 \\ 0,5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A & B & C \\ D & E & F \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}$$

$$1D + 0E + 1F = 0,5 \rightarrow D = 0,5$$

$$\Rightarrow \begin{bmatrix} x_E \\ y_E \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,5 & -0,5 & 0,5 \\ 0,5 & 0,5 & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x_R \\ y_R \\ 1 \end{bmatrix}$$

1.3 - Confirmação

$$\mathbf{D} \begin{bmatrix} x_E \\ y_E \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.5 & -0.5 & 0.5 \\ 0.5 & 0.5 & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix}$$

$$x_E = 0.5 \times 0 - 0.5 \times 1 + 0.5 \times 1 = 0$$

$$y_E = 0.5 \times 0 + 0.5 \times 1 + 0 \times 1 = 0.5$$

Centro da Imagem

$$\begin{bmatrix} x_E \\ y_E \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.5 & -0.5 & 0.5 \\ 0.5 & 0.5 & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 0.5 \\ 0.5 \\ 1 \end{bmatrix}$$

$$x_E = 0.5 \times 0.5 - 0.5 \times 0.5 + 0.5 \times 1 = 0.5$$

$$y_E = 0.5 \times 0.5 + 0.5 \times 0.5 + 0 \times 1 = 0.5$$

Questão 1.4: CCIR-601

- 1.4 – (0,4) A tabela ao lado apresenta uma sequência de amostras obtidas em uma interface digital no formato CCIR-601, contendo o bloco de sincronismo SAV (Start of Active Vídeo). A codificação é com 8 bits, e está apresentada em binário e em seu equivalente em decimal.
- Determine o valor das componentes analógicas (luminância Y' e crominâncias $P'B$ e $P'R$) correspondentes ao primeiro pixel da imagem depois do SAV.

11111111	=	255
00000000	=	0
00000000	=	0
11000111	=	199
00111100	=	60
11000010	=	194
10000000	=	128
11000100	=	196
.		

Questão 1.4: CCIR-601

11111111 = 255	}	Preâmbulo			
00000000 = 0					
00000000 = 0					
11000111 = 199		SAV			
00111100 = 60	}	Primeiro Pixel	{	Pb=60	
11000010 = 194					Y = 194
10000000 = 128					Pr=128
11000100 = 196	}	Segundo Pixel (Y)			
.					

- Valores Digitais:

- Valores Analógicos:

- $Y = \frac{219}{100}Y' + 16 \rightarrow Y' = \frac{100}{219}(Y - 16)$
- $Y' = 0,4566 \times (194 - 16) = \mathbf{81,3}$

- $Pb = \frac{126}{100}C'_b + 128 \rightarrow C'_b = \frac{100}{126}(Pb - 128)$
- $C'_b = 0,793 \times (60 - 128) = \mathbf{-53,9}$

- $Pr = \frac{160}{100}C'_r + 128 \rightarrow C'_r = \frac{100}{160}(Pr - 128)$
- $C'_r = 0,625 \times (128 - 128) = \mathbf{0}$

Questão 2.1: Codificação JPEG

- 2.1 - A tabela abaixo à esquerda apresenta os coeficientes $F(u,v)$ obtidos pela Transformada Discreta de Cossenos a partir de um bloco de 8×8 pixels de uma imagem.
- (0,4) Quantize esses coeficientes utilizando a Matriz de Quantização $Q(u,v)$, dada abaixo à direita;
- (0,4) Codifique, usando os processos de reordenação, RLE e Huffman especificados no padrão
- (0,4) Determine a taxa de compressão efetiva obtida na codificação desse bloco de imagem, considerando que cada pixel na imagem original estava representado com 8 bits.
- Para efeito da codificação do coeficiente DC, considere que este é o primeiro bloco de coeficientes de uma imagem.

$F(u,v)$

179	20	-3	6	8	10	-7	11
22	6	-5	-7	4	2	10	-9
-4	-2	6	-7	11	-5	8	9
-21	9	0	26	16	11	-60	1
-22	5	9	-4	6	14	13	-8
3	4	6	-6	10	8	-8	-2
11	2	-5	-14	-1	8	6	6
3	-14	12	-10	2	-7	3	14

$Q(u,v)$

16	11	10	16	24	40	51	61
12	13	14	20	25	55	58	60
13	13	16	20	34	52	59	62
15	19	20	30	40	52	58	65
18	25	35	39	65	90	100	75
24	55	55	60	90	110	115	95
70	58	78	75	100	120	120	100
75	90	95	100	110	100	100	100

Questão 2.1: Codificação JPEG

$$F_Q(u, v) = \text{round} \left[\frac{F(u, v)}{k \cdot Q(u, v)} \right] \quad \text{onde } k = \text{fator de compressão}$$

- Como k não é especificado, adotamos k=1:

179	20	-3	6	8	10	-7	11
22	6	-5	-7	4	2	10	-9
-4	-2	6	-7	11	-5	8	9
-21	9	0	26	16	11	-60	1
-22	5	9	-4	6	14	13	-8
3	4	6	-6	10	8	-8	-2
11	2	-5	-14	-1	8	6	6
3	-14	12	-10	2	-7	3	14

 \div

16	11	10	16	24	40	51	61
12	13	14	20	25	55	58	60
13	13	16	20	34	52	59	62
15	19	20	30	40	52	58	65
18	25	35	39	65	90	100	75
24	55	55	60	90	110	115	95
70	58	78	75	100	120	120	100
75	90	95	100	110	100	100	100

 $=$

11	2	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
-1	0	0	1	0	0	-1	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

Questão 2.1: Codificação JPEG

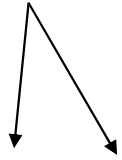
```
11 2 2 0 0 0 0 0 0 -1 -1 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 -1 EOB
```

- - RLE:

```
(11) 0/2 0/2 6/-1 0/-1 13/1 19/-1 EOB
```

- Expansão:

```
(11) 0/2 0/2 6/-1 0/-1 13/1 15/0 3/-1 EOB
```



- Categorias:

```
(4/11) 0/2/2 0/2/2 6/1/-1 0/1/-1 13/1/1 15/0 3/1/-1 EOB
```

Questão 2.1: Codificação JPEG

- Codificação Huffmann:

(4/11) 0/2/2 0/2/2 6/1/-1 0/1/-1 13/1/1 15/0 3/1/-1 EOB

= (101.1011) 01.10 01.10 1111011.0 00.0 111111010.1
11111110111 111010.0 1010

= 1011011011001101111011000011111101011111111011111101001010

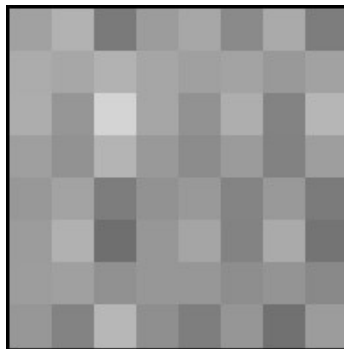
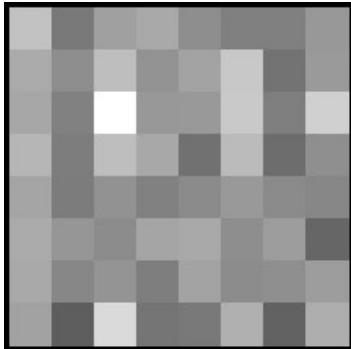
= 59 bits

c) Determine a taxa de compressão efetiva obtida na codificação desse bloco de imagem, considerando que cada pixel na imagem original estava representado com 8 bits:

$$(8 \times 8 \times 8) / 59 = 512 / 59 = 8,68:1$$

Questão 2.1: Codificação JPEG

- Blocos original e reconstruído:

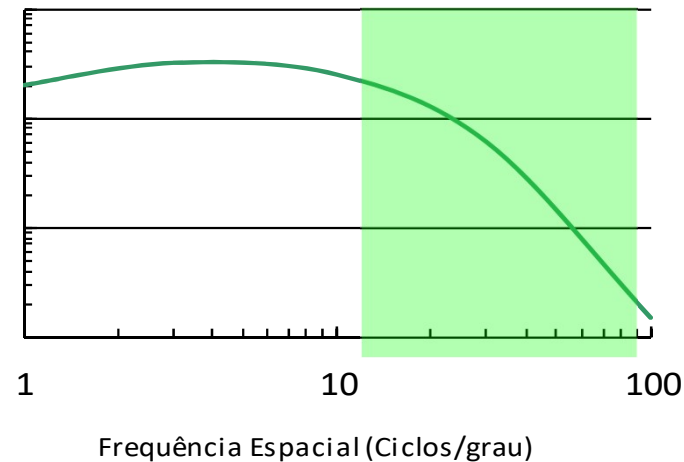


Questão 2.2: Dimensões da DCT

No processo de compressão de imagens JPEG, a imagem é dividida em blocos de 8 x 8 elementos de imagem (pixels) para posterior processamento pela DCT. Porque não em blocos de 4 x 3, ou 1024 x 1024, ou outro valor qualquer? Quais as justificativas para a escolha do tamanho de 8 x 8 ?

2.2 - Dimensionamento da DCT

- **Simetria ($n \times n$):** Simplicidade na aplicação da DCT por produto matricial
- **Potência de 2:** Existência de algoritmos rápidos
- **8 x 8:** Discriminação de frequências em uma faixa aproximada de 10:1 (Declínio da resposta visual humana)



Questão 2.3 – Ordenação em Zig-zag

Escreva (em C, Pascal, Matlab, ou alguma linguagem procedural ou pseudocódigo), uma rotina, função ou trecho de programa que executa a ordenação em ziguezague de um bloco de coeficientes quantizados da DCT. Dados:

Entrada: Bloco de Coeficientes Quantizados, na forma de matriz: **F[h][v]**; (**h, v** de 0 a 7)

Saída 1: Coeficientes ordenados, na forma de um vetor: **Out[n]**; (**n** de 0 a 63)

Saída 2: Ponteiro para Out[n] que indica a posição correspondente ao fim do bloco (EOB):
End_ptr;

O algoritmo pode usar consultas a uma tabela de ordenação; neste caso, apresente a tabela completa.

- 1) Declarações e inicialização

```
Dim F(7, 7) As Integer      \ Coeficientes
Dim Out(64) As Integer     \ Vetor de saída
Dim End_ptr As Integer     \ Ponteiro para EOB
```

```
\ Tabela de reordenação:
```

```
Indec = Array(0, 1, 5, 6, 14, 15, 27, 28, _
              2, 4, 7, 13, 16, 26, 29, 42, _
              3, 8, 12, 17, 25, 30, 41, 43, _
              9, 11, 18, 24, 31, 40, 44, 52, _
              10, 19, 23, 32, 39, 45, 52, 54, _
              20, 22, 33, 38, 48, 51, 55, 60, _
              21, 33, 37, 47, 50, 56, 59, 61, _
              35, 36, 48, 49, 57, 58, 62, 63)
```

- 2) Rotina de reordenação

```
Public Sub Reordena_zz
    Dim x, y, i, n as integer ' variáveis locais
    For y = 0 To 7
        For x = 0 To 7        ' varre matriz de entrada
            i = 8 * y + x    ' i= ponteiro cartesiano
            n = Indec(i)     ' n= ponteiro reordenado
            Out(n) = F(x, y) ' salva entrada no vetor de saída
        Next x
    Next y
    End_ptr = 0              ' inicializa ponteiro p/ EOB
    For i = 0 To 63         ' varre vetor de saída
        If Out(i) <> 0 Then End_ptr = i + 1
    Next I
End Function
```

2.4 - (0,4) Supondo que uma imagem é representada por amostras de 8 bits com sinal, ou seja, variando de -128 a +127, qual é o maior valor (em módulo) que um coeficiente da Transformada Discreta de Cossenos pode assumir, no pior caso?

Questão 2.4 – Transformada DCT

A transformada DCT de um bloco de imagem $f(x,y)$ é definida por:

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

$$\text{onde } \begin{cases} C(k) = \frac{1}{\sqrt{2}} & \text{se } k = 0 \\ C(k) = 1 & \text{se } k > 0 \end{cases}$$

Para o termo $F(0,0)$, temos $\cos(0) = 1$ e $C(0) = 0,70711$. Caso todos os pontos da imagem tiverem valor igual a -128, temos

$$F(0,0) = \frac{\sqrt{2}}{4} \frac{\sqrt{2}}{4} \sum_{y=0}^7 \sum_{x=0}^7 (-128) = -\frac{1}{8} \times 64 \times 128 = -1024$$

Para os demais coeficientes, podemos ter:

$F(1,0) = 924,2$ para uma imagem metade preta e metade branca;

$F(1,1) = 837,5$ para uma imagem com dois quadrantes opostos pretos e os outros dois brancos.