

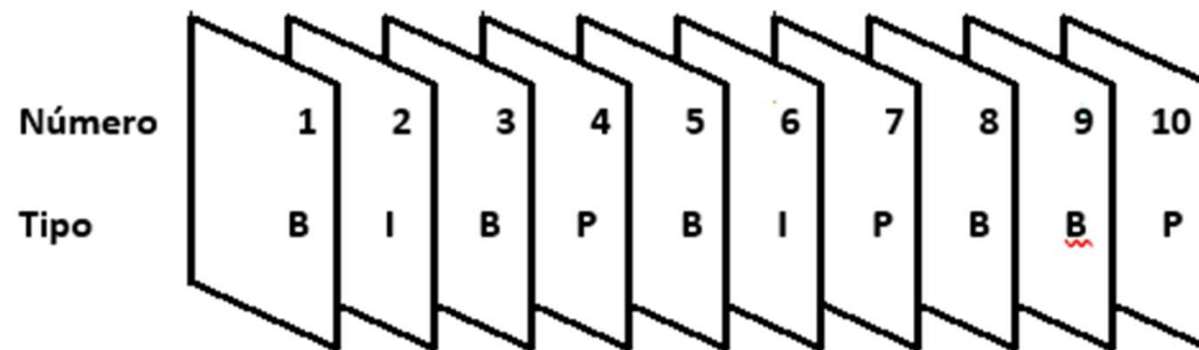
Prova P2 – 2025

PTC3547

Prof. Guido Stolfi – 07/2025

Questão 1: Sequência de imagens em MPEG

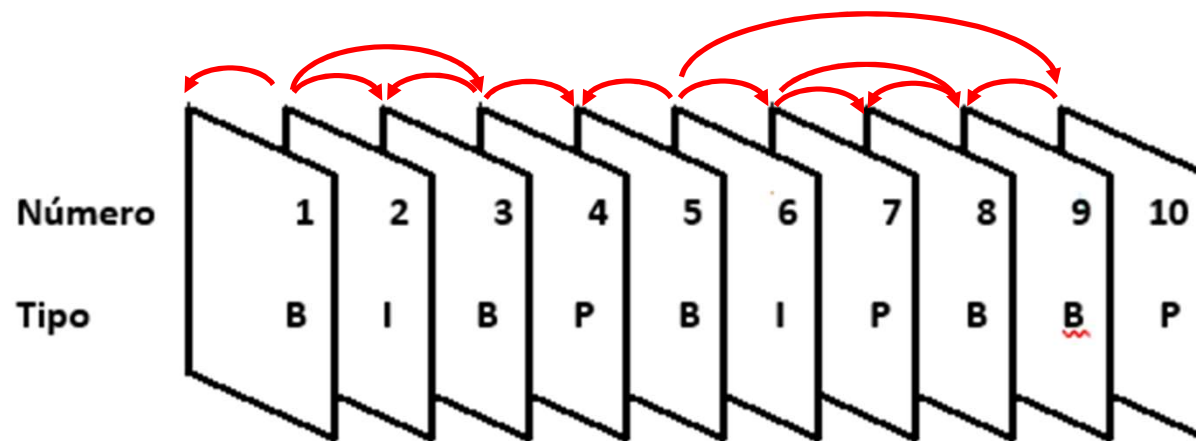
A figura abaixo mostra uma sequência de imagens pertencentes a grupos abertos, codificados em MPEG 1.



Qual é a ordem de transmissão dessas imagens?

Questão 1: Sequência de imagens em MPEG

As imagens tipo B devem ser transmitidas depois ndas imagens I ou P às quais elas podem ser referenciadas.



A Ordem de transmissão será então:

Ordem:	2	1	4	3	6	5	7	10	8	9
Tipo:	I	B	P	B	I	B	P	P	B	B

Questão 2: Resposta em Frequência de um Canal

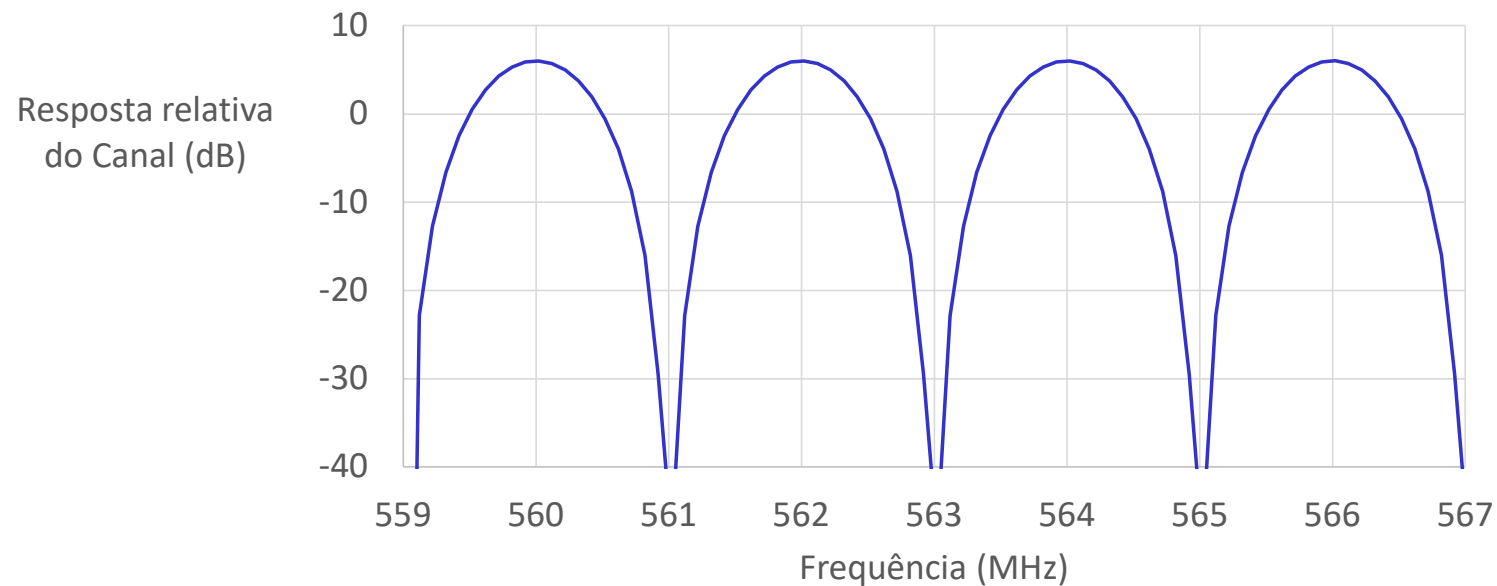
Uma antena recebe um sinal de TV, modulado em OFDM no canal 29 UHF (560 a 566 MHz), que chega do transmissor por dois percursos simultâneos, com mesma amplitude, e com diferença de 500ns no tempo de propagação. Esboce a resposta em frequência do canal, recebido na antena.

- $\frac{1}{500ns} = 2 \text{ MHz}$ Isso significa que todas as frequências múltiplas de 2 MHz serão atrasadas de um número inteiro de ciclos. Considerando modulação em banda estreita, os dois sinais chegarão em fase e a amplitude resultante será o dobro (+6 dB).

Por outro lado, todas as frequências múltiplas ímpares de 1 MHz chegarão defasadas de $\frac{1}{2}$ ciclo, portanto serão canceladas ($-\infty$ dB).

A resposta do canal, portanto, será equivalente a um “Comb Filter” com zeros nas frequências de 559, 561, 563, 565, 567 MHz e com ganho de 6dB nas frequências de 560, 562, 564, 566 MHz.

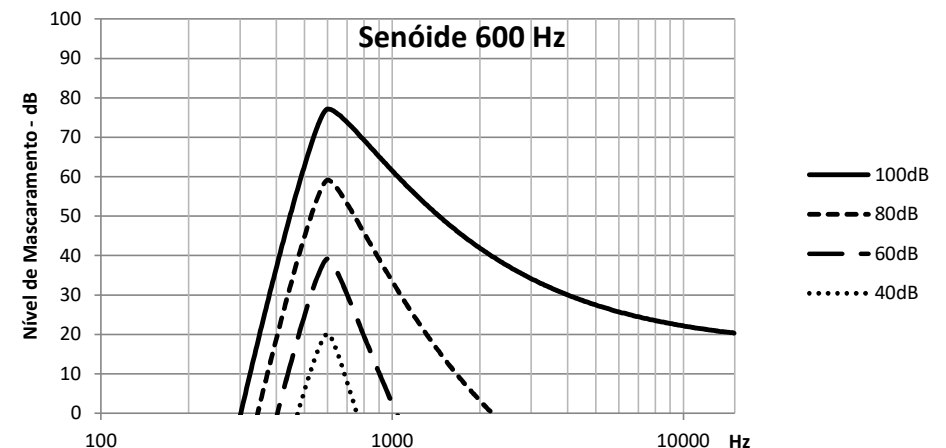
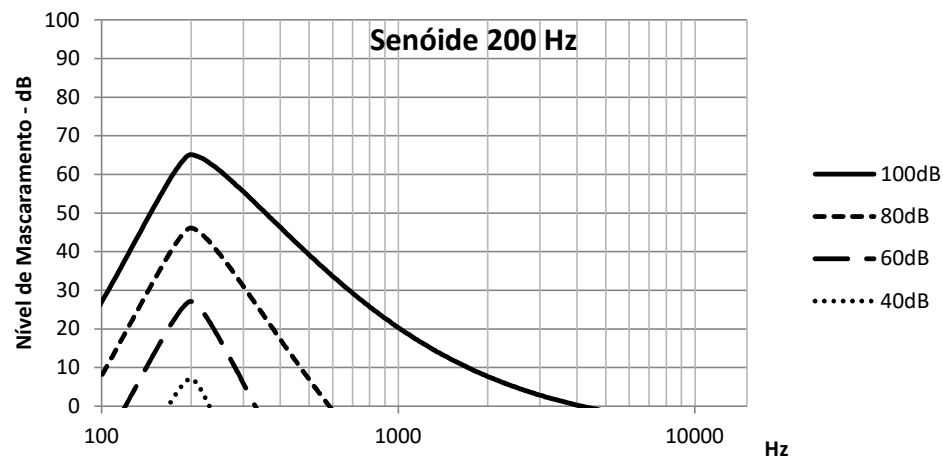
Questão 2: Resposta em Frequência de um Canal



Questão 3: Mascaramento de Áudio

As curvas abaixo modelam razoavelmente bem as características de mascaramento do ouvido humano, e são usadas para implementar um codificador MP3. Elas representam os limiares de mascaramento provocados por sons senoidais de 200 Hz e 600 Hz, com amplitudes de 40 a 100 dB SPL.

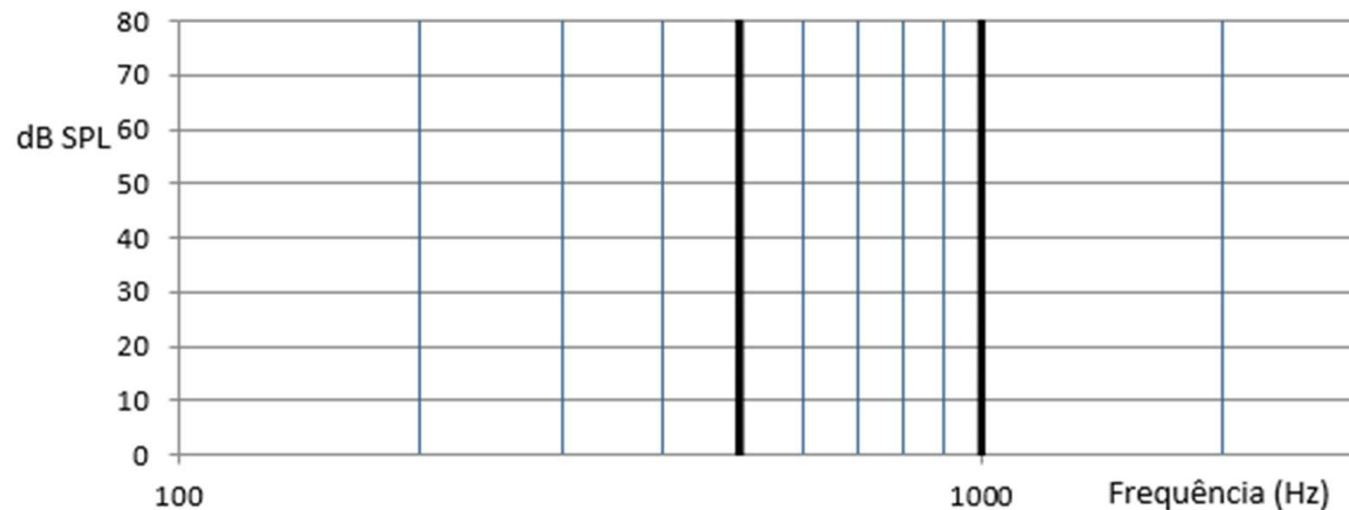
Suponha que na entrada do codificador estão presentes, simultaneamente, um tom de 200 Hz com amplitude 100 dB e um tom de 600 Hz com amplitude 70 dB. Suponha ainda que as sub-bandas deste codificador dividem o espectro em faixas de 500 Hz.



Questão 3: Mascaramento de Áudio

Para a sub-banda que cobre a faixa de 500 a 1000 Hz, pede-se:

a) Desenhe no gráfico abaixo a curva total de mascaramento, de 500 a 1000 Hz, causada pelos dois tons;

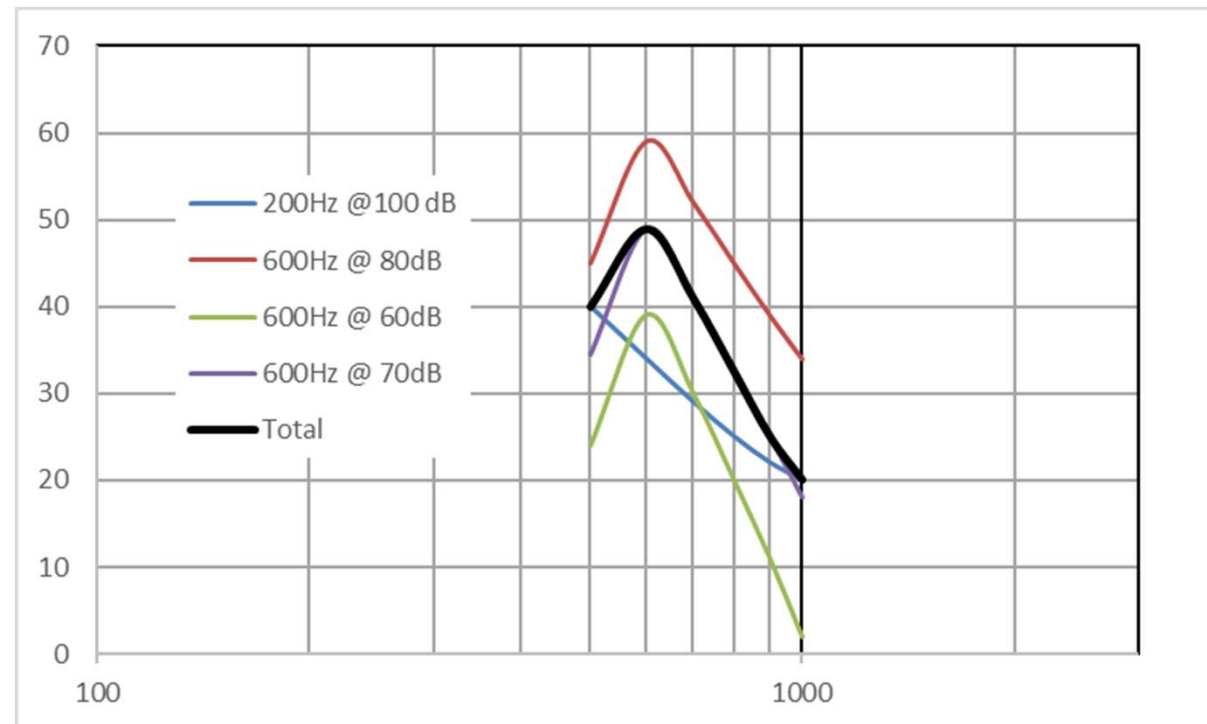


b) Considerando a presença do tom de 600 Hz, qual o valor da relação Sinal / Mascaramento que deve ser adotado para escolher o quantizador para essa banda?

Questão 3: Mascaramento de Áudio

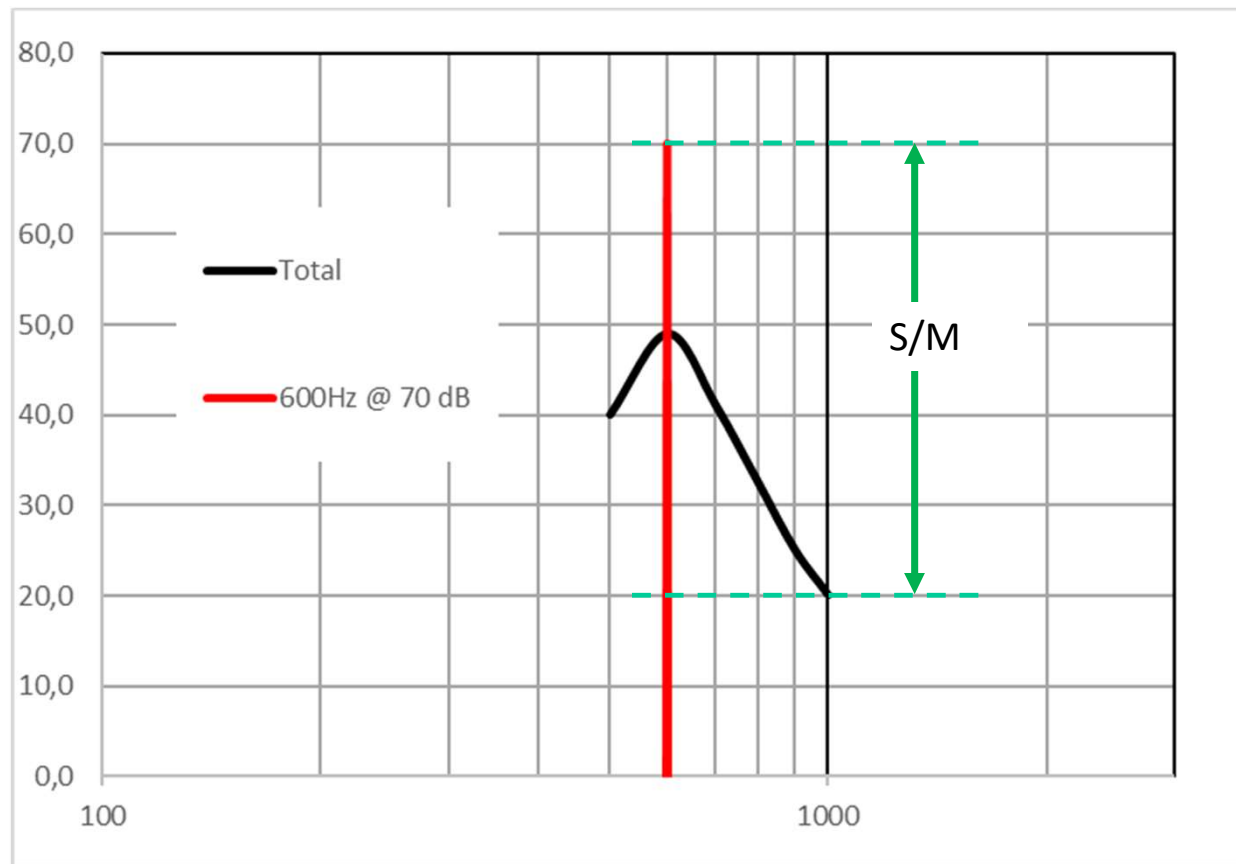
A curva de mascaramento para o tom de 600 Hz em 70 dB deve ser interpolada a partir das curvas para 60 e 80 dB, e depois somada à curva de 200 Hz a 100 dB.

Freq.	200Hz @100 dB	600Hz @ 80dB	600Hz @ 60dB	600Hz @ 70dB	Total
500	40	45	24	34,5	40,0
600	34	59	39	49	49,0
700	29	52	30	41	41,0
800	25	45	20	32,5	32,5
900	22	39	11	25	25,0
1000	20	34	2	18	20,0



Questão 3: Mascaramento de Áudio

Superpondo o sinal de 600Hz a 70 dB, observamos que o ruído de quantização deverá estar abaixo de 20 dB para ser inaudível. A relação Sinal/Mascaramento será então de 50 dB.



Questão 4: OFDM em canal de 3 MHz

A iminência da implantação da “Televisão 3.0” traz o problema da coexistência do sistema ISDB-T com um novo sistema de transmissão, durante alguns anos. Considerando a indisponibilidade de novos canais de UHF nas regiões mais populosas, procura-se avaliar a possibilidade de utilizar um canal de 6 MHz para transmitir dois programas diferentes. Uma alternativa seria um sistema de transmissão em “meia banda”, ocupando apenas metade de um canal.

Neste caso, seriam utilizados também códigos de correção de erros mais eficientes, como o LDPC (Low Density Parity Check) e BCH (Bose–Chaudhuri–Hocquenghem), além da compressão H.265, para permitir a transmissão de HDTV usando apenas 3 MHz.

Um exemplo seria um sistema OFDM segmentado com concatenação LDPC x BCH, caracterizado pelos seguintes parâmetros:

Questão 4: OFDM em canal de 3 MHz

Tamanho da FFT	16384 pontos
Espaçamento das portadoras	200 Hz
Número total de portadoras	13729 portadoras
Segmentação	11 segmentos de 1248 portadoras
Pilotos móveis	104 por segmento
Portadoras de controle (TMCC)	12 por segmento
Portadoras Auxiliares (AC)	12 por segmento
Intervalo de guarda temporal	1/128
Modulação das portadoras úteis	32-QAM
Taxa de Código LDPC mais BCH	51840 : 64800

Pede-se:

- A duração útil de um símbolo OFDM (T_U) =
- A duração total do símbolo, incluindo o intervalo de guarda T_S =
- A quantidade de portadoras úteis por segmento N_{PU} =
- A taxa útil de bits/segundo por segmento B_S =
- A taxa de bits total para os 11 segmentos B_T =

Questão 4: OFDM em canal de 3 MHz

- a) Duração útil de um símbolo: Para manter a ortogonalidade na modulação OFDM, a duração do símbolo deve ser igual ao inverso do espaçamento entre portadoras:
- $T_u = 1/200 = 5 \text{ ms}$
- b) Duração total do símbolo, incluindo o intervalo de guarda: será igual a $1 + 1/128 \times T_u = 5,039 \text{ ms}$, o que faz com que a taxa de símbolos real seja 198,4496 símbolos por segundo.
- c) Quantidade de portadoras úteis: cada segmento tem 1248 portadoras, incluindo 104 pilotos móveis, 12 portadoras TMCC e 12 AC. Portanto, as portadoras úteis serão $1248 - 104 - 12 - 12 = 1120 \text{ portadoras}$
- d) Taxa útil por segmento: considerando modulação 32-QAM, a taxa bruta é de 5 bits por símbolo por portadora. Descontando a taxa dos códigos de correção, será $5 \times 51840/64800 = 4 \text{ bits/símbolo}$. Multiplicando pelo número de portadoras úteis, será $4 \times 1120 = 4480 \text{ bits por símbolo por segmento}$. Considerando a taxa de símbolos, obtemos $4480 \times 198,4496 = 889054,2 = 0,889 \text{ Mbps}$
- e) Considerando 11 segmentos, a taxa útil total será $11 \times 0,889 = 9,78 \text{ Mbps}$.

Questão 5: Busca em Espiral

Escreva (em C, pseudo-código, Matlab, Python ou alguma linguagem procedural), uma rotina, função ou trecho de programa que executa a busca exaustiva limitada, em espiral a partir do centro para estimação de movimento, minimizando o Erro Quadrático Total (ou seja, a somatória das diferenças ao quadrado, para todo o macrobloco). Dados:

Imagem (luminância) a ser codificada, na forma de matriz: `img[h, v]`;

Imagem de referência: `ref[h, v]`;

Tamanho das imagens: `h = 0 a 1919`; `v = 0 a 1079`;

Resolução dos vetores de movimento: 1 pixel;

Magnitude das amostras em `img[ ]` e `ref[ ]`: 8 bits sem sinal (valor de 0 a 255);

Tamanho do macrobloco a ser pesquisado: 16 x 16 pixels;

Área de busca na imagem de referência: +/-255 (horizontal e vertical), com passo de 1 pixel;

Entradas: - Posição (x,y) do primeiro pixel do macrobloco em `img[ ]`;

- Limiar de decisão epsilon;

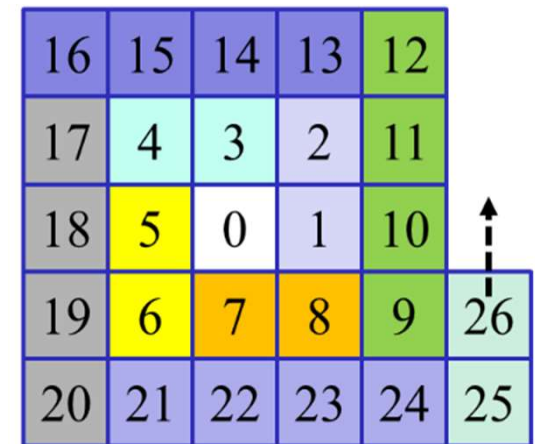
Saídas: - Vetor de movimento (dx,dy) ;

- Erro quadrático mínimo encontrado emin.

Questão 5: Busca em Espiral

- A busca deve ser iniciada no centro da área de busca ($dx = dy = 0$), prosseguindo para a camada seguinte, em espiral, por exemplo como apresentado ao lado, e terminando ao completar a última camada (± 255) ou quando o erro for menor ou igual a **epsilon**.
- Tome cuidado para não acessar pixels fora dos limites das imagens (0 a $h-1$ e 0 a $v-1$).
- Dica: crie uma subrotina/função que calcula o erro quadrático, dados x , y , dx e dy ; e chame esta função dentro de um “loop” em dx e dy , atualizando **emin** se $\text{erro} < \text{emin}$.
- Coloque comentários no programa para identificar as atitudes especificadas acima.

16	15	14	13	12	
17	4	3	2	11	
18	5	0	1	10	
19	6	7	8	9	26
20	21	22	23	24	25



- 1) Declarações

Dim img(1920, 1080) As Integer	'Imagem, índice 1 a N
Dim ref(1920, 1080) As Integer	'Referencia
Dim emin As Double	'Erro minimo
Dim vx, Vy As Integer	'Vetores de Movimento
Dim epsilon As Integer	'Erro tolerado
Dim p, q As Integer	'Deslocamentos

- 2) Rotina de cálculo do Erro Quadrático Total

```
Public Function MedeEQT(x As Integer, y As Integer, dx As Integer, dy
As Integer) As Double

    MedeEQT = 0
    For i = 0 To 15
        For j = 0 To 15
            MedeEQT = MedeEQT + ((img(x + i, y + j)
            - ref(x + dx + i, y + dy + j)))^2
        Next j
    Next i
    If MedeEQT < emin Then
        emin = MedeDMA
        vx = dx
        vy = dy
    End If
End Function
```

Questão 5: Busca em Espiral – Visual Basic

- 3) Rotina de busca

```
Public Sub AchaMinimo(x As Integer, y As Integer, eps As Integer)
    emin = 20000000                                'Valor maior que 16*16*(255^2)

    a = MedeEQT(x, y, 0, 0)                          'Calcula erro p/ vetor =0
    If emin < eps Then Exit Sub                      'Sai se satisfaz erro minimo

    For p = 1 To 255                                'Distancia ao centro
        For q = 0 To 2 * p - 1                      'Distancia da margem esquerda

            If (x - p + q) > 0 And (x - p + q) < 1906 'Dentro da imagem?
            And (y - p) > 0 And (y - p) < 1066 Then '(considera tamanho do bloco)
                a = MedeEQT(x, y, -p + q, -p)        'Linha horizontal embaixo
                If emin < eps Then Exit Sub
            End If
        Next q
    Next p
End Sub
```

Questão 5: Busca em Espiral – Visual Basic

```
If (x - p + q + 1) > 0 And (x - p + q + 1) < 1906
And (y - p) > 0 And (y - p) < 1066 Then
    a = MedeEQT(x, y, -p + q + 1, p)           'Linha horizontal em cima
    If emin < eps Then Exit Sub
    End If

If (x - p) > 0 And (x - p) < 1906 And (y - p + q + 1) > 0
And (y - p + q + 1) < 1066 Then
    a = MedeEQT(x, y, -p, -p + q + 1)         'Coluna vertical esquerda
    If emin < eps Then Exit Sub
    End If

If (x - p) > 0 And (x - p) < 1906 And (y - p + q) > 0
And (y - p + q) < 1066 Then
    a = MedeEQT(x, y, p, -p + q)              'Coluna vertical direita
    If emin < eps Then Exit Sub
    End If
Next q                                         'Avanca dentro da linha (ou coluna)
Next p                                         'Proxima camada da espiral

End Sub
```