



# Discretização de Cores: Quantização

Adair Santa Catarina  
Curso de Ciência da Computação  
Unioeste – Campus de Cascavel – PR

Agosto/2023



# Quantização

O processo de discretização de cores recebe o nome de **quantização**.

Formalmente definimos quantização como uma transformação sobrejetora  $q: C \rightarrow C'$ .

No espaço de cores  $C$  as cores são representadas com  $M$  bits, enquanto no espaço quantizado  $C'$  as cores são representadas com  $N$  bits, com  $M > N$ .

Quando os espaços de cores  $C$  e  $C'$  são unidimensionais (monocromáticos) a quantização é chamada de quantização escalar ou unidimensional. Nos outros casos é chamada de quantização vetorial ou multidimensional.



## Por Que Quantizar Imagens?

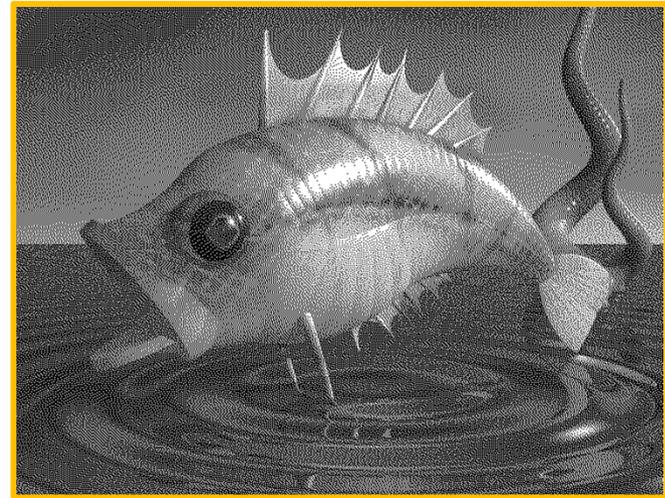
São dois os motivos básicos: exibição e compressão.

Para exibir uma imagem em algum dispositivo gráfico o gamute de cores da imagem não pode ser maior do que o número de cores possíveis de serem representadas no dispositivo.

Como a quantização reduz o número de bits para representar um cor no espaço  $C'$ , diminui-se o espaço necessário para o armazenamento da imagem e o volume de dados no caso de transmissão da imagem através de meios de comunicação.



# Por Que Quantizar Imagens?



24 bits → 1 bit



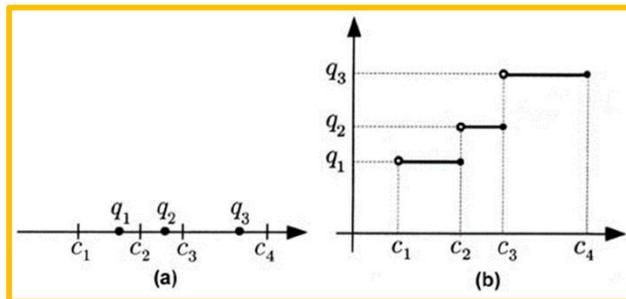
Imagem em bmp (800x541 pixels)  
24 bits = 1298454 bytes → 8 bits = 433878 bytes

# Células de Quantização

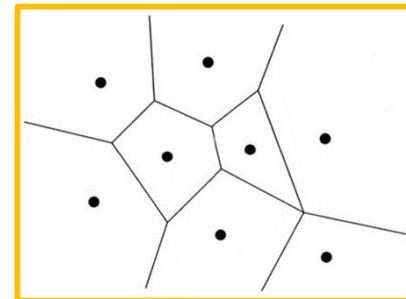
Na quantização de um espaço de cores divide-se este espaço em regiões chamadas **células de quantização**.

Para cada uma destas células devem ser estabelecidos os limites em cada dimensão do espaço de cores.

Uma única cor será escolhida para representar cada célula de quantização. Esta cor recebe o nome de **nível de quantização**.



Quantização unidimensional

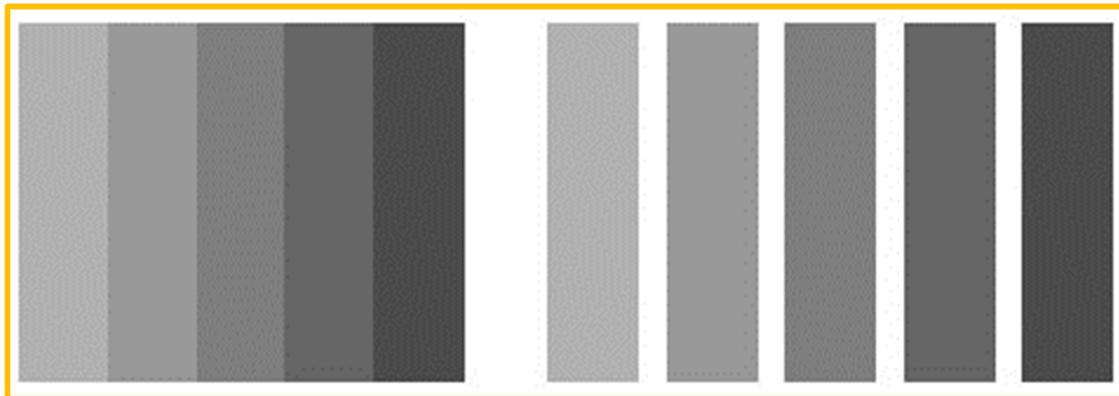


Quantização bidimensional

# Contornos de Quantização

Quando se quantiza o espaço de cores de uma imagem, em regiões de transição suave de cores, podem surgir os **contornos de quantização**.

Os contornos de quantização tornam-se visíveis porque eles formarão fronteiras bem definidas na imagem, e a visão humana é mais sensível às variações de intensidade do que às variações de cromaticidade.



Bandas de Mach



# Contornos de Quantização



(a)



(b)

- (a) Imagem original em 24 bits.
- (b) Imagem quantizada para 8 bits
- (c) Imagem quantizada para 8 bits com *dithering* (Floyd-Steinberg)



(c)



# Método Geral de Quantização

Duas etapas essenciais:

- 1) Determinar as células de quantização;
- 2) Determinar o nível de quantização em cada célula.

As duas etapas acima podem ser encadeadas de 3 formas distintas:

- 1) Determinam-se inicialmente as células de quantização e, em seguida, o nível de quantização de cada célula;
- 2) Determinam-se inicialmente os níveis de quantização, e em seguida o conjunto de cores que devem ser quantizadas para cada nível;
- 3) Determinam-se, de forma interdependente e simultânea, as células e os níveis de quantização.

# Erro de Quantização

Quando se substituem as cores de uma célula de quantização ( $c$ ) pelo seu nível de quantização ( $q(c)$ ) comete-se um erro de quantização.

O erro total de quantização para uma imagem é:

$$e_q = \sum_{i=1}^c p(c) \cdot d(c, q_c)$$

onde  $p(c)$  é a probabilidade de ocorrência da cor  $c$  e  $d(q, q_c)$  é a distância entre a cor original  $c$  e seu nível de quantização  $q_c$ .

Diversas métricas podem ser usadas no cálculo da distância; *city-block* e euclidiana são as mais comuns. Um bom método de quantização deve minimizar o erro total de quantização.

# Método de Quantização Uniforme

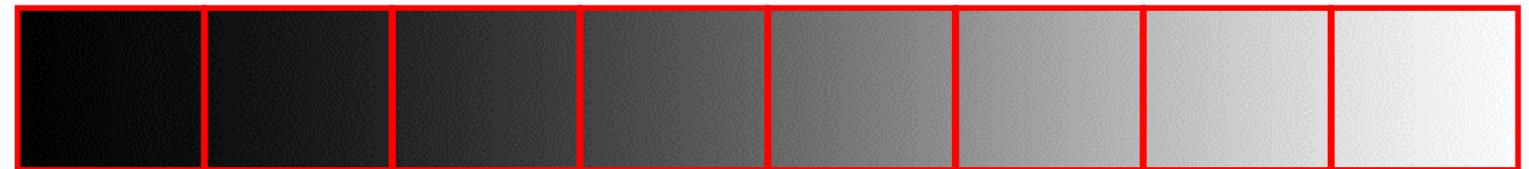
Neste método inicialmente definem-se as células de quantização e depois os níveis de quantização.

As células de quantização amostrarão regiões de tamanho regulares do espaço de cores.



0

255



0

32

64

96

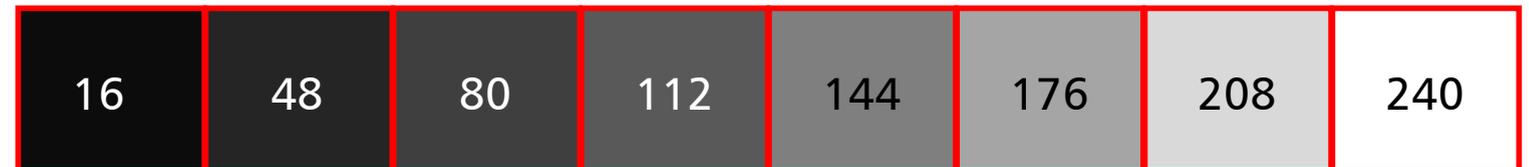
128

160

192

224

255



16

48

80

112

144

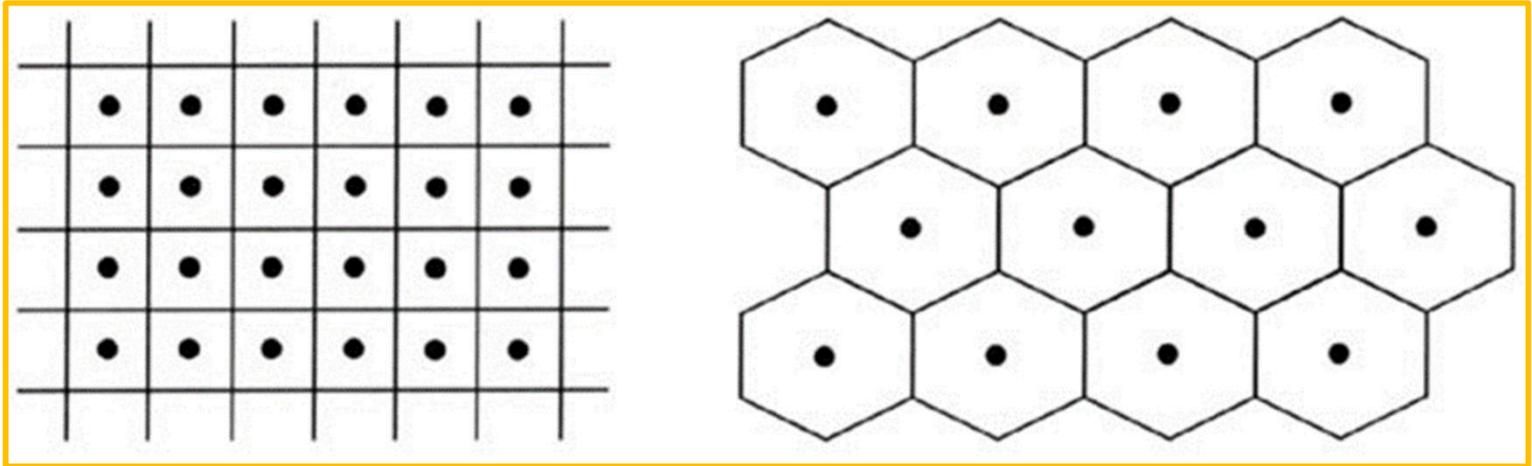
176

208

240

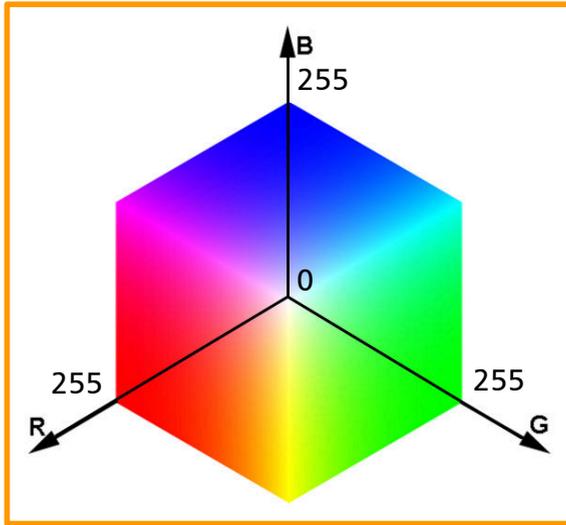
# Método de Quantização Uniforme

Caso o espaço de cores seja 2-D, como no caso do YUV ou YCbCr, a divisão em células regulares gerará células bidimensionais com formatos regulares.



Em espaços de cores 3D, como por exemplo o RGB, as células de quantização serão representadas por cubos.

# Método de Quantização Uniforme



Para dividir o cubo RGB em células iguais, cada lado da célula (cubo) deveria ter dimensão:  $\sqrt[3]{256} = 6,35$ .

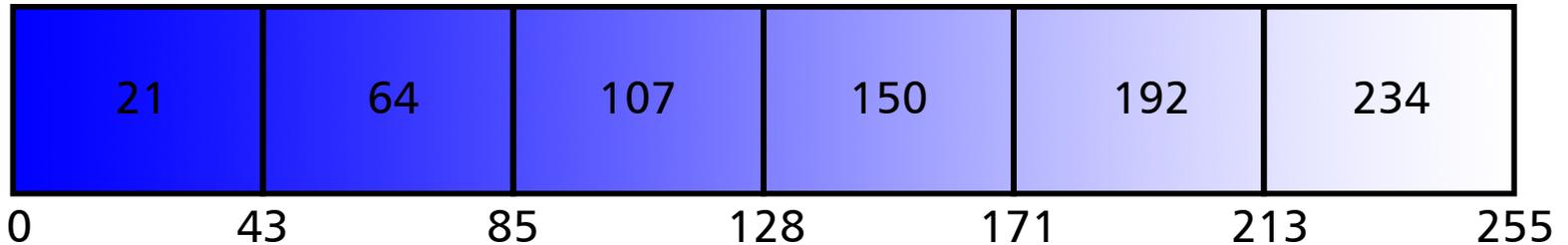
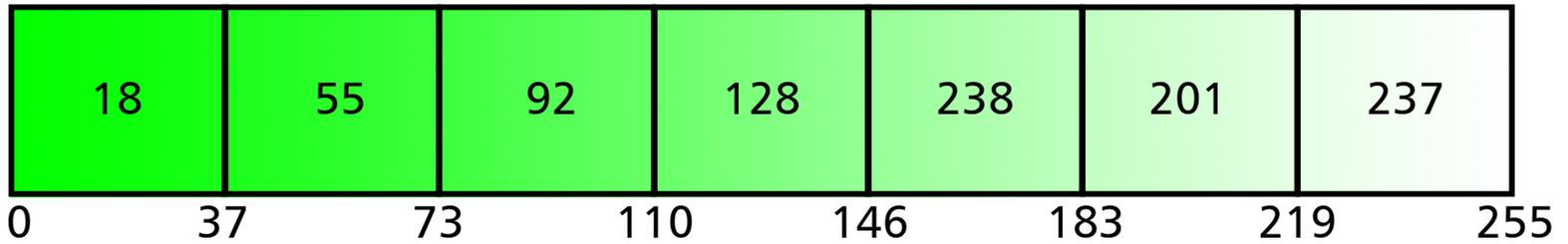
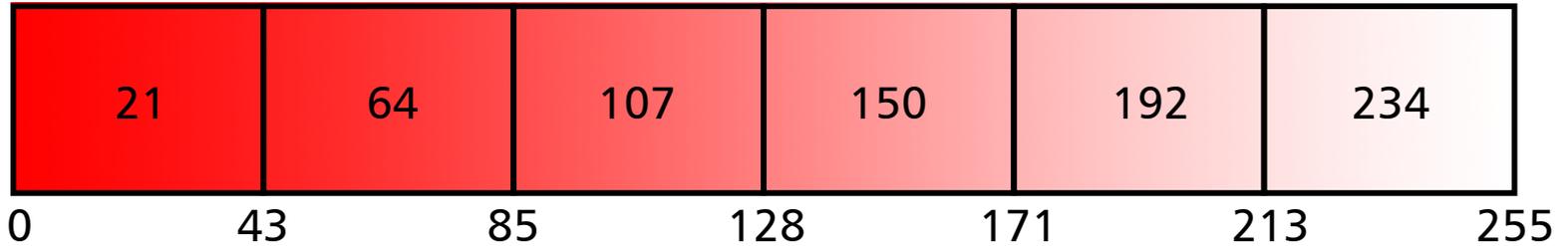
Usando cubos de lado 6 é possível obter  $6^3 = 216$  células. Com lado 7 tem-se  $7^3 = 343$  células.

Se o objetivo for quantizar para um gamute com 256 cores distintas, usar 6 células por canal subutiliza o gamute de cores, enquanto 7 células o excede.

Nesse caso, para otimizar o uso do gamute não usamos cubos, mas prismas, dividindo os canais R e B em 6 células e G em 7 células ( $6 \times 7 \times 6 = 252$  cores).



# Método de Quantização Uniforme



As cores são formadas por todas as combinações dos níveis escolhidos para os canais RGB: (21,18,21), (21,18,64), (21,18,107),..., (64,18,21),..., (234,237,234).



# Métodos de Quantização Adaptativos

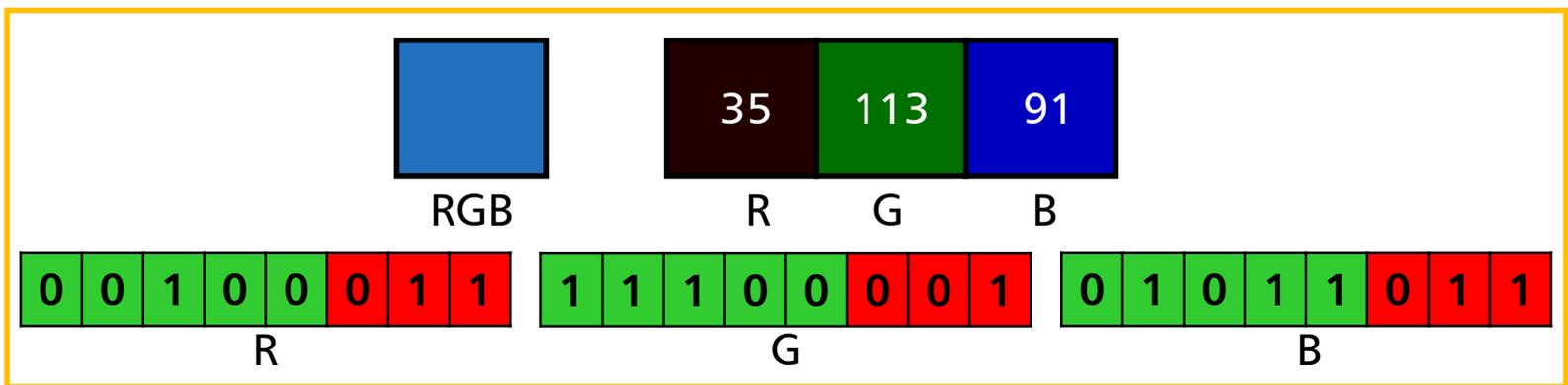
Nestes métodos construímos o histograma da imagem, pois o mesmo fornecerá informações úteis para a quantização.

Imagens em 24 bits podem ter até  $2^{24} = 16.777.216$  cores. Construir histogramas com esse número de cores é inviável pois, na maior parte das imagens, o histograma consumirá mais memória que a própria imagem.

A solução é pré-quantizar as imagens para um número pré-definido de cores, usando 5 ou 6 bits por canal. Para uma imagem RGB, 5 bits por canal corresponderá a um histograma com  $2^{15} = 32.768$  cores

# Pré-quantização para N bits

Para pré-quantizar uma cor RGB para  $N = 15$  bits, procede-se da seguinte maneira.



Os canais R, G e B foram divididos em 32 células cada. A combinação entre todas as células gerará um total de 32768 cores RGB.

É possível usar uma amostragem 5-6-5 priorizando o canal G, pois é o canal mais rico na informação brilho.



# Quantização por Seleção Direta - Populosidade

Este método define, inicialmente, quais serão os níveis de quantização escolhidos. As células de quantização se adaptarão a esses níveis.

Após pré-quantizar a imagem para  $N$  bits e construir seu histograma com  $2^N$  cores, ordena-se o histograma pela frequência, em ordem decrescente.

Se a quantização for para 8 bits, então as primeiras 256 cores do histograma ordenado comporão o conjunto de níveis de quantização ( $q(c)$ ), ou seja, o gamute de cores da imagem quantizada.

Para cada pixel da imagem original, a distância entre  $c$  e  $q(c)$  é calculada. O nível  $q(c)$  de menor distância será aplicado ao pixel de cor original  $c$ .

# Quantização por Corte Mediano

Mediana é a propriedade estatística que identifica qual valor, em um conjunto ordenado, ocupa a posição central.

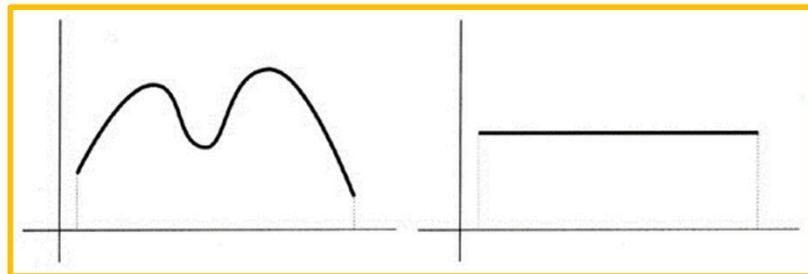
Usar a mediana para dividir um conjunto de cores em duas classes, considerando sua frequência, leva a dois níveis de quantização cujas quantidades de pixels serão aproximadamente iguais.

Cor	1	2	3	4	5	6	7	8	Total
Freq	20	10	40	30	50	20	10	20	200

↑ Mediana (50%) = 100º elemento

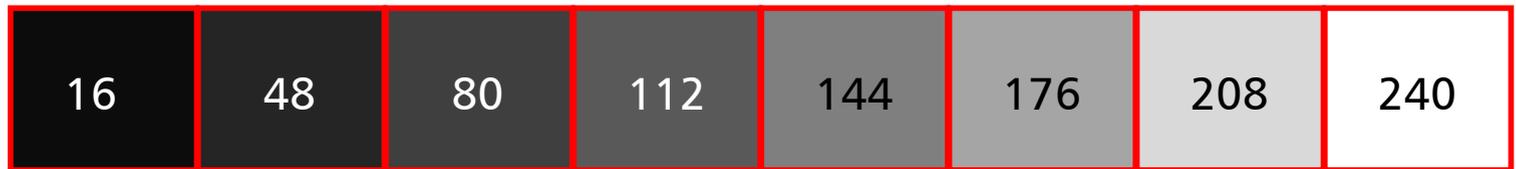
Cor	3	5	Total
Freq	100	100	200

Níveis escolhidos pela Moda.



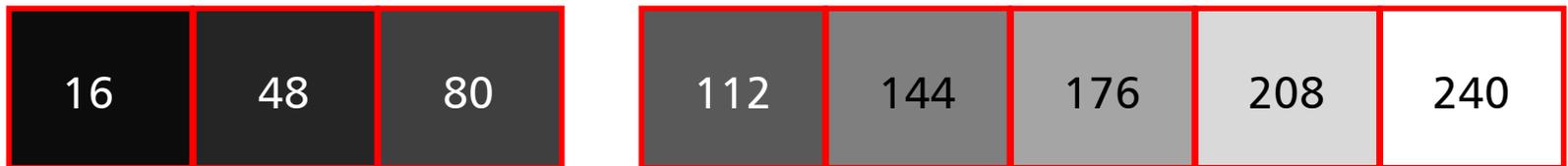
# Quantização por Corte Mediano

Suponha uma imagem *grayscale* em 8 tons de cinza a ser quantizada para 4 tons de cinza usando o Corte Mediano.



150      70      300      100      90      130      70      20

$930/2 = 465$  (1º corte mediano)



150      70      300

100      90      130      70      20

$520/2 = 260$  (2º corte mediano)

$410/2 = 205$  (3º corte mediano)

As 4 células de quantização serão: [16...48], [80],  
[112..144] e [176..240].

Pela moda, os níveis serão: 16, 80, 112, 176



## Quantização por Corte Mediano

Como visto pelo exemplo anterior, o Corte Mediano obtém as células de quantização dinamicamente, observando a distribuição das cores da imagem.

Para imagens RGB torna-se necessário pré-quantizar a imagem para  $N$  bits e construir o histograma com as  $2^N$  cores.

O histograma construído será pesquisado para descobrir qual o canal (R, G ou B) possui a maior amplitude de intensidades.

Na sequência ordena-se o histograma pelo canal de maior amplitude e, usando a mediana das frequências, divide-se o espaço de cores em dois subespaços.

# Quantização por Corte Mediano

Suponha uma imagem RGB, cujo histograma pré-quantizado, possui as seguintes características:

Total de pixels na imagem: 480000

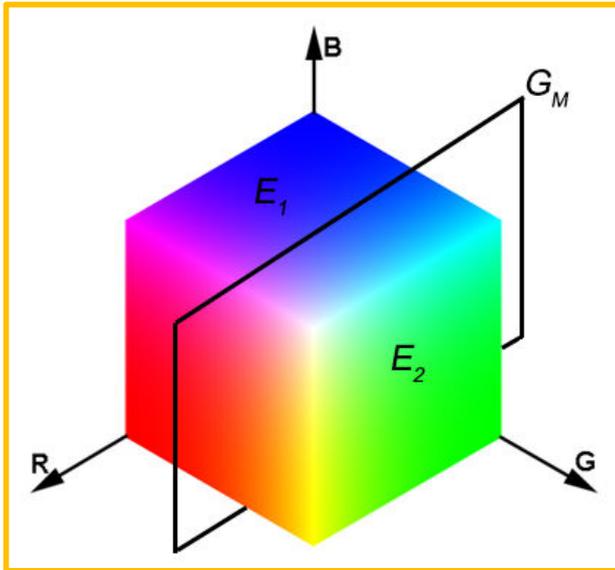
E)  $R = [50..220]$ ,  $G = [40..255]$  e  $B = [30..180]$ .

O canal de maior amplitude ( $G$ ,  $255 - 40 = 205$ ) define que o histograma deverá ser ordenado pela componente  $G$ . A mediana será o tom  $G_M$  que contar  $\frac{480000}{2} = 240000$  pixels, contados à partir das frequências dos histograma.

Identificado o tom  $G_M$ , divide-se o espaço de cores (histograma) em dois subespaços:

$E_1$ )  $R = [50..220]$ ,  $G_1 = [40..G_M]$ ,  $B = [30..180]$  e  
 $E_2$ )  $R = [50..220]$ ,  $G_2 = [G_M+1..255]$ ,  $B = [30..180]$

# Quantização por Corte Mediano



O plano  $G_M$  dividindo o espaço de cores em dois subespaços.

Considerando que agora se tem 2 subespaços de cores, recursivamente repete-se o processo em cada um deles.

Um subespaço de cores não pode ser dividido se for composto por apenas uma cor.

O processo recursivo é encerrado quando os subespaços não podem mais ser divididos ou quando for atingido o número de cores do gamute da imagem quantizada.



# Resultados de Quantizações 24 Bits $\rightarrow$ 8 Bits

Original



Uniforme

Populosidade



Corte Mediano



## *Dithering* por Floyd-Steinberg

Um dos efeitos indesejados da quantização de imagens são os contornos de quantização.

Os contornos de quantização tornam-se visíveis porque o erro de quantização está correlacionado com a coordenada espacial dos pixels; formam-se fronteiras onde as cores quantizadas variam bruscamente na imagem.

Uma das formas mais simples de se evitar a visualização dos contornos de quantização é descorrelacionar espacialmente os erros, usando o algoritmo de Floyd-Steinberg.

## Dithering por Floyd-Steinberg

O algoritmo de Floyd-Steinberg processa os pixels da imagem de cima para baixo e da esquerda para a direita.

Em cada pixel ( $X$ ) é calculado, por canal, o erro de quantização, através da expressão:

$$e_q(X) = c(X) - q(c(X))$$

O erro calculado é então redistribuído entre os vizinhos ainda não processados, seguindo o padrão:

$$\begin{bmatrix} X & + \frac{7}{16} e_q \\ + \frac{3}{16} e_q & + \frac{5}{16} e_q & + \frac{1}{16} e_q \end{bmatrix}$$



# *Dithering* por Floyd-Steinberg – Exemplos



24 bits  $\rightarrow$  1 bit

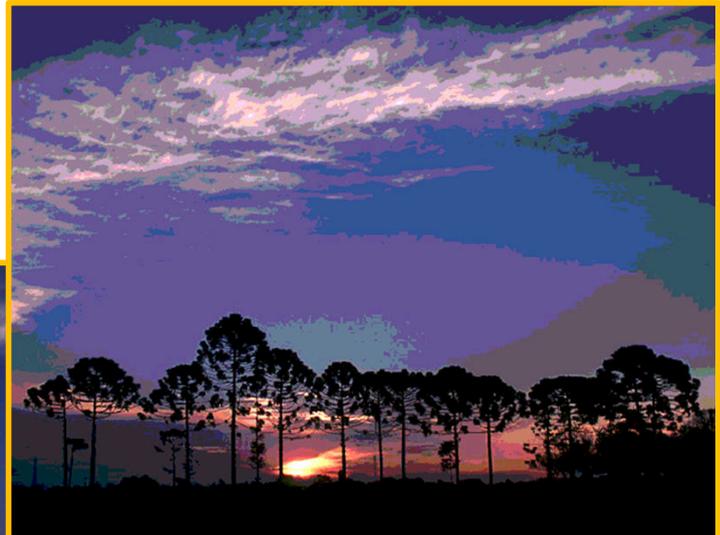




# *Dithering* por Floyd-Steinberg – Exemplos



24 bits  $\rightarrow$  8 bits  
Quantização Uniforme





# Dithering por Floyd-Steinberg – Exemplos

Quantização  
Uniforme



Populosidade



Corte Mediano