



Processamento Digital de Imagens

Conceitos Básicos

CPGCG/UFPR

Prof. Dr. Jorge Centeno



Realidade e imagem

- Uma imagem é a representação pictórica de um aspecto da realidade.
- Uma imagem não é idêntica à cena real, pois ela retrata apenas uma propriedade particular:
 - Radiação refletida
 - Radiação transmitida
 - Etc
- deixando de registrar algumas propriedades e relações que podem ser importantes para a adequada compreensão da cena.

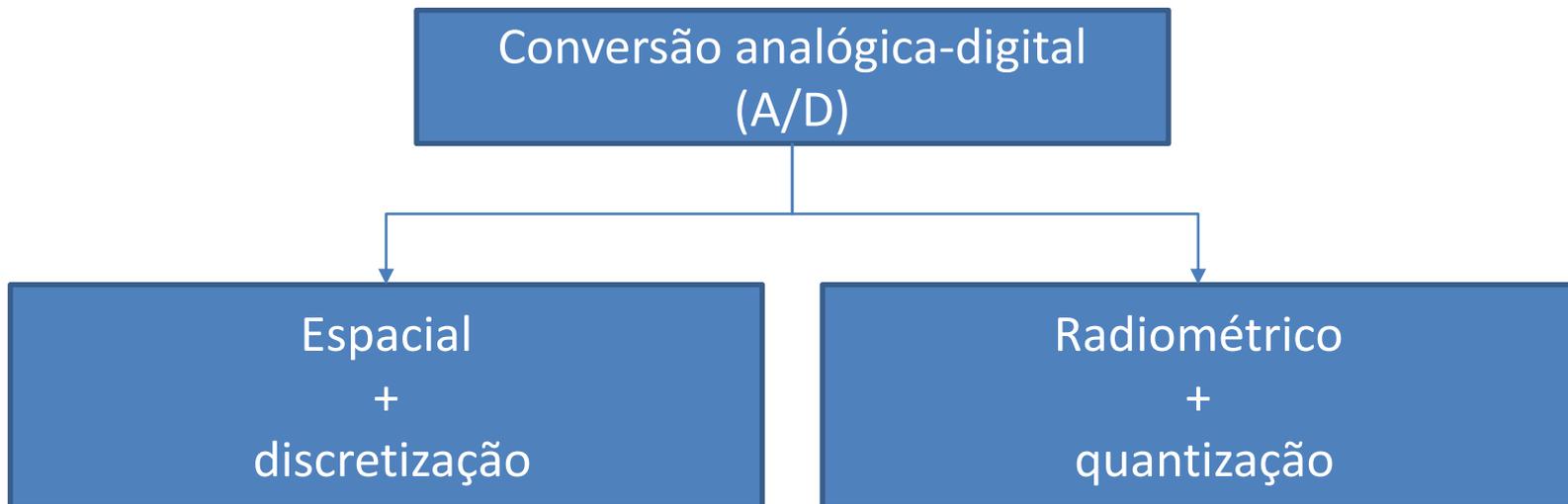


A formação da imagem

A cena é simplificada de várias maneiras no processo de registro da radiação incidente no sensor.

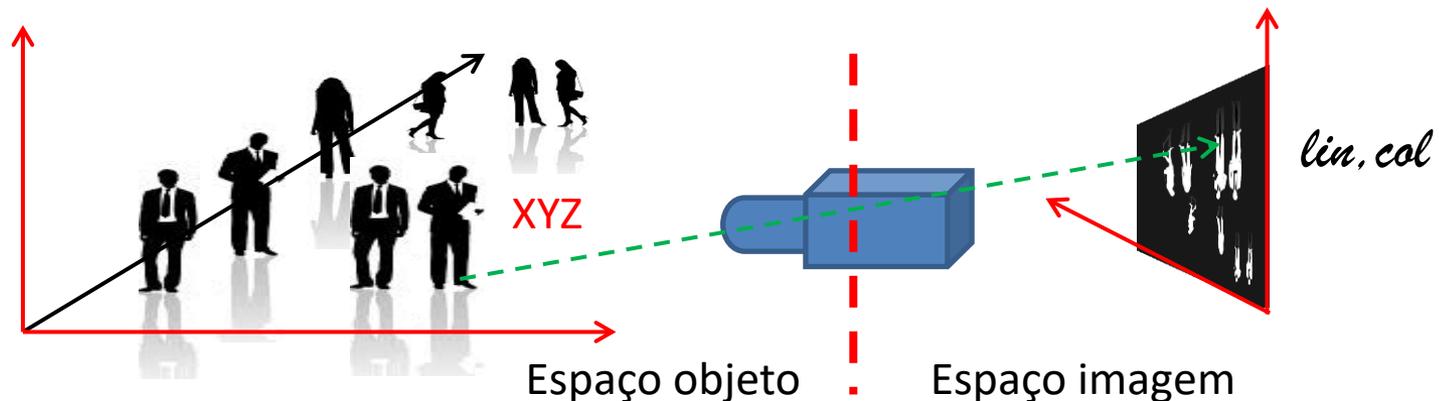
Os principais aspectos são o Aspecto Geométrico e o Radiométrico, que envolvem dois conceitos,

- a discretização e
- a quantização.



O aspecto geométrico

- O aspecto geométrico determina a posição dos objetos (pontos) existentes na cena (mundo real) no espaço da imagem. Ele responde à pergunta:
- *“Onde se encontra o objeto, com coordenadas conhecidas no mundo real ($X; Y, Z$) dentro do plano da imagem?”*
- Ou...
- *“A que ponto no espaço objeto corresponde o ponto com coordenadas (linha, coluna) na imagem?”*

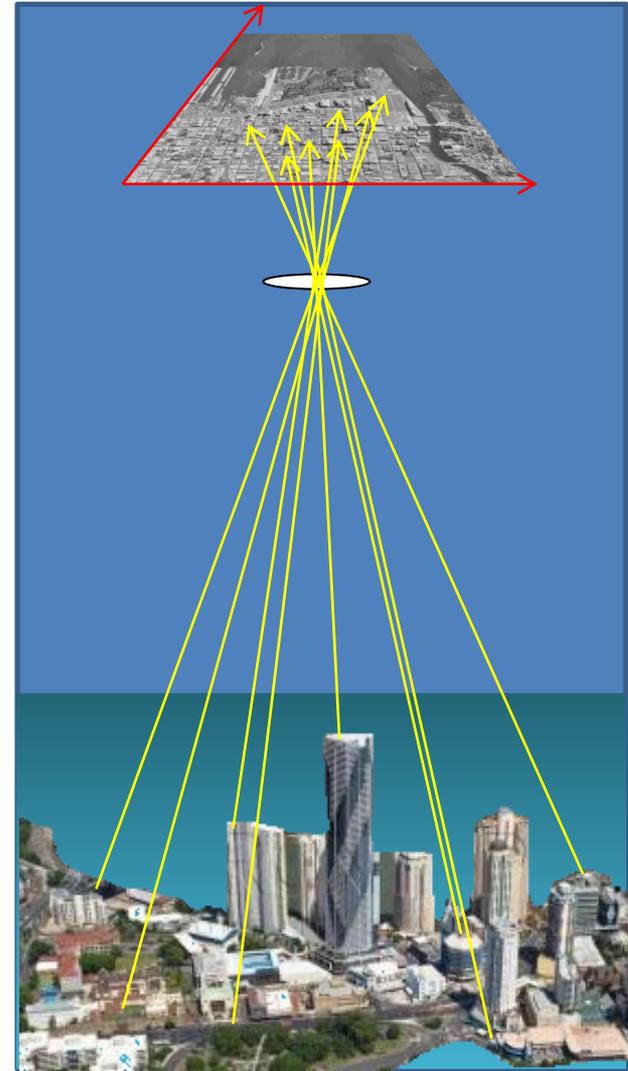


A coleta de imagens é o resultado da projeção de um espaço tridimensional (espaço objeto) num espaço bidimensional (espaço imagem).

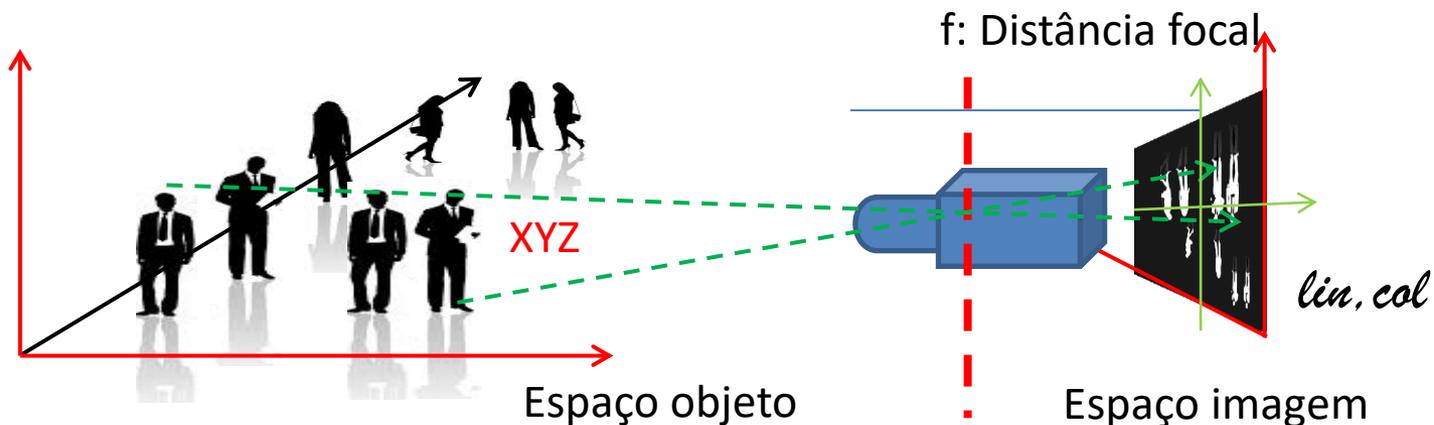
Esta transformação envolve perda de informação espacial, pois uma coordenada é perdida.

A formação da imagem podem ser modelada usando a transformação da projeção central. É assumido que todos os feixes de luz passam pelo mesmo ponto no plano focal e incidem no plano da imagem localizado a uma distância d' do plano focal, com as coordenadas:

- $x = (x_1, x_2, d')$



Pinhole model simplificado

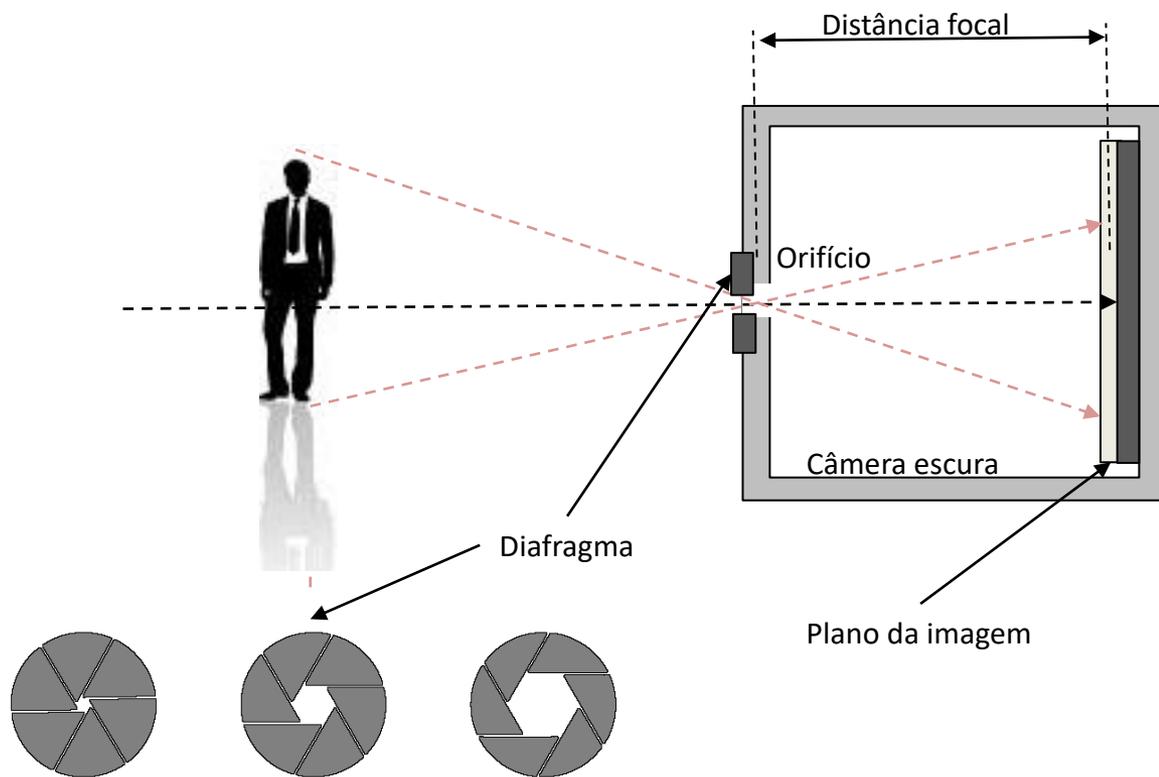


$$(lin, col) = F(X Y C, f)$$

Consequências:

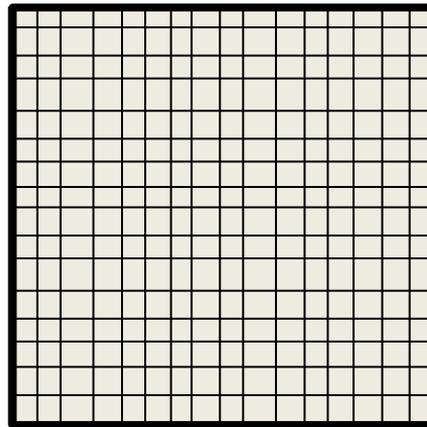
- Vários objetos do espaço tridimensional podem ser projetados no mesmo ponto da imagem: Oclusão.
- O modelo de câmara “pinhole” é uma simplificação. Para ser mais fiel à realidade e modelar adequadamente esta relação espacial, é necessário levar em consideração outros fatores como as deformações introduzidas pelo sistema óptico ou os efeitos da atmosfera na propagação do feixe de luz.

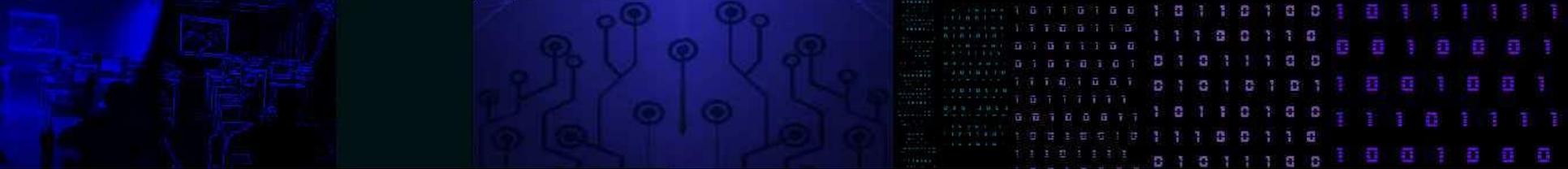
- Modelo pin-hole



Discretização

- Processo de simplificação do plano da imagem sob forma de uma malha regular finita, cujos elementos têm um tamanho fixo e constante (pixels).
- Assim o plano da imagem é representado sob forma de uma matriz. A radiação incidente em cada célula é medida por um elemento detector.

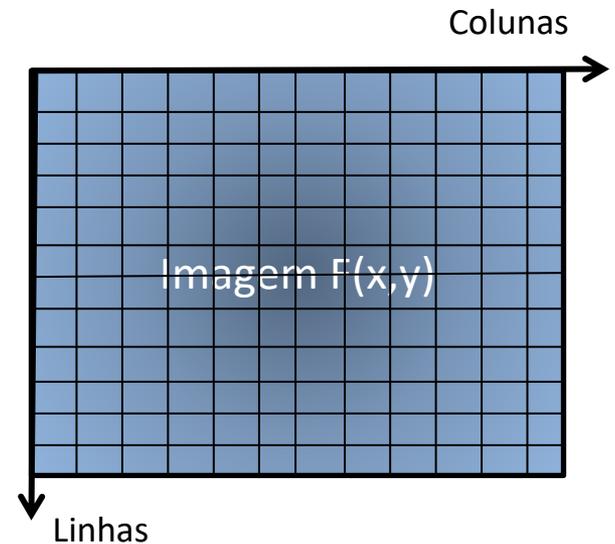




Com a discretização as possíveis posições dos pontos no espaço definido pelo plano da imagem são restritas a valores inteiros dentro da faixa de variação definida pelo tamanho da grade (NxM)

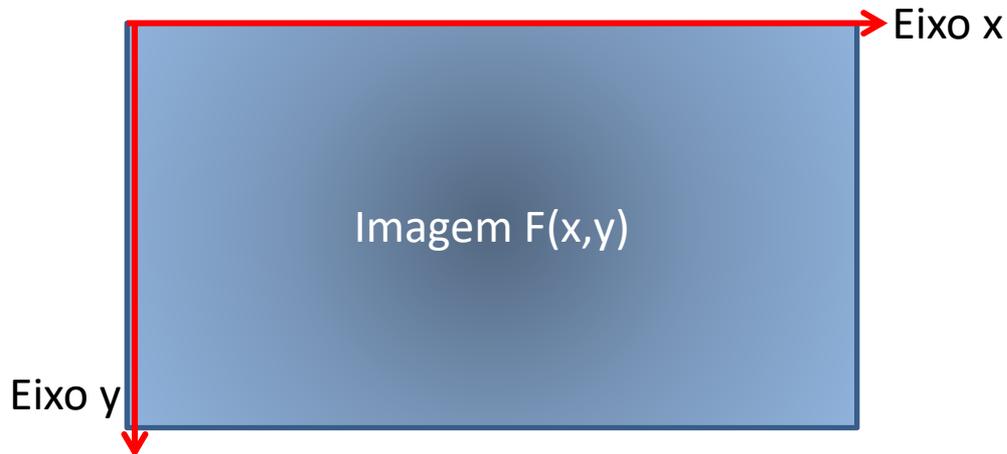
$F(x,y)$ com $x=1,2,3,\dots,N$ e $y=1,2,3,\dots,M$

Sendo assim, cada elemento detector registra a energia incidente em uma unidade de área do plano da imagem, do que se deriva um valor único a ser armazenado na matriz digital.



Aspectos radiométrico

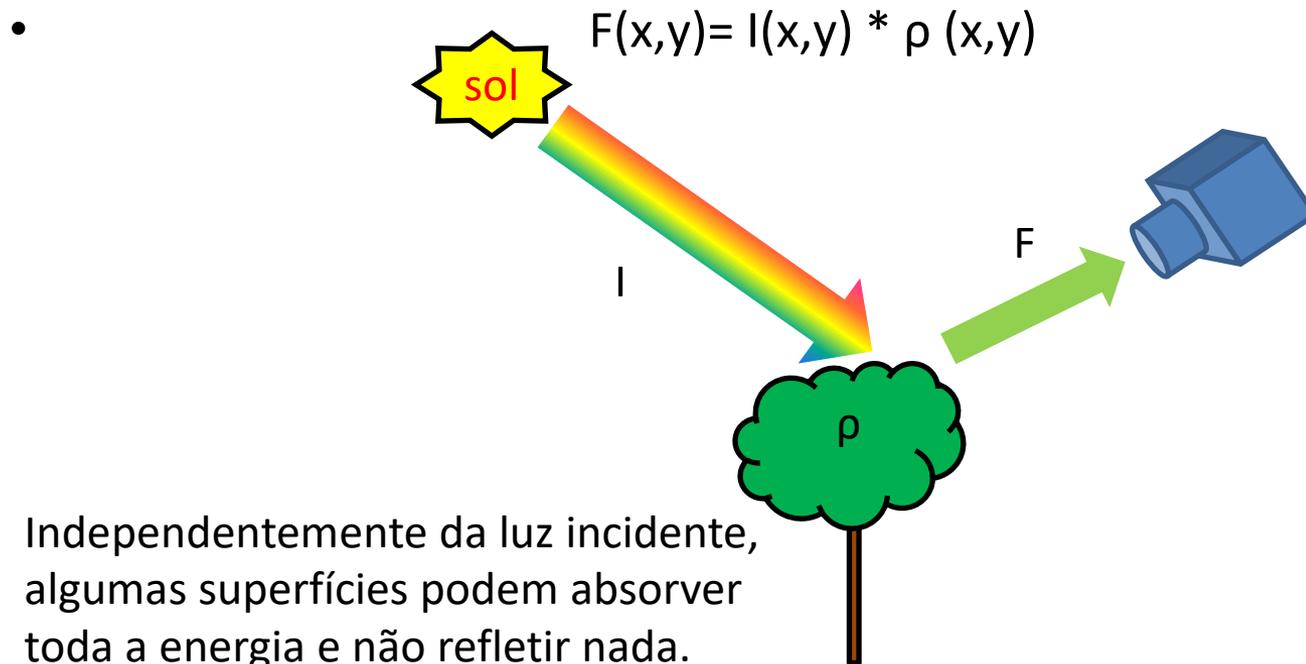
- Está associado à maneira como o brilho ou a energia proveniente de um objeto ou superfície é registrado e a fidelidade com a que ele é representado na imagem.
- O valor correspondente a cada pixel é definido em função de sua posição na imagem como:
 - » $F(x,y)$
- Onde x e y representam as coordenadas no plano da imagem. Note a origem no canto superior esquerdo e o sentido dos eixos.

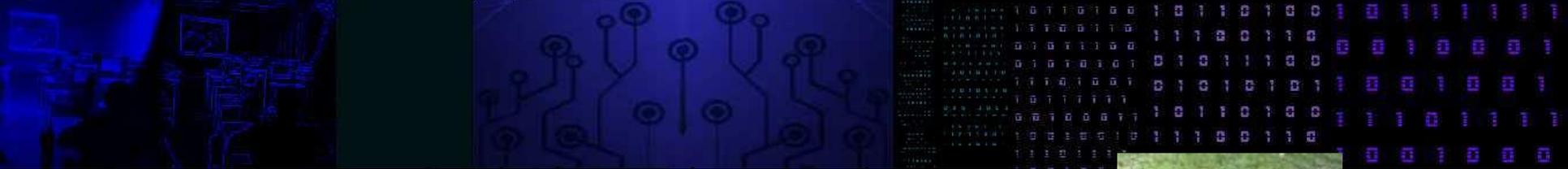


Aspectos radiométrico

Em uma fotografia, $F(x,y)$ se registra a radiação eletromagnética refletida pelos objetos. A energia incidente no sensor está associada a duas grandezas físicas:

- intensidade de energia incidente no **objeto** (I) e
- **reflectância** do objeto (ρ), ou sua capacidade de refletir a radiação incidente.





Como as imagens são obtidas em determinadas faixas espectrais, esta relação deveria ser melhor explicitada em função do comprimento de onda da energia utilizada para obter a imagem, ou seja, a faixa espectral à qual o sensor ou filme é sensível:

$$F_{\lambda}(x,y) = I_{\lambda}(x,y) * \rho_{\lambda}(x,y)$$

Com

$$0 \leq I < \infty$$

$$0 \leq \rho(x,y) \leq 1$$

A reflectância (ρ) é a grandeza física que mede a proporção da energia incidente que o objeto é capaz de refletir num comprimento de onda determinado. Ela é uma propriedade intrínseca da superfície e depende da natureza e estado do objeto.

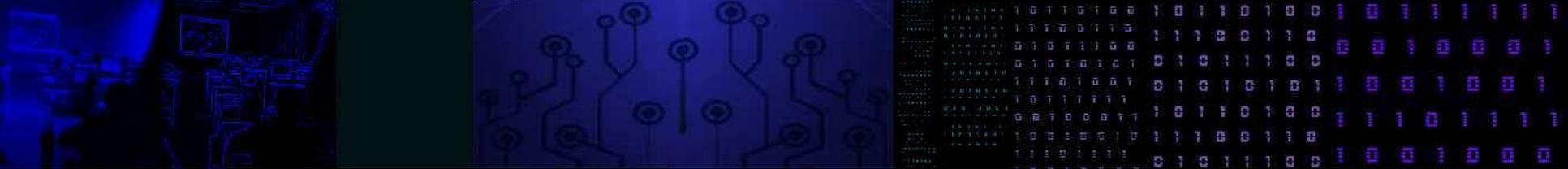


Red

Green

Blue

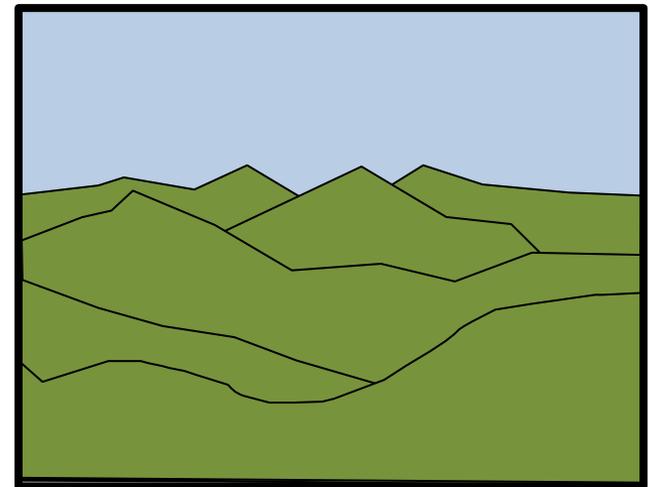
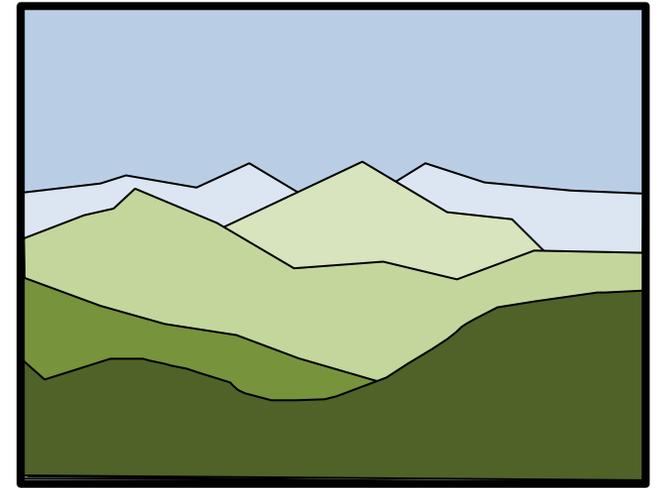




Outros fatores são responsáveis pela atenuação da energia, como por exemplo o efeito da atmosfera ou a opacidade do sistema de lentes utilizado para captar a imagem, uma função de atenuação (A).

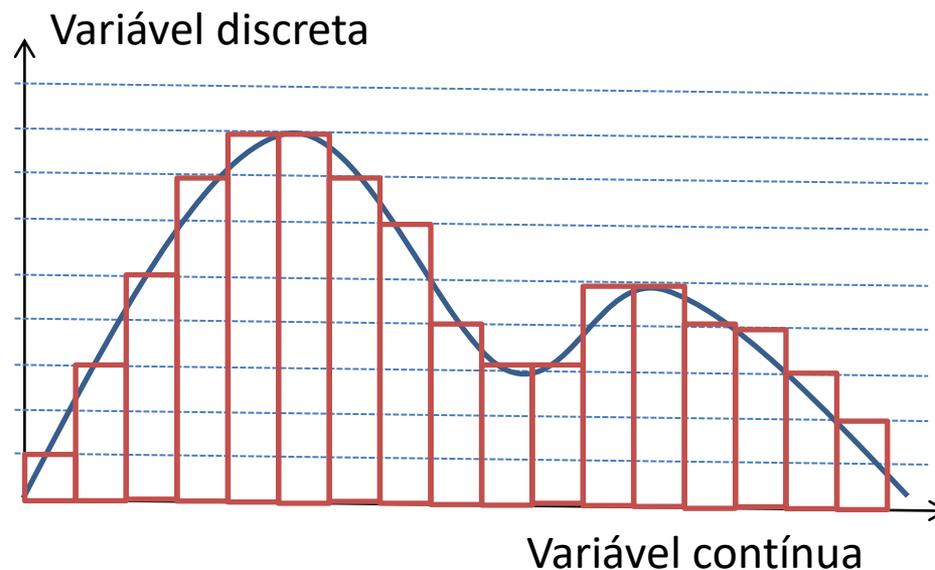
- $F(x,y) = A(x,y) * I(x,y) * \rho(x,y)$

É comum, encontrar os efeitos da atmosfera em fotografias aéreas tiradas de grande altitude, ou em imagens de satélite. Mas você também pode notar isto ao ver uma cadeia montanhosa à distância.



Quantização

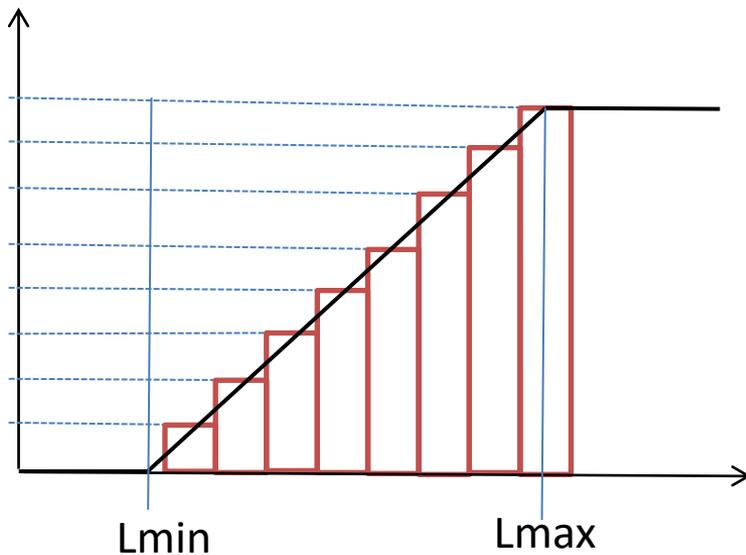
- A energia incidente no sensor é uma grandeza contínua. Sua completa representação (de forma digital) demandaria o uso de muita memória.
- Na prática costuma-se armazenar apenas uma quantidade finita, mas suficientemente grande, de níveis de energia em lugar de todos os valores possíveis. É feita então uma segunda discretização, desta vez nos valores armazenados nos pixels.



Quantização

- Para isto, é definida uma escala discreta de valores, com valores L_{min} e L_{max} fixos e uma quantidade de valores possíveis.
- Esta quantidade é chamada de resolução radiométrica e, na prática, é definida pelo número de bits usados para armazenar a informação. Geralmente, são usados 8 bits para cada pixel, o que corresponde a um total de 256 diferentes níveis possíveis entre zero (ausência de energia incidente) e 255 (saturação do sensor).

DV Variável discreta

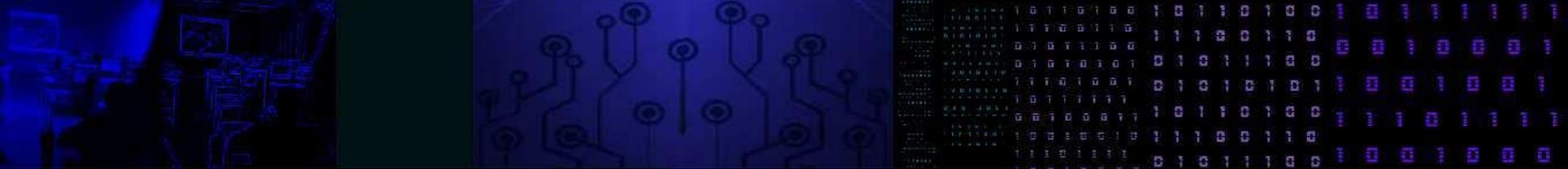


$L_{min} \Rightarrow 0$

$L_{max} = 255$

$DN = a * L + b$

Ou outra função



Para isto, é definida uma escala discreta de valores, com valores L_{min} e L_{max} fixos e uma quantidade de valores possíveis.

Esta quantidade é chamada de resolução radiométrica e, na prática, é definida pelo número de bits usados para armazenar a informação. Geralmente, são usados 8 bits para cada pixel, o que corresponde a um total de 256 diferentes níveis possíveis entre zero (ausência de energia incidente) e 255 (saturação do sensor).



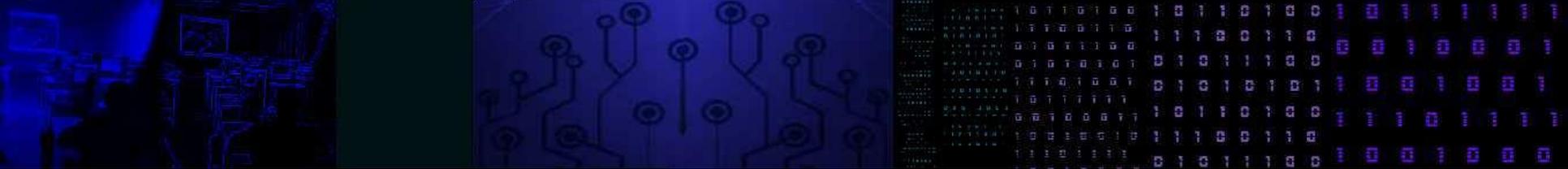
8 bits (256 DN)



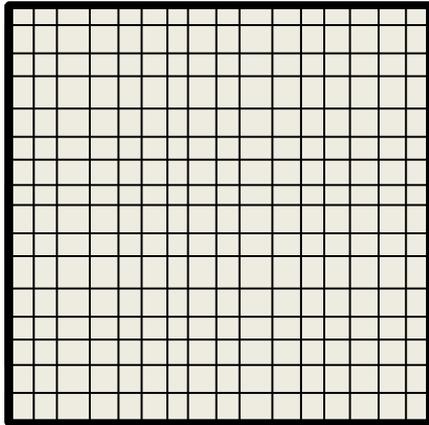
3 bits (8 DN)



1 bit (2 DN)



- Uma matriz = uma imagem nível de cinza



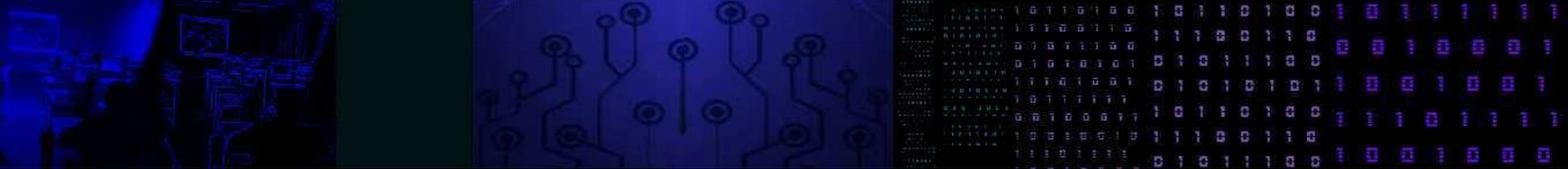
Uma imagem simples

- Imagem de uma única banda.
- Os valores dos pixels são armazenados de maneira seqüencial. Esta organização requer apenas a preservação de uma ordem preestabelecida. Por exemplo, começando no pixel superior esquerdo e terminando no pixel inferior direito, efetuando a varredura da imagem de maneira seqüencial. estrutura espacial implícita, pois, conhecendo-se o tamanho da imagem formada pelos dados, é facilmente reconstruída a imagem.

1	2	3
4	5	6
7	8	9

Imagem tamanho 3x3

1	2	3	4	5	6	7	8	9
---	---	---	---	---	---	---	---	---

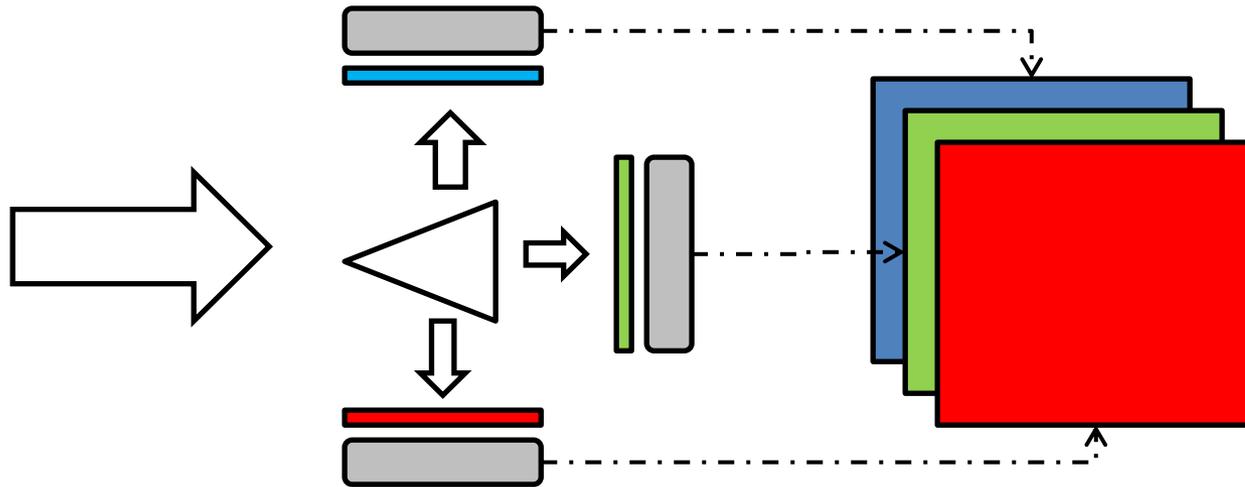


Uma imagem colorida demanda o uso de três matrizes, uma para cada cor básica:
RGB



Bayer matrix

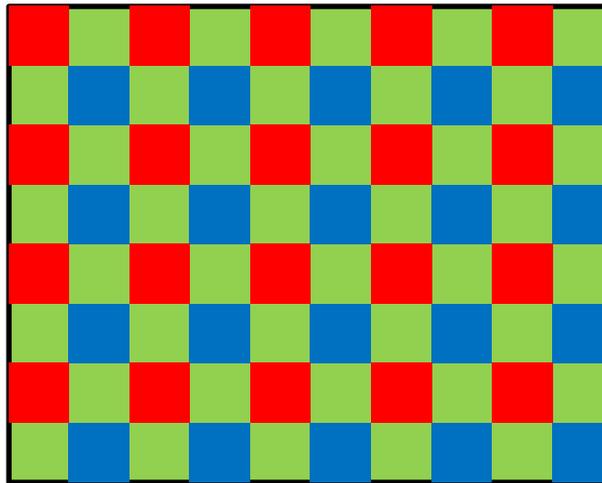
- Os sensores utilizados em câmaras (CCD /CMOS) são sensíveis à intensidade luminosa de todo o espectro (UV. Visível, parte do NIR), logo somente seria possível obter uma imagem em nível de cinza (pancromática)
- Para se obter uma imagem colorida seria necessário usar 3 sensores, um para cada cor, usando filtros de cores.

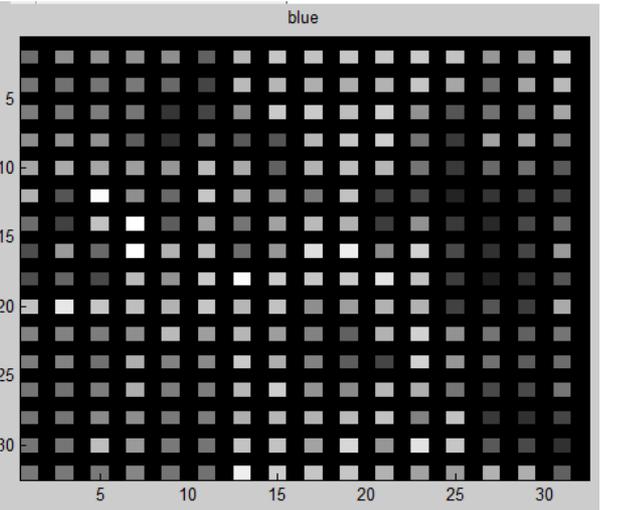
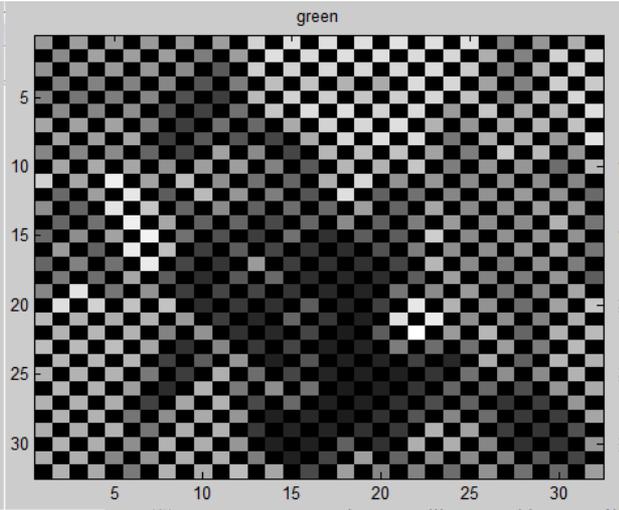
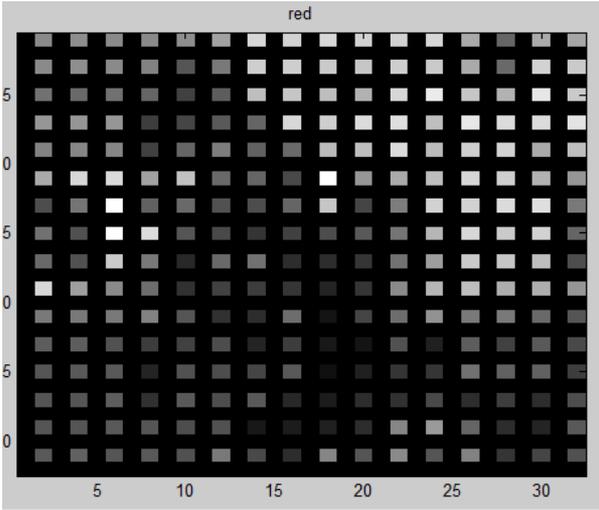
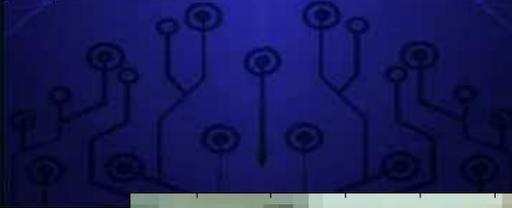
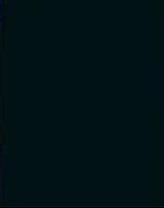


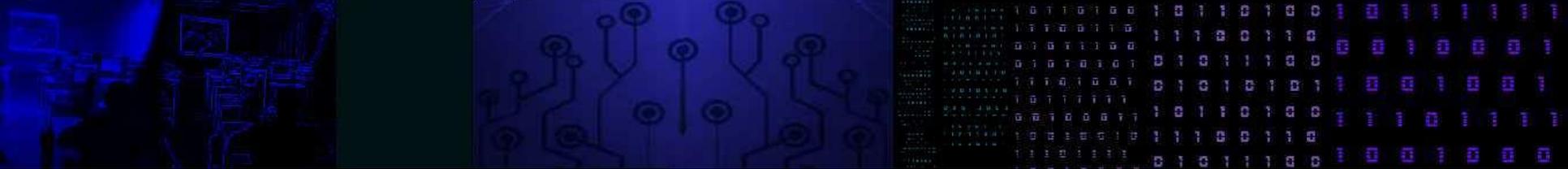
Bayer matrix

- Bryce E. Bayer, trabalhando para Kodak em 1974, propôs aplicar um filtro colorido a uma única matriz/sensor, seguindo um padrão xadrez contendo as cores RGB. Assim, cada elemento detector recebe a luz de uma cor específica e depois a imagem toda é interpolada.

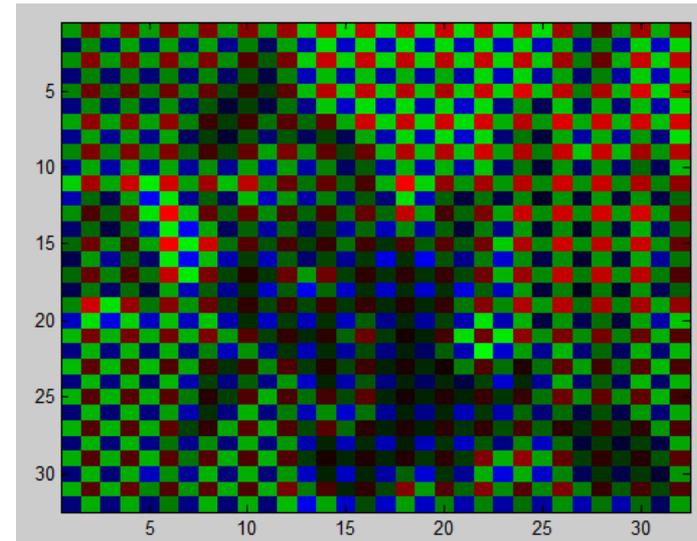
Ken Parulski (Kodak): "*There are twice as many green elements as red or blue because this mimics the way the human eye provides the sharpest overall color image.*"







- Interpolação de valores não preenchidos



Uma imagem multispectral

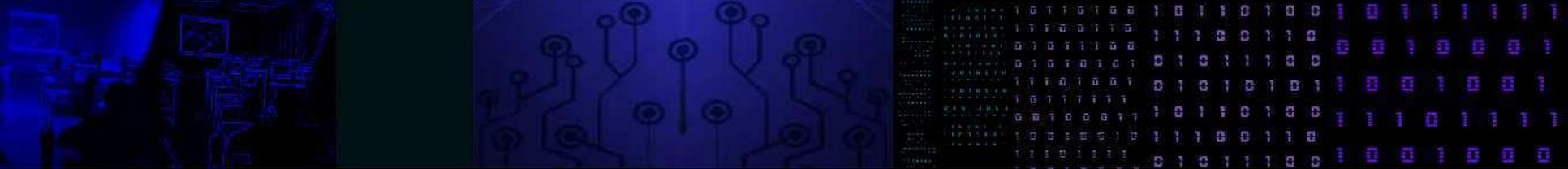
- Quando se trata de imagens multispectrais, existem várias alternativas para o armazenamento dos valores de cada pixel nas diferentes bandas. As alternativas são:
- Intercalado por banda (BSQ), onde as bandas são armazenadas uma atrás da outra, sob forma de imagens de nível de cinza em um único arquivo.

1	2	3
4	5	6
7	8	9

1	2	3
4	5	6
7	8	9

1	2	3
4	5	6
7	8	9

1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3	4	5	6	7	8	9
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---



1	2	3
4	5	6
7	8	9

1	2	3
4	5	6
7	8	9

1	2	3
4	5	6
7	8	9

Intercalado por linha (BIL): Os valores correspondentes a uma mesma linha nas diferentes bandas são armazenados juntos. Vantagem: pode ser lida uma linha inteira, em todas as bandas, de uma vez só.

1	2	3	1	2	3	1	2	3	4	5	6	4	5	6	4	5	6	7	8	9	7	8	9	7	8	9
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

Intercalado por pixel (BIP), onde todos os valores de um mesmo pixel, nas diferentes bandas, são armazenados juntos.

1	1	1	2	2	2	3	3	3	4	4	4	5	5	5	6	6	6	7	7	7	8	8	8	9	9	9
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

Resolução

- A resolução de uma imagem é medida em termos de sua capacidade de representar a informação da cena.
- Resolução espacial (tamanho do pixel na superfície do objeto)
- Resolução radiométrica (número de bits)
- Resolução espectral (bandas espectrais)

