



# PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS

---

**Daniel Andrade Maciel**  
**Juliana Maria Ferreira de Souza Diniz**

# APRESENTAÇÃO

Olá,

Esse E-book foi desenvolvido com muito carinho para facilitar o entendimento sobre processamento digital de imagens, trazendo os principais conceitos e técnicas.

Tenha em mente que essas técnicas estão em constante atualização, havendo a necessidade de sempre buscar por mais informações.

Fizemos uma revisão dos principais conceitos de Sensoriamento Remoto, fundamentais para entender o processamento.

Esperamos que aproveitem!

Juliana e Daniel



# PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS

## ÍNDICE

- Revisão sobre Sensoriamento Remoto
- Como escolher uma imagem de satélite?
- Pré-processamento em imagens de satélite
- Sistema de Informação Geográfica - SIG
- Índices de Vegetação
- Classificação de Imagens
- Como avaliar a acurácia da classificação?



# PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS

## O QUE É SENSORIAMENTO REMOTO?

“A arte, ciência, e tecnologia de obter informações valiosas sobre objetos físicos e o ambiente, por meio de processos de gravação, medidas e interpretação de imagens e representações digitais dos padrões de energia derivados de um sistema sensor que não está em contato” (ISPRS)



# PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS

## E COMO SÃO GERADAS AS IMAGENS DE SATÉLITE?

Para entender como as *imagens* são geradas, é preciso entender que existem dois tipos de sensores. Os sensores passivos (ópticos), que dependem de uma fonte de iluminação/radiação externa (SOL) (1) e os sensores ativos, que emitem a sua própria fonte de radiação, conhecidos por radares.

A radiação solar (2) ou a radiação emitida pelos sensores ativos (2), irá interagir com os objetos (alvos) presentes na superfície (3) e a partir dessa interação o sensor irá registrar a resposta dos alvos presentes na superfície (4).

Então, os dados captados pelos sensores serão transmitidos para as estações de recepção (5), onde serão realizados alguns processamentos (6) e por fim serão disponibilizadas as *imagens* para a interpretação e análise dos usuários (7).



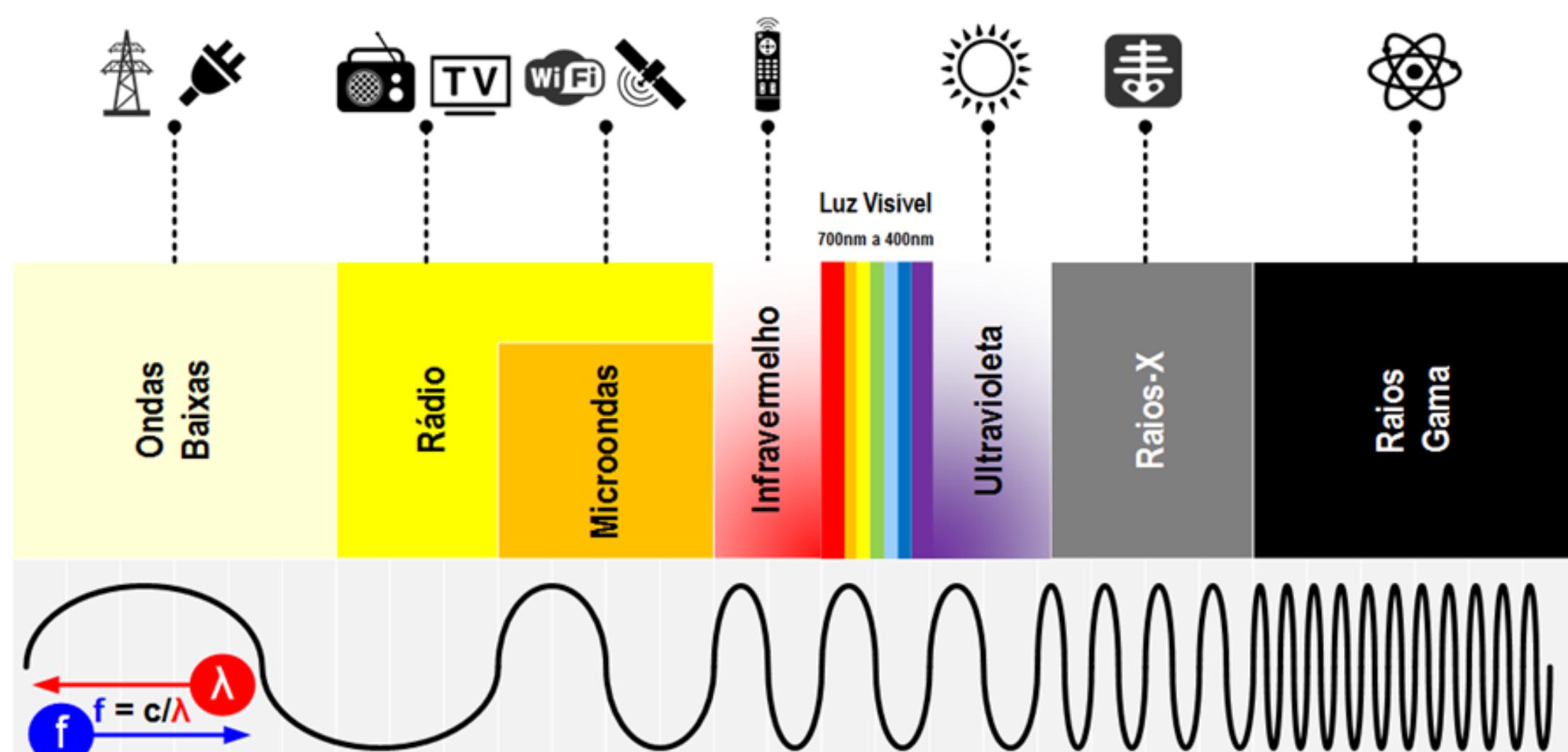
# PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS

## ESPECTRO ELETROMAGNÉTICO

Como os dados de Sensoriamento Remoto são obtidos através da radiação eletromagnética, nós precisamos entender o Espectro Eletromagnético.

Cada sensor trabalha com diferentes faixas espectrais, e essas faixas irão definir as características que podem ser obtidas em relação aos alvos.

Os sensores ópticos trabalham nas faixas do visível e infravermelho, enquanto os sensores ativos (radares), trabalham na faixa das microondas.



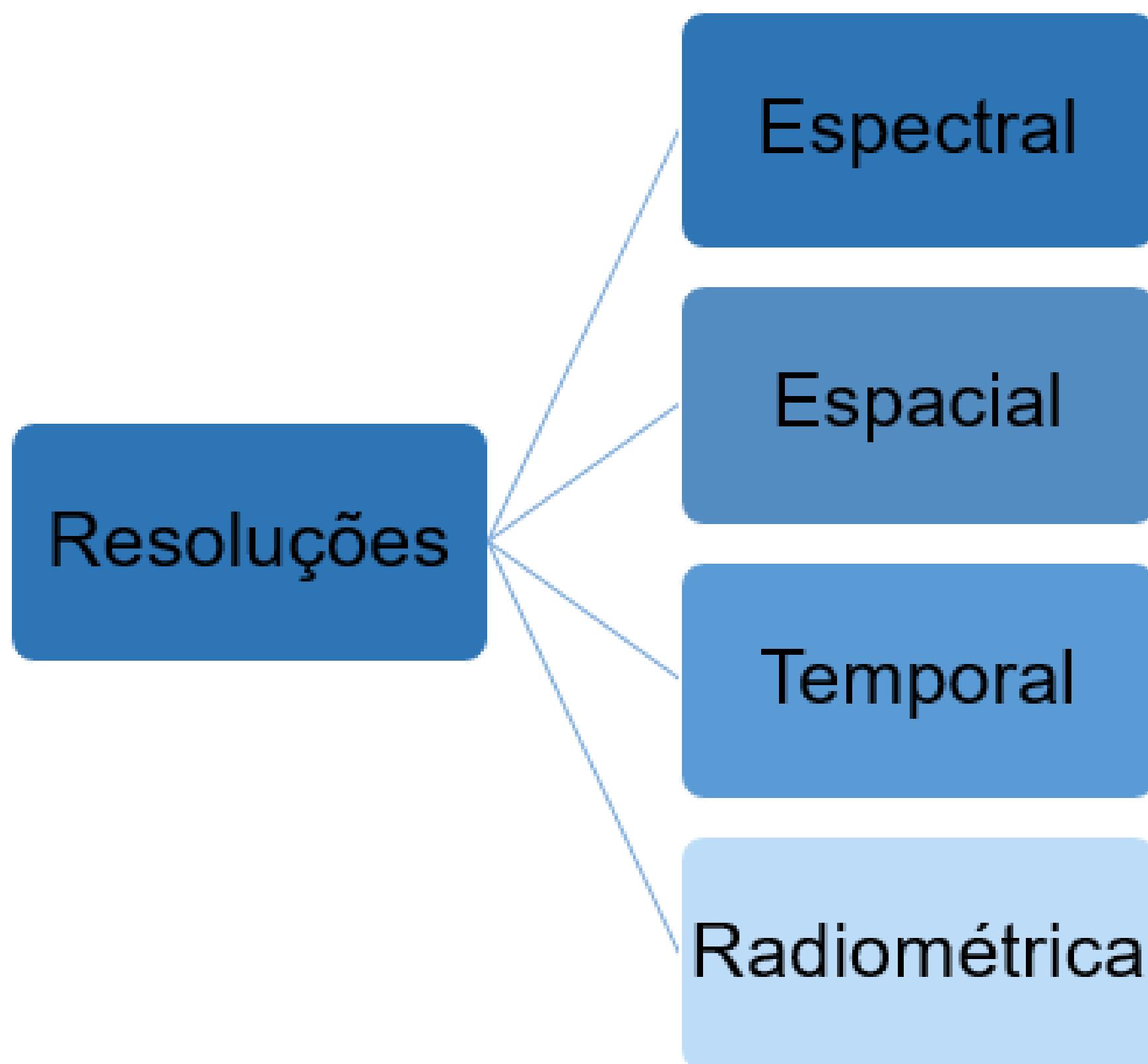
# COMO ESCOLHER UMA IMAGEM DE SATÉLITE?



# PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS

## RESOLUÇÕES

Para escolher uma imagem de satélite, você primeiro deve saber a sua necessidade. Preciso para avaliar desmatamento em uma pequena área? Ou quero usar para previsão do tempo? Assim, deve-se observar as características das suas resoluções. Cada resolução está relacionada a uma característica diferente do sensor. São quatro resoluções: Espectral, Espacial, Temporal e Radiométrica!



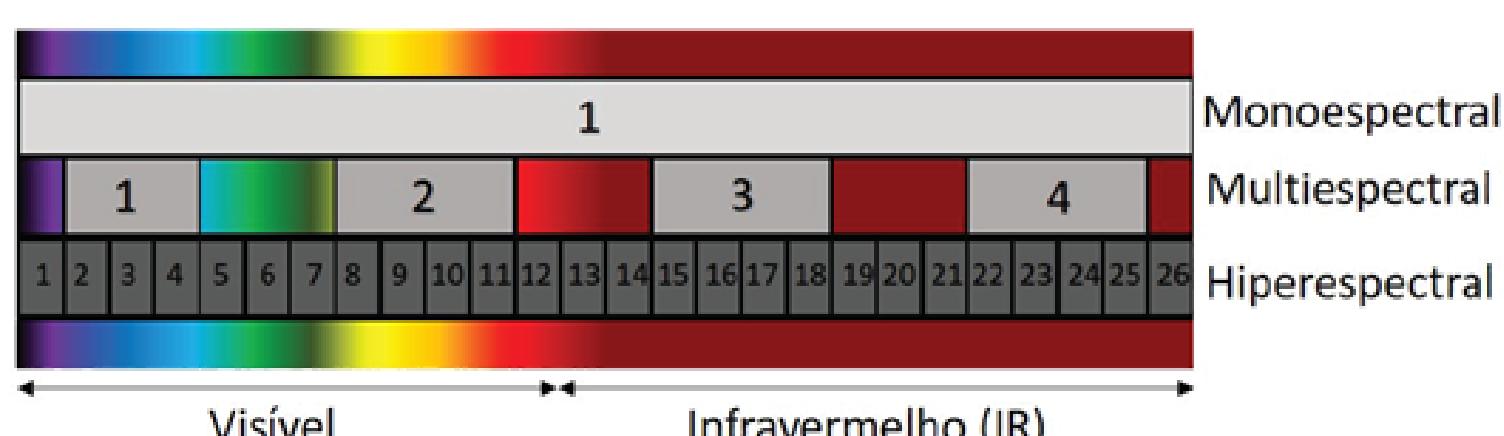
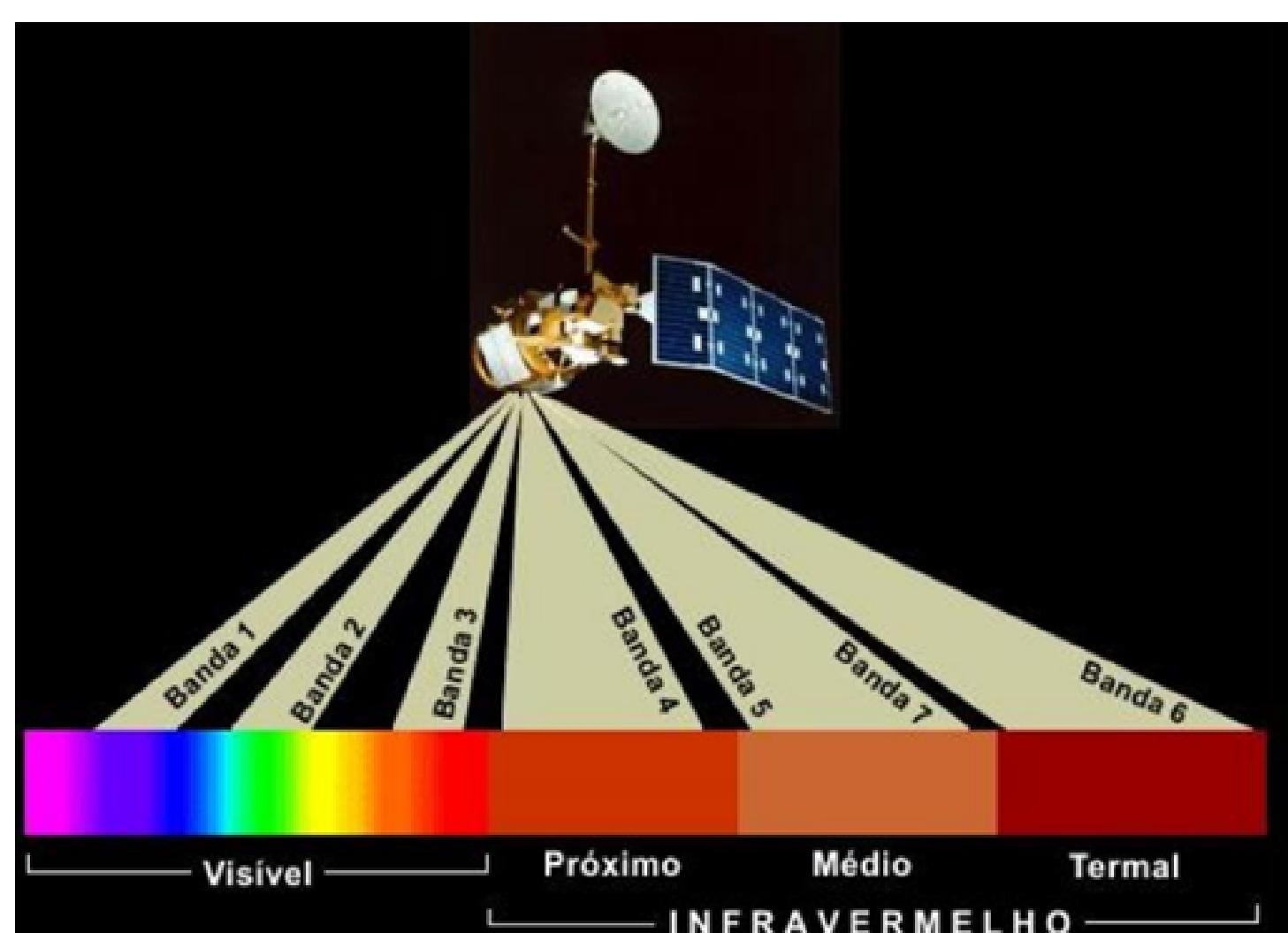
# PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS

## RESOLUÇÃO ESPECTRAL

Está relacionada à capacidade do sensor em distinguir entre os diferentes intervalos do espectro eletromagnético.

Está relacionada ao número de bandas presentes no sensor. Os sensores podem ser diferenciados de acordo com o seu número de bandas:

- Monoespectral: uma banda espectral
- Multiespectral: Algumas bandas espetrais
- Hiperespectral: Muitas bandas espetrais

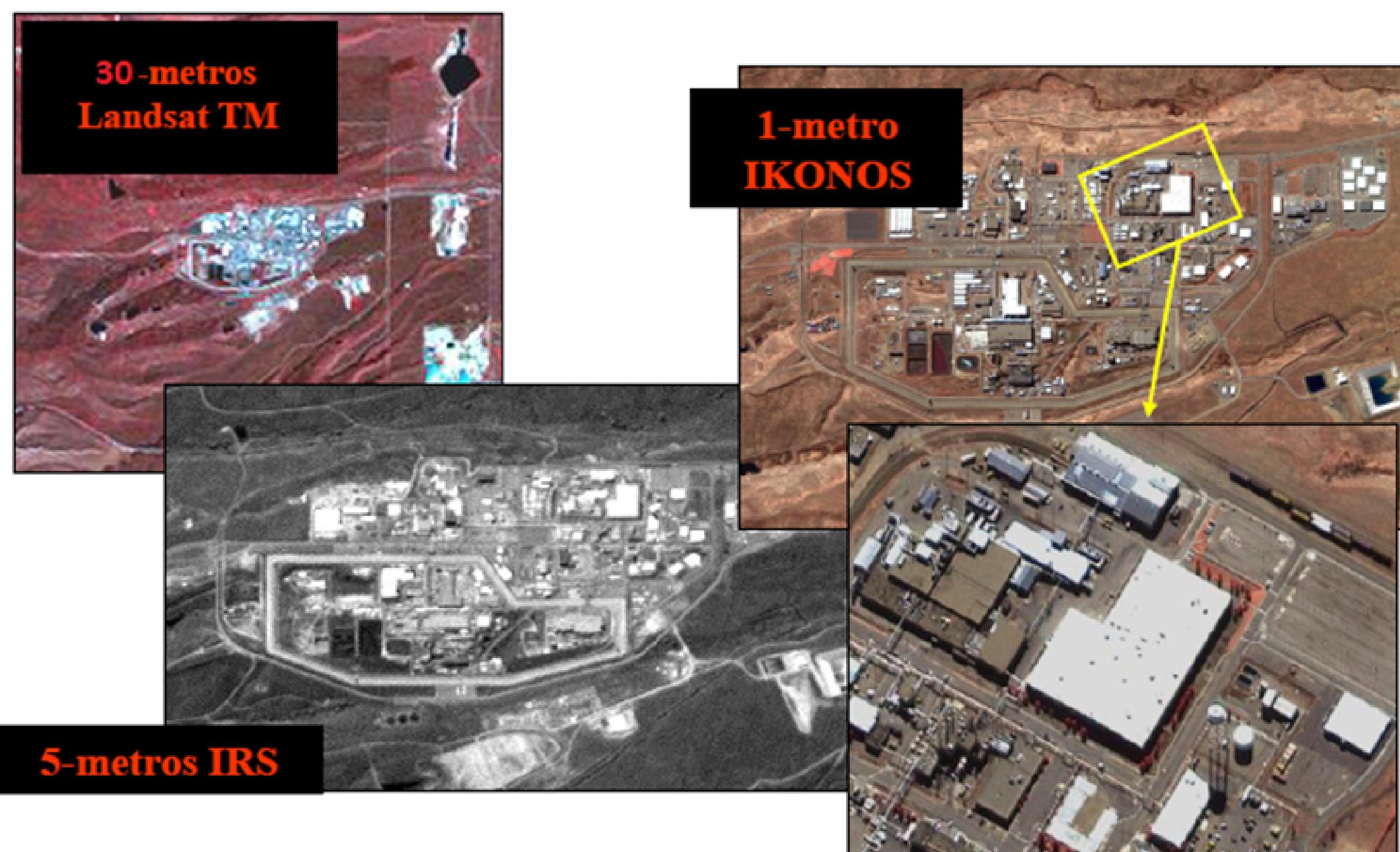


# PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS

## RESOLUÇÃO ESPACIAL

Relacionada à dimensão da superfície terrestre que é representada pelo pixel na imagem.

Quanto maior a resolução, menor a área do terreno imageada, e mais detalhada é a imagem.



# PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS

## RESOLUÇÃO TEMPORAL

Relacionada à frequência de passagem do sensor, ou seja, intervalo de tempo entre a aquisição de duas imagens consecutivas de um mesmo local.



# PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS

## RESOLUÇÃO RADIOMÉTRICA

Relacionada à capacidade de um sensor em registrar diferentes níveis de cinza, ou seja, distinguir diferentes objetos.

Os níveis de cinza são medidos em número de bits ( $n$ ). Se a imagem apresenta 8 bits, ela possui 256 níveis de cinza ( $2^8$ ).

Quanto maior o número de bits de um sensor, maior será a sua capacidade em distinguir os objetos presentes na imagem.

**8-Bit**



**11-Bit**



# PRÉ- PROCESSAMENTOS EM IMAGENS DE SATÉLITE

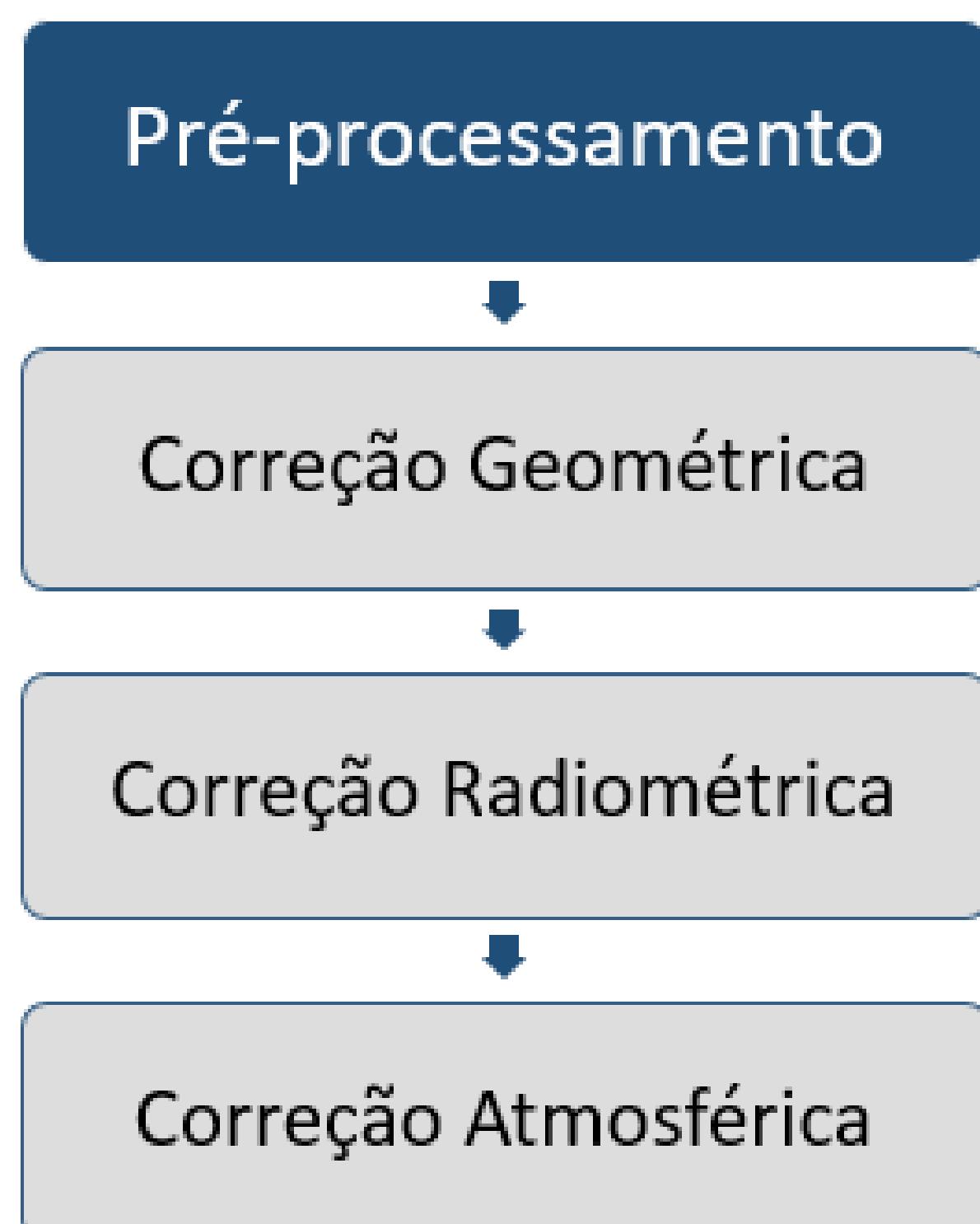


# PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS

## PRÉ-PROCESSAMENTO

Quando estamos trabalhando com imagens de satélite é necessário ter em mente, que essas imagens apresentam algumas distorções, tanto na geometria, quanto nos valores dos pixels.

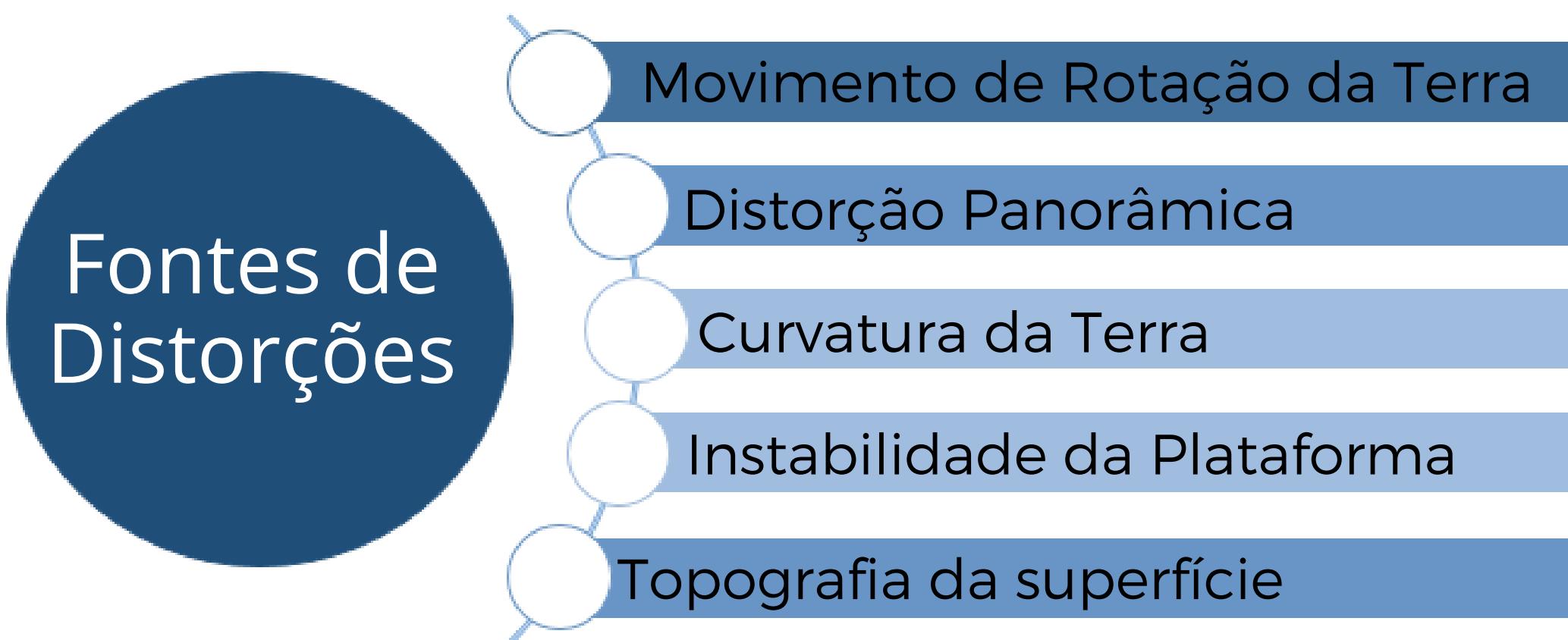
Desse modo, talvez seja necessário realizar alguns pré-processamentos com o objetivo de corrigir essas distorções.



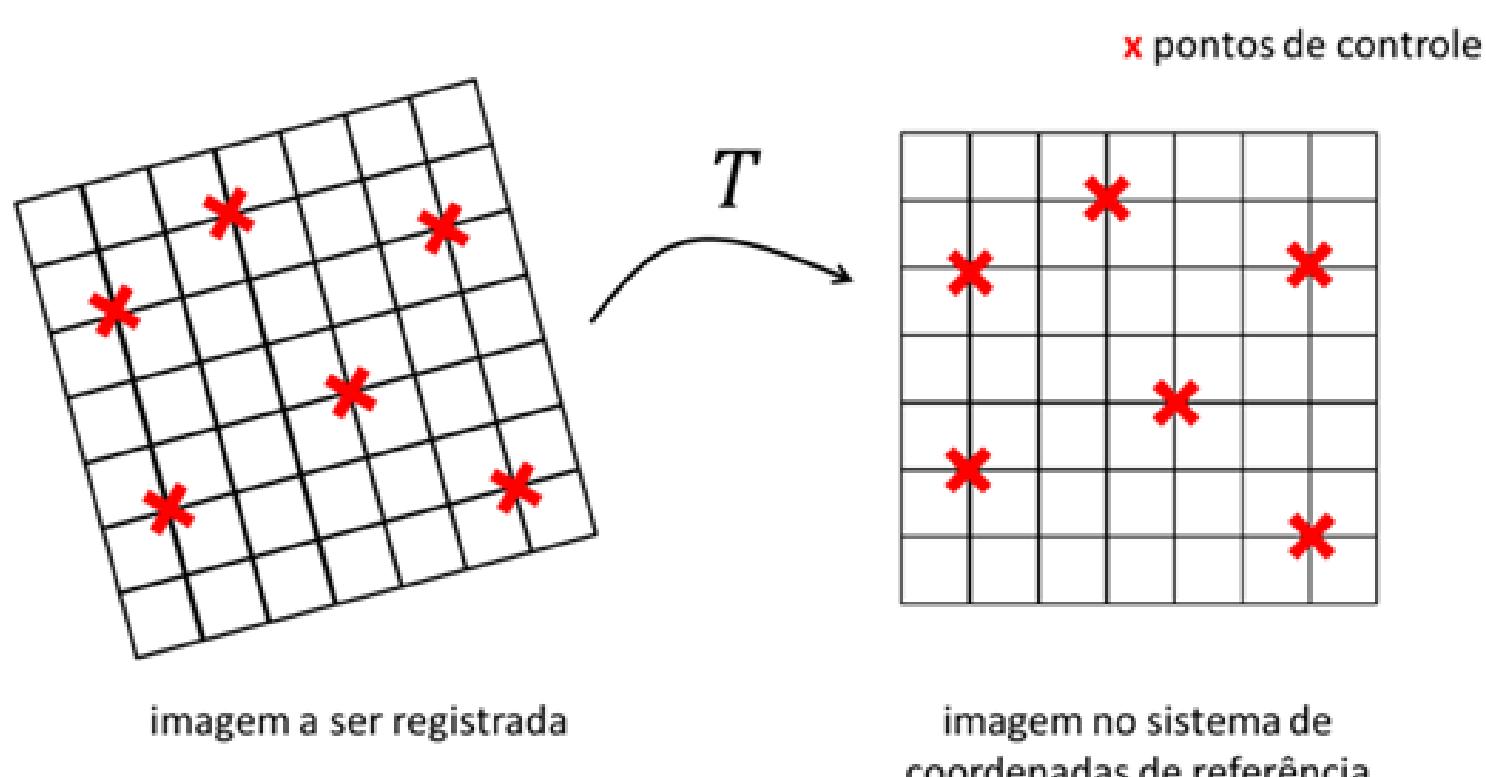
# PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS

## CORREÇÃO GEOMÉTRICA

A correção geométrica tem como objetivo reduzir distorções resultantes do movimento de rotação da terra, sua curvatura, variações na órbita e efeitos de relevo.



No processo de correção geométrica ocorre o reposicionamento dos pixels em seus verdadeiros locais de acordo com um dado de referência. Para isso, são coletados pontos de controle, que devem estar distribuídos em toda a imagem.



$$T: (x, y) \rightarrow (x_r, y_r)$$

# PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS

## CORREÇÃO GEOMÉTRICA

Quando falamos em correção geométrica é preciso diferenciar três termos: Registro, Georreferenciamento e Ortorretificação.

### ■ Registro

- Corresponde ao alinhamento geométrico entre duas cenas que cobrem a mesma área.
- As cenas são projetadas no mesmo plano e seus objetos correspondem espacialmente.
- Não visa a atribuição de coordenadas geográficas.

### ■ Georreferenciamento

- Corresponde ao alinhamento geométrico de uma imagem com a utilização de um mapa de referência.
- Atribui coordenadas geográficas para os pixels da imagem e visa a correção de erros geométricos, com exceção das distorções topográficas.

### ■ Ortorretificação

- Corresponde à correção da imagem para os efeitos da topografia.
- Cada objeto deve aparecer na imagem como visto de um ponto imediatamente acima, por meio de uma projeção ortográfica.



# PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS

**Quando a Correção  
Geométrica deve ser  
realizada?**



Comparações entre *imagens*



Localizar pontos de interesse na *imagem*



Analizar dados em um *SIG (Sistema de Informação Geográfica)*

Atualmente, a maioria das *imagens* que nós encontramos já estão com correções geométricas aplicadas. Mas, sempre vale a pena checar a necessidade da correção!

# PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS

## CORREÇÃO RADIOMÉTRICA

A correção radiométrica tem como objetivo reduzir ruídos ou distorções resultantes de efeitos de inclinação e distância do sol em relação a diferentes épocas do ano, do efeito topográfico ou de ruído produzido pelos próprios sensores.

Além disso, os valores de Número Digital (ND) de uma imagem não estão na mesma escala de outro ND de outra imagem em outra banda espectral. Desse modo, não é possível comparar valores de ND de diferentes bandas ou sensores. Por isso, é necessário realizar a conversão dos NDs para valores físicos.



Desse modo, os valores de ND ou **níveis de cinza**, são convertidos para radiância aparente, permitindo a comparação entre diferentes bandas do mesmo sensor ou de sensores diferentes.

No entanto, quando se trata em analisar as propriedades espectrais dos objetos, a radiância não é o parâmetro mais recomendado, por se tratar de um parâmetro dependente da intensidade de radiação incidida no alvo. Assim, é necessária a conversão para valores de reflectância do topo da atmosfera (TOA).

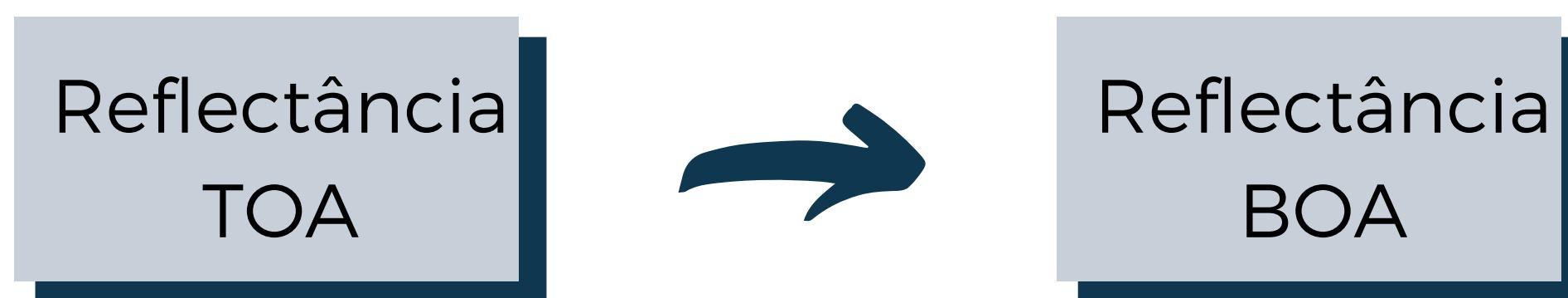


# PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS

## CORREÇÃO ATMOSFÉRICA

Ao realizarmos a correção radiométrica, temos os valores dos pixels da imagem em reflectância no topo da atmosfera. Assim, ainda não é possível a caracterização dos alvos presentes na superfície, pois esses valores apresentam efeitos da atmosfera.

Por isso, visando caracterizar os alvos é necessário eliminar ou minimizar os efeitos da atmosfera presente nos valores de reflectância. Desse modo, a correção atmosférica realiza uma transformação dos valores de reflectância no topo da atmosfera para valores de reflectância de superfície (Surface Reflectance).



Existem vários métodos de correção atmosférica, vamos citar alguns:

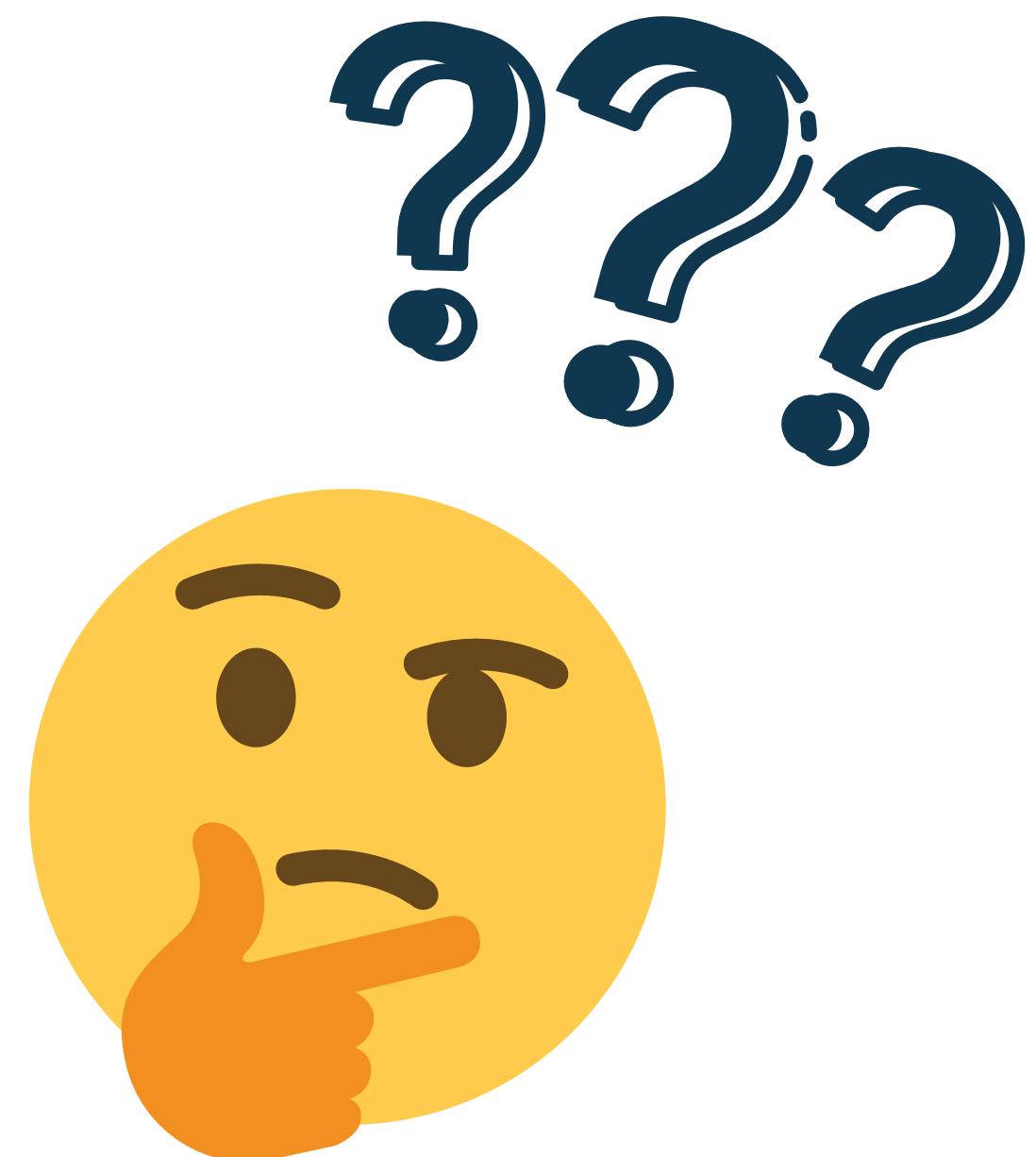
- 6S (Second Simulation of the Satellite Signal in the Solar Spectrum)
- Sen2cor
- DOS - Object Dark Subtraction

Atualmente, muitos programas espaciais já disponibilizam dados em reflectância de superfície, como o UGSG e a ESA!



# PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS

Quando as Correções  
Radiométrica e  
Atmosférica devem  
ser realizadas?



-  Análise temporal de Imagens
-  Mosaicos com imagens de diferentes datas
-  Análises / modelagens quantitativas

Na maioria dos casos em que se precisa trabalhar com os valores de reflectância de superfície dos alvos!

# SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA - SIG



# PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS

## SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA

“SIG” são ferramentas computacionais que permitem realizar análises complexas ao se integrar dados de diversas fontes de dados georreferenciados. (Câmara, 2001)“



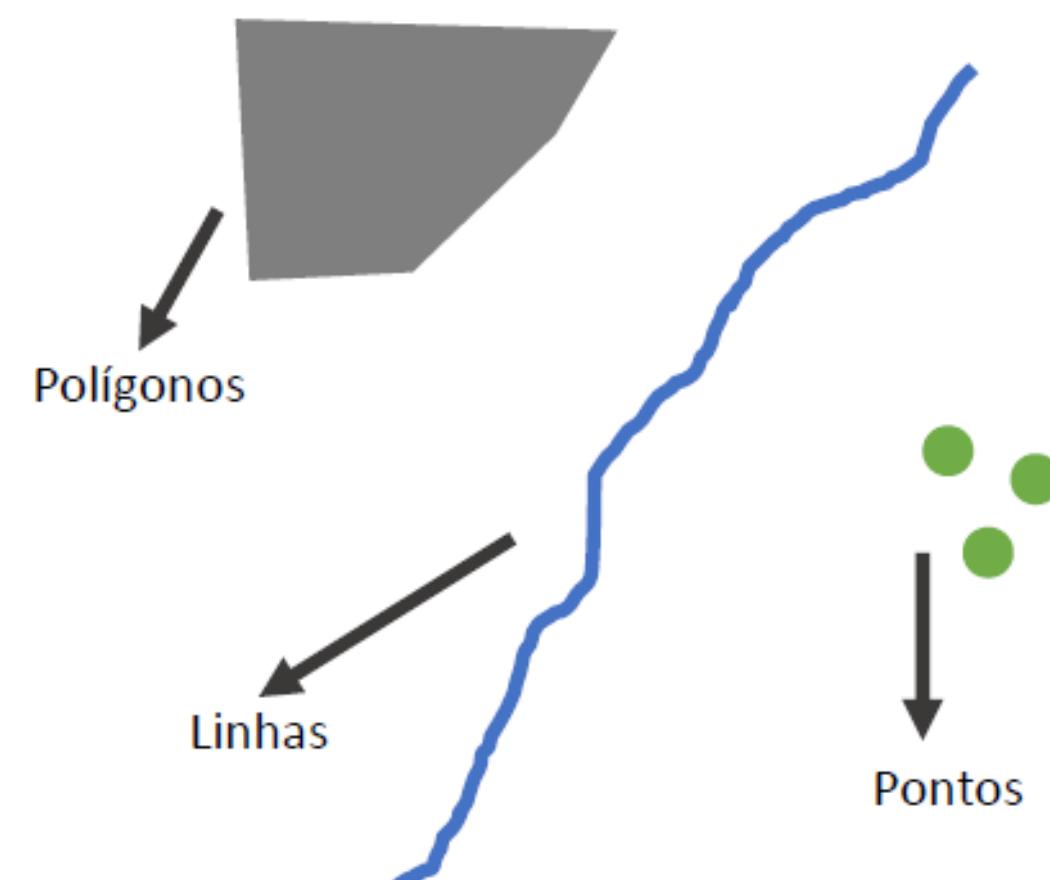
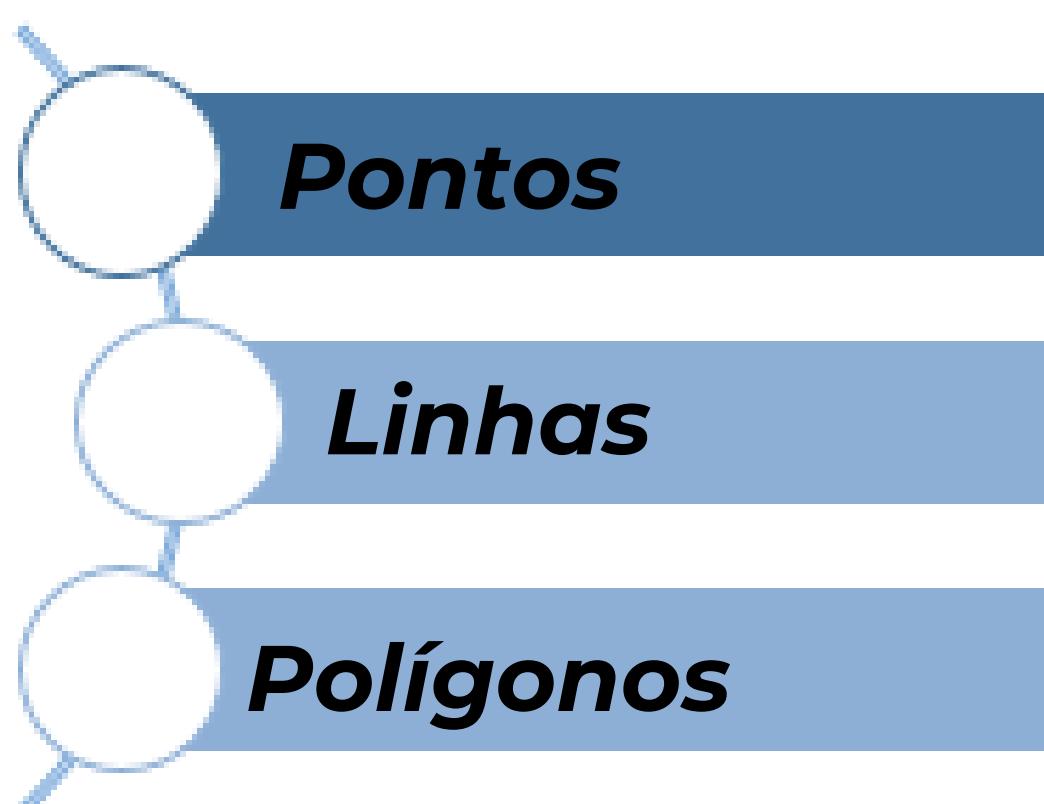
Quais são os tipos de dados utilizados em um SIG?



# PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS

## DADOS VETORIAIS

Representações de vértices definidos por um par de coordenadas (X,Y).



Pontos: Representados por um único vértice

Linhas: Representadas por no mínimo dois vértices conectados, que possuem extensão linear.

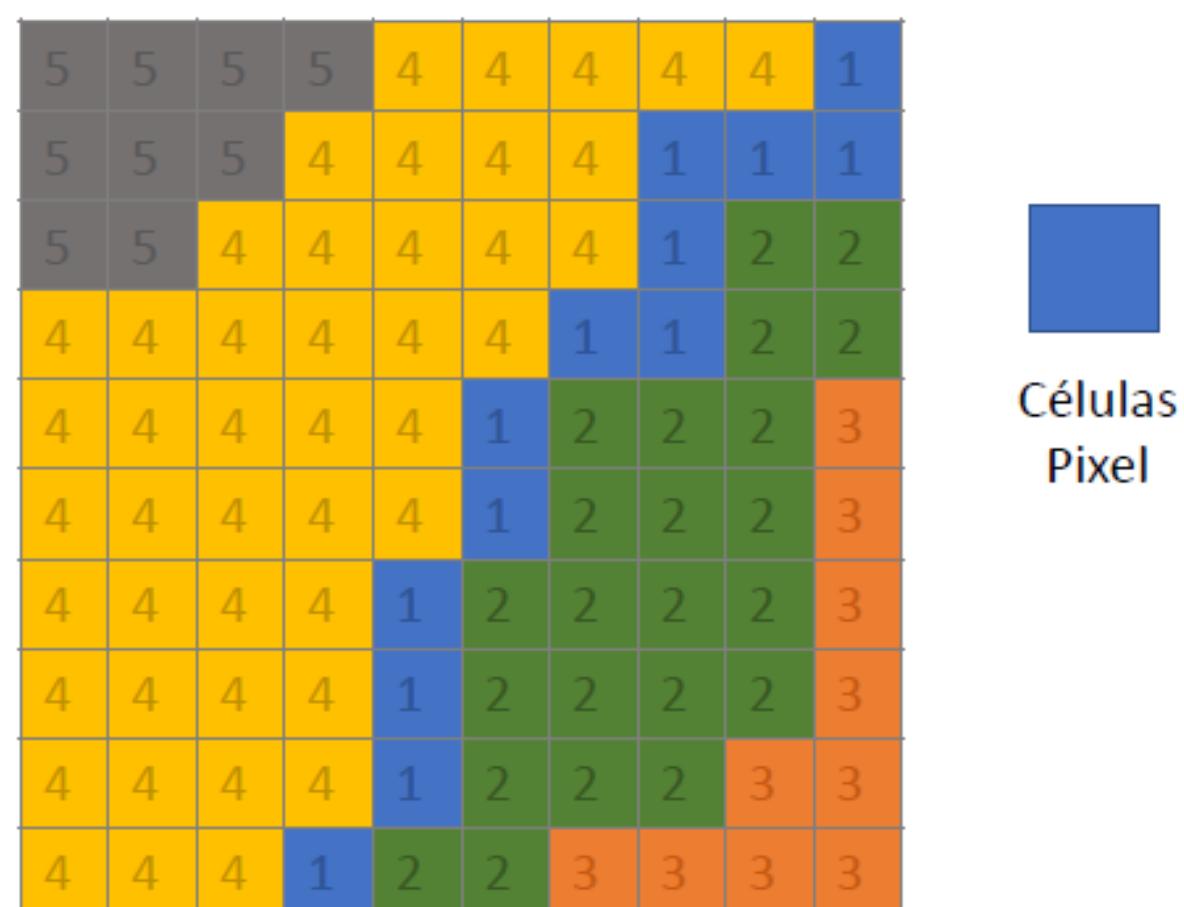
Polígonos: Representados por no mínimo três vértices conectados, permitindo a cálculos de perímetro e área.

Os formatos mais comuns utilizados em dados vetoriais são o SHP (shapefile), desenvolvido pela ESRI e KML/KMZ, desenvolvido pelo Google.

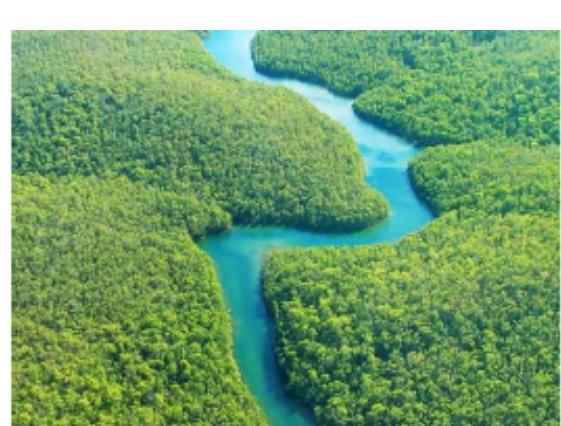
# PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS

## DADOS MATRICIAIS

O espaço é representado por células (pixels), que irão compor uma matriz formada por linhas e colunas, onde cada célula apresenta um valor específico.



## EXEMPLOS DE REPRESENTAÇÕES VETORIAIS E MATRICIAIS



Linhas



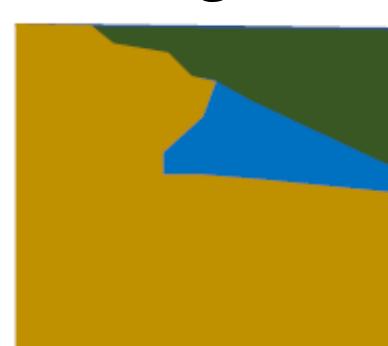
Pontos



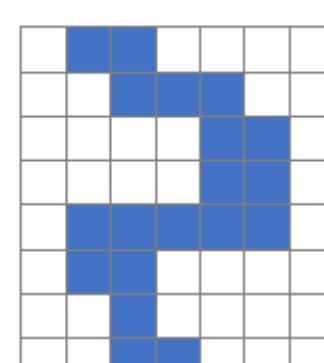
Polígonos



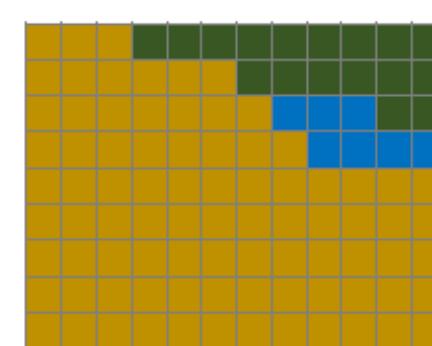
Polígonos



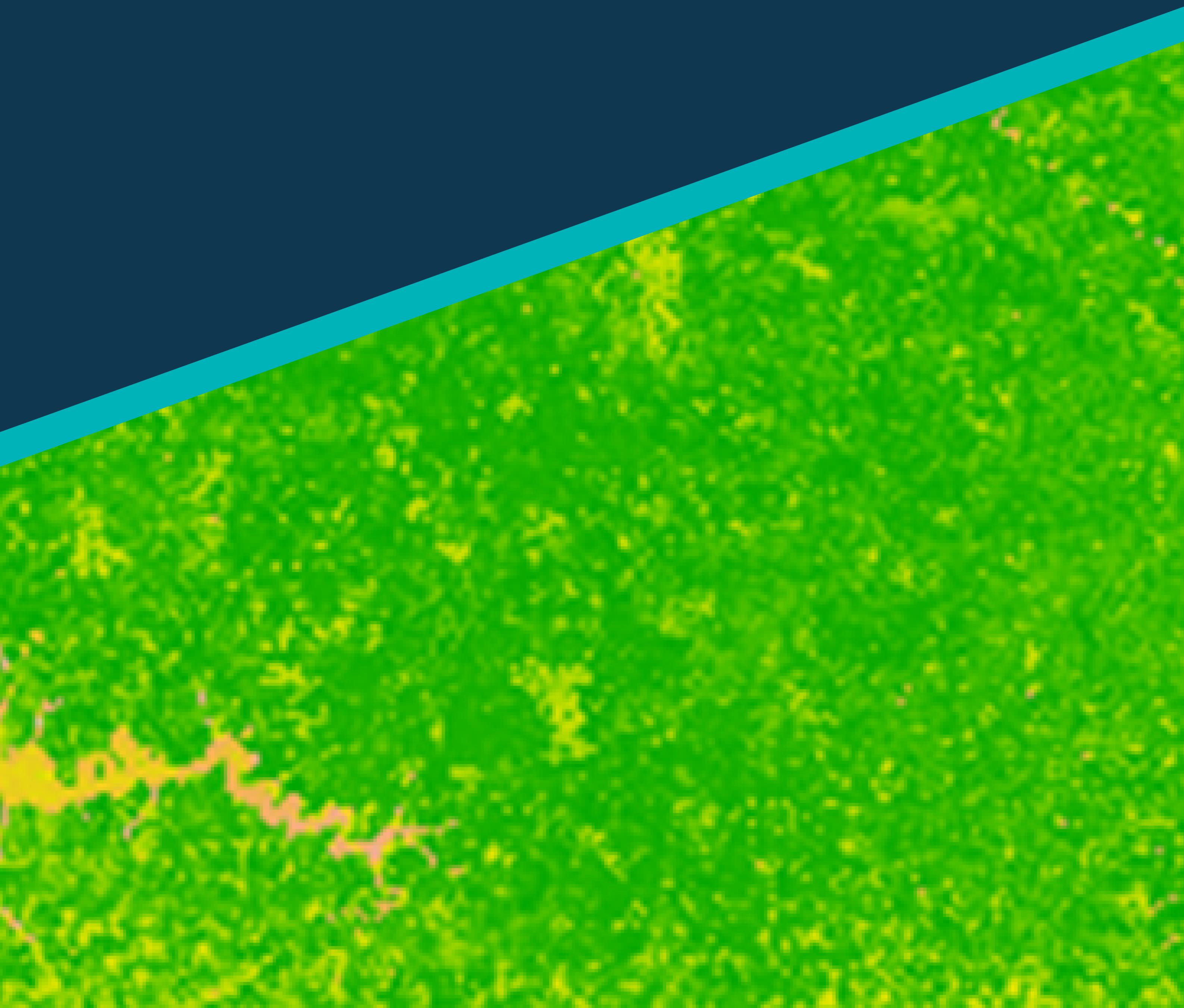
Matriz



Matriz



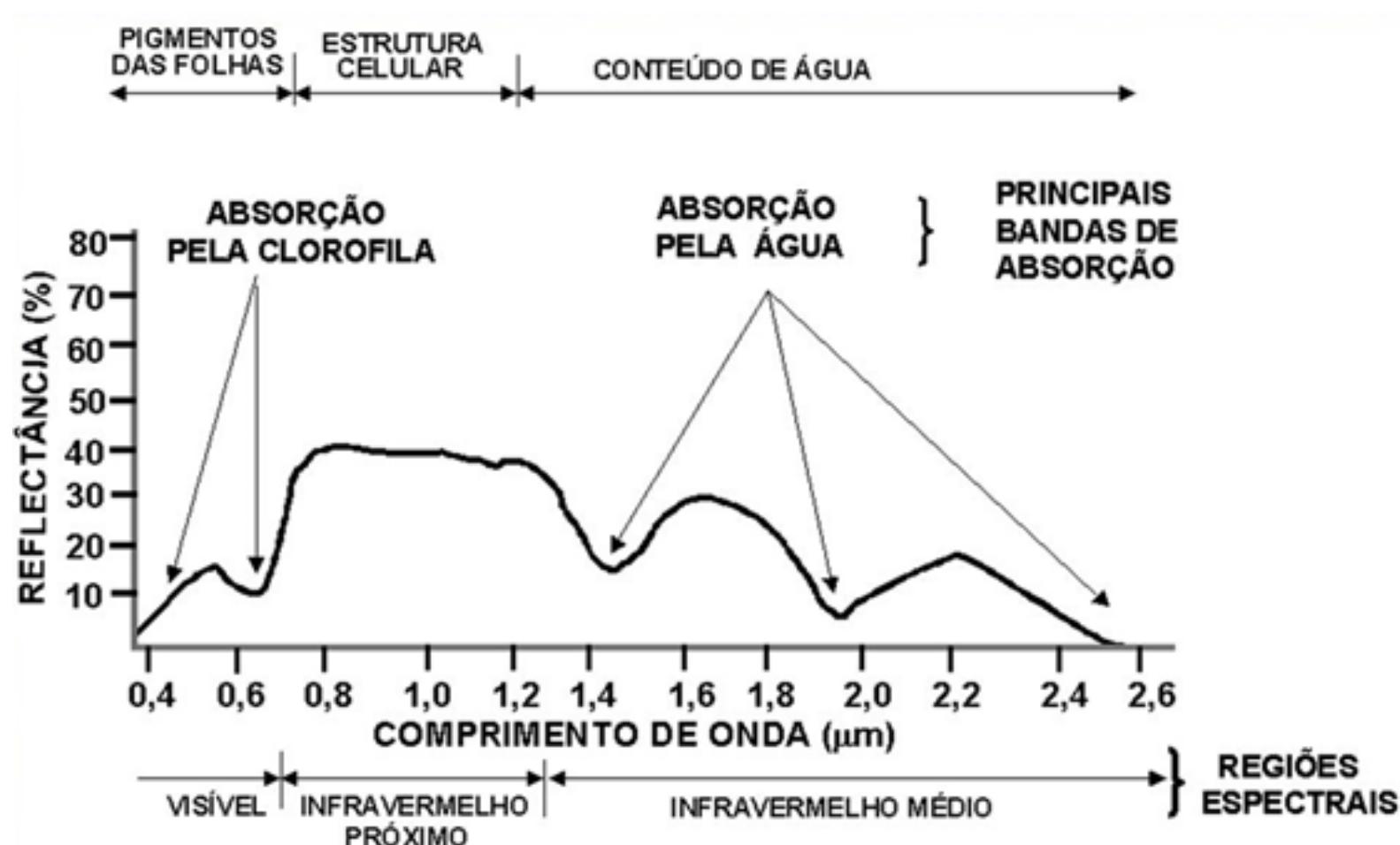
# ÍNDICES DE VEGETAÇÃO



# PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS

## ÍNDICES DE VEGETAÇÃO

Os índices de vegetação são operações aritméticas realizadas entre as bandas de uma imagem, que buscam explorar o comportamento espectral da vegetação para realçar determinadas características das plantas, como biomassa e índice de área foliar.



A vegetação é caracterizada por apresentar baixa reflectância na região do visível, decorrente da absorção da radiação pelos pigmentos fotossintetizantes, e alta reflectância na região do infravermelho próximo, devido ao espalhamento da radiação no interior das folhas em função da sua estrutura celular. Já no infravermelho médio, a reflectância volta a diminuir pela alta absorção por água!

Portanto, quanto maior for a densidade da cobertura vegetal em uma determinada área, menor será a sua reflectância na região do visível e maior a sua reflectância no infravermelho próximo.

# PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS

## ÍNDICES DE VEGETAÇÃO

Quando vamos realizar os cálculos dos índices de vegetação, observamos que, na maioria dos casos, é utilizada a banda do vermelho e infravermelho próximo. Por que isso ocorre?

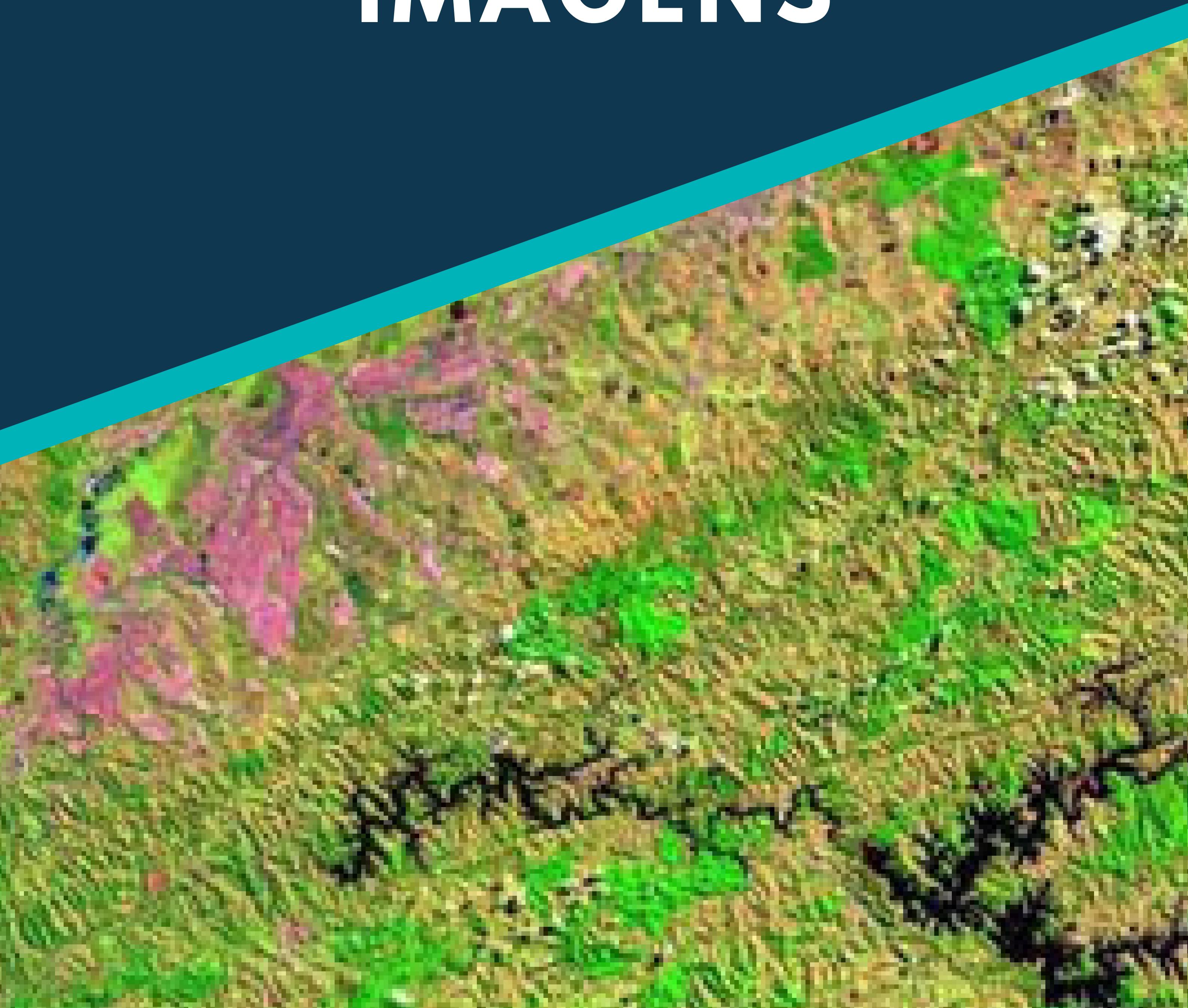
A banda do vermelho (RED) é a região onde ocorre alta absorção da radiação eletromagnética pela clorofila. Além disto, esta faixa sofre menos influência atmosférica que a faixa do azul (BLUE) (a faixa com maior absorção por clorofila). Já a faixa do infravermelho próximo (NIR), sua alta reflectância é relacionada com a estrutura e saúde da vegetação. Ou seja, vegetação saudável terá baixa reflectância no vermelho e alta no infravermelho próximo.

Veja alguns exemplos de índices de vegetação muito empregados na literatura. Dentre estes, o NDVI é um dos que mais se destaca, devido à sua simplicidade e alta relação com parâmetros biofísicos da vegetação.

Índices de Vegetação		Equação	Referência
SR	Razão Simples	$NIR / RED$	Jordan (1969)
NDVI	Índice de Vegetação por Diferença Normalizada	$\frac{NIR - RED}{NIR + RED}$	Rouse et al. (1973)
EVI	Índice de Vegetação Melhorado	$2,5 * \frac{(NIR - RED)}{(NIR + 6RED - 7,5BLUE + 1)}$	Justice et al. (1998)
SAVI	Índice de Vegetação Ajustado ao Solo	$\frac{(NIR - RED) * (1 + L)}{(NIR + RED + L)}$	Huete (1988)



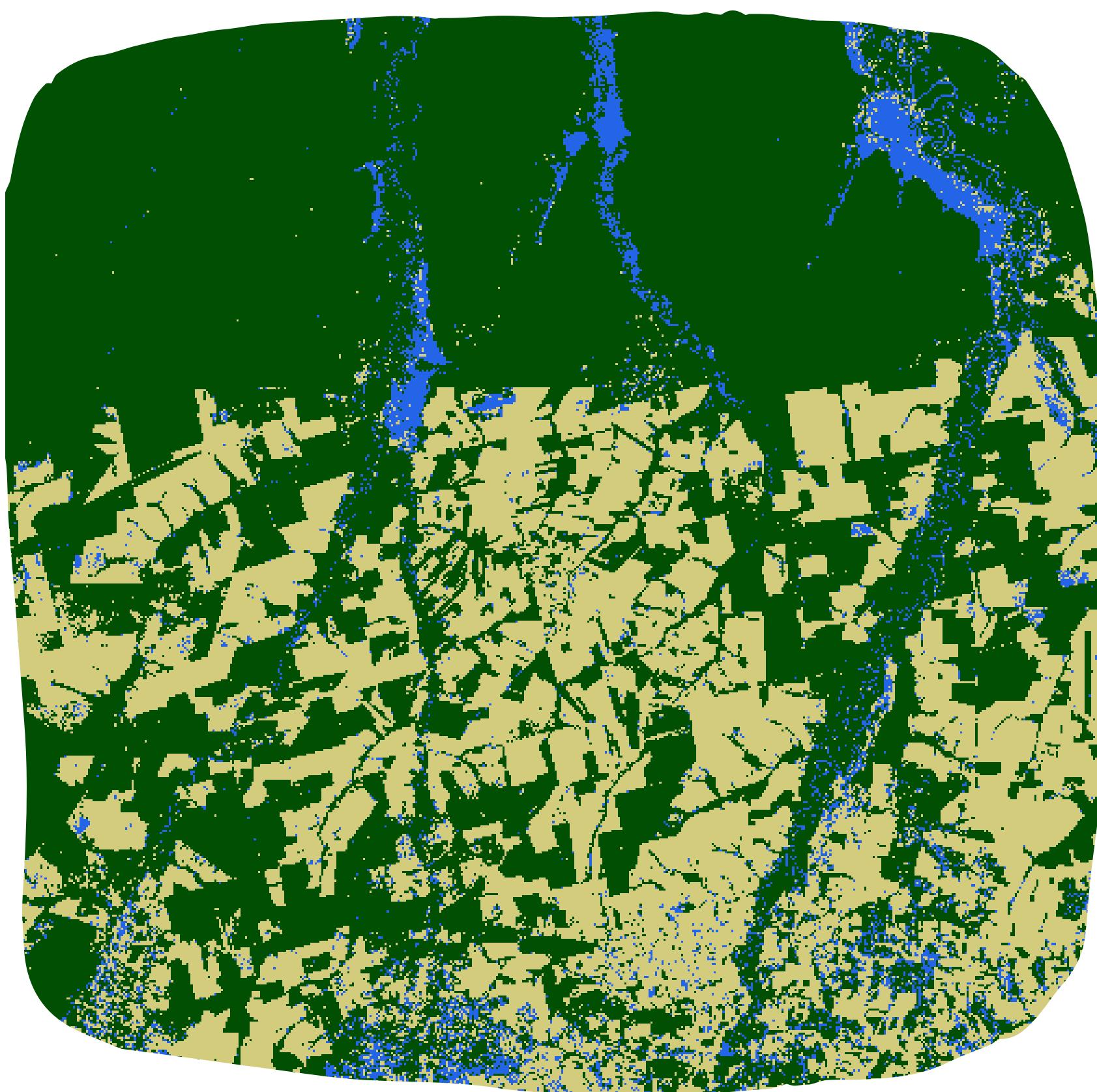
# CLASSIFICAÇÃO DIGITAL DE IMAGENS



# PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS

## O QUE É CLASSIFICAÇÃO DE IMAGENS?

Processo de extração de informação de imagens para reconhecer os padrões e objetos dessa imagem, relacionando-o com uma classe temática.

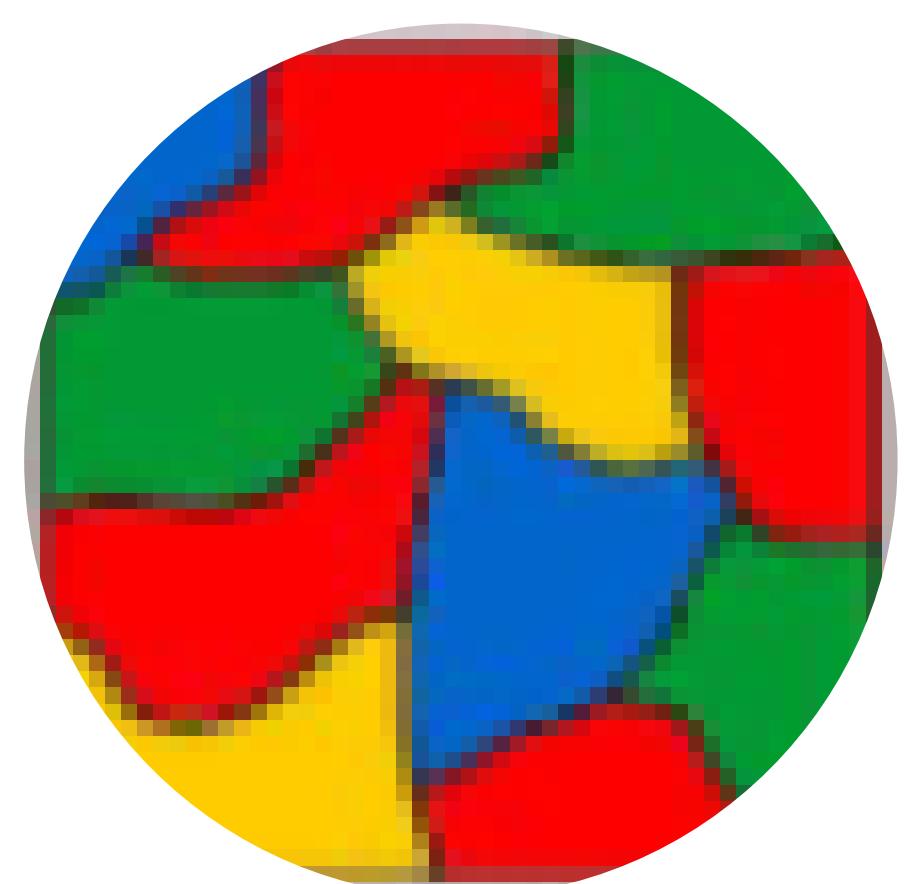
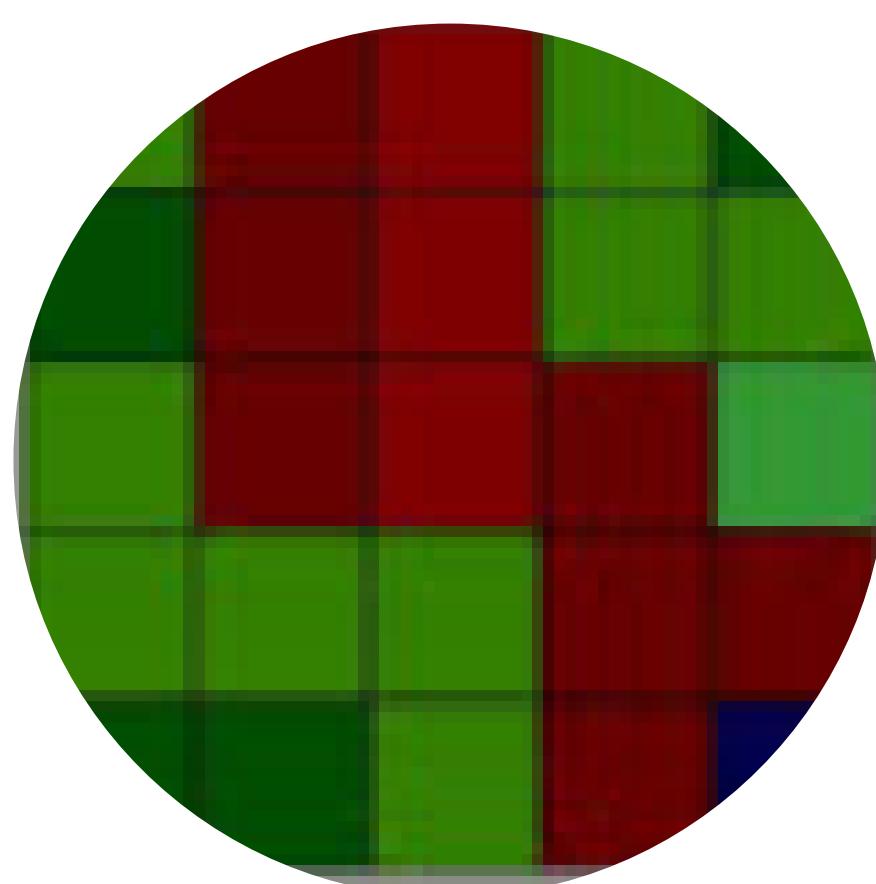


# PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS

## TIPOS DE CLASSIFICAÇÃO

Existem quatro tipos de classificações e eles estão divididos em relação às suas características.

- Classificação Não Supervisionada
- Classificação Supervisionada
- Classificação Pixel-a-Pixel
- Classificação Orientada ao Objeto



# PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS

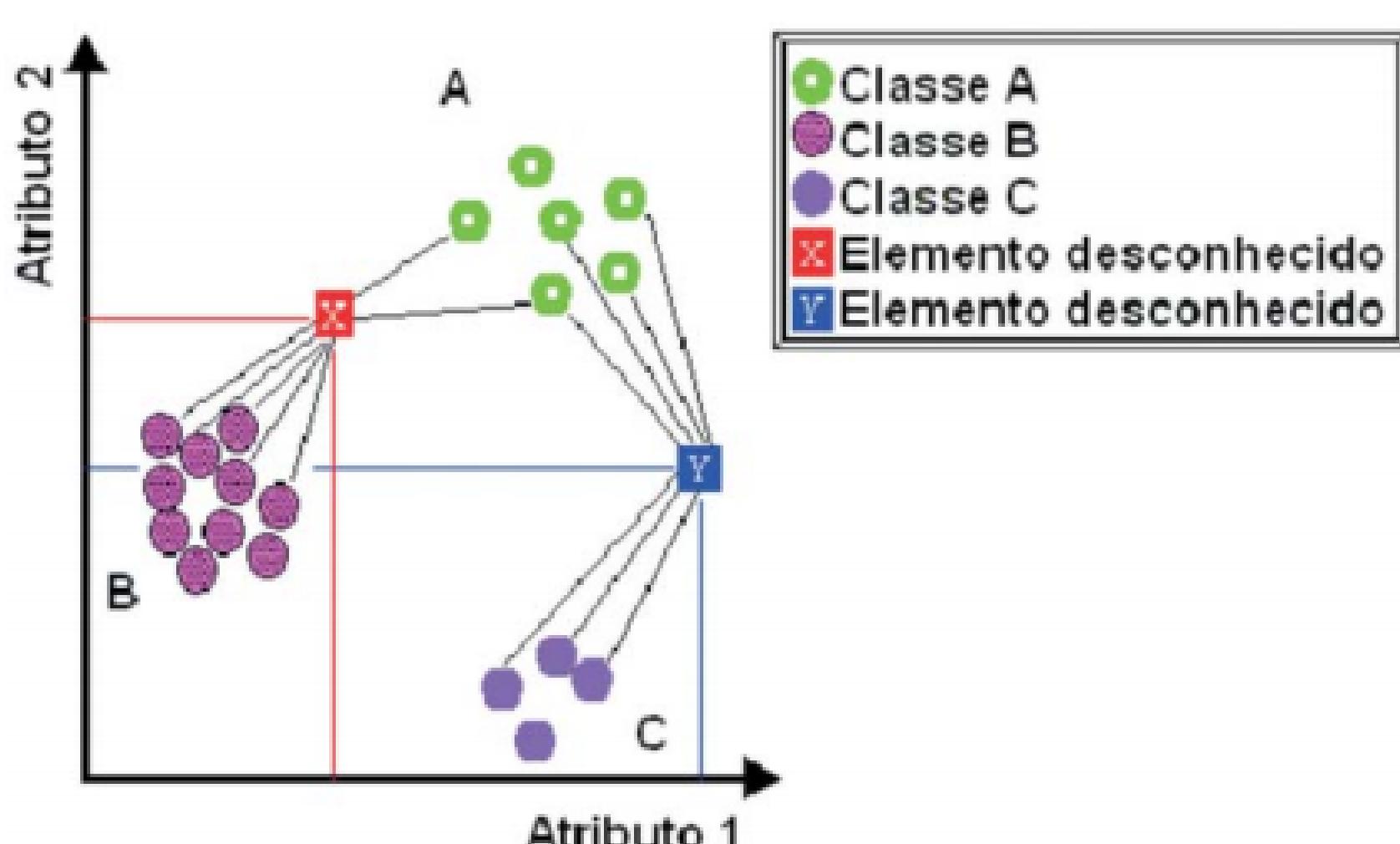
## CLASSIFICAÇÃO NÃO SUPERVISIONADA

Nesse caso, não há a participação do analista na definição das classes que serão utilizadas. Ou seja, não se tem conhecimento prévio sobre a área de estudo.

A definição das classes é realizada pelo algoritmo através de agrupamento de pixels com características espectrais semelhantes.

■ Isodata

■ K-means



# PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS

## CLASSIFICAÇÃO SUPERVISIONADA

Na classificação supervisionada é necessário a **presença do analista** e conhecimento prévio sobre as classes presentes na área de estudo.

Desse modo, as classes serão definidas pelo analista e utilizadas como treinamento para o **algoritmo** realizar a classificação.

Esse treinamento é realizado através da coleta de **amostras de treinamento**, que irão representar as características espectrais dos alvos presentes em cada classe.

Nesse caso, o algoritmo irá analisar cada pixel e comparar os seus valores com as amostras de treinamento.



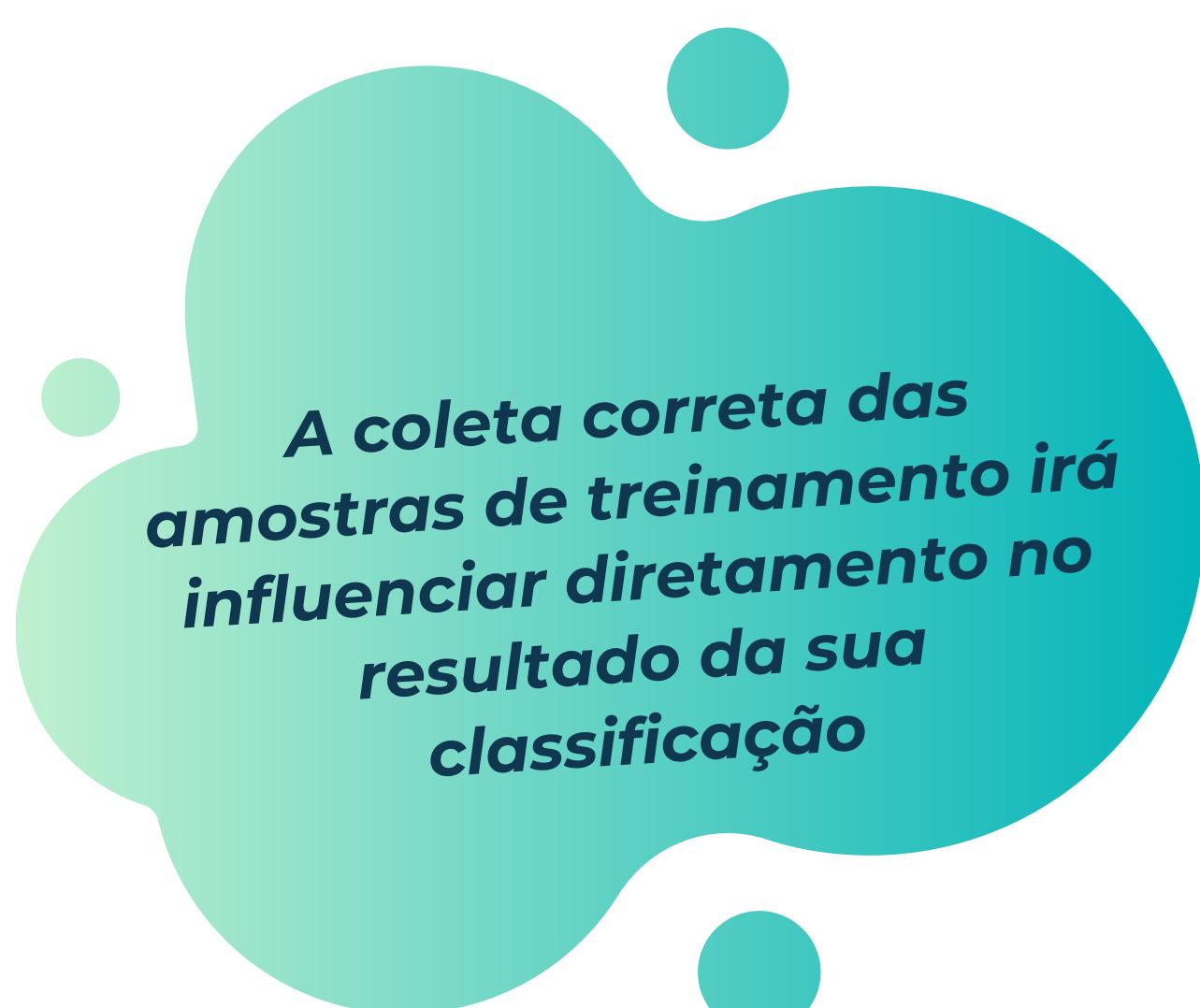
# PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS

## AMOSTRAS DE TREINAMENTO

As **amostras de treinamento** são um componente essencial para a classificação supervisionada.

Existem alguns fatores que devem ser observados durante a etapa de coleta das amostras de treinamento:

- Coletar amostras com **pixels puros**
- Evitar amostras na **borda** das classes
- Coletar um número **representativo** de amostras de cada classe
- **Distribuir** as amostras em toda a área de estudo



# PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS

## CLASSIFICAÇÃO PIXEL-A-PIXEL

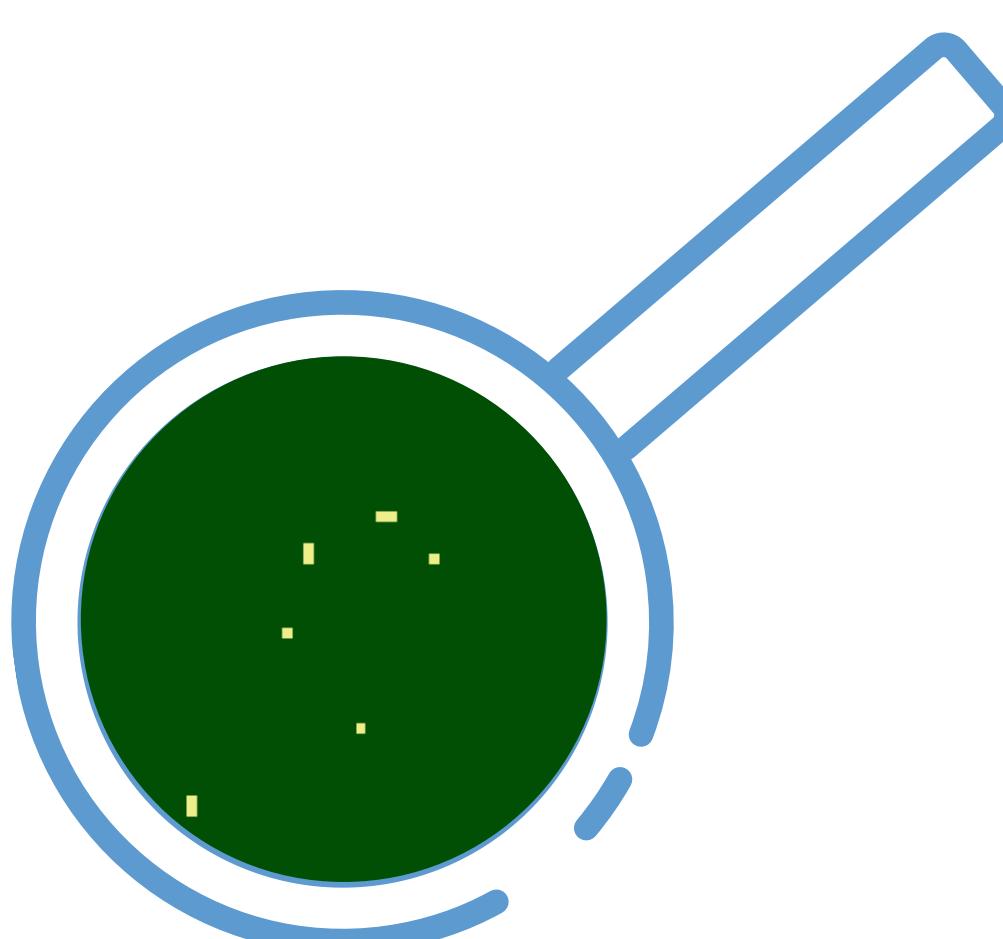
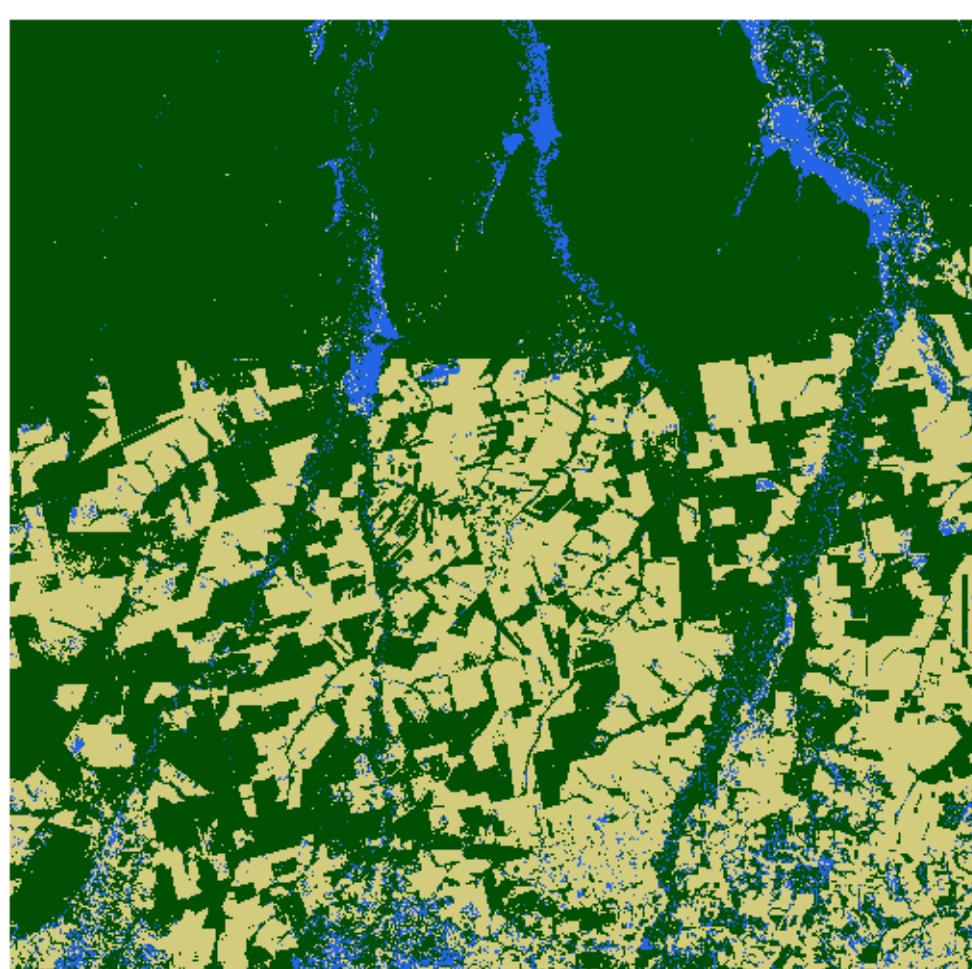
Esse tipo de classificação utiliza a **informação espectral** de cada pixel para encontrar **regiões homogêneas**.

Nesse caso, o classificador irá classificar cada pixel presente na imagem como uma **classe**.

Um dos problemas relacionados a esse tipo de classificação é o **efeito sal-e-pimenta**. O efeito sal e pimenta ocorre quando **pixels isolados** são classificados em **classes opostas** à maioria dos pixels ao seu redor.

Como o pixel é a menor unidade presente na imagem, quanto **maior** a **resolução espacial** da imagem (menor o tamanho do pixel), **maior** será a sua **heterogeneidade**, então, espera-se que o efeito sal e pimenta também seja **maior**.

Esse efeito pode ser evitado quando utiliza-se o tipo de classificação **orientada ao objeto**, ou aplicando técnicas como a **filtragem** após a classificação.



# PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS

## CLASSIFICAÇÃO ORIENTADA AO OBJETO

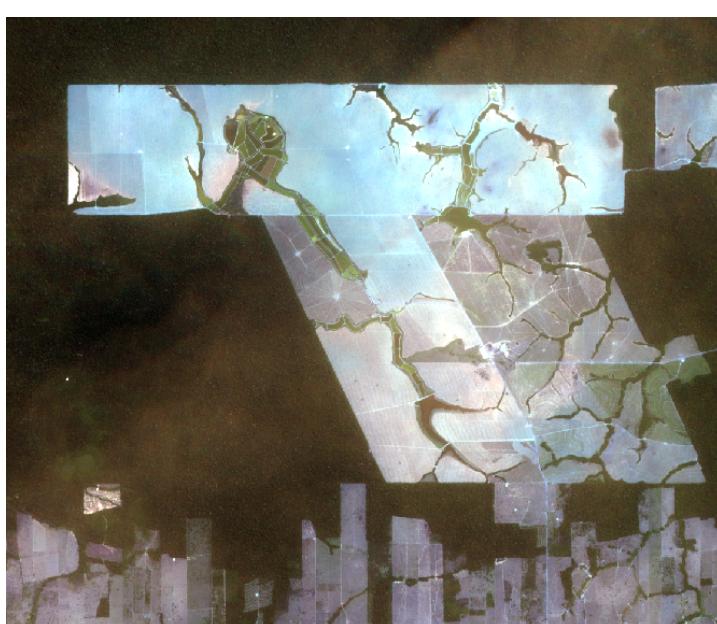
Nesse tipo de classificação não considera-se apenas as informações espectrais presentes na imagem, mas também a **informação espacial**. A classificação será realizada com base em **objetos**, que são agrupamentos de pixels com características semelhantes.

A classificação orientada ao objeto necessita da realização de uma etapa de processamento de imagens denominada **segmentação**. Na segmentação de imagens o algoritmo utiliza alguns descritores como cor, forma, tamanho, textura para agrupar pixels que apresentam **características semelhantes**.

Existem diversos algoritmos para realizar a segmentação e essa etapa é realizada **antes** da etapa de classificação.

Desse modo, uma **vantagem** desse tipo de classificação é a utilização de uma maior quantidade de informações durante o processo de classificação.

A Figura a seguir apresenta a imagem original, a imagem segmentada e a classificação. Então, pode-se observar que houve o agrupamento de pixels semelhantes que se tornaram um único objeto/segmento.



# PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS

## MÉTODOS DE CLASSIFICAÇÃO SUPERVISIONADA

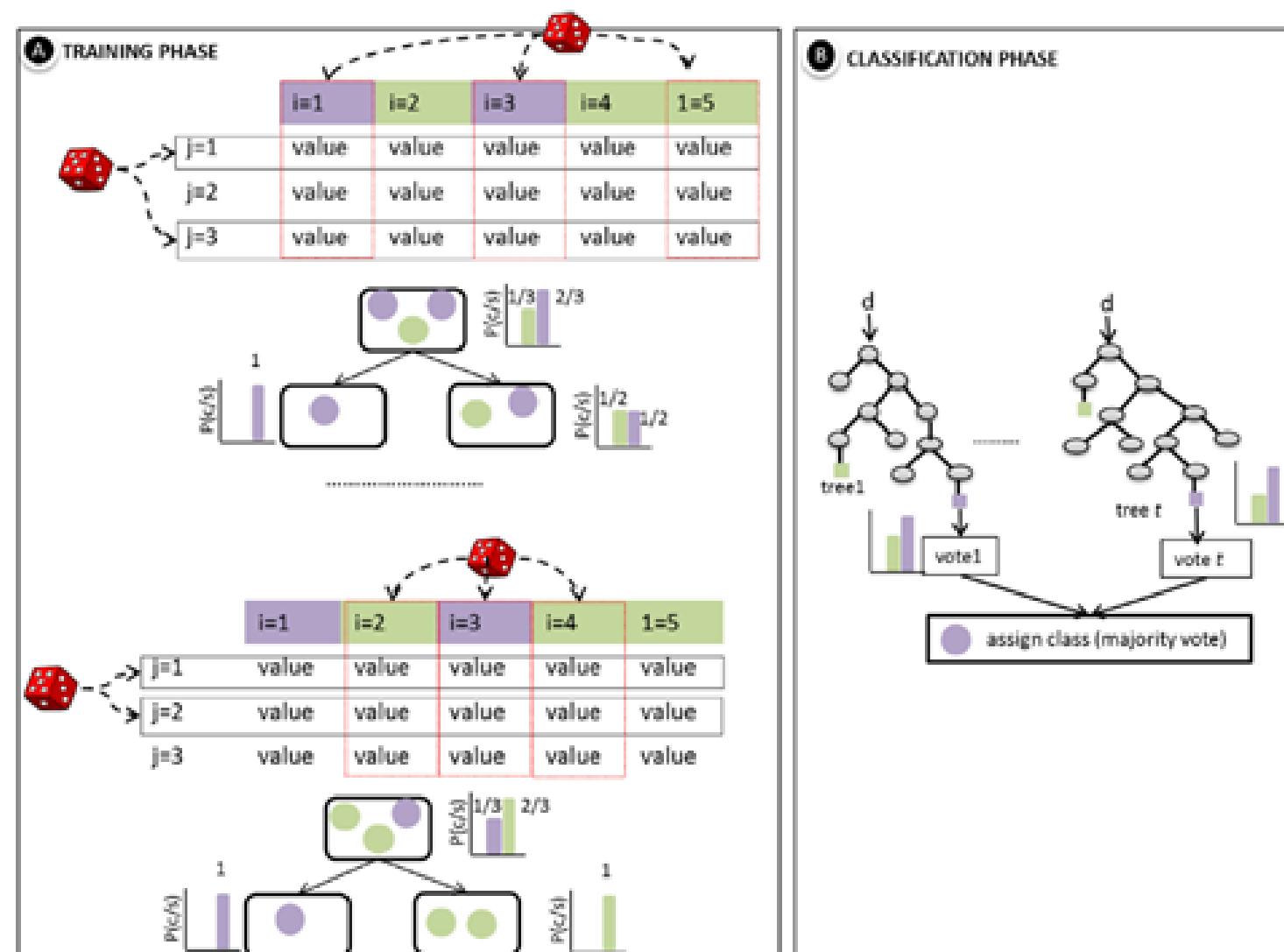
### ■ Algoritmos de Aprendizagem de Máquina

Os algoritmos de aprendizagem de máquina tem sido muito utilizados, principalmente por comportarem uma **grande quantidade** de dados e dados **não-paramétricos**, ou seja, que não apresentam uma distribuição estatística conhecida. Serão apresentados os algoritmos Random Forest e Support Vector Machine.

### ■ Random Forest - RF

O classificador Random Forest utiliza um conjunto de **árvores de decisão** para realizar uma previsão. As árvores de decisão são criadas independentemente, através de um subconjunto de amostras de treinamento.

A divisão de cada nó é realizada através de recursos definidos pelo usuário.



Fonte: Belgiu e Dragut (2016)

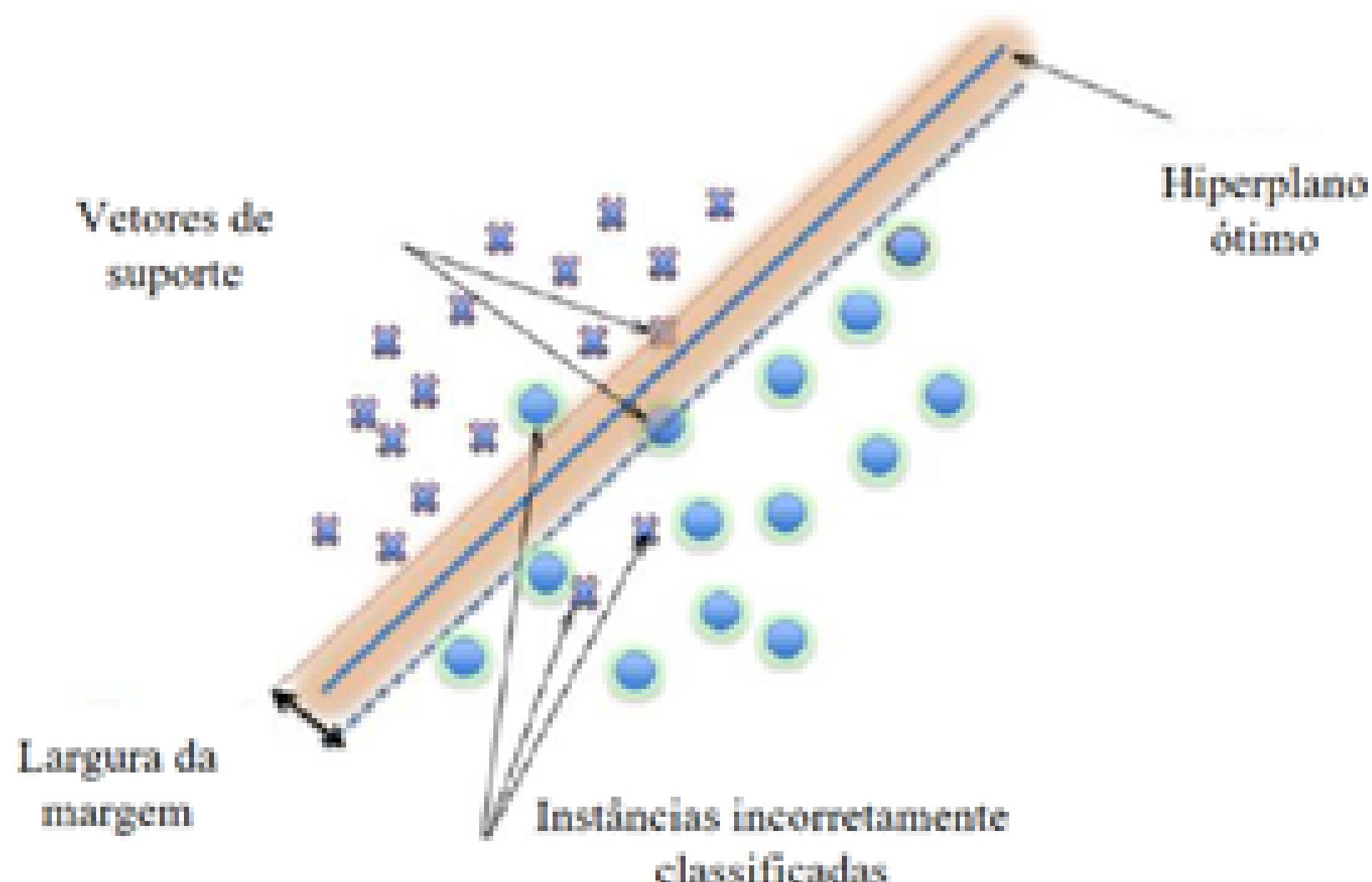
# PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS

## MÉTODOS DE CLASSIFICAÇÃO SUPERVISIONADA

### ■ **Support Vector Machine - SVM**

O classificador SVM é uma técnica de classificação supervisionada de imagens, baseada em um **algoritmo de otimização** que define, através das amostras de treinamento, **planos de separação ótimos** entre as classes a fim de **maximizar** a distância entre elas.

De modo geral, existe um número infinito de hiperplanos, no entanto, apenas um irá maximizar a margem entre as classes, sendo definido como o **hiperplano ótimo**. Os pontos que limitam a largura da margem entre as classes são definidos como **vetores de suporte**, e correspondem aos elementos críticos da amostra de treinamento, pois delimitam a superfície de decisão.



Fonte: Adaptada de Mountrakis et al. (2011).

# COMO AVALIAR A ACURÁCIA DA CLASSIFICAÇÃO?

Você já ouviu falar em  
matriz de confusão?



# PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS

## COMO AVALIAR A ACURÁCIA DA CLASSIFICAÇÃO?



A análise dos resultados obtidos com as classificações é realizada através da **matriz de confusão**.

A matriz de confusão representa uma das formas de avaliar a exatidão de uma classificação, através da comparação entre os resultados da classificação com dados de **referência**.

Então, vamos entender a matriz de confusão?!

Classes	Referência			Total
	Pastagem	Floresta	Área Urbana	
Pastagem	900	250	20	1170
Floresta	140	1000	70	1210
Área Urbana	60	70	890	1020
Total	1100	1320	980	3400

Os valores relacionados às **colunas** na matriz, representam a **verdade de campo**, enquanto que as **linhas**, representam os valores obtidos com a classificação.

Os valores na **diagonal principal** representam os pixels classificados **corretamente**.

Então, temos 900 pixel classificados corretamente da classe Pastagem, 1000 pixels da classe Floresta e 890 pixels da classe Área Urbana.

# PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS

## COMO AVALIAR A ACURÁCIA DA CLASSIFICAÇÃO?



A **exatidão global** ou **acurácia global** da classificação é obtida a partir da razão entre a soma do **número de pixels classificados corretamente** (diagonal principal) pelo **número total de pixels**.

Vamos calcular a acurácia global da nossa classificação?

$$AG = \frac{n \text{ pixels corretos}}{\text{total de pixels}} = \frac{(900 + 1000 + 890)}{3400} = 0,8205 \text{ ou } 0,8205 * 100 \rightarrow 82,05\%$$

Nesse caso, a nossa classificação, com base nos valores da matriz de confusão, apresenta uma acurácia global de 82,05%.

A **acurácia global** representa o resultado geral da nossa classificação e nos permite ter uma ideia geral de como foi o seu desempenho.

No entanto, apenas observando essa informação, não conseguimos analisar qual classe foi melhor ou pior classificada.

Para verificar o desempenho individual de cada classe são utilizadas as acuráncias do **produtor** e do **usuário**. Lembre-se! Essas duas acuráncias podem também ser encontradas na literatura pelo nome de Sensibilidade e Especificidade, respectivamente!

# PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS

## COMO AVALIAR A ACURÁCIA DA CLASSIFICAÇÃO?



### Acurácia do Produtor

Probabilidade de uma categoria (classe) ter sido **corretamente classificada** de acordo com os **pontos de referência**.

A **acurácia do produtor** está relacionada aos **erros de omissão**, que ocorrem quando pixels deveriam ter sido classificados como uma determinada classe e foram classificados como outra, ou seja ocorreu **omissão** de alguns pixels.

Nesse caso, nós vamos observar os valores das colunas na nossa matriz de confusão, que estão relacionados aos nosso dado de **referência**.

Classes	Referência			Total
	Pastagem	Floresta	Área Urbana	
Pastagem	900	250	20	1170
Floresta	140	1000	70	1210
Área Urbana	60	70	890	1020
Total	1100	1320	980	3400

A acurácia do produtor será obtida pela razão entre o **número de pixels corretamente classificados** dessa classe pelo **número total de pixels de referência dessa mesma classe** (total das colunas).

$$AP = \frac{n \text{ pixels corretos}}{\text{total ref classe}}$$

# PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS

## COMO AVALIAR A ACURÁCIA DA CLASSIFICAÇÃO?



Então, vamos calcular a acurácia do produtor para cada uma das classes:

$$AP_{Pastagem} = \frac{900}{1100} = 0,811 \rightarrow 81,1\%$$

$$AP_{Floresta} = \frac{1000}{1320} = 0,757 \rightarrow 75,7\%$$

$$AP_{Área Urbana} = \frac{890}{980} = 0,908 \rightarrow 90,8\%$$

Como nós vimos, a acurácia do produtor está relacionada ao **erro de omissão**. Veja um exemplo do cálculo do erro de omissão para a classe pastagem:

$$EO_{Pastagem} = \frac{n \text{ pixels incorretos}}{\text{total ref classe}} = \frac{140+60}{1100} = 0,181 \rightarrow 18,1\%$$

# PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS

## COMO AVALIAR A ACURÁCIA DA CLASSIFICAÇÃO?



### Acurácia do Usuário

Probabilidade de uma categoria (classe) classificada representar a **mesma categoria** em campo.

A **acurácia do usuário** está relacionada aos **erros de inclusão**, que ocorrem quando pixels não deveriam ter sido classificados como uma determinada classe e foram classificados, ou seja, ocorreu a inclusão de alguns pixels em outras classes.

Nesse caso, nós vamos observar os valores das **linhas** da nossa matriz de confusão, que estão relacionados à nossa classificação.

Classes	Referência			Total
	Pastagem	Floresta	Área Urbana	
Pastagem	900	250	20	1170
Floresta	140	1000	70	1210
Área Urbana	60	70	890	1020
Total	1100	1320	980	3400

A acurácia do usuário será obtida pela razão entre o **número de pixels corretamente classificados** dessa classe pelo **número total de pixels de classificados nessa mesma classe** (total das linhas).

$$AU = \frac{n \text{ pixels corretos}}{\text{total classificados classe}}$$

# PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS

## COMO AVALIAR A ACURÁCIA DA CLASSIFICAÇÃO?



Então, vamos calcular a **acurácia do usuário** para cada uma das classes:

$$AU_{Pastagem} = \frac{900}{1170} = 0,769 \rightarrow 76,9\%$$

$$AU_{Floresta} = \frac{1000}{1210} = 0,826 \rightarrow 82,6\%$$

$$AU_{Área Urbana} = \frac{890}{1020} = 0,872 \rightarrow 87,2\%$$

Como nós vimos, a acurácia do produtor está relacionada ao **erro de inclusão**. Veja um exemplo do cálculo do erro de inclusão para a classe pastagem:

$$EI_{Pastagem} = \frac{n \text{ pixels incorretos}}{\text{total classificado classe}} = \frac{250+20}{1170} = 0,230 \rightarrow 23,0\%$$

# PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS

## COMO MELHORAR A QUALIDADE DA MINHA CLASSIFICAÇÃO?



- Rever e/ou aumentar as amostras de treinamento.
- Mudar o algoritmo de classificação
- Mudar o tipo de classificação
- Aplicar um filtro após a classificação, no caso da classificação pixel-a-pixel.
- Editar a classificação

# PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS

## REFERÊNCIAS

BELGIU, M.; DRAGUT, L. Random forest in remote sensing: a review of applications and future directions. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v.114, p. 24-31, 2016.

BREIMAN, L. **Random forests. Machine Learning**, v. 45, n. 1, p. 5-32, 2001.

Computação Inteligente. **K vizinhos mais próximos - KNN.** Disponível em: <http://computacaointeligente.com.br/algoritmos/k-vizinhos-mais-proximos/>

CONGALTON, R. G.; GREEN, K. **Assessing the accuracy of remotely sensed data: principles and practices.** New York: Lewis Publishers, 1999. 136 p.

CORTES, C; VAPNIK, V. Support-vector networks. **Machine Learning**, v.20, n. 3, p.273-297, 1995.

CRÓSTA, A. P. **Processamento digital de imagens de sensoriamento remoto.** Campinas: [s.n.], 1992. 170 p.

MATHER, P.; TSO, B. **Classification methods for remotely sensed data.** Boca Raton: CRC press, 2009.

MOUNTRAKIS, G.; IM, J.; OGOLE, C. Support vector machines in remote sensing: a review. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 66, n. 3, p.247-259, 2011.

PONZONI, F.J.; SHIMABUKURO, Y.E.; KUPLICK, T.M. **Sensoriamento remoto da vegetação.** Oficina de Textos, 197p. 2012.

ZANOTTA, D. C.; FERREIRA, M. P.; ZORTEA, M. **Processamento de Imagens de Satélite.** Oficina de Textos, 320p. 2019.



# PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS



O RadarGeo foi criado como uma forma de divulgação de conteúdos sobre Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento! Buscando trazer cada vez mais pessoas para esse mundo!

A Juliana é Engenheira Florestal pela Universidade Federal de Lavras e doutoranda em Sensoriamento Remoto pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.



O Daniel é Engenheiro Ambiental e Sanitarista pela Universidade Federal de Lavras e doutorando em Sensoriamento Remoto pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.

Com carinho!

Juliana e Daniel

