



Sensoriamento Remoto II

Período: 5

Carga Horária: 45 horas

UFPR – Departamento de Geomática
Prof. Jorge Centeno
2025
copyright@ centenet



Sensoriamento Remoto II

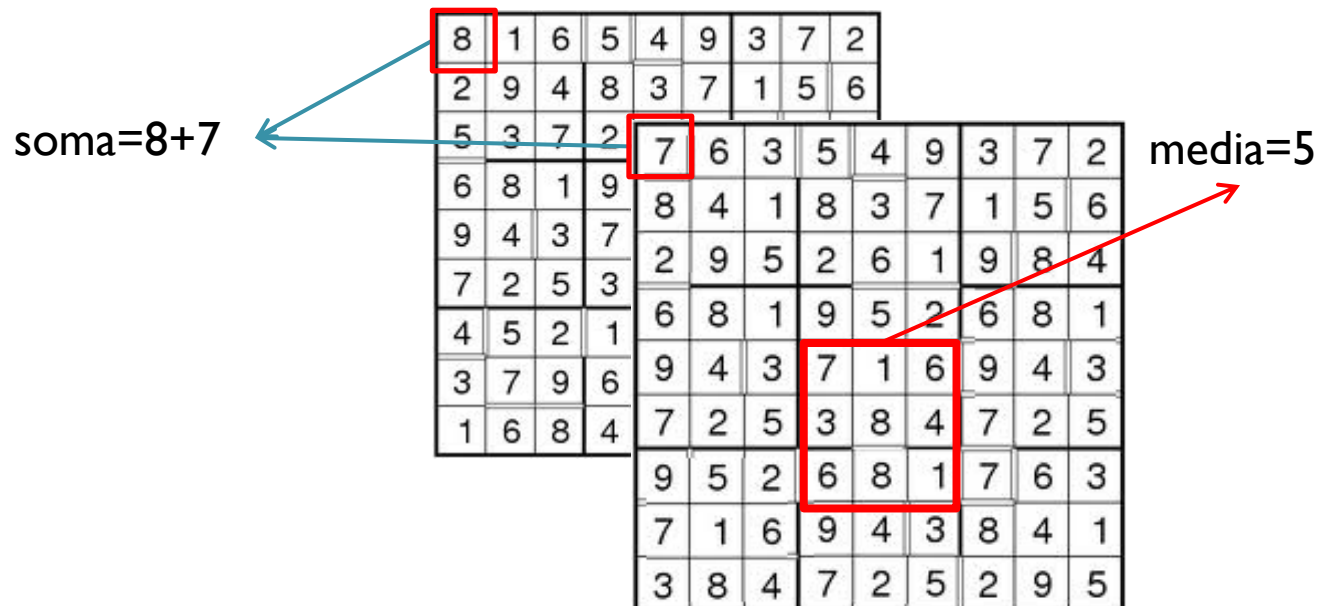
Transformações espectrais

UFPR – Departamento de Geomática
Prof. Jorge Centeno
2013
copyright@ centenet

Valores digitais

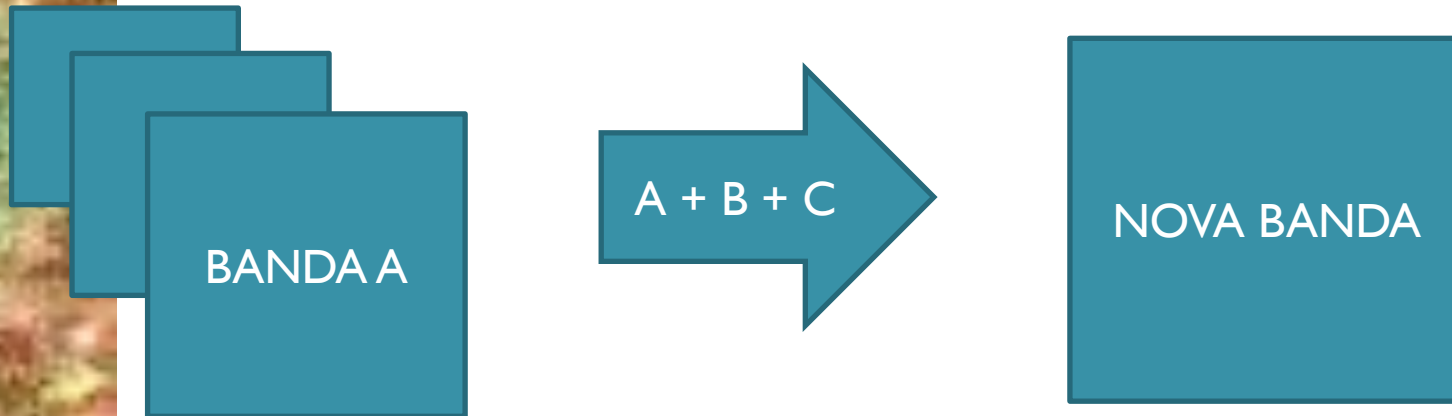
Os dados contidos em uma imagem são representados por valores digitais, números. Números podem ser combinados:

- Por exemplo, ao calcular o valor de um pixel como a combinação dos valores em uma vizinhança de uma banda
- Ou, combinando os valores de um mesmo pixel em diferentes bandas.



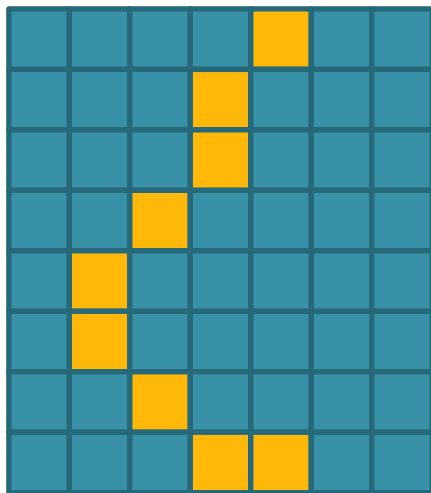
Operações aritméticas entre bandas

- Os dados contidos em várias imagens, obtidas em faixas espectrais diferentes, podem ser combinados matematicamente para salientar determinadas características dos alvos.
- Tipicamente, estas operações envolvem a manipulação de várias bandas.
- A maneira mais simples de fazer isto é através de operações aritméticas, como adição e subtração.

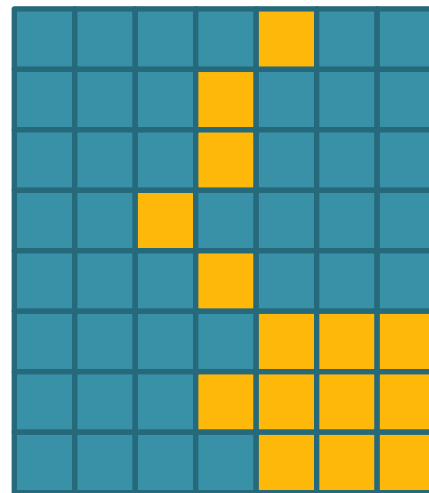


Operações aritméticas entre bandas

Exemplo, com duas imagens binárias obtidas em datas diferentes pode-se analisar a evolução em termos de aumento ou redução de um fenômeno/cobertura através da diferença entre estas duas imagens.



A) Antes



B) depois



$$R = B - A$$

Operações aritméticas

Considerando duas imagens binárias onde 1 indica a presença do objeto e 0 outros elementos,

$$C = A - B$$

- A diferença entre as duas pode ser:
 - 0 sem mudanças
 - 1 a superfície do objeto aumentou
 - -1, redução na superfície coberta pelo objeto.

Para evitar números negativos e poder representar a diferença como outra imagem, os resultado deve ser escalado adequadamente, por exemplo, somando um valor positivo.

$$C = A - B + 1$$

banda	A=0	A=1
B=0	0	1
B=1	-1	0

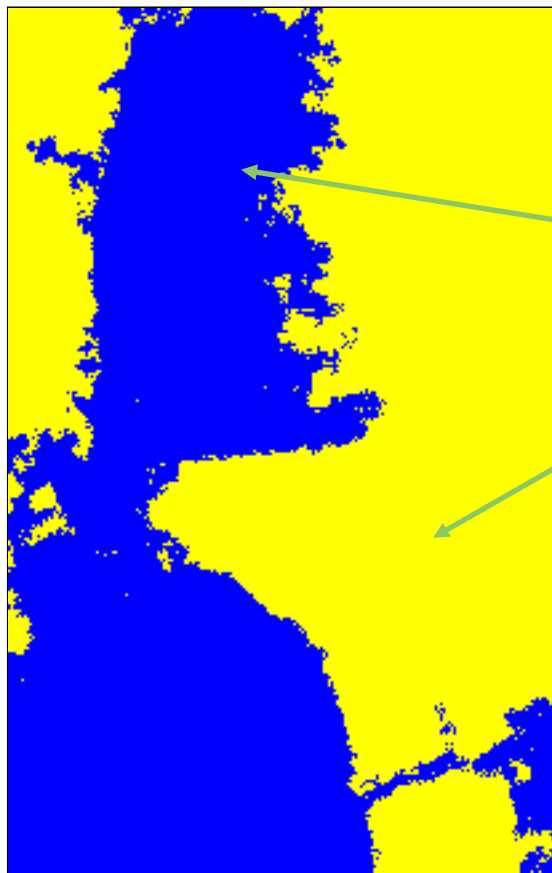
$$C = A - B$$

banda	A=0	A=1
B=0	1	2
B=1	0	1

$$C = A - B + 1$$

Antes e durante uma enchente

duas imagens mostrando áreas cobertas por água em datas. Analisar a evolução em termos de aumento ou redução dos espelhos de água através da diferença entre estas duas imagens.

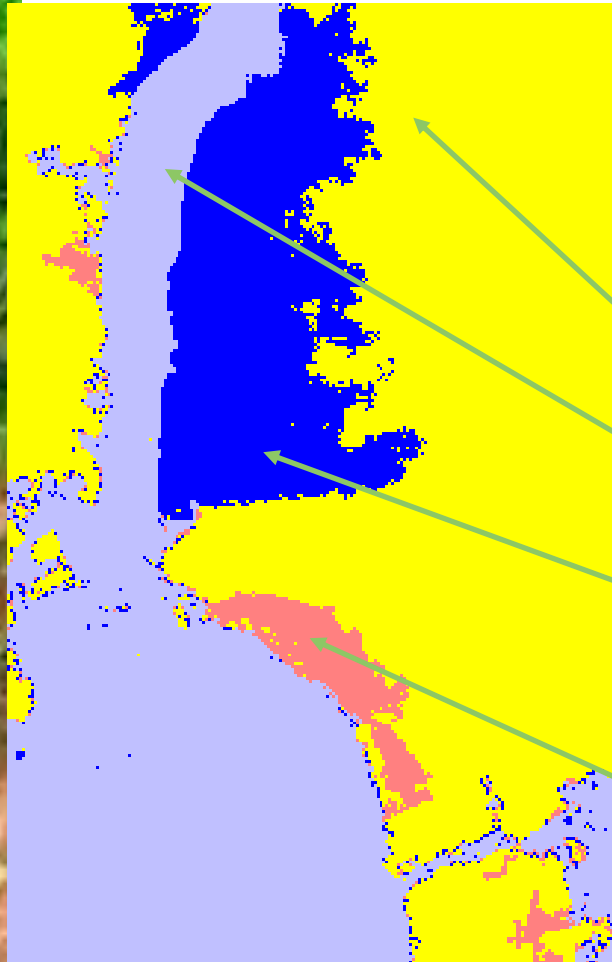


1= água

0= outros

A áreas cobertas por água podem ser separada espectralmente

$$C=A-B+I$$



A=imagem antes

B= imagem durante a enchente

1=áreas sem alterações, secas.

1= áreas sem alterações, com água

0= áreas inundadas durante a enchente.

2= diminuiu a cobertura de água



Razão entre bandas

- Razão

$$C = \frac{banda_A}{banda_B}$$

Dividir uma banda pela outra permite salientar as diferenças.

C perto de um, mostra pouca mudança

C alto mostra $A > B$

C baixo $A < B$

Problema: representação em valor real “float”, não linear



Contraste entre bandas

Diferença: $(A-B)$

Diferença: normalizada em relação a A $(A-B)/A$

Uma forma de normalizar a diferença em relação às duas variáveis envolvidas consiste em dividir a diferença pela soma das duas, o que se conhece como “contraste entre bandas”.

Serve para evidenciar pequenas variações espectrais da cobertura do terreno que de outra maneira encontram-se mascaradas pela pequena variação dos valores digitais.

Contraste (diferença normalizada) $C(A,B) = (A-B)/(A+B)$

Através de operações aritméticas podem ser calculados “índices” espectrais



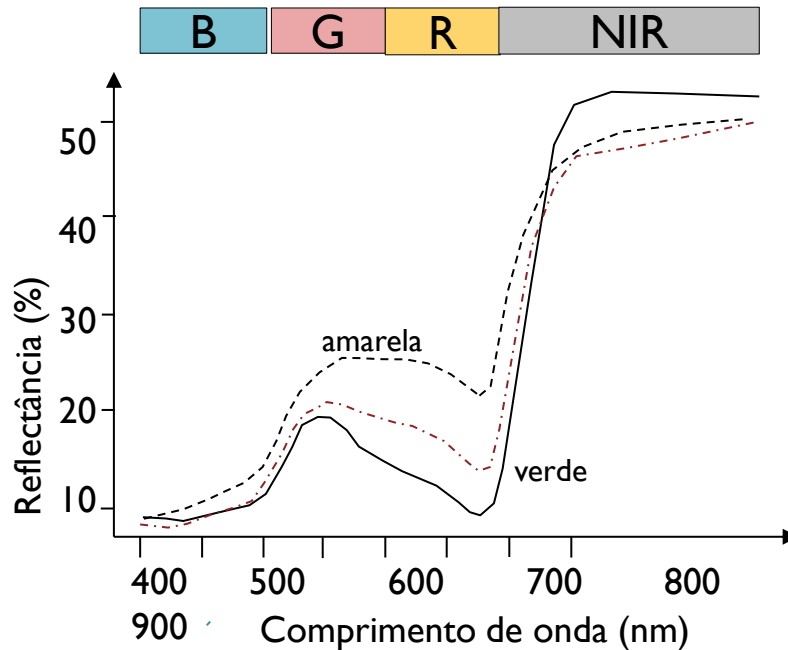
Índices espectrais

Função:

- Maximizar a visualização de algum fenômeno em determinadas superfícies;
- Ser facilmente calculado;
- diminuir, quando possível, o efeito de iluminação e atmosfera;
- Permitir comparações multitemporais;
- Estar associado, se possível, a uma variável ambiental mensurável.

- 
- Índice de vegetação

Folha verde vs amarela



A reflectância da vegetação é alta no infravermelho próximo

vegetação sadia apresenta alta absorção no vermelho;

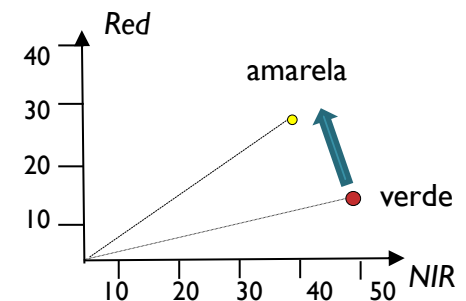
Quando a planta sofre algum estresse, diminui a absorção de clorofila (aumenta no red e diminui no NIR)

A relação NIR/RED é muito importante para monitorar o estado da vegetação.

A diferença ou a razão entre as bandas do infravermelho próximo (NIR) e do vermelho (RED) proporciona um índice de vegetação

$$IV = NIR / RED$$

$$IV = NIR - RED$$



NDVI Normalized difference vegetation index

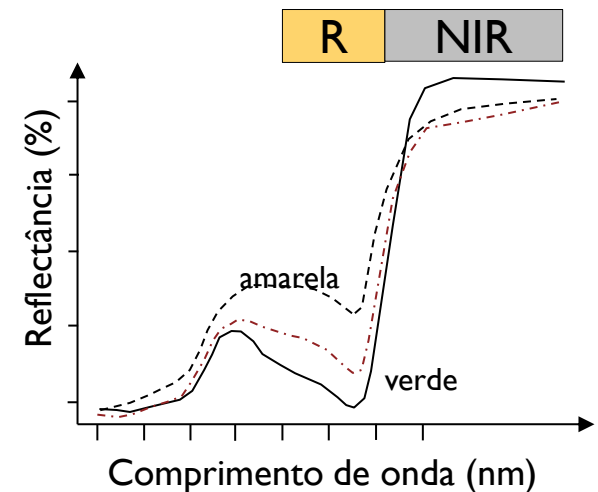
A diferença pode ser calculada como:

$$IV = NIR - RED$$

Porém, para normalizar esta diferença, usa-se o conceito de contraste (diferença/soma).

O contraste entre bandas do visível e do IVP informa a respeito do estado da vegetação e é conhecido como o índice de vegetação por diferença normalizada

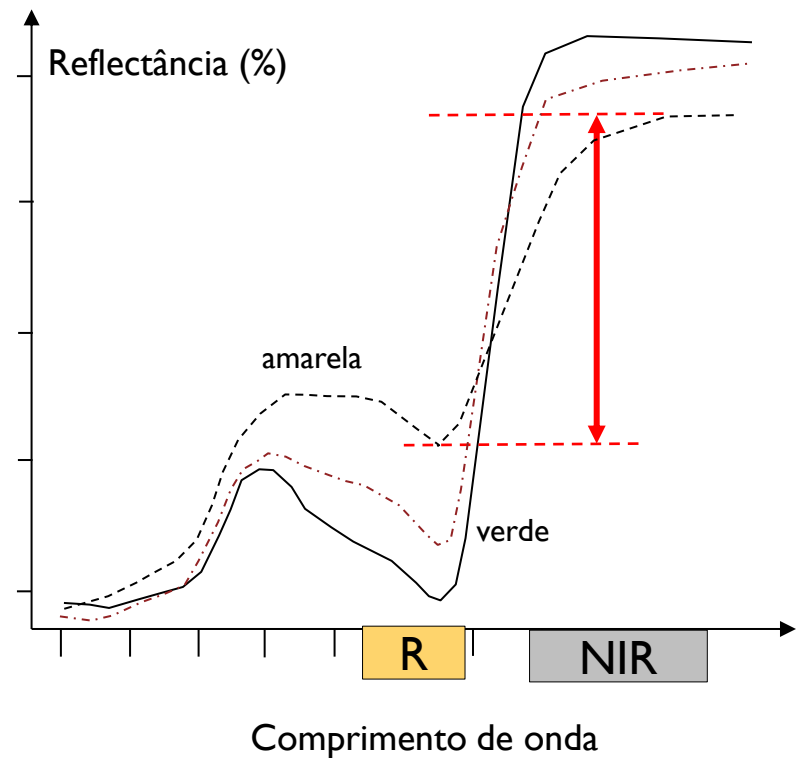
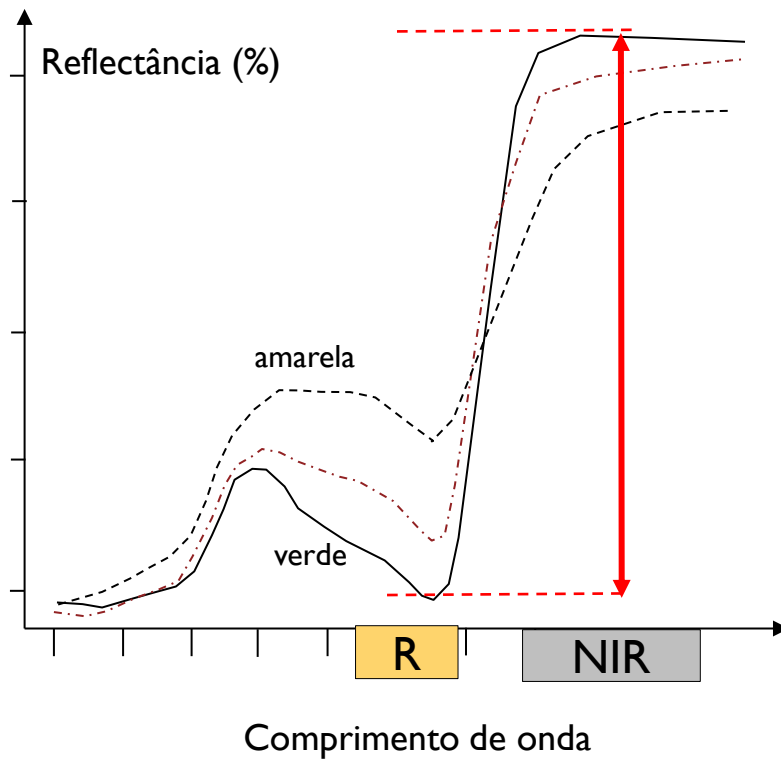
$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}$$



NDVI Normalized difference vegetation index

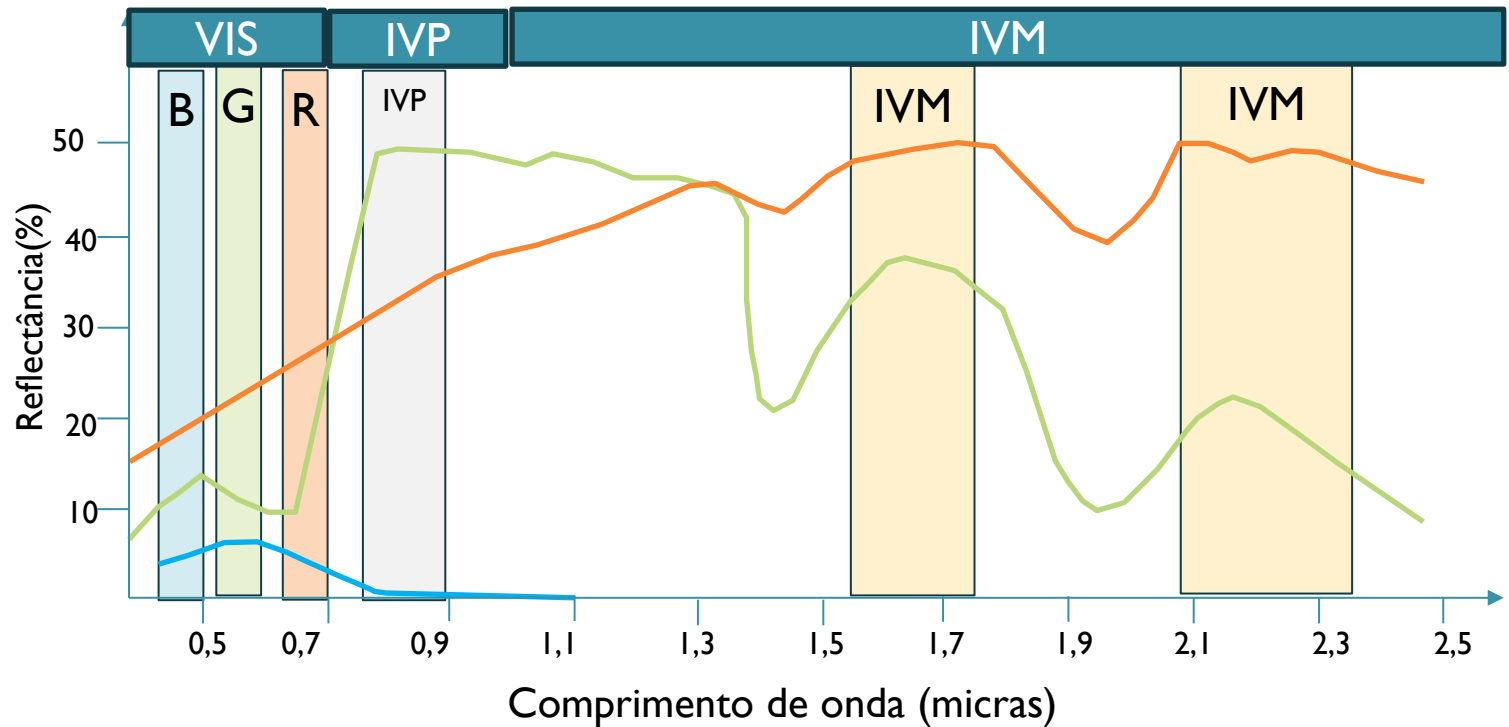
Estado da vegetação

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}$$



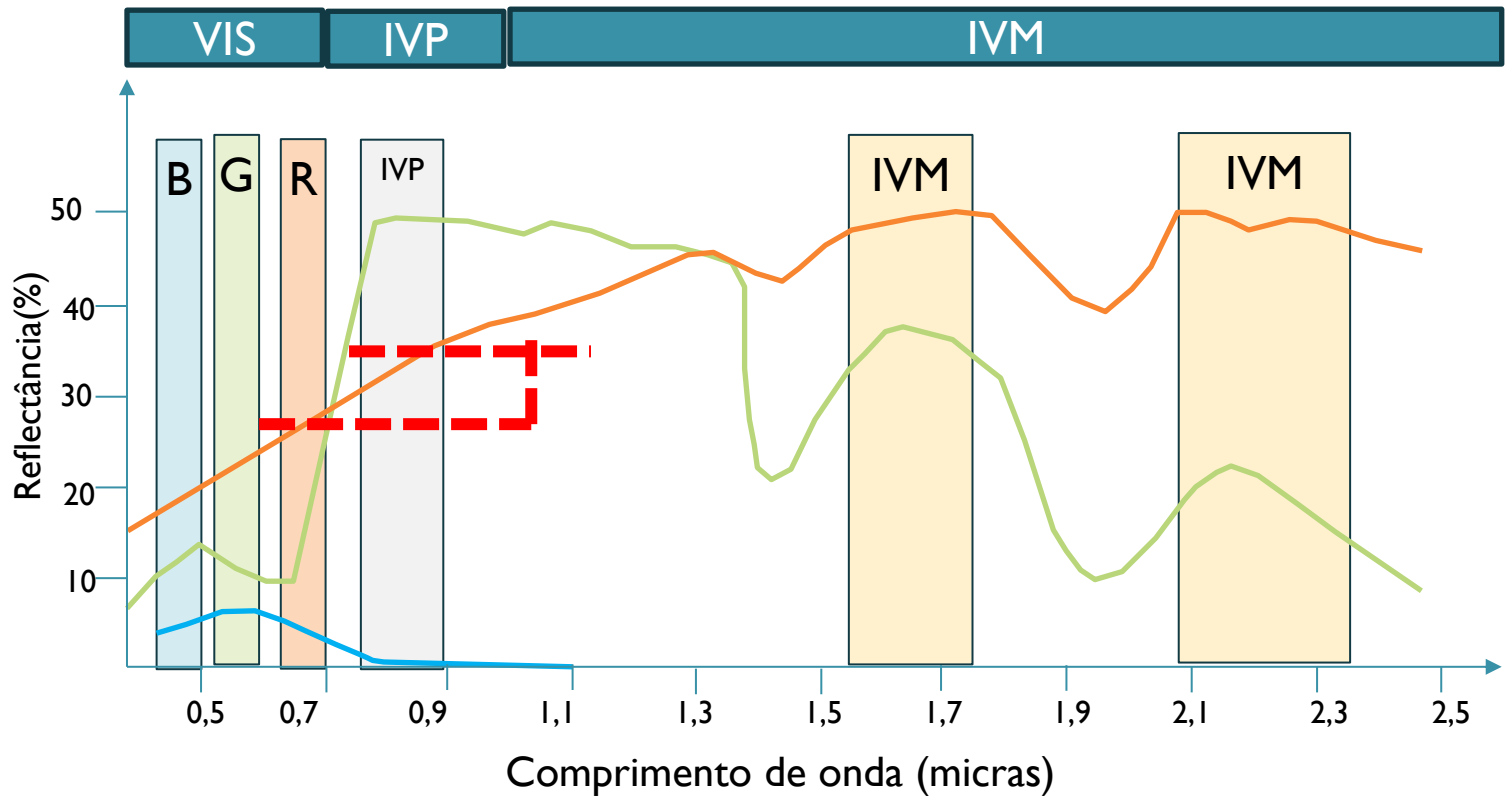
NDVI

Como ficaria o NDVI para outros alvos, como solos, áreas urbanas, água ou até nuvens?



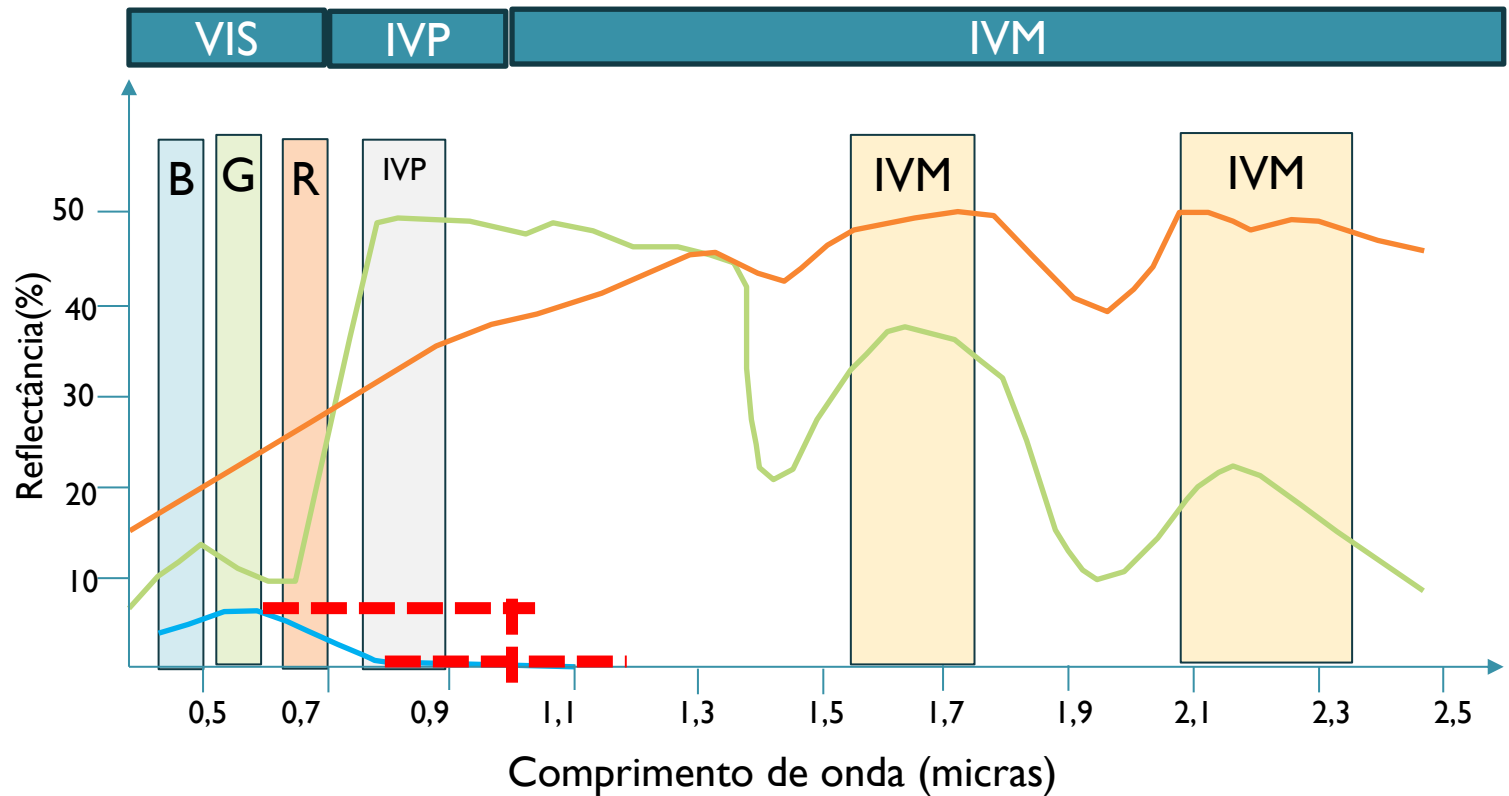
Solos

Valores positivos, mas a diferença não é tão alta como na vegetação



Água

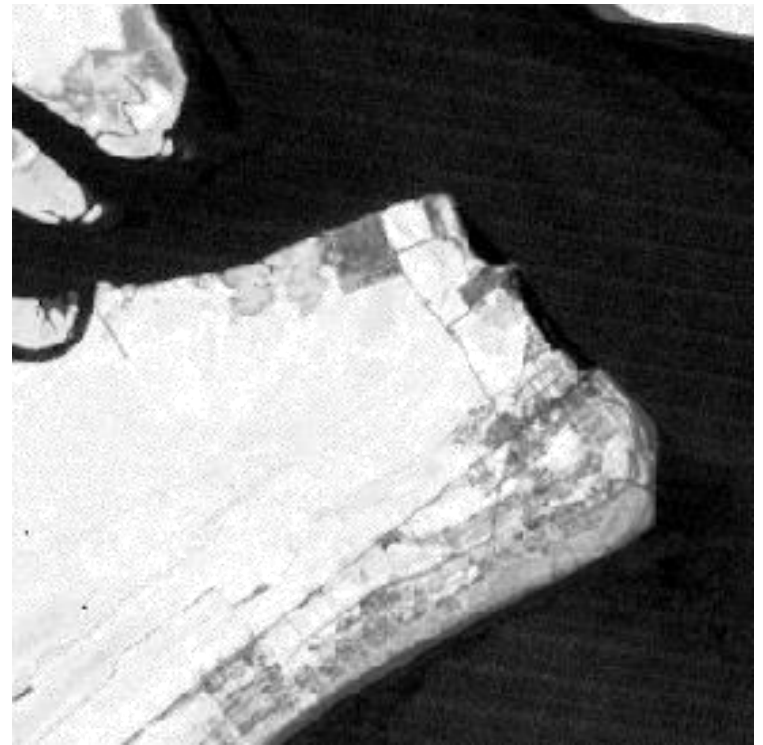
Valores são negativos, pois a água tem reflectância nula no infravermelho.



NDVI

A figura mostra a imagem do índice de vegetação derivada a partir da imagem Landsat da região de pontal do Paraná.

Nesta imagem, as área cobertas por vegetação aparecem bem claras, contrastando com as áreas urbanas, solos e a água. O efeito da umidade na vegetação é também visível nas áreas de mangue localizadas nas ilhas no canto superior esquerdo da imagem.





Gross (2005)

Gross (2005) apresenta um estudo multitemporal para monitorar o desenvolvimento da biomassa vegetal na bacia do Nilo usando séries temporais de imagens do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI). Neste estudo, Gross propõe a separação de três faixas no índice:

NDVI	Alvo
< 0,1	rochas, areia e neve.
0,2 a 0,3	arbustos e pastagens
0,6 a 0,8	florestas tropicais e temperadas

Gross, D. (2005), Monitoring Agricultural Biomass Using NDVI Time Series. Food and Agricultural Organization of the United Nations (FAO).



Hashim et al (2019) de literatura

O estudo de Gross (2005) foi desenvolvido em uma área preponderantemente rural. Um estudo em áreas urbanas é apresentado por Hashim et al (2019):

NDVI	Alvo
< 0,199	Não-Vegetação: Áreas de solo exposto, área construídas, rede rodoviária
0,2 a 0,5	Vegetação Baixa: Arbustos e pastagens
0,501 - 1,0	Vegetação Alta: Floresta urbana temperada e tropical

Hashim, H.; Latif, Z.; Asnan, N. (2019). **Urban vegetation classification with NDVI threshold value method with very high resolution (vhr) pleiades imagery**. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XLII-4/W16, 2019. 6th International Conference on Geomatics and Geospatial Technology (GGT 2019), 1–3 October 2019, Kuala Lumpur, Malaysia

exemplo

- NDVI varia entre -1.0 a 1.0,
- Valores negativos associados a água.
- Valores baixos associados a rochas, áreas urbanas e solo descoberto.
- Valores moderados (0,2 a 0,3) correspondem a arbustos e pastos.
- Valores altos, acima de 0,6 correspondem a bosques temperados e tropicais.

<https://eos.com/es/make-an-analysis/ndwi/>





Outros índices similares

Outros índices exploram esta relação, porém de forma diferente. Por exemplo:

Enhanced vegetation index

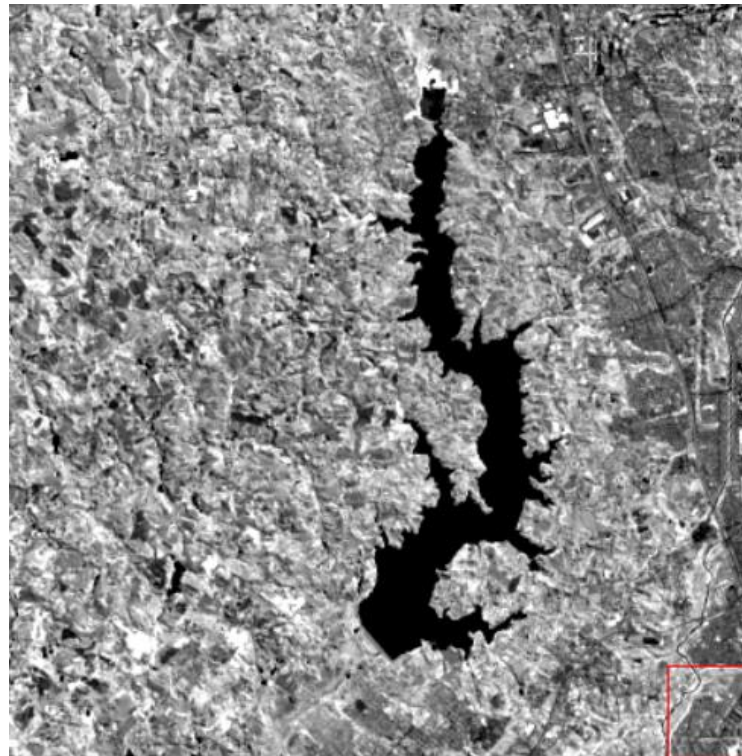
$$EVI = \frac{(NIR - RED)}{NIR + c1 * RED - c2 * BLUE + c3}$$

Com três constantes: $c1=6$; $c2=7$ e $c3=1$

Uma lista completa de índices espectrais pode ser encontrada em:
<https://www.indexdatabase.de/db/i.php>

Água

- Como aplicar o mesmo conceito para detectar água?



NDWI Normalized difference WATER index

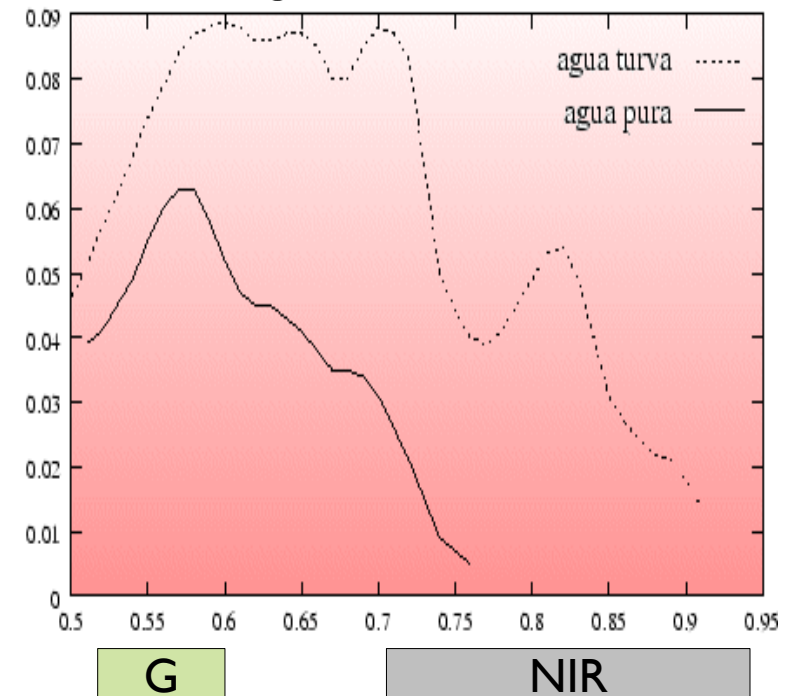
A água absorve muito a radiação incidente no infravermelho.

A água reflete um pouco (com sedimento mais ainda) no visível.

- O contraste entre bandas do visível (G Green) e infravermelho próximo (NIR) pode ser usado para detectar água.

$$NDWI = \frac{G - NIR}{NIR + G}$$

permite detectar corpos de água
e analisar seu teor de sedimentos

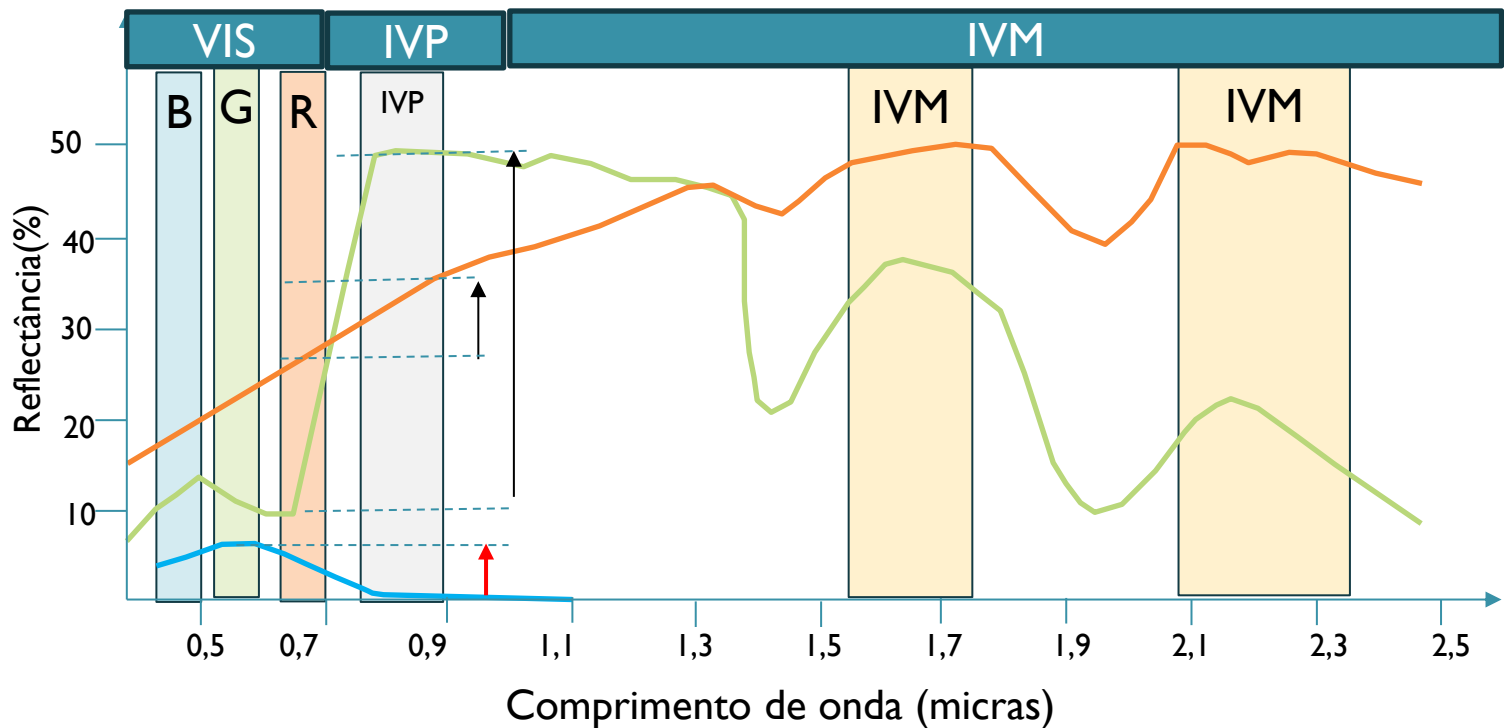


NDWI - Water Index

Como seriam os valores de vegetação?

E de solos?

$$NDVI = \frac{G - NIR}{NIR + G}$$



interpretar o NDWI

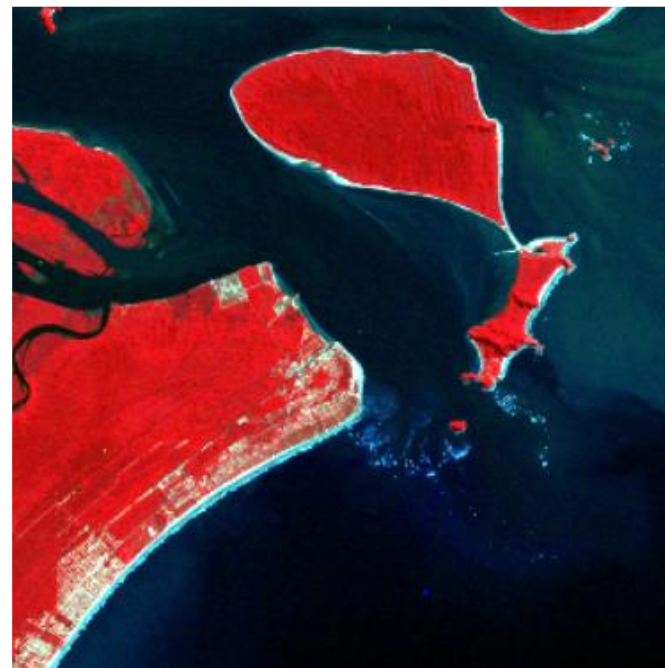
Os valores de corpos d'água são maiores que 0,5.

A vegetação e áreas construídas têm valores muito menores, o que permite em distinguir lagos e rios.

Os valores NDWI podem ser classificados:

- 0,2 – 1 : Superfície de água,
 - 0,0 – 0,2 : área úmida,
 - -0,3 – 0,0 : Seca moderada, sem água,
 - -1 – -0,3 : Seca, sem água (Vegetação ou áreas construídas)
-
- Cuidado, água pode ser confundida com sombras.

<https://eos.com/es/make-an-analysis/ndwi/>



Índices e iluminação

A aparência dos pixels, mesmo pertencendo ao mesmo alvo, pode ser diferente em função das condições de iluminação.

O efeito das condições de iluminação pode ser formulado como uma componente multiplicativa sobre o valor original :

- $B_{IA} = a * B_I$
- $B_{2A} = a * B_2$
- $B_{3A} = a * B_3$



Um pouco de álgebra

Se o fator multiplicativo for considerado próximo, então parte da contribuição atmosférica pode ser diminuída.

$$B_{1A} = a_1 * B_1, \quad B_{2A} = a_2 * B_2, \quad a_1 \approx a_2$$

Como o fator é constante para todas as bandas, ele pode ser eliminado pela combinação aritmética das três bandas:

$$I = \frac{B_{2A} - B_{1A}}{B_{2A} + B_{1A}}$$

$$I = \frac{a * B_2 - a * B_1}{a * B_2 + a * B_1}$$

$$I = \frac{a * (B_2 - B_1)}{a * (B_2 + B_1)}$$

$$I = \frac{B_2 - B_1}{B_2 + B_1}$$

Combinação de bandas

Para três bandas espectralmente próximas:

$$B_{1A} = a_1 * B_1,$$

$$B_{2A} = a_2 * B_2,$$

$$B_{3A} = a_3 * B_3,$$

$$a_1 \approx a_2 \approx a_3$$

Como o fator é constante para todas as bandas, ele pode ser eliminado pela combinação aritmética das três bandas:

$$Ima = \frac{B_{3A} - B_{2A}}{B_{2A} - B_{1A}}$$

$$Ima = \frac{a * (B_3 - B_2)}{a * (B_2 - B_1)}$$

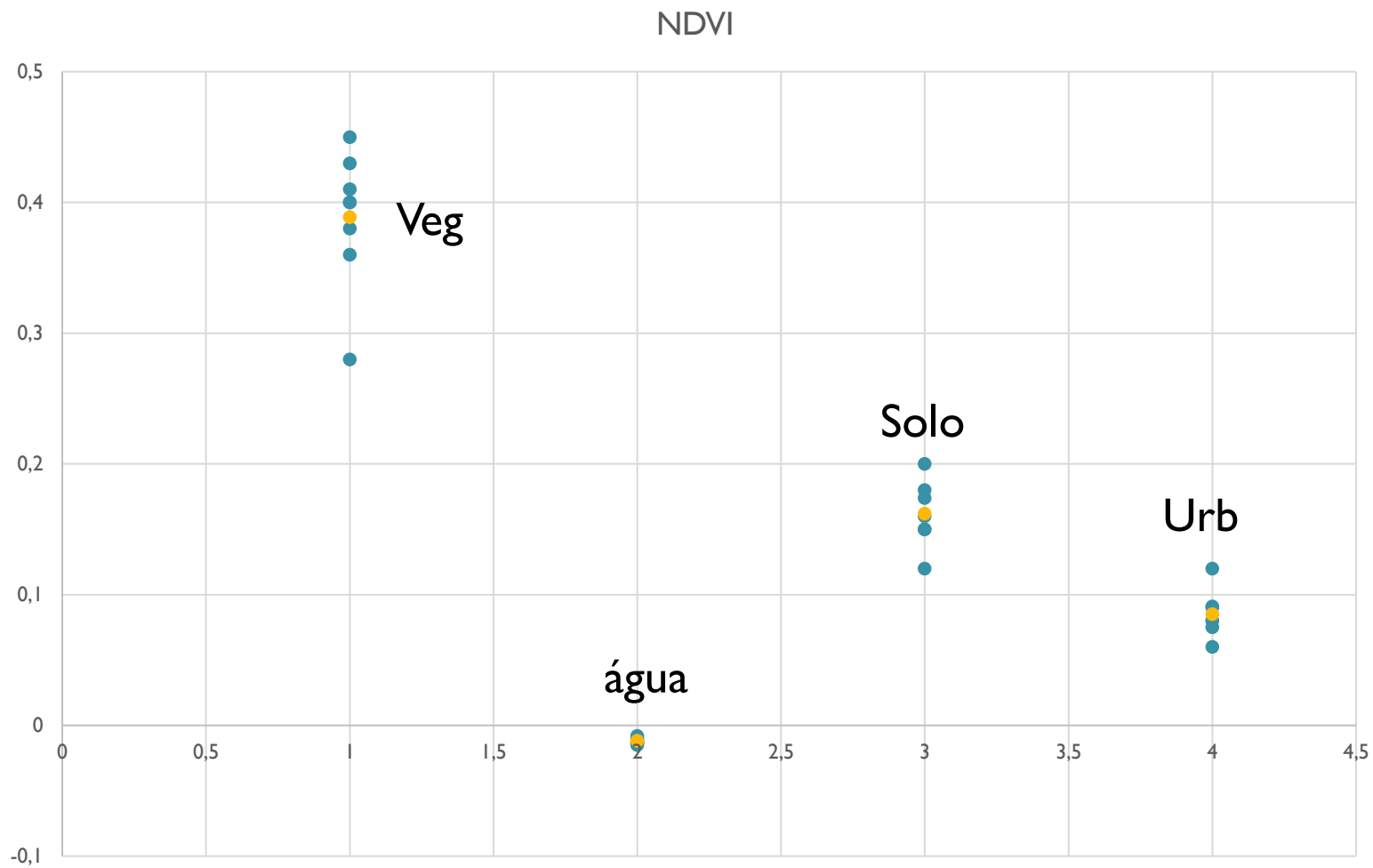
$$Ima = \frac{B_3 - B_1}{B_2 - B_1}$$



Tarefa

- Usando a imagem de pontal de Curitiba, calcule o índice de vegetação NDVI
 - Leia valores para vegetação, solo, água e área urbana.
- Calcule o índice de água NDWI em áreas de reservatórios e em áreas ocupadas por vegetação ou solos.

NDVI



Em GEE

```
// definir região de estudo através um ponto
var geometry = ee.Geometry.Point( [ -48.35, -25.51] );
Map.centerObject(geometry, 11);
// carregar imagem TOA (Top of the atmosphere)
var imagem =
ee.Image('LANDSAT/LC08/C02/T1_TOA/LC08_220078_20210525');

// Selecionar as bandas que deseja visualizar E alguns
parâmetros:
var visParams = {bands: ['B4', 'B3', 'B2'], min: 000, max:
65000, gamma: 1.3};
// Visualizar imagem.
Map.addLayer(imagem, visParams, 'Landsat 8 OLI');
print(imagem.bandNames())
```



calcular diferença simples

```
//selecionar bandas e calcular diferença
```

```
var nir = imagem.select('B5');
```

```
var red = imagem.select('B4');
```

```
var di = nir.subtract(red);
```

```
// Add map layers
```

```
Map.addLayer(di, {min: -1000, max: 10000,  
palette: ['black', 'yellow', 'green']},  
'diferença VI simples',false);
```



(NDVI) do OLI Landsat.

```
var nir = imagem.select('B5');  
var red = imagem.select('B4');  
var ndvi =  
nir.subtract(red).divide(nir.add(red)).rename('NDVI');  
  
// mostre o índice em tons de verde e azul.  
var ndviParams = {min: -1, max: 1, palette: ['blue', 'white',  
'green']};  
Map.addLayer(ndvi, ndviParams, 'imagem do NDVI');
```

Fatiamento

```
// Classificar NDVI em 4 faixas segundo Gross, incluindo agua
```

```
var ndvi2 = ee.Image(1)  
  .where(ndvi.lte(0.0), 1)    // agua  
  .where(ndvi.gt(0.0).and(ndvi.lte(0.2)), 2) //solo, urb  
  .where(ndvi.gt(0.2).and(ndvi.lte(0.5)), 3) // veg baixa  
  .where(ndvi.gt(0.5), 4)    // veg densa
```

```
// Add map layers
```


```
Map.addLayer(ndvi2, {min: 1, max: 4, palette:  
['#0000FF','#FF0000','#FFFF00', '#00FF00' ]}, 'NDVI fatiado',true);
```



ou usando a funcao pronta...

```
var ndvi3 = imagem.normalizedDifference(['B5',  
'B4']).rename('NDVI');
```

```
Map.addLayer(ndvi3, ndviParams, 'imagem do NDVI3');
```


- 
- Você pode delimitar um retângulo com o mouse (geometry)
 - E recortar a imagem dentro desse retângulo, ...
 - `var vi = imagem.clip(geometry);`

- 
- Calcule o índice de água...