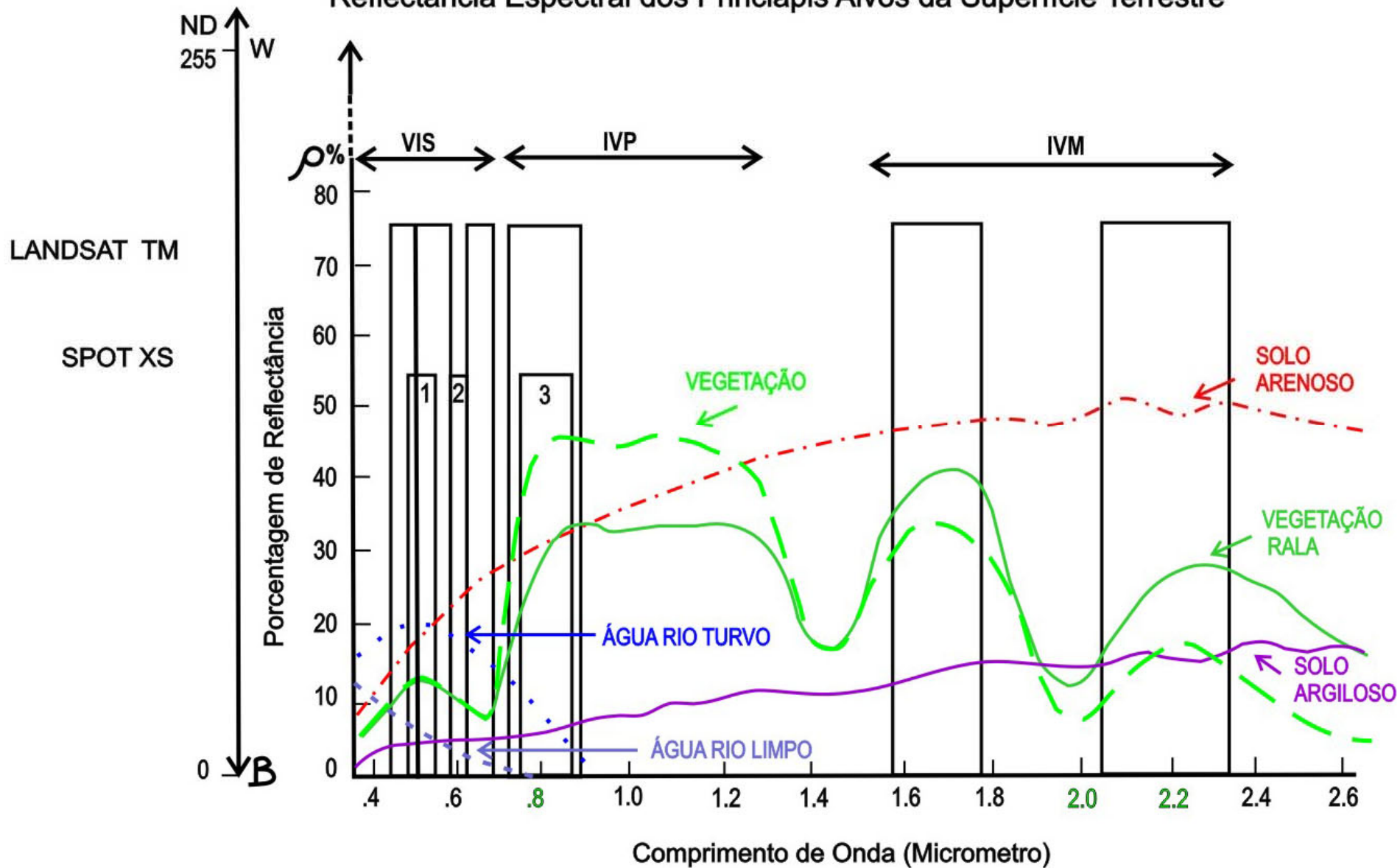


SENSORIAMENTO REMOTO DE ECOSSISTEMAS TERRESTRES E AQUÁTICOS: FUNDAMENTOS.

Dra. Marisa Dantas Bitencourt

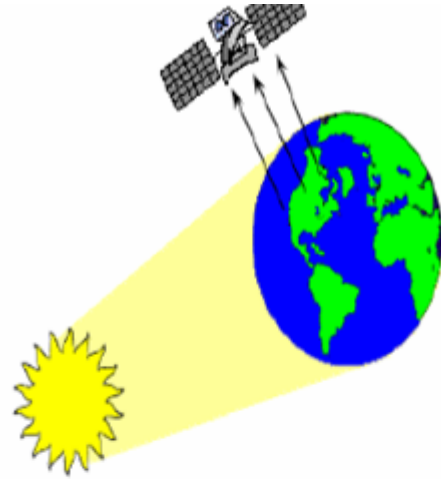
*LEPaC - Lab. de Ecologia da Paisagem e Conservação
Departamento de Ecologia
Instituto de Biociências
Universidade de São Paulo*

Reflectância Espectral dos Principais Alvos da Superfície Terrestre

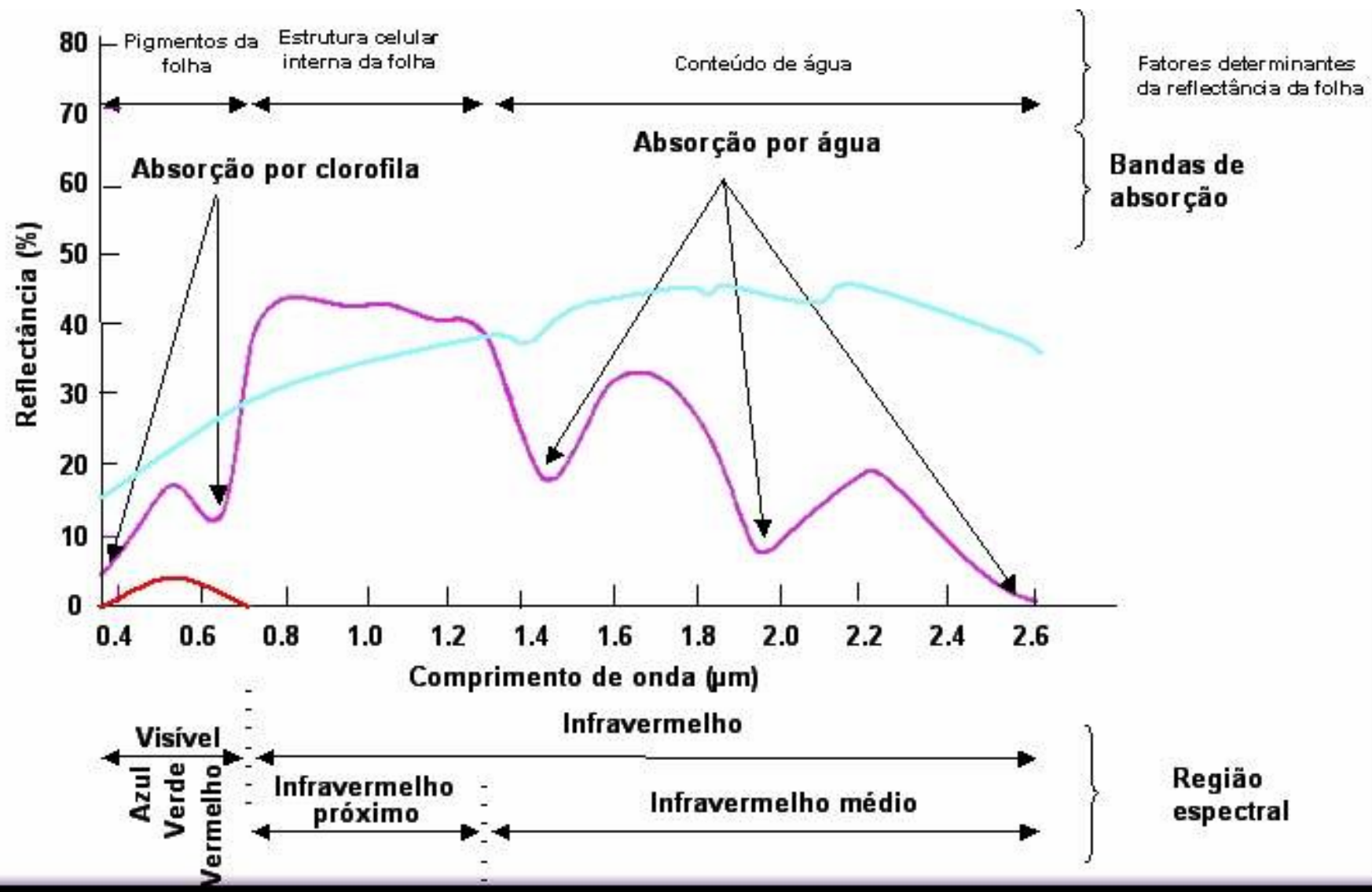


COMO INTERPRETAR?

- Comportamento Espectral da cobertura vegetal



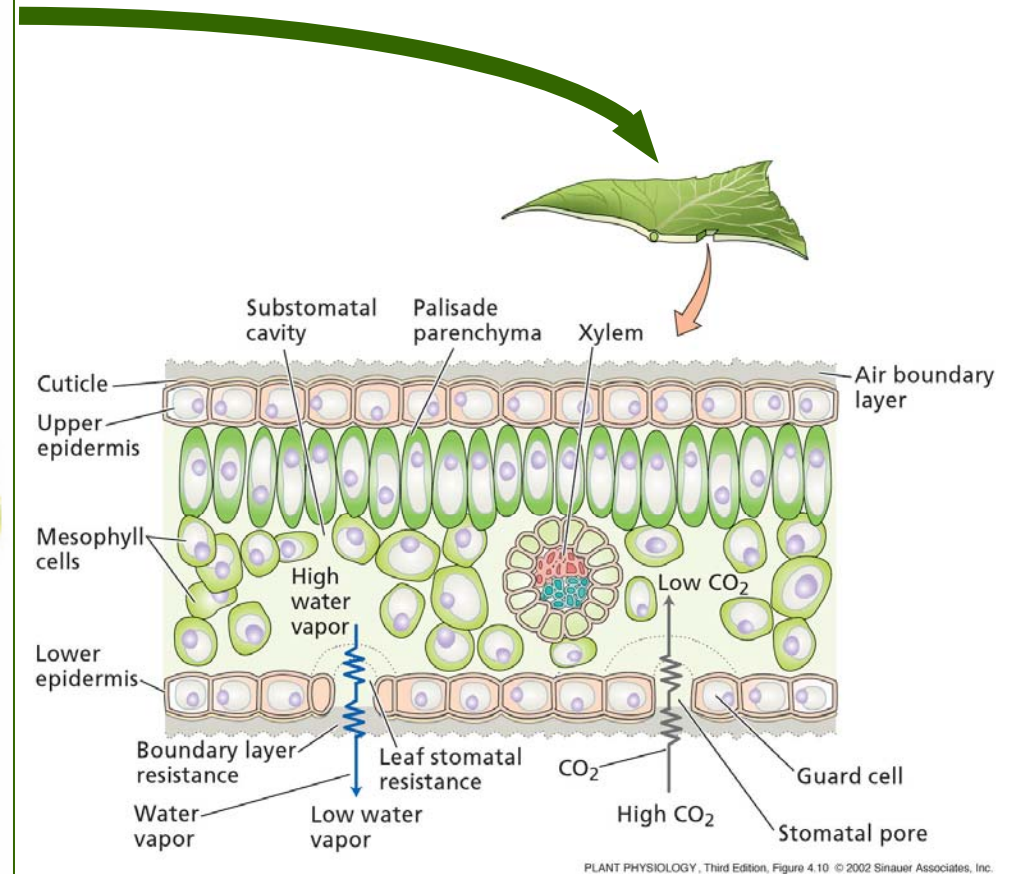
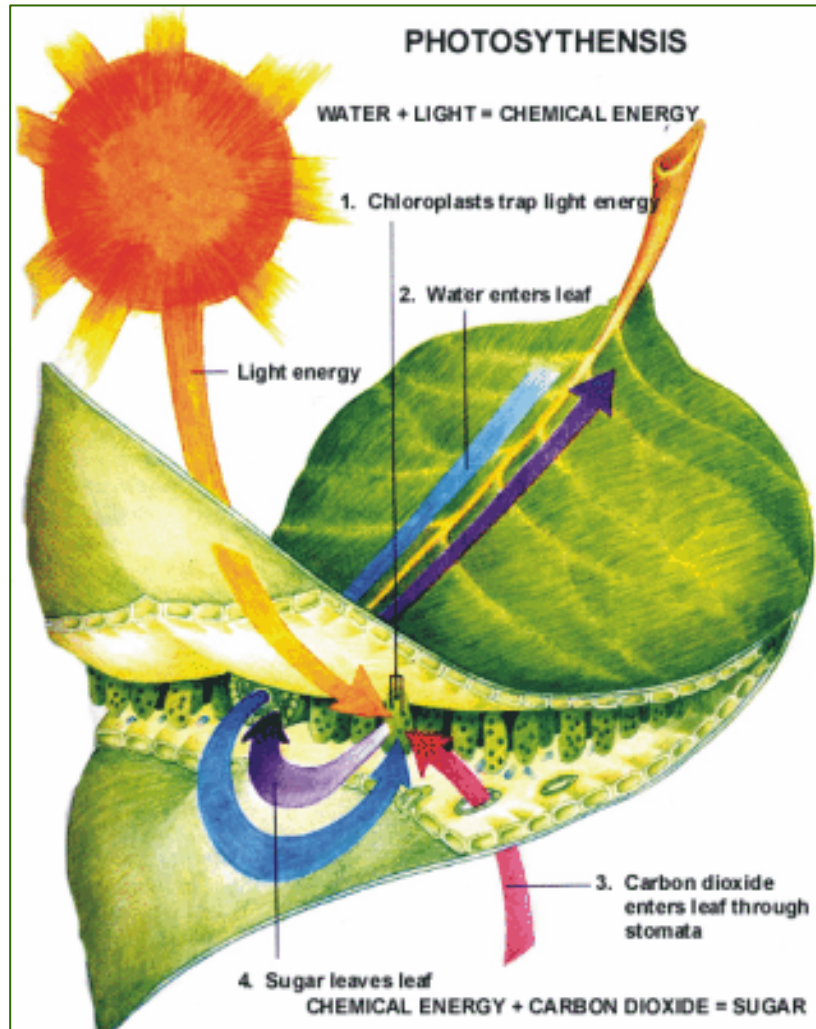
Sensores Passivos: Sistemas ópticos



COMPORTAMENTO ESPECTRAL DA VEGETAÇÃO

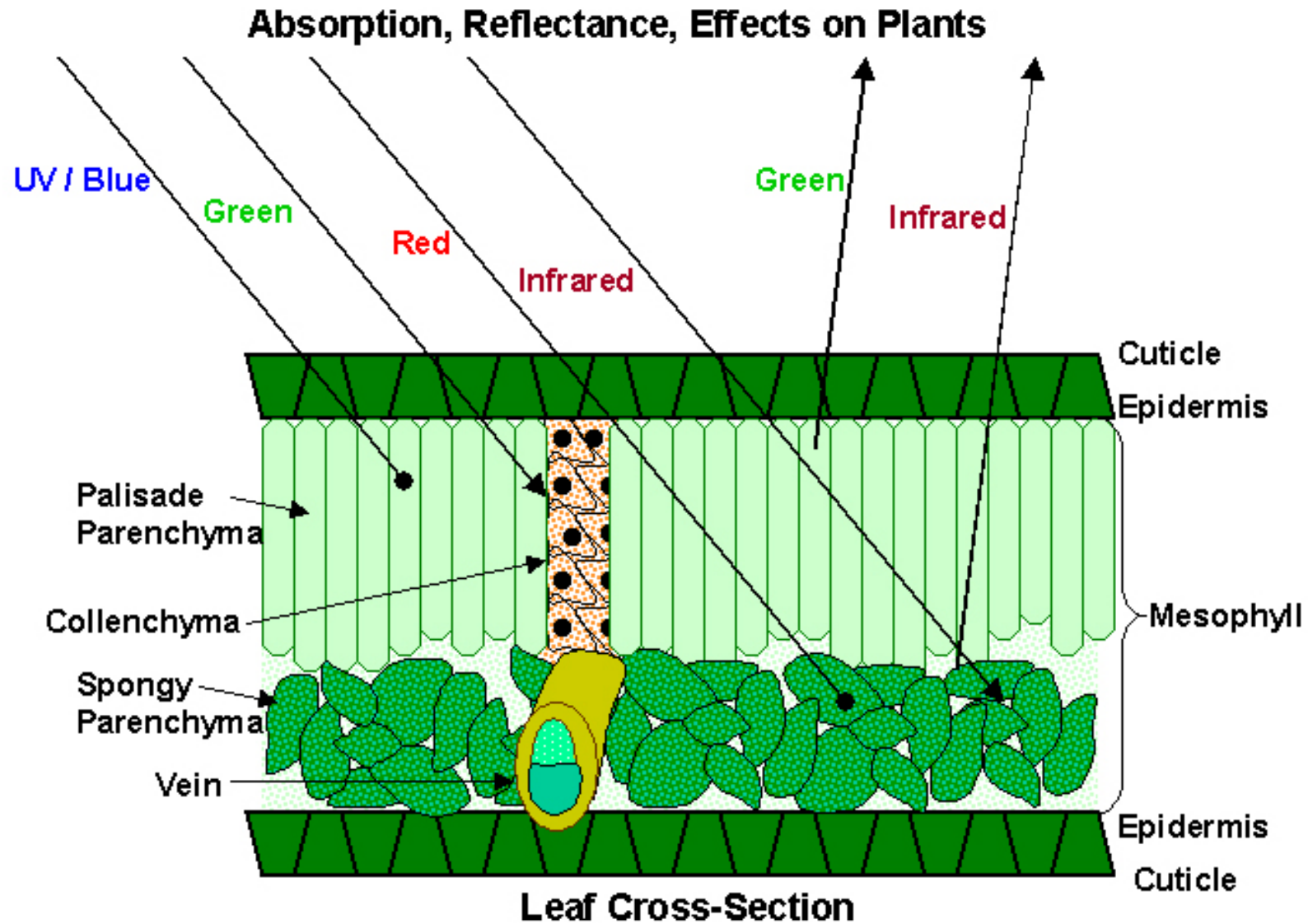
As propriedades físicas da FOLHA - no VIS -> Pigmentos - no IVP -> arranjo espacial do mesofilo - no IVM -> moléculas de água	Interação da REM e a FOLHA no VIS -> absorção pelos cloroplastos no IVP -> retroespalhamento - variação de coeficiente de refração entre os espaços intracelulares e os espaços aéreos o IVM -> absorção pelas moléculas de H₂O presente nas células
Fatores que interferem nesta interação - idade das folhas - outras variáveis fenológicas - arquitetura dos indivíduos - porcentagem de solo exposto - porcentagem de necromassa	A Reflectância tem relação: - DIRETA com: - Índice de Área Foliar - Fitomassa foliar verde - INDIRETA com: - Pigmentos na célula - Teor de água na célula

Estrutura foliar

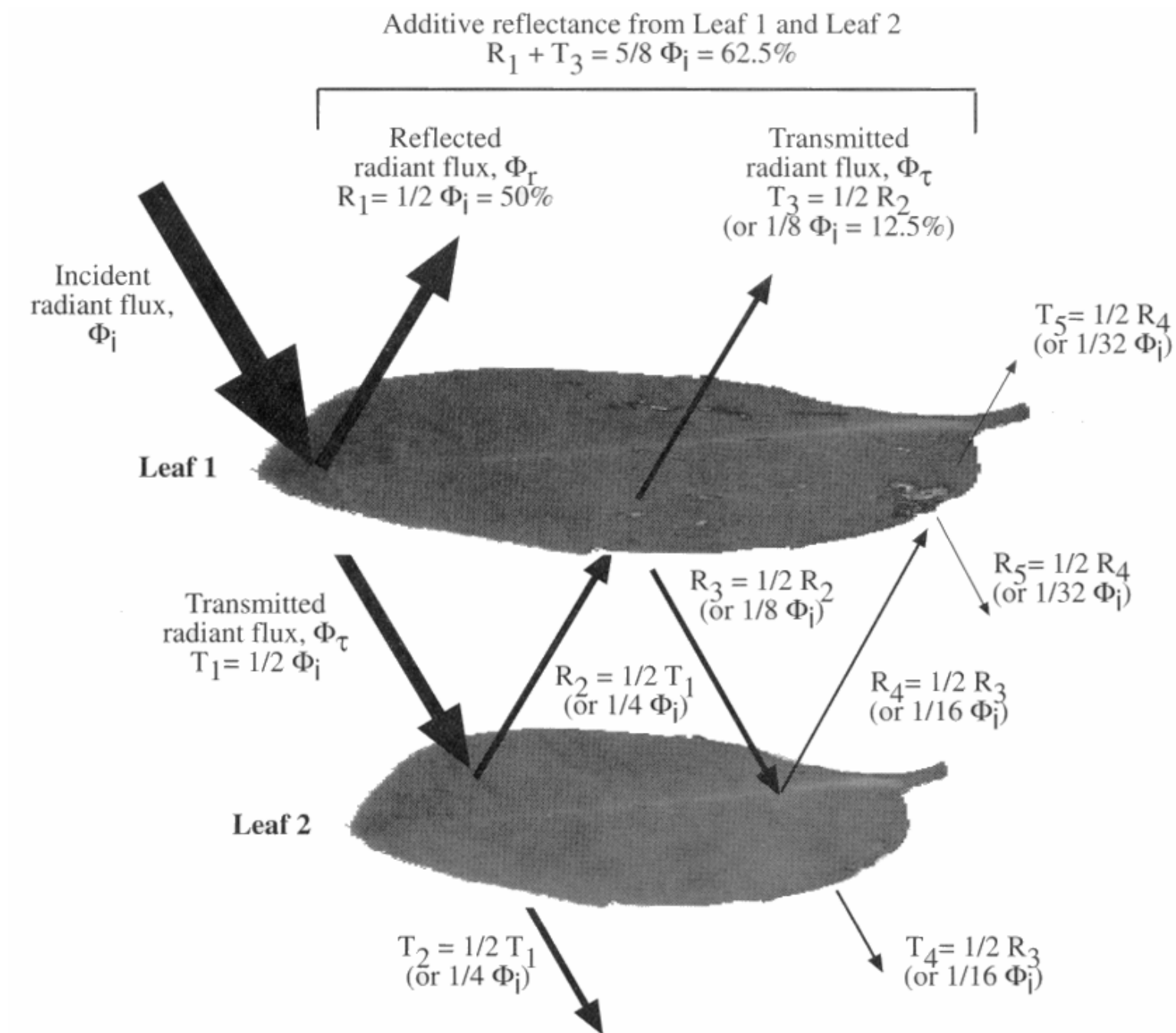


<http://www.caribbeanedu.com/kew1/science/science04d.asp>

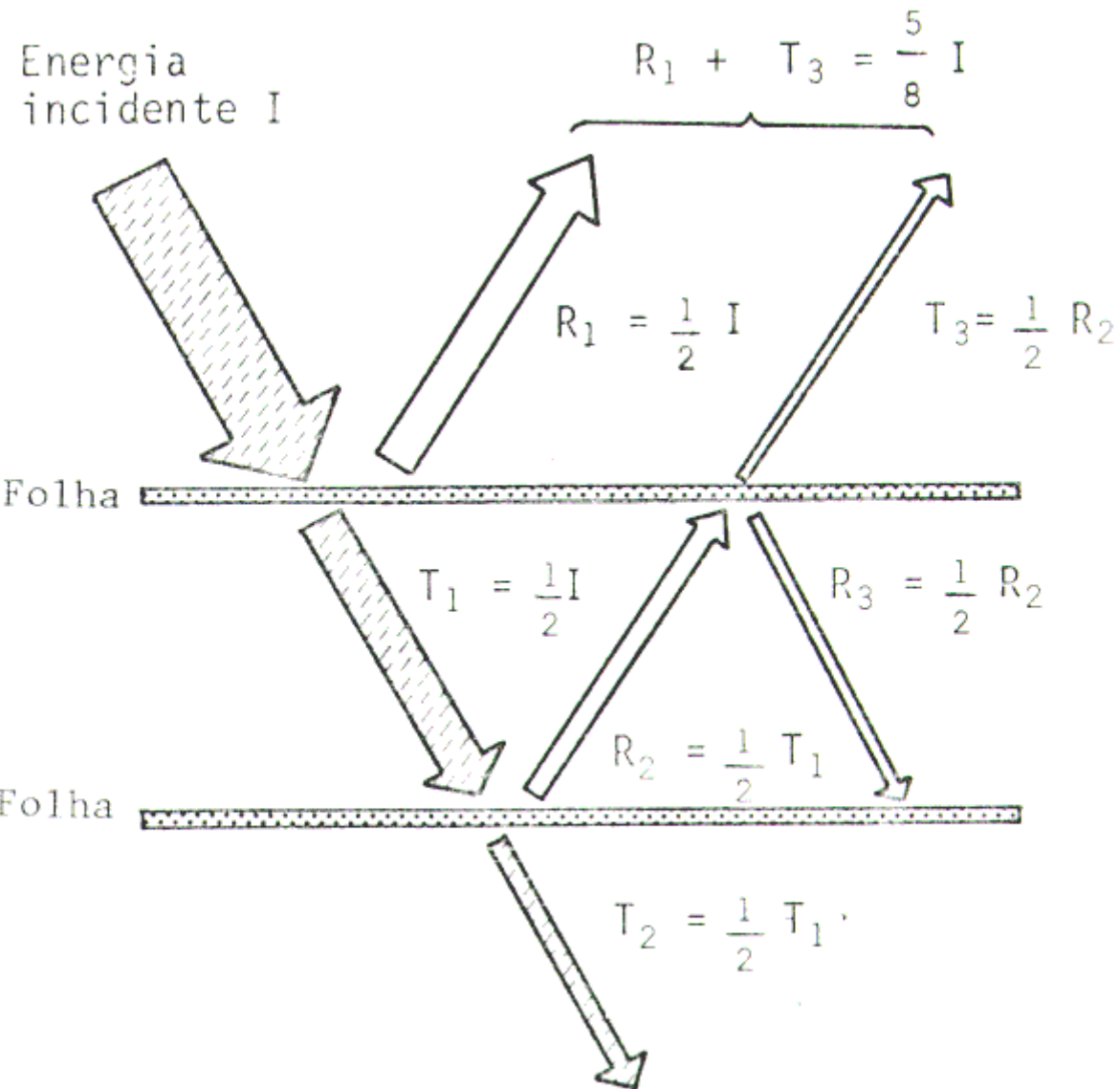
Sintetizando...

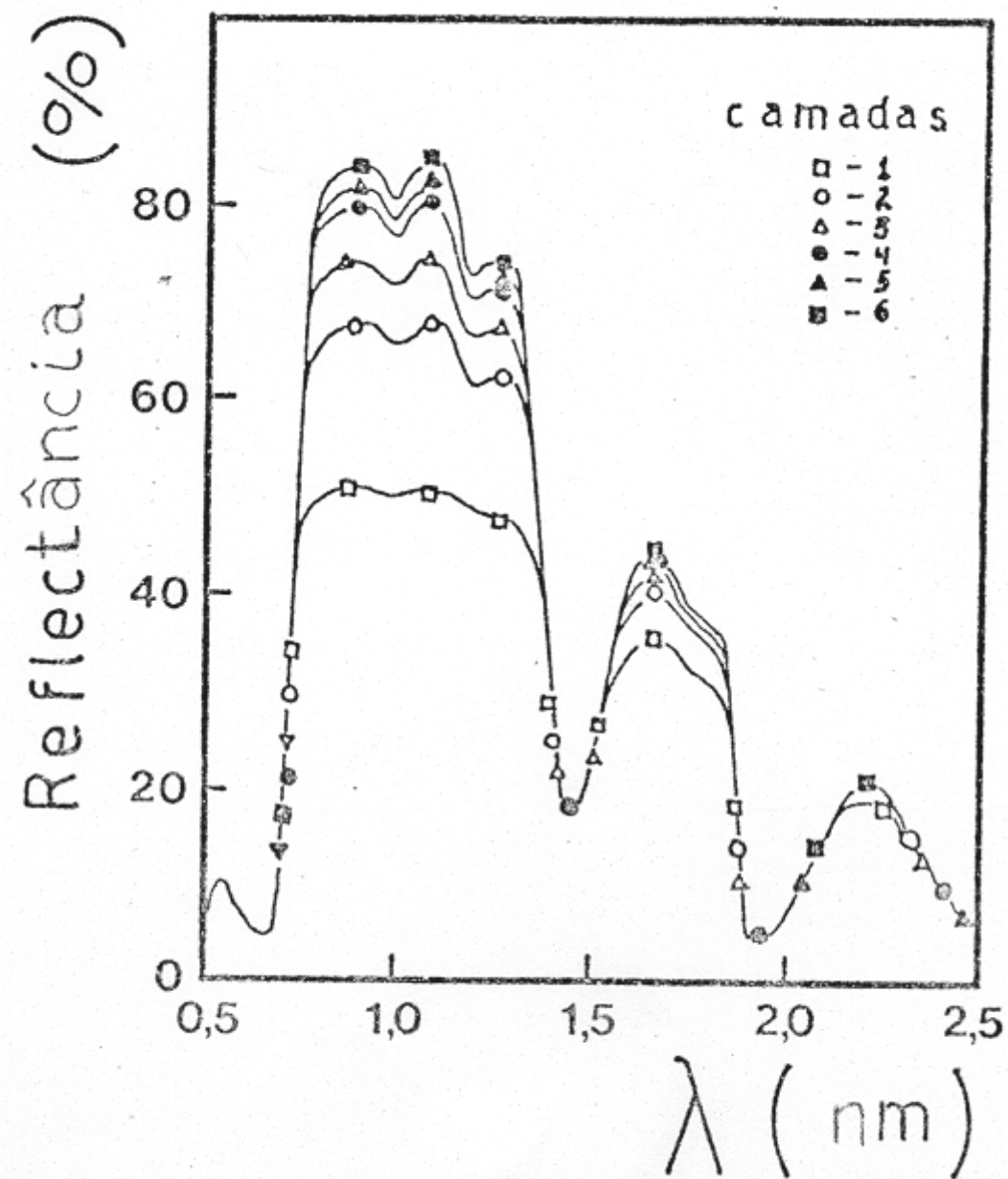


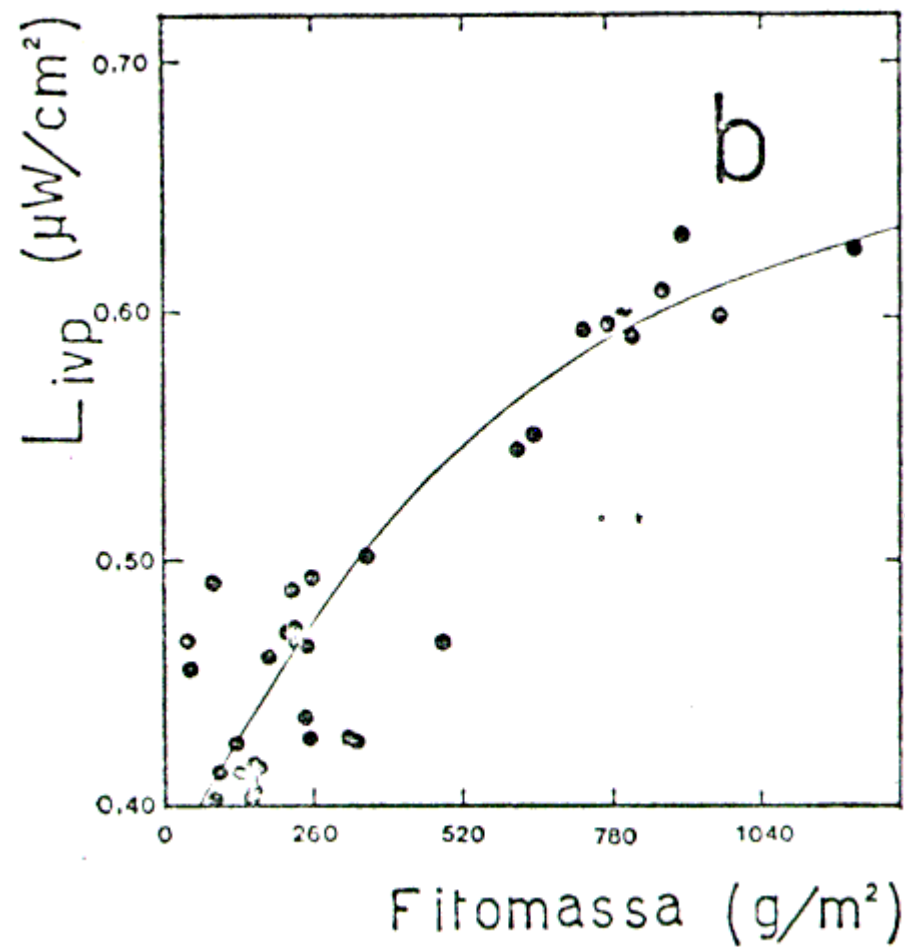
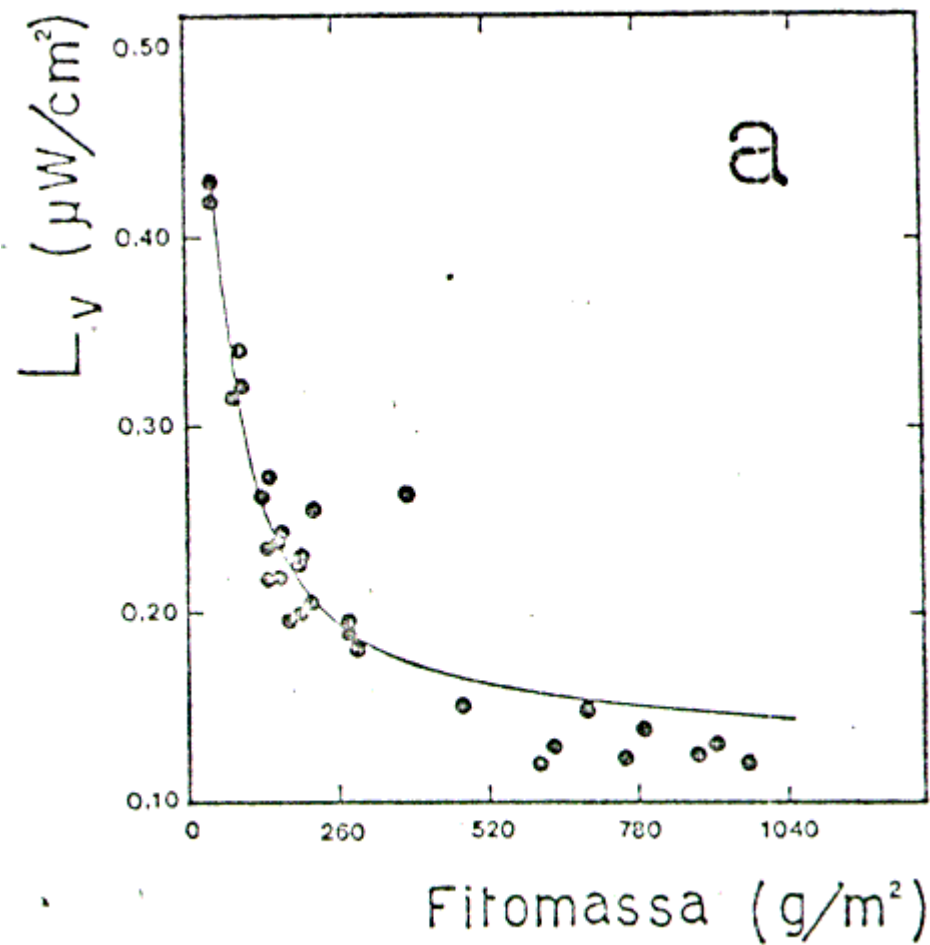
http://landsat.usgs.gov/resources/remote_sensing/radiation.php



Reflectância efetiva







COMO INTERPRETAR?

- Comportamento Espectral dos corpos d'água.

Comportamento espectral da água

A água absorve fortemente em todas as faixas REM.

Os particulados em suspensão são responsáveis pela turbidez da água provocando um espalhamento da radiação incidente, que resulta em Radiação Emergente do corpo d'água.

Esta turbidez depende:

- do tipo,
- da quantidade e
- da qualidade do particulado em suspensão.

A Radiação Emergente é o resultado do espalhamento da radiação na zona eufótica. Vale a lei de Beer → irradiância (I) decresce com a profundidade, exponencialmente:

$$I_z = I_o \exp - K_z$$

z = energia no limite máximo da zona eufótica

o = energia ao nível da lâmina d'água

K = coeficiente de atenuação vertical

Downwelling
Sun and sky
irradiance

Total radiance

$$L_t = L_p + L_s + L_v + L_b$$

E_{Sun}
and
 E_{sky}

Atmosphere

L_p

L_s

L_v

L_b

Water

Bottom

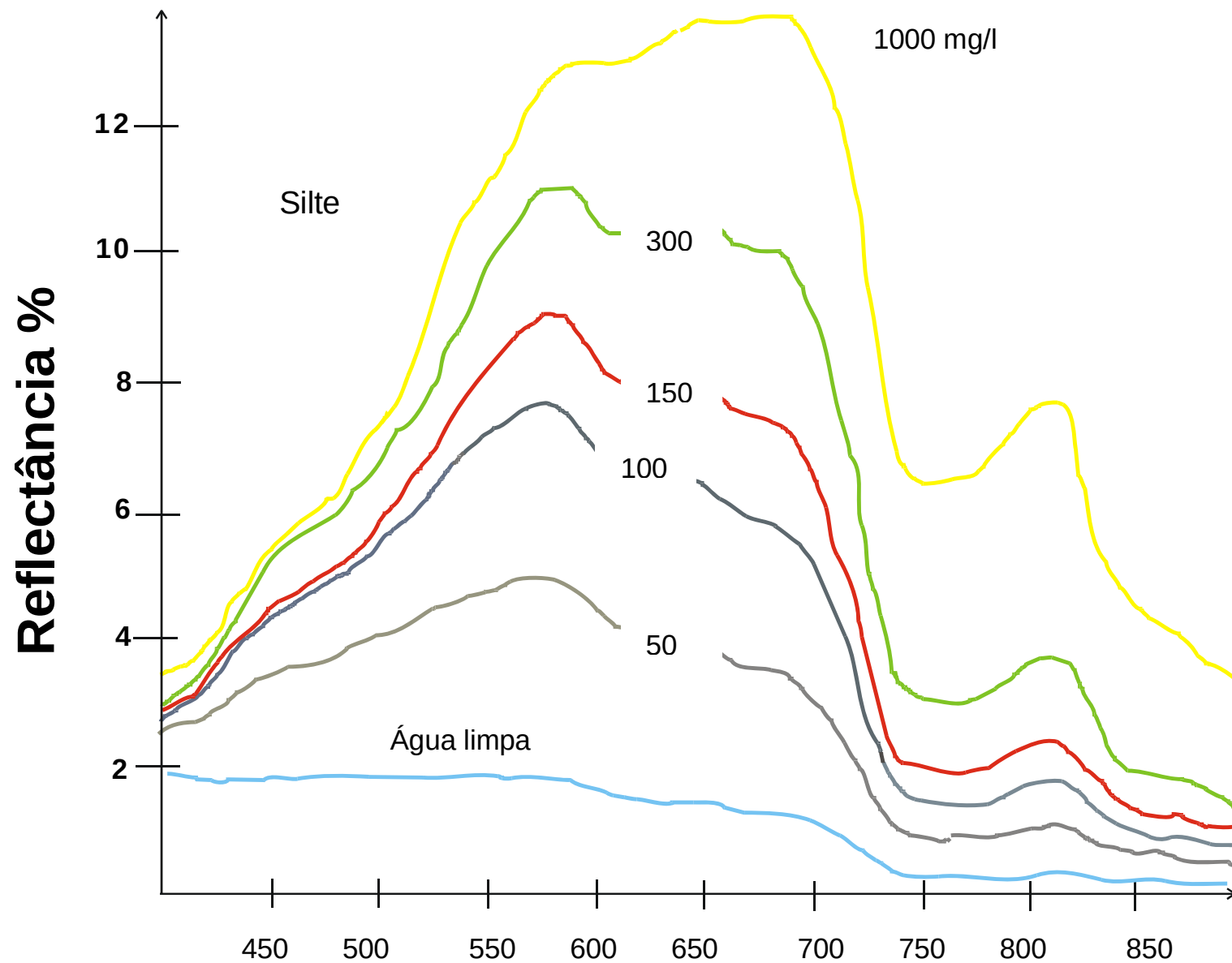
L_p = radiância da atmosfera

L_s = radiância da superfície

L_v = radiância volumétrica

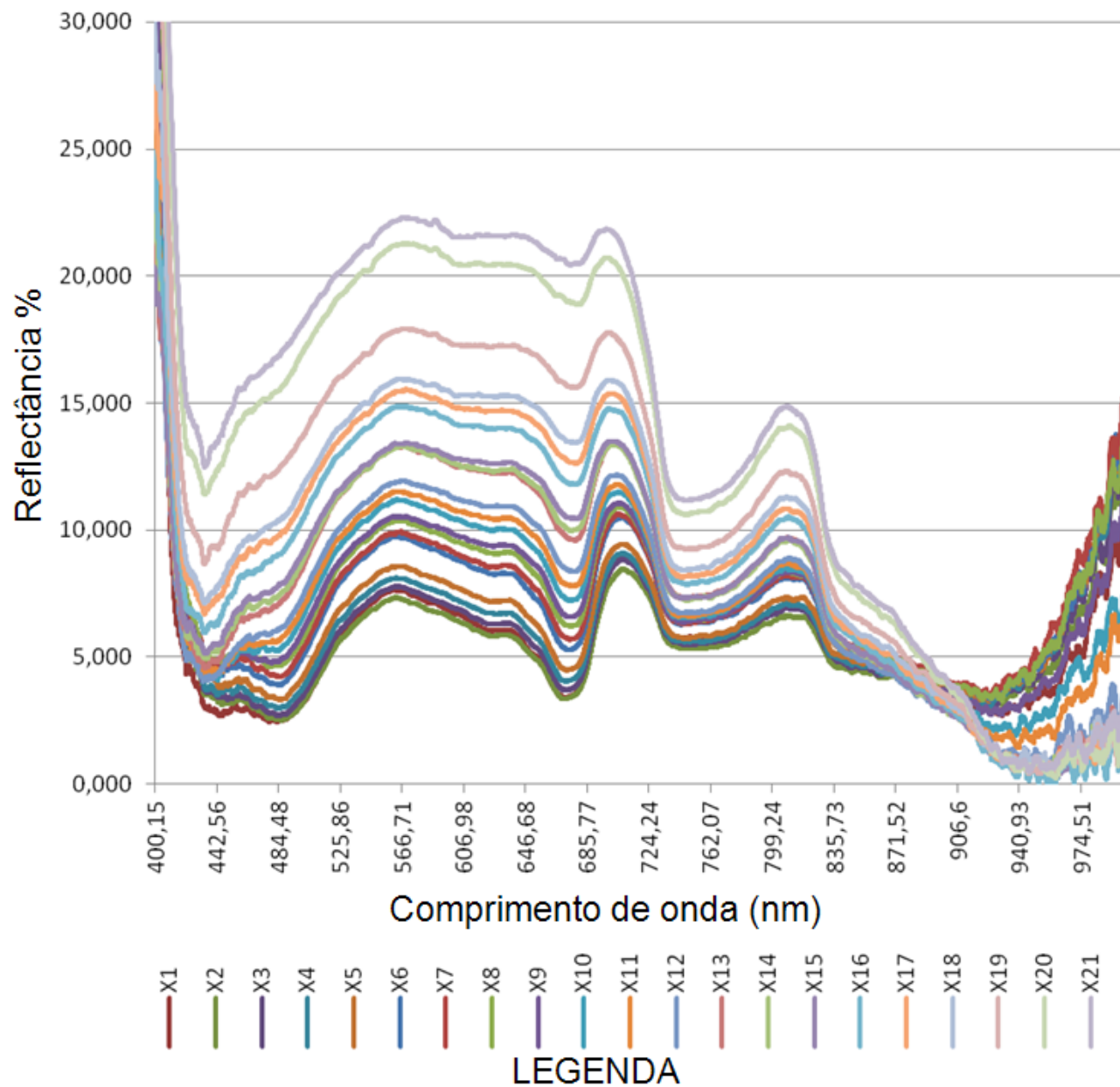
L_b = radiância do fundo

Jensen, 2000



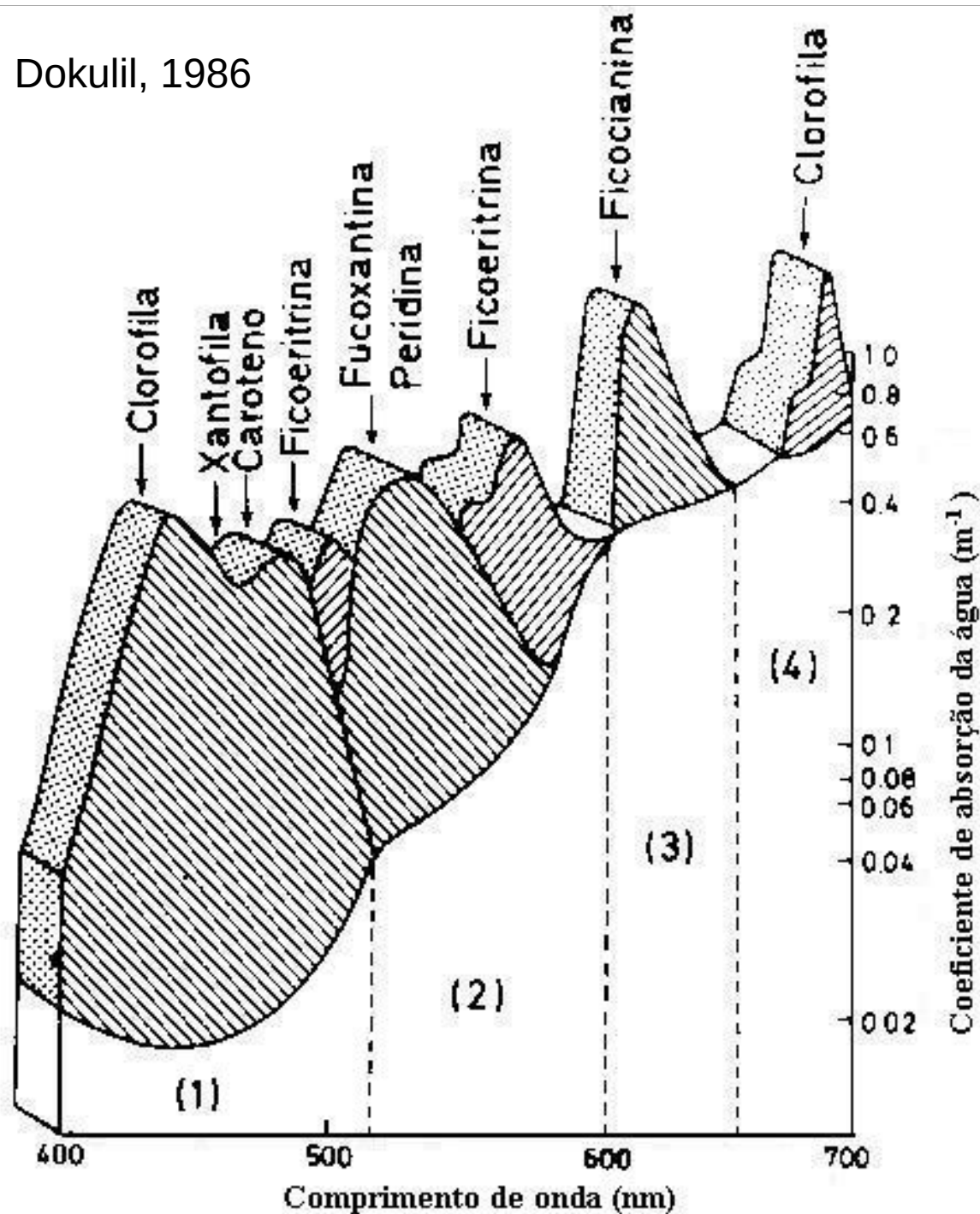
Jensen, 2000

Comprimento de onda (nm)



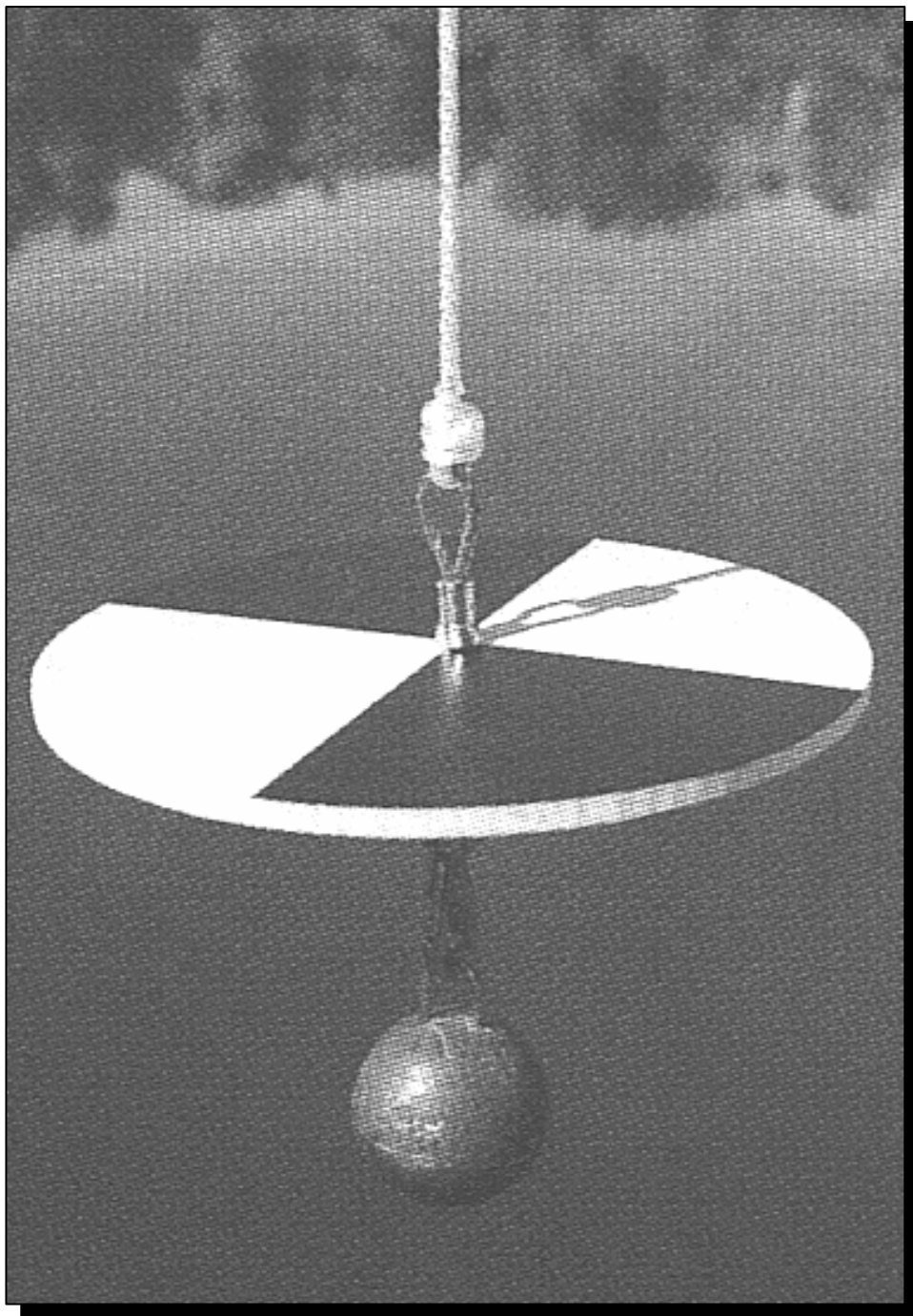
Espectros de reflectância das 21 diluições efetuadas de uma água com alta concentração de fitoplâncton.

Dokulil, 1986



A concentração dos pigmentos tem uma relação direta com o conteúdo de algas ou macrófitas submersas presentes na zona eufótica, e é diretamente proporcional à reflectância emergente daquele corpo d'água, nas faixas do visível.

Esta concentração revela o estado trófico do corpo d'água.



Disco de Secchi (DS)

A profundidade em o DS desaparece, tem uma relação direta com a turbidez na zona eufótica, que é diretamente proporcional à reflectância emergente daquele corpo d'água, nas faixas do visível.





ASTER
Pixel 15x15m







LANDSAT pixel 30x30m



Reservatório Rio das Pedras (Complexo Billings) - Imagens Composição Colorida de junho / 86 (esquerda) e 93 (direita) - verde claro = *Pistia stratiotes* (alface d'água)

COMO TRATAR AS IMAGENS?

- Análise Qualitativa
- Análise Quantitativa

I. Análise Qualitativa:

- Composição colorida

(imitando fotografia falsa-cor ou fotografia colorido natural)

- escolher 3 imagens de faixas que representem as variáveis de seu interesse;
- atribuir uma das 3 cores primárias (azul, verde e vermelho) a cada imagem ; e
- usar a imagem do infravermelho próximo como guia (vegetação e rochas refletem muito e água quase não reflete nessa faixa).

Imagens SPOT e Landsat Thematic Mapper Universidade de São Paulo e Região

Imagem SPOT Pancromática (1pixel = 10mx10m)
Faixa Espectral (0.51-0.73 μm)



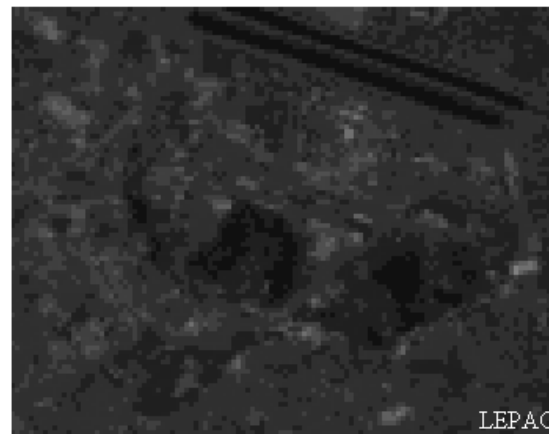
TM Landsat 1:1 (1pixel = 30mx30m)
Composição Colorida BGR - 345



(B) Azul

(G) Verde

(R) Vermelho



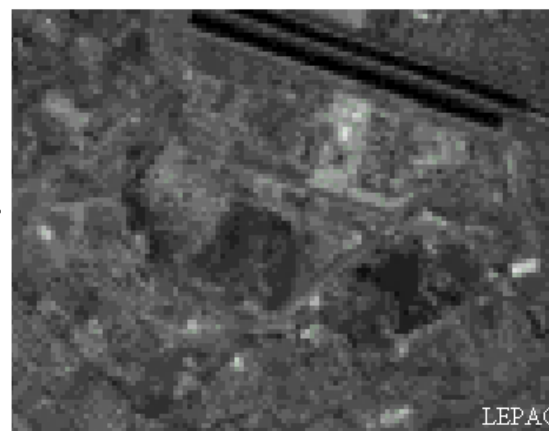
Vermelho

Faixa
Espectral
(0,63-0.69 μm)



Infravermelho
próximo

Faixa
Espectral
(0,76-0.90 μm)



Infravermelho
médio

Faixa
Espectral
(1.55-1.75 μm)

Ribeirão Preto







II. Análise Quantitativa:

- Índices diversos (modelos numéricos, lineares ou não, que são proporcionais a alguma variável).

- Índices de vegetação
- Índices de umidade
- Índice de lâmina d'água
- Índice de área foliar
- Índice de eutrofização

II. Análise Quantitativa:

- Índices de Vegetação (modelos numéricos, lineares ou não, que são proporcionais a densidade de vegetação viva por área).

NDVI* (normalized difference vegetation index) = $(ivp - verm)/(ivp + verm)$

TVI (transformed vegetation index) = $\sqrt{NDVI + 0,5}$

PVI (perpendicular vegetation index) = NDVI + curva do solo

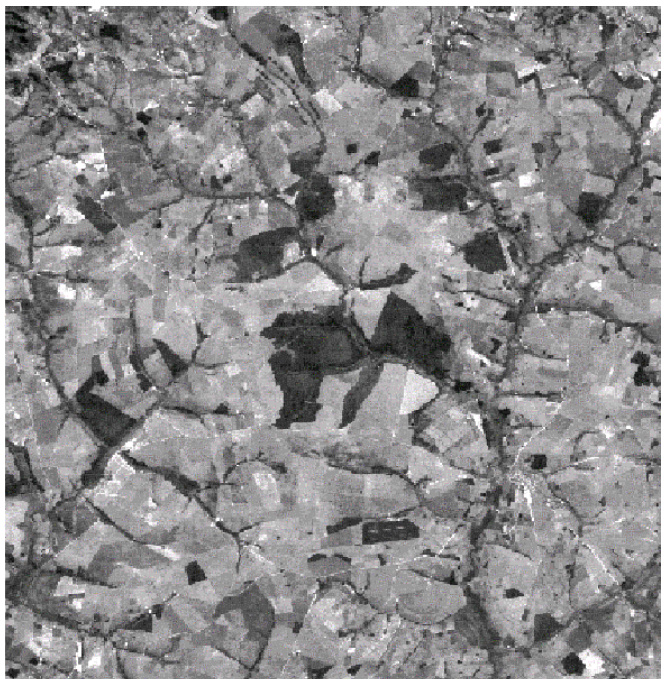
SAVI (soil-adjusted vegetation index) = NDVI + solo + atmosfera

EVI (enhanced vegetation index)

$$= \{(\rho_{ivp} - \rho_{verm.}) / L + \rho_{ivp} + C1 \rho_{verm.} + C2 \rho_{azul}\}$$

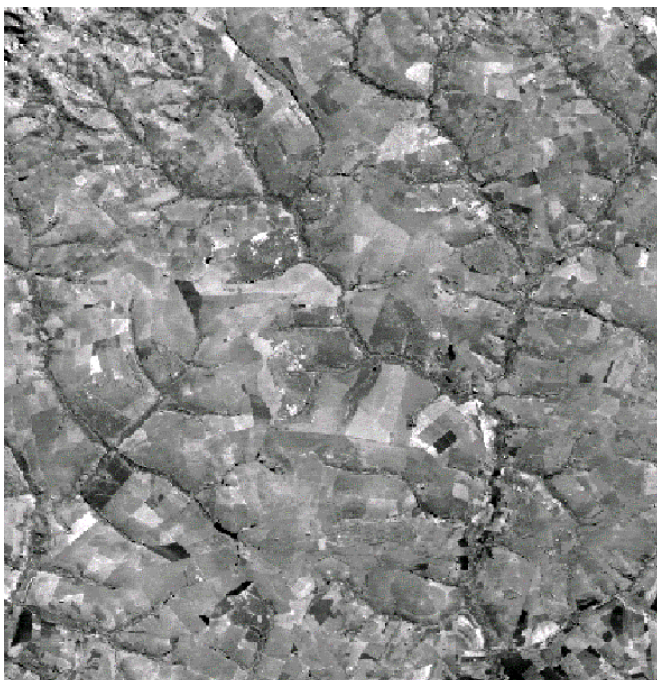
$$C1 = 6,0, C2 = 7,5 \text{ e } L = 1,0.$$

* ou IVDN

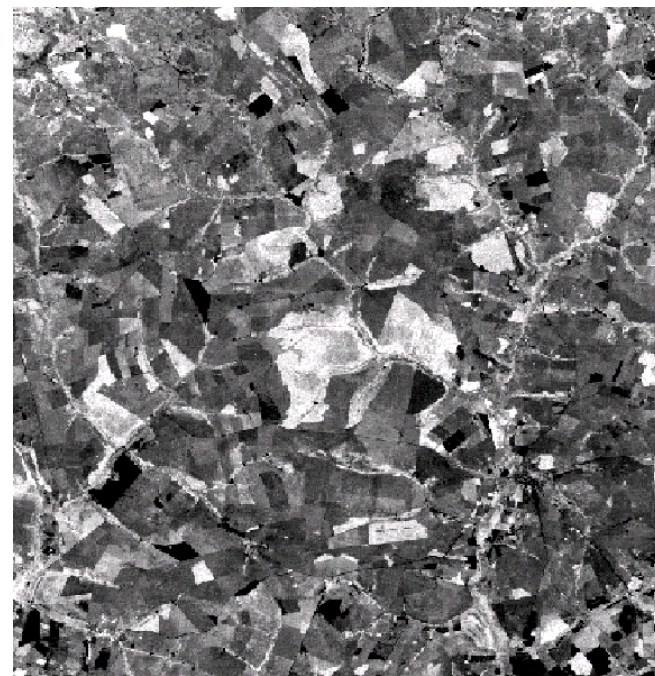


ρ_v

$$\boxed{NDVI} = \frac{\rho_{iv} - \rho_v}{\rho_{iv} + \rho_v}$$

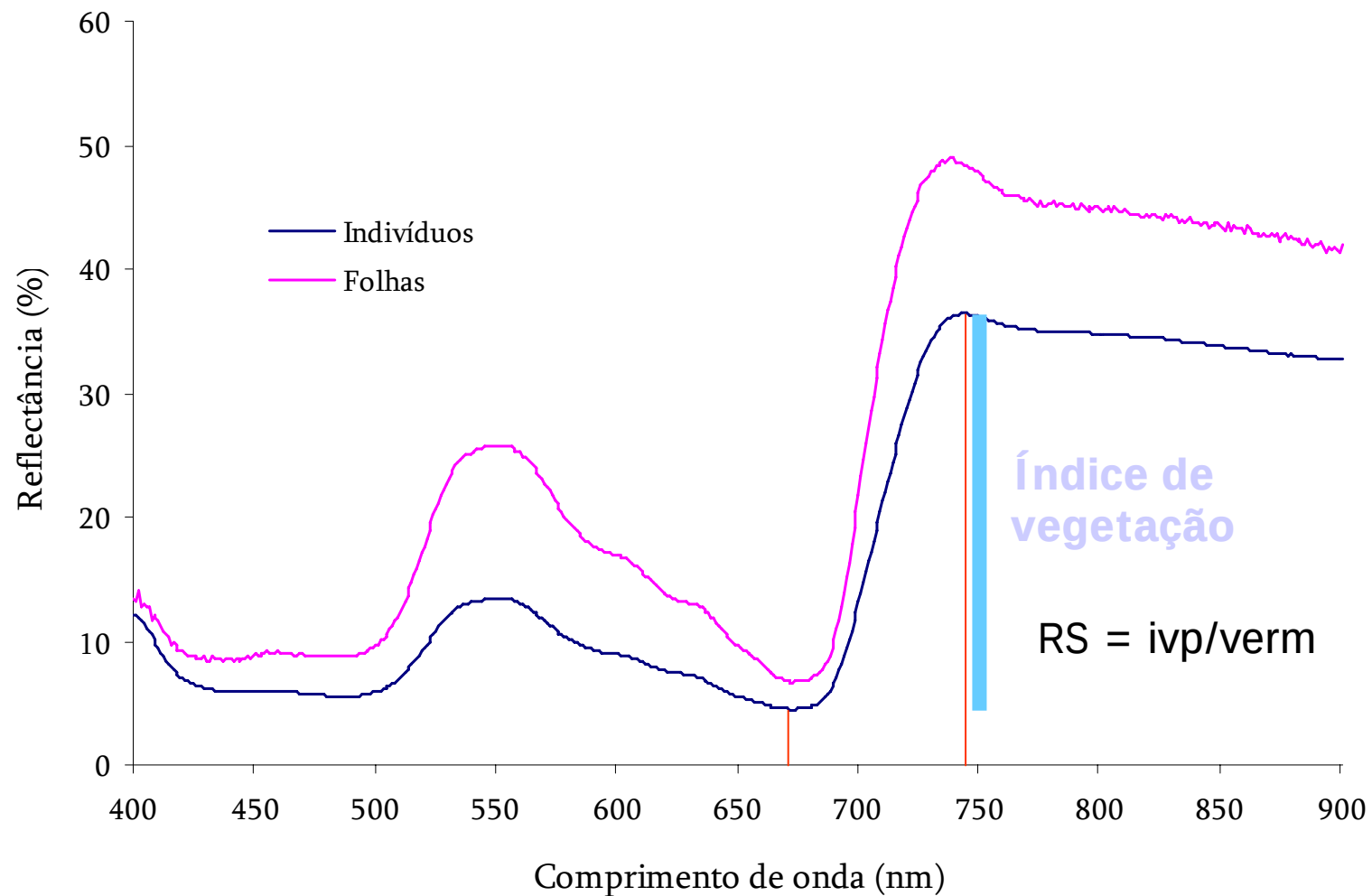


ρ_{iv}



$NDVI$

Resposta espectral média de Indivíduos e Folhas de *Pistia stratiotes*



Assinatura espectral obtida com o Ocean Optics USB2000

Imagem Composição Colorida (BGR-345) - Reserva do Cerrado de Emas

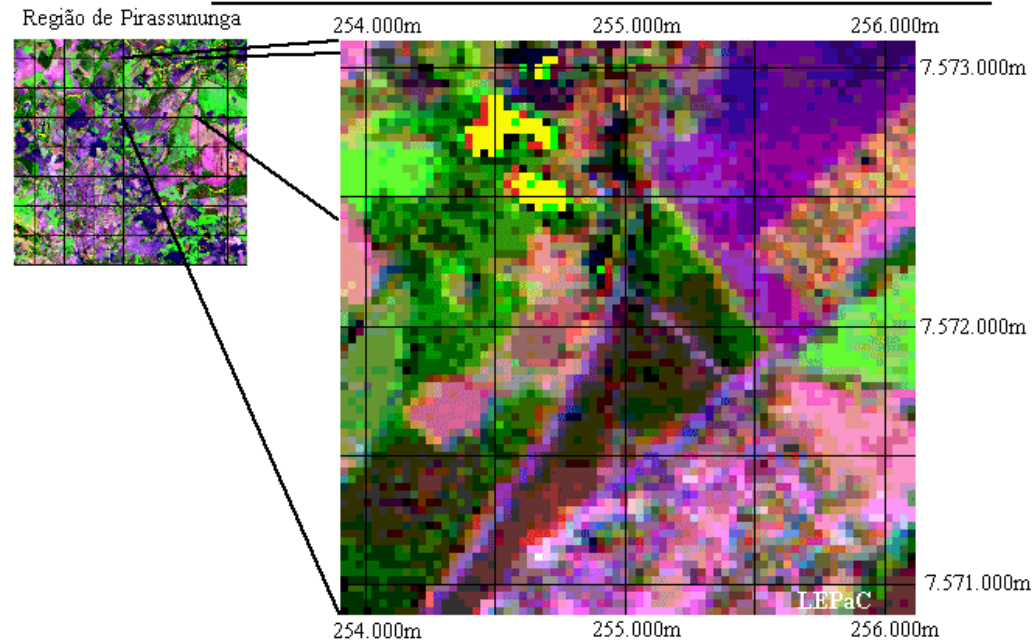
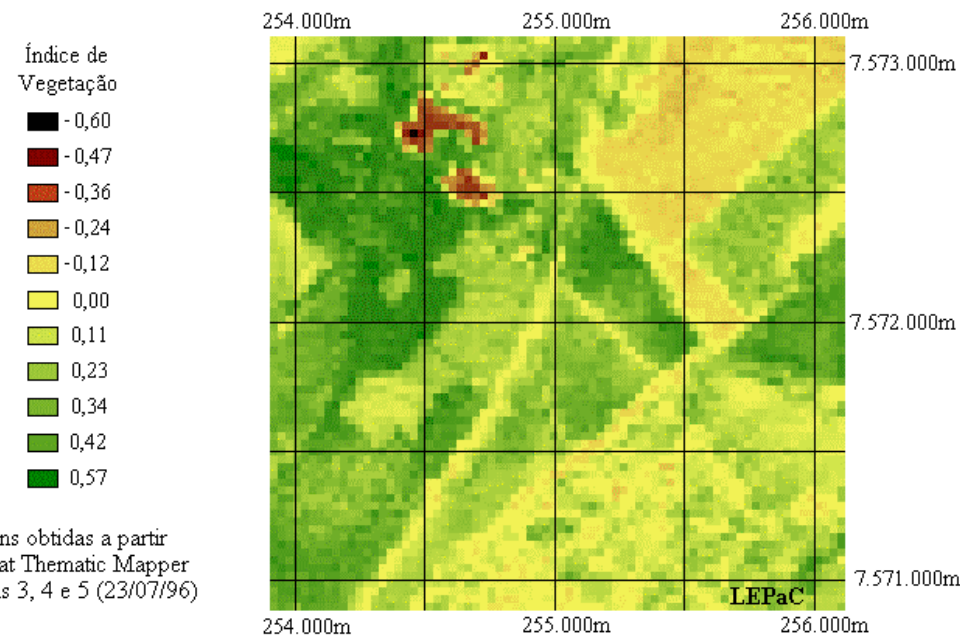
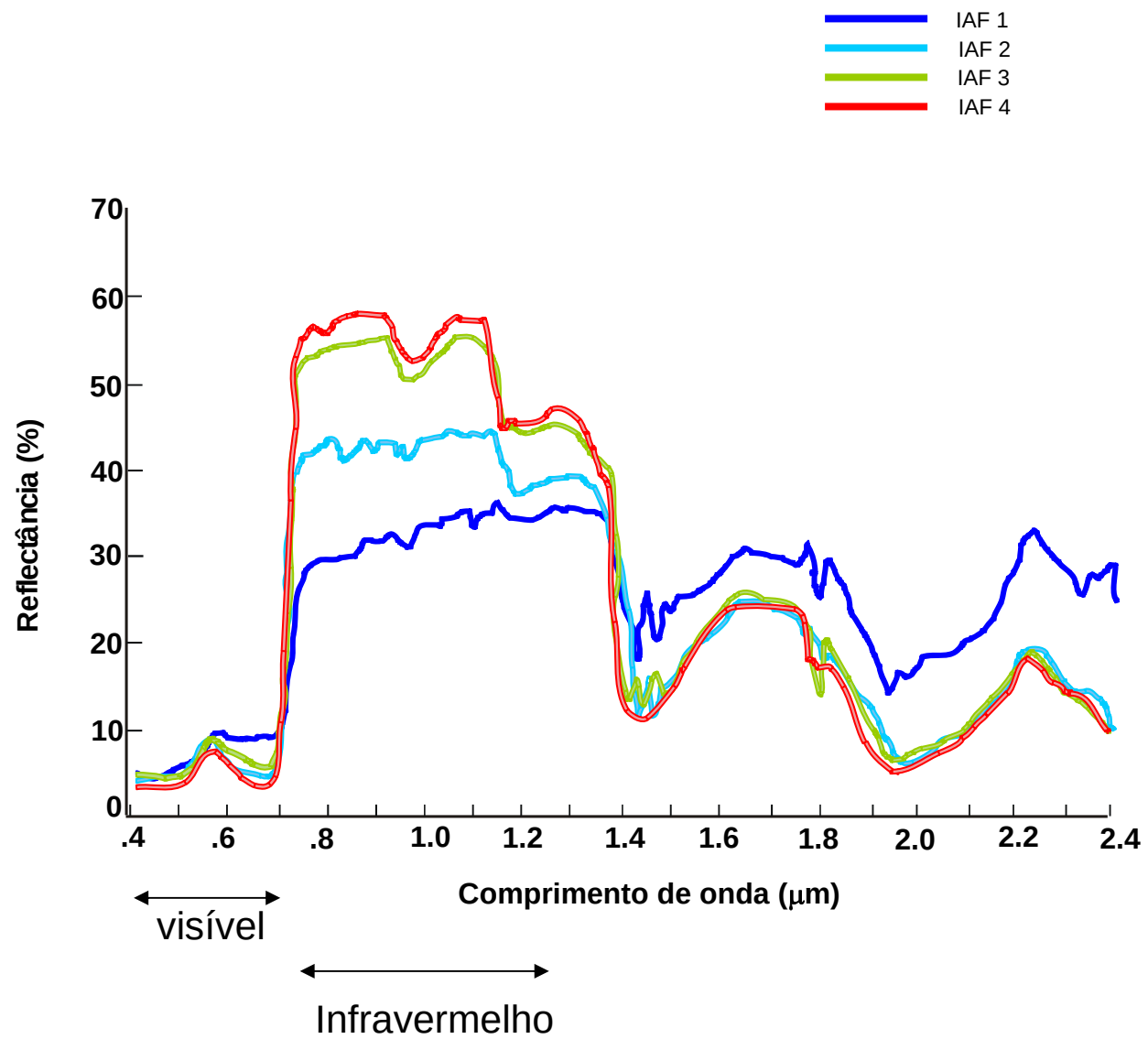


Imagem Índice de Vegetação Reserva Cerrado de Emas

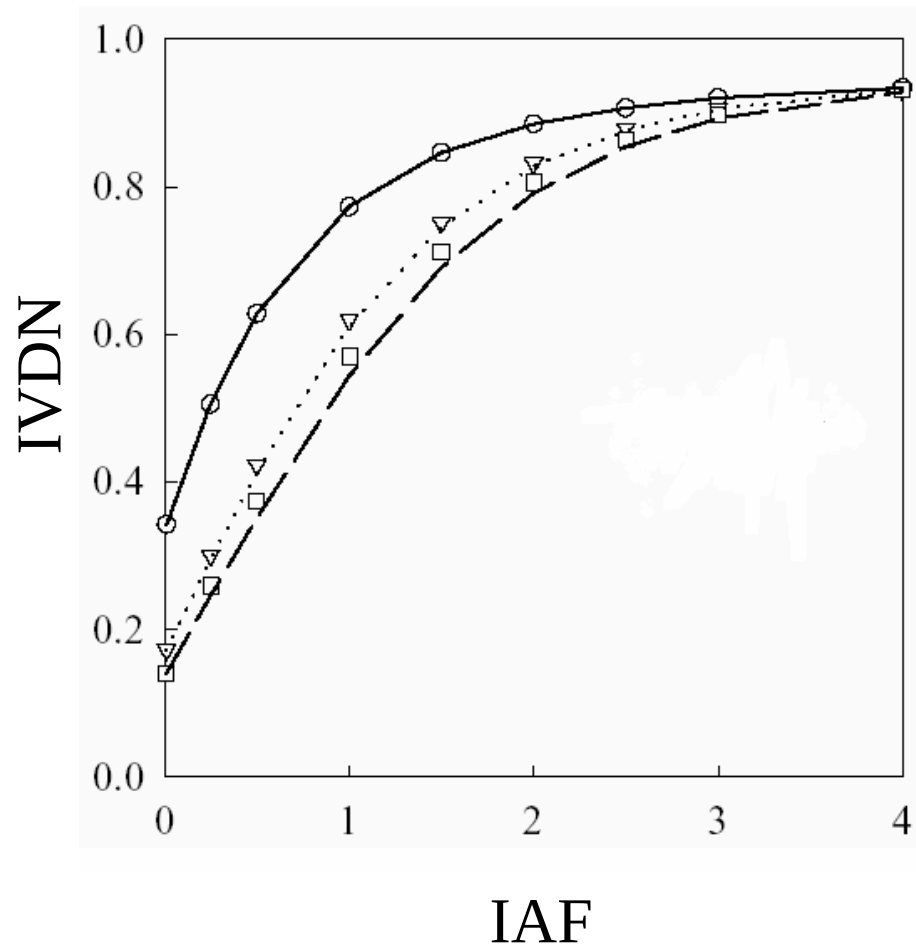




Fonte: Modificado de Jensen, 2000

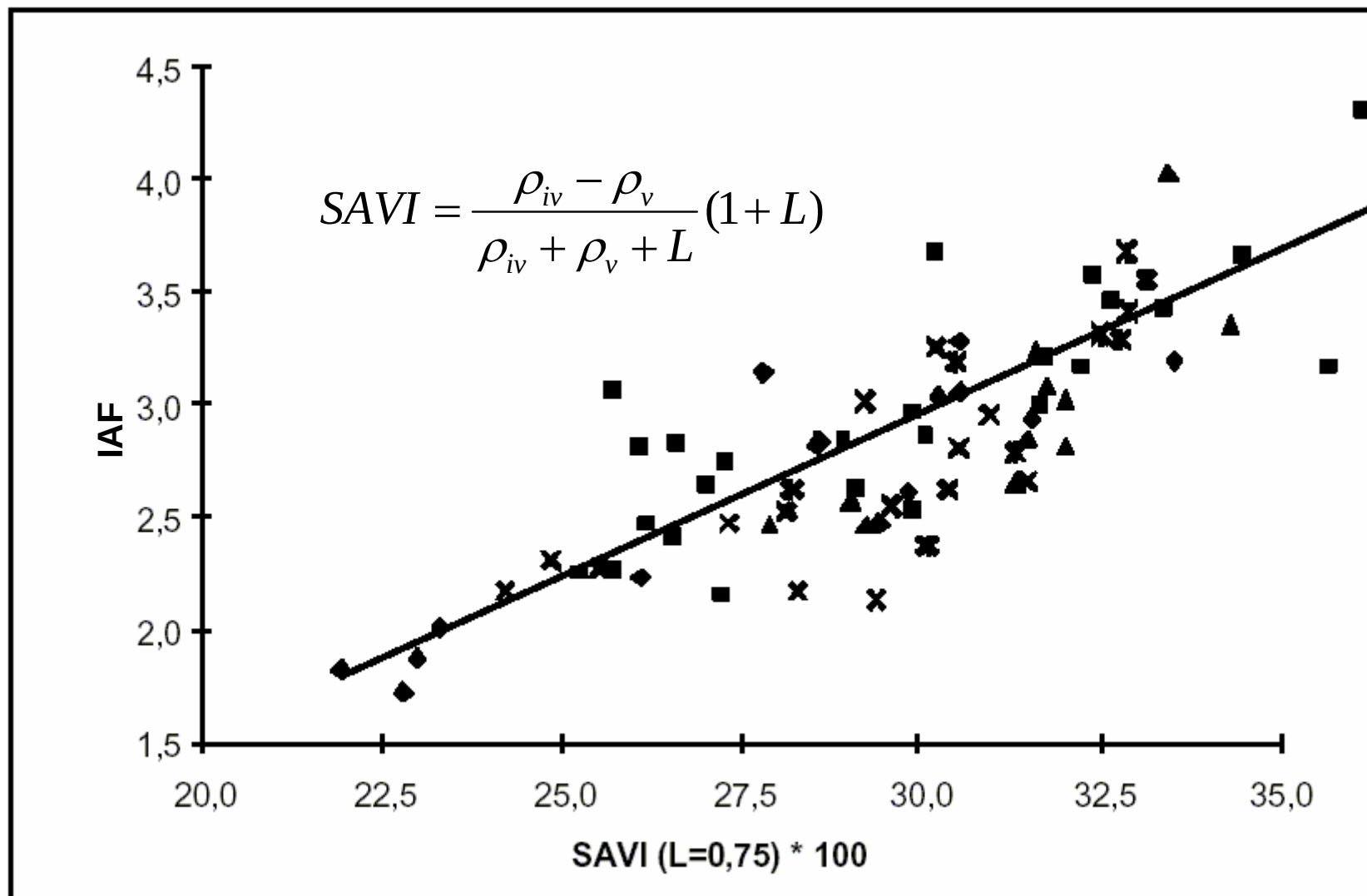
Comportamento do Índice de Vegetação Diferença Normalizada (NDVI ou IVDN) em função de mudanças no valor do Índice de Área Foliar (IAF).

$$IVDN = \frac{\rho_{iv} - \rho_v}{\rho_{iv} + \rho_v}$$

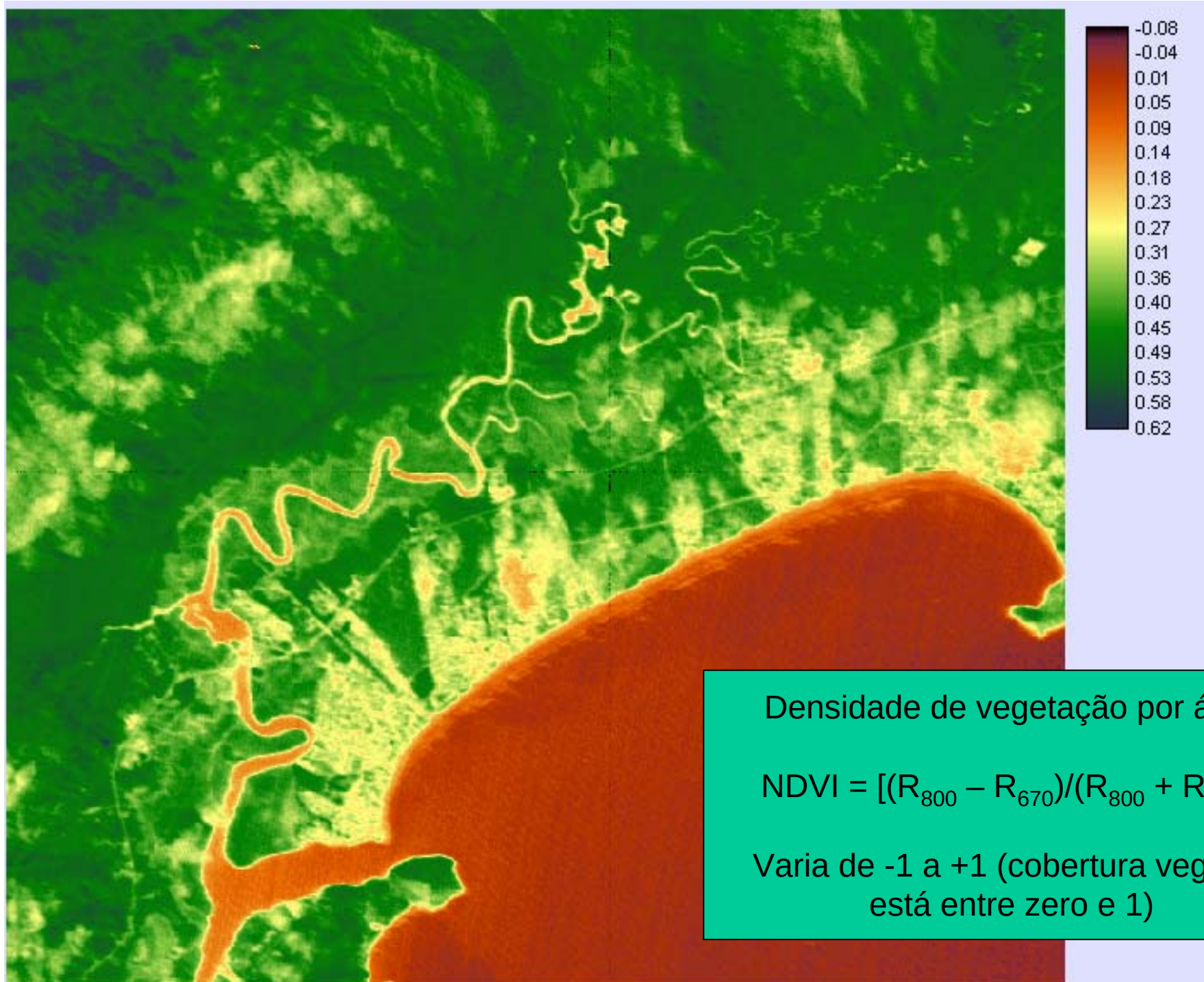


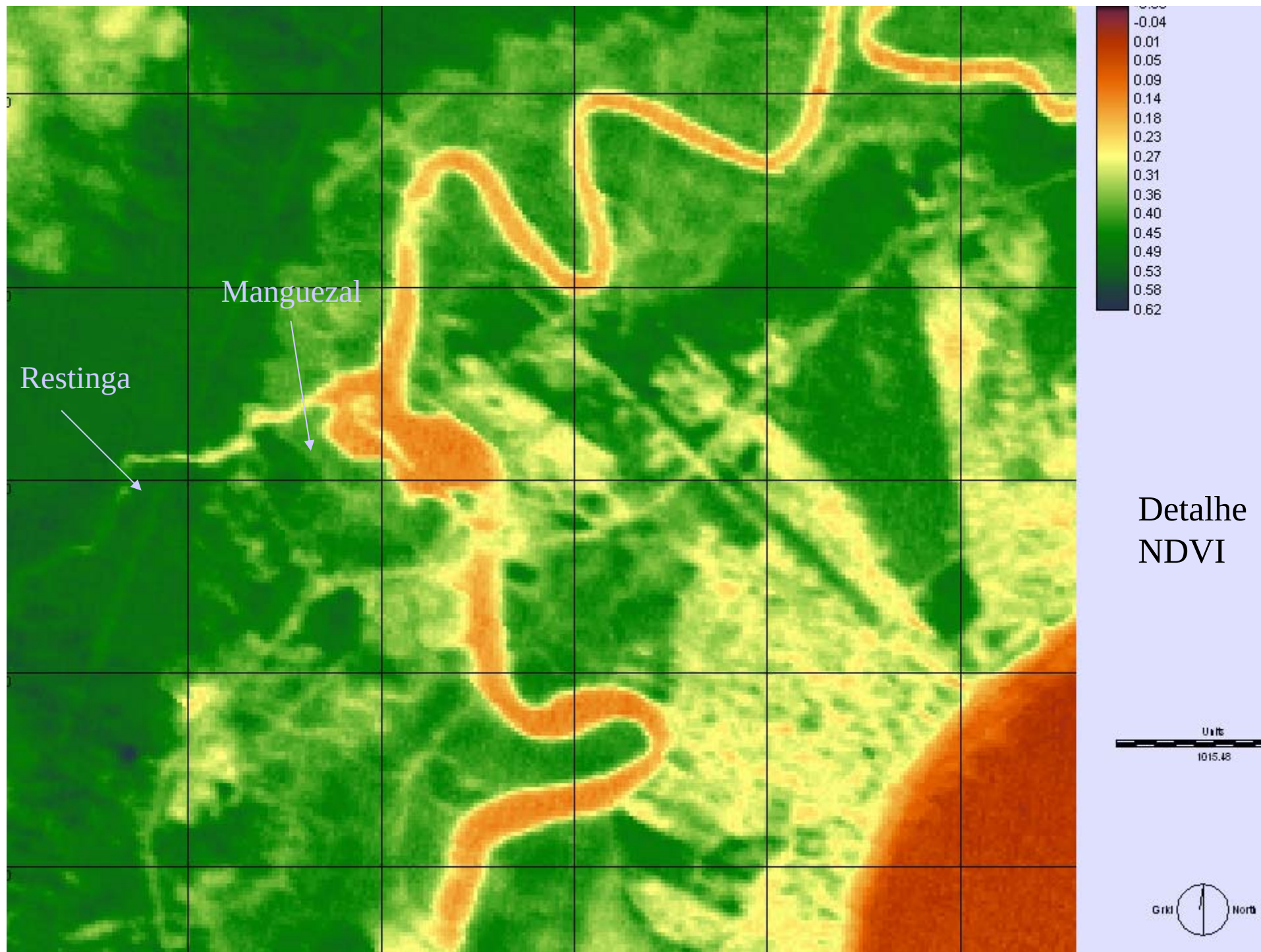
Fonte: Modificado a partir de Huete (1999)

Comportamento do Índice de Vegetação Ajustado ao Solo (SAVI) em função de mudanças no valor do Índice de Área Foliar (IAF).



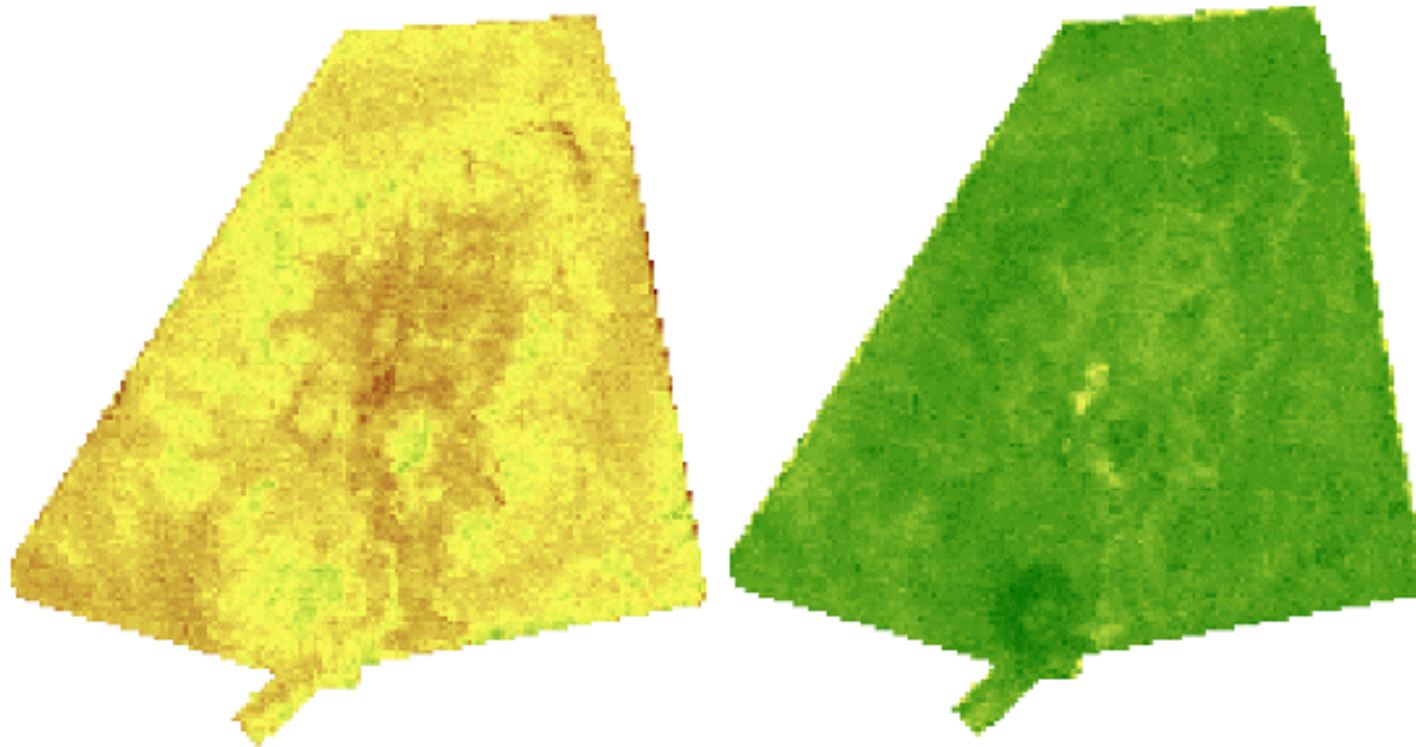
Fonte: Modificado a partir de Soares, 2001





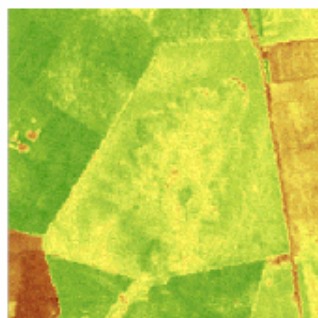
Sazonalidade

22 de agosto de 1995 29 de janeiro de 1996

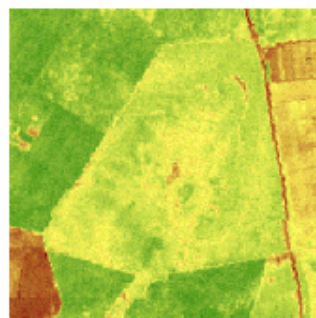


Observando as imagens NDVI Landsat TM da área em duas datas diferentes fica mais fácil entender o motivo que leva a os erros de classificação.

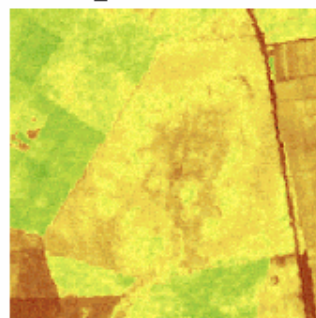
Junho 95



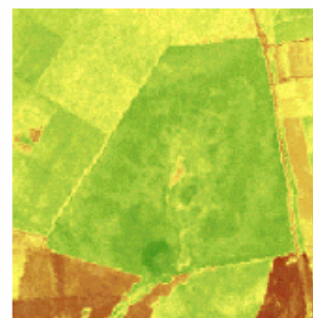
Julho 95



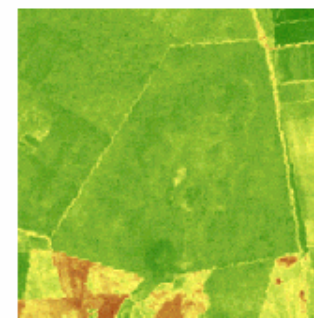
Agosto 95



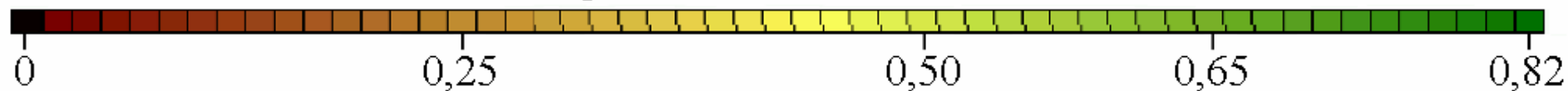
Novembro 95



Janeiro 96



Índice de Vegetação Diferença Normalizada



Autoria: Humberto N. de Mesquita Jr.

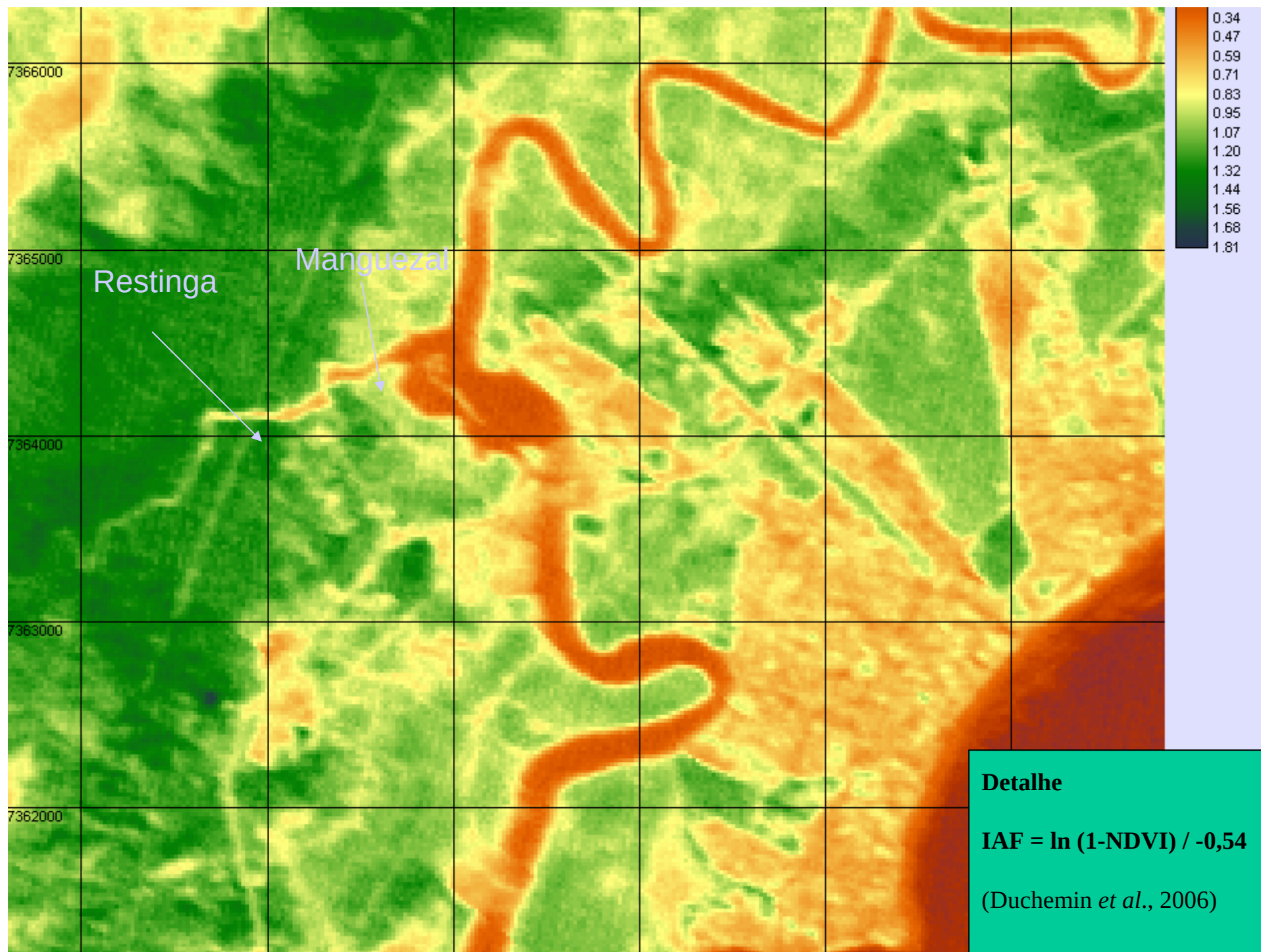
Índices relacionados c/a vegetação

– Índice de Área Foliar – porcentagem de cobertura de folhas por área:

- **IAF = $\ln(1 - \text{NDVI}) / -0,54$** (Duchemin *et al.*, 2006).
- **IAF (coníferas) = $0,9 + 0,69 \ln \text{ISR}$** (Fernandes *et al.*, 2003)
- **IAF (fanerófitas) = $-0,35 + 1,12 \text{ISR}^{1/2}$** (idem)
- **IAF (gramíneas) = $-0,21 + 0,21 \text{SR}$** (Sellers *et al.*, 1992)

– $\text{ISR} = \text{ivp}/\text{ivm}$

– $\text{SR} = \text{ivp}/\text{vermelho}$



- II. **Análise Quantitativa:**

- Índices de Umidade - modelo numérico proporcional ao conteúdo de água (índice de umidade de diferença normalizada):

$$\text{NDWI} = (\text{ivp} - \text{ivm}) / (\text{ivp} + \text{ivm}) \quad (\text{Gao, 1996})$$

(mede o estresse hídrico da vegetação)

- Índice de lâmina d'água – modelo numérico proporcional aos corpos d'água:

$$\text{NDWI} = (\text{verde} - \text{ivp}) / (\text{verde} + \text{ivp}) \quad (\text{McFeeters, 1996})$$

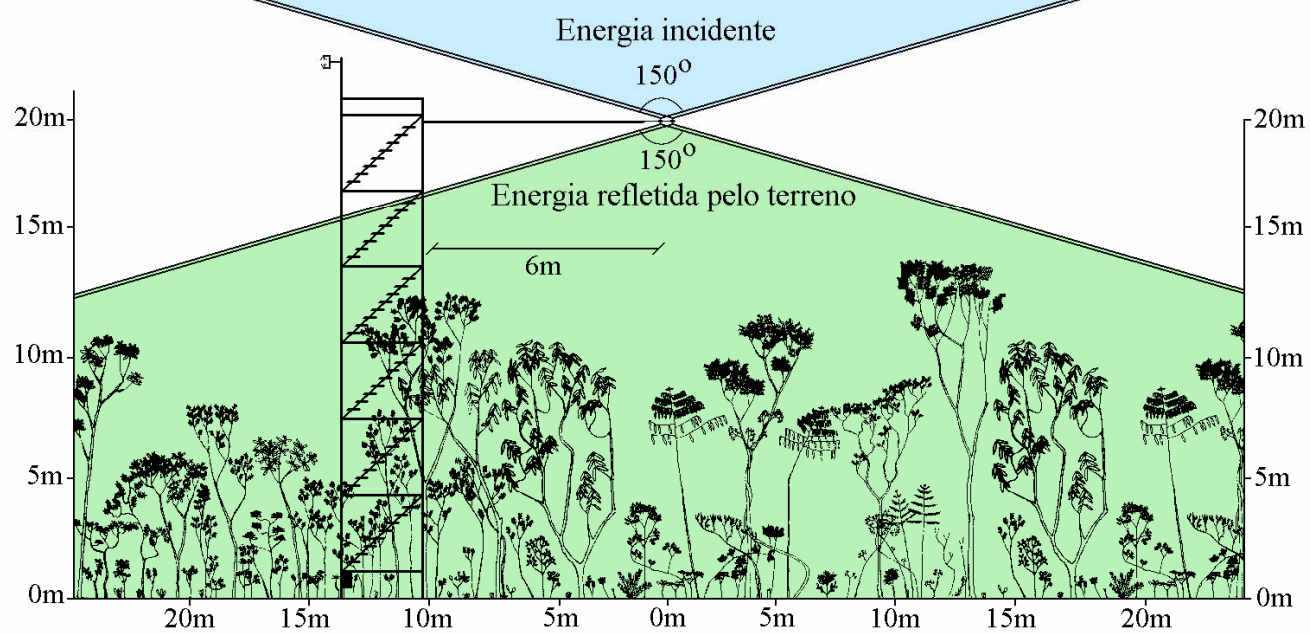
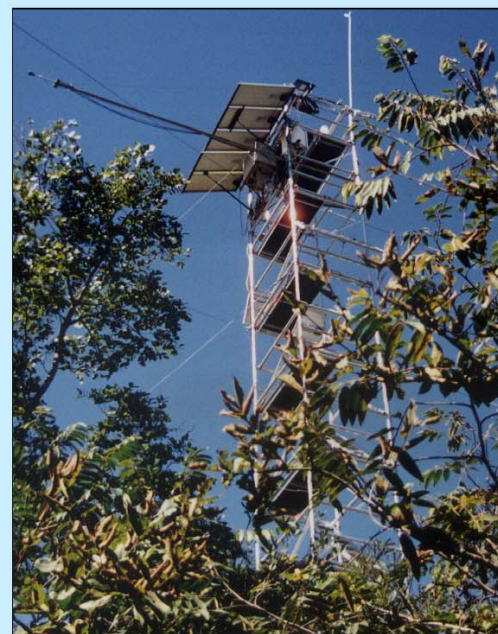
(mede lâminas d'água)

Balanço de radiação

- $IAF = (0,9 + 0,69 \ln ISR)^4$ (aciluliada)
= $(-0,35 + 1,12 ISR^{1/2})^4$ (latifoliada)
= $-0,2075 + 0,215 SR$ (campos)

Fator de Radiação fotossinteticamente ativa

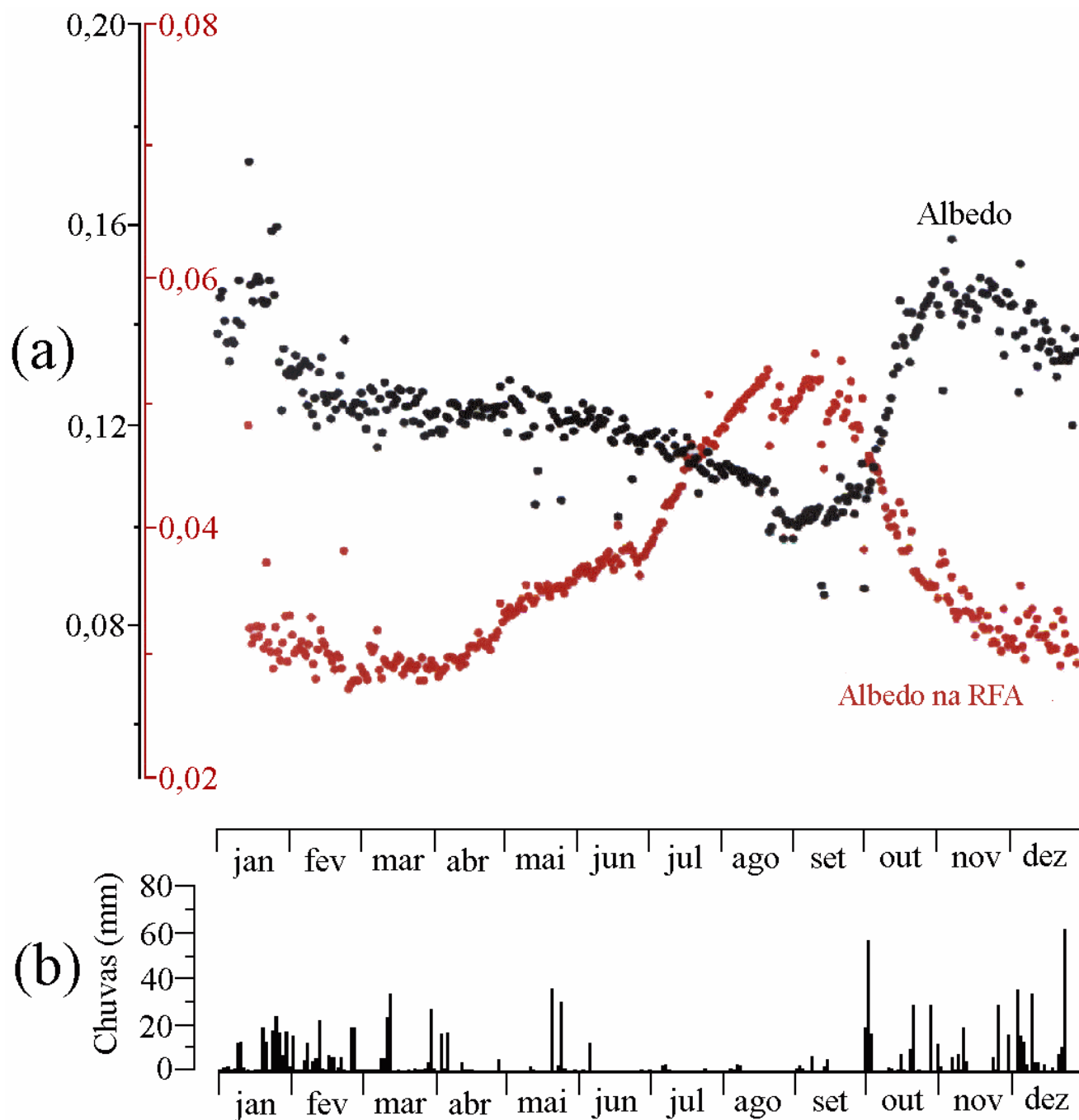
- **FPAR = 0,8465 x NDVI – 0,1083** (Myneni & Williams, 1994)



Autoria: Humberto N. de Mesquita Jr.

a) Albedo na RFA ou fPAR diária
(albedo é quanto chega de radiação em todas as faixas espectrais)

b) Precipitação mensal



Autoria: Humberto R. da Rocha

Álgebra de Imagens

- $IEC = [10(6 - \ln \text{ imagem})]$ (Carlson, 1977)
- $IET_{ds} = -1,58 + 0,68 (\ln \text{ verde})$ (Lobo *et al.* 2005)
- $IET_{clo} = 3,9 + 0,77 (\ln \text{ verde})$ (Lobo *et al.* 2005)

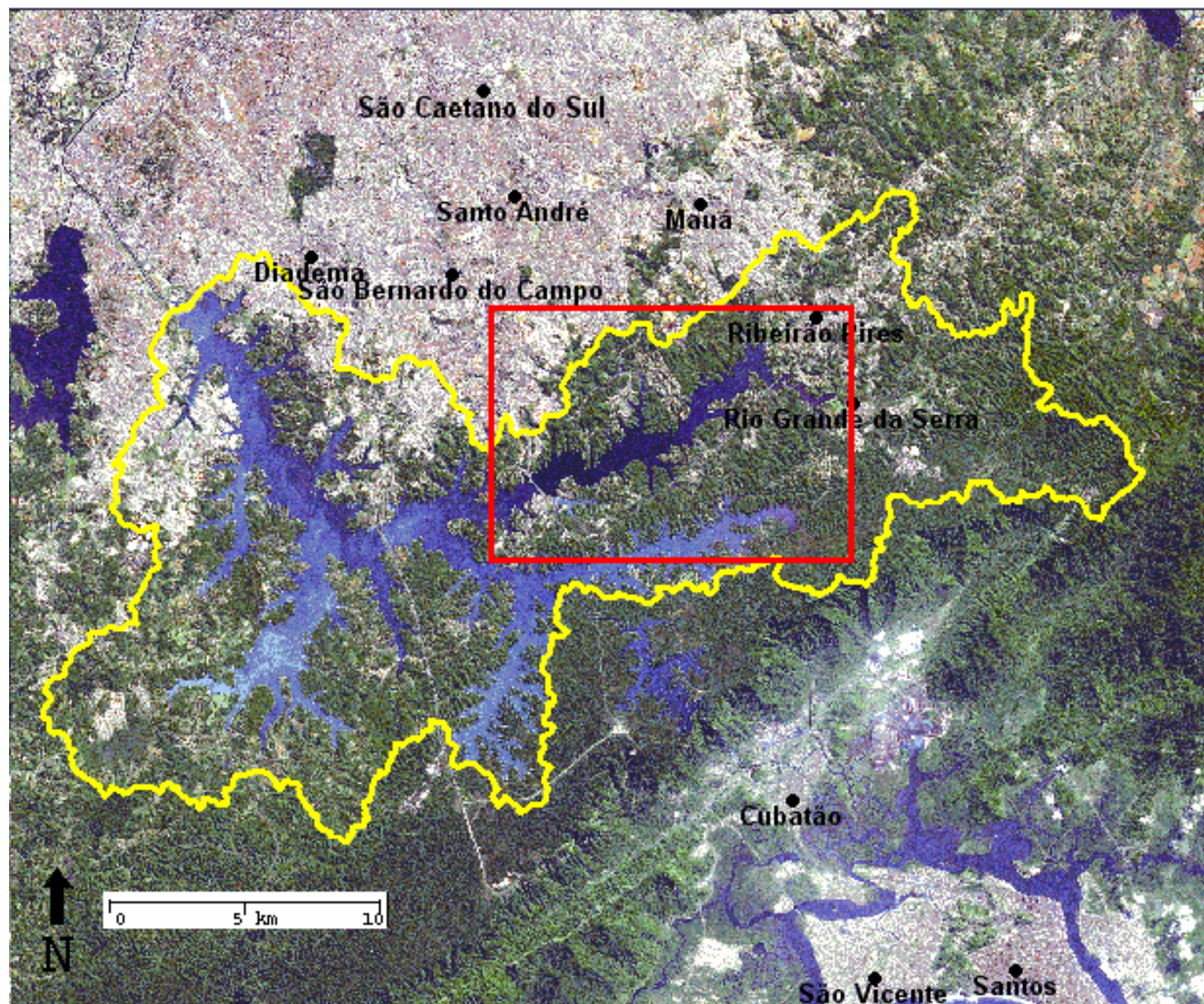
- III. **Análise Quantitativa:**

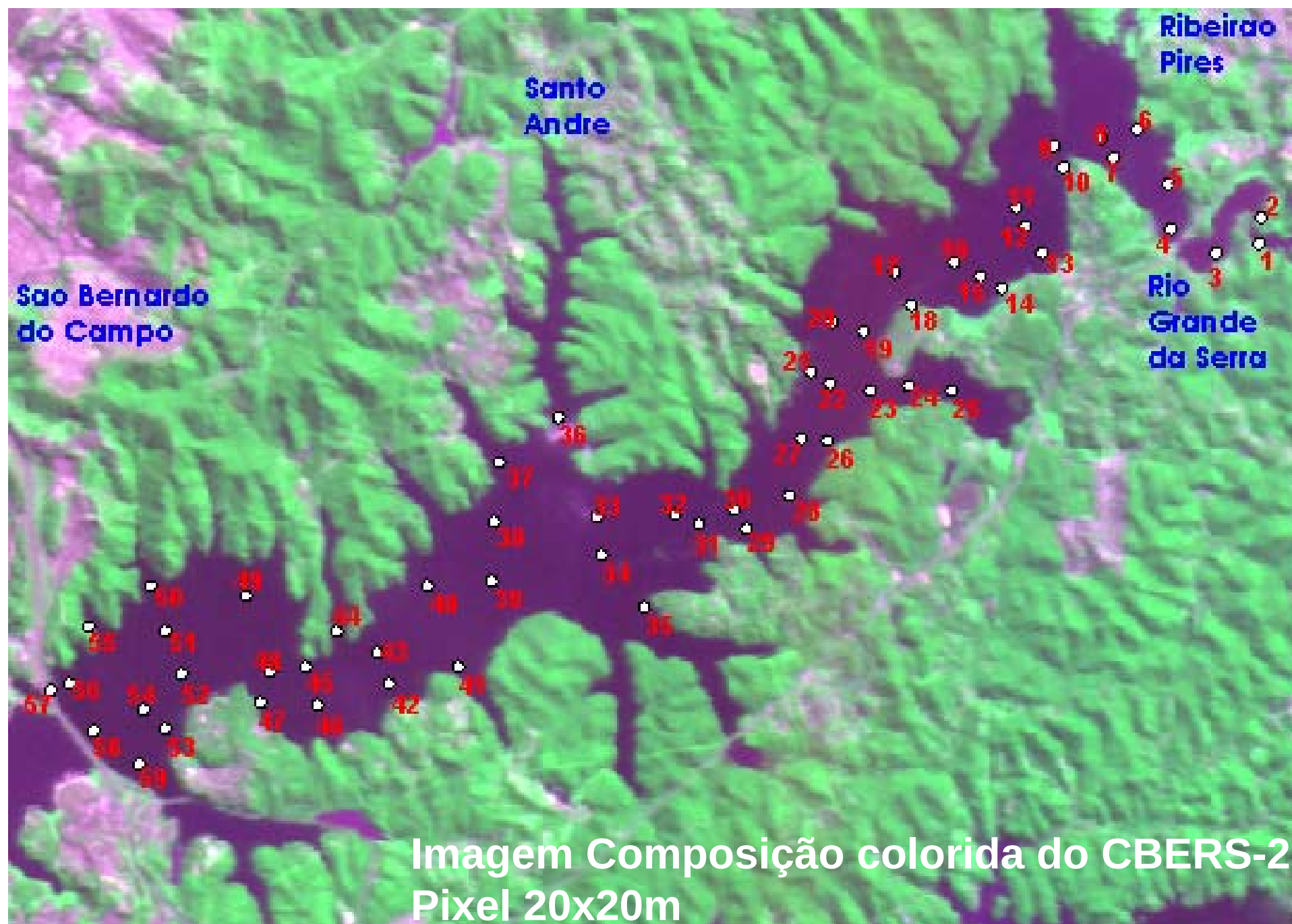
- Índices de Estado Trófico - calculado a partir do IR (índice de reflectância) nas faixas do visível, registrado com radiometria ou imagens de satélite.

$$\text{IET}_{\text{ds}} = -1,58 + 0,68 (\ln \text{ verde}) \text{ (Lobo } et al. 2005)$$

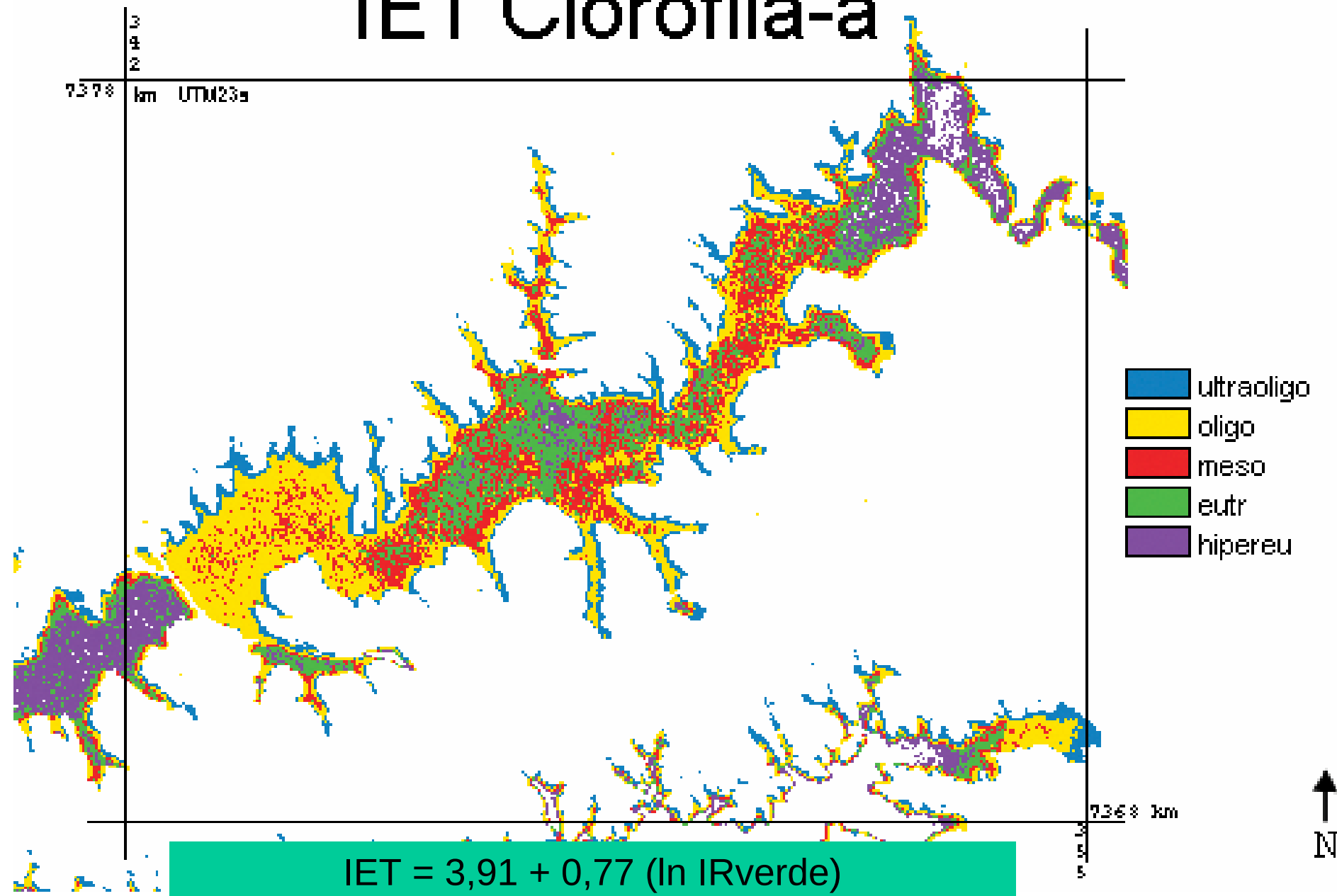
$$\text{IET}_{\text{clo}} = 3,9 + 0,77 (\ln \text{ verde}) \text{ (Lobo } et al. 2005)$$

Baseado no **IEC = 10 [6 - (ln IR)/(ln 2)]** Carlson (1977)
(Índice de Eutrofização de Carlson)

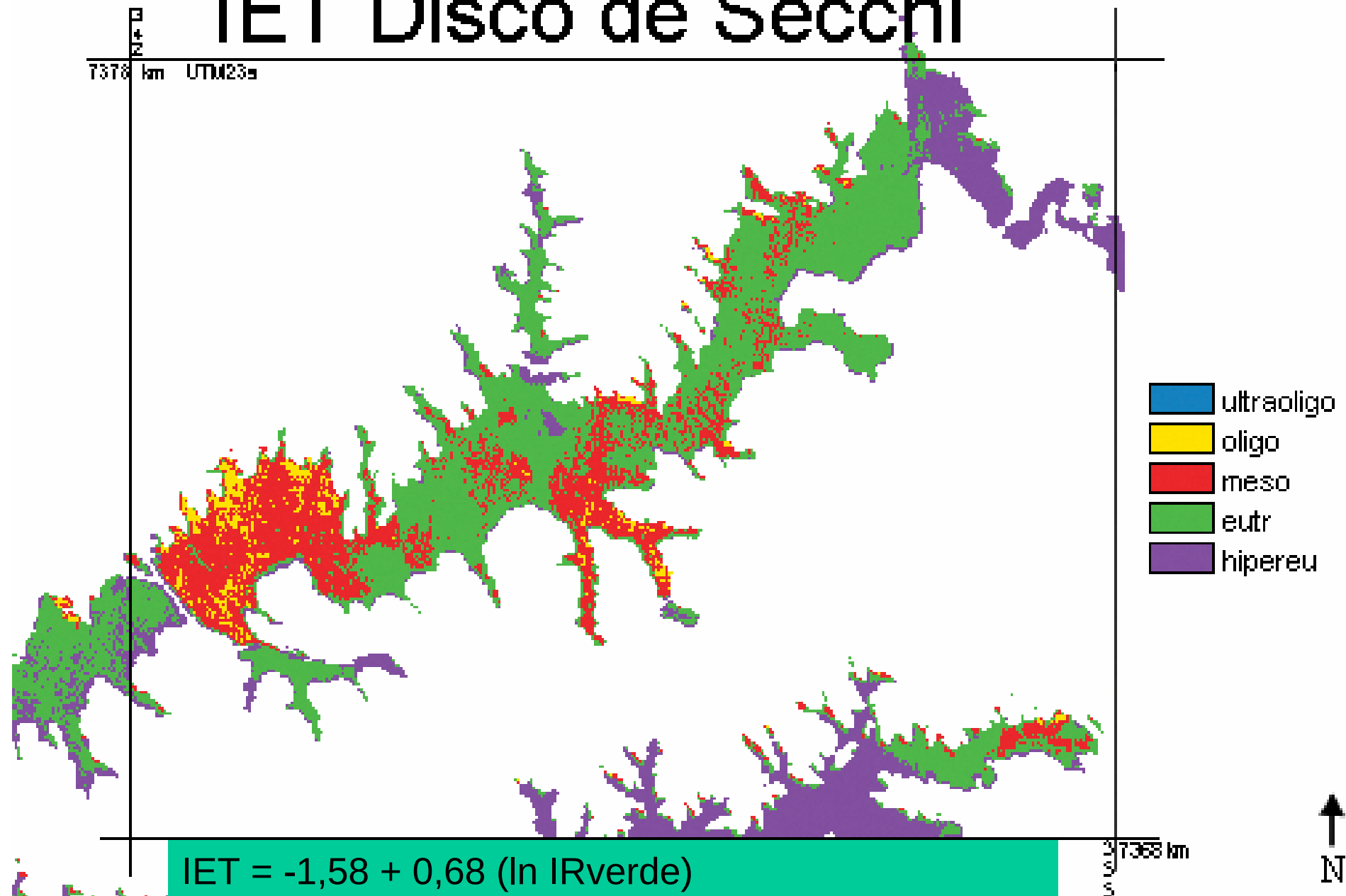




IET Clorofila-a



IET Disco de Secchi



Outras Utilidades do SR para a Limnologia

O particulado mineral provoca forte espalhamento da radiação principalmente no Vermelho – estimar a **Turbidez** na zona eufótica.

O Plâncton provoca um espalhamento médio nas faixas do visível dependendo do pigmento presente – estimar a **Concentração de clorofila**.

As substâncias dissolvidas capazes de escurecer a água aumentam a capacidade de absorção em todas as faixas do VIS.

No IVP (infravermelho próximo), IVM (infravermelho médio) e Microondas, há uma forte absorção - estimar a extensão da **lâmina d'água**.

Profundidade de **Disco de Secchi** é inversamente proporcional à turbidez
→ turbidez é diretamente proporcional à reflectância, ou seja, quanto mais turva a água, mais o corpo d'água reflete).

EXEMPLOS DE IMAGENS DE SATÉLITE E TRATAMENTOS

- VISÍVEL:
 - Azul,
 - Verde e
 - Vermelho
- INFRAVERMELHO:
 - próximo,
 - médio e
 - termal



Imagem no
Azul

ND = 0 (preto)
a 255 (branco)



Imagem
No Verde



Imagem no
Vermelho

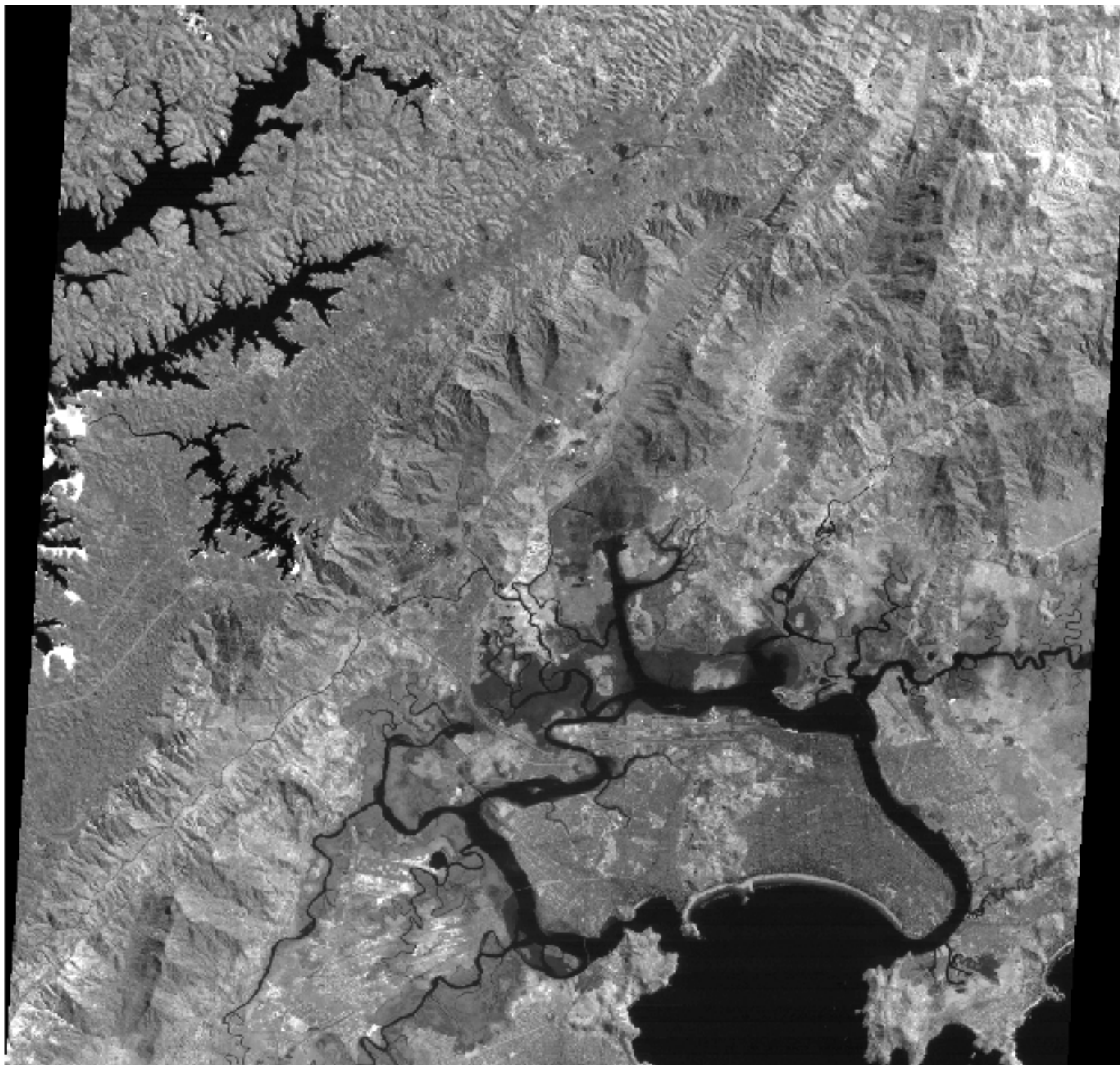


Imagem
No IVP

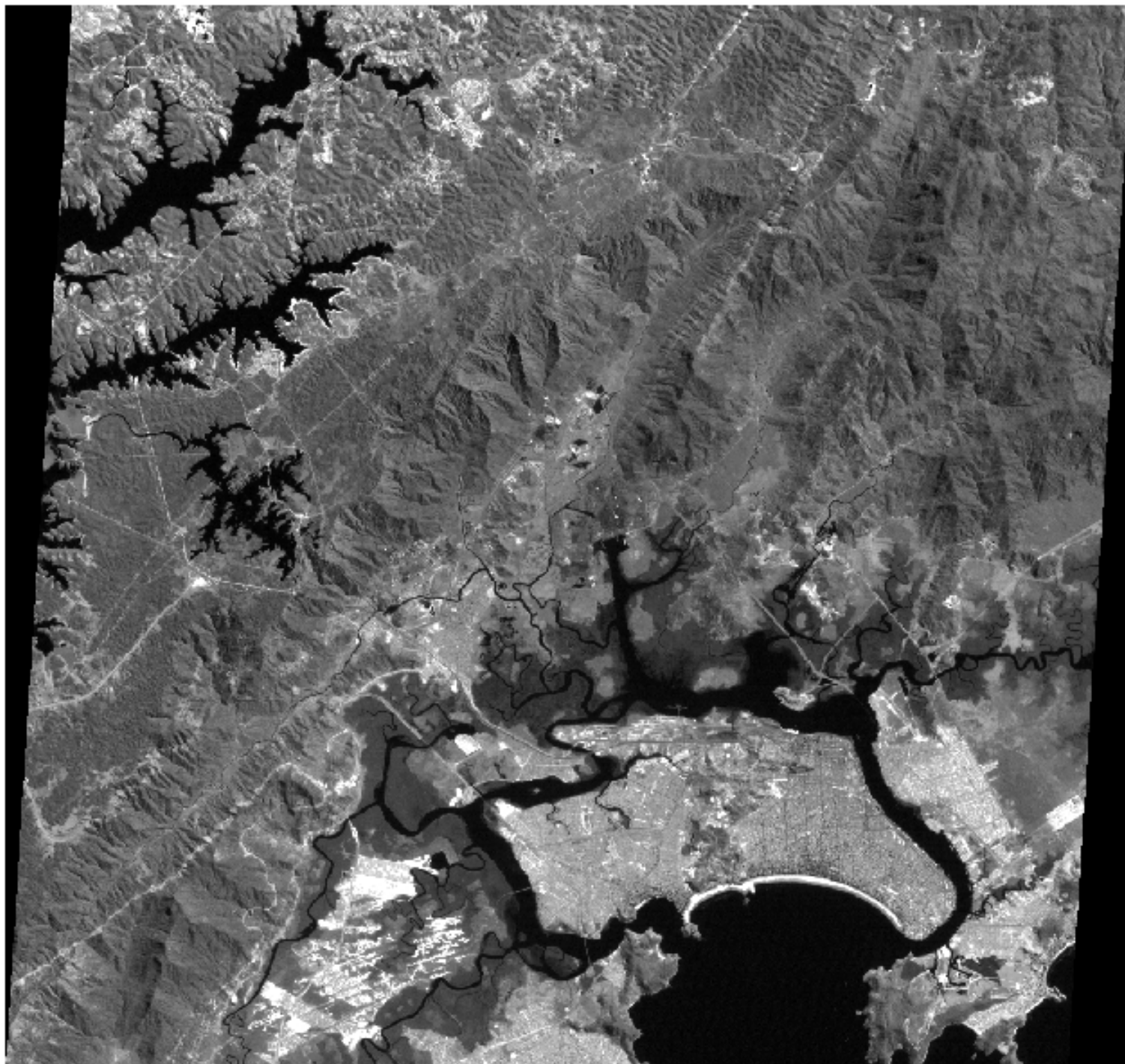


Imagem
No IVM



Imagem no
Termal

ND = 0 (preto)
a 127 (branco)

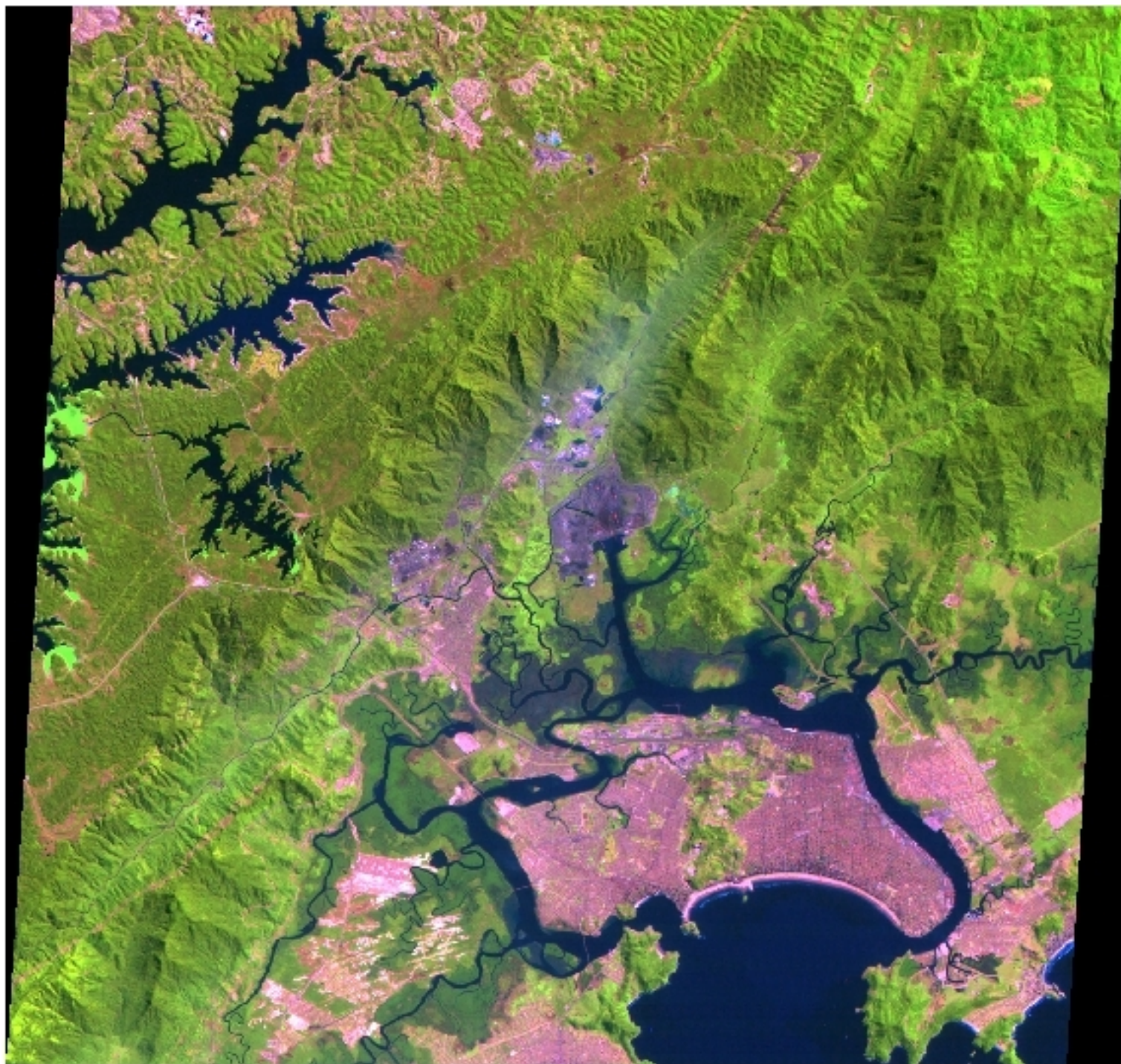


Imagem Composição Colorida

Vermelho	R
IVP	G
IVM	B

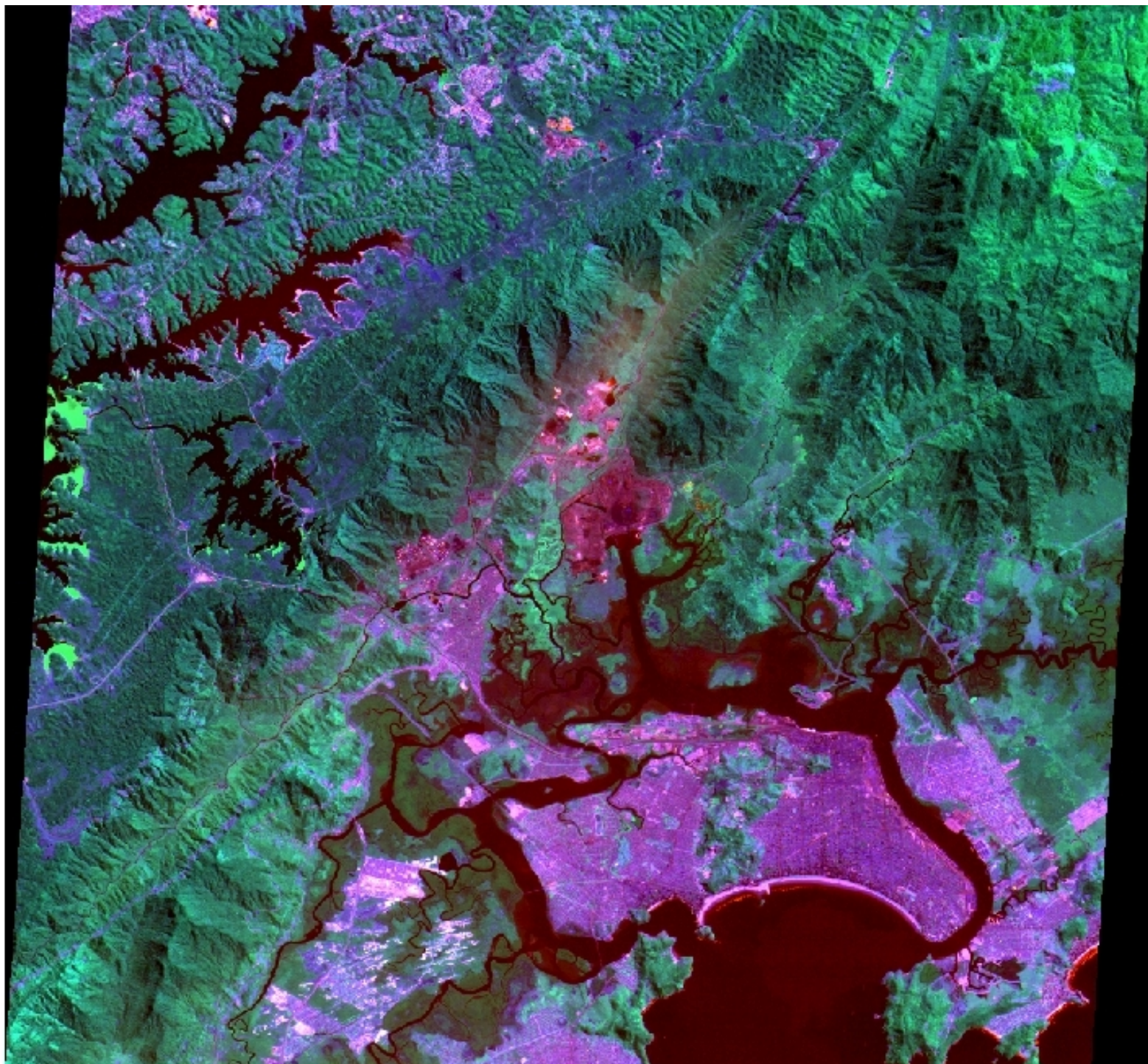
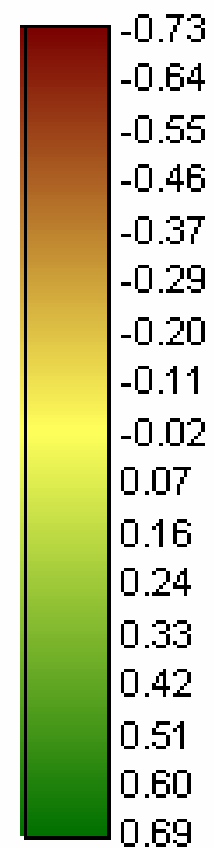
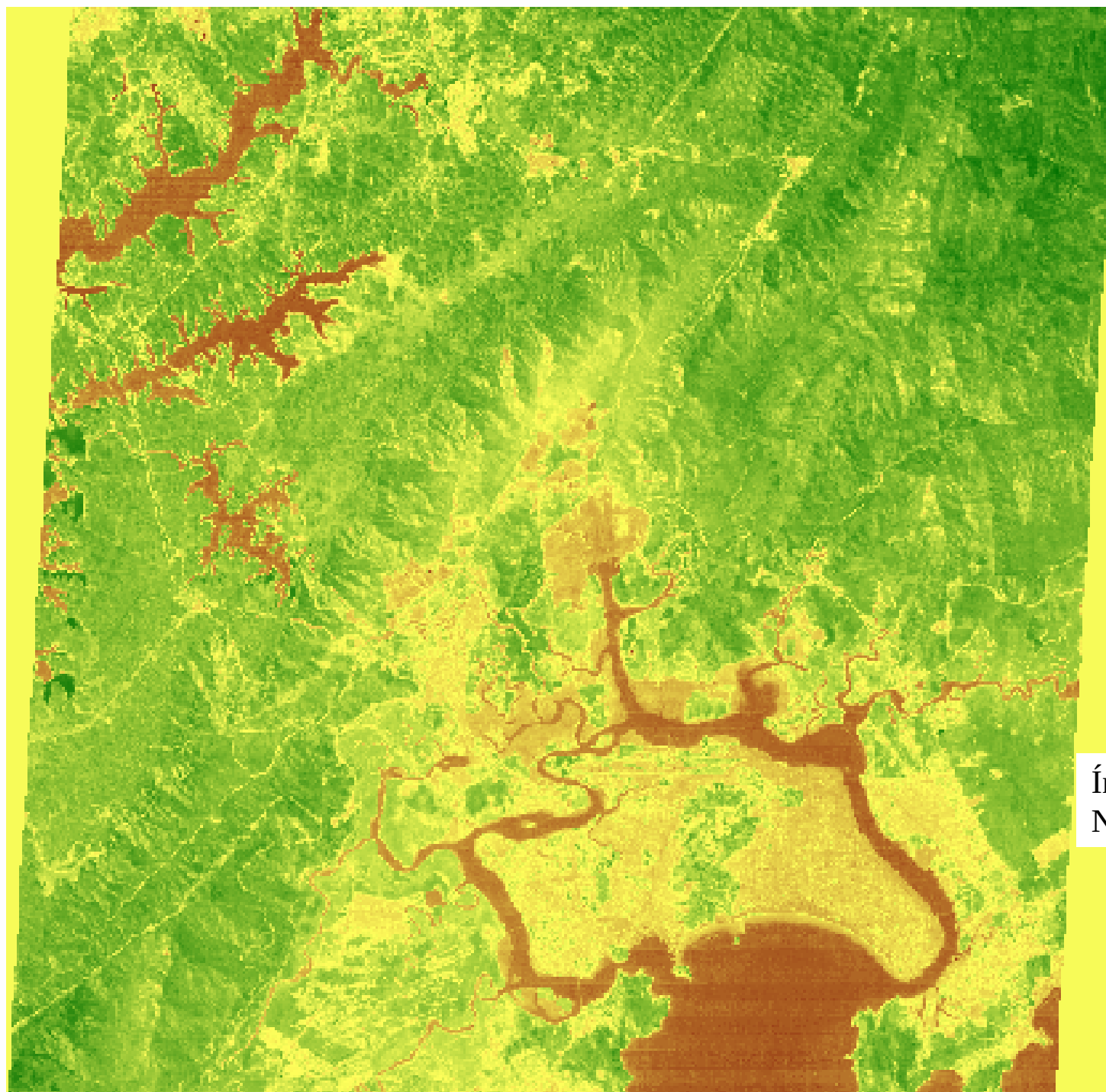
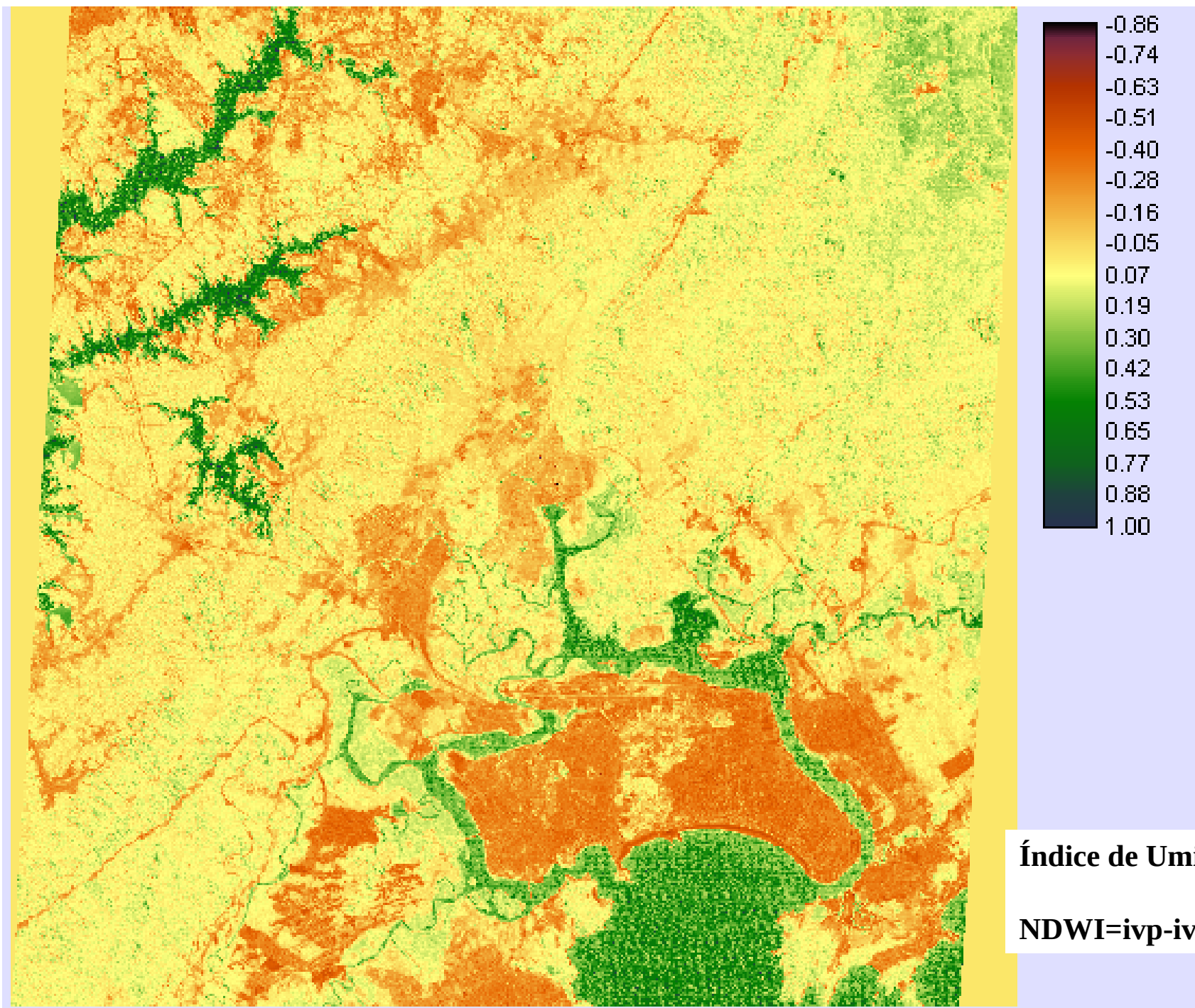


Imagem
Composição
Colorida

Vermelho	B
IVP	G
IVM	R



Índice de Vegetação
 $NDVI = \frac{ivp - verm}{ivp + verm}$



Fotografia Aérea da Reserva do C.U.A.S.O. (1988)



Fotografia Aérea da Cidade Universitária 1962



Fotografia Aérea da Cidade Universitária 1954



Este material didático foi produzido por:

Beatriz Ribeiro da Luz
 Daniela Ferraz
 Humberto Navarro de Mesquita Junior
 Marisa Dantas Bitencourt
 Marcelo Matsumoto

LEPaC - Lab. de Análise da Paisagem e Conservação
 Departamento de Ecologia Geral - IB/USP - 1997
 Programa de Aperfeiçoamento do Ensino
 Humberto N. de Mesquita Jr.



Imagem IKONOS 2002

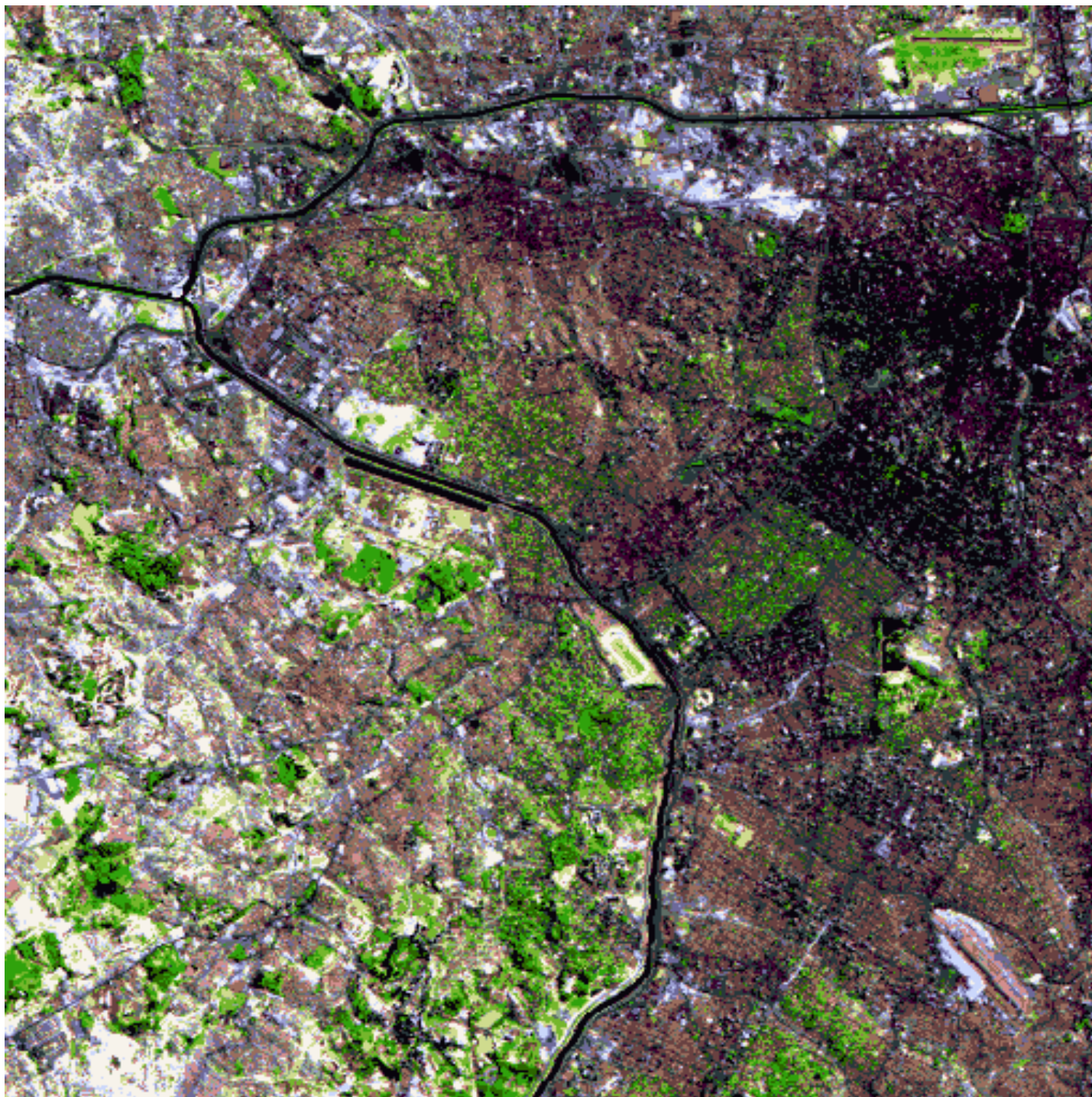


Imagem CBERS
Pixel de 20x20m
Zona Oeste da
Cidade de São Paulo

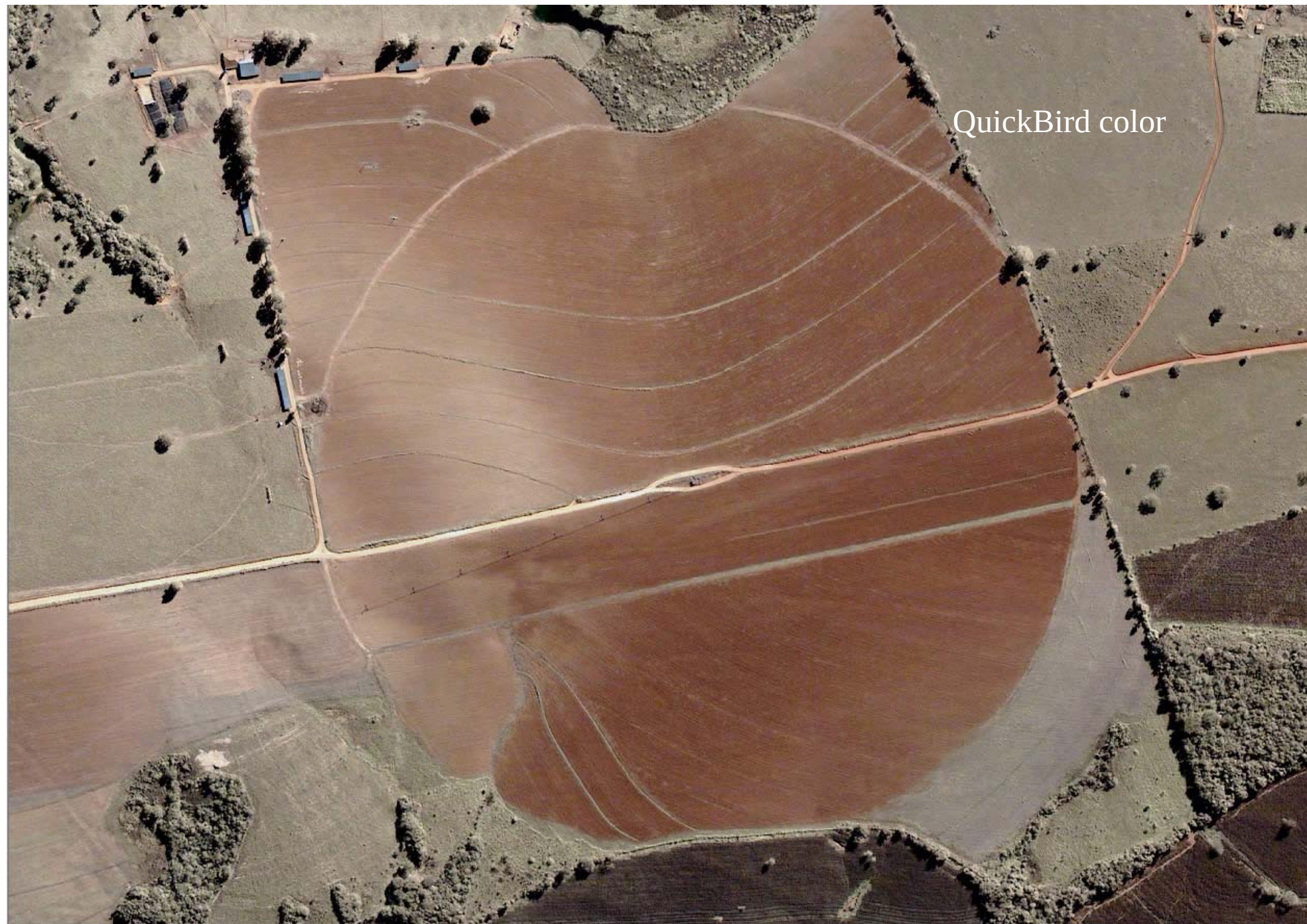


QuickBird color



QuickBird color





QuickBird color

QB 15/10/2010







Haiti – Porto Príncipe
Palácio Presidencial QB 15/01/2010



Haiti – Porto Principe
Palácio Presidencial WV1 13/01/2010

