

Sensoriamento Remoto Aplicado à Geografia

Comportamento Espectral dos Objetos

Prof. Reinaldo Paul Pérez Machado
Prof. Fernando Shinji Kawakubo

Sumário

- Comportamento espectral dos objetos: conceito e importância.
- Estrutura da folha e a atuação dos pigmentos foliares.
- Efeito da secagem e senescência.
- Comportamento espectral de alvos agrícolas e urbanos.
- Geometria de iluminação e de visada.
- Índices de vegetação

O Comportamento Espectral do Objeto e o Significado da Cor

Comportamento espectral:

- Descreve como enxergamos os objetos (nós, os seres humanos, os animais e as máquinas) em termos de variação de cor e intensidade .

Significado da cor:

- Para os seres humanos, a cor é mais do que um princípio físico e uma imagem do mundo externo. A cor produz efeitos distintos como significados, sentimentos, informações ...
- Para as plantas, as cores são as energias que desencadeiam as reações bioquímicas para o seu desenvolvimento.
- Para os animais, a cor pode ser um alerta de perigo para os predadores, ou de sobrevivência para uma possível presa.
- Para a um sensor remoto, as variações de cor e intensidade é um registro do fluxo de energia refletido do objeto.

Como os Animais Enxergam o Mundo Exterior

Visão do Esquilo



Both halves of this image show a "red" squirrel: the bottom half through human vision and the top half through squirrel eyes. Dr Pike describes mammals as "rather drab", relying on colour only to blend in with their surroundings rather than for complex communication.

C. DEEMING / T. PIKE

Como os Animais Enxergam o Mundo Exterior

Visão do Cachorro



In contrast, many mammals have only two types of cones, creating a similar colour perception to humans with red-green colour blindness. A dog's "dichromatic" view of the world is shown in this image of an owner's legs. "Animals like dogs rely on olfaction so much that their vision isn't as developed," said Dr Pike.

Como os Animais Enxergam o Mundo Exterior

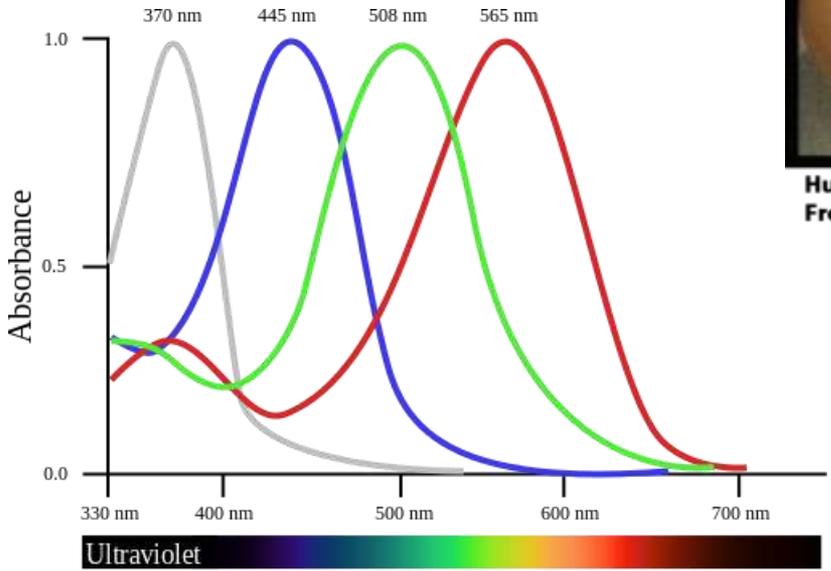
Visão do Pássaro



Human view of bird and egg.
From K. Schmitt.

UV only reflection.

Simulated bird view with UV.

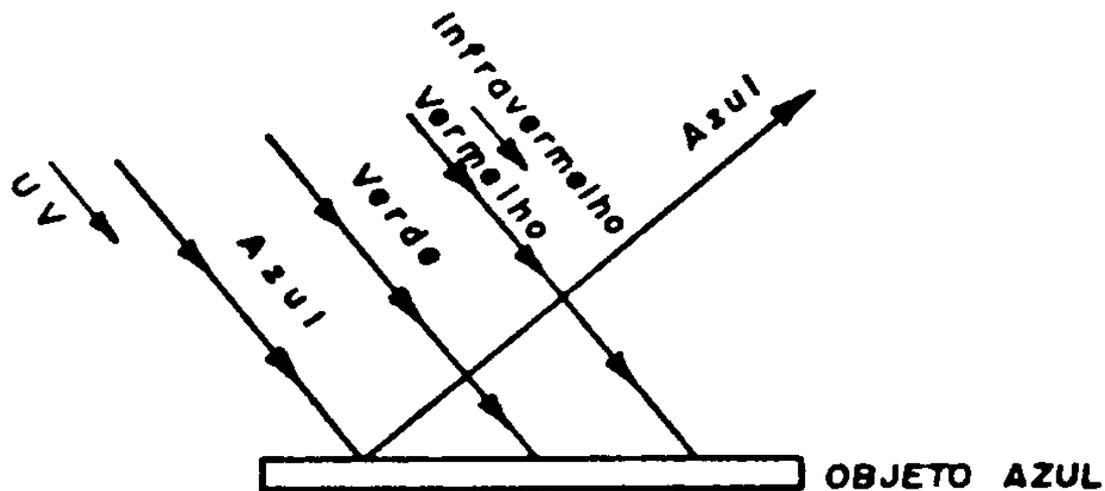
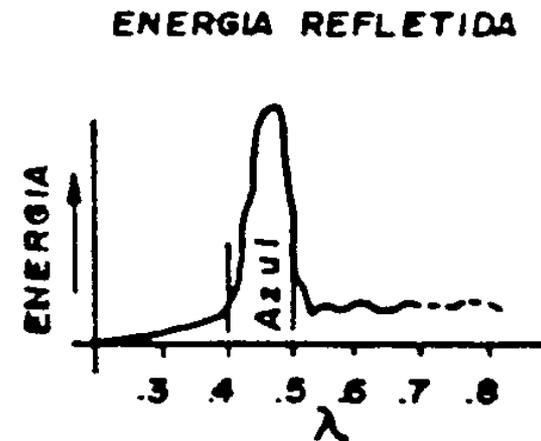
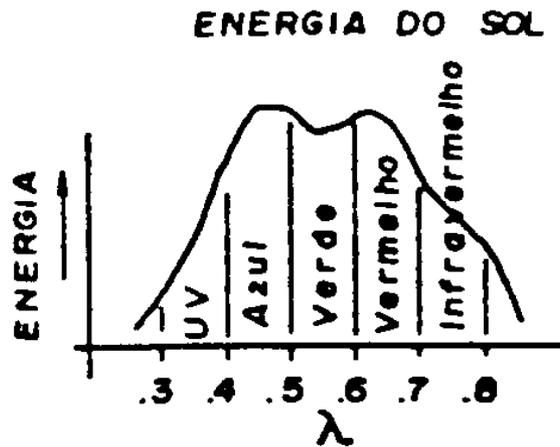


Comportamento Espectral

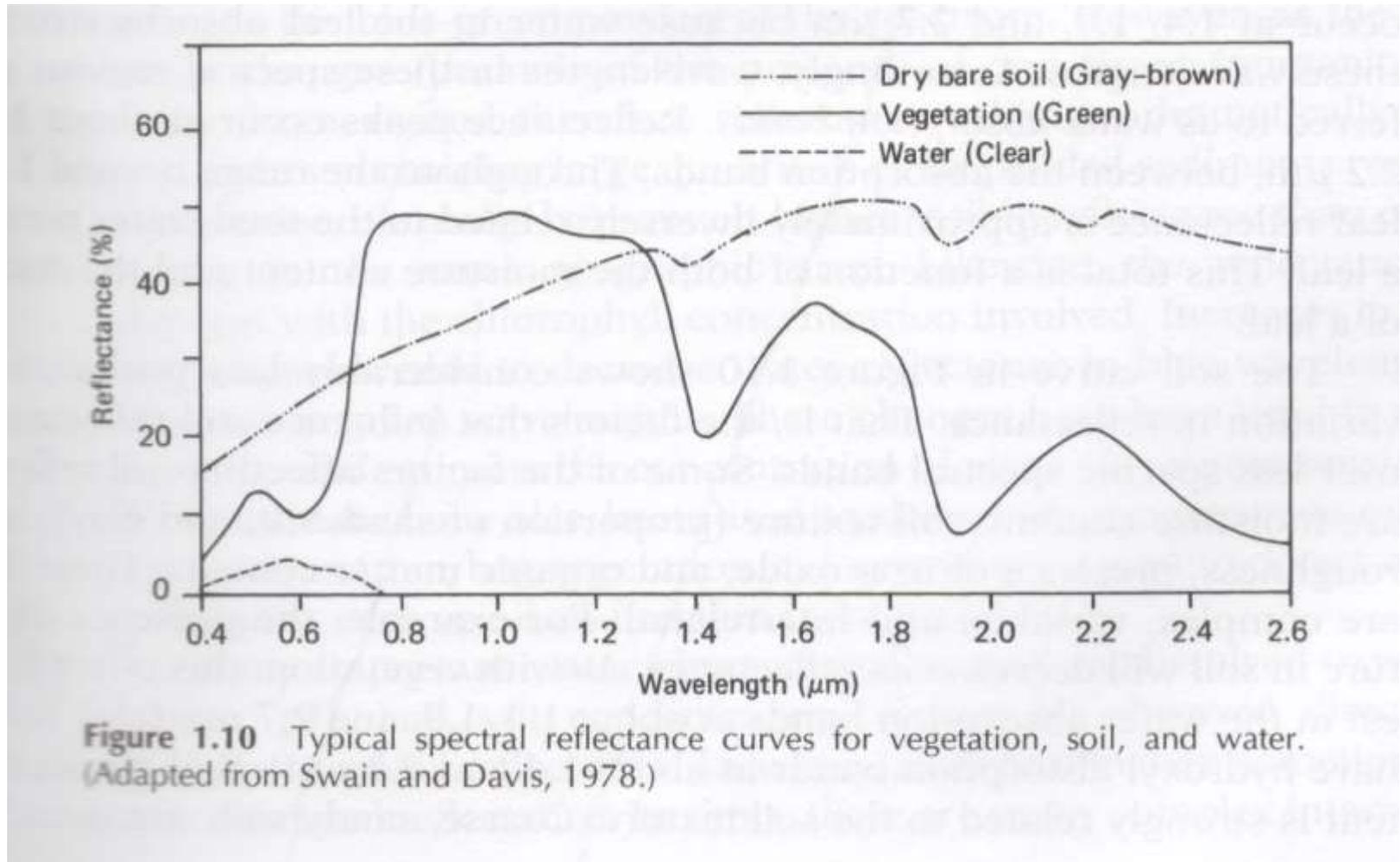
O que é ?

- É o estudo da interação da radiação eletromagnética com os objetos (vegetação, solos, minerais e rochas, água etc.).
- Permite a identificação e caracterização física da vegetação, do uso da terra, dos minerais etc. com base na resposta da radiação.

Comportamento Espectral de um Objeto Azul

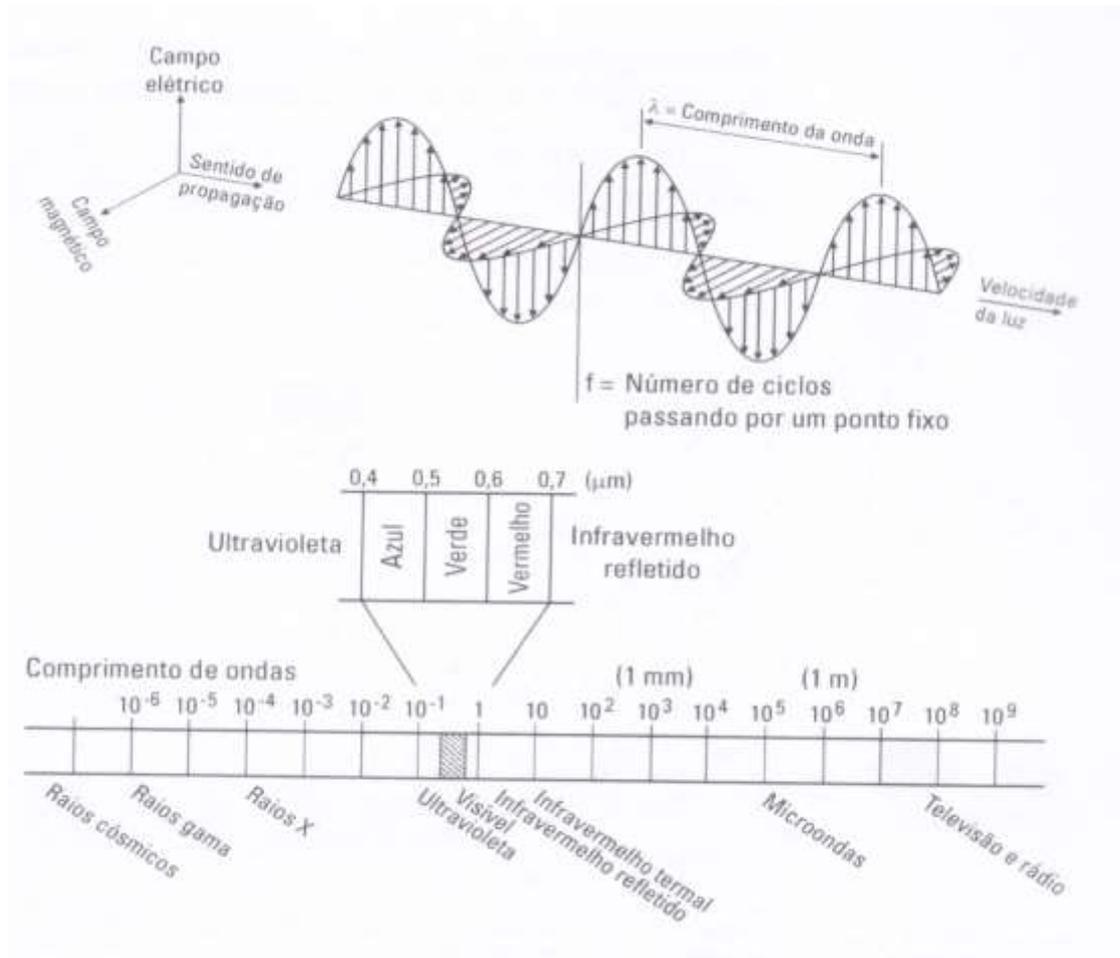


Curvas Espectrais: Solo Exposto, Vegetação e Água



Assinatura spectral

- Ilustra a forma como os objetos refletem a energia incidente.

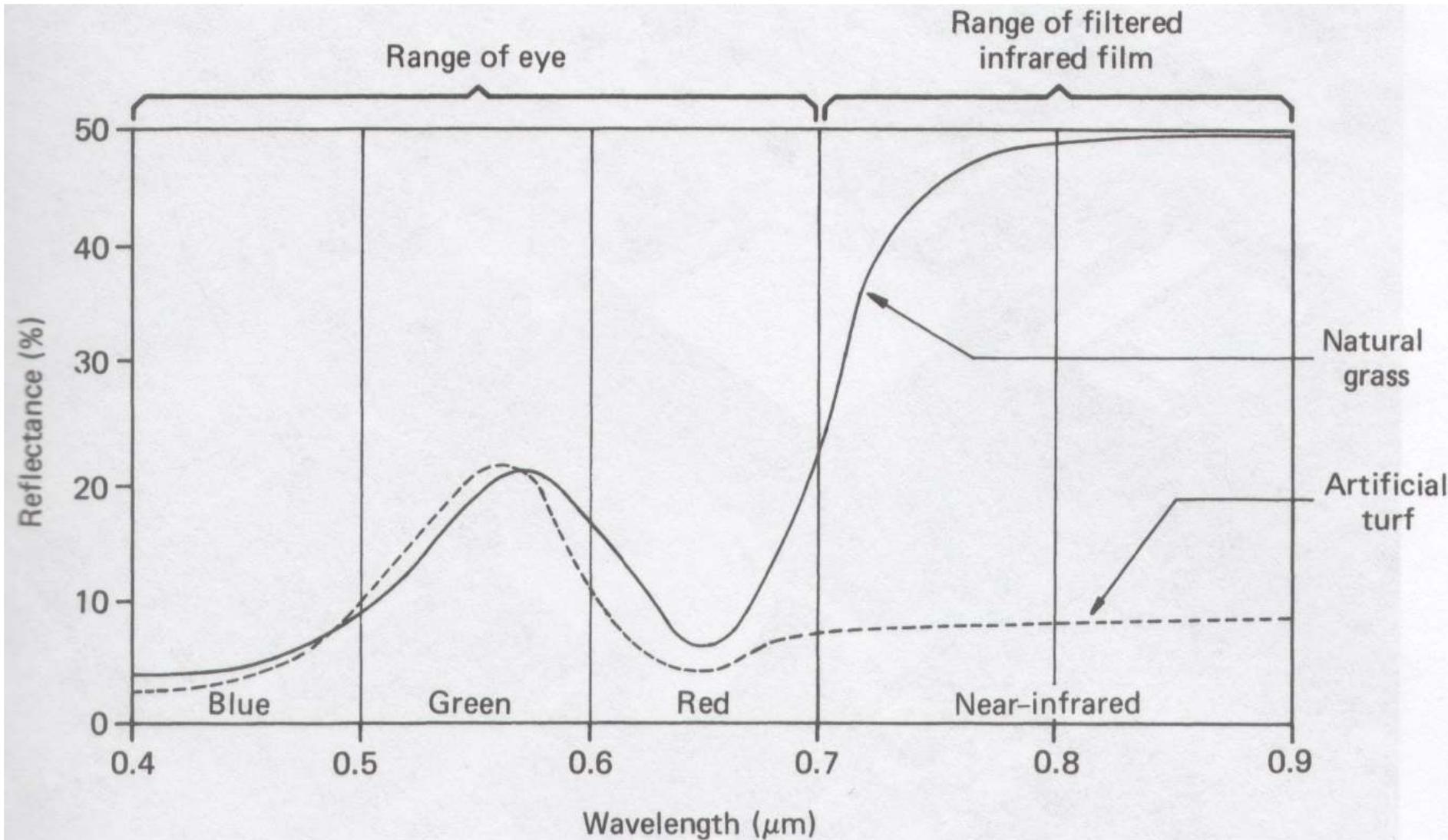


Onde há grama sintética?

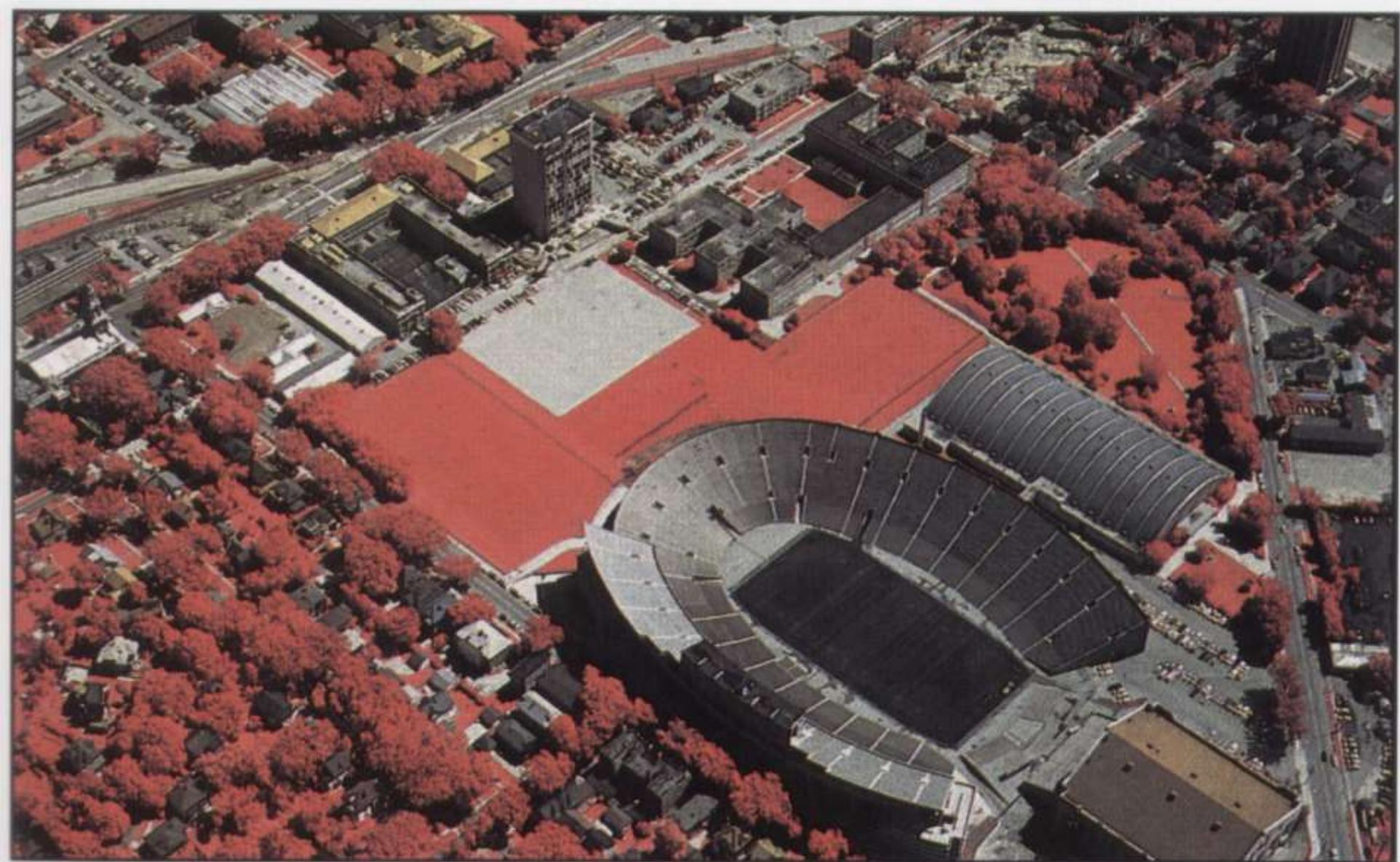


LILLESAND, T. M.; KIEFER, R. W.; CHIPMAN, J. W. 2004

Comportamento Espectral da Grama Natural e da Grama Sintética



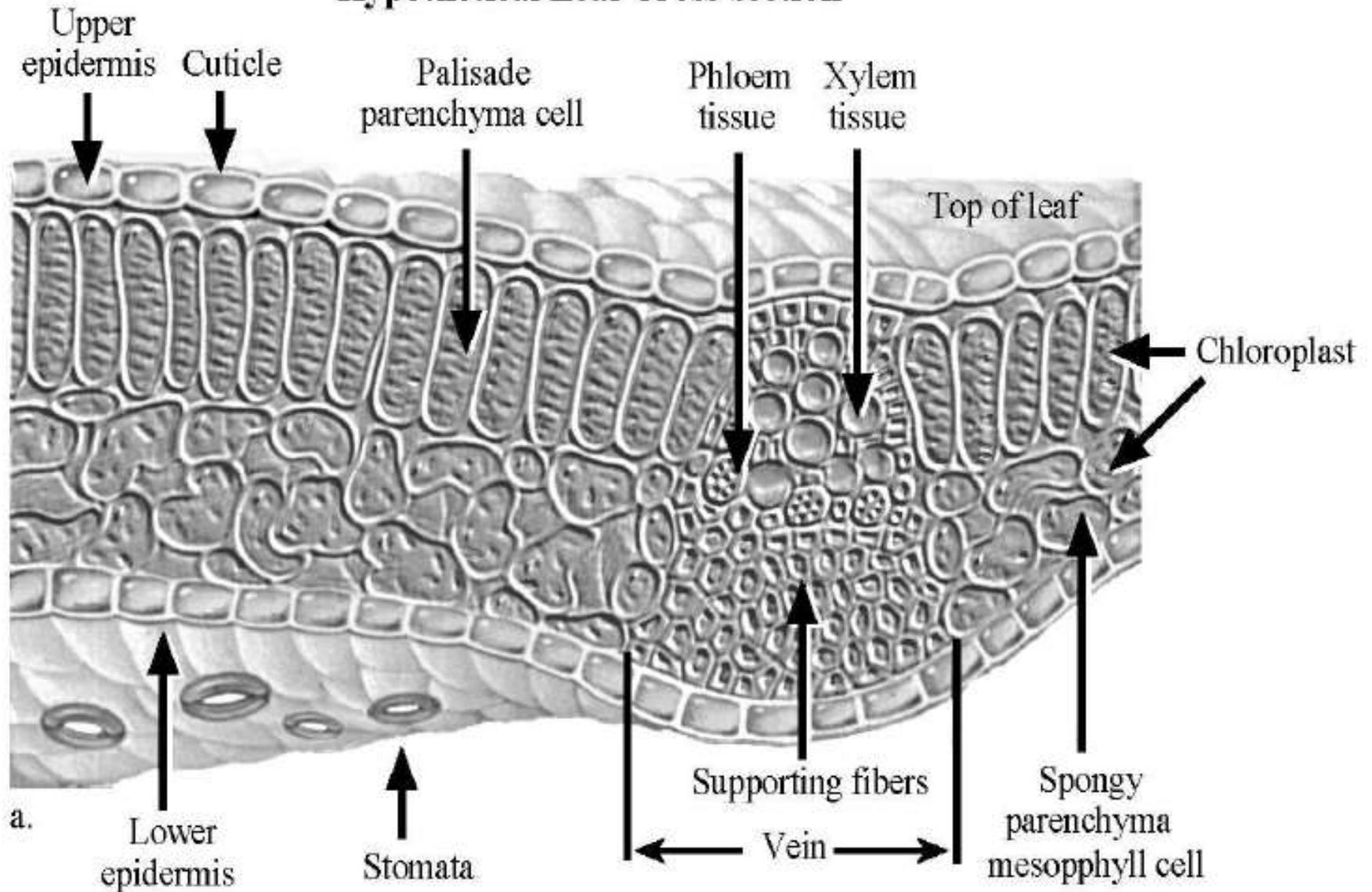
Vegetação no Infravermelho Próximo



LILLESAND, T. M.; KIEFER, R. W.; CHIPMAN, J. W. 2004

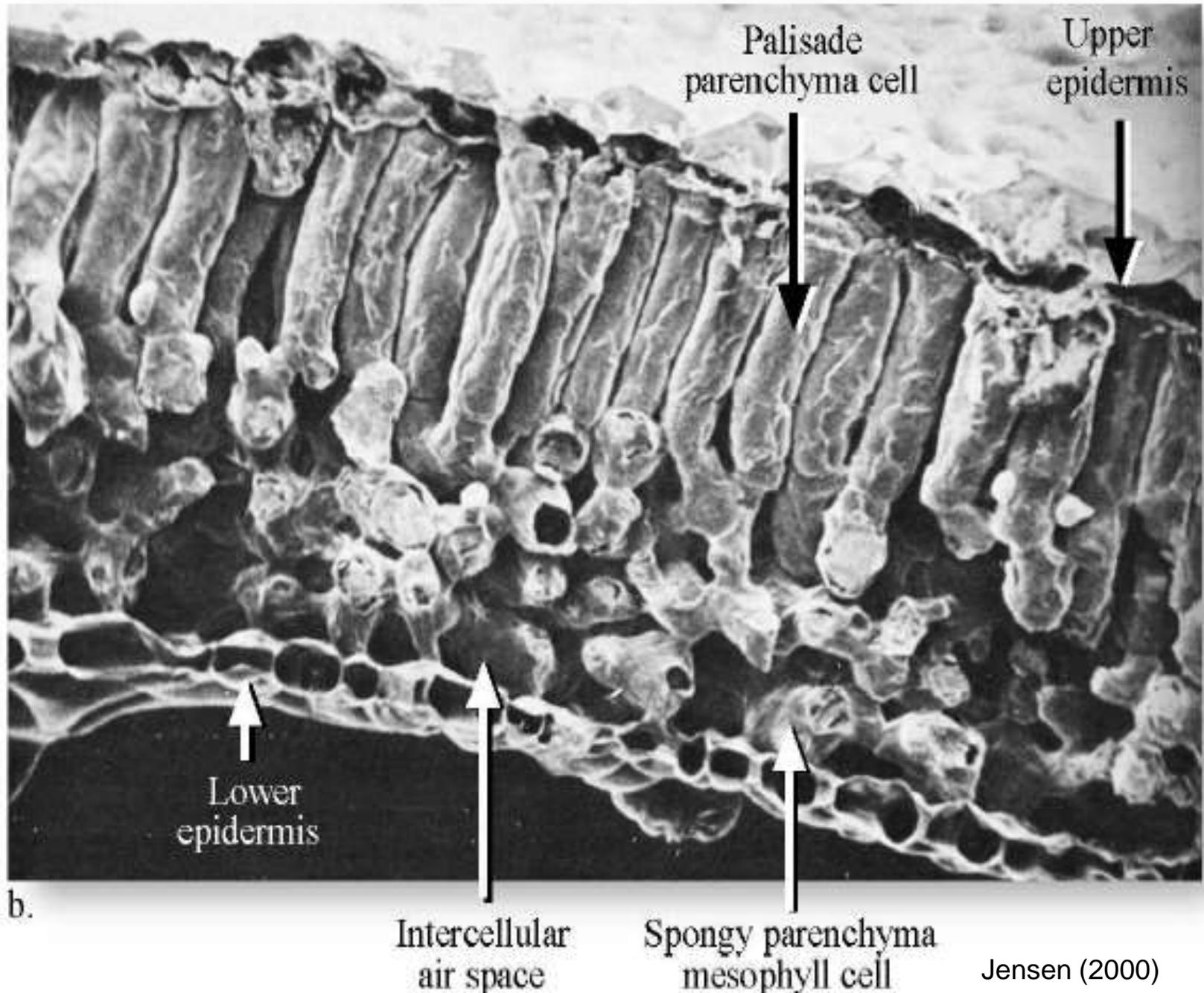
Estrutura da Folha

Hypothetical Leaf Cross-section

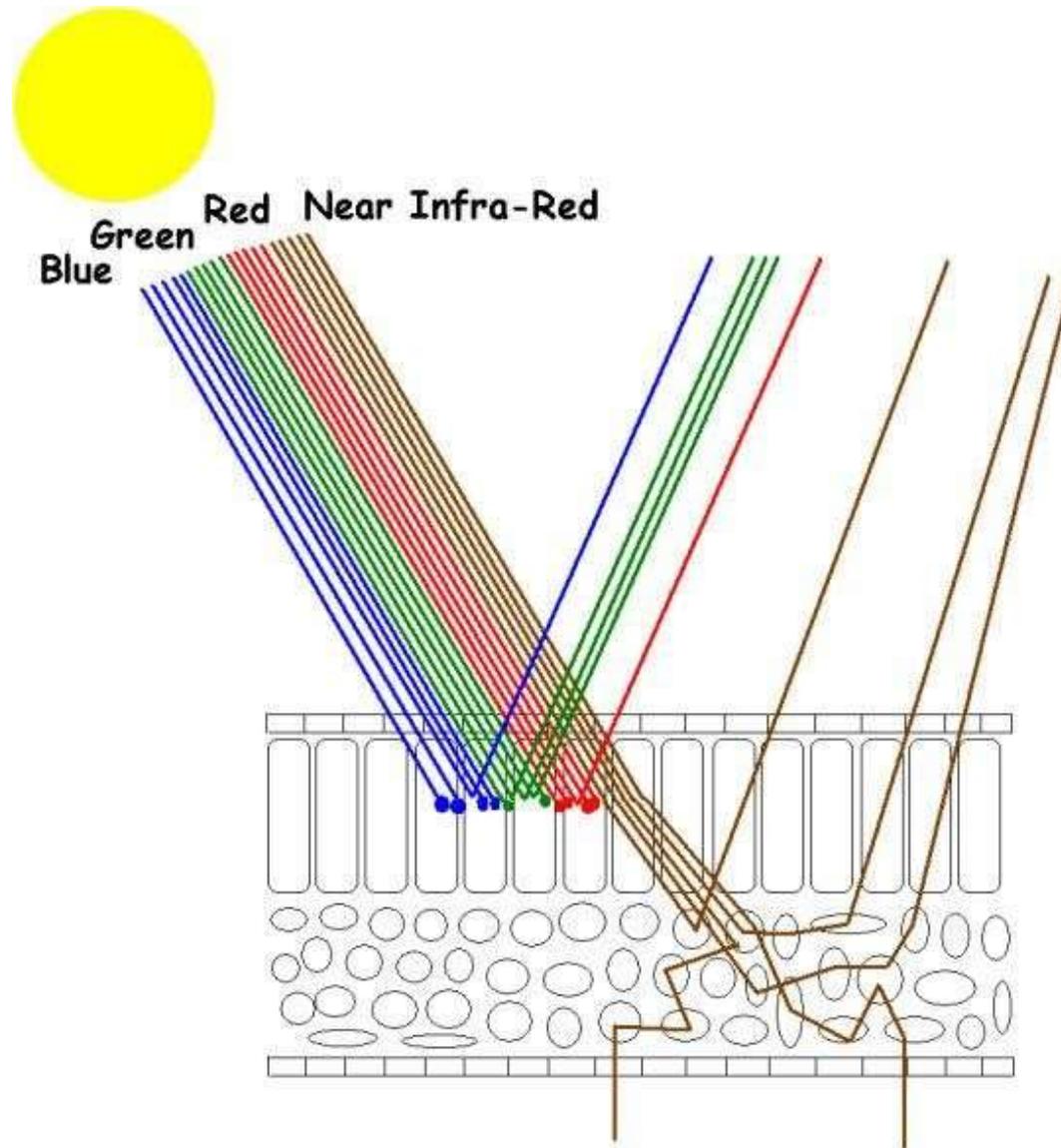


Estrutura da Folha

Actual Leaf Cross-section



Estrutura Interna da Folha



A estrutura celular da folha e sua interação com a energia eletromagnética. A maior parte da luz visível é absorvida, enquanto quase metade da energia do infravermelho próximo é refletida.

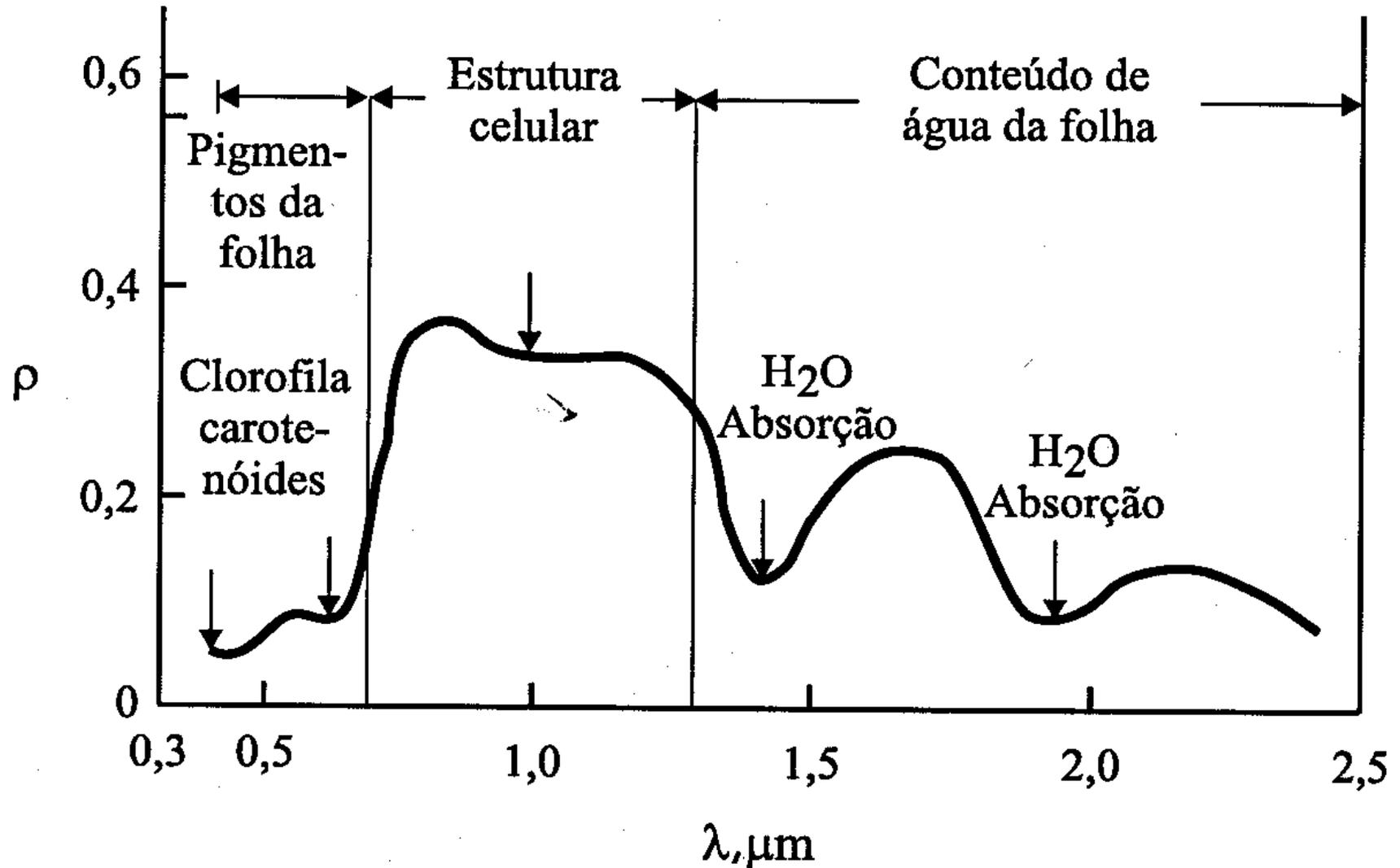
Sob a epiderme superior (a fina camada de células que forma a superfície superior da folha) existem principalmente duas camadas de células. O superior é o parênquima paliádico e consiste em células alongadas, bem dispostas verticalmente. Nessa camada reside a maior parte da clorofila, proteína responsável por captar a energia solar e alimentar o processo de fotossíntese. O nível inferior é o parênquima esponjoso, constituído por células de formato irregular, com muitos espaços de ar entre elas, para permitir a circulação de gases.

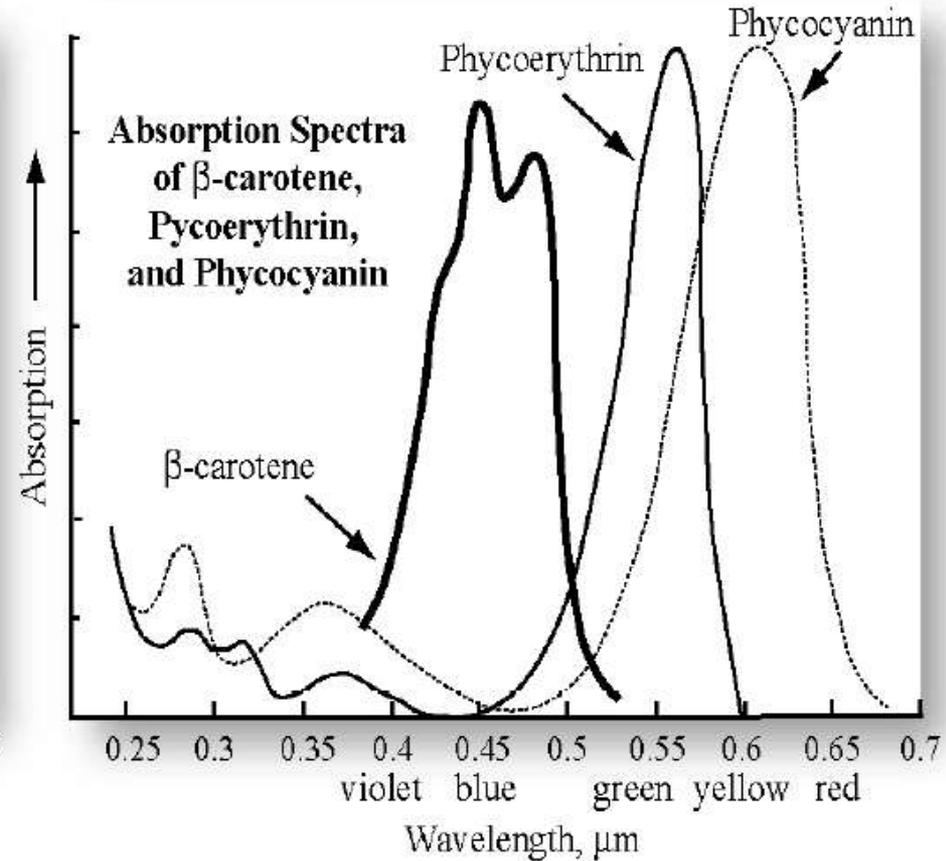
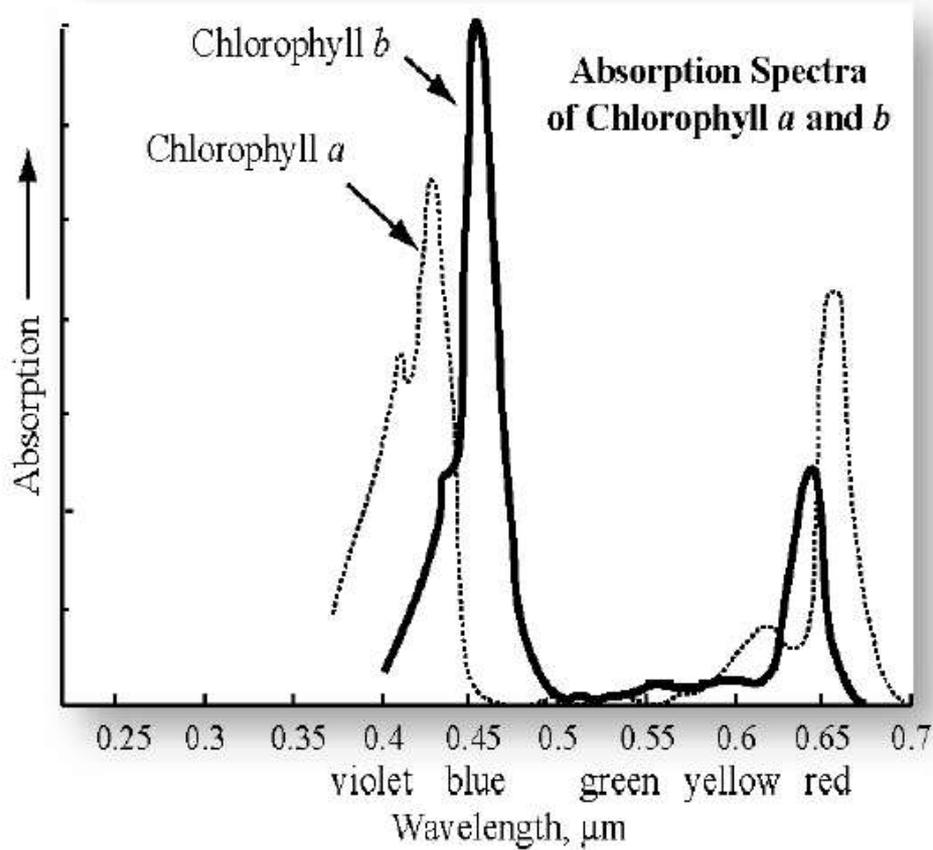
Além da clorofila, o parênquima paliádico contém outros pigmentos, como carotenoides, antocianinas e outros, que também são responsáveis pela absorção da luz. Por causa desses pigmentos, a maior parte da energia eletromagnética visível é absorvida, especialmente nas regiões azul e vermelha. A absorção nas regiões verdes é ligeiramente mais fraca, razão pela qual a vegetação parece verde aos nossos olhos. Como resultado,

muito pouca energia escapa do parênquima paliádico e é refletida de volta para o céu. Por outro lado, a energia do infravermelho próximo (NIR) não é afetada por esses pigmentos e penetra quase completamente no parênquima paliádico. Ao atingir o parênquima esponjoso, a presença de espaços aéreos provoca a refração da energia NIR em diversas direções. Isto resulta em aproximadamente metade da energia saindo da folha pela epiderme inferior e a outra metade pela epiderme superior, em direção ao céu.

Sensores remotos que registram a energia refletida nas regiões do espectro visível e do infravermelho próximo registrarão um sinal muito fraco nas regiões azul e vermelha, ligeiramente mais forte no verde e muito forte no infravermelho próximo.

Comportamento Espectral da Vegetação Verde





- Chlorophyll *a* peak absorption is at 0.43 and 0.66 μm .
- Chlorophyll *b* peak absorption is at 0.45 and 0.65 μm .
- Optimum chlorophyll absorption windows: 0.45 - 0.52 μm and 0.63 - 0.69 μm

Atuação dos Principais Pigmentos Foliaves

- Carotenóides:

Caroteno: pigmentos de cor laranja que exerce função importante função na atividade fotossintética. Transfere a energia absorvida para a clorofila. Protege a planta contra o excesso de energia, cujo excesso pode destruir proteínas, membranas e moléculas.

Xantofila: pigmento amarelo das folhas. Absorve os comprimentos de onda que a clorofila não absorve. Exerce função de proteção contra o excesso de luz. Também é considerado um antioxidante.

- Ficobilinas: ocorre nas algas.

Ficoeritrina: algas vermelhas

Ficocianina: algas azuis ou cianobactérias

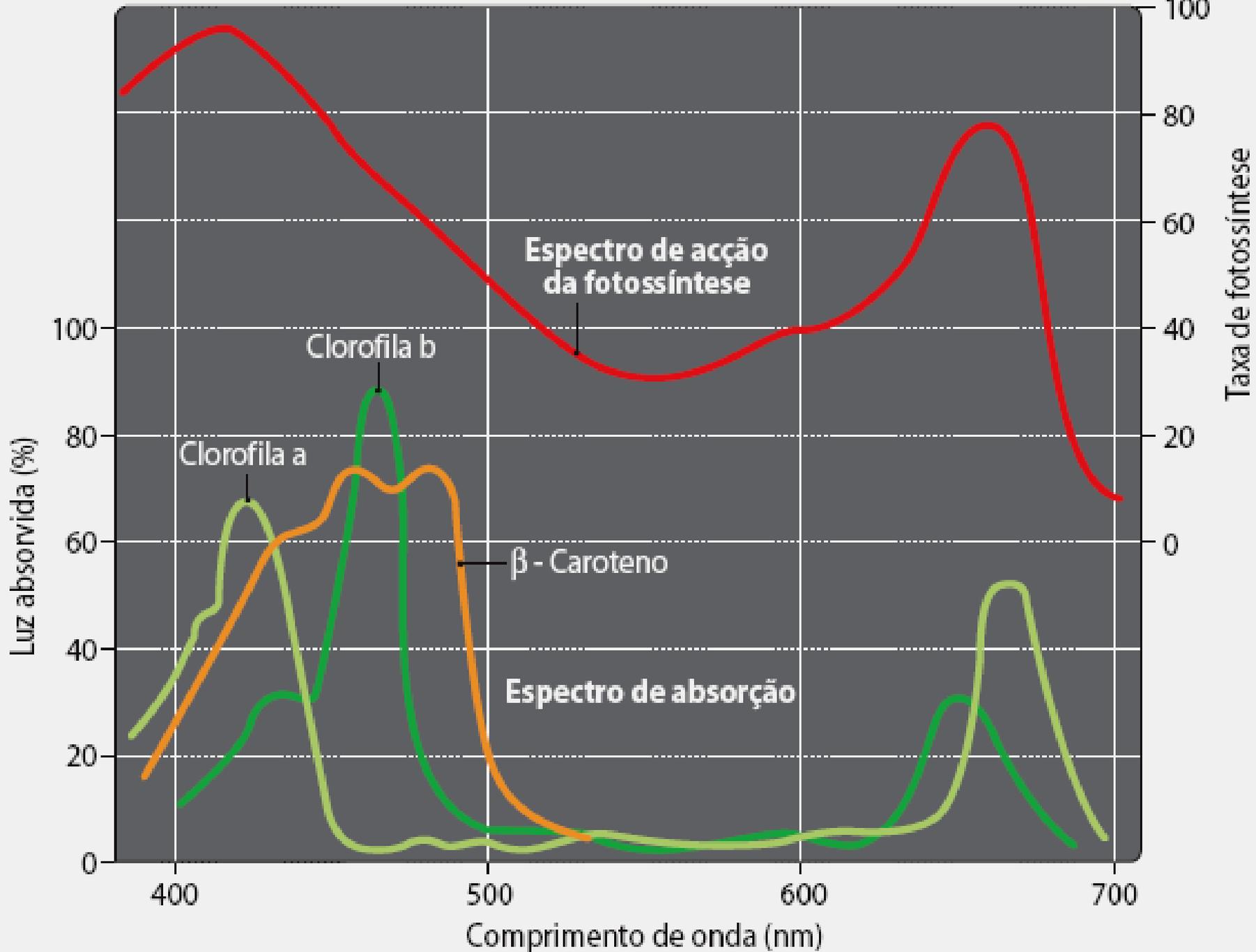
Atuação dos Principais Pigmentos Foliares

- Antocianina:

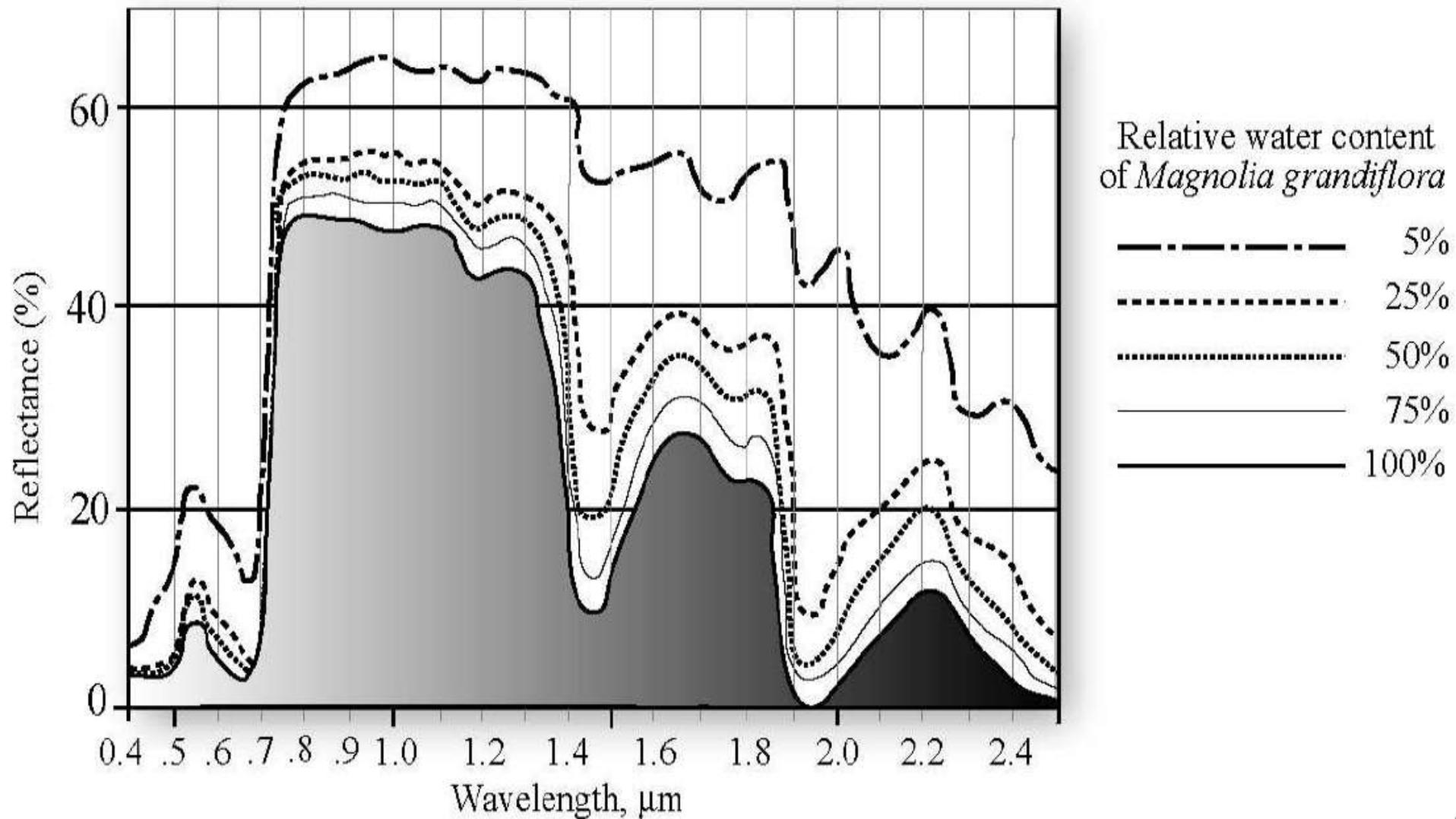
Grupo dos flavonóides. Exerce função de proteção contra os raios UV e evita a produção de radicais livres (moléculas tóxicas). Cor vermelha de algumas plantas e árvores.

- A cor das folhas:

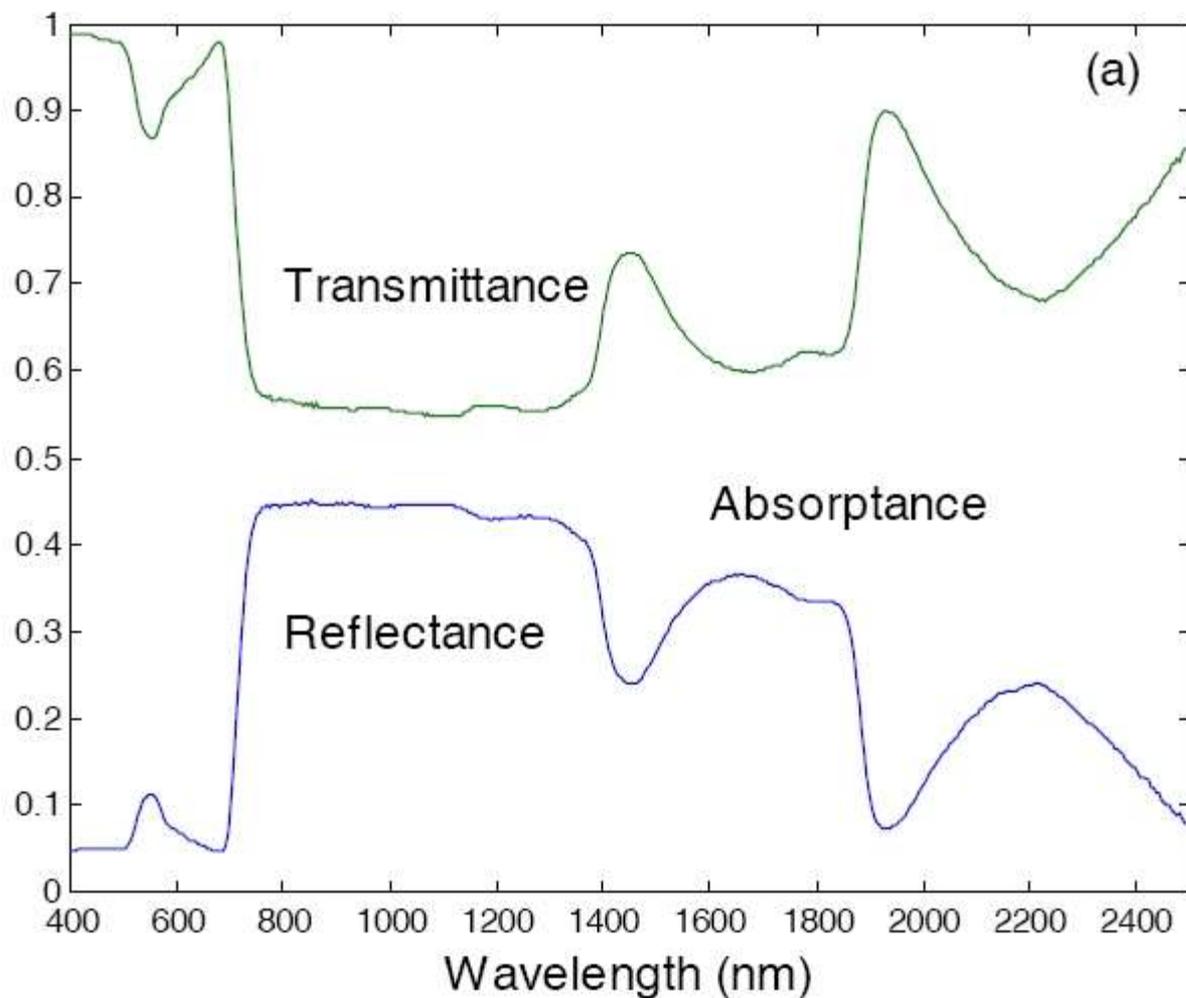
Nas plantas saudáveis, a clorofila é dominante e mascara outros pigmentos. Quando a planta atinge a senescência ou é afetada por stress, a clorofila pode diminuir ou desaparecer, permitindo que outros pigmentos, como carotenoides se tornem dominantes.



Secagem da Vegetação



Reflectância x Transmissão x Absorbância



Stéphane JACQUEMOUD and Susan L. USTIN 2001

Proc. 8th International Symposium Physical Measurements & Signatures in Remote Sensing, Aussois (France), 8-12

Comportamento Espectral da Vegetação na Região do Visível

- O comportamento espectral da vegetação no visível é controlado pelos pigmentos de clorofila, carotenóides e xantofila presentes na camada mesófila das folhas.
- Estes pigmentos, principalmente a clorofila **a** e **b** são responsáveis pela forte absorção da radiação nos comprimentos de onda do azul (0.45-0.52 μm) e do vermelho (0.63-0.69 μm) (KNIPLING, 1970; CURRAN, 1980; JENSEN, 1983).
- Um relativo pico de reflexão observado em 0.54 μm corresponde à região do verde.
- Quando a vegetação encontra-se em condições de estresse hídrico ou de ressecamento, a produção de clorofila é reduzida e a vegetação passa a absorver menor quantidade de radiação.

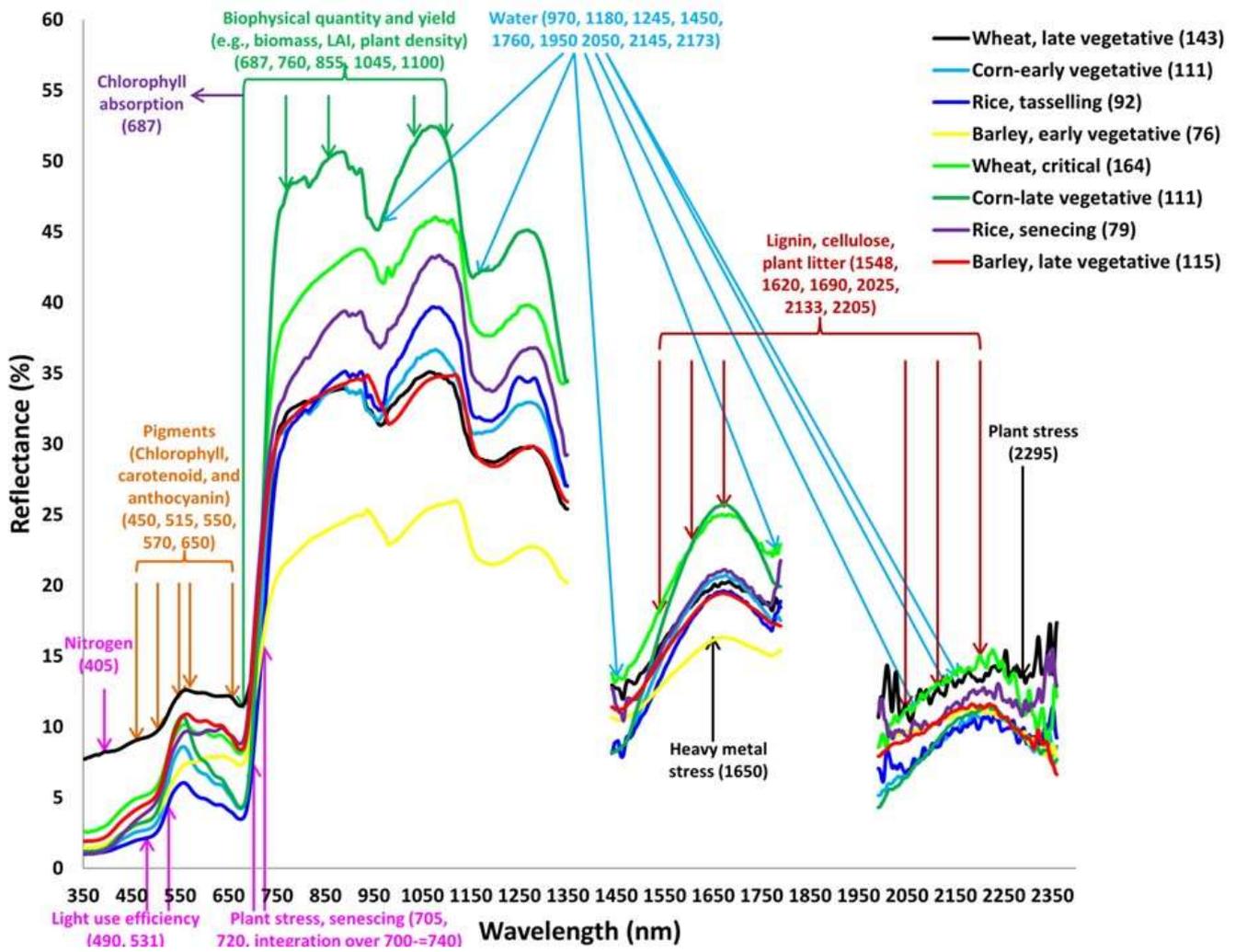
Comportamento Espectral da Vegetação na Região do Infravermelho Próximo

- Na região do infravermelho próximo (0.74 a 1.1 μm) a vegetação reflete grande quantidade de energia.
- A energia refletida é bem correlacionada com a quantidade de biomassa produzida pelas plantas.
- Esta correlação é observada porque o principal fator que controla a reflectância no infravermelho próximo são os espaços intercelulares presentes na camada mesófila.
- A vegetação verde e sadia reflete na região do infravermelho próximo cerca de 45 a 50% da energia que chega. O restante da energia (outros 45 a 50%) é praticamente transmitido para as camadas inferiores ou adjacentes do dossel (JENSEN, 1983).

Comportamento Espectral da Vegetação na Região do SWIR

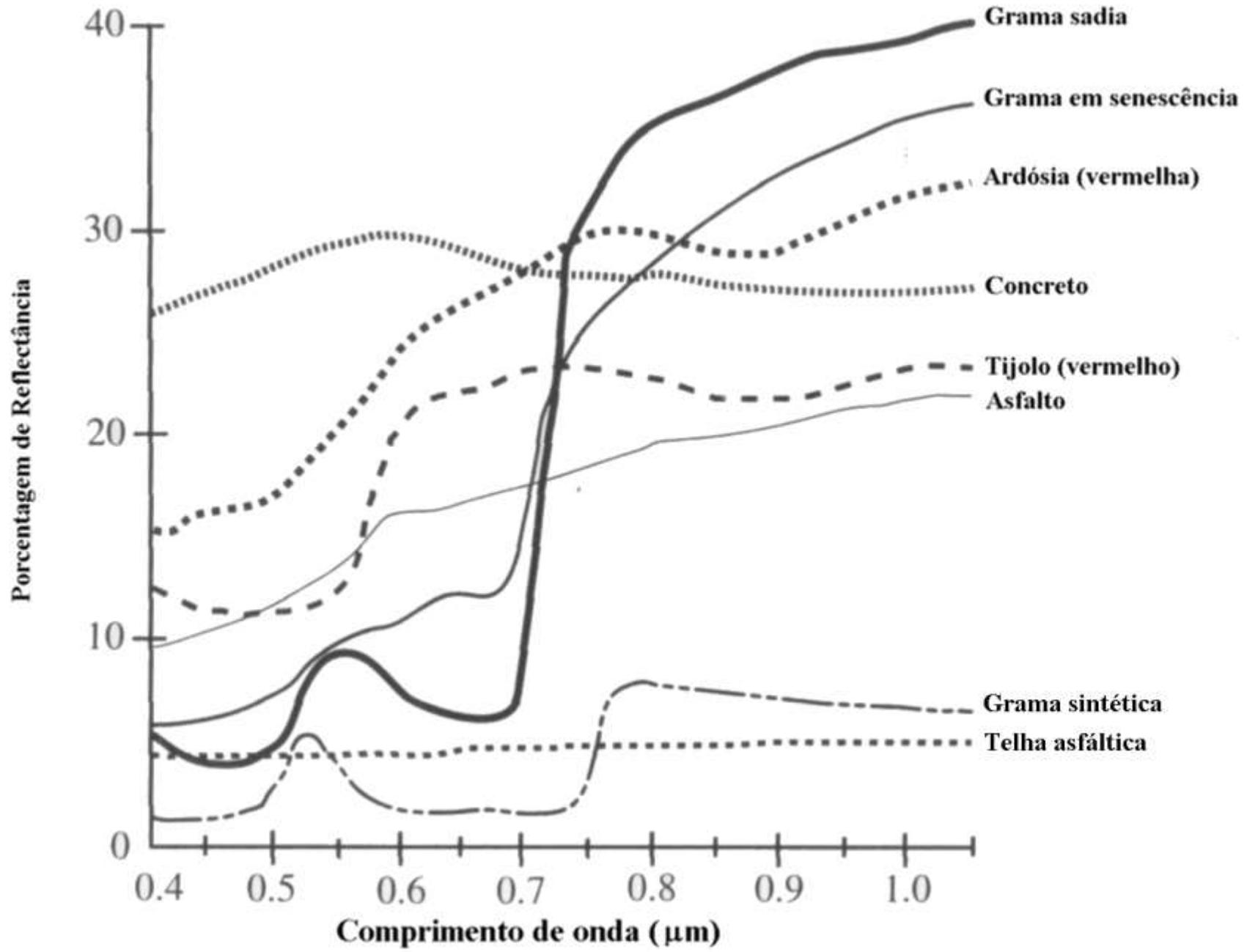
- Na região do infravermelho de ondas curtas (1.3 a 2.5 μm) a vegetação verde possui novamente uma baixa reflectância da energia.
- Este intervalo é controlado pela concentração de **água** no tecido que ocorre com maior intensidade em 1.4, 1.9 e 2.7 μm (JENSEN, 1983).

Cultivos Agrícolas

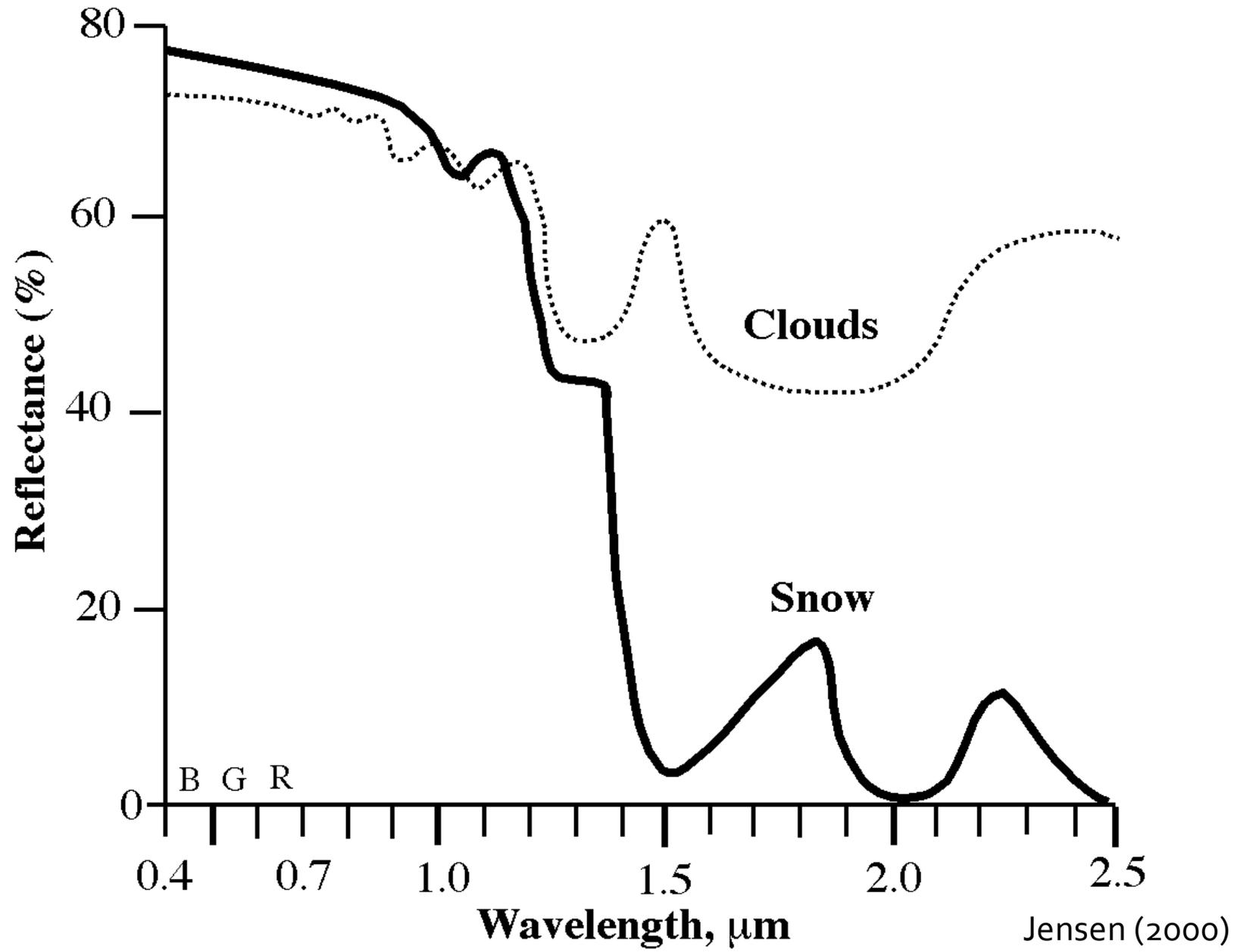


<https://www.usgs.gov/media/images/hyperspectral-signatures-o>
 Modified and adopted from:
 Thenkabail, P.S., Mariotto, I., Gumma, M.K., Middleton, E.M., Landis, and D.R., Huemmrich, F.K., 2013.
 Selection of hyperspectral narrowbands (HNBs) and composition of hyperspectral twoband vegetation indices (HVIs) for biophysical characterization and discrimination of crop types using field reflectance and Hyperion/EO-1 data.
 IEEE JOURNAL OF SELECTED TOPICS IN APPLIED EARTH OBSERVATIONS AND REMOTE SENSING, Pp. 427-439, VOL. 6, NO. 2, APRIL 2013. doi: 10.1109/JSTARS.2013.2252601. (80%). IP-037139.

Objetos Urbanos



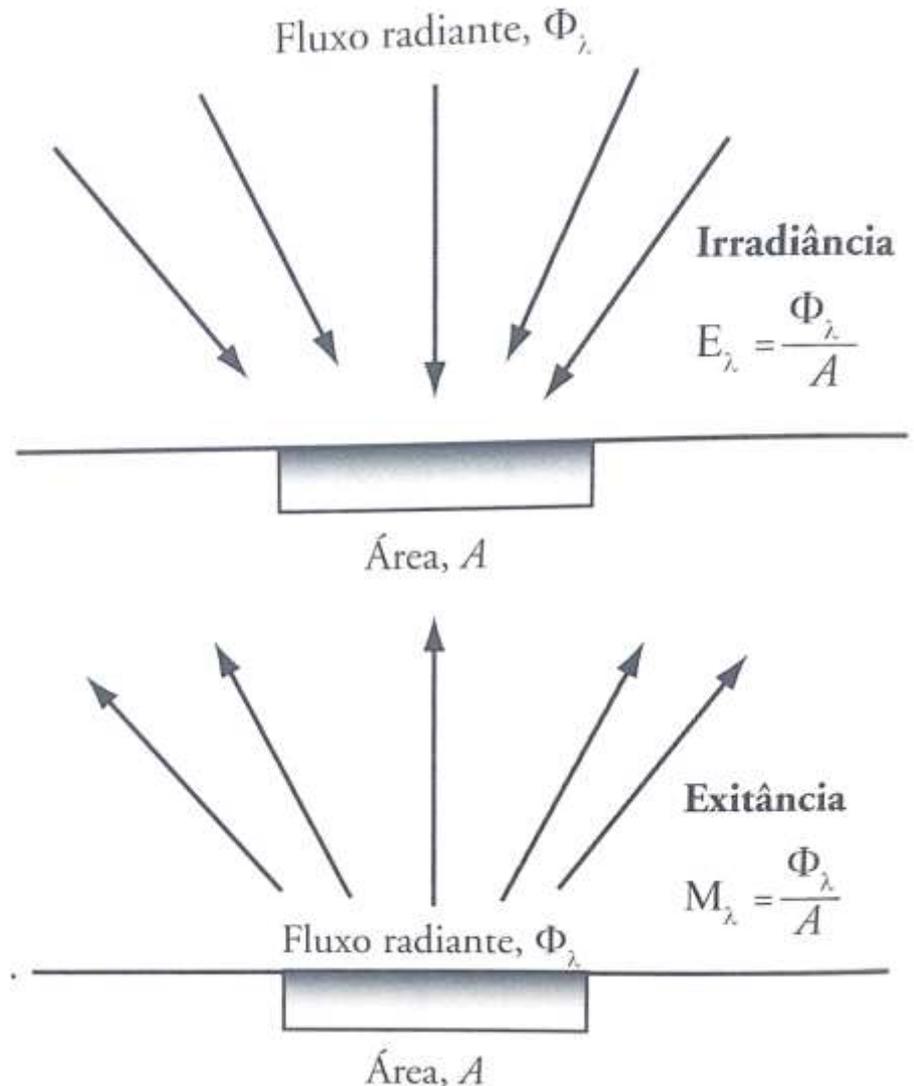
Nuvem e Neve



Jensen (2000)

Medição da Radiação: Fluxo Radiante, Radiância e Reflectância

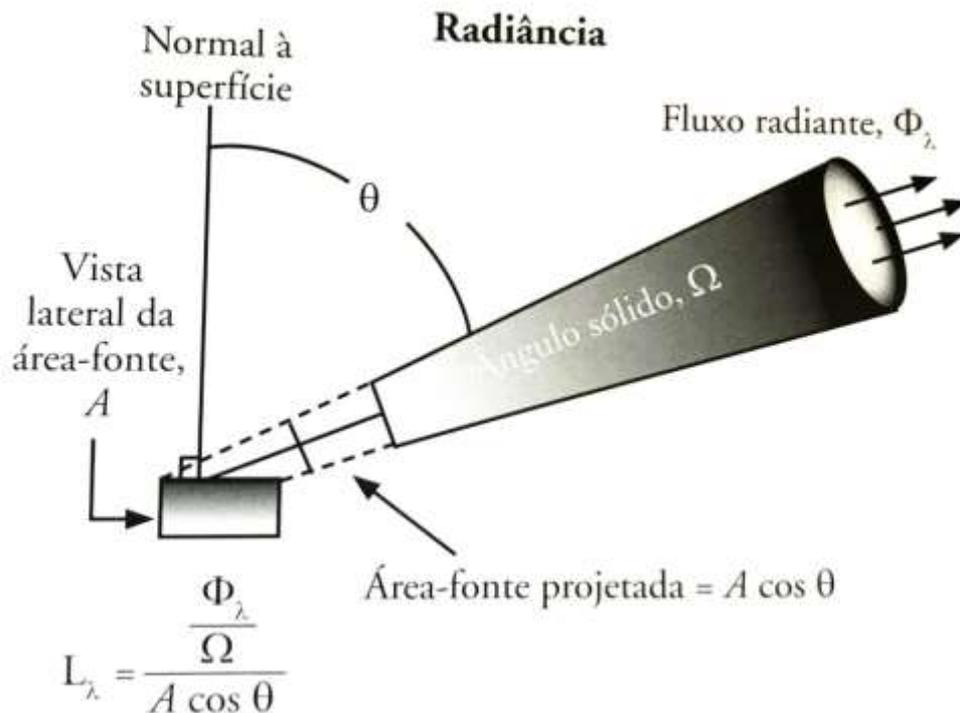
Fluxo Radiante:
Quantidade de energia incidente
ou que deixa a superfície por unidade
de área da superfície medida em
Watts por metro quadrado (Wm^{-2}).



Medição da Radiação: Fluxo Radiante, Radiância e Reflectância

Radiância:

Intensidade radiante por unidade de área fonte projetada numa direção específica. Medida em Watts por metro quadrado por esterradiano (Wm^{-2})



Medição da Radiação: Radiância , Fluxo Radiante e Reflectância

Reflectância:

É a proporção entre o fluxo de radiação eletromagnética incidente numa superfície e o fluxo que é refletido. Formalmente é descrito como:

$$R = Fr / Ft$$

onde:

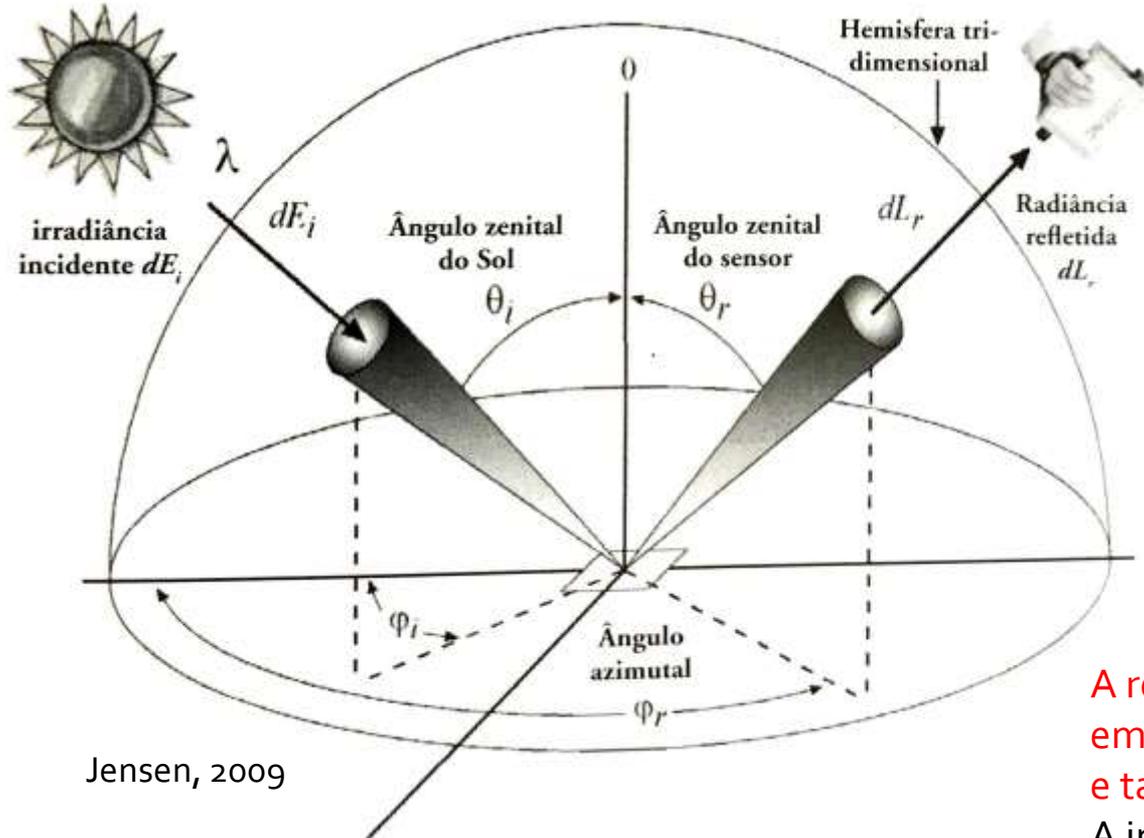
R: reflectância

Fr: Fluxo de radiação eletromagnética refletido

Ft: Fluxo de radiação eletromagnética incidente.

Como os Objetos Aparecem na Imagem?

Depende da Iluminação Solar e da Geometria de Aquisição dos dados



A reflectância de um objeto varia em função do ângulo de observação e também da geometria de iluminação. A interação destas duas componentes é descrita pela **Função de Distribuição da Reflectância Bidirecional (FDRD)**.

Como os Objetos Aparecem na Imagem?

Depende da Iluminação Solar e da Geometria de Aquisição dos dados

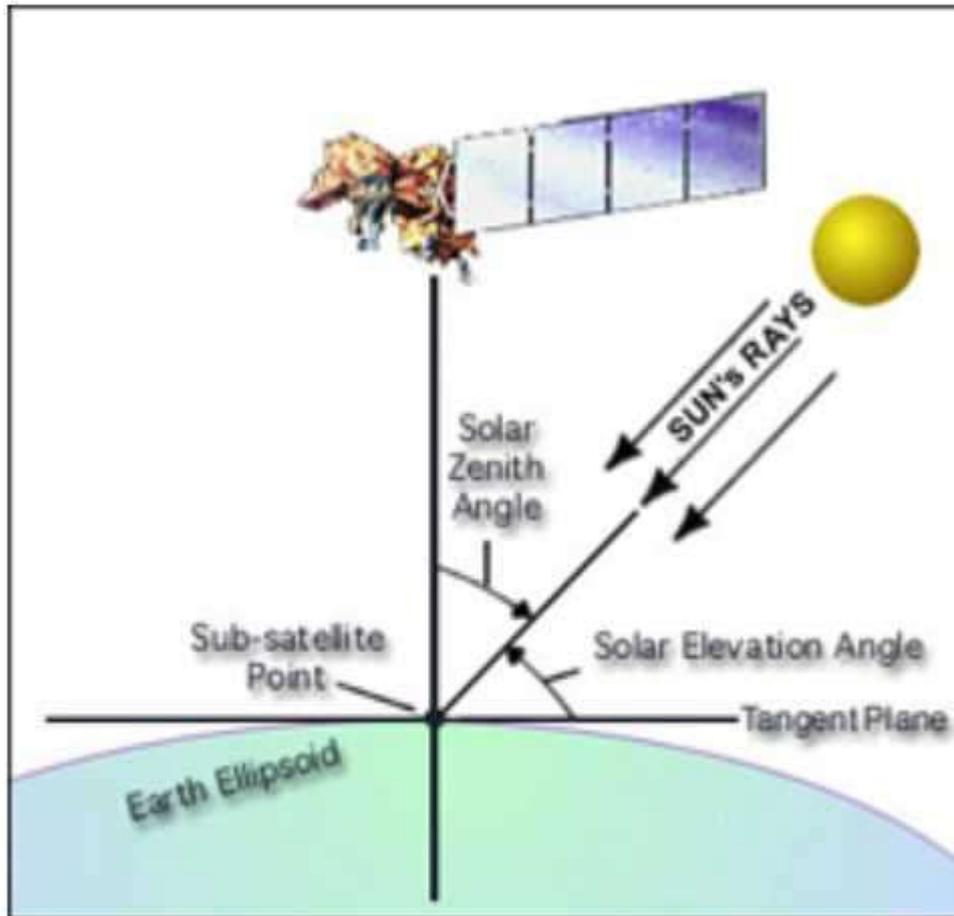


Figure 6.5 - Sun Elevation Angle

Landsat 7 Science Data Users Handbook

https://landsat.gsfc.nasa.gov/wp-content/uploads/2016/08/Landsat7_Handbook.pdf

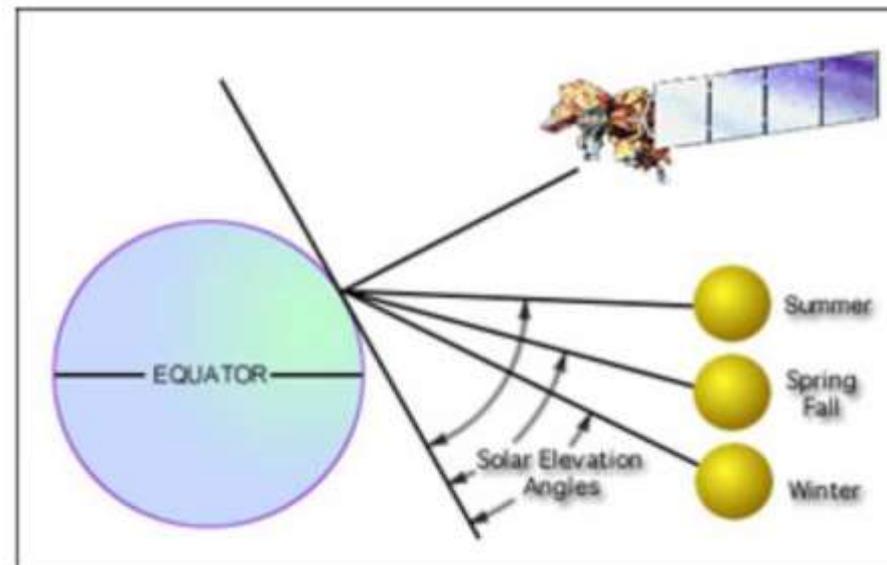


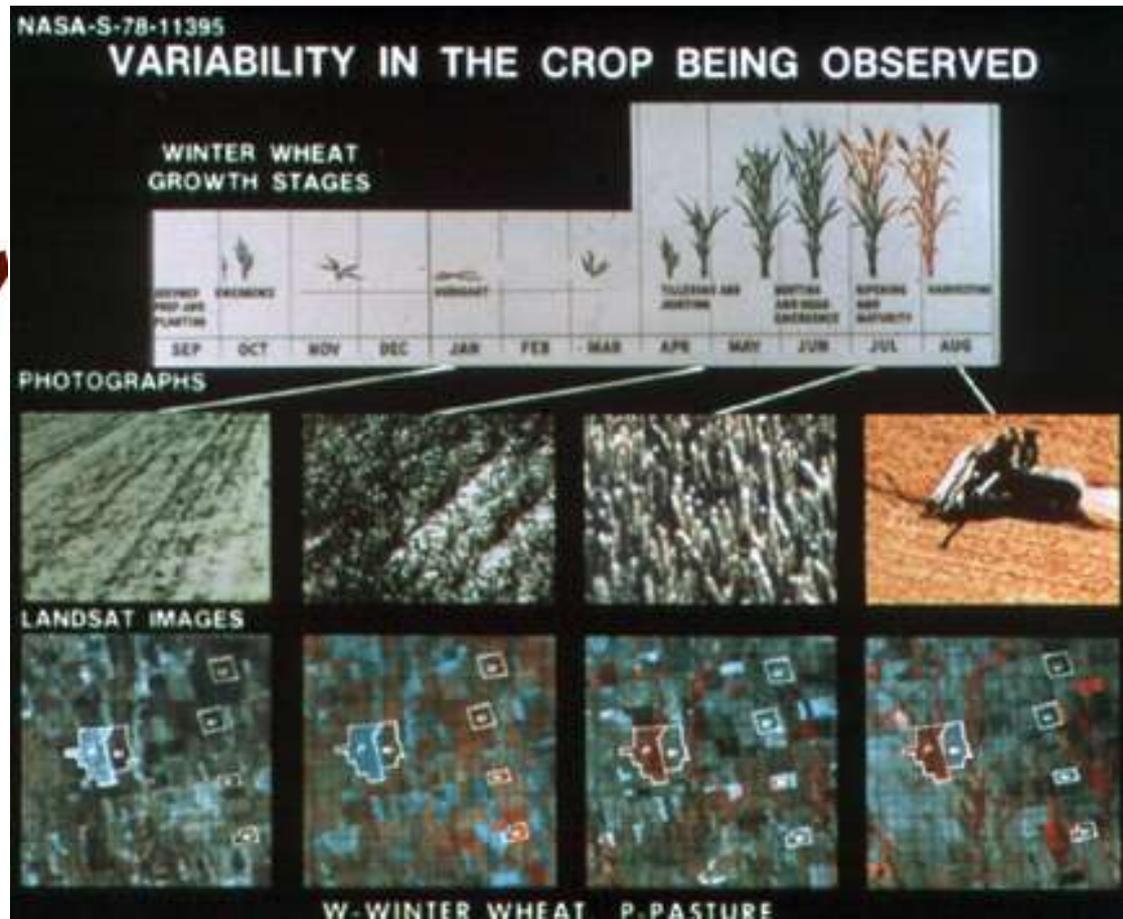
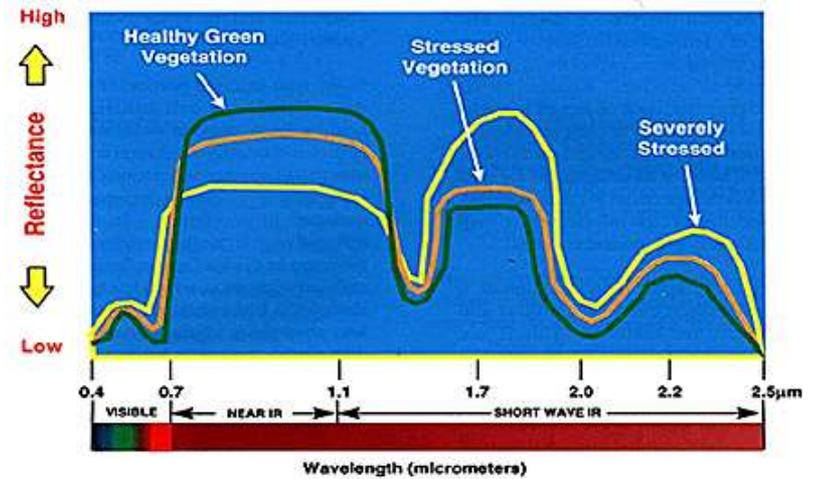
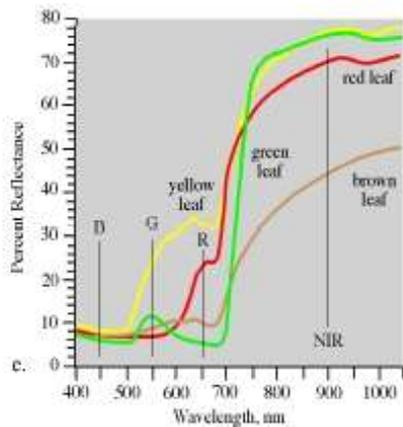
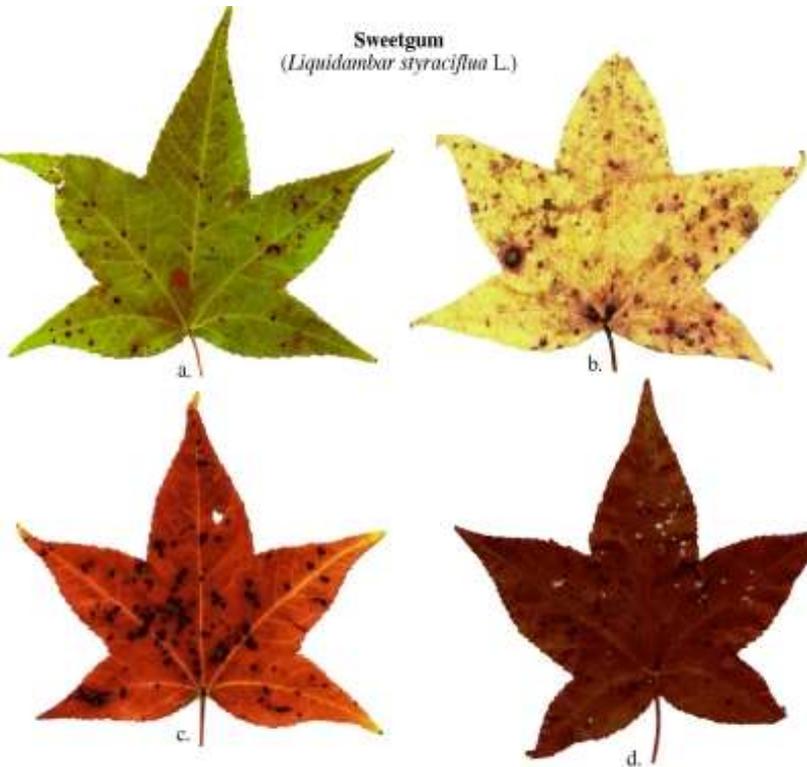
Figure 6.6 - Effects of Seasonal Changes on Solar Elevation Angle

Dependendo da localização, algumas áreas podem não ter imagens em razão do baixo ângulo de elevação solar. É esperado que imagens obtidas acima de 30 graus de elevação solar forneçam informações consistentes do objeto.

Imagens abaixo de 15 graus não são obtidas pelo L7.

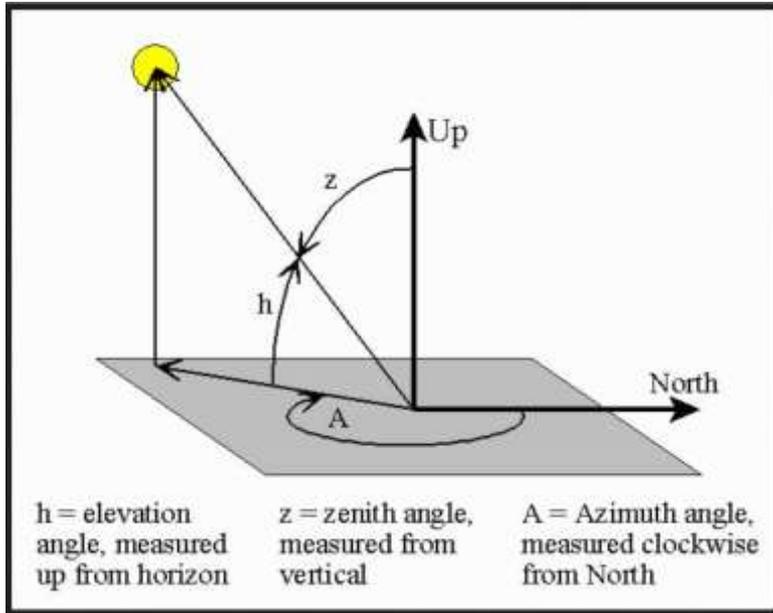
Como os Objetos Aparecem na Imagem? Depende da Época do Ano

<http://www.cas.sc.edu/geog/rsbook/Exercises/Rse/e03.html>



Como os Objetos Aparecem na Imagem?

Depende do ângulo de Elevação Solar e de Azimute



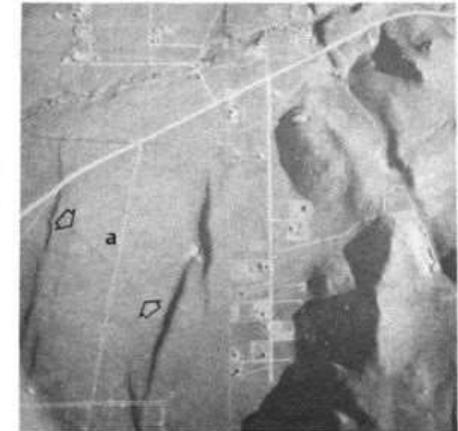
(4a)
February 8, 1974
Solar altitude 20°
Solar azimuth 133°
Local solar time 0900



(4b)
February 15, 1974
Solar altitude 25°
Solar azimuth 134°
Local solar time 0913



(4c)
March 22, 1974
Solar altitude 33°
Solar azimuth 123°
Local solar time 0900



(4d)
April 12, 1974
Solar altitude 11°
Solar azimuth 88°
Local solar time 0630

WALKER, P. M.; TREXLER, D. T. Low Sun-Angle Photography.
PHOTOGRAMMETRIC ENGINEERING & REMOTE SENSING, 1977

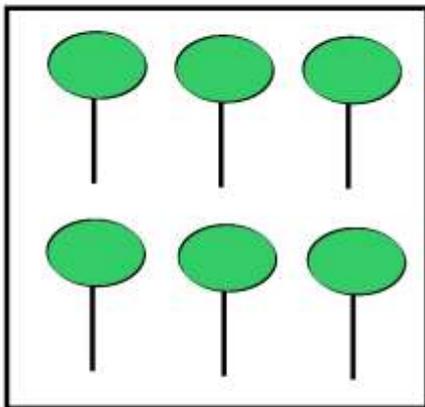
FIG. 4. Reno test site sequential low sun-angle photography. Original scale 1:12,000.

Como os Objetos Aparecem na Imagem?

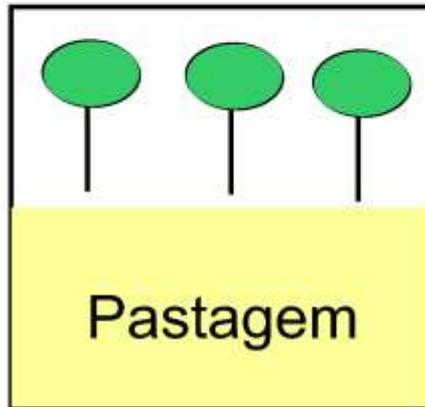
Depende da Resolução Espacial

Efeito de Mistura do Pixel

100% (Floresta)

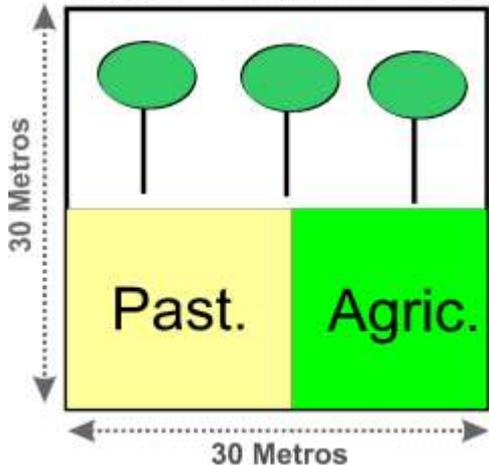


50% (Flor.) + 50% (Past.)

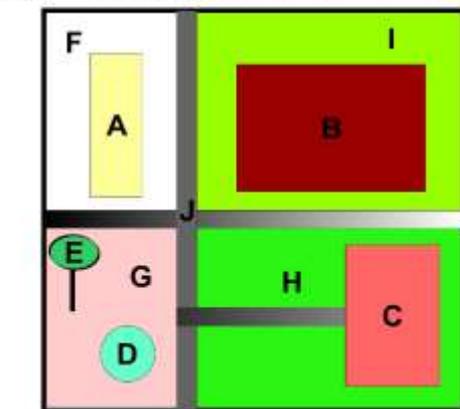


Pastagem

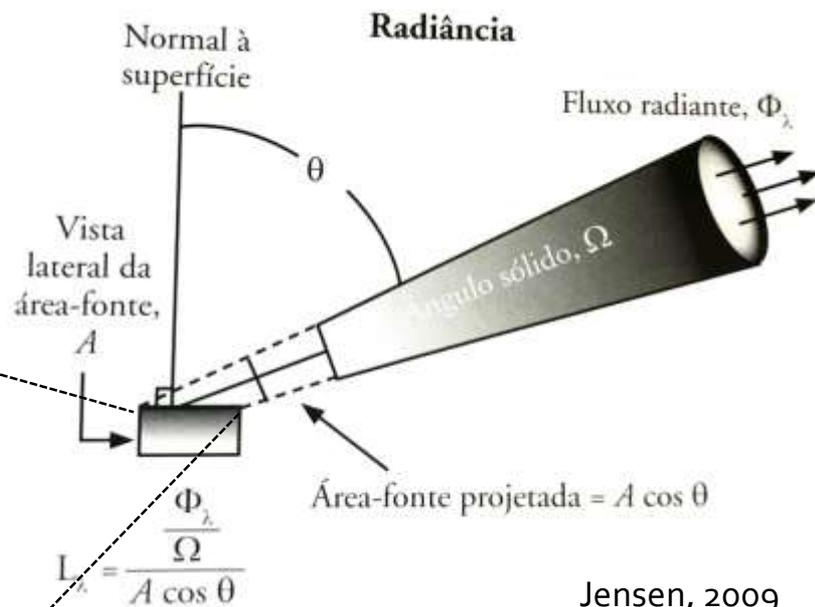
50% (Flor.) + 25% (Past.) + 25% (Agr.)



Área Urbana (A + B + C + ...)



A + B + C + D + E + F + G + H + I + J

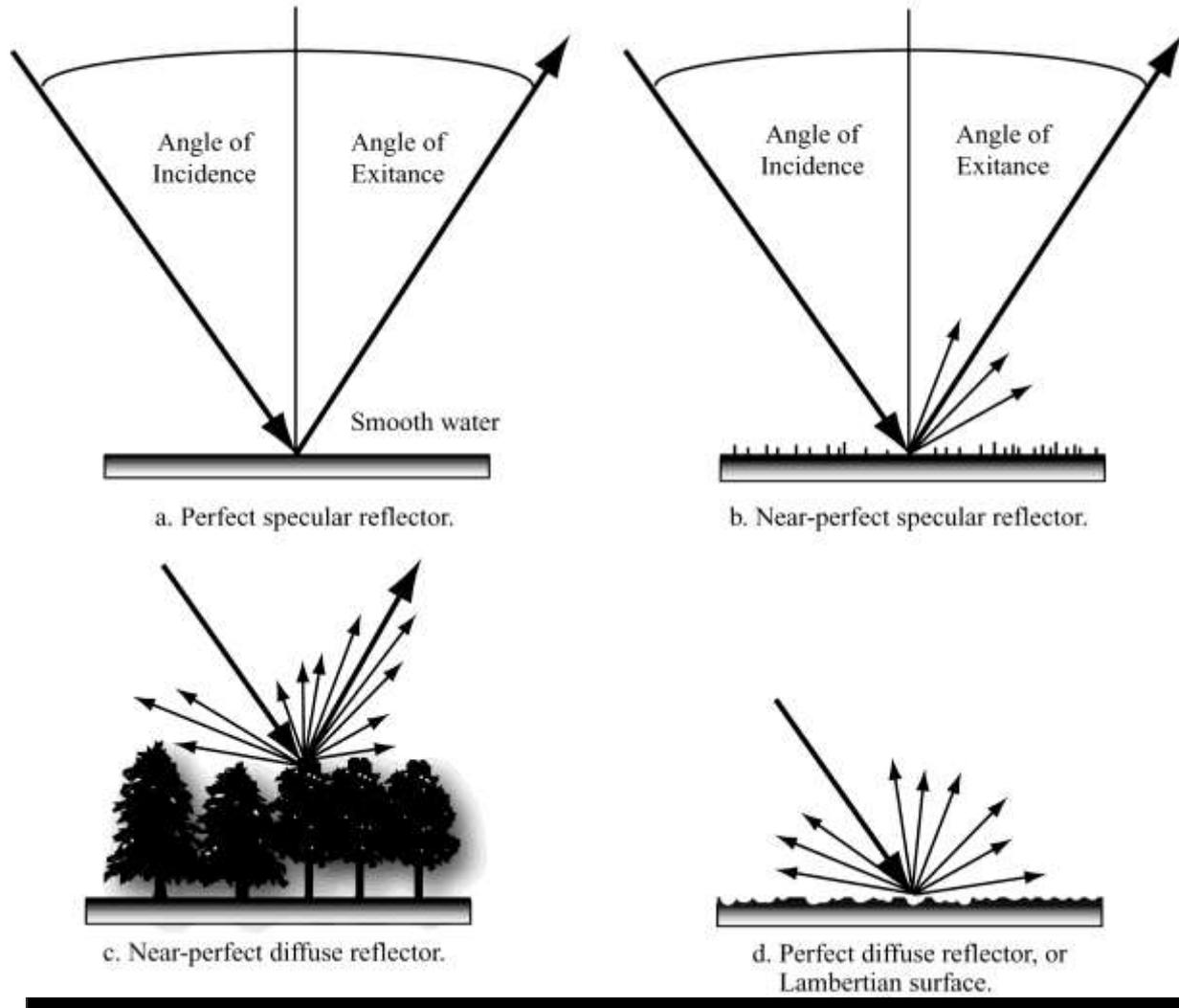


Especialmente em aplicações urbanas, uma resolução espacial maior é desejável com o objetivo de diminuir o efeito de mistura.

Interação da REM com o objeto

Variações na reflexão

Specular versus Diffuse Reflectance



Como os Objetos Aparecem na Imagem?

Depende da Estrutura e Composição do Dossel Vegetacional



<https://thereview.ca/2019/05/13/municipalities-point-to-counties-official-plan-for-municipal-tree-canopy-and-vegetation-policy/>



<https://fineartamerica.com/featured/aspen-tree-canopy-2-ron-dahlquist.html>

O dossel constitui a parte aérea da vegetação. O seu estudo é importante porque a radiação interage principalmente com os estratos superiores.

Dependendo de sua configuração, pode haver maior penetração da radiação ou reflexão.

Em florestas tropicais, o dossel é caracterizado por uma rica diversidade de espécies e composições de materiais (folhas, troncos, galhos) e clareiras. Esta diversidade e a alta densidade de cobertura faz com que a radiação interaja com os diversos elementos da floresta, tornando a interação extremamente complexa.

Em campos de agricultura, alguns fatores importantes são: altura do cultivo, geometria de plantio, manejo, estágio de desenvolvimento do cultivo, etc.

O comportamento da reflectância do dossel é uma combinação principalmente das características do **dossel + geometria de iluminação + ângulo de observação.**

Como os Objetos Aparecem na Imagem?

Depende da Estrutura e Composição do Dossel Vegetacional

Importância da orientação angular das folhas

- Planófila (< 30 graus)
- Erectófila (> 60 graus)
- Plagiófila (30 – 60 graus)
- Extremófila (30 – 60 graus com inclinação para baixo)

Comportamento geral:

- Quanto maior a interação com as camadas ou estratos foliares, maior a absorção da energia no VIS e maior a reflexão no NIR.
- As estruturas planófilas apresentam menor variação de refletância com as variações nos ângulos zenital solar de visada.
- Nas estruturas Erectofilas, a reflectancia decresce com o aumento do ângulo zenital solar no VIS e aumenta no NIR uma vez que a radiação passa a interagir com maior eficiência na porção superior do estrato.

Fonte: Ponzoni, F. J.; Shimabukuro, Y. E. **Sensoriamento remoto no estudo da vegetação**. São José dos Campos: Parêntese, 2009.

Como os Objetos Aparecem na Imagem?

Depende da Estrutura e Composição do Dossel Vegetacional

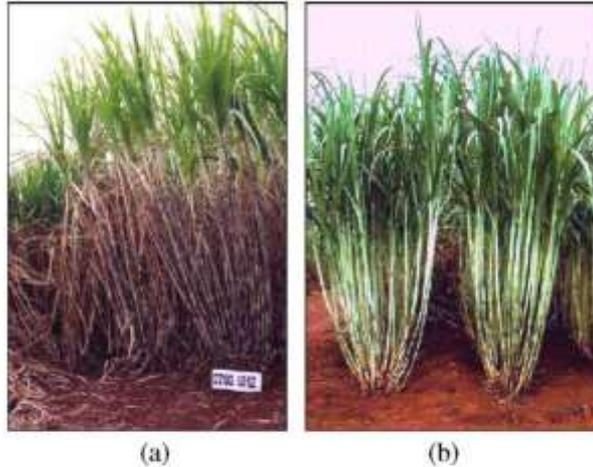
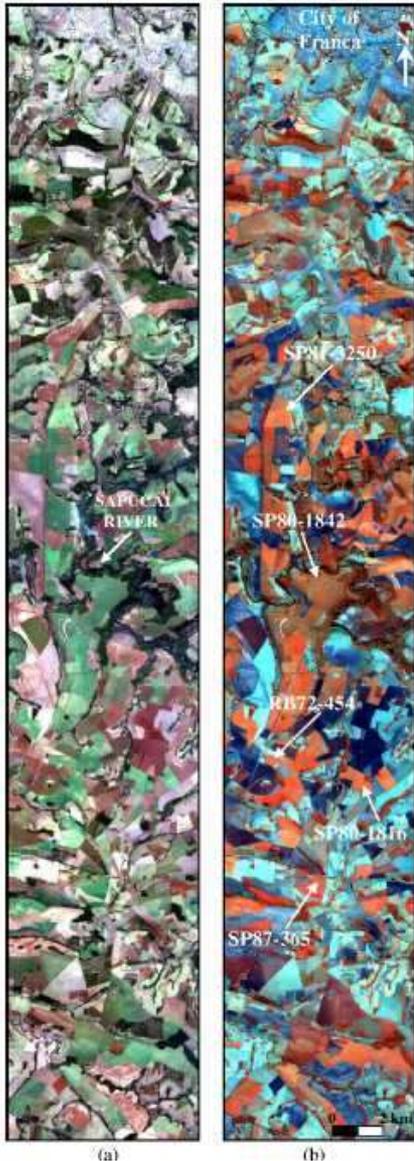
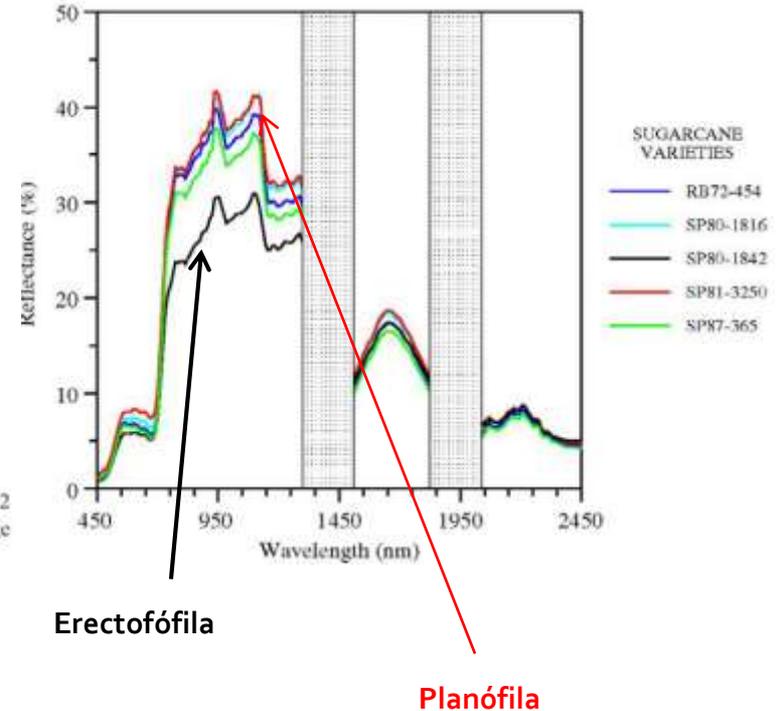


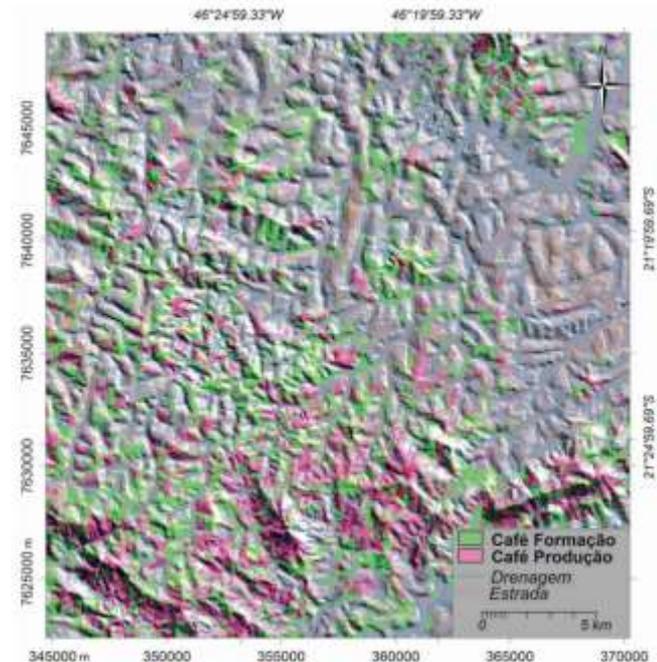
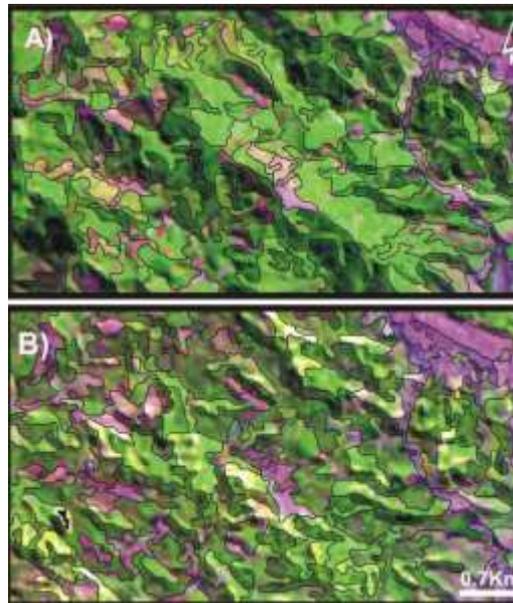
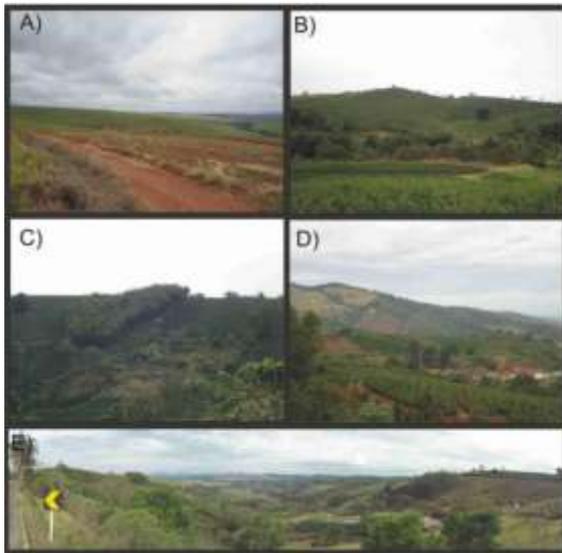
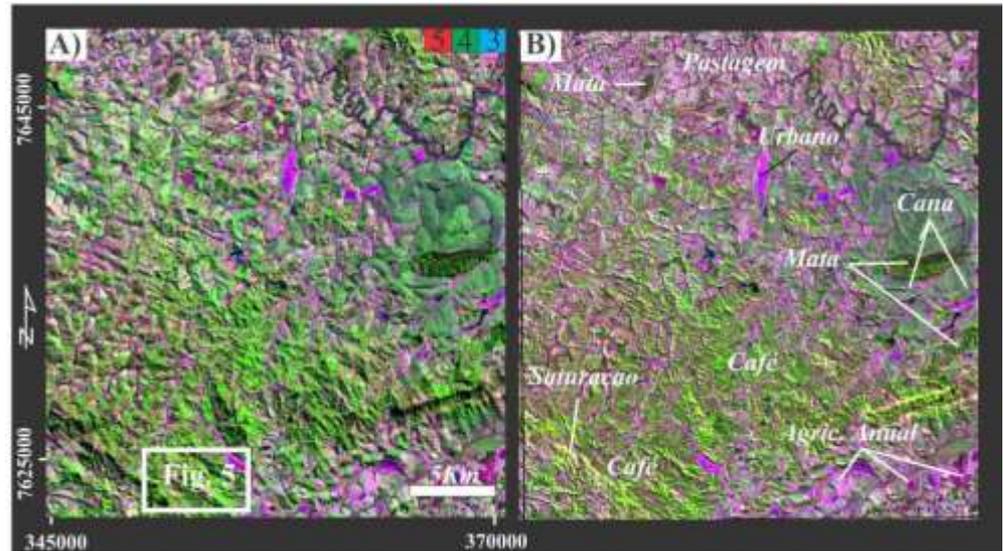
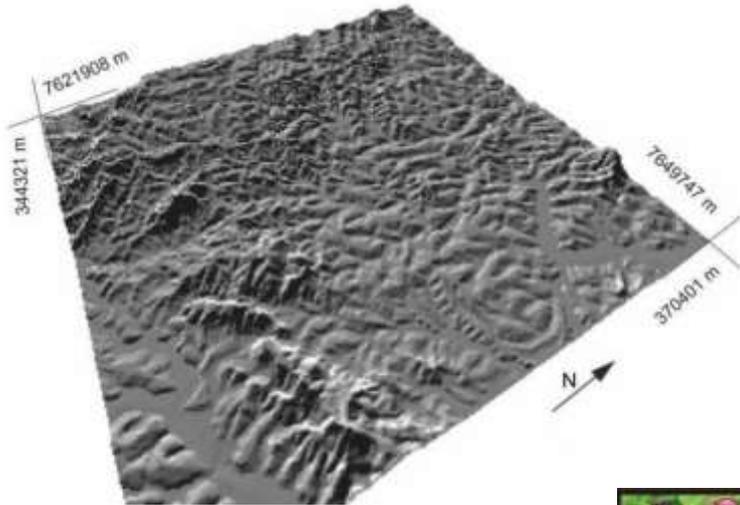
Fig. 3. Canopy architecture differences for the varieties (a) SP80-1842 (erectophile) and (b) SP81-3250 (planophile) with extreme average reflectance response in Fig. 2. *Source: Copersucar (2004).*



Galvão, L. S.; Formaggio, A. R.; Tisot, D. A. Discrimination of sugarcane varieties in Southeastern Brazil with EO-1 Hyperion data. **Remote Sensing of Environment**, 94 (2005) 523–534.
DOI: doi:10.1016/j.rse.2004.11.012

Como os Objetos Aparecem na Imagem?

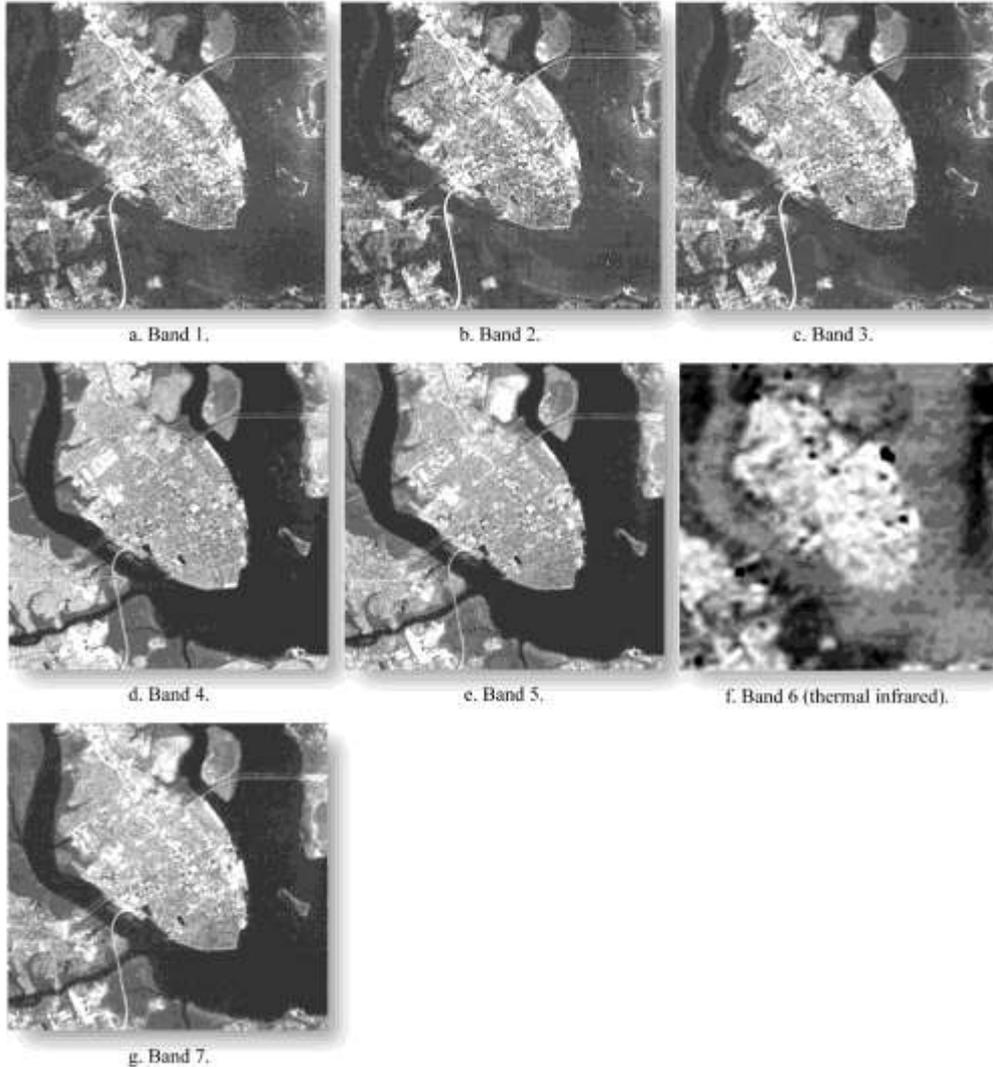
Depende da Disposição do Relevo



Como os Objetos Aparecem na Imagem?

Depende da Resolução Espectral

Landsat 5 Thematic Mapper Data of Charleston, SC



No sistema multiespectral, as imagens obtidas nos diferentes intervalos de comprimento de onda fornecem informações complementares para a caracterização e mapeamento do uso da terra/cobertura vegetal.

Índices de Vegetação

Groups of indices	Abbreviation	Index name	Citation
Broadband greenness	NDVI ^{a)}	Normalized Difference Vegetation Index	Rouse et al 1973
	SR ^{a)}	Simple Ratio Index	Rouse et al 1973
	EVI ^{a)}	Enhanced Vegetation Index	Huete et al 1997
	ARVI ^{a)}	Atmospherically Resistant Vegetation Index	Kaufman and Tanre 1992
Narrowband greenness	NDVI ₇₀₅	Red Edge Normalized Difference Vegetation Index	Gitelson and Merzlyak 1994
	mSR ₇₀₅	Modified Red Edge Simple Ratio Index	Datt 1999
	mNDVI ₇₀₅	Modified Red Edge Normalized Difference Vegetation Index	Datt 1999
	VOG1	Vogelmann Red Edge Index 1	Vogelmann et al 1993
	VOG2	Vogelmann Red Edge Index 2	Vogelmann et al 1993
	VOG3	Vogelmann Red Edge Index 3	Vogelmann et al 1993
Light use efficiency	PRI	Photochemical Reflectance Index	Gamon et al 1992
	SIPI	Structure Insensitive Pigment Index	Peñuelas et al 1995
Canopy nitrogen	NDNI	Normalized Difference Nitrogen Index	Fourty et al 1996
Dry or senescent carbon	NDLI	Normalized Difference Lignin Index	Fourty et al 1996
	CAI	Cellulose Absorption Index	Nagler et al 2003
	PSRI	Plant Senescence Reflectance Index	Merzlyak et al 1999
Leaf pigments	CRI1	Carotenoid Reflectance Index 1	Gitelson et al 2002
	CRI2	Carotenoid Reflectance Index 2	Gitelson et al 2002
	ARI1	Anthocyanin Reflectance Index 1	Gitelson et al 2001
	ARI2	Anthocyanin Reflectance Index 2	Gitelson et al 2001
Canopy water content	WBI	Water Band Index	Peñuelas et al 1995
	NDWI	Normalized Difference Water Index	Gao 1996
	MSI	Moisture Stress Index	Rock et al 1985
	NDII	Normalized Difference Infrared Index	Hardisky et al 1983
Bioradiometric index	CCI	Chlorophyll Content Index	Campbell et al 1990
	fAPAR	Fraction of absorbed photosynthetically active radiation	Moneith 1977

Os índices de vegetação visam realçar determinados componentes constituintes

^{a)}To implement these data in multispectral/hyperspectral indices, we used the following ranges of wavelength bands: for red, 600–700 nm; for green, 500–600 nm.

Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)



Fórmula:

$$\text{NDVI} = \frac{[(\text{Near IR band} - \text{Red band}) / (\text{Near IR band} + \text{Red band})]}$$

$$\text{NDVI (TM)} = \frac{[(\text{TM}_4 - \text{TM}_3) / (\text{TM}_4 + \text{TM}_3)]}$$

O NDVI é um dos índices mais utilizados em razão das vantagens que oferece, compensando os seguintes efeitos:

Mudanças de iluminação;

Disposição do relevo

Variações no ângulo de visada

Desvantagens:

Sofre com problema de saturação em áreas de densa sobertura vegetal;

É sensível a variação da cor do solo.

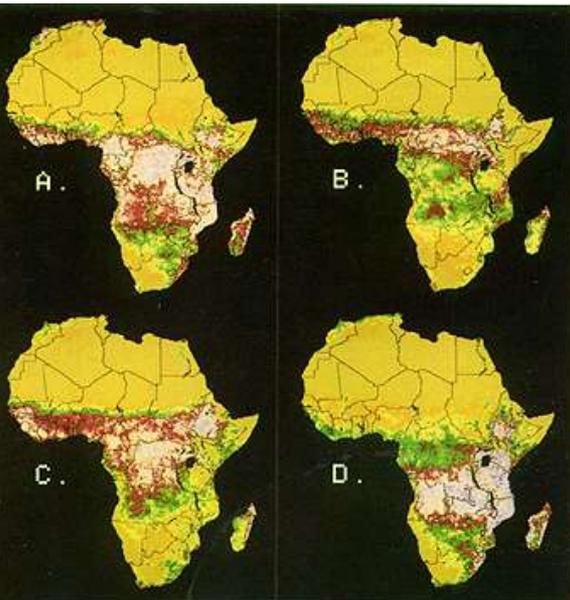
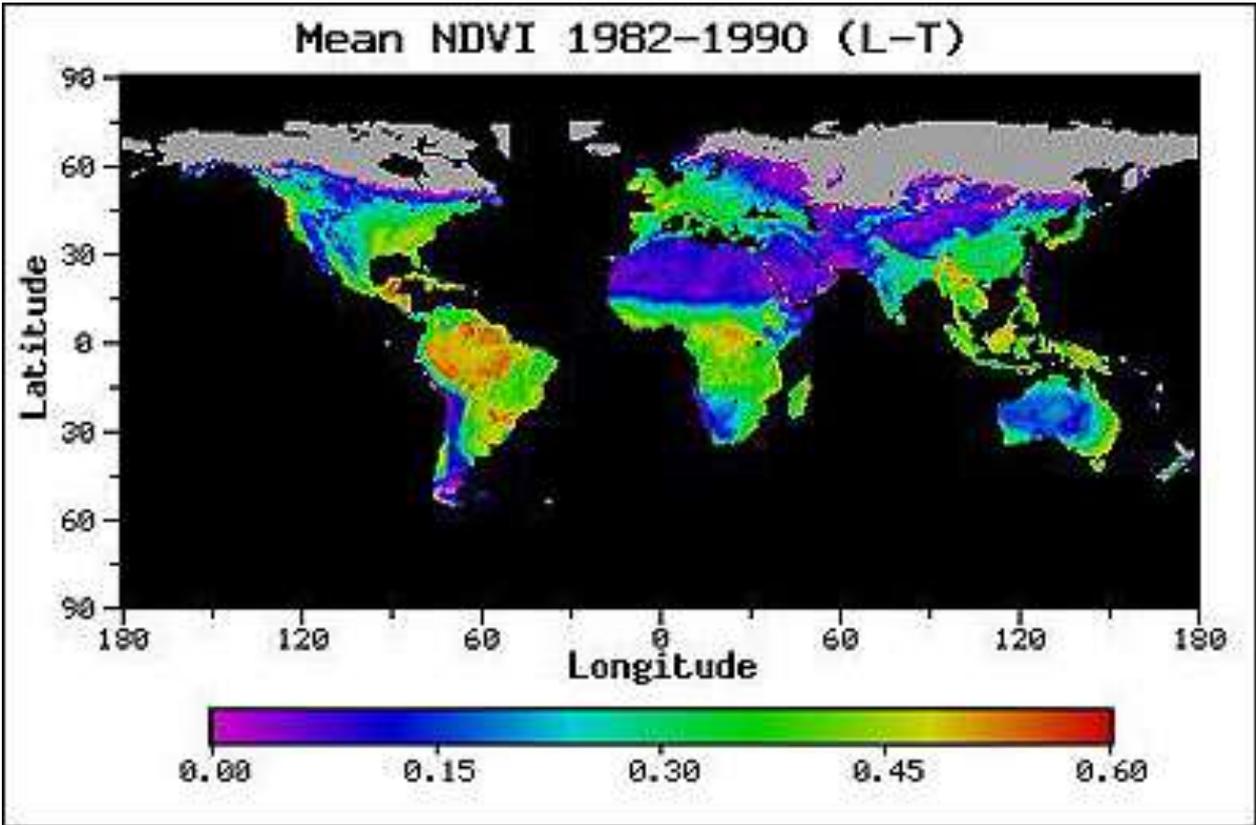
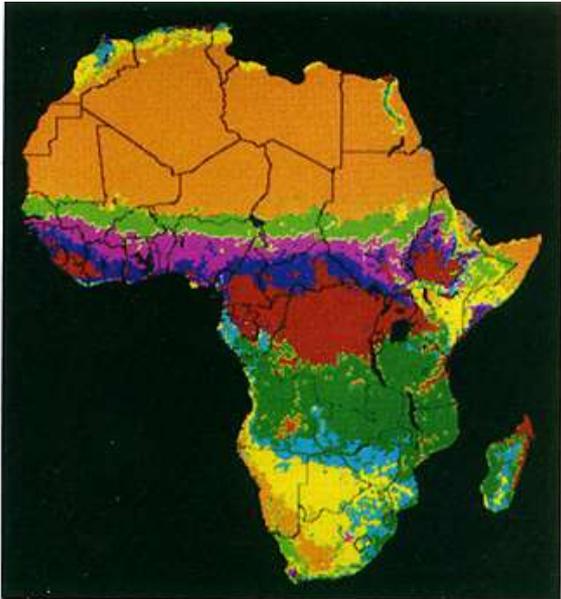
O NDVI varia de -1,0 à +1

Solo exposto = $\leq 0,1$

Vegetação esparsa ou cultivos em senescência = 0,2 - 0,5

Florestas tropicais e cultivos no pico de desenvolvimento
= 0,6- 0,9.

Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)



Jensen (2000)

Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)

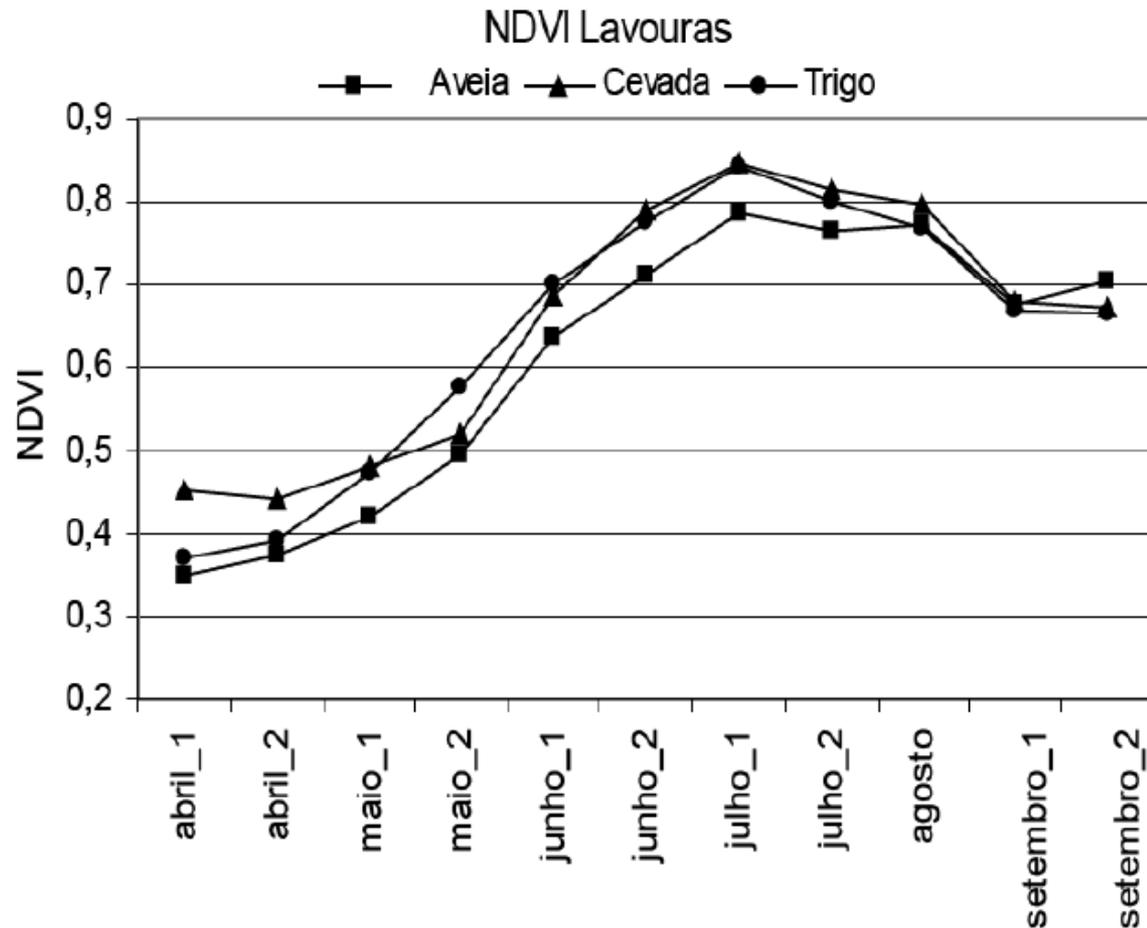


Figura 1 - Perfis temporais de NDVI obtidos em pontos de referência sobre lavouras de aveia, cevada e trigo. Região de abrangência da Cotrijal, 2006.

Junges, A. H.; Fontana, D. C. Avaliação do desenvolvimento das culturas de cereais de inverno no Rio Grande do Sul por meio de perfis temporais do índice de vegetação por diferença normalizada. Cienc. Rural vol.39 no.5 Santa Maria Aug. 2009 Epub June 19, 2009

Enhanced Vegetation Index (EVI)

O índice de vegetação aprimorado (EVI) é um índice de vegetação 'otimizado' projetado para melhorar o sinal de vegetação com maior sensibilidade em regiões de alta biomassa e melhor monitoramento da vegetação através de um desacoplamento do sinal de fundo do dossel e uma redução nas influências atmosféricas. EVI é calculado seguindo esta equação.

$$EVI = G \times \frac{(NIR - Red)}{(NIR + C_1 \times Red - C_2 \times Blue + L)}$$

L é o ajuste de fundo do dossel que aborda NIR diferencial não linear e transferência radiante vermelha através de um dossel, e C1, C2 são os coeficientes do termo de resistência ao aerossol, que utiliza a faixa azul para corrigir as influências do aerossol na faixa vermelha.

G é um fator de ganho. Os coeficientes adotados no algoritmo MODIS-EVI são: L=1, C1 = 6, C2 = 7,5 e G = 2,5.

Enhanced Vegetation Index (EVI)

Enquanto o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) é sensível à clorofila, o EVI é mais responsivo às variações estruturais da copa, incluindo índice de área foliar (IAF), tipo de copa, fisionomia da planta e arquitetura da copa. Os dois índices de vegetação complementam-se em estudos de vegetação global e melhoram a detecção de mudanças na vegetação e a extração de parâmetros biofísicos do dossel.

Outra diferença entre o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) e o EVI é que na presença de neve, o NDVI diminui, enquanto o EVI aumenta (Huete, 2002).

A partir de 2000, e após o lançamento dos dois sensores MODIS nos satélites Terra e Aqua pela NASA, o EVI foi adotado como produto padrão pela NASA e tornou-se extremamente popular entre os usuários devido à sua capacidade de eliminar ruídos de fundo e da atmosfera, bem como sua não saturação, um problema típico de NDVI. EVI é atualmente distribuído gratuitamente pelo USGS LP DAAC.

Índice de Vegetação EVI

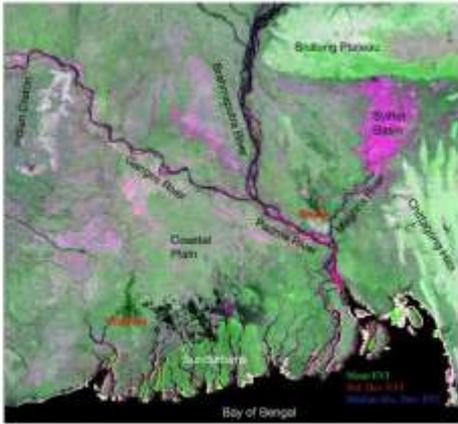


Fig. 1. Vegetation distribution of the Ganges-Brahmaputra delta derived from 18 years of MODIS EVI imagery. This temporal event (contour) shows consistently densely irrigated areas (green), densely irrigated with high variability (white) and high variability with low vegetation (purple). Decadal temporal statistics are derived from 243 EVI composites with 250 m spatial and 10-day temporal resolutions.

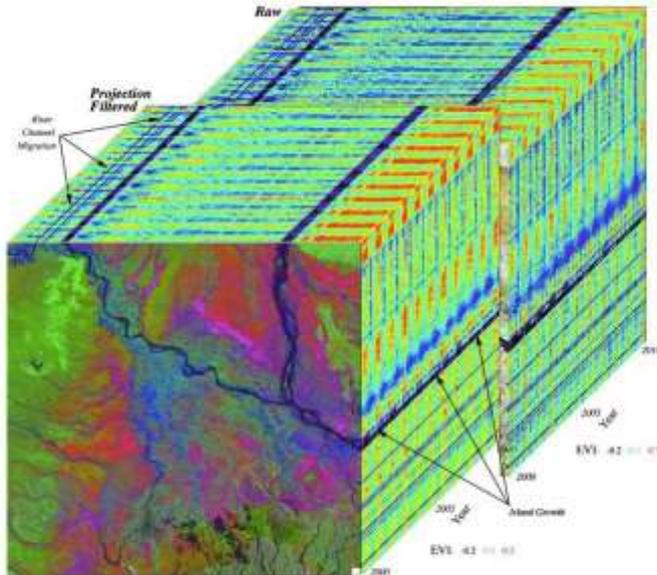
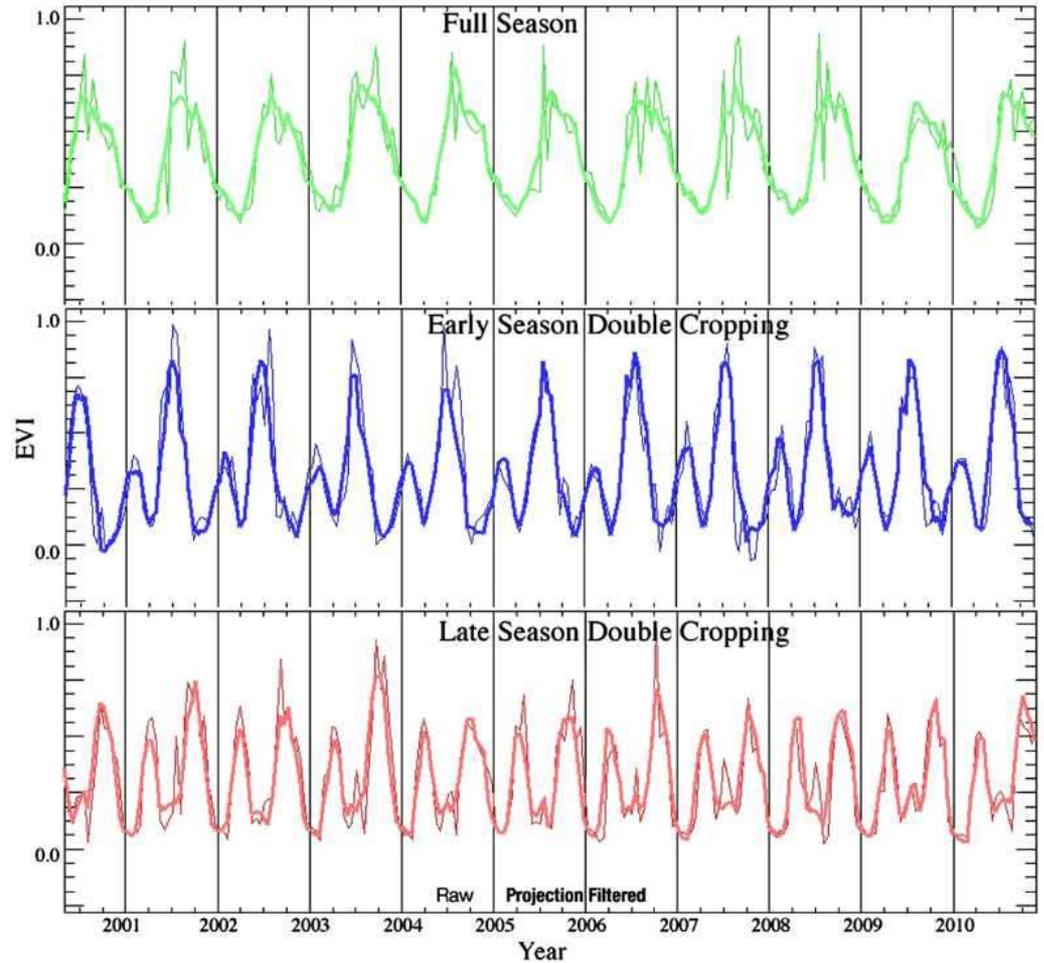


Fig. 3. Time-space cube for a subset of the Ganges-Brahmaputra EVI image time series. The front face is a slice cube composed of temporal sub-sections (slices) from Fig. 5. The side faces show a detail of spatial coverage comparing the projection filtered and raw EVI for the edge pixels. Note spatial consistency of temporal variability and subsequent resolution of areas near the rivers.



Small, C. Spatiotemporal dimensionality and Time-Space characterization of multitemporal imagery. **Remote sensing of environment.** 124, p.793-809, 2012.

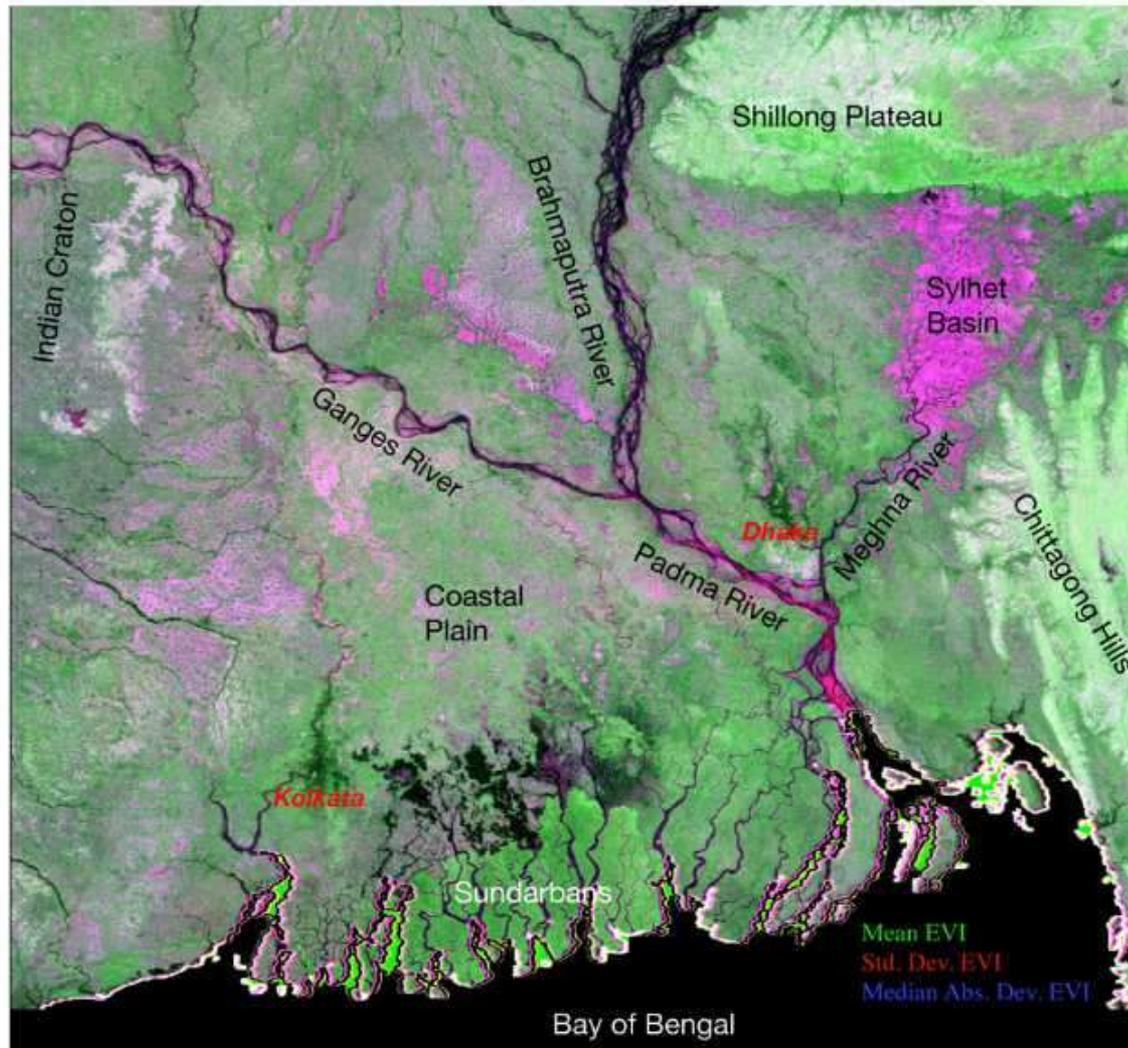


Fig. 1. Vegetation distribution of the Ganges–Brahmaputra delta derived from 10 years of MODIS EVI imagery. This temporal moment composite shows consistently densely vegetated areas (green), densely vegetated with high variability (white) and high variability with less vegetation (magenta). Decadal temporal statistics are derived from 243 EVI composites with 250 m spatial and 16 day temporal resolution.

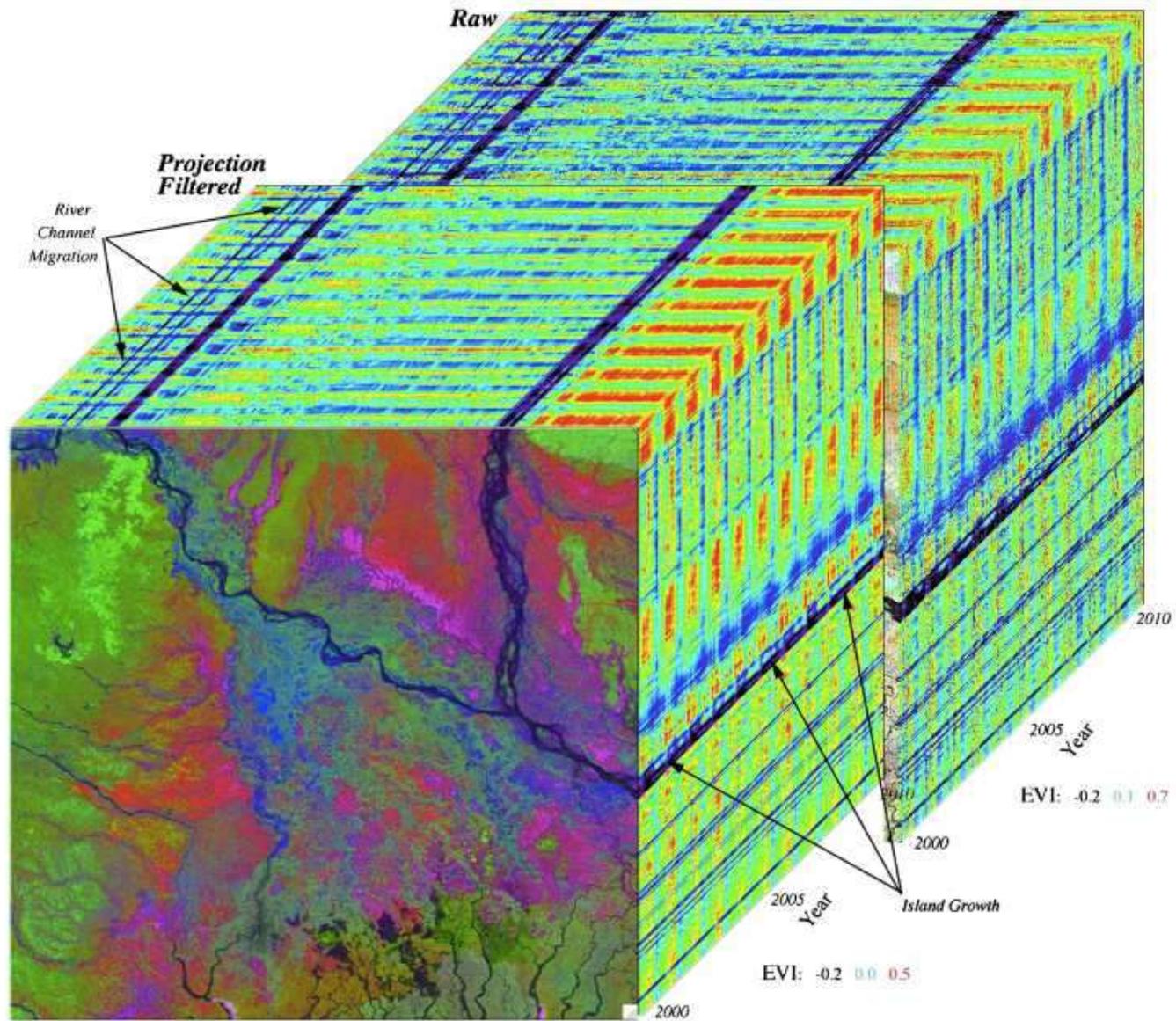
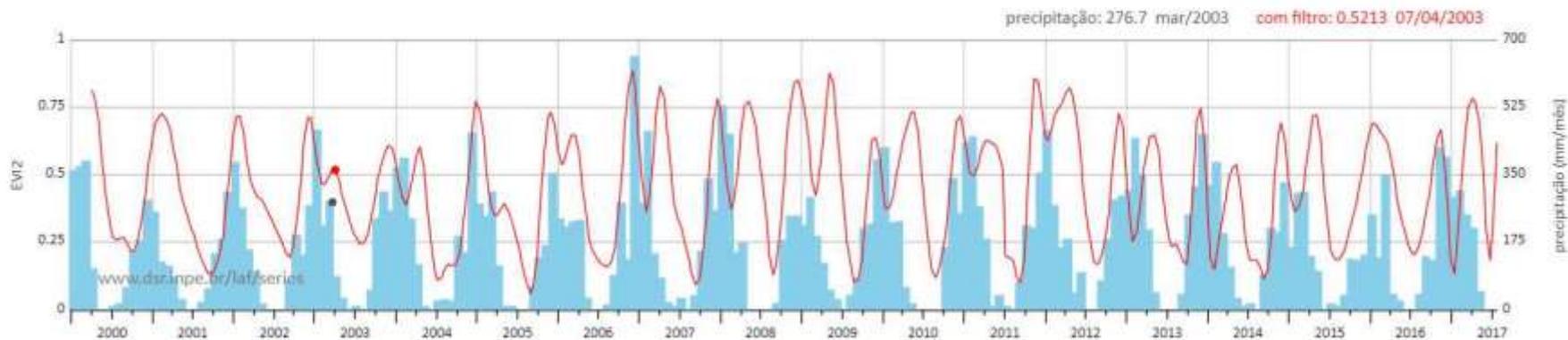


Fig. 7. Time-Space cube for a subset of the Ganges-Brahmaputra EVI image time series. The front face is a false color composite of temporal endmember fractions from Fig. 5. The side faces show a decade of spatial-temporal phenology comparing the projection filtered and raw EVI for the edge pixels. Note spatial consistency of interannual variability and interannual evolution of areas near the rivers.



Índice de Vegetação EVI



Critérios Importantes na Identificação da Vegetação e Uso da Terra

- Relação sinal/ruído da imagem.
- Dissimilaridade espectral.
- Estrutura do dossel.
- Aspectos fenológicos.
- Aspectos climáticos: chuva, umidade, sombra.
- Posição do sol: ângulo de elevação solar e de azimute.
- Parâmetros de imageamento.

Perguntas para a próxima aula:

1. Qual a importância do sensoriamento remoto nos estudos geográficos?
2. Como a radiação eletromagnética interage com a atmosfera e com os objetos terrestres?
3. Comente a respeito do espalhamento atmosférico.
4. O que são janelas atmosféricas?
5. Por que a rugosidade da superfície é importante na reflectância dos materiais?

Leitura sugerida para a Aula 4 (10/11/2023)

**SENSORIAMENTO REMOTO DO AMBIENTE:
uma perspectiva em recursos terrestres.
(Capítulo 11). J.R. Jensen**

(O arquivo estará disponível no Moodle).

MUITO OBRIGADO PELA ATENÇÃO