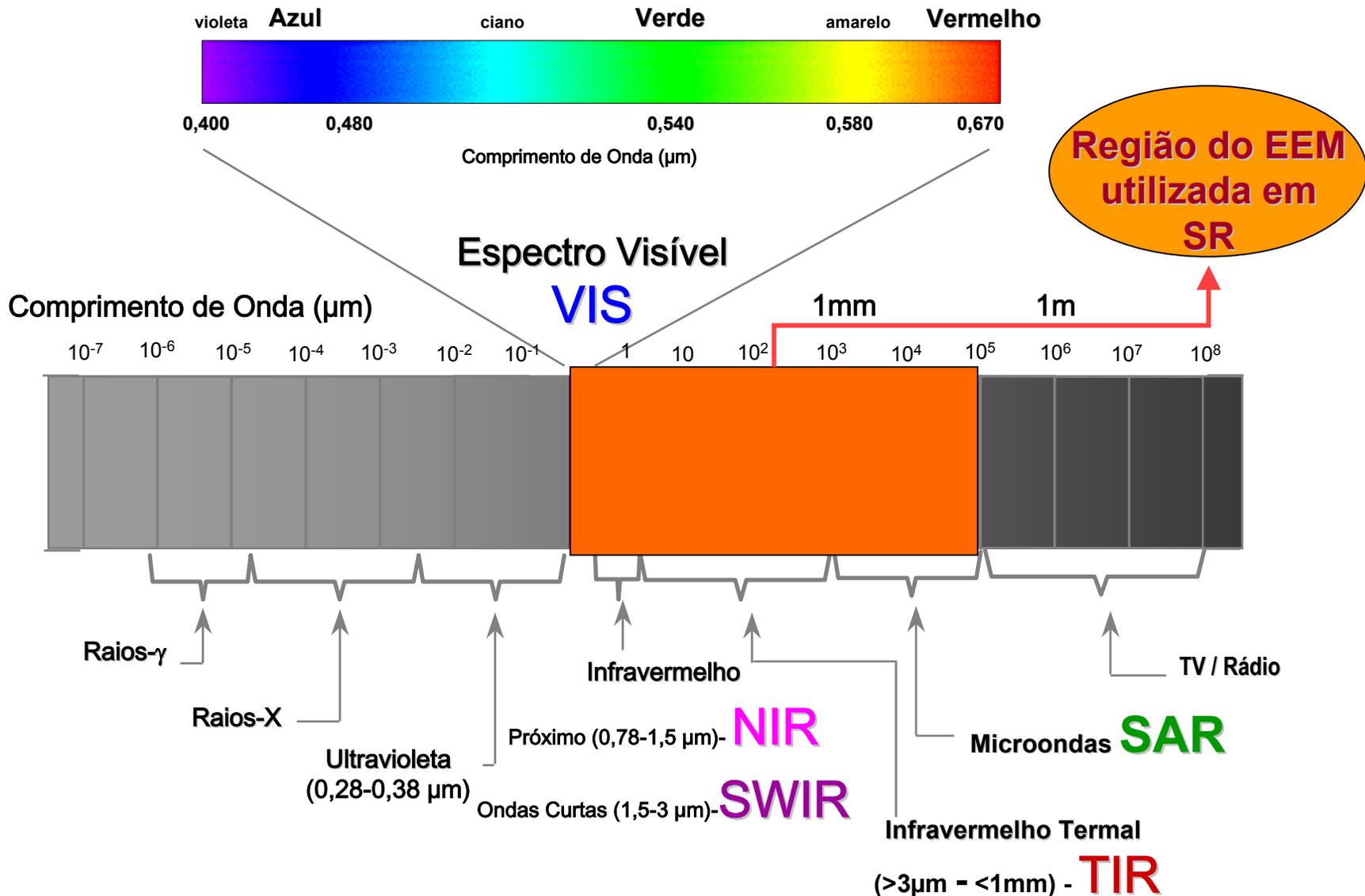


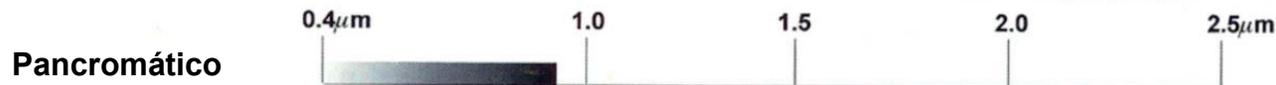
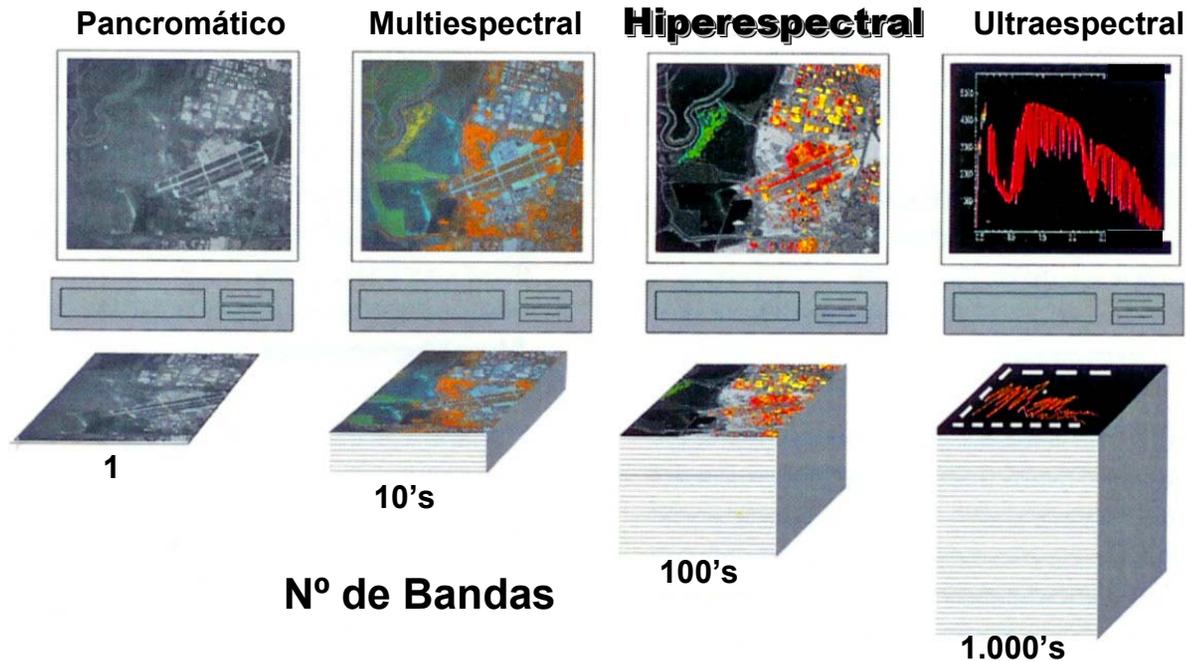
Detalhando a Composição Química/Molecular do Materiais Superficiais: A Importância do S.R. Hiperespectral

Alvaro P. Crósta

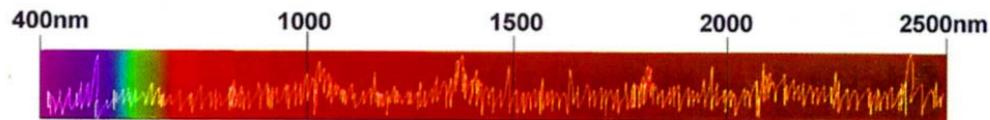
O Espectro Eletromagnético



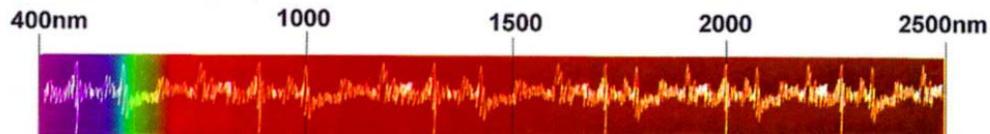
Tipos de Tecnologias de Sensoriamento Remoto Segundo a Dimensionalidade Espectral



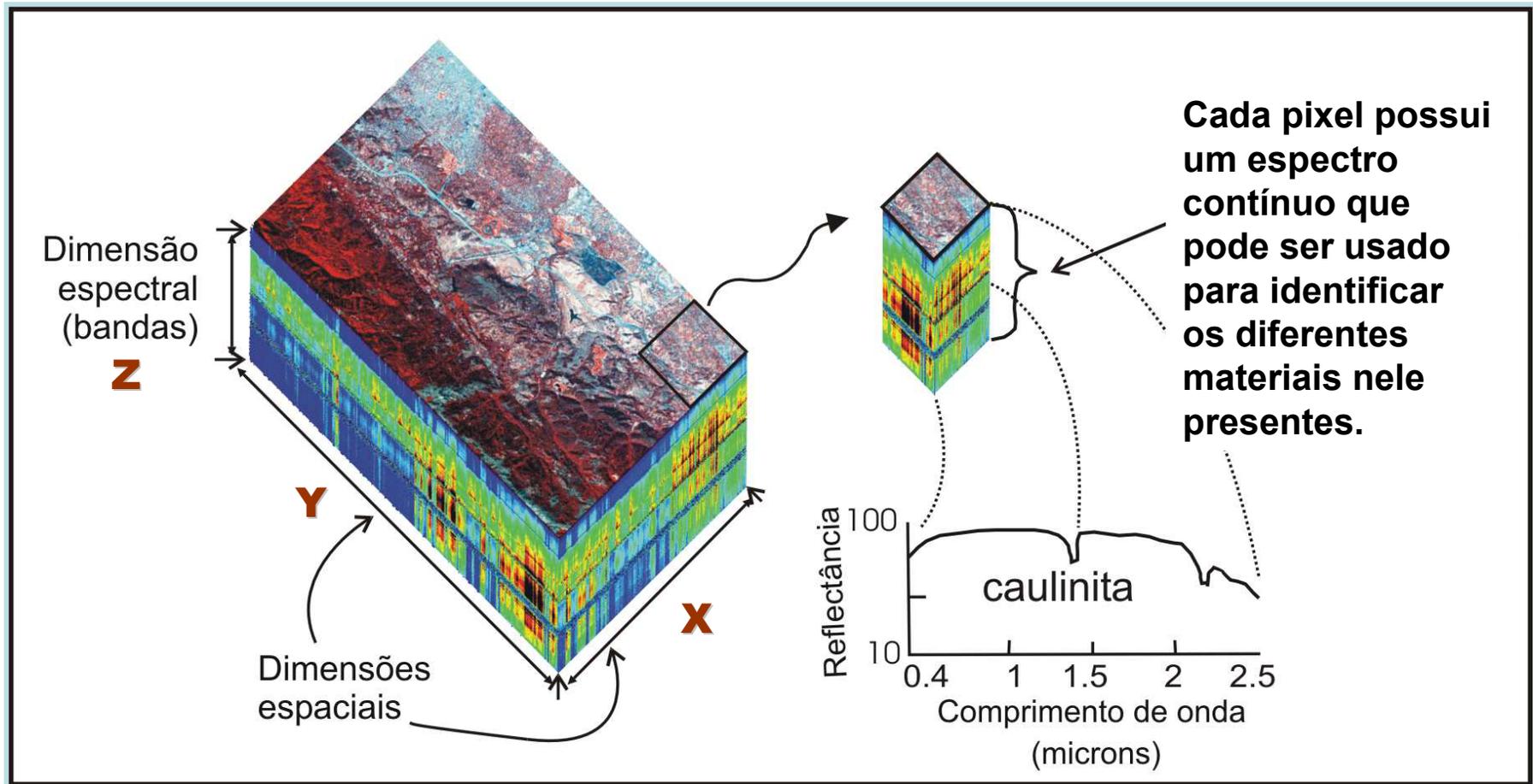
Hiperespectral



Ultraespectral



O Conceito Hiperespectral em SR

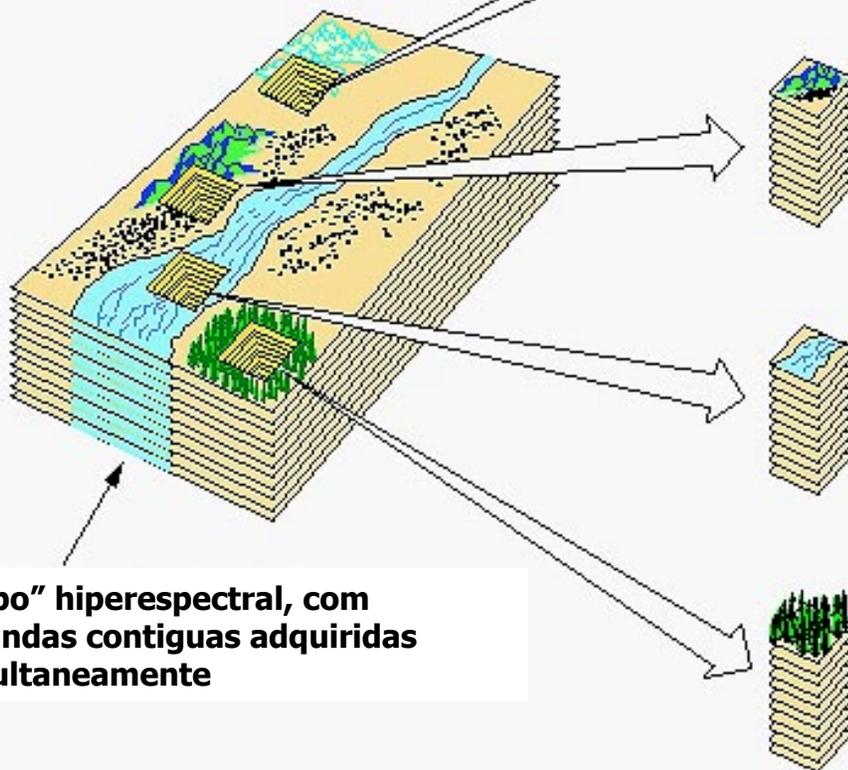


SR Multiespectral → Natureza **Qualitativa**

SR Hiperespectral → Natureza **Quantitativa**

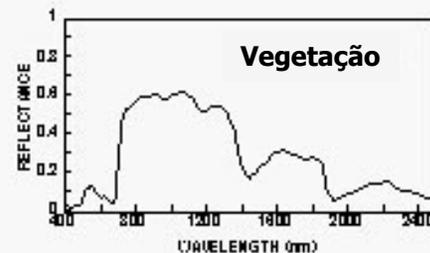
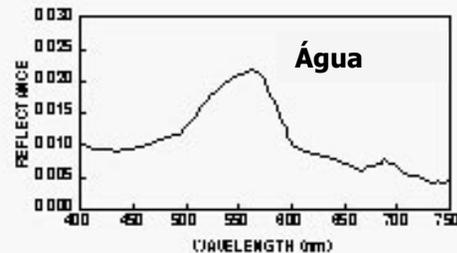
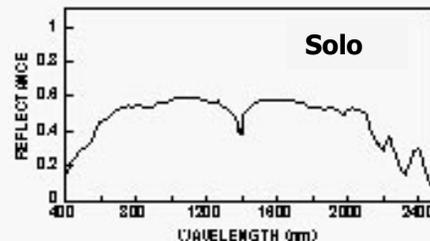
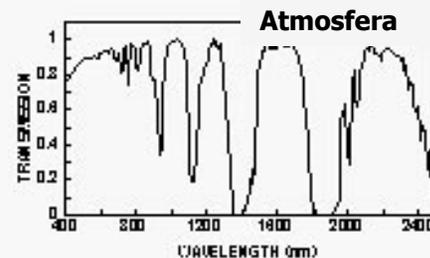
O Conceito de S. R. Hiperespectral

O espectro contínuo de cada pixel pode ser utilizado tanto para analisar a composição química/molecular dos materiais superficiais, como dos componentes atmosféricos.

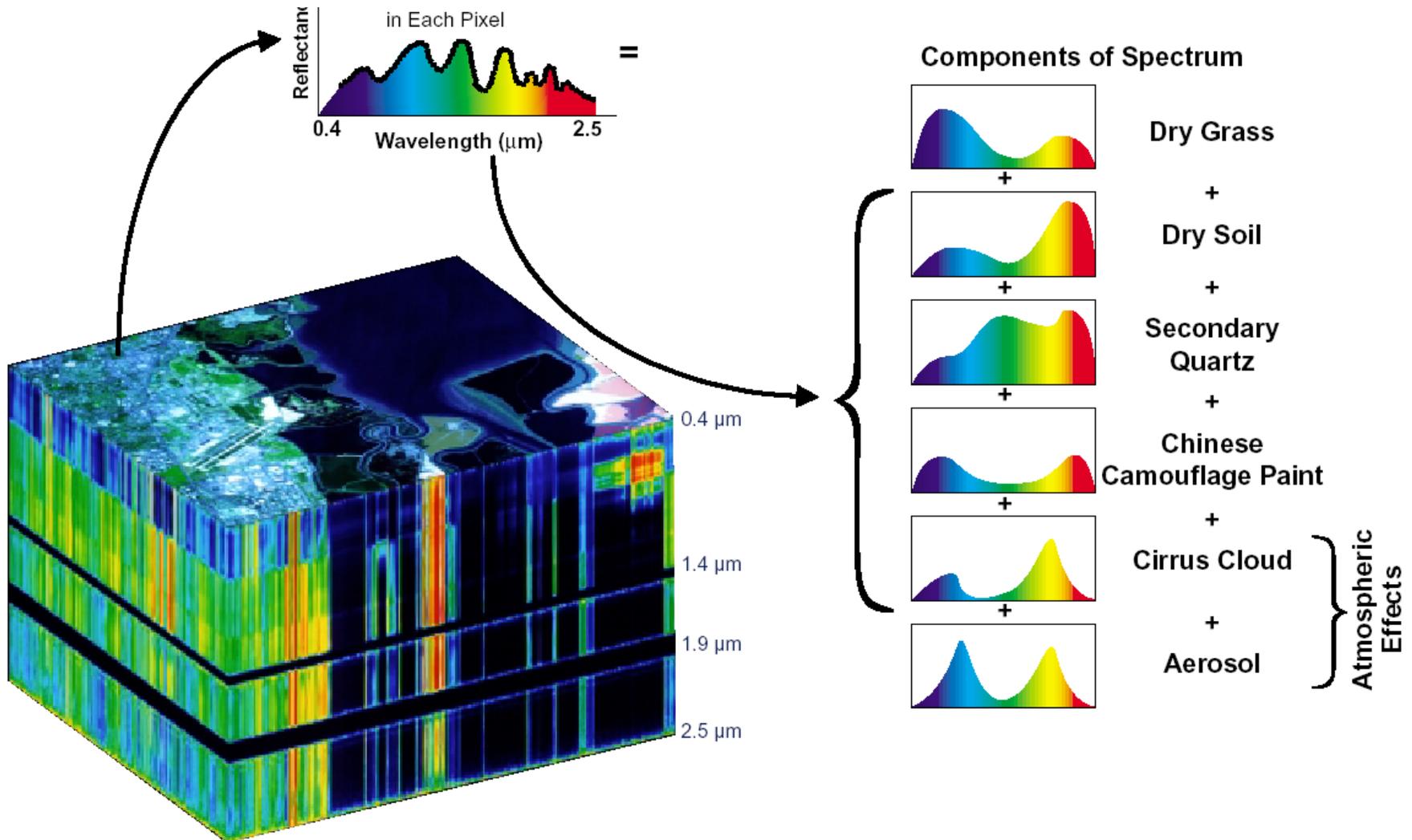


"Cubo" hiperespectral, com n bandas contíguas adquiridas simultaneamente

(Adapt. de R. Green/JPL)



O Conceito Hiperespectral em SR



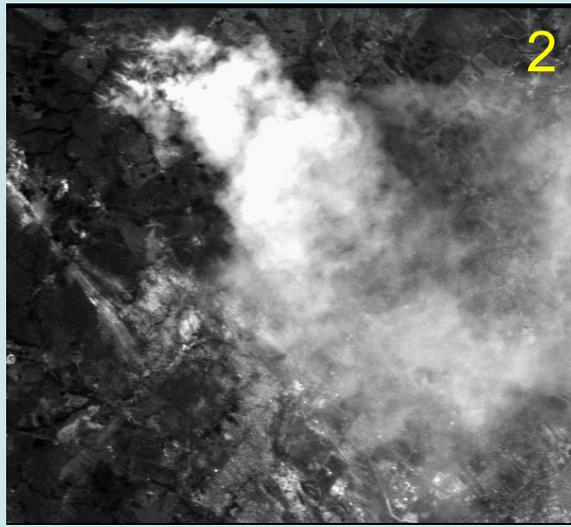
AVIRIS (224 bandas) – Missão SCAR-Brasil

Cuiabá, MT – Ago/1995

Composição Colorida (Visível)



0,5 μ m



1,0 μ m



1,5 μ m



2,0 μ m



2,5 μ m

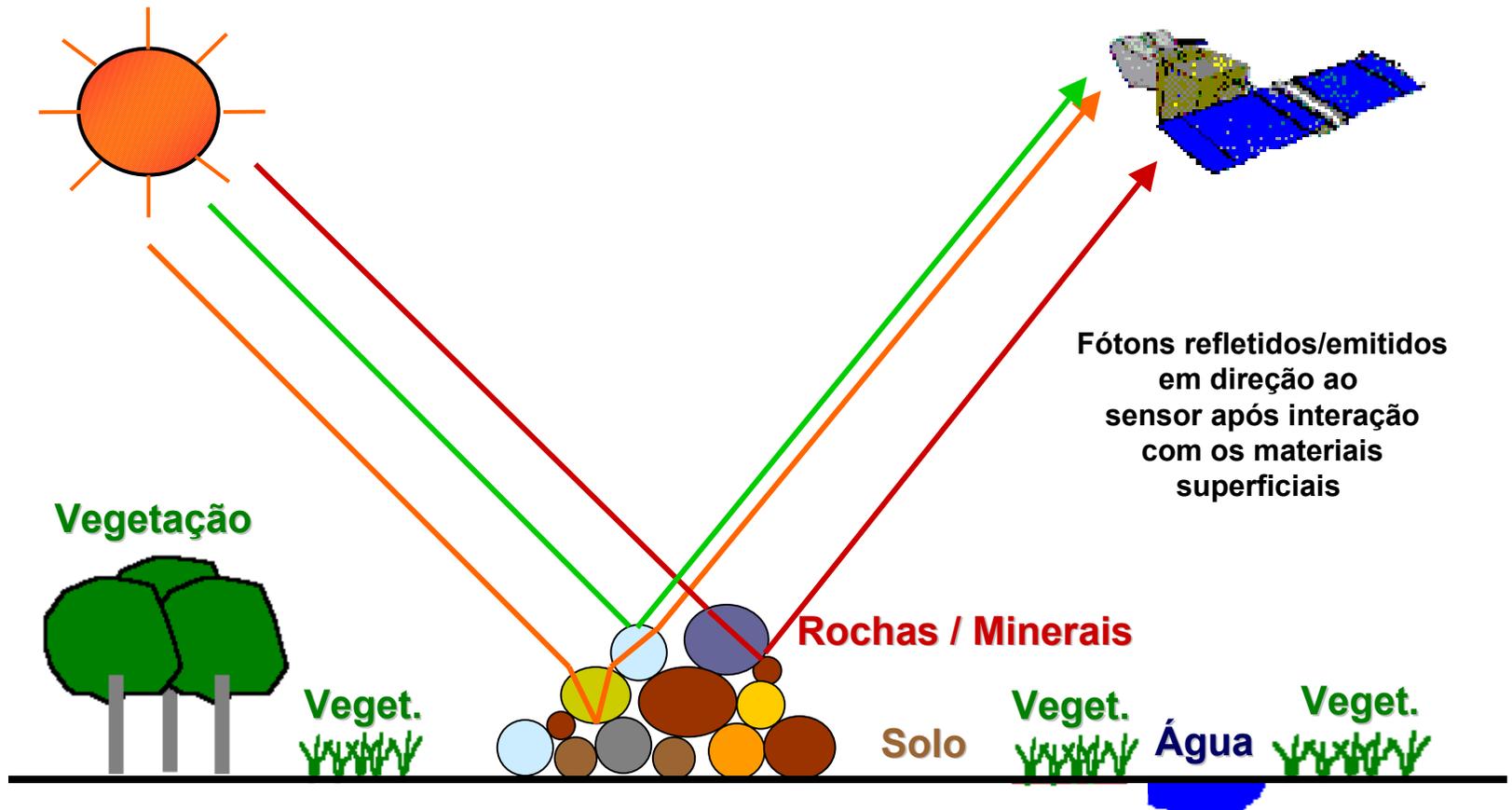
(R. Green/JPL)

**Usando a Energia E.M.
Refletida Para Investigar
a Composição
Química/Molecular dos
Materiais Superficiais**

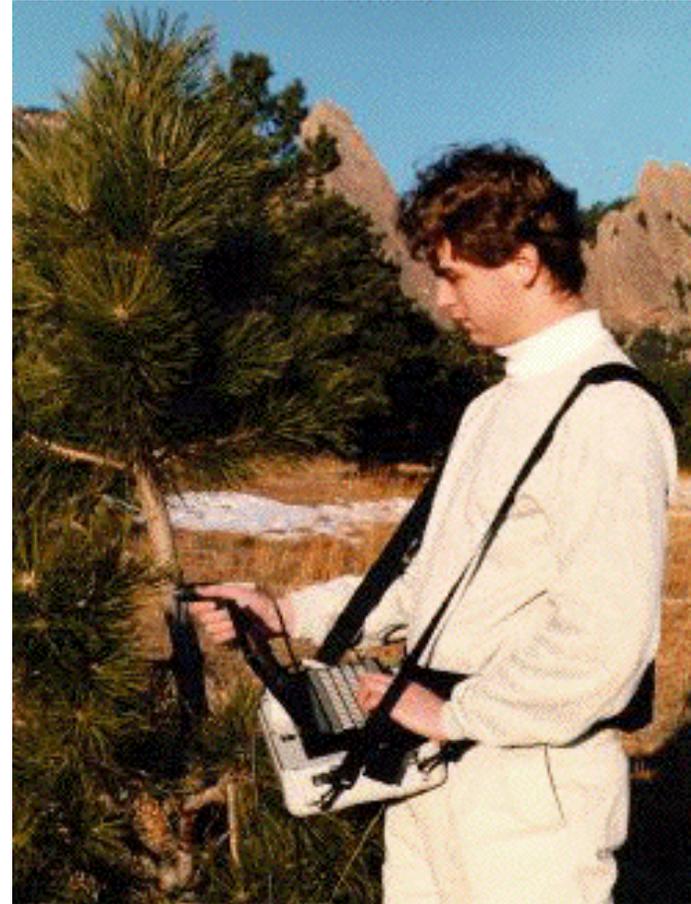
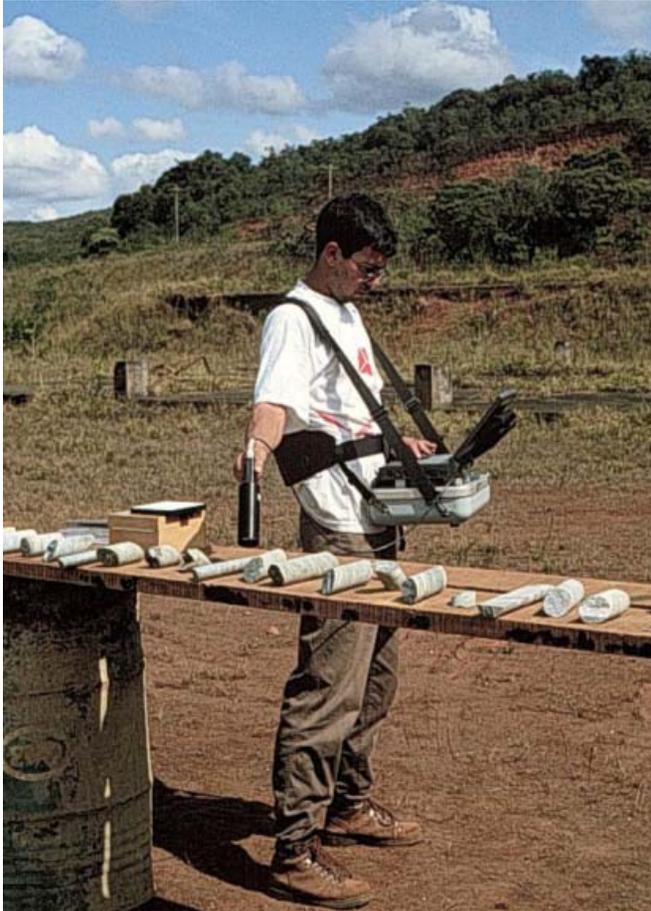
Interação Entre a EEM e os Materiais Superficiais

Fonte de EEM
(Sol)

Sensor

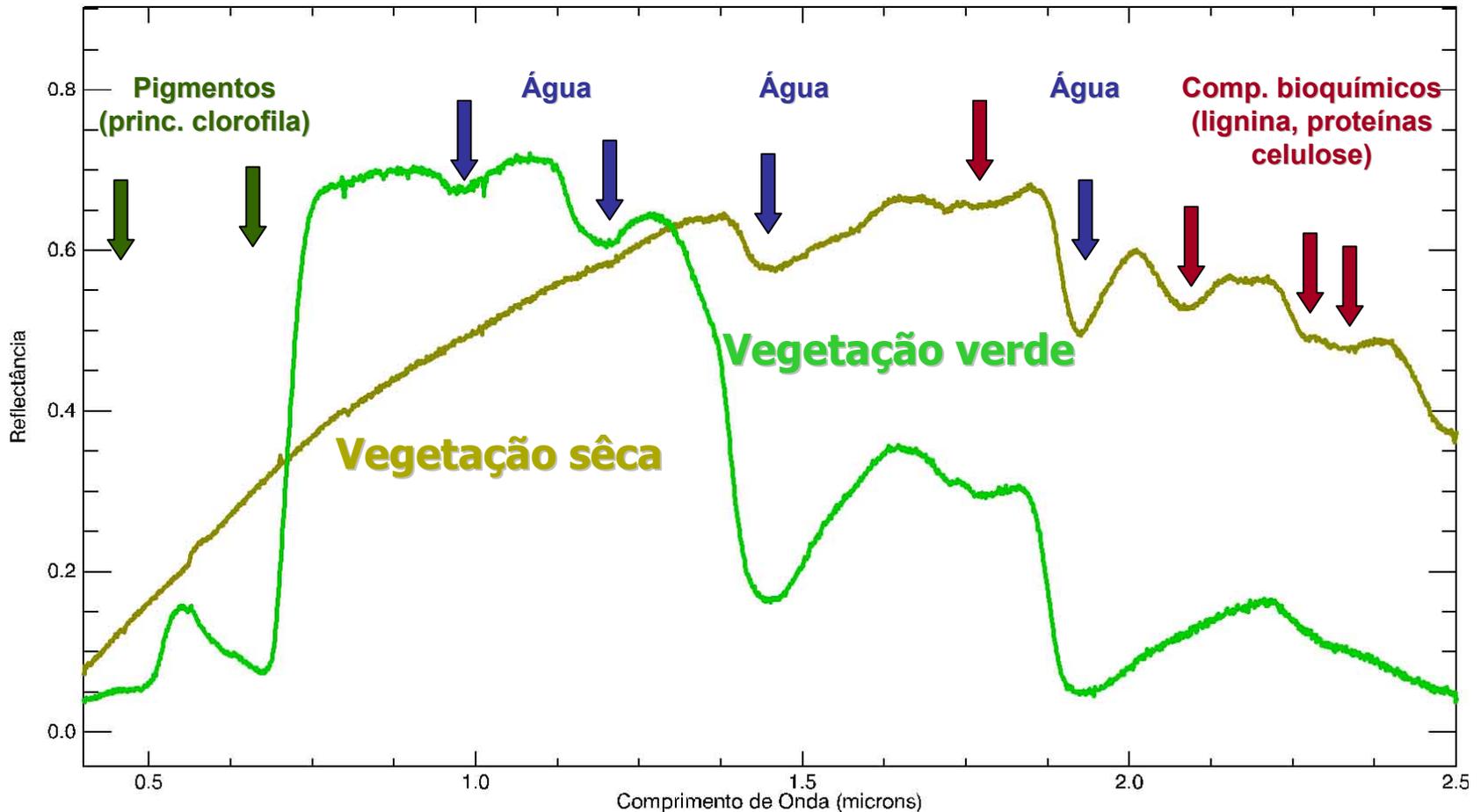


Caracterização dos Materiais Superficiais por Espectroscopia de Reflectância



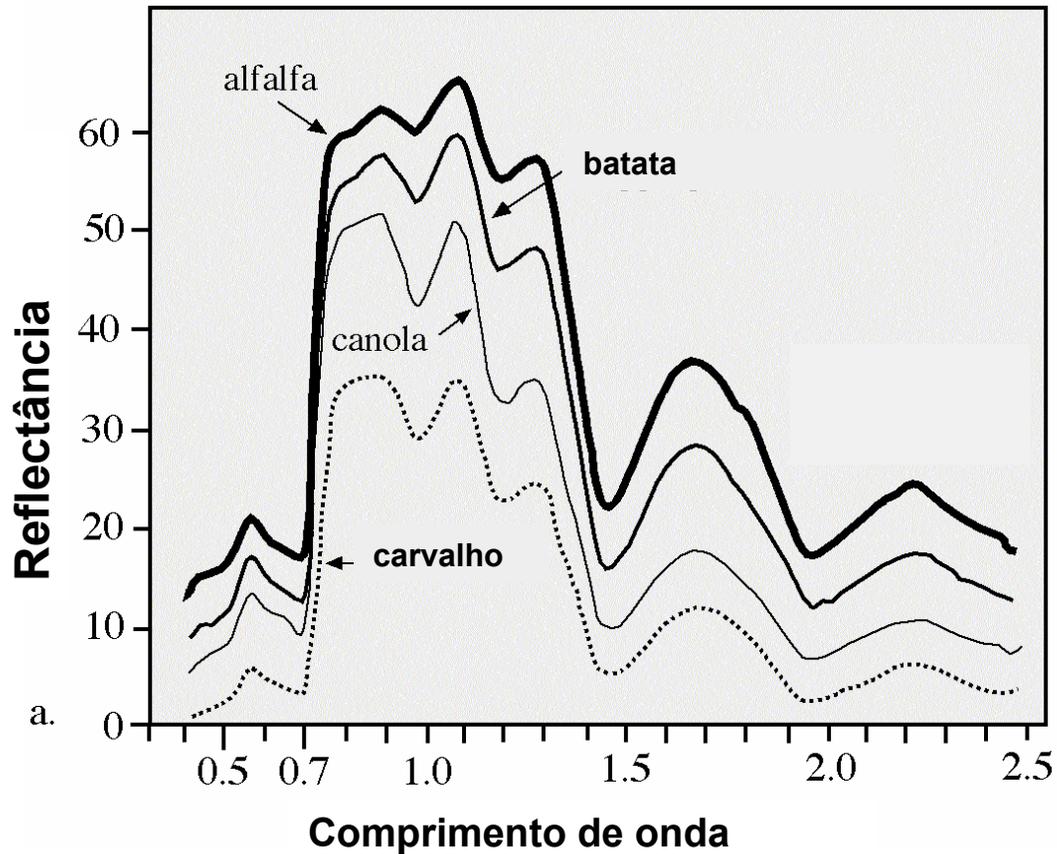
Espectrorradiômetro ASD FieldSpec FR®: medidas de reflectância espectral em 1.512 canais situados entre 350 e 2.500 nm.

Regiões do EEM (Energia Refletida) Relevantes Para Identificação de Vegetação



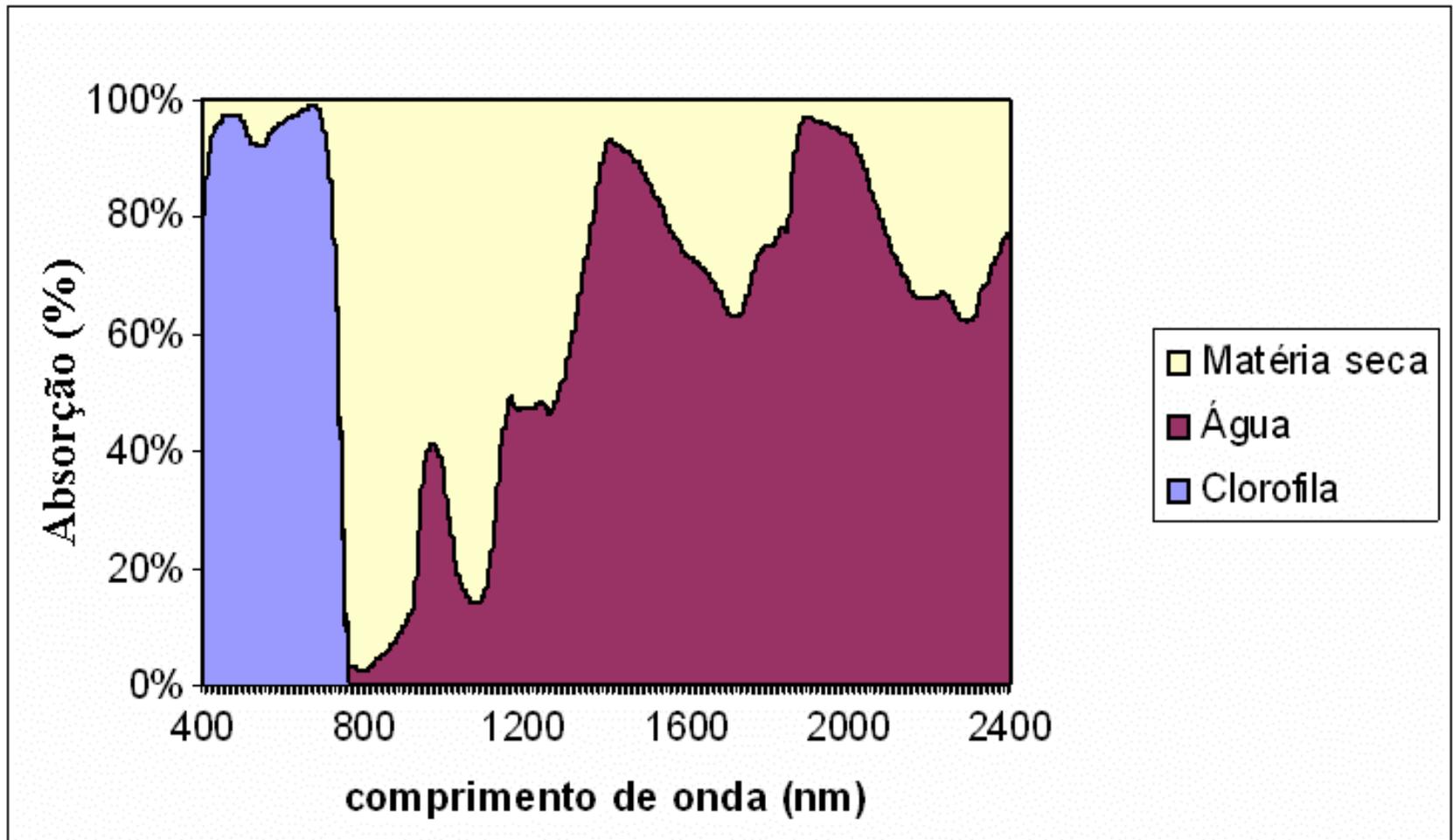
Variação do Comportamento Espectral da Vegetação Fotossinteticamente Ativa (Verde)

Espectros deslocados em 5%



**Pouca
Variação
Entre
Diferentes
Espécies**

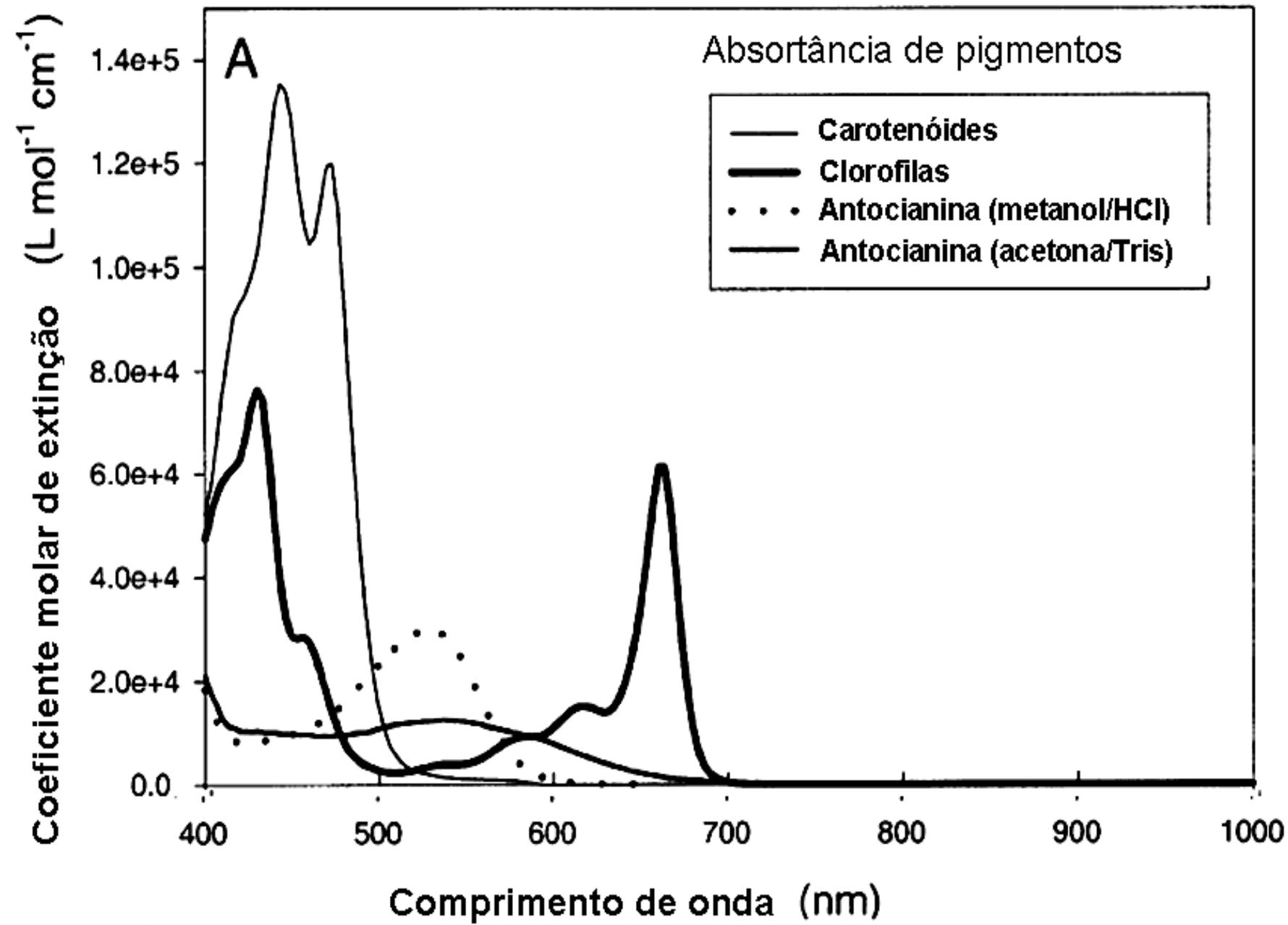
Fatores Controladores da Reflectância Foliar



Principais Características Espectrais da Vegetação

Visível (400-700nm)

- Fraca reflectância (entre 5 e 15%)
- Absorção por pigmentos foliares
 - Fotossintéticos: clorofilas *a* e *b* , carotenóides
 - Protetores (contra excesso de luz)
 - carotenóides que compõem o ciclo da xantofila (amarelo)
 - antocianina é um pigmento dependente do pH (cor-de-rosa, púrpura ou vermelho)
- Domínio das clorofilas
- Antocianinas: juventude e senescência
- Carotenóides: senescência



Infravermelho próximo (700-1.300nm)

- pigmentos foliares transparentes
- água: sem bandas de absorção intensas
- absorção fraca (<10%)
- REM: refletida ou transmitida
- a 700nm: reflectância passa de poucos a ~50%
- intensidade do plateau: f estrutura interna
- delgadas e compactas, transmitância > reflectância
(monocotiledôneas, princ. jovens)
- espessas (parênquima lacunoso desenv.): $R \gg T$
dicotiledôneas adaptadas à seca: $R \sim 80\%$)
- folhas secas (s/ pigmentos e água): \sim igual

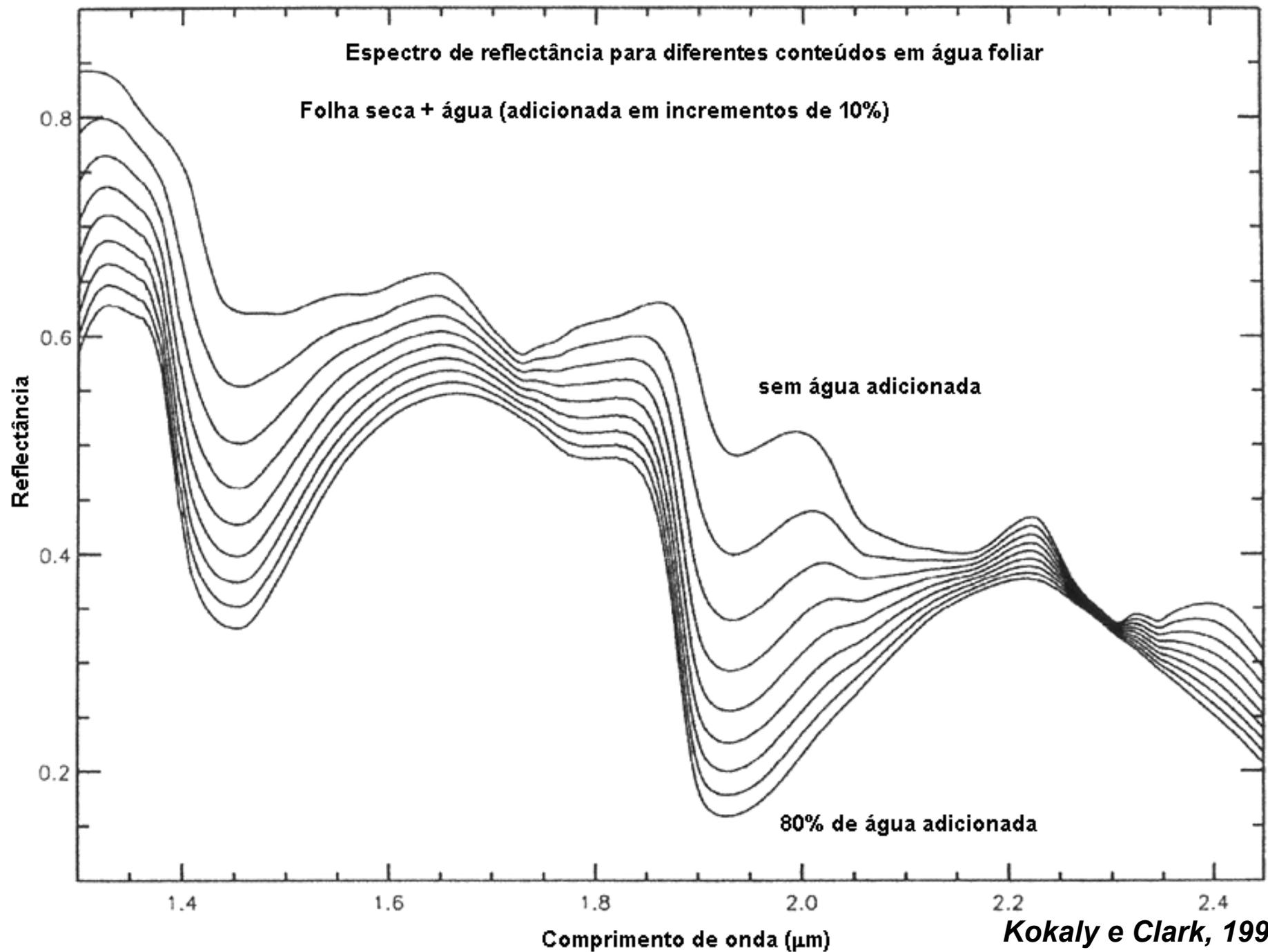
Principais Características Espectrais da Vegetação

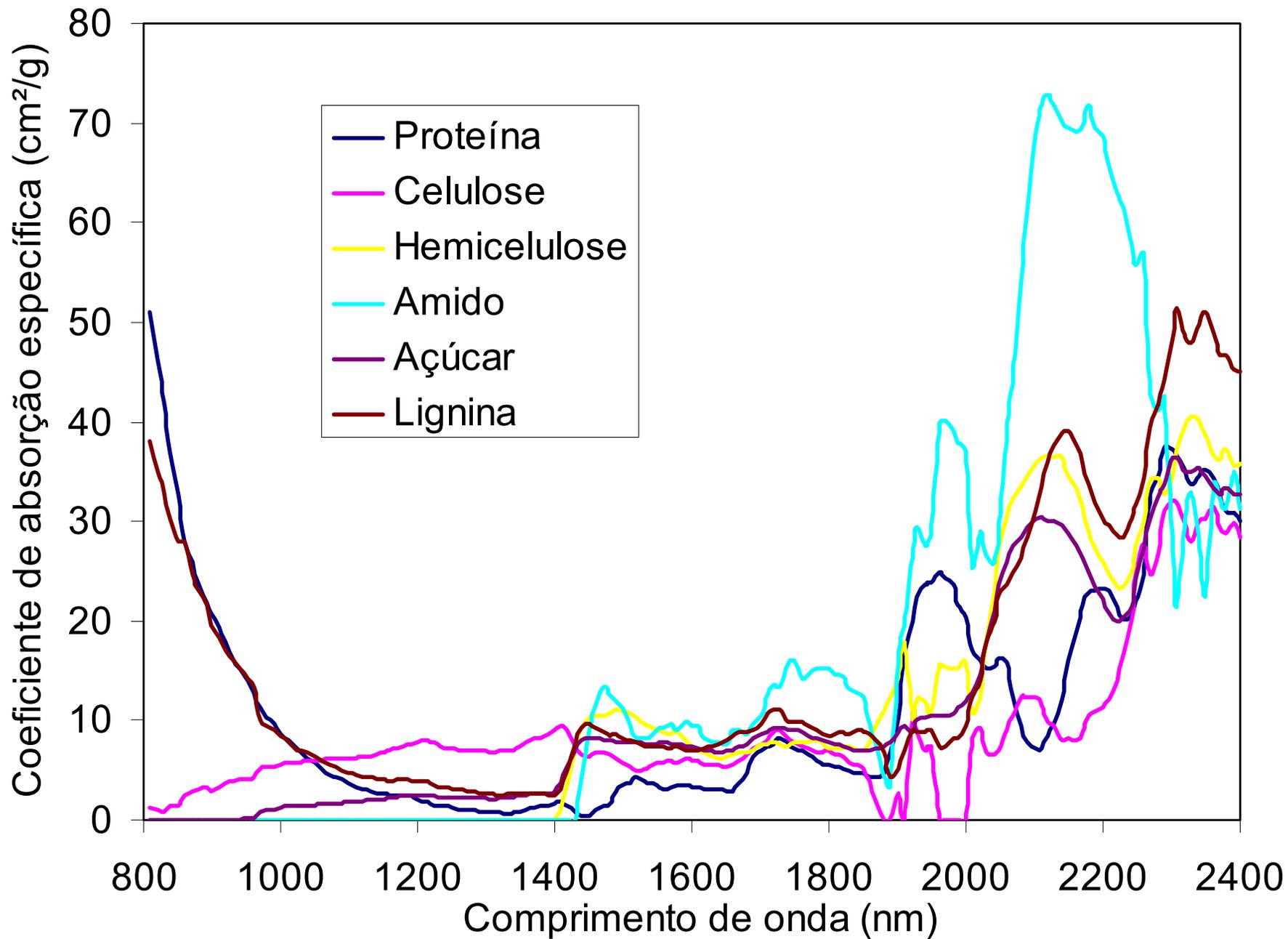
Infravermelho ondas curtas (1.300 a 2.500nm)

- É essencialmente função da água foliar:
 - Bandas de absorção centradas a 1.450 e 1.950nm e a partir de 2.500nm
- 2 máximos relativos de reflectância, centrados a 1.650 e 2.200nm
- Feições importantes de absorção dos compostos bioquímicos lignina, celulose, amido, proteínas, açúcares, cuja detecção é dificultada pela origem de suas feições de absorção: a ligação O-H

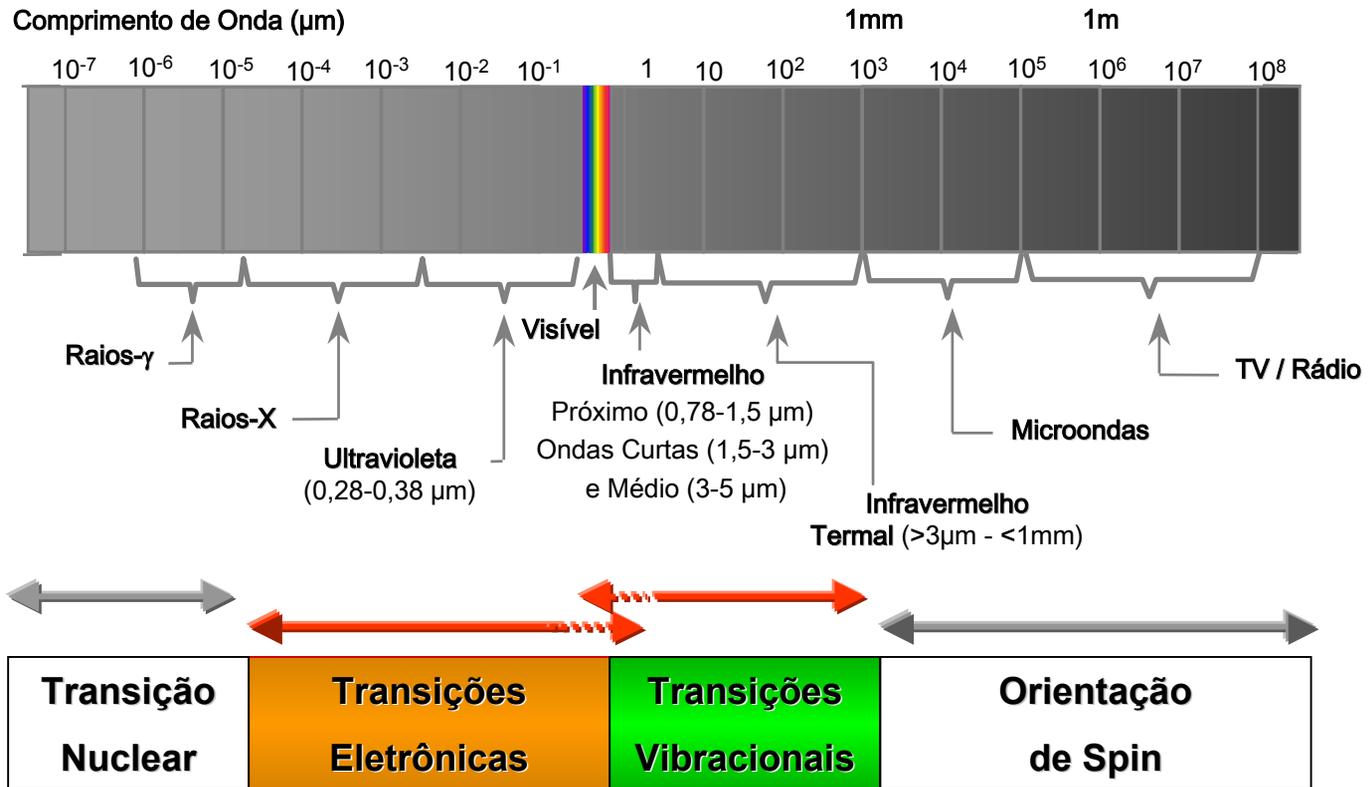
Espectro de reflectância para diferentes conteúdos em água foliar

Folha seca + água (adicionada em incrementos de 10%)





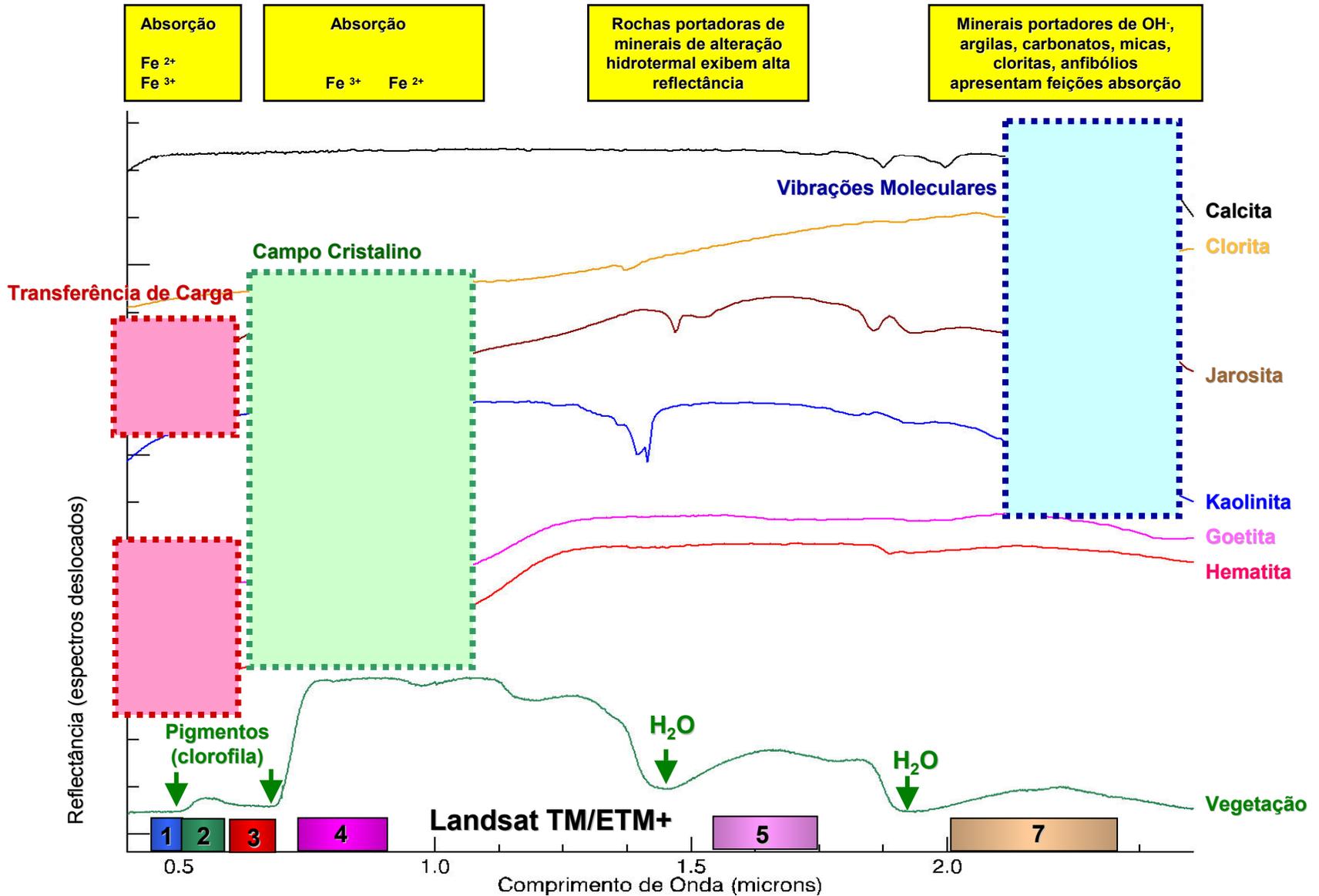
Fenômenos Responsáveis Pelo Comportamento Espectral dos Minerais e Rochas



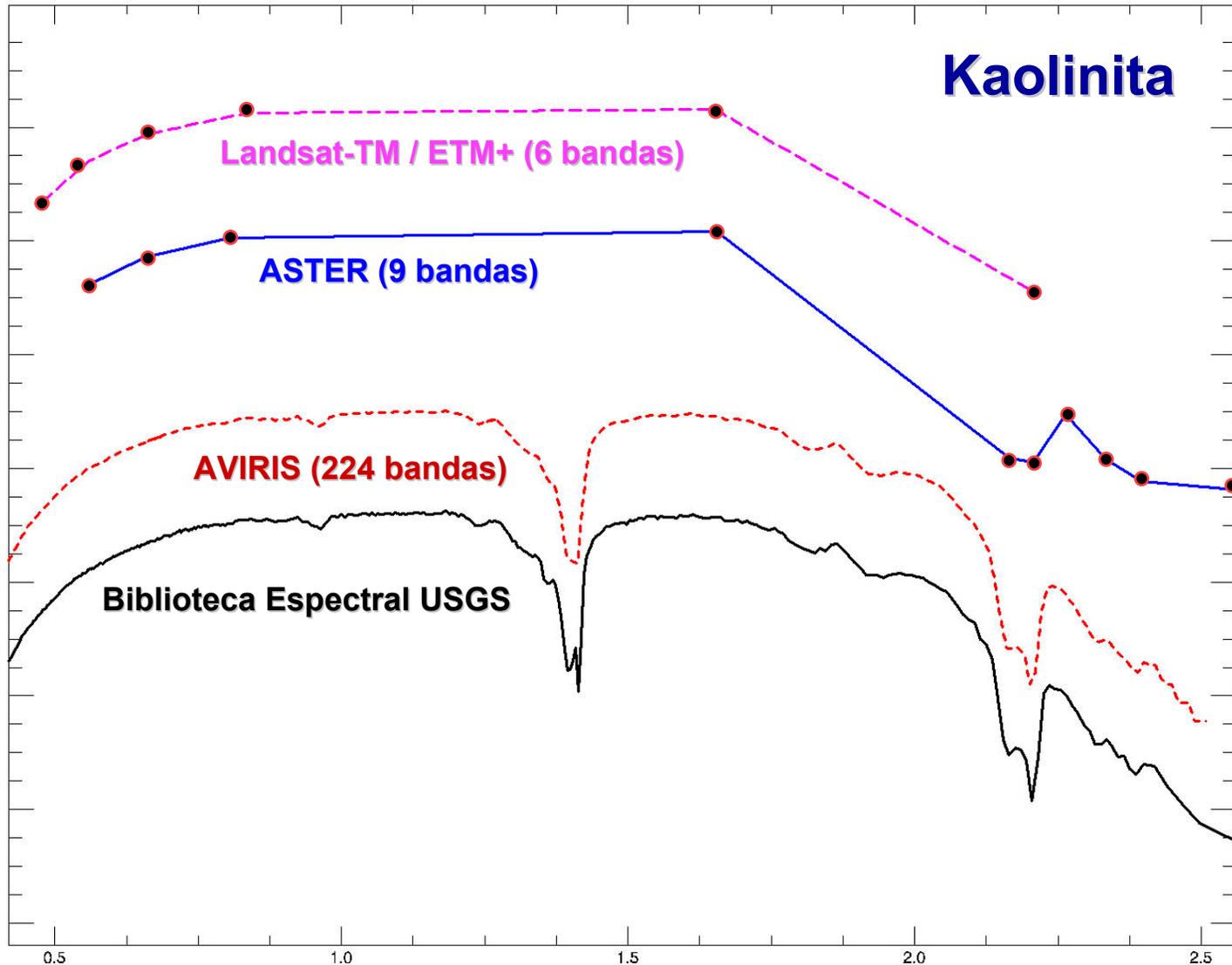
Regiões do EEM (Energia Refletida e Emitida) Relevantes Para Aplicações em Geologia

- **Visível e Infravermelho Próximo (VNIR)**
 - 0,4 – 1,5 μm
 - Óxidos/Hidróxidos de Ferro ($\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$)
 - hematita, goetita, jarosita, limonita
 - Elementos terras raras (REE)
- **Infravermelho de Ondas Curtas (SWIR)**
 - 1,5 – 2,5 μm
 - Minerais portadores do íon hidroxila (Al-OH, Mg-OH e Fe-OH)
 - argilas, filossilicatos, anfibólios e sulfatos
 - Carbonatos (CO_3)

Espectros De Laboratório de Alguns Minerais e Vegetação Mostrando as Principais Feições de Absorção no VIS/NIR/SWIR



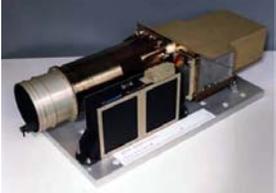
Resolução Espectral x Capacidade de Identificar Materiais Superficiais



SENSORES HYPERESPECTRAIS AEROPORTADOS

Sensores aeroportados	Fabricante	Número de bandas	Intervalo espectral (μm)
AVIRIS	NASA JPL	224	0,4-2,5
HYDICE	Naval Research Lab.	210	0,4-2,5
PROBE-1	Earth Search Sciences	128	0,4-2,5
CASI-3	ITRES Research	228	0,4-1,0
HyMap	Integrated Spectronics	126 32	0,4-2,5 8,0-12,0
EPS-H / DAIS 7915 / DAIS 21115	Geophysical Environmental Research (GER)	Entre 79 e 211	0,4-2,5 3,0-5,0 8,0-12,5
SFSI – SWIR Full Spectrum Imager	Canada Centre Remote Sensing – CCRS	110	1,22-2,42
AHS-75 / AHS-160	SensyTech (Daedalus)	64 / 80	0,45-1,05 1,6 2,0-2,5 8,0-13,0
AISA Eagle / AISA Hawk	Spectral Imaging	244 / 240	0,40-0,97 1,0-2,4

SENSORES HIPERESPECTRAIS ORBITAIS

Sensores Orbitais Satélites	Fabricante Ano	Número de bandas	Intervalo espectral (μm) Resol. Espac.	Situação
Hyperspectral Imager-HSI e LEISA / Lewis	TRW e NASA/Goddard 1997	384 e 256	0,4-2,5 e 1,0-2,5	Falha na colocação em órbita
Fourier Transform Hyperspectral Imager / MightySat II	Kestrel / Air Force Research Lab. 2000	256	0,35-1,05	Falha na colocação em órbita
EO-1 / Hyperion 	TRW e NASA/Goddard 2000	220	0,4-2,5 30m	Operacional (até ??)
CHRIS / Proba 	SIRA e European Space Agency - 2001	Configurável entre 19 e 62 bandas simultâneas Capacidade de variação do ângulo de visada	0,41-1,05 20m (nadir)	Operacional

SENSORES HIPERESPECTRAIS ORBITAIS-PROJ.

Sensores Orbitais	Fabricante	N ^o . bandas	Interv. Espectr. Res. Espacial	Situação
MSMISat Multi-Sensor Micro Satellite Imager	SunSpace South Africa	200	0,40 – 2,40 14m 15km swath	2008
EnMAP Environmental Mapping & Analysis Program	GFZ-Potsdam / DLR Kayser-Threde Germany	184-218	0,42 – 2,45 30m 30km swath	Fase B 2011
HYPER	ERSDAC/JAXA Japão	220	0,40 – 2,50 30m 50km swath	Fase B 2011
HyspIRI Hyperspectral Infrared Imager	NASA EUA	210 (+ 5 bandas TIR)	0,40 – 2,50 45m 90km swath	2013-2016
HERO Hyperspectral Environment & Resources Observer	Canadian Space Agency / MDA	210	0,4 – 2,5 30m	Fase A Sem previsão ??

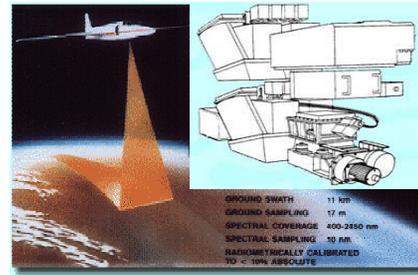
+ China (?)

**Aplicando S.R. Hiperespectral
na Caracterização
Química/Molecular dos
Materiais Superficiais**

S.R. Hiperespectral

← 0,4 a 2,5 μm →

AVIRIS



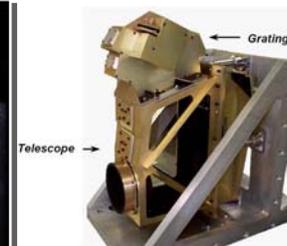
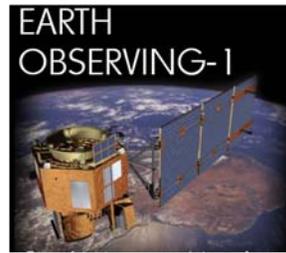
224 bandas

HyMap



128 bandas

Hyperion



220 bandas
10m res. esp.

AVIRIS (Airborne Visible/Near-Infrared Imaging Spectrometer)

ER-2

Swath: 12km

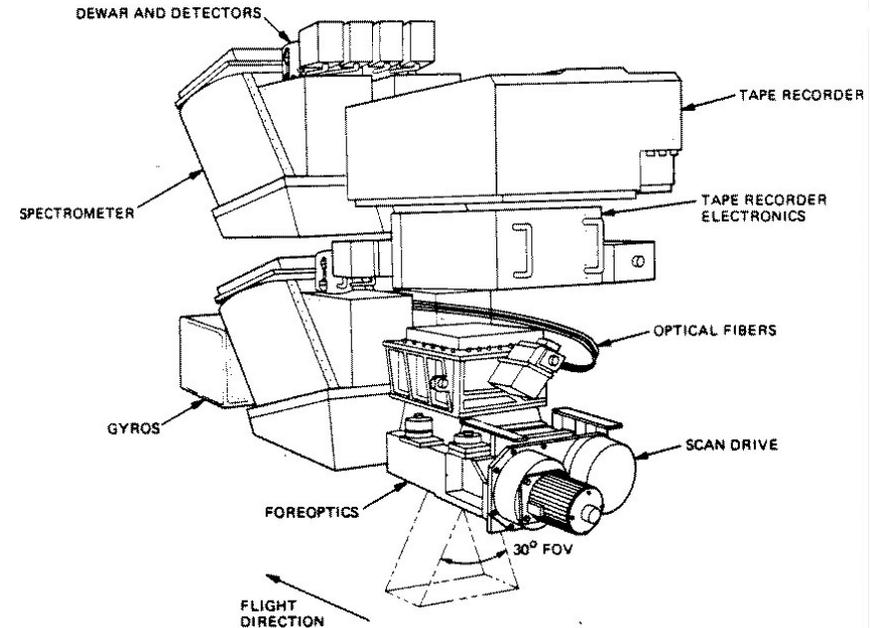
RE: 20m



Twin Otter

Swath: 2-3km

RE: 3,5 a 5m



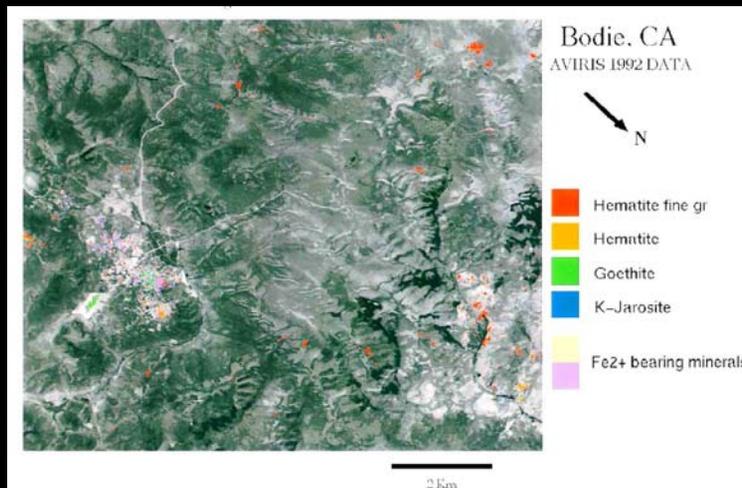
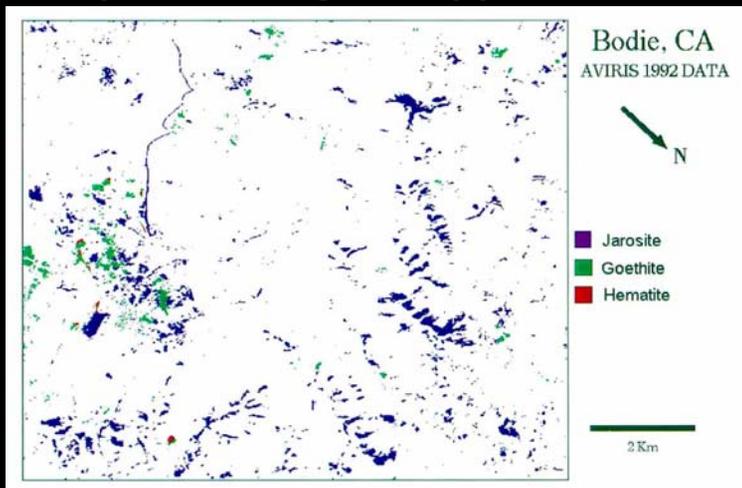
2º sensor hiperespectral a operar e +antigo em operação:

- 224 bandas espectrais (9.8 nm)
- 370 a 2.500 nm
- excelente relação S/R.

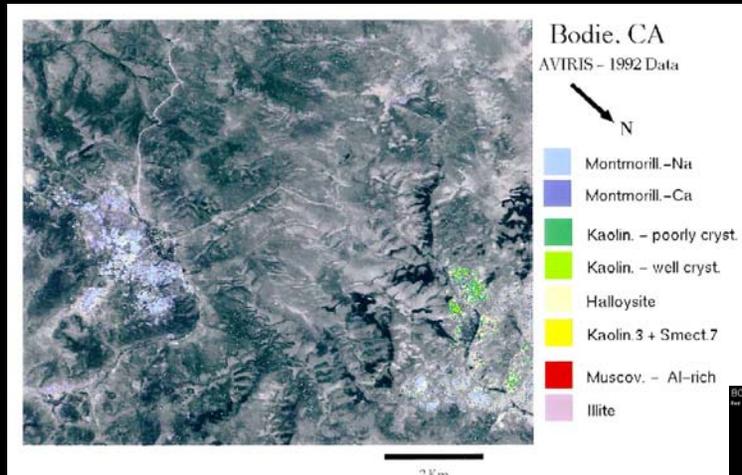
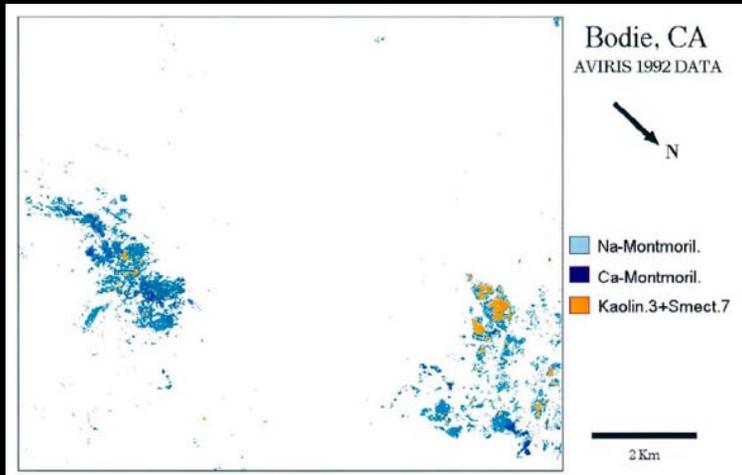
Mapeamento de minerais de alteração, Bodie (CA) com AVIRIS

Spectral Angle Mapper - SAM

Tetracorder - USGS

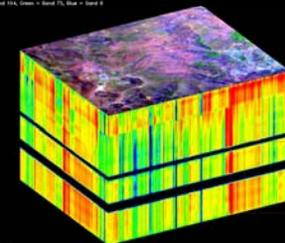


VNIR

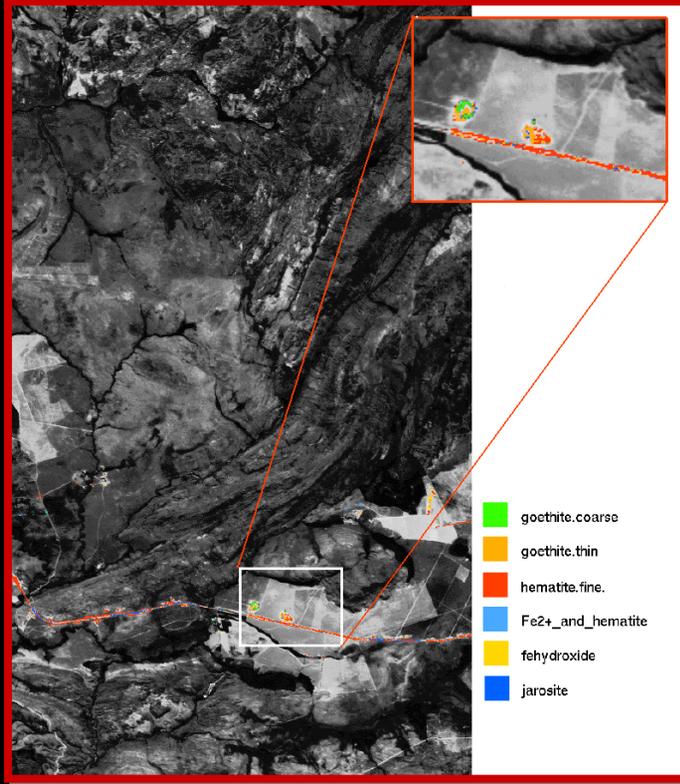
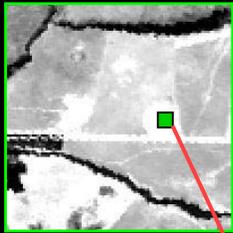
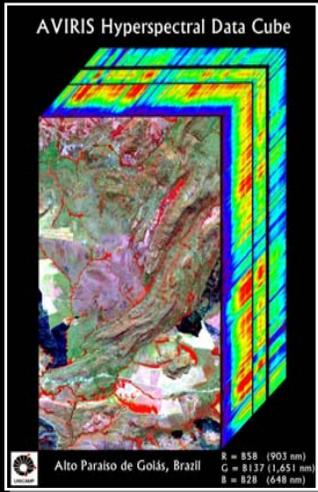


SWIR

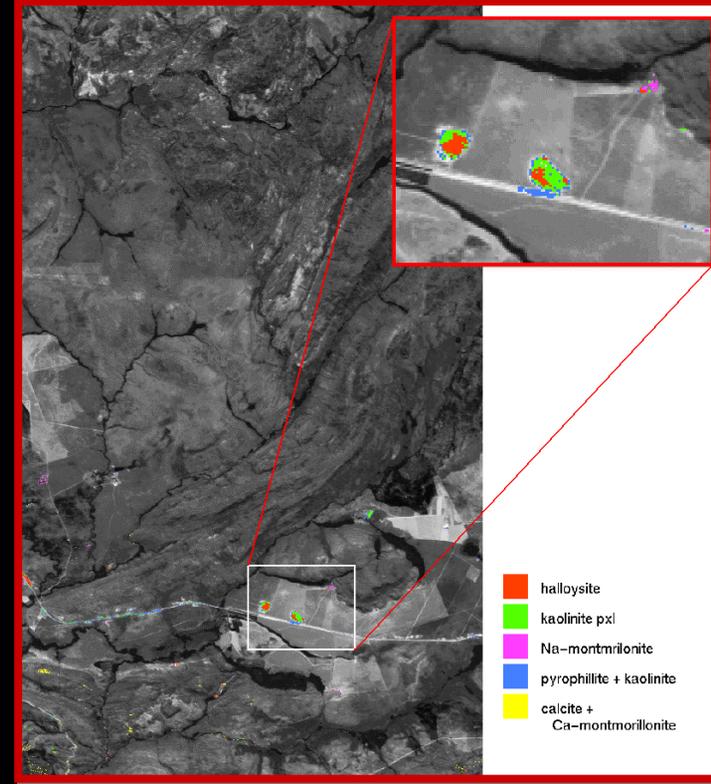
BODIE HILLS, CA -- AVIRIS DATA
Map - Band 15, Color - Band 7, Blue - Band 8



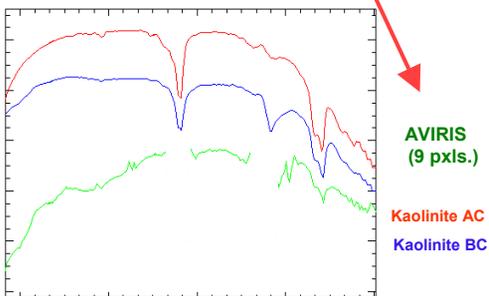
Mapeamento de Minerais com Imagens AVIRIS, Alto Paraíso (GO) e Tetracorder (USGS)



Classif. espectral minerais de Fe²⁺ e Fe³⁺ (VNIR)



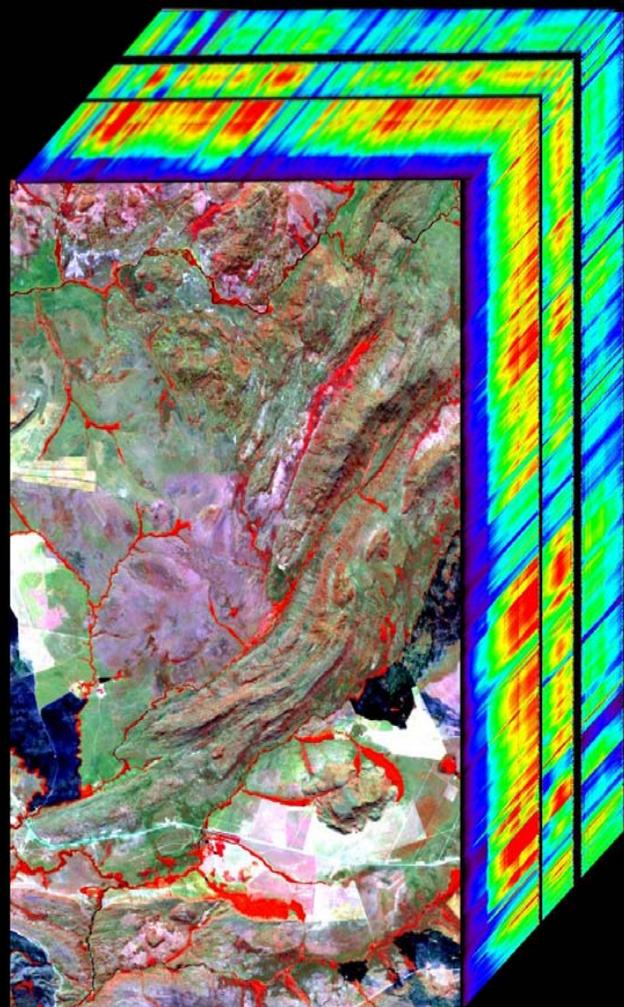
Classif. espectral filossilic., carbonatos, sulfatos, etc. (SWIR)



Crósta et al., 2000, Hyperspectral remote sensing for mineral mapping: a case-study at Alto Paraíso de Goiás, Central Brazil. *Rev. Bras. Geoc.*

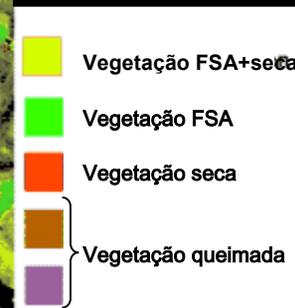
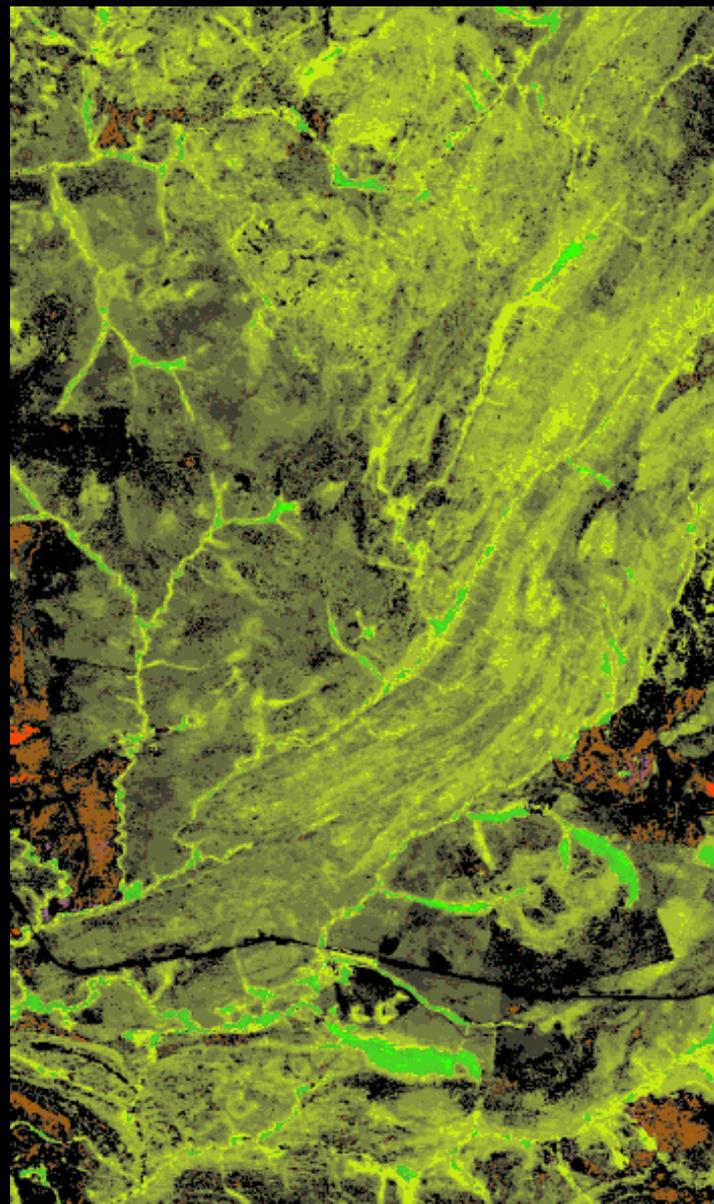
Mapeamento de Vegetação com AVIRIS e Tetracorder

AVIRIS Hyperspectral Data Cube



R = B58 (903 nm)
G = B137 (1,651 nm)
B = B28 (648 nm)

Alto Paraíso de Goiás, Brazil

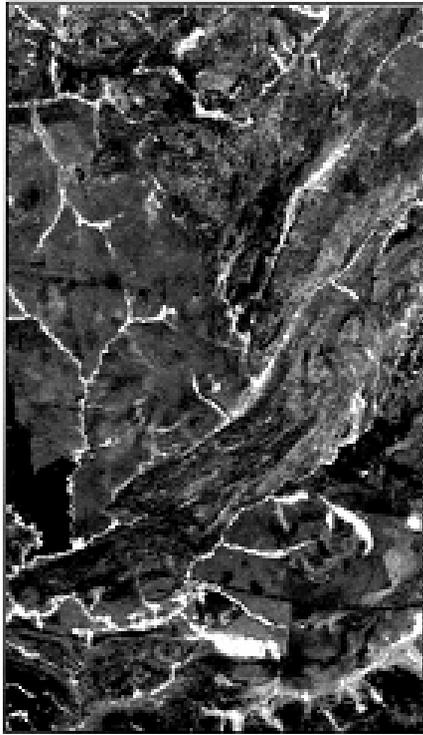


Mapeamento de Vegetação com AVIRIS, Razões de Banda e Análise por Principais Componentes

Chlorophyll-a	461/422 and 807/638
Chlorophyll-b	520/470 and 807/648
α -carotenes	520/442
Carotenoids	539/490 and 807/490
Anthocyanin	510/530
Phytochrome P730	730/845
Phytochrome P660	778/658
Lignin	1028/2101
Cellulose	2211/2400
Nitrogen	1731/1691
Leaf water content	1066/1452
NDVI	$(750-692)/(750+692)$ (Galvão <i>et al.</i> 1999)

PC eigenvector matrix based on covariance statistics.

	PC 1	PC 2	PC 3	PC 4	PC 5	PC 6	PC 7	PC 8	PC 9	PC 10	PC 11	PC 12	PC 13	PC 14	PC 15
NDVI			0.014	0.289	0.268	-0.287	0.317	0.25	-0.258	0.32	0.403	-0.427	0.025		-0.02
N			-0.264	-0.35	-0.043	-0.804	-0.163	-0.244	0.023	-0.055	-0.055	0.051	-0.003		0.003
LWC			-0.211	0.084	0.001	0.056	-0.284	0.519	0.261	-0.16	0.093	0.174	0.589		0.036
Chlor a			0.47	0.123	-0.658	-0.206	0.034	0.233	-0.147	-0.159	0.026	-0.028	-0.008		-0.001
Chlor a			0.121	0.096	0.012	0.056	-0.063	0.002	-0.092	0.13	-0.095	0.175	-0.161		0.063
Chlor b			-0.105	0.069	0.477	0.03	-0.132	0.1	-0.527	-0.363	-0.25	0.027	-0.011		0.002
Chlor b			0.117	0.062	-0.039	0.121	-0.114	-0.143	-0.194	0.13	-0.148	0.137	-0.089		0.715
Caroten			-0.111	-0.057	-0.195	0.305	-0.134	-0.55	-0.122	-0.155	0.221	-0.482	0.358		-0.035
Caroten			-0.123	0.268	0.079	0.032	0.241	-0.274	0.225	-0.227	0.536	0.485	-0.195		0.02
α -carot			0.192	-0.054	0.212	0.033	-0.363	-0.073	0.333	0.597	0.021	-0.038	0.017		0.006
Antho			-0.066	0.348	0.044	-0.06	0.419	-0.122	0.443	-0.098	-0.59	-0.226	0.06		0.002
P730			0.555	-0.567	0.332	0.079	0.244	0.049	0.18	-0.27	0.078	-0.047	0.041		-0.034
P660			0.118	0.116	-0.04	0.104	-0.128	-0.136	-0.2	0.162	-0.176	0.249	-0.046		-0.691
Cellulose			-0.384	-0.447	-0.218	0.226	0.497	0.141	-0.19	0.336	-0.082	0.183	0.103		0.004
Lignin			-0.296	-0.14	-0.116	0.2	-0.222	0.293	0.195	-0.157	0.059	-0.341	-0.659		-0.059



(a) PC1

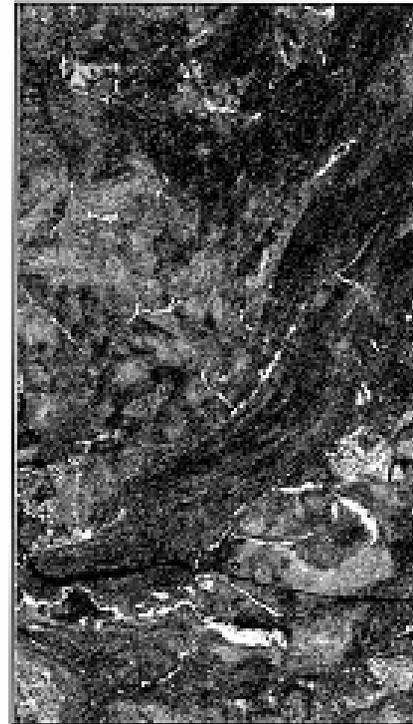
PC1: destaque para a informação comum a todos os componentes da vegetação serve para separar as grandes classes



(b) PC2

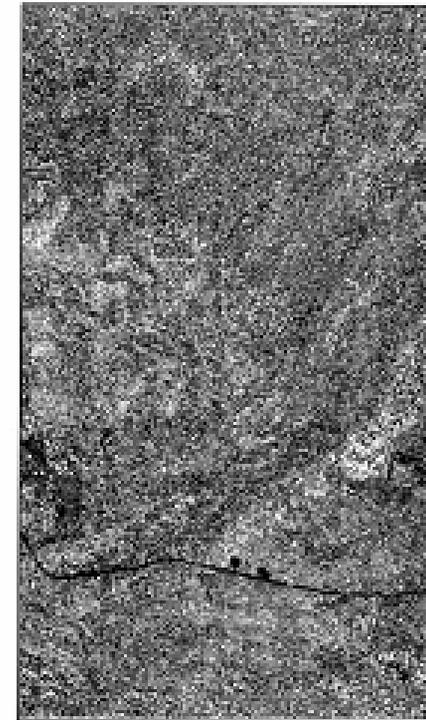
PC2: distinção entre a vegetação rupestre (associada aos quartzitos) da vegetação de cerrado e cerrado

PC14: domínio da clorofila



(c) PC14

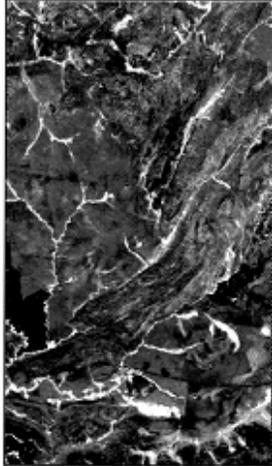
PC15: apenas informação proveniente de minerais nas rochas e solos.



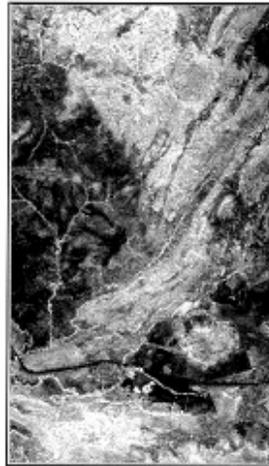
(d) PC15

Mapeamento de Vegetação com AVIRIS, Razões de Banda e Análise por Principais Componentes

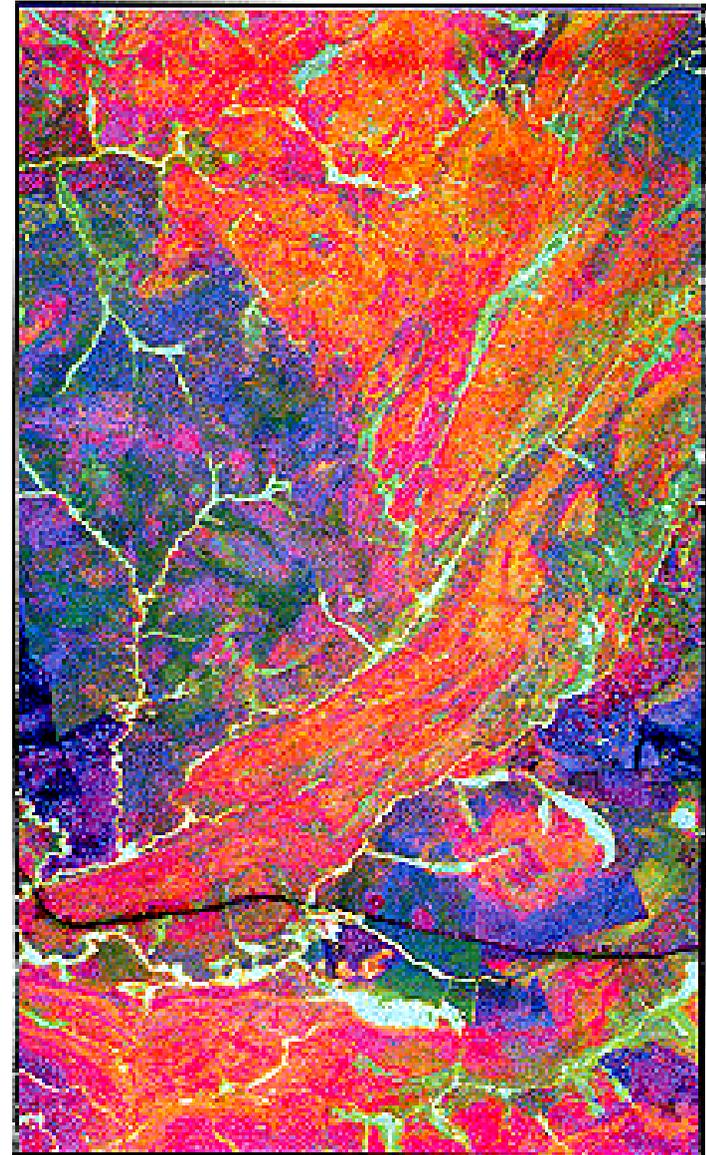
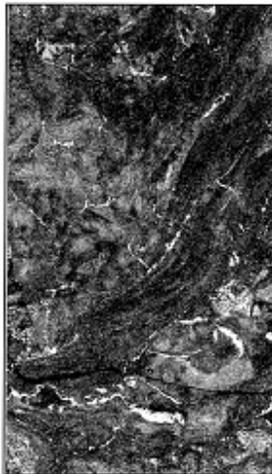
PC1



PC2



PC14

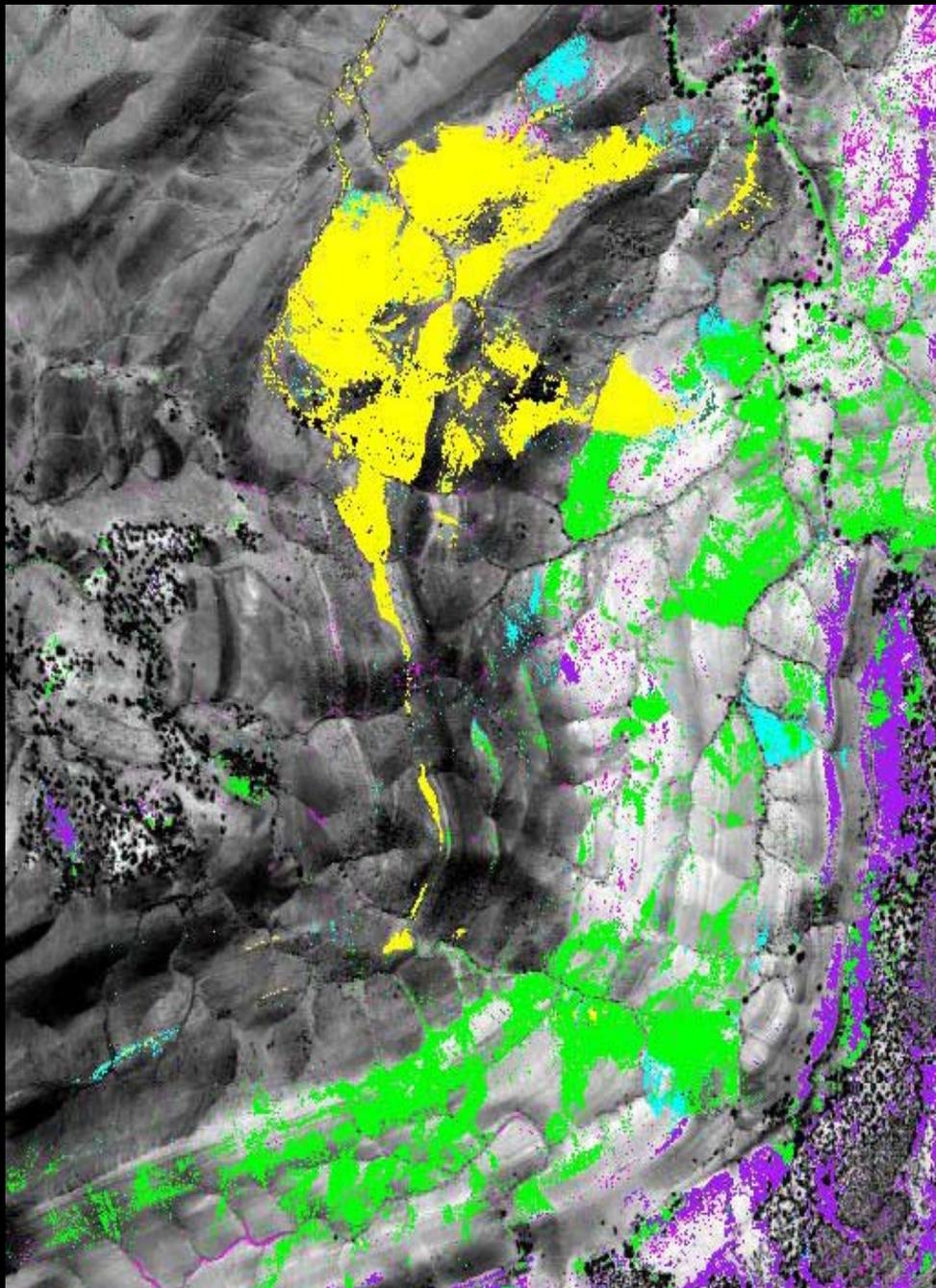


HyMap

Airborne Hyperspectral Scanner



Module	Spectral range (μm)	Bandwidth across module (nm)	Channels	Average spectral interval (nm)
VIS	0.42–0.88	15–16	32	16
NIR	0.881–1.335	12–14	32	13
SWIR1	1.40–1.81	11–13	32	12
SWIR2	1.95–2.49	15–18	32	16

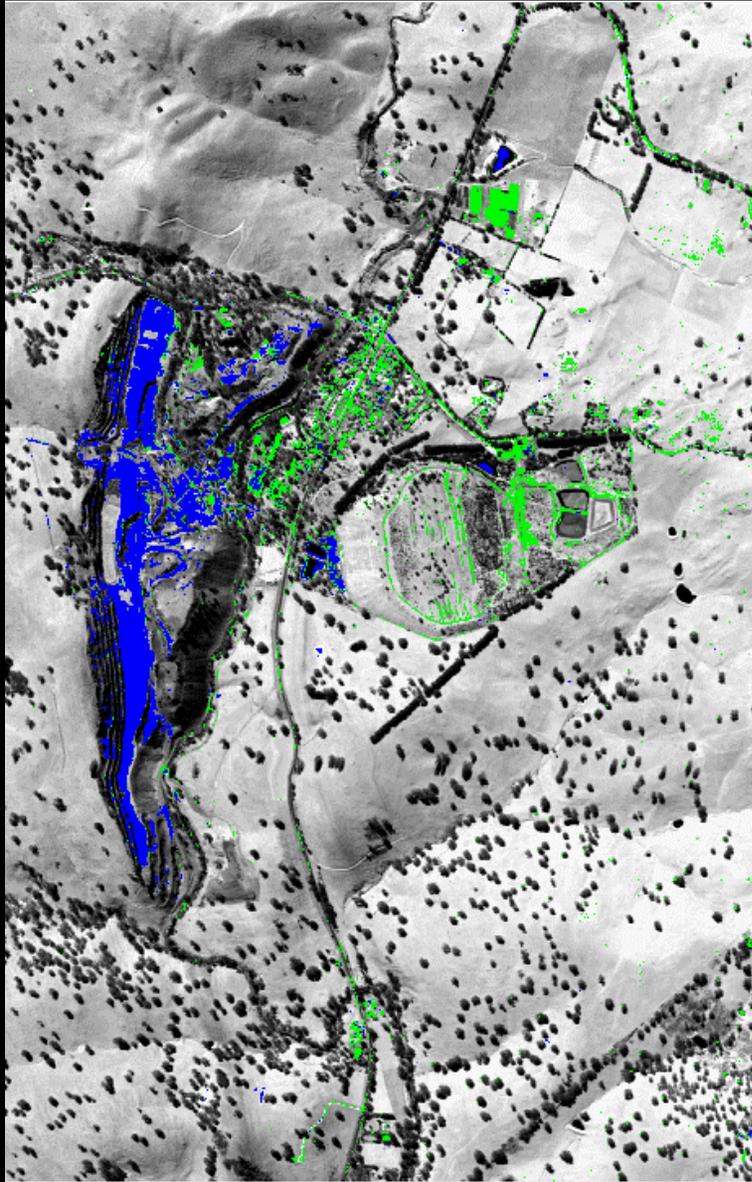


HyMap

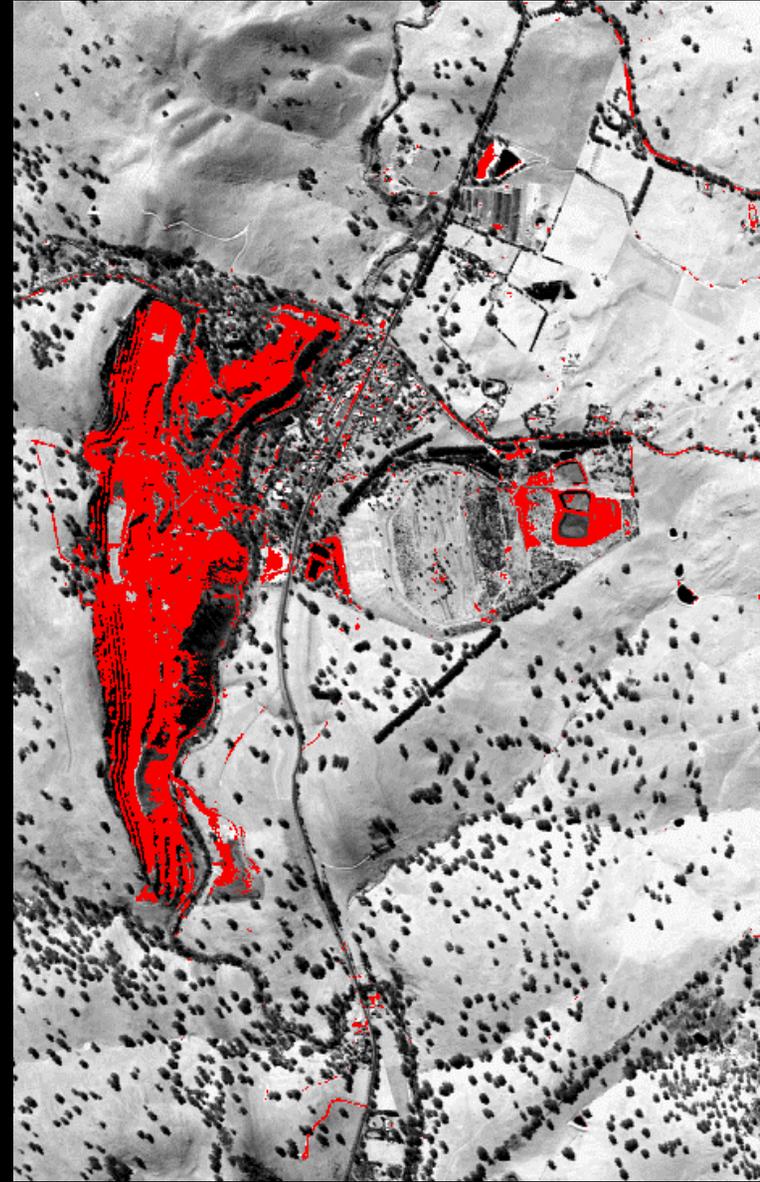
-  Muscovite
-  Kaolinite
-  Talc
-  Chlorite

HyMap

Acid mine drainage monitoring



Iron Oxides



Sulphates

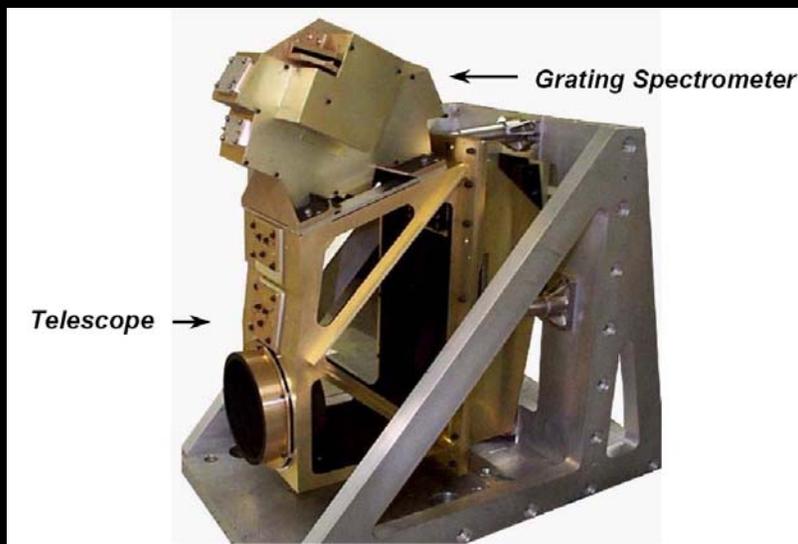
Earth Observing-1 Hyperion & ALI

EARTH OBSERVING-1



O **Earth Observing-1** foi lançado em 11/2000, numa missão com o objetivo de testar novas tecnologias para a continuidade das atividades de monitoramento da Terra, iniciada com o Landsat.

Ele voa em formação com o Landsat-7 e carrega a bordo 3 sensores: **Hyperion**, **Advanced Land Imager-ALI** e Atmospheric Corrector-AC.



O **Hyperion** é o primeiro sensor hiperespectral orbital. Possui 220 bandas espectrais entre 0,400 e 2,500 μm (VIS ao SWIR), com 10 nm de largura e 30 metros de resolução espacial.

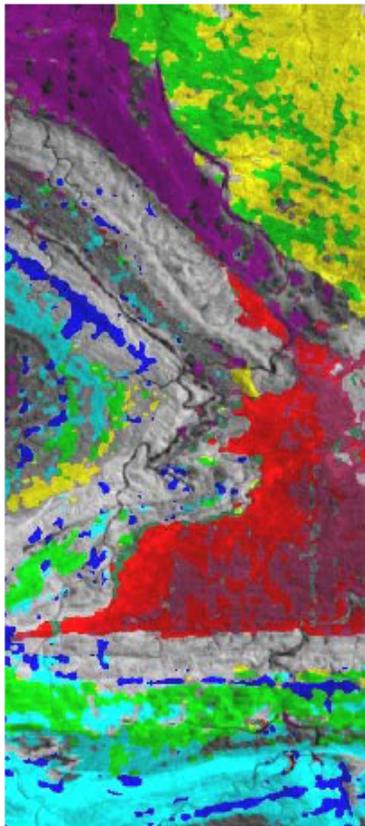
Cada faixa imageada corresponde a uma área de 100 km de comprimento por 7,5 km de largura no terreno.



Hyperion – Mineral Mapping, Mt. Fitton, Australia

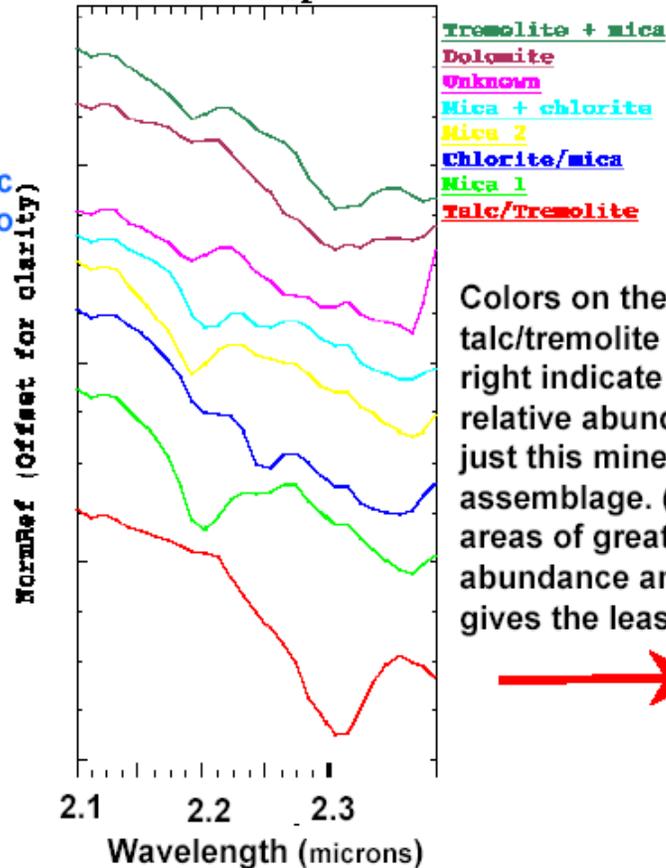
Post-processing and application of an automatic mineral mapping algorithm creates, in 30 seconds, a quick-look mineral map (left & centre). Subsequent processing can reveal more precise detail (right).

Quick-look Thematic Mineral Map



Colors of spectra match the thematic image to left.

Endmember Spectra



Detailed Talc / Tremolite Distribution Map

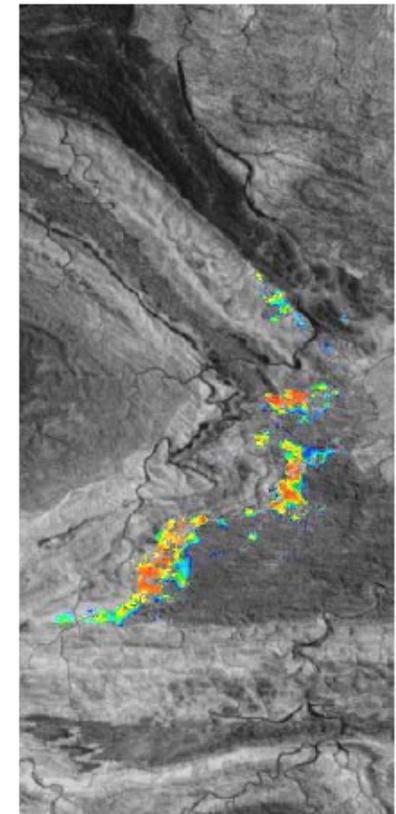
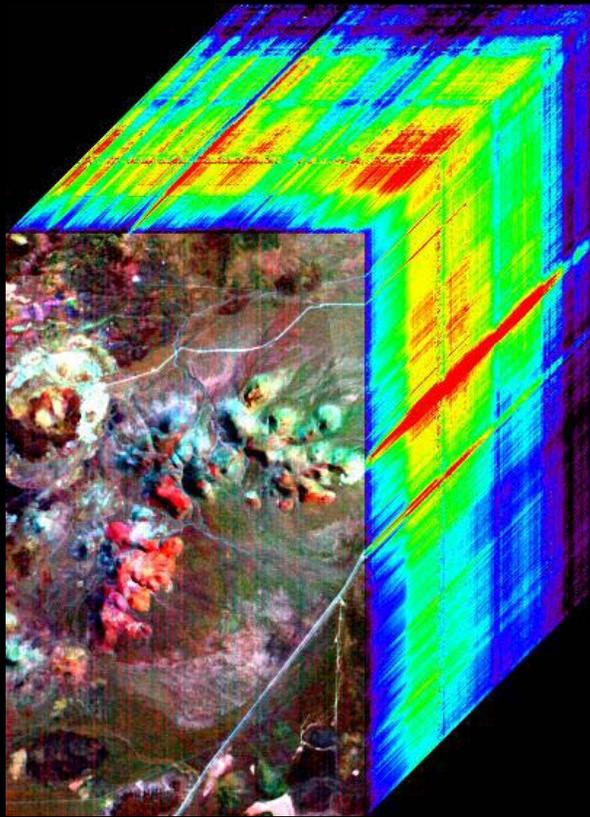
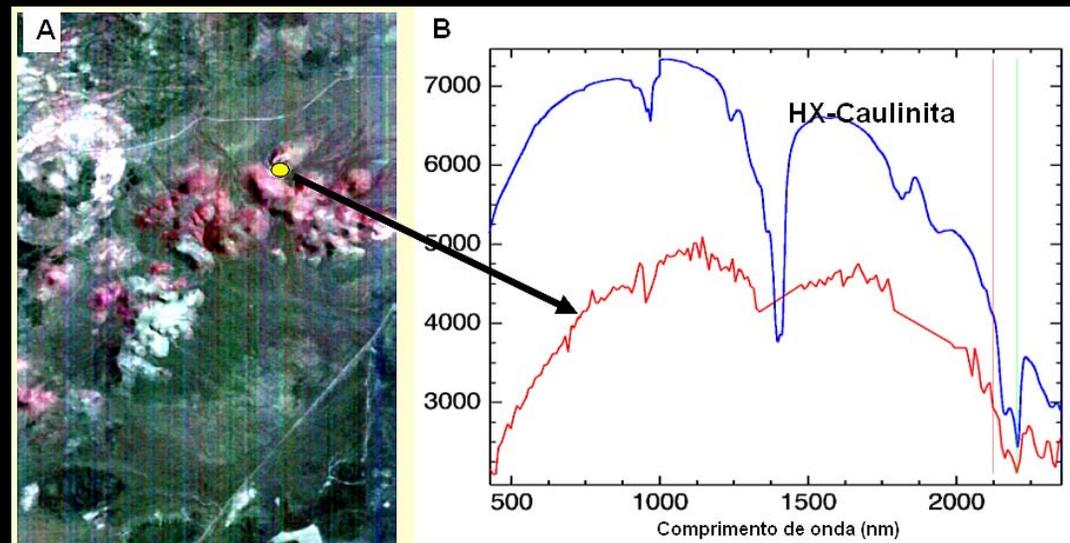
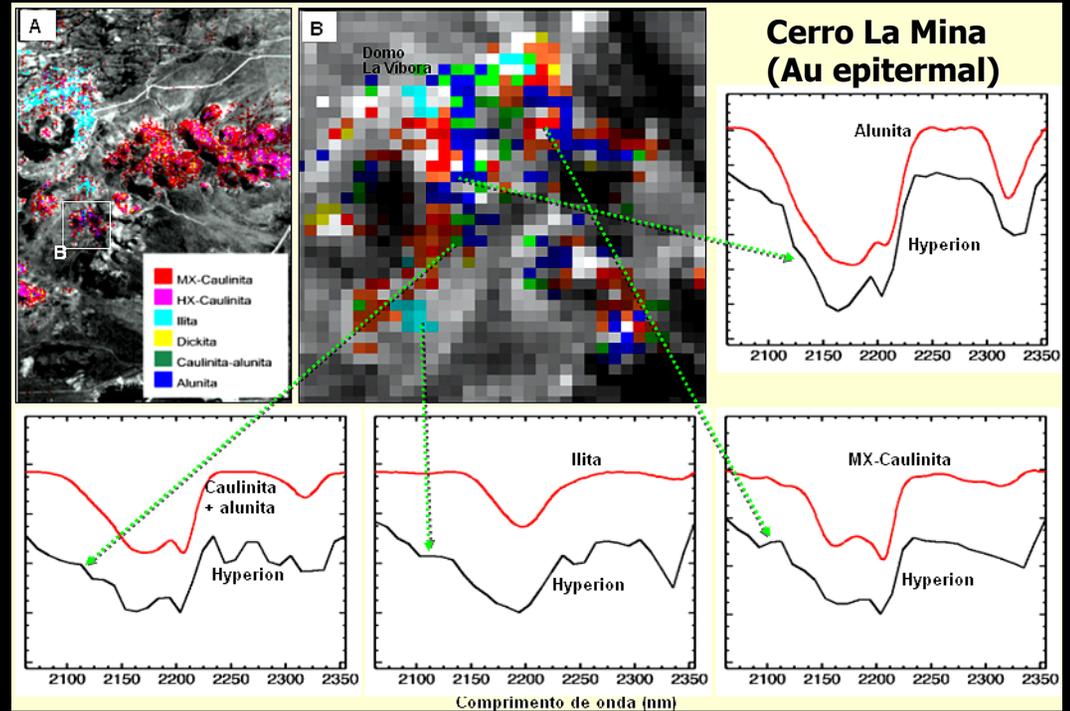


Imagem Hyperion - Los Menucos, Patagônia

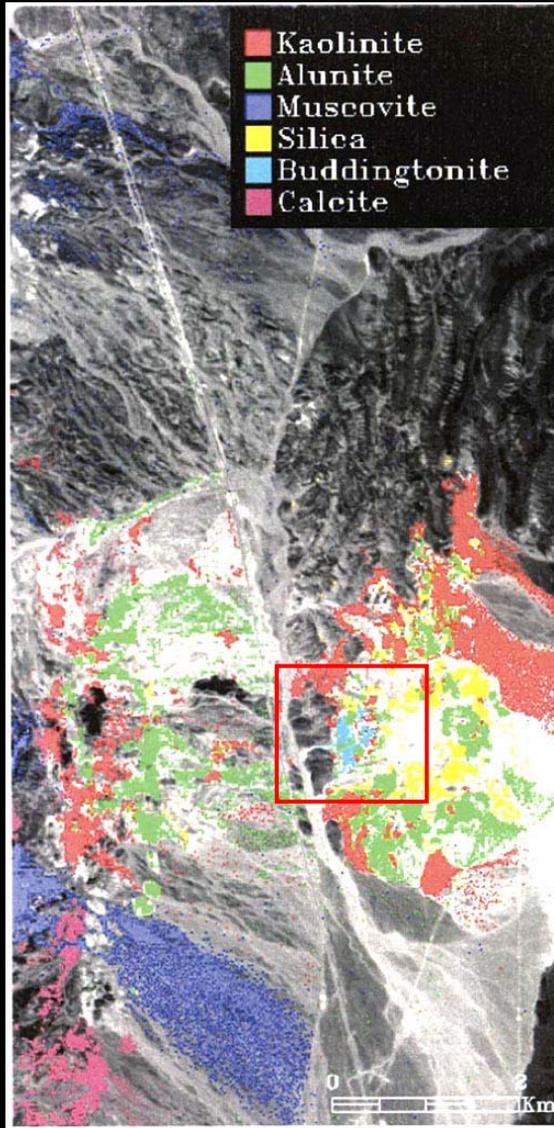


Problema: baixa SNR
Resultando em ruído
do tipo *striping*

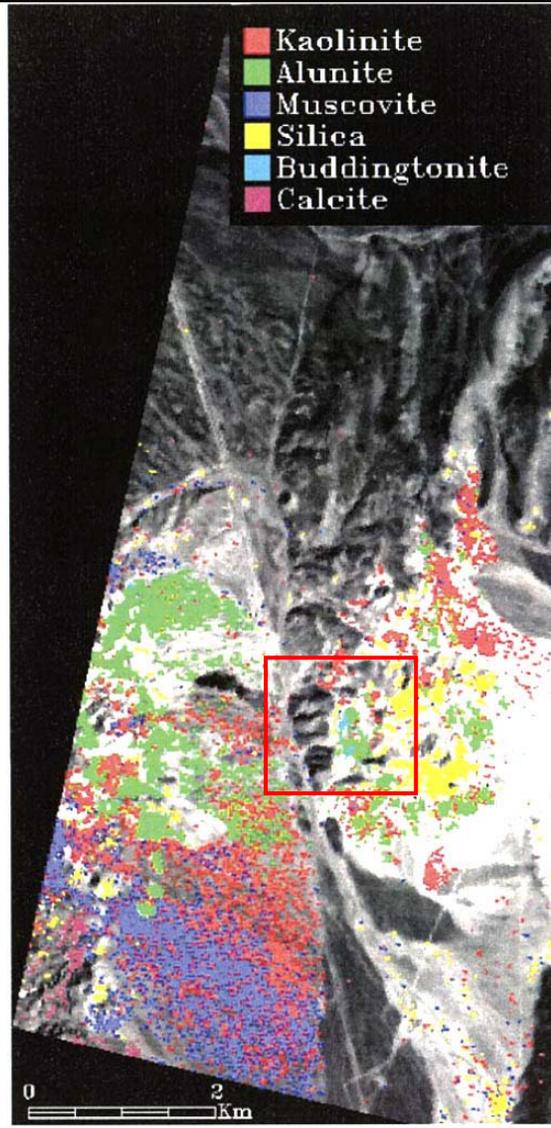


AVIRIS X Hyperion X HyMap- Cuprite, Nevada

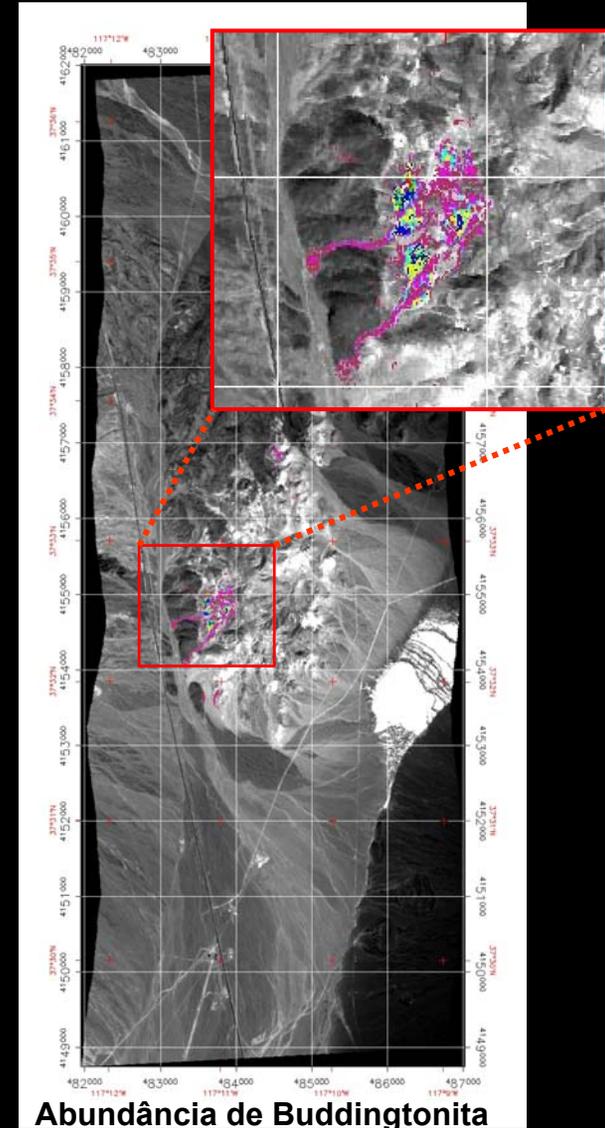
AVIRIS – Aerop. - 20m



Hyperion – Orbital - 30m



HyMap – Aerop. - 3m



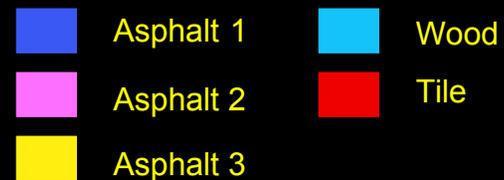
Hyperion – Urban Applications

Objective: Provide detailed map of roof composition clusters for Redondo Beach, CA fire department

Aerial Photo



**Roof Composition Analysis
Using Hyperspectral Data**

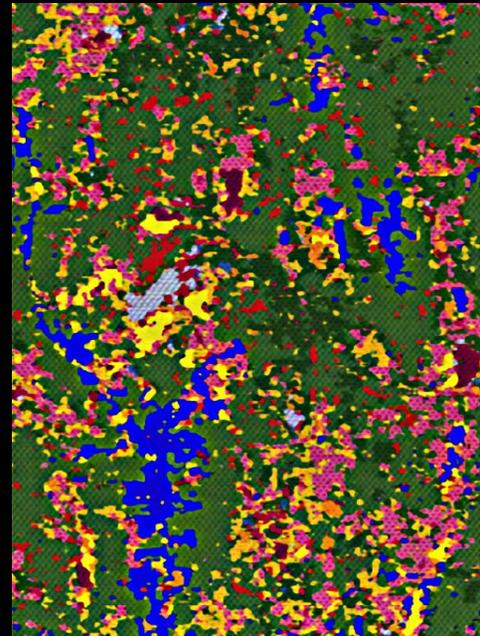


Hyperion – Forestry Mapping

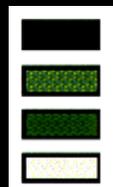
LandSat Analysis



Hyperion Analysis



Legend



No Data
 Hard wood
 Soft wood
 Grass / Fields

	Grass / fields		Hemlock/ Hardwood Mix
	Red Maple		Mixed Conifer
	Red Oak		Norway Spruce
	Mixed Hardwood		Red Pine
	Hardwood/ Conifer Mix		Spruce Swamp
	White Pine		Hardwood Bog

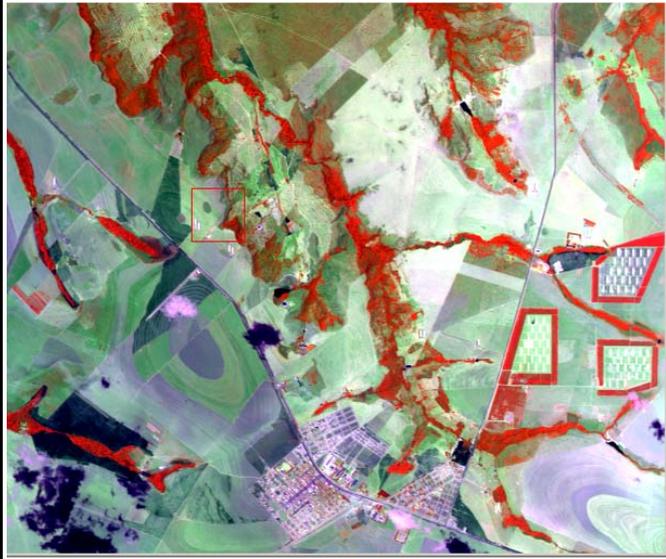


S.R. Hiperespectral:

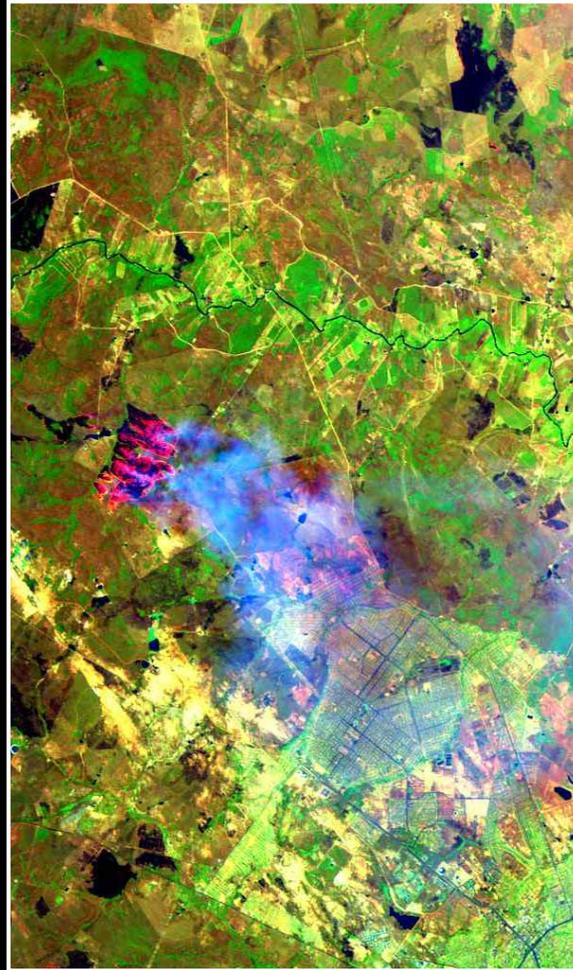
Disponibilidade(?) de

Dados

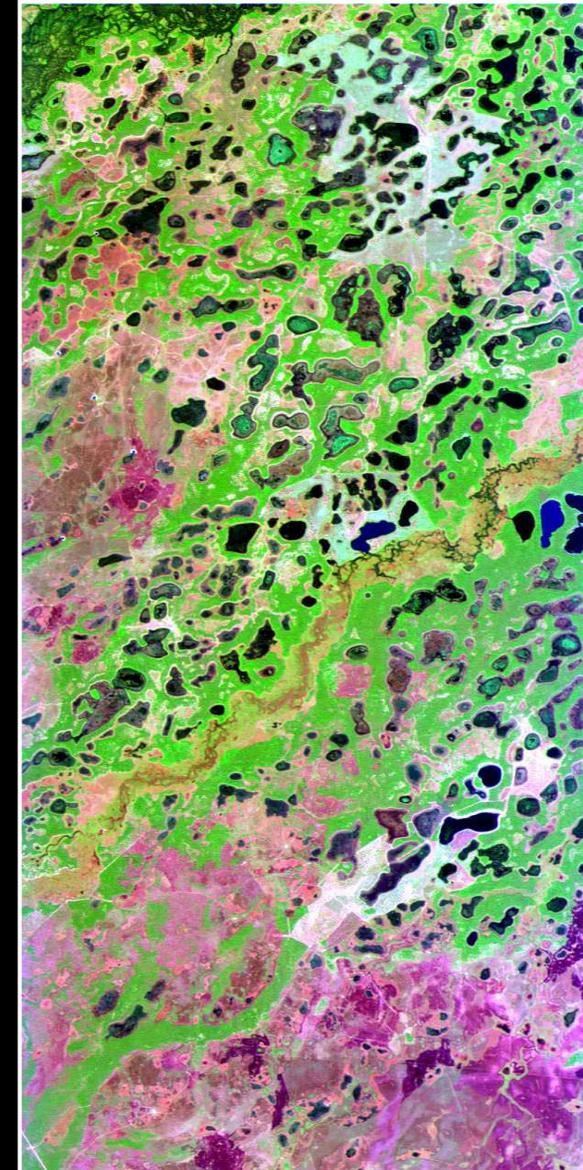
Disponibilidade de Imagens AVIRIS no Brasil: Missão SCAR-B (1995)



CAMPO VERDE (MT)

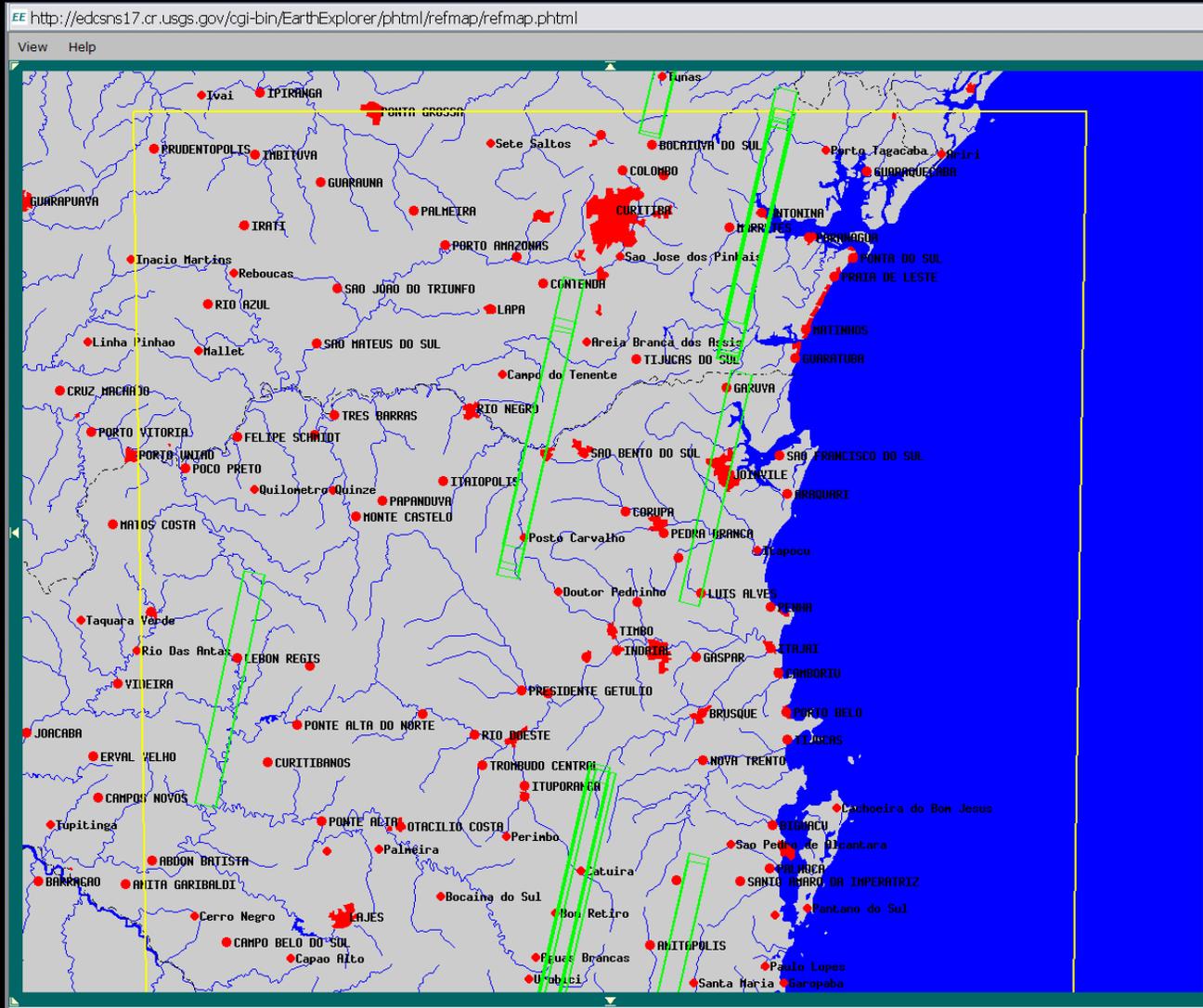


CUIABÁ (MT)



PANTANAL (MT)

EO-1 Hyperion - Disponibilidade de imagens



<http://edcsns17.cr.usgs.gov/EarthExplorer/>





**Quicklooks das
Imagens Disponíveis
com <10% nuvens**

**Custo:
US\$ 250/cena
(FTP)**



Earth Observing-1

SIPAM

Scanner Hiperespectral (HSS)



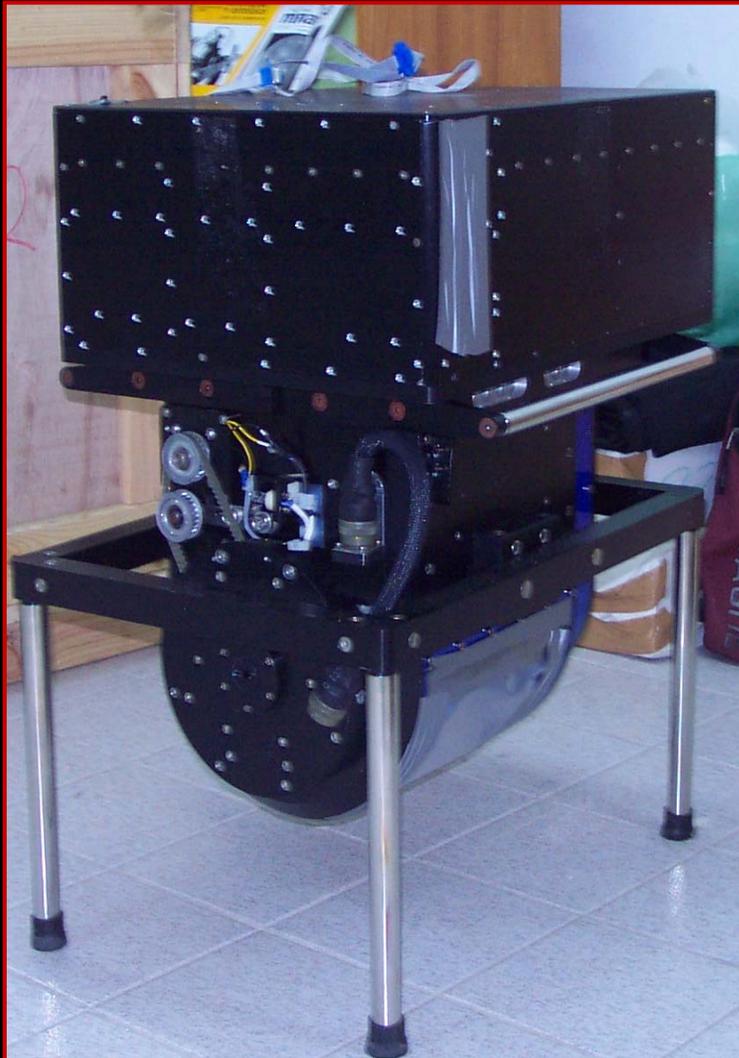
Aeronave Caravan

Bandas Espectrais do HSS

50 bandas (20 VNIR + 17 SWIR + 7 MIR + 6 TIR)

BANDA	CENTRO DA BANDA (μm)	LARGURA DA BANDA (μm)	BANDA	CENTRO DA BANDA (μm)	LARGURA DA BANDA (μm)
VNIR			SWIR		
SWIR			MIR		
			TIR		

PEGASUS 43 CHANNEL SCANNER



Instrument Type:	Scanner
Spectral Regions:	UV, VNIR, SWIR, MIR, TIR
Spectral Range:	300-2500 nm, 3250-4150 nm, 9000-11800 nm
Spectral Bands:	43 @ 20-40 nm intervals (interval varies)
Dynamic Range (Bit Depth):	16 bits
Spatial Resolution:	2 m to 7 m
Image Width:	521 Pixels (1154 m to 4226 m)
Aircraft Type:	Cessna 402/404
Maximum Altitude:	3660 m (12,00 ft)
Day or night Mission:	4hrs or 20 GB data or 432 FL Km @ 2m
Recording Media:	Hard disk (1.5 MB/s)
Stabilization:	3 axis active
INS/ GPS:	Trimble, Omnistar, Crossbow
Total System Weight:	120 lbs

		Bands	Bandwidth
Ultraviolet (UV)		1	100 nm
Visible/Near Infrared (VNIR)		16	18 nm
Infrared	Shortwave (SWIR)	16	25 nm
	Medium (MIR)	2	300 nm
	Thermal (TIR)	8	400 nm

0.35 μm

0.45 – 0.95 μm

2.10 – 2.40 μm

3.5 – 4.3 μm

8.5 – 12.0 μm

Considerações Finais

- ❖ O S.R. hiperespectral possibilita a caracterização dos diversos **vários tipos de materiais superficiais** e dos **componentes atmosféricos**, com base em suas **respostas espectrais** nas diferentes faixas do EEM.
- ❖ Estas respostas estão relacionadas às respectivas **composições químicas/moleculares** e são utilizadas para o **estudo e o monitoramento da ocorrência/distribuição espacial de materiais e fenômenos** na superfície da Terra e em sua atmosfera.
- ❖ Sensores hiperespectrais, operados a partir de **aeronaves** e/ou de **satélites**, fornecem os meios adequados para essa caracterização quantitativa, essenciais tanto para **aplicações científicas** como também **operacionais**.
- ❖ O alto nível de desenvolvimento alcançado pela tecnologia hiperespectral de S.R. aponta para uma **maior disponibilidade de dados com cobertura global** (a partir de **sensores orbitais**), em um futuro não muito distante, nas porções do EEM relativas ao **VIS/NIR/SWIR**.