



Bandas espectrais e suas aplicações

Lição B do HPTE - WMO

Juan Carlos Ceballos
Divisão de Satélites e Sistemas Ambientais
CPTEC/INPE

Baseado na Apresentação “Spectral Bands And Their Applications” - James Purdom (CIRA) Colorado State University

Novembro 2006

Foco

- O tópico principal da Lição B são os dados no visível, infravermelho próximo e no infravermelho, porque esse é o tipo de dado que a maioria dos Serviços de Meteorologia e Hidrografia recebe rotineiramente.
- No final, tem comentários sobre dados e produtos no espectro de microondas, assim como sobre sensores ativos.
 - Para informação mais profunda concernente à faixa espectral de microondas e suas aplicações, vide as lições na parte de tutoriais da Biblioteca de Recursos Virtuais

Metas

- Entender a diferença entre as radiações nos canais do visível, do infravermelho próximo, e do infravermelho termal
 - Entender a influência da superfície e das propriedades atmosféricas no sinal que observamos com um sensor de satélite
- Entender os princípios básicos subjacentes na escolha de canais e os fatores que influenciam essa escolha
- Compreender qual a informação que pode obter-se usando os diferentes canais disponíveis nos satélites operacionais e científicos
- Entender como interpretar dados de vários canais, individualmente e por combinação com outros canais
- Entender a diferença entre dados multi-espectrais e hiper-espectrais

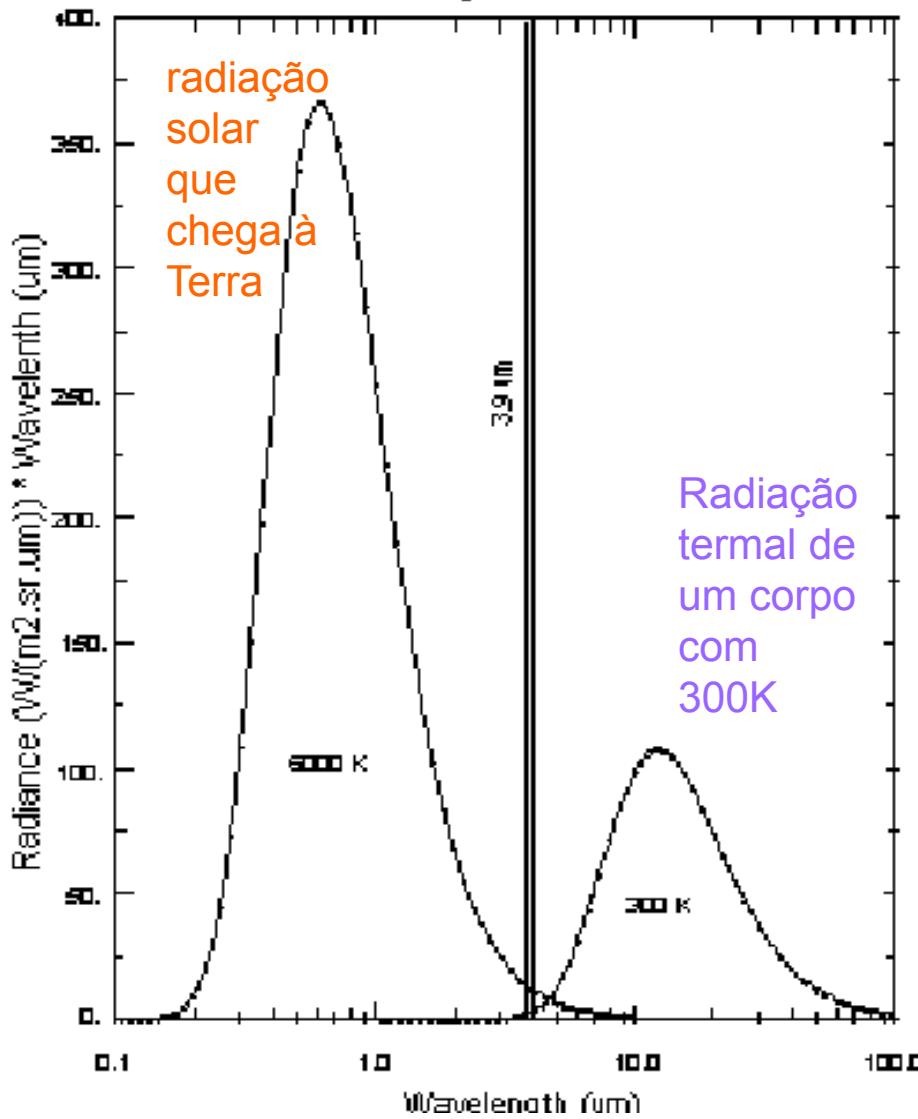


Recursos

- Informação da Biblioteca Virtual de Recursos (*Virtual Resource Library*: VRL)
 - Textos, alguns textos guiados, a lições em PowerPoint que, em conjunto, cobrem detalhadamente este tópico
 - Links a imagens e produtos da VRL, assim como sítios do Patrocinador e de Centros de Excelência
- Notas de aula aompanhando a apresentação
- Hydra lab para observação e manipulação de dados multiespectrais

Corpos negros a 6000K (Sol) e a 300K (Terra): Radiância X comprimento de onda (observe a região de 3.9 μm !)

Fig. 2a



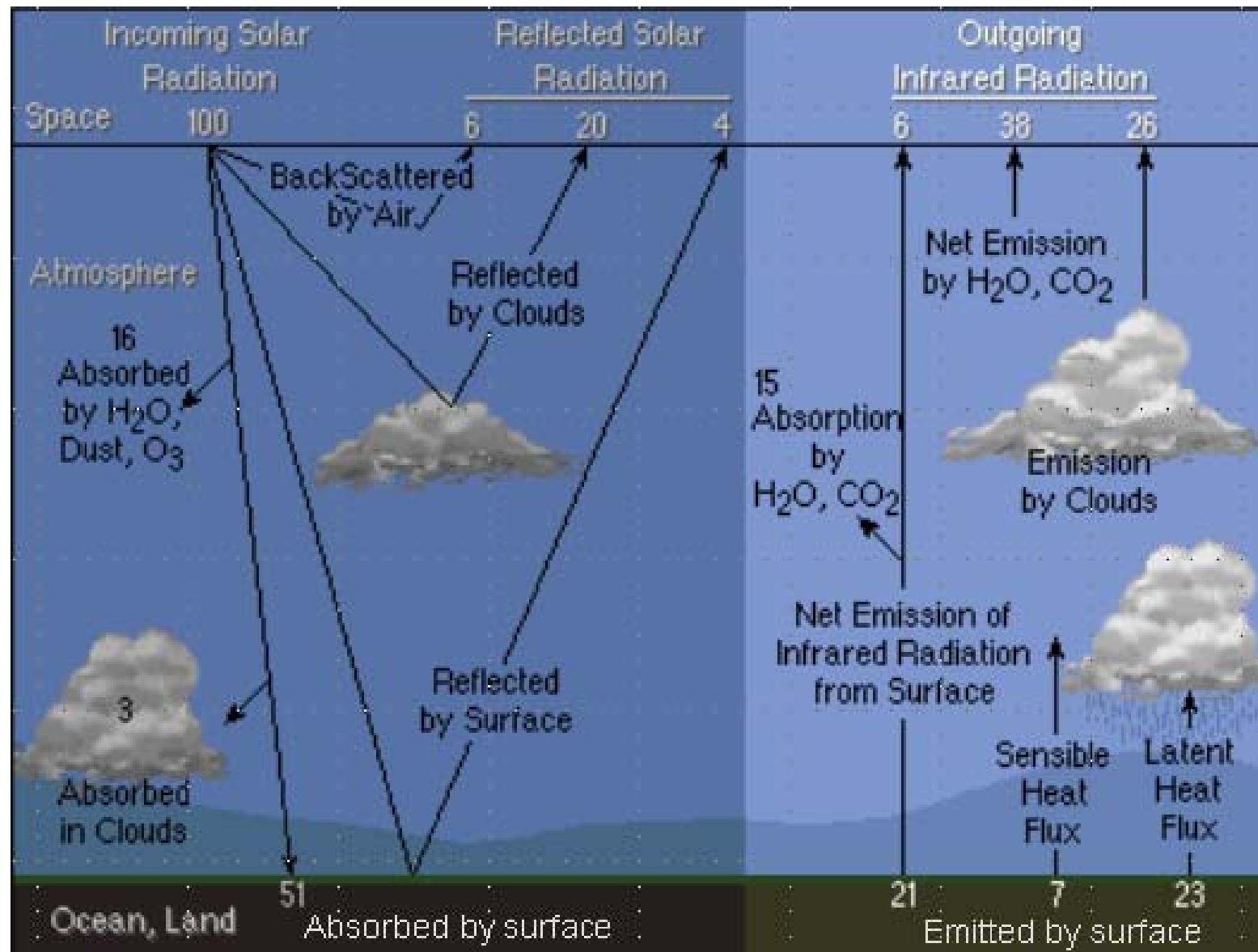
Hoje, os satélites medem energia em regiões espectrais que vão da porção visível até o infravermelho termal e de microondas

- Para comprimentos de onda além de 10 μm , a radiação é apenas radiação terrestre. Nessa região, a Terra apenas reflete radiação solar.
- Na região próxima de 3,9 μm , a energia medida por satélites durante o dia é uma mistura da radiação solar refletida e da emitida pela Terra.

Um corpo a 300K não emite radiação apreciável em comprimentos de onda inferiores a 3 μm .



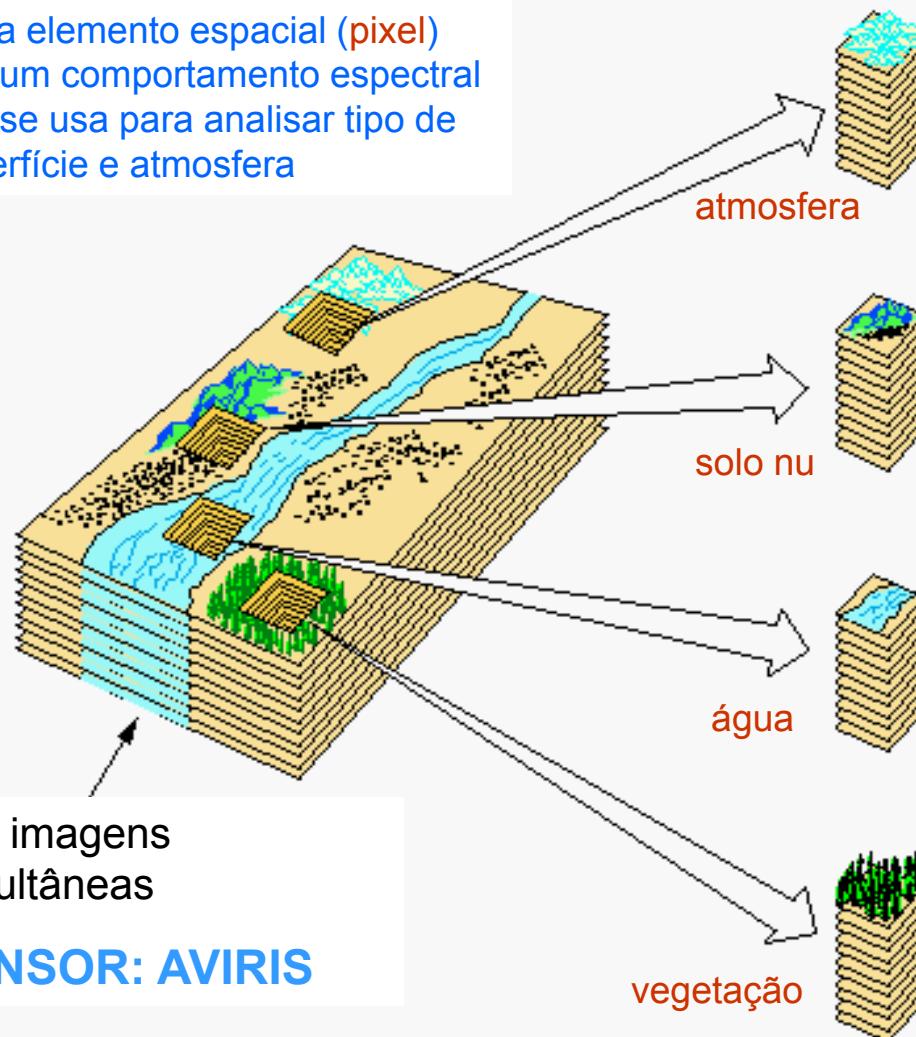
As propriedades atmosféricas e da superfície afetam o que vemos com um sensor de satélite (esquerda: radiação solar, direita: IR emitida)



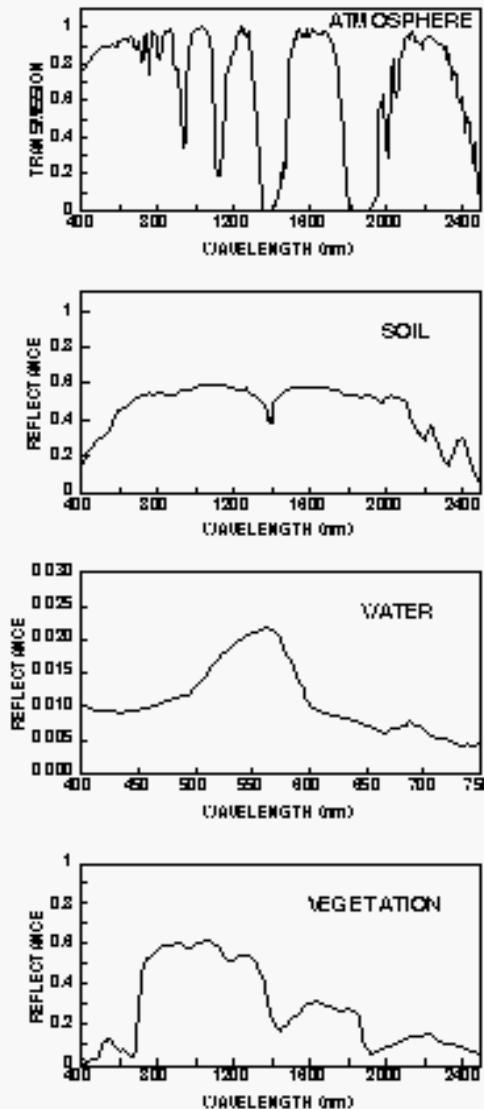


Hoje, somos digitais e multiespectrais!

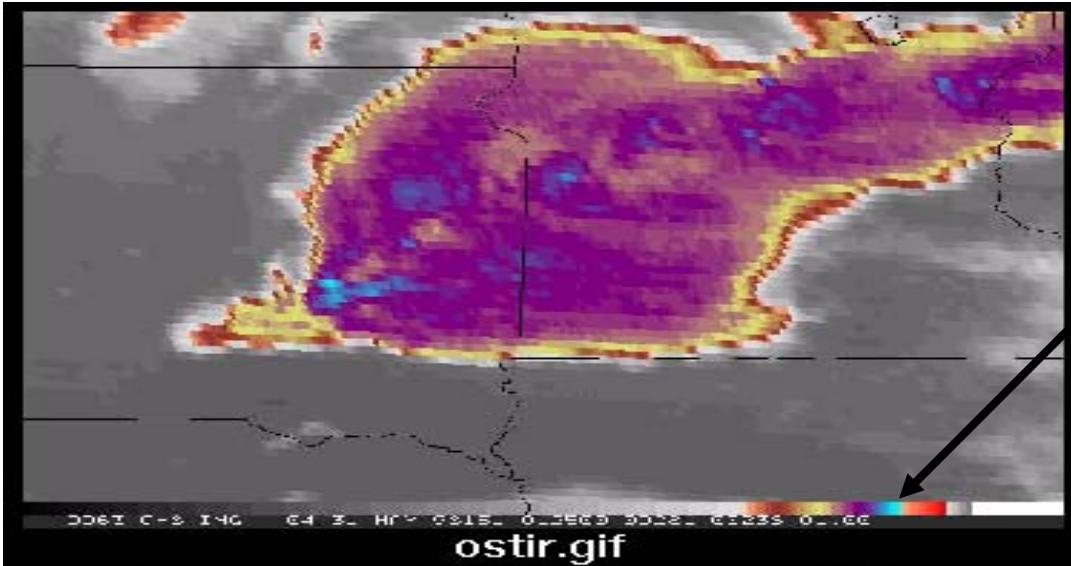
Cada elemento espacial (pixel) tem um comportamento espectral que se usa para analisar tipo de superfície e atmosfera



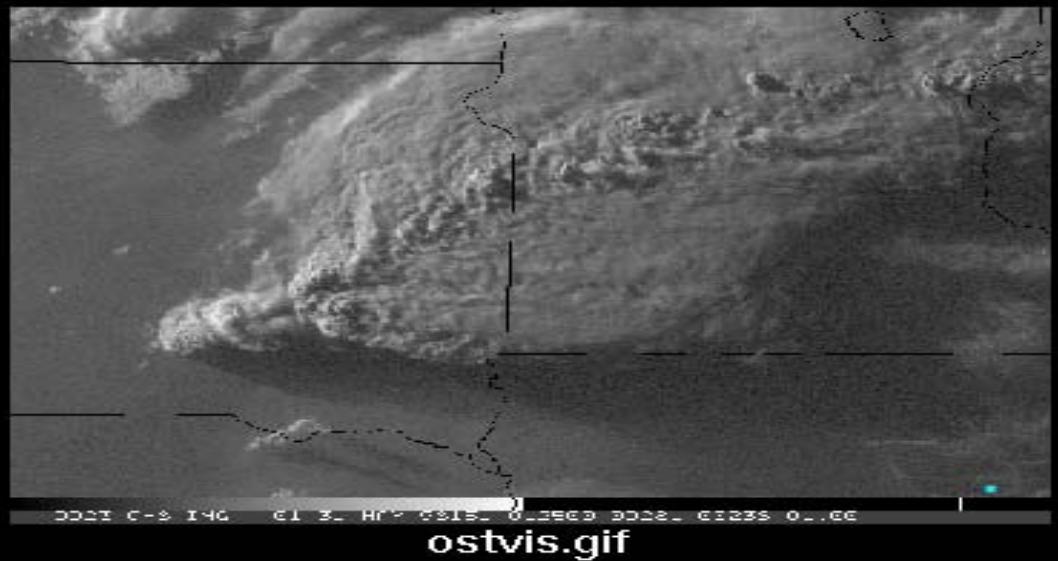
Espectro de transmitância (atmosfera) e refletância (superfície)



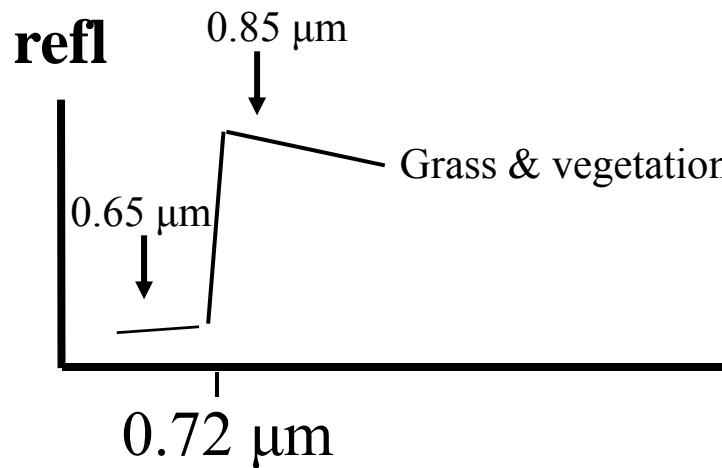
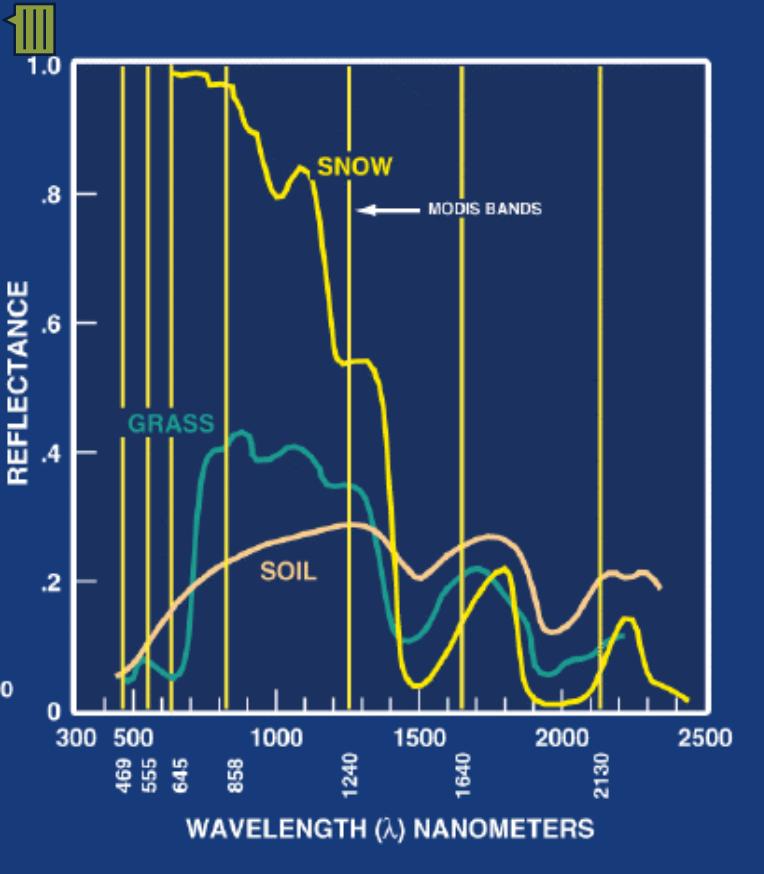
Uma vantagem dos dados digitais: O realce de imagens ajuda o olho na detecção



Barra de cores com escala desde quente (esquerda) até frio (direita)



Manipulando as cores, podemos dar contraste aos topo de nuvens de tormenta e à temperatura do topo

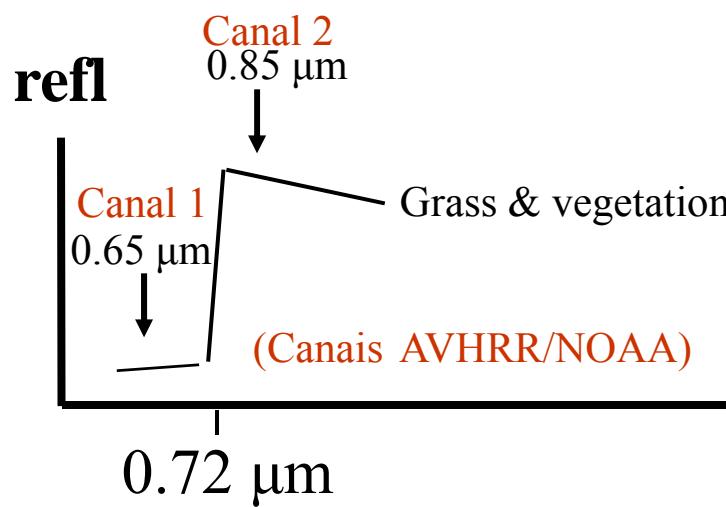
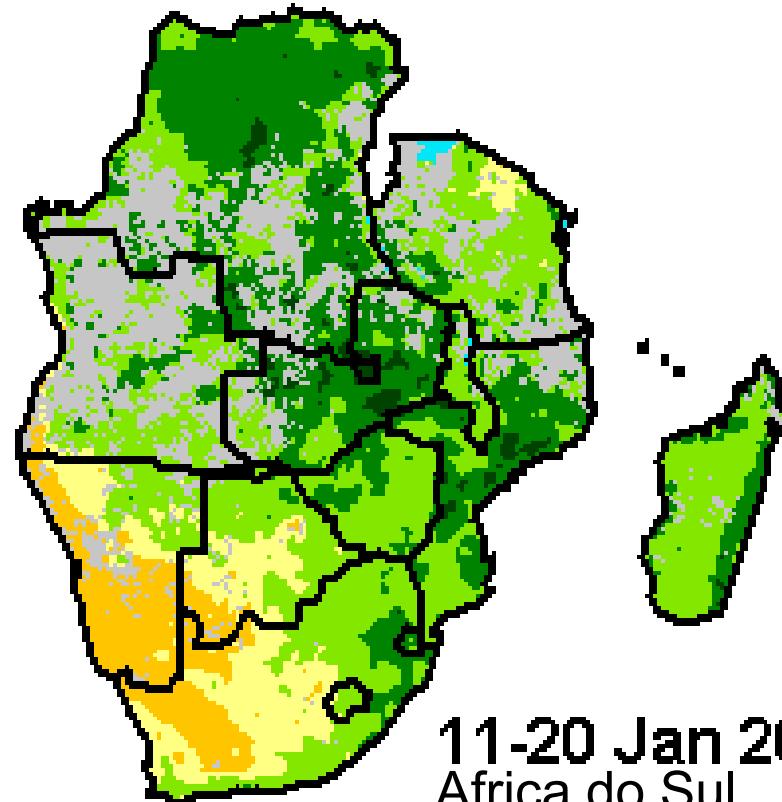
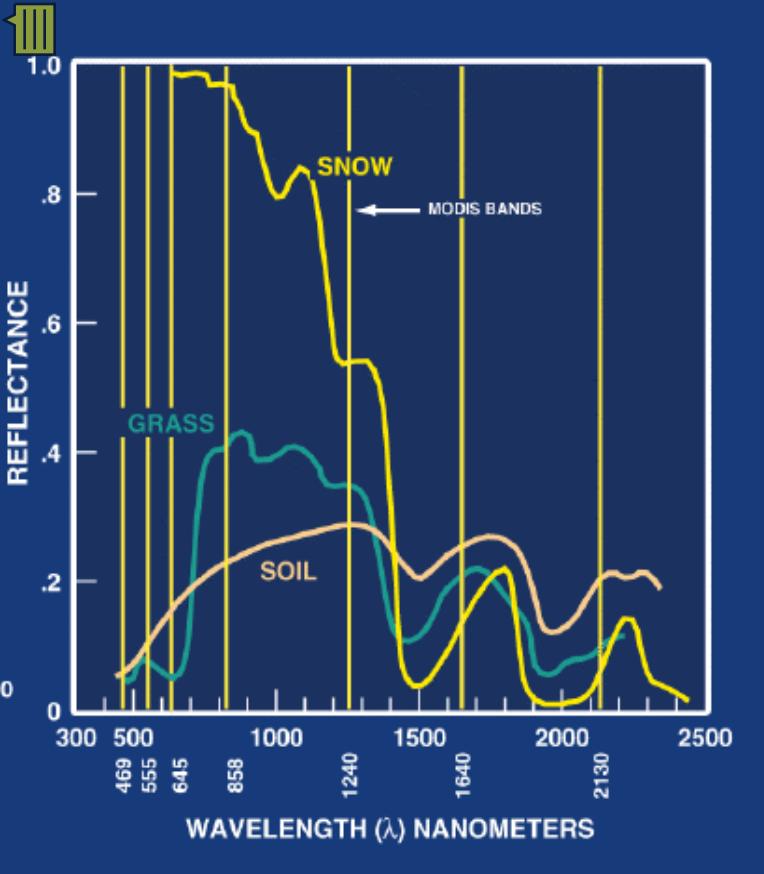


Pesquisando com combinações multi-espectrais

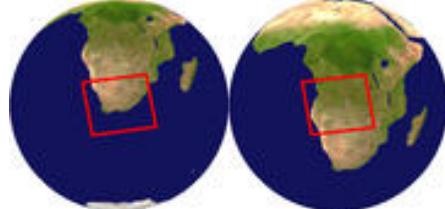
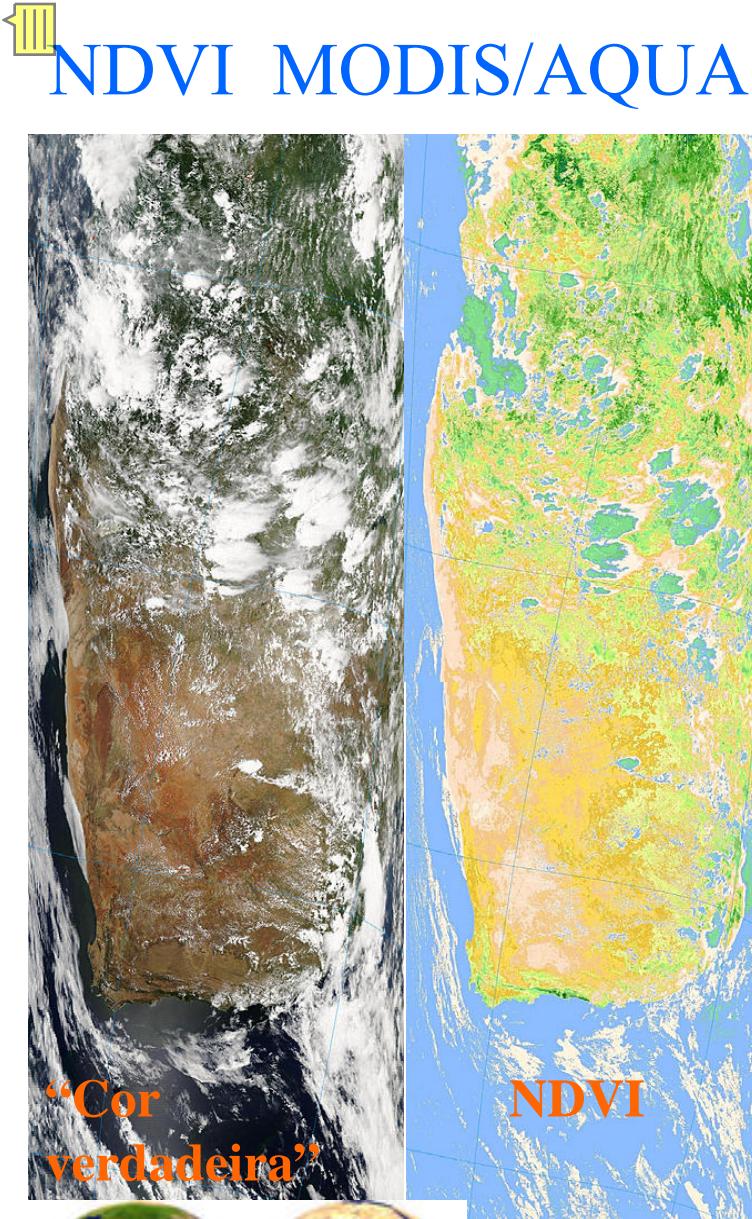
- O comportamento espectral (*spectral signature*) das superfícies permite identificar comportamentos espaciais e temporais
- O método é aproveitar que duas ou mais partes do espectro são diferentes para refletância ou absorção

Exemplo: reflexão da grama e coberturas vegetais em geral (linhas verticais na figura: posição de canais MODIS)

- Se em $0.85 \mu\text{m}$ a refletância é bastante maior do que em $0.65 \mu\text{m}$, então a superfície poderia ser vegetação;
- Se os canais em $0.65 \mu\text{m}$ e $0.85 \mu\text{m}$ vêem a mesma refletância, então a superfície não é vegetal. Exemplos: neve; água

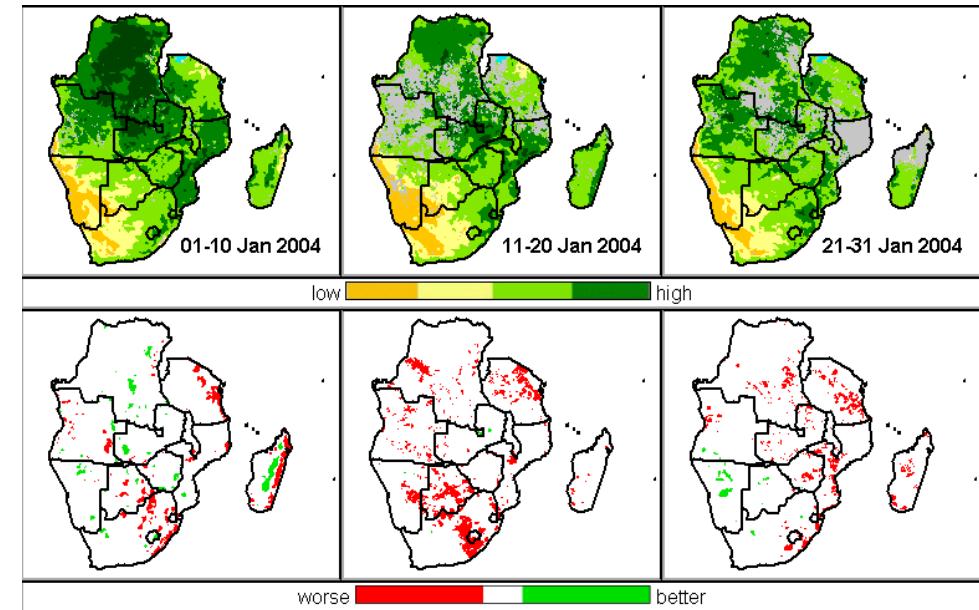


- Índice de Vegetação por Diferenças Normalizadas:
$$\text{NDVI} = (R_{0.85} - R_{0.65}) / (R_{0.85} + R_{0.65})$$
- Se $\text{NDVI} > 0.5$ tem-se vegetação;
- verde**: vegetação; **pardo**: escassa ou nenhuma vegetação



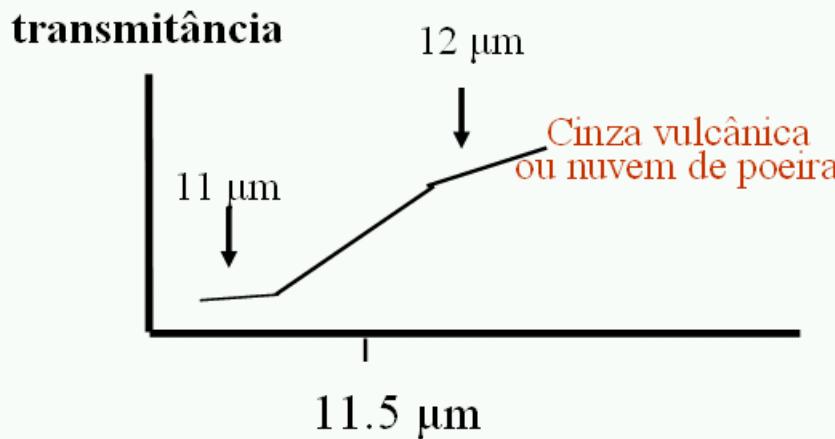
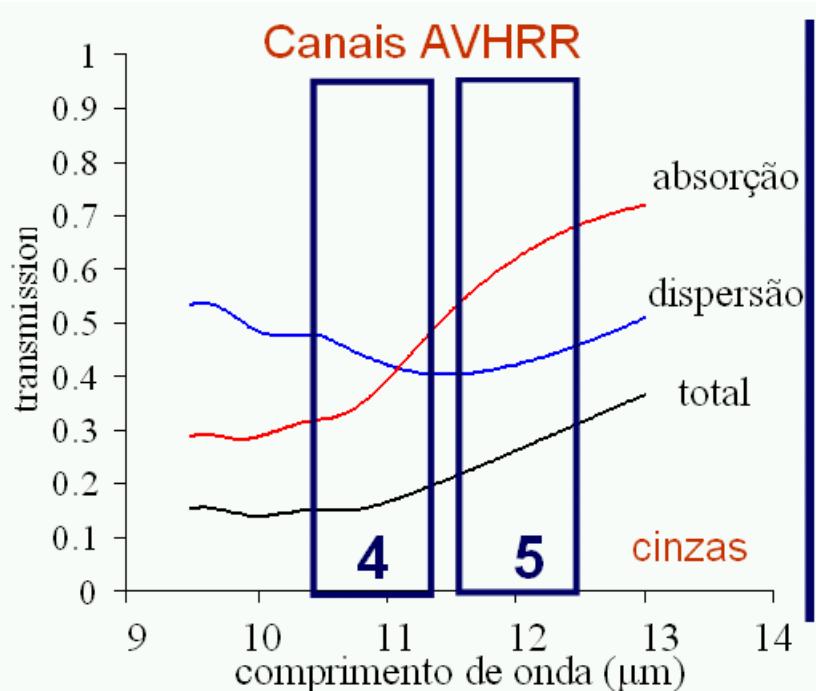
Resoluções de canais:

- **AVHRR** 1 km
- **MODIS** 250 (500) metros
- **SPOT, LANDSAT** 10-30 m



NDVI construído com base em 10 dias de imagens para fins de mascaramento adequado de nuvens.
Abaixo: diferença com o decêndio anterior.

As variações entre decêndios indicam evolução do estado da vegetação para **melhor** ou **pior**.



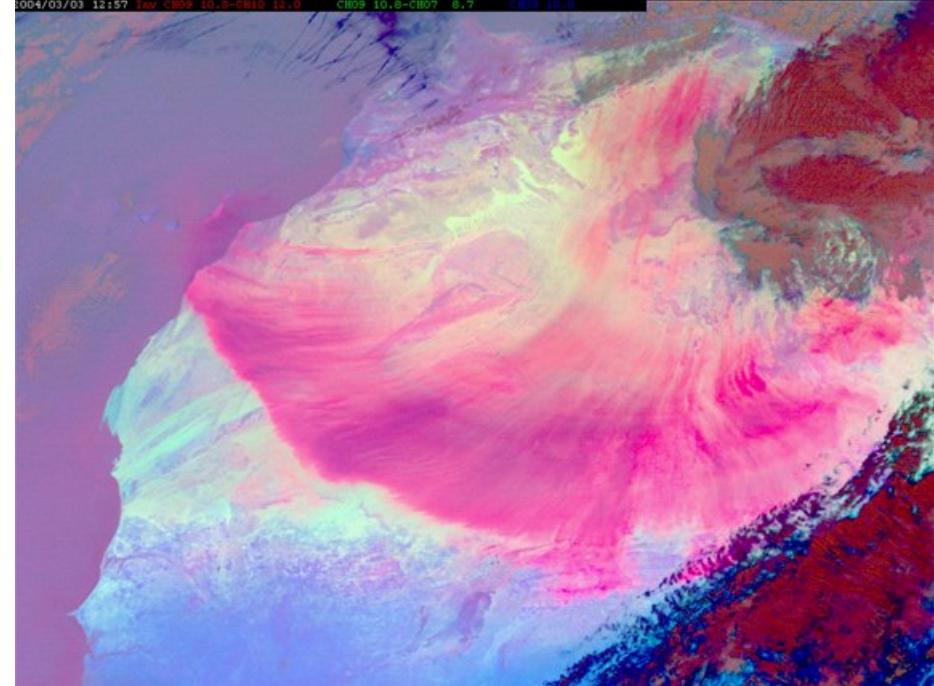
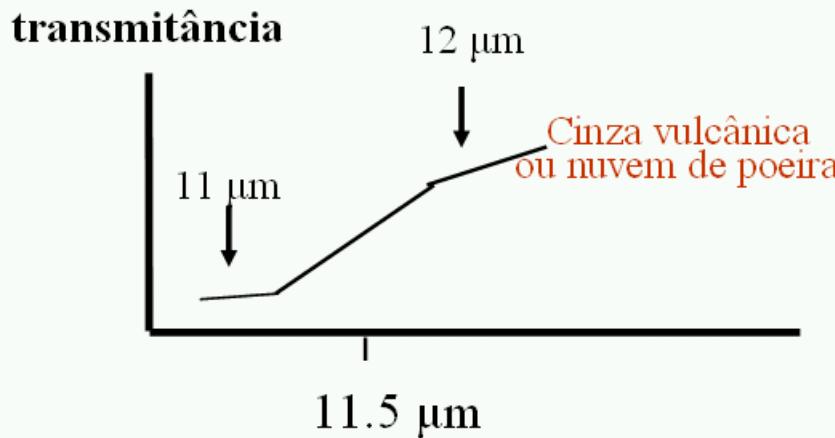
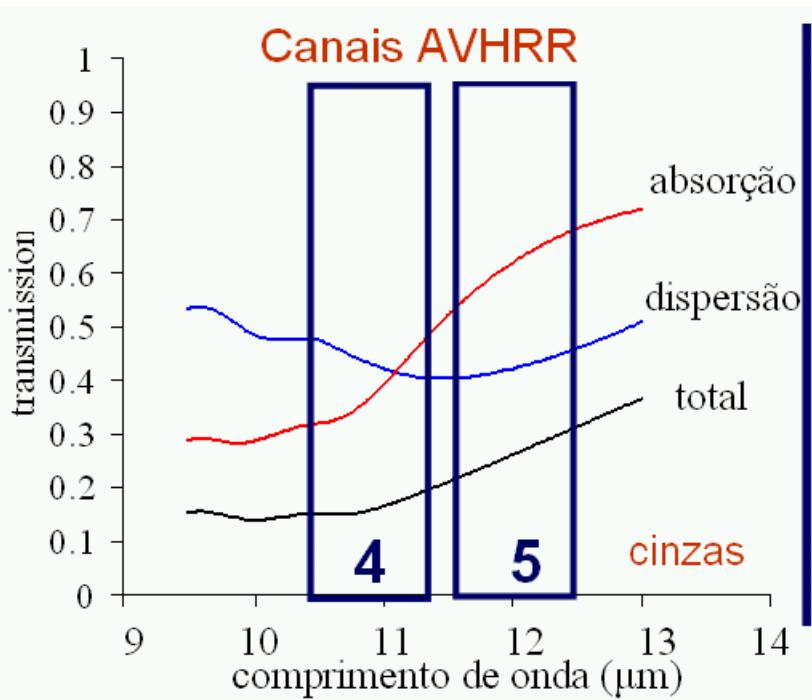
Pesquisando combinações multi-espectrais no infravermelho

Dependendo do fenômeno (na superfície; na atmosfera):

observe a parte do espectro onde muda a absorção com o comprimento de onda

Exemplo: transmissão através de nuvem de poeira ou cinzas vulcânicas

- Se o canal em 12 μm vê TB bastante maior que em 11 μm , então a atmosfera talvez contenha poeira ou cinzas vulcânicas;
- Se em 11 μm vê TB igual ou maior que em 12 μm , a atmosfera não contém esses componentes.

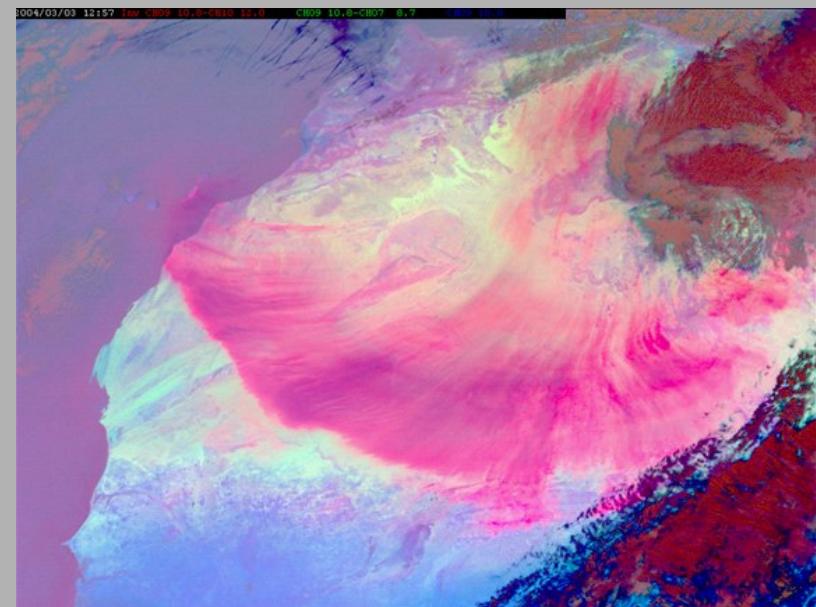


Exemplo

Dados MSG-SEVIRI: tormenta de poeira extensa sobre África

- $\text{TB}(12 \mu\text{m}) \gg \text{TB}(11 \mu\text{m})$: pode conter poeira ou cinzas vulcânicas;
- $\text{TB}(11) \approx \text{TB}(12)$: não contém nuvem de poeira ou de cinza vulcânica.

- Filme Meteosat
tormenta sobre africa
(poeira cor-de-rosa)



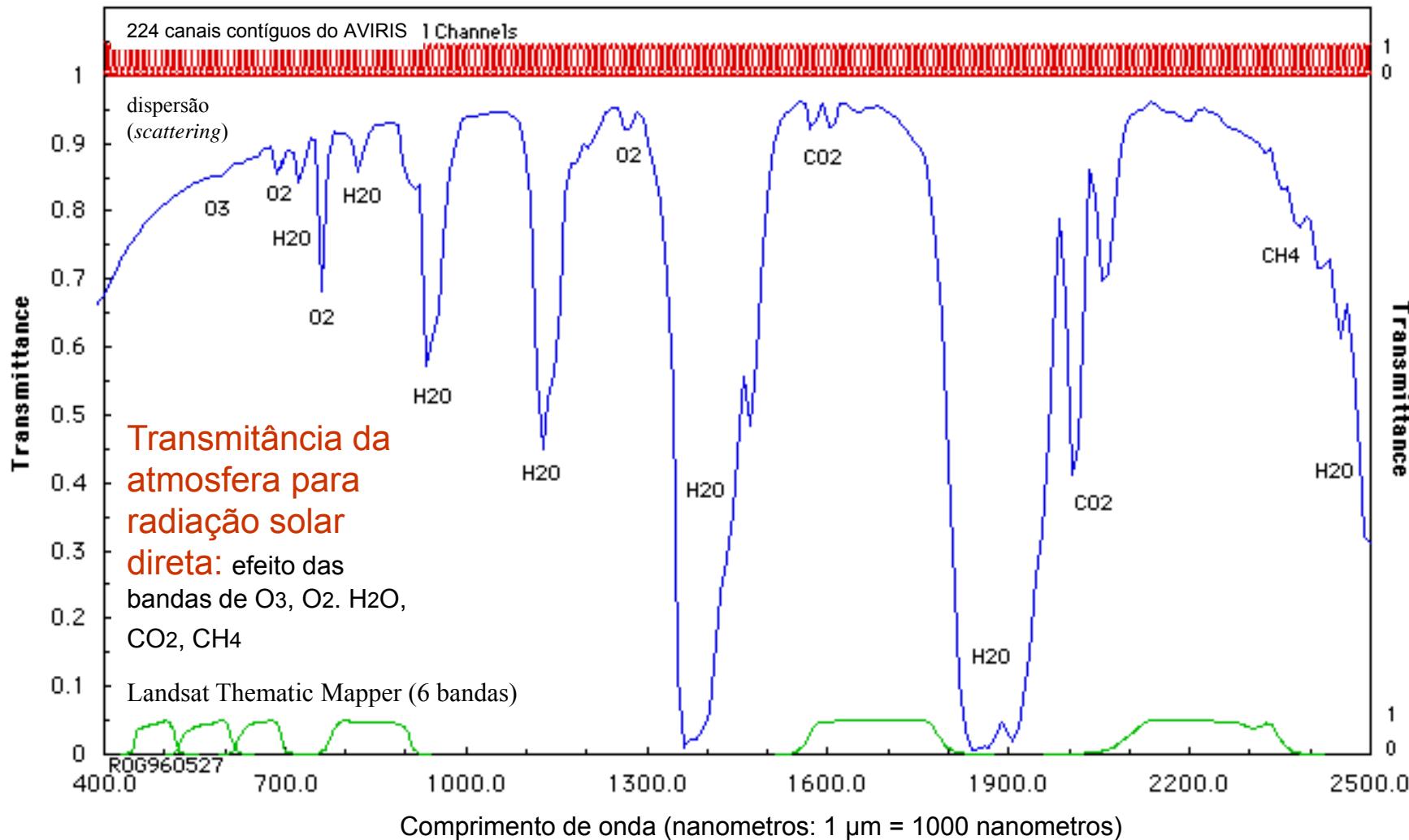
Informação espectral

- Agora observemos com mais detalhe nas regiões espectrais do visível, infravermelho próximo e infravermelho termal.
- Nosso objetivo: obter uma idéia melhor de suas características especiais e de como essa informação pode ser utilizada para analisar o solo, o oceano e a atmosfera.



Radiação solar: visível e infravermelho próximo

esta radiação é transmitida (atmosfera) e refletida (superfície)





Informação espectral do AVIRIS: cena mostrando nuvem, fumaça e áreas com queimadas ativas

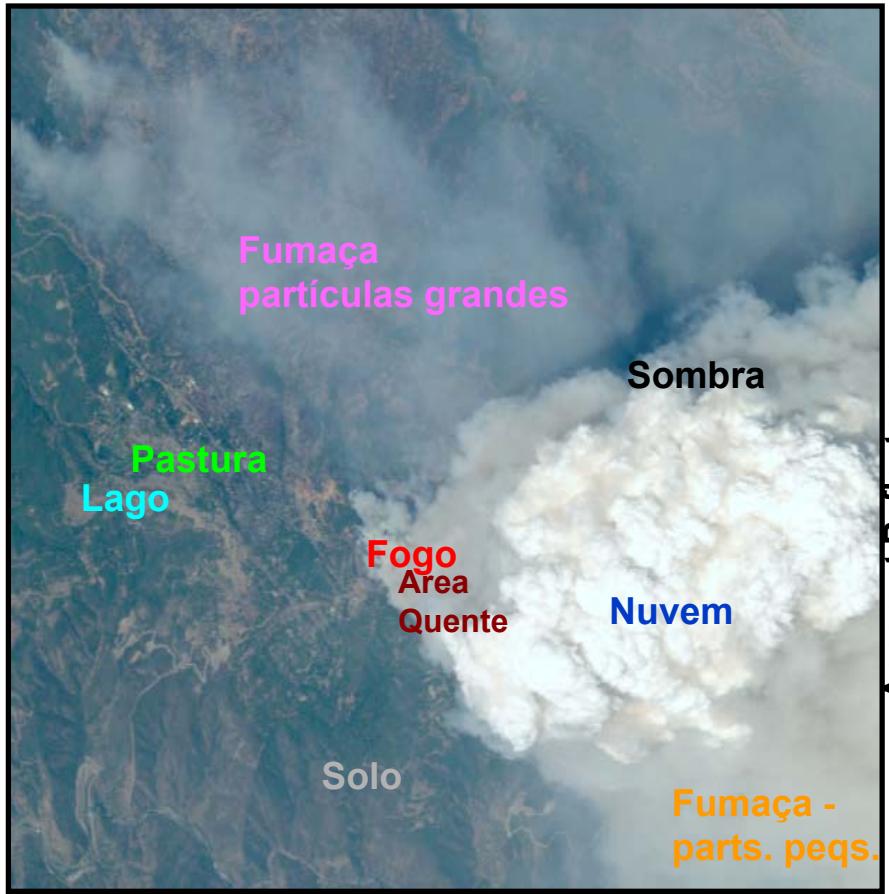
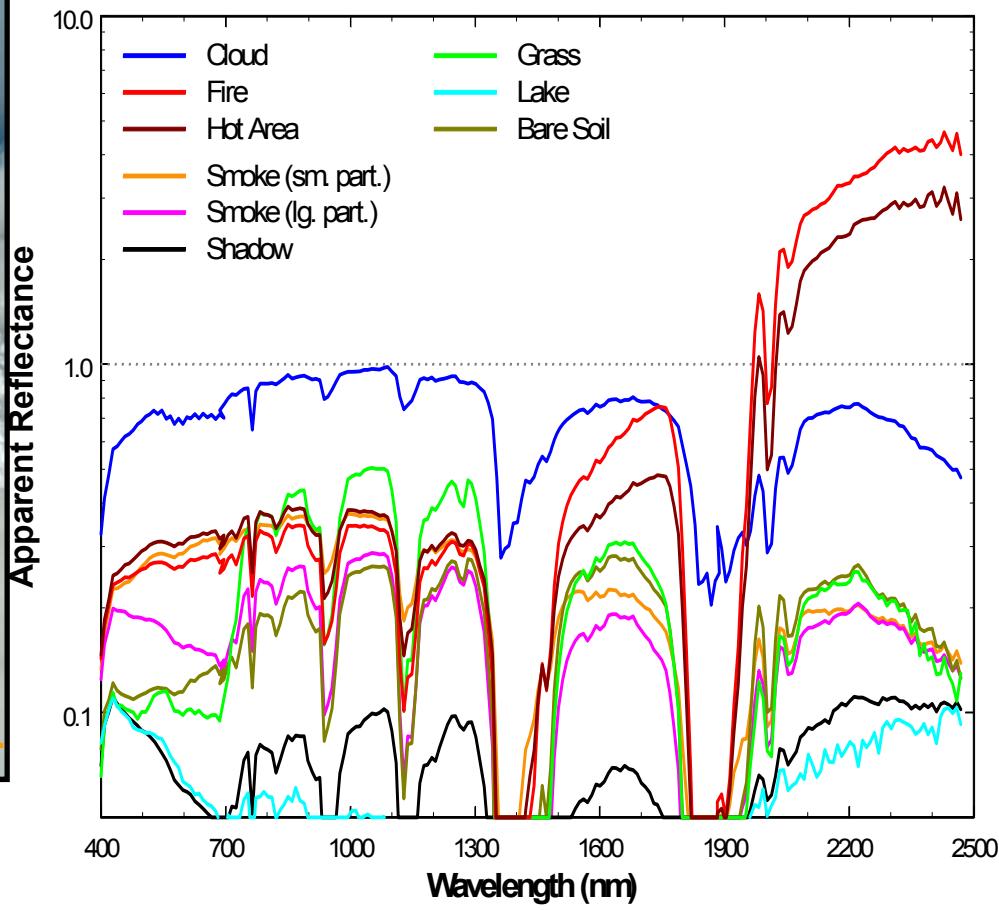
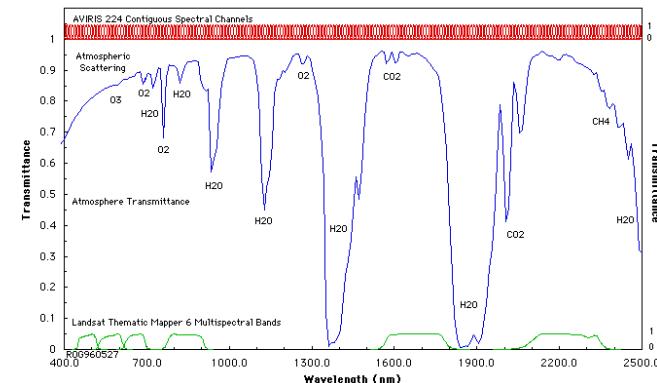


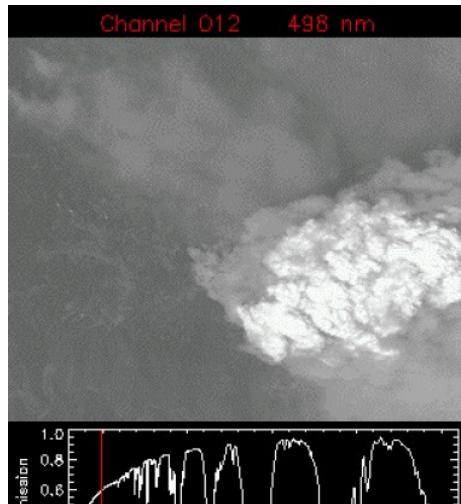
Imagen AVIRIS - Linden Califórnia
20 agosto 1992

224 bandas espetrais: 0.4 - 2.5 μm
pixel: 20m x 20m cena: 10km x 10km

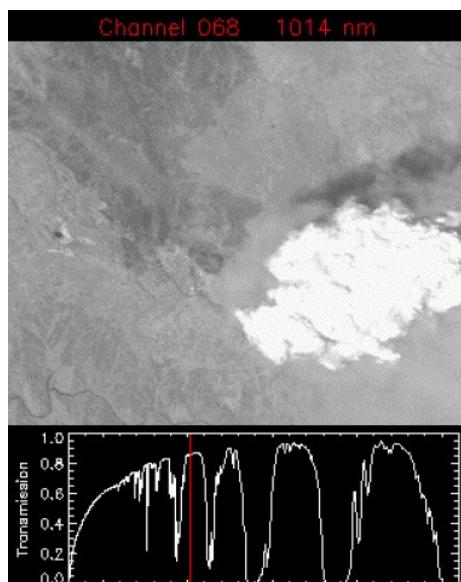


Assinatura espectral de vários tipos de pixel

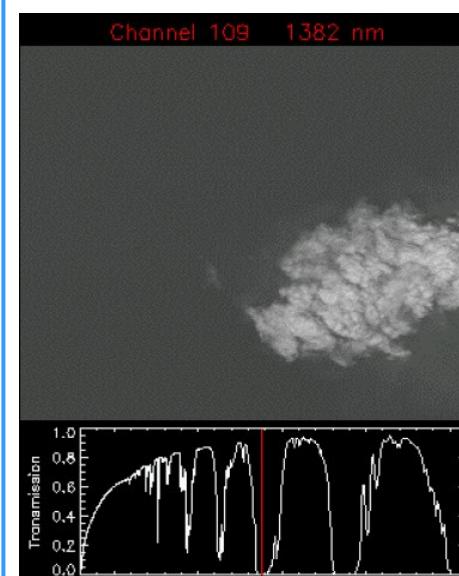
Valor potencial das observações com alta resolução espectral: AVIRIS (224 canais entre 400 e 2500 nm).



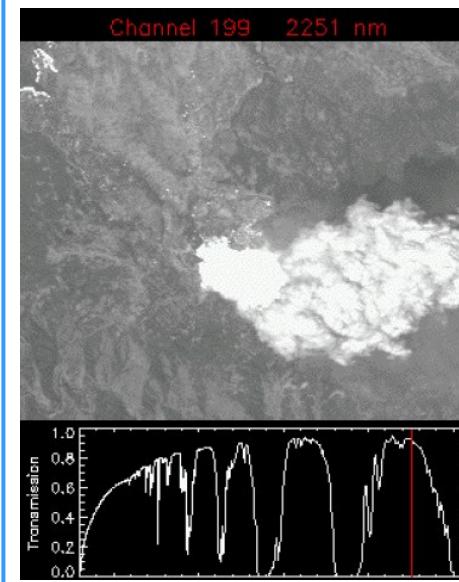
Canal: 498 nm
 Começando em 400 nm, as feições da imagem não são claras devido à dispersão (*scattering*) principalmente. Este efeito diminui com o comprimento de onda.



Canal: 1014 nm
 Em 1000 nm a dispersão Rayleigh é desprezível. Não há bandas de absorção: são vistos detalhes do solo (lago, rio, pasto). Fumaça de partículas pequenas ainda visível; a das grandes não é mais visível)



Canal: 1382 nm
 Banda de absorção de vapor d'água. Para qualquer refletância dos objetos, o vapor d'água absorve fortemente o sinal que chega ao sensor.

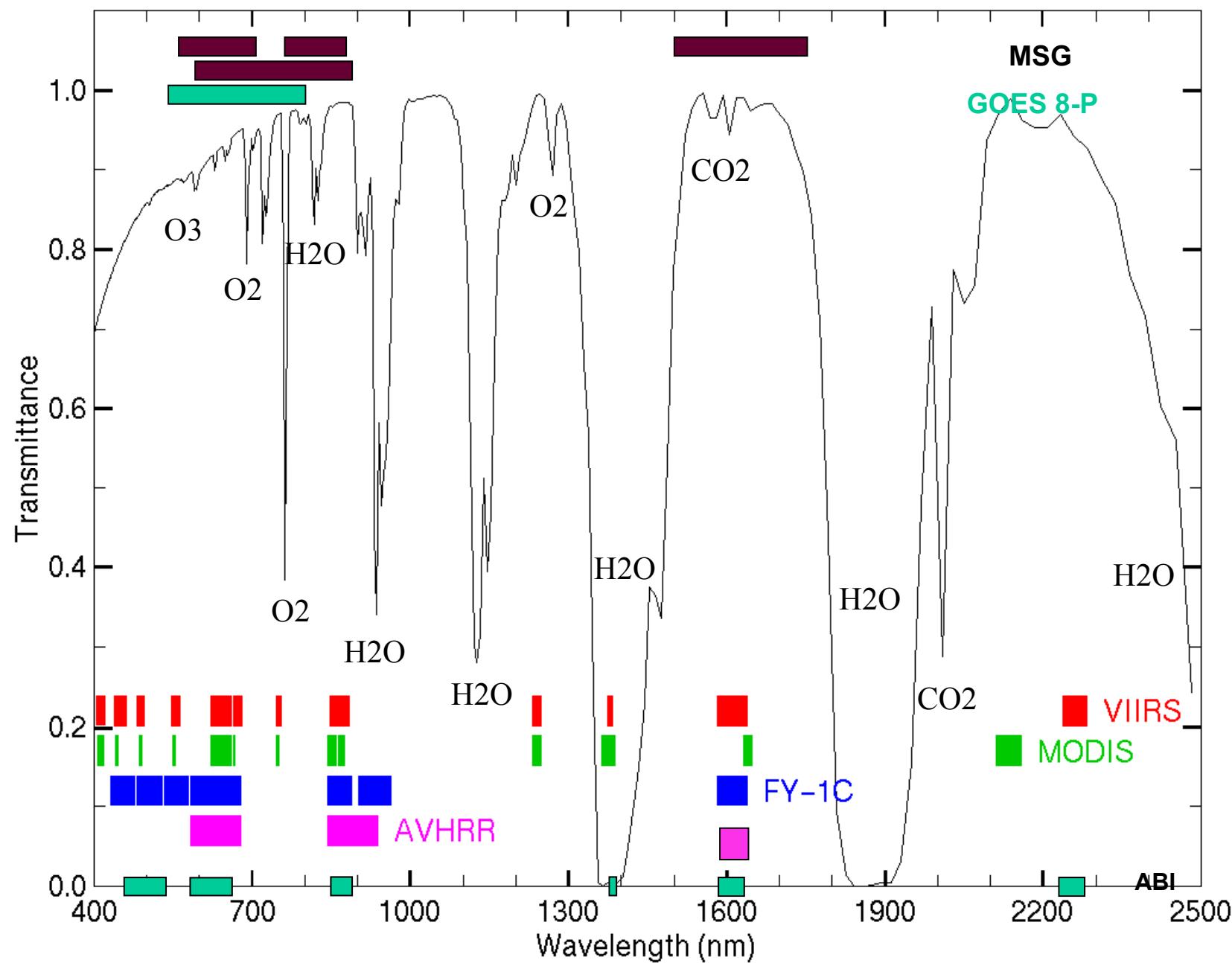


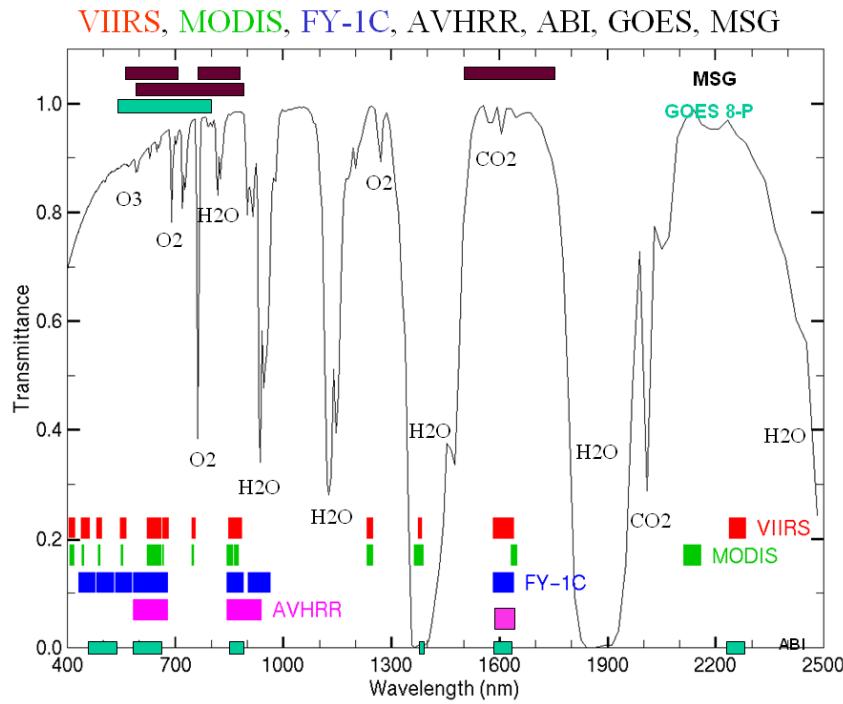
Canal 2251 nm
 Boa transmitância atmosférica. O sinal de fumaça não é visível, mas agora percebe-se uma área com focos ativos de queimada (mais brilhante)

Aqui vem sequencia de canais AVIRIS



VIIRS, MODIS, FY-1C, AVHRR, ABI, GOES, MSG





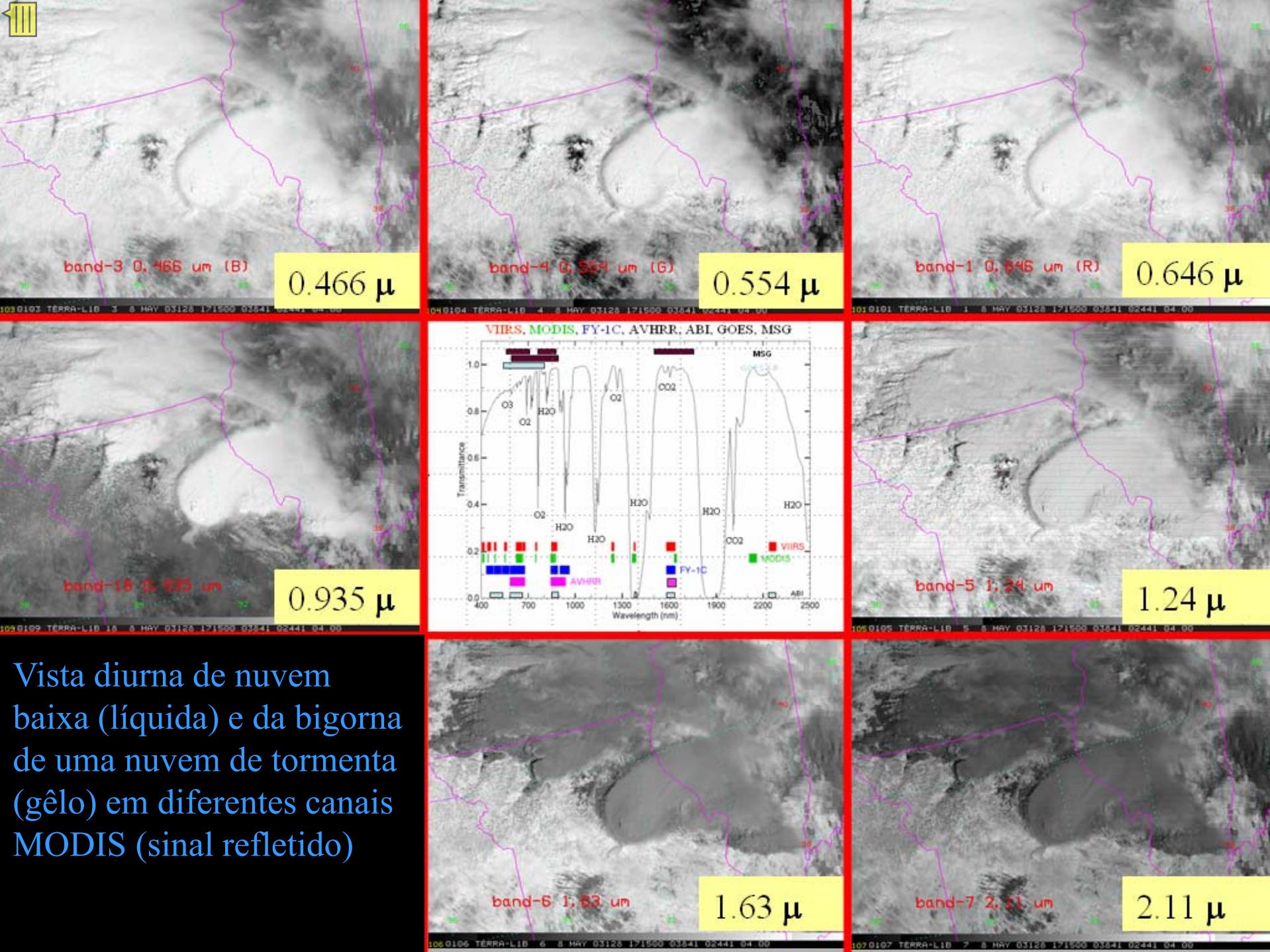
Podemos perguntar:

“por que essa variedade de posição espectral e largura dos imageadores de satélites?”

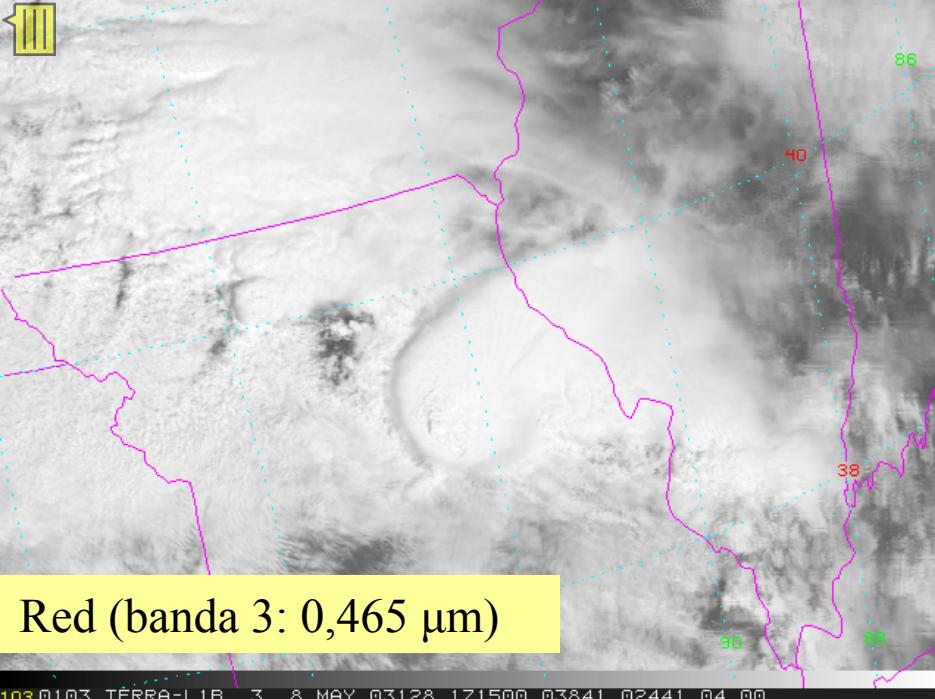
As respostas são complexas, mas basicamente se remetem às questões já mencionadas na Lição A, e especificamente ao compromisso entre:

- a resolução espectral desejada,
- a praticidade da resolução espacial, e
- uma relação sinal/ruído alta,

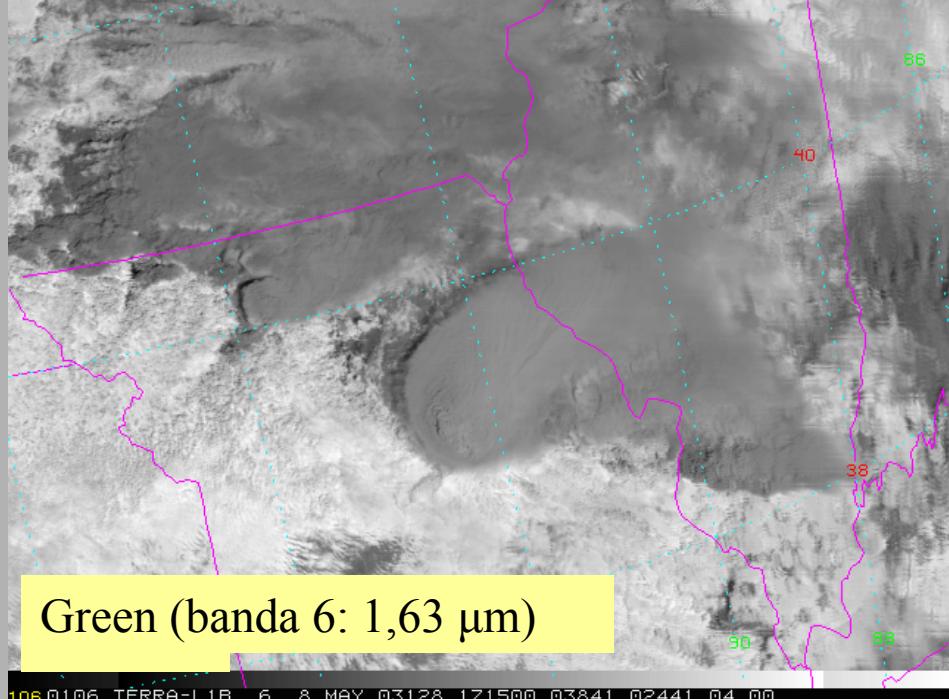
para que os dados do instrumento possam ser usados para descrever as feições de interesse no nível de acurácia desejado.



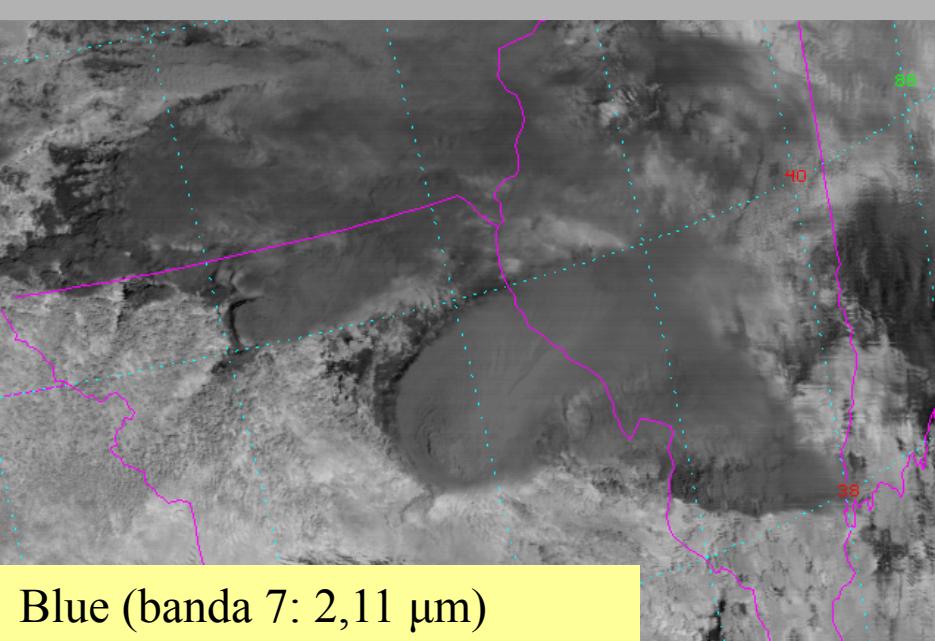
Vista diurna de nuvem baixa (líquida) e da bigorna de uma nuvem de tormenta (gêlo) em diferentes canais MODIS (sinal refletido)



103 0103 TERRA-L1B 3 8 MAY 03128 171500 03841 02441 04.00



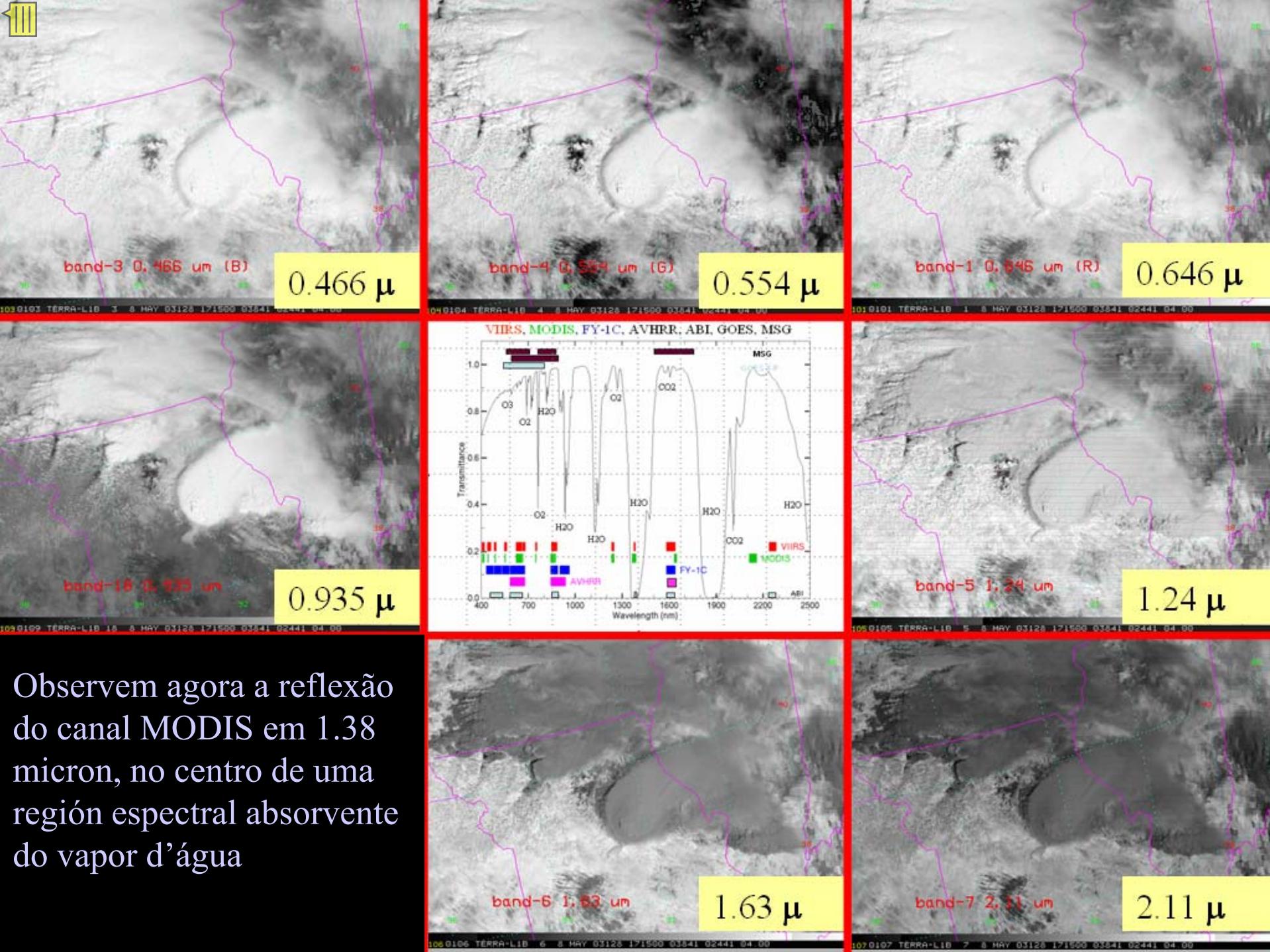
106 0106 TERRA-L1B 6 8 MAY 03128 171500 03841 02441 04.00

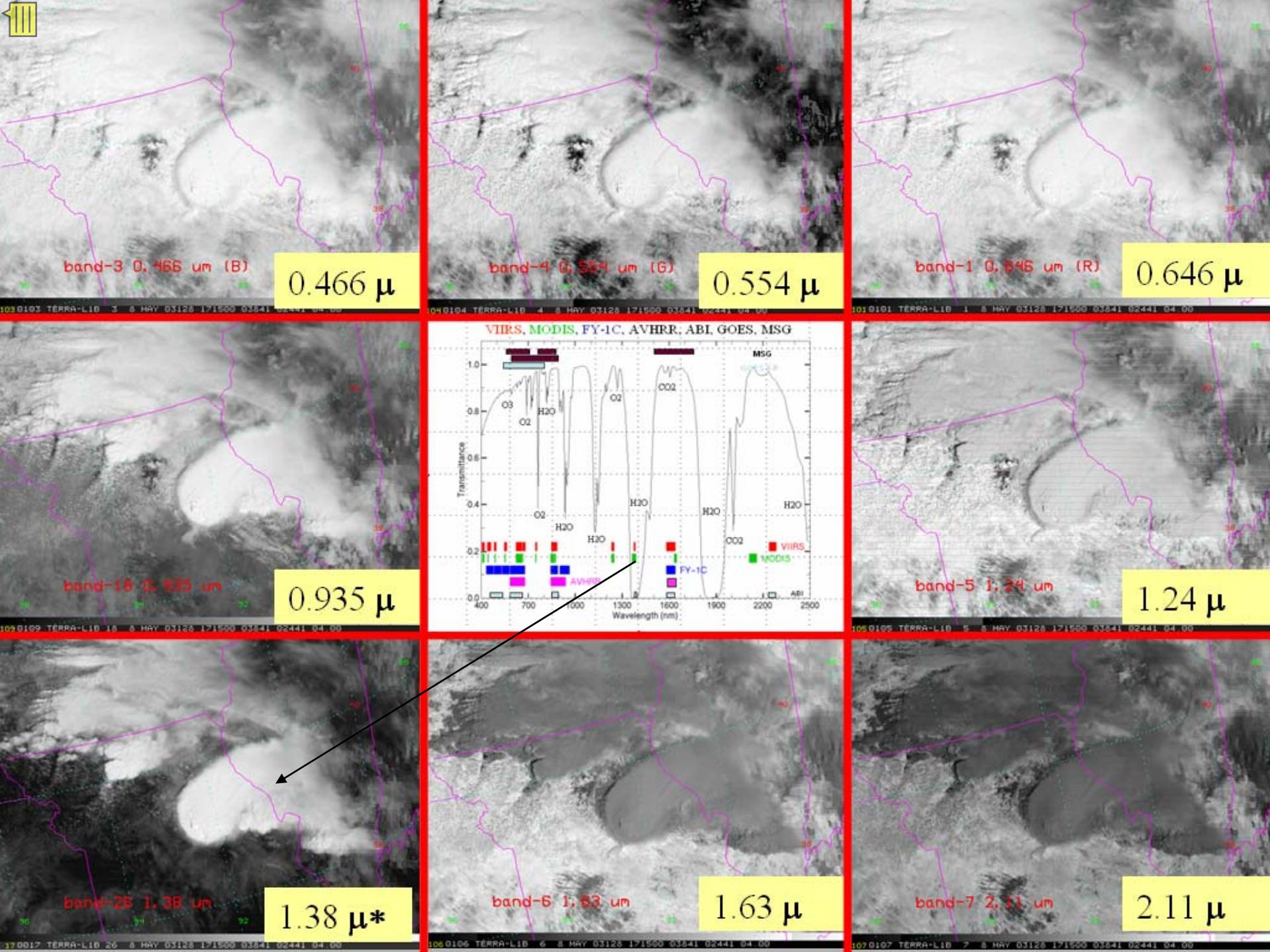


Blue (banda 7: 2,11 μm)



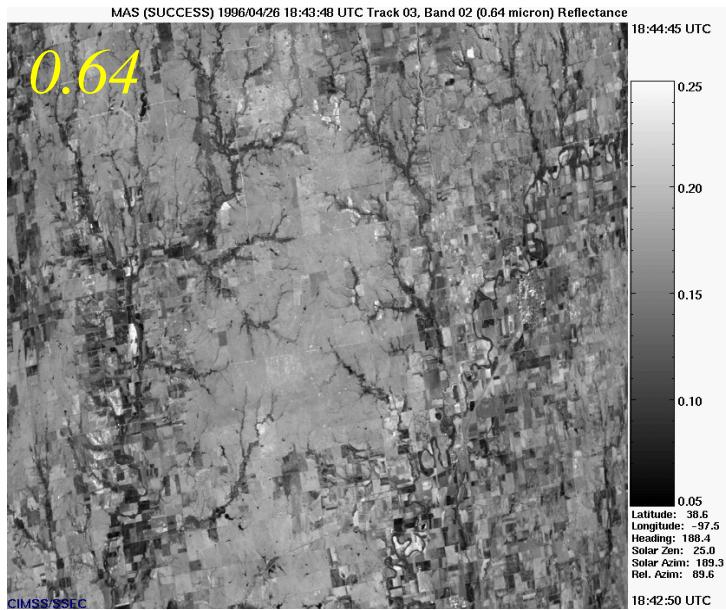
As combinações de cores estão apoiadas na interpretação do tipo de nuvem (nefanálise)



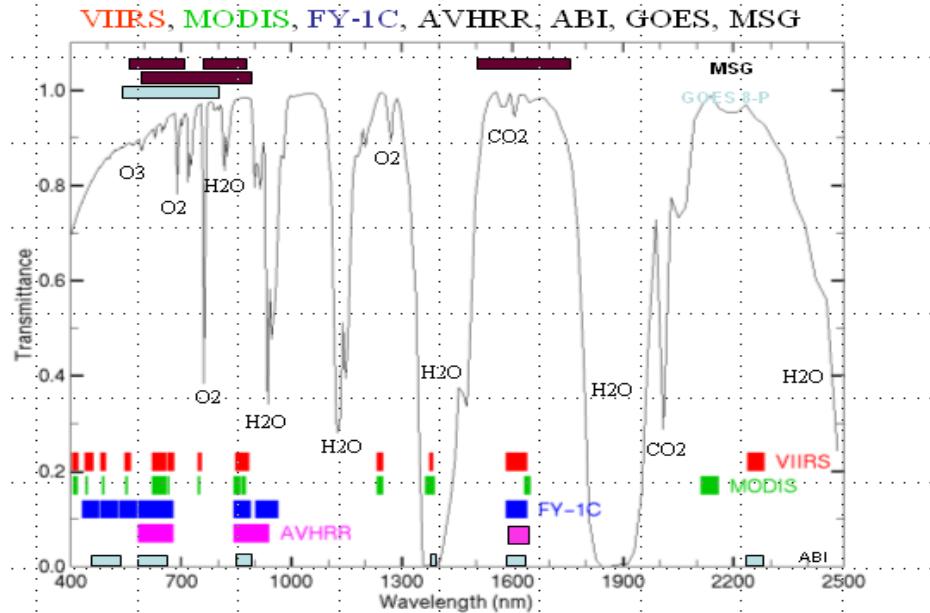
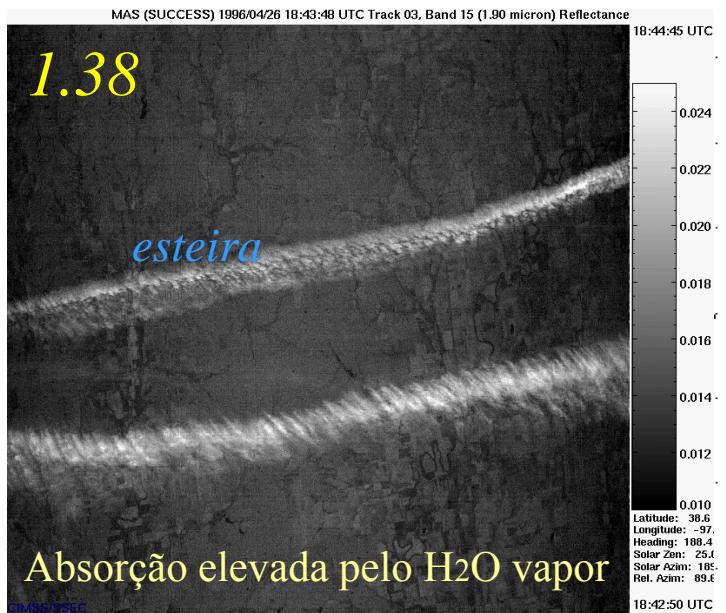




Solo vegetado em três canais do MODIS (sensor: MAS)



Vegetação: mais brilhante que no canal VIS

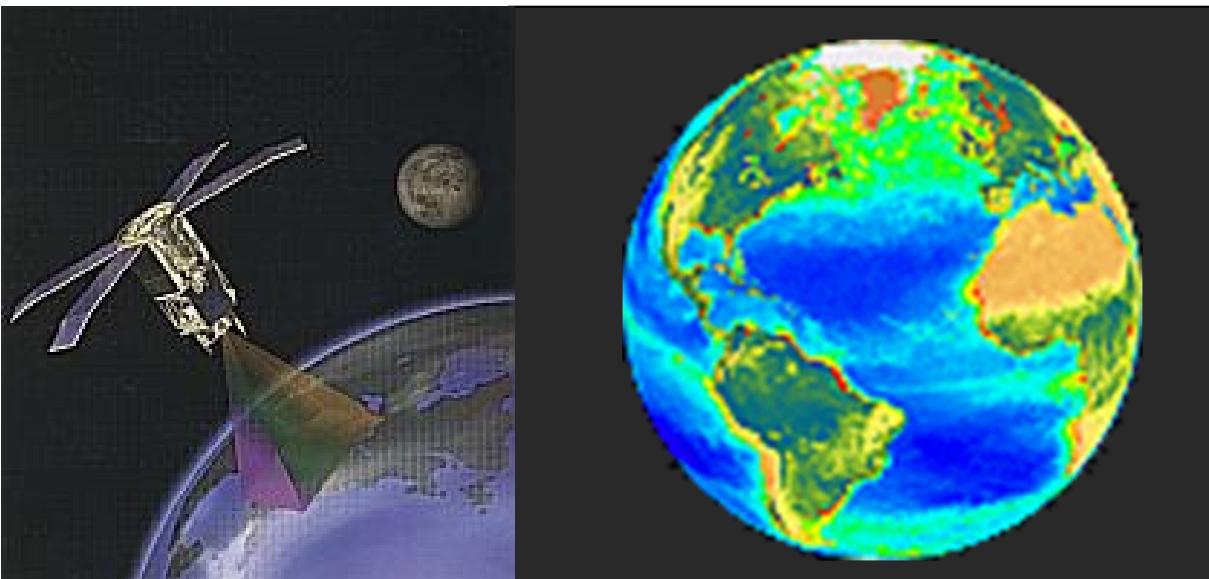




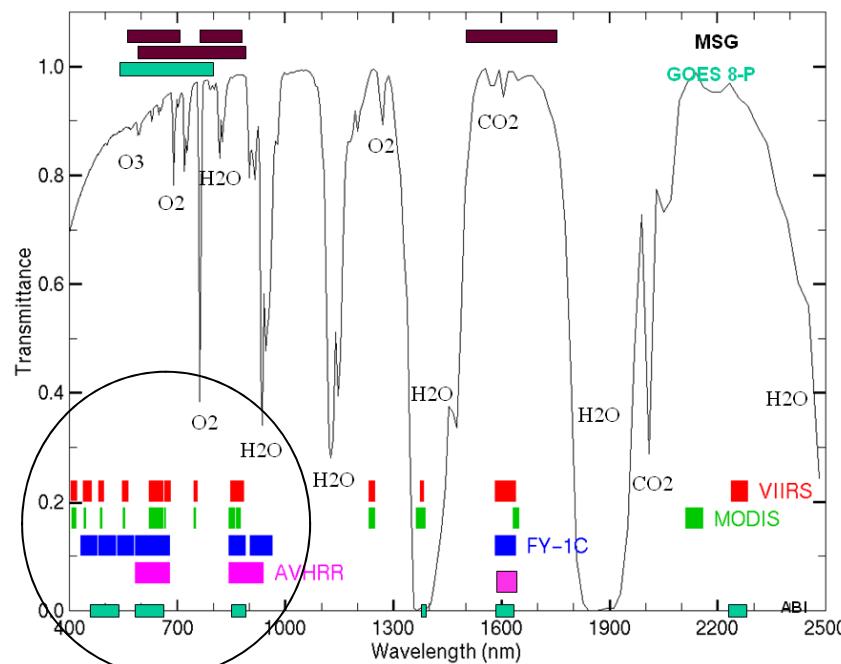
Oceano tal como ilustrada pelo SeaWifs

Bandas

402-422 nm
433-453 nm
480-500 nm
500-520 nm
545-565 nm
660-680 nm
745-785 nm
845-885 nm



VIIRS, MODIS, FY-1C, AVHRR, ABI, GOES, MSG



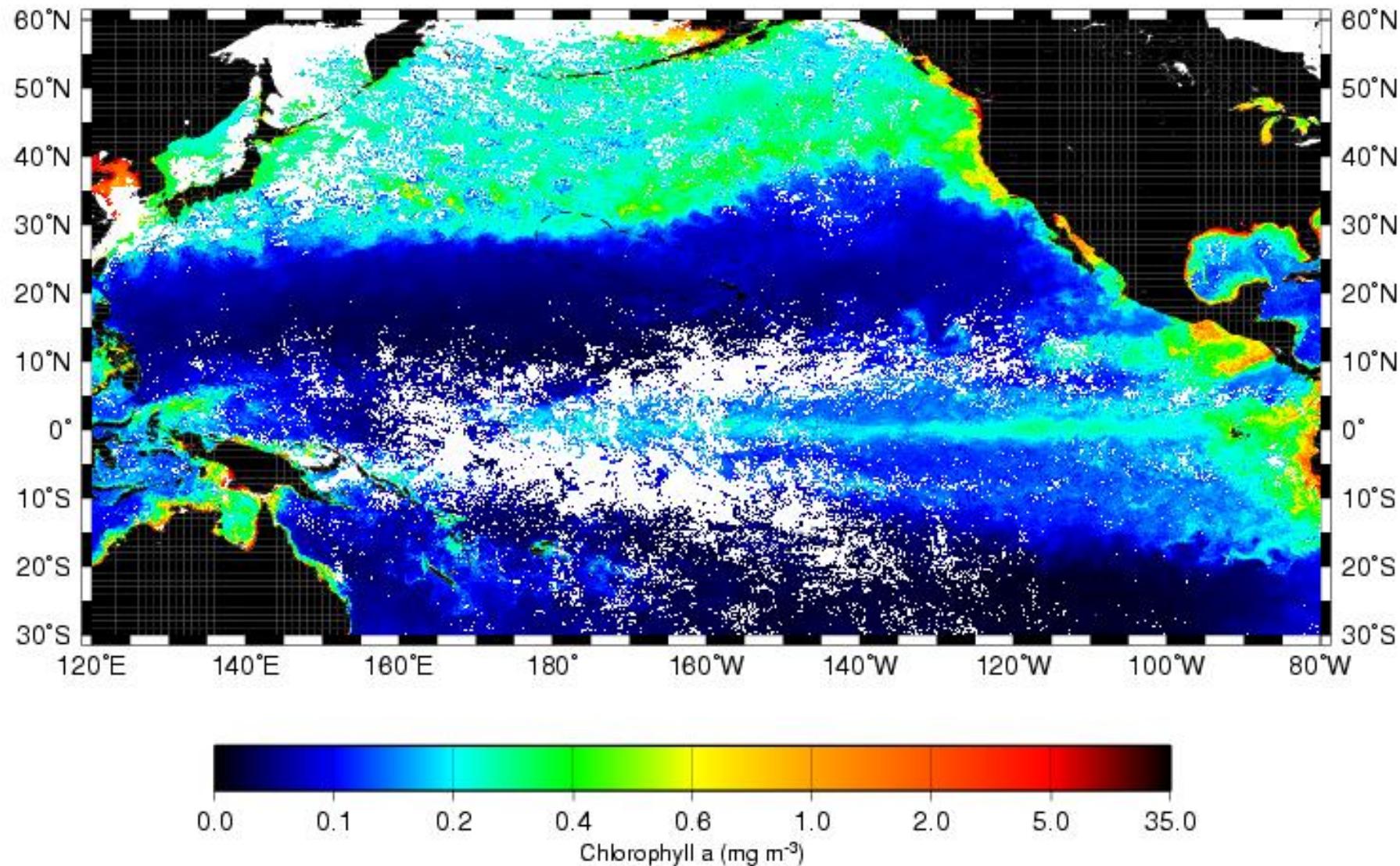
Características da Missão

Heliossíncrona 705 km
Cruza o Equador ás 12:20 PM
(descendente)

Período orbital 99 minutos
Largura de varredura 2801 km
Resolução espacial 1,1 km
Tempo de retorno 1 dia
Digitalização em 10 bits



MODIS Aqua Ocean Color 4km for February 2005



Produto MODIS Cor do Oceano (satélite Aqua), resolução espacial 4 km, mostrando a abundância de clorofila numa extensa região do Oceano Pacífico



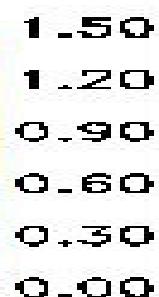
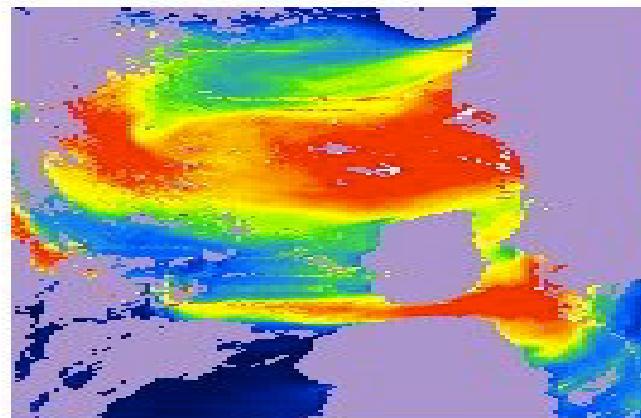
Estimativa MODIS da espessura óptica do aerossol (Oceano Atlântico)

MOD04 Ocean Ave: Feb 29, 2000 12:15

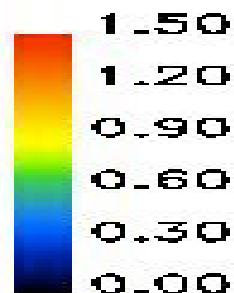
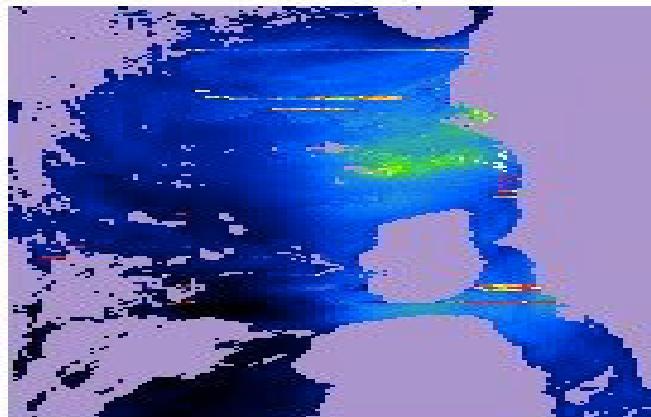
RGB Image



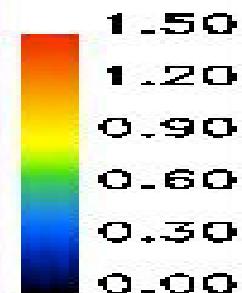
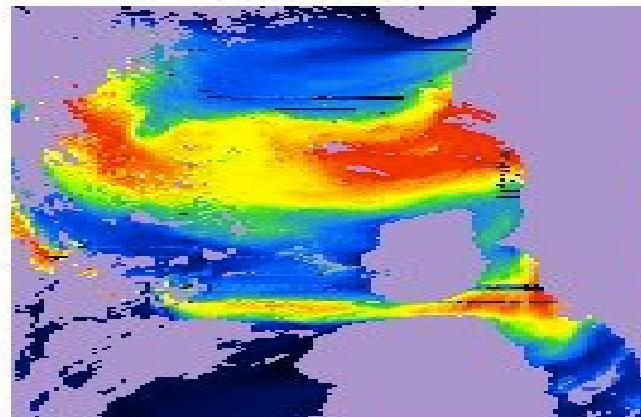
550 nm Aerosol Optical Thickness



Contribution from Small Particles



Contribution from Large Particles



Fonte: Kaufman et al.

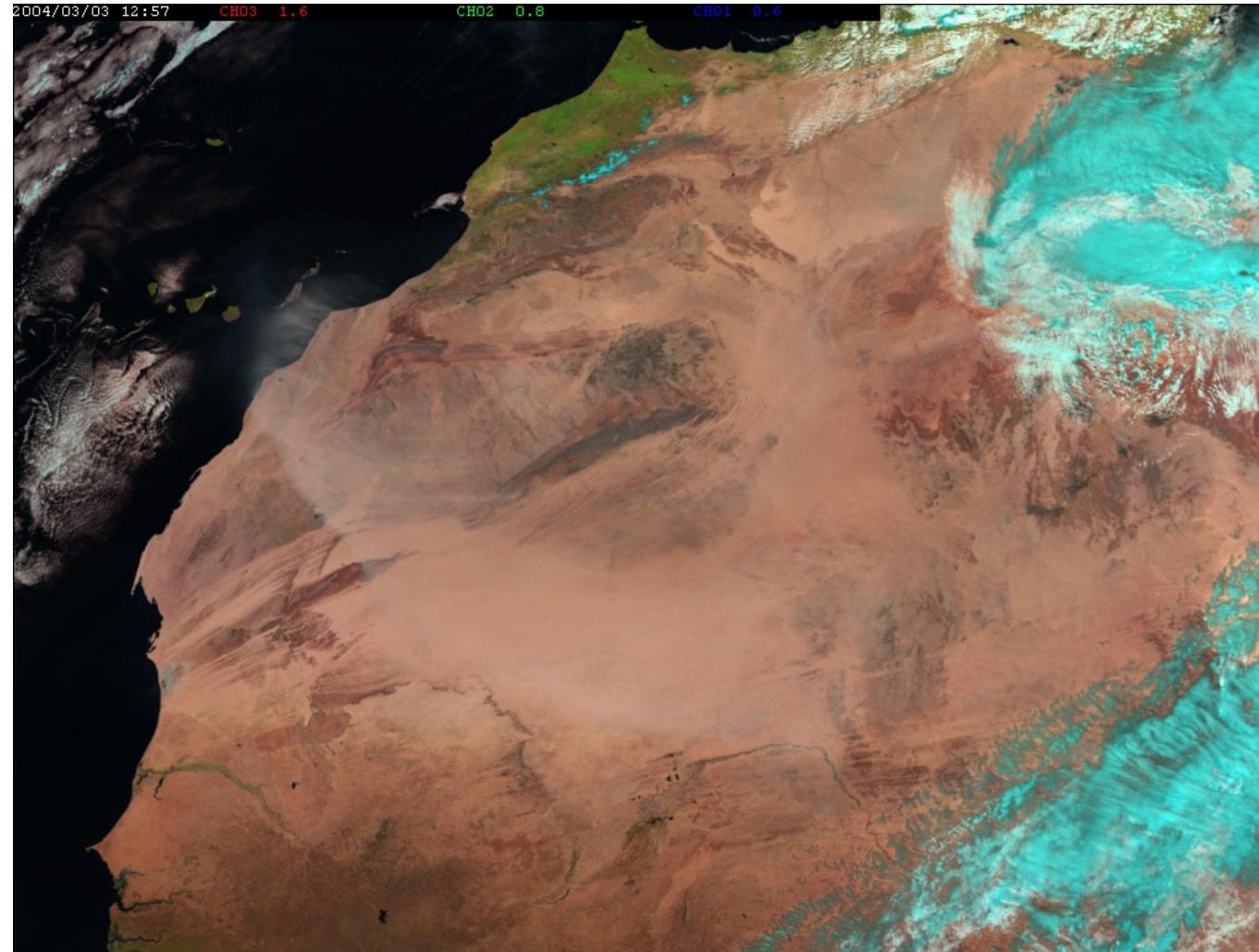


Imagen METEOSAT-8 multi-espectral diurna de uma extensa tormenta de poeira sobre África. Combinação de imagens dos canais em 0.6, 0.8 e 1.6 microns.

Veja animação a seguir.

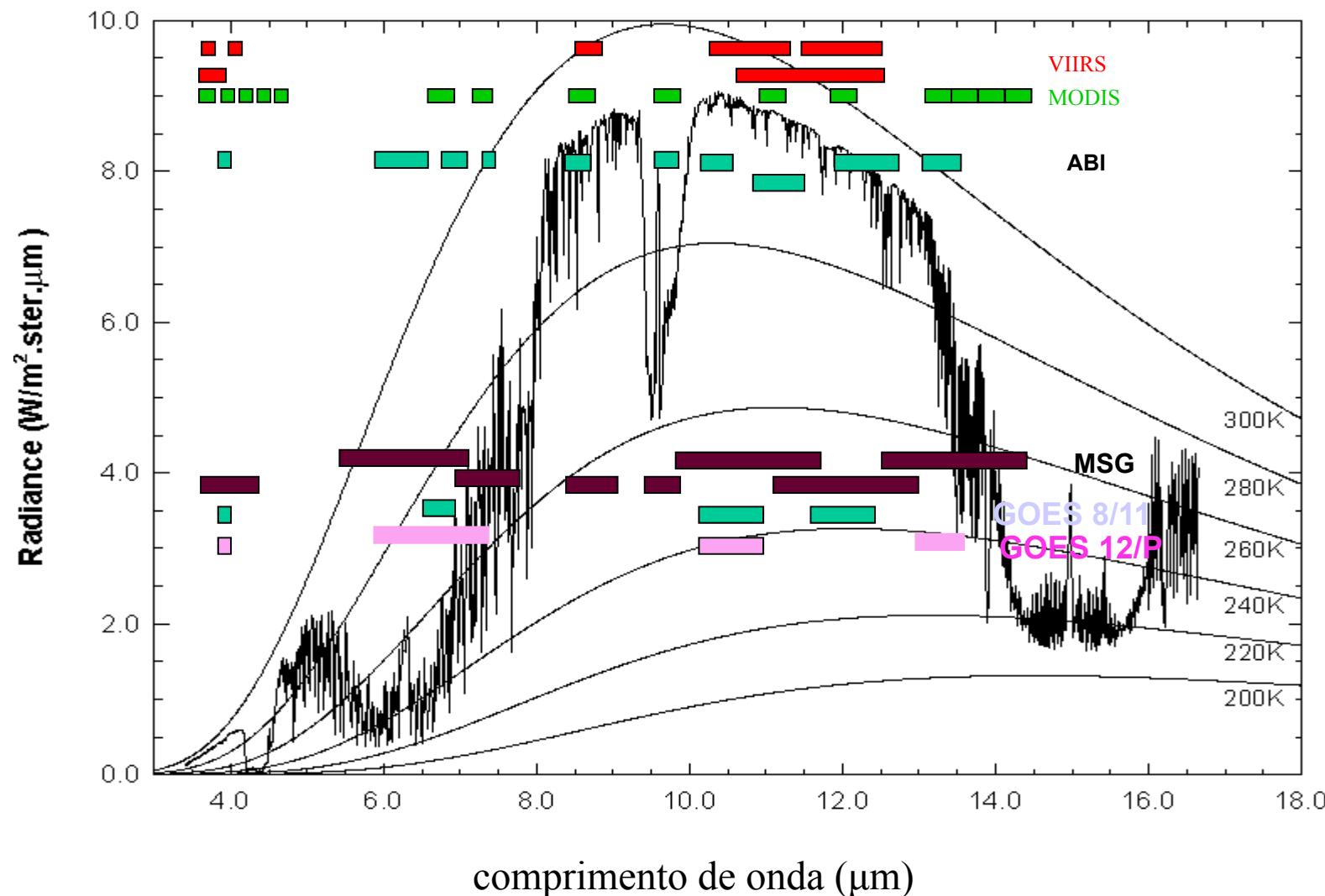
- Animação tormenta poeira África

VIS + IVP

Infravermelho termal:

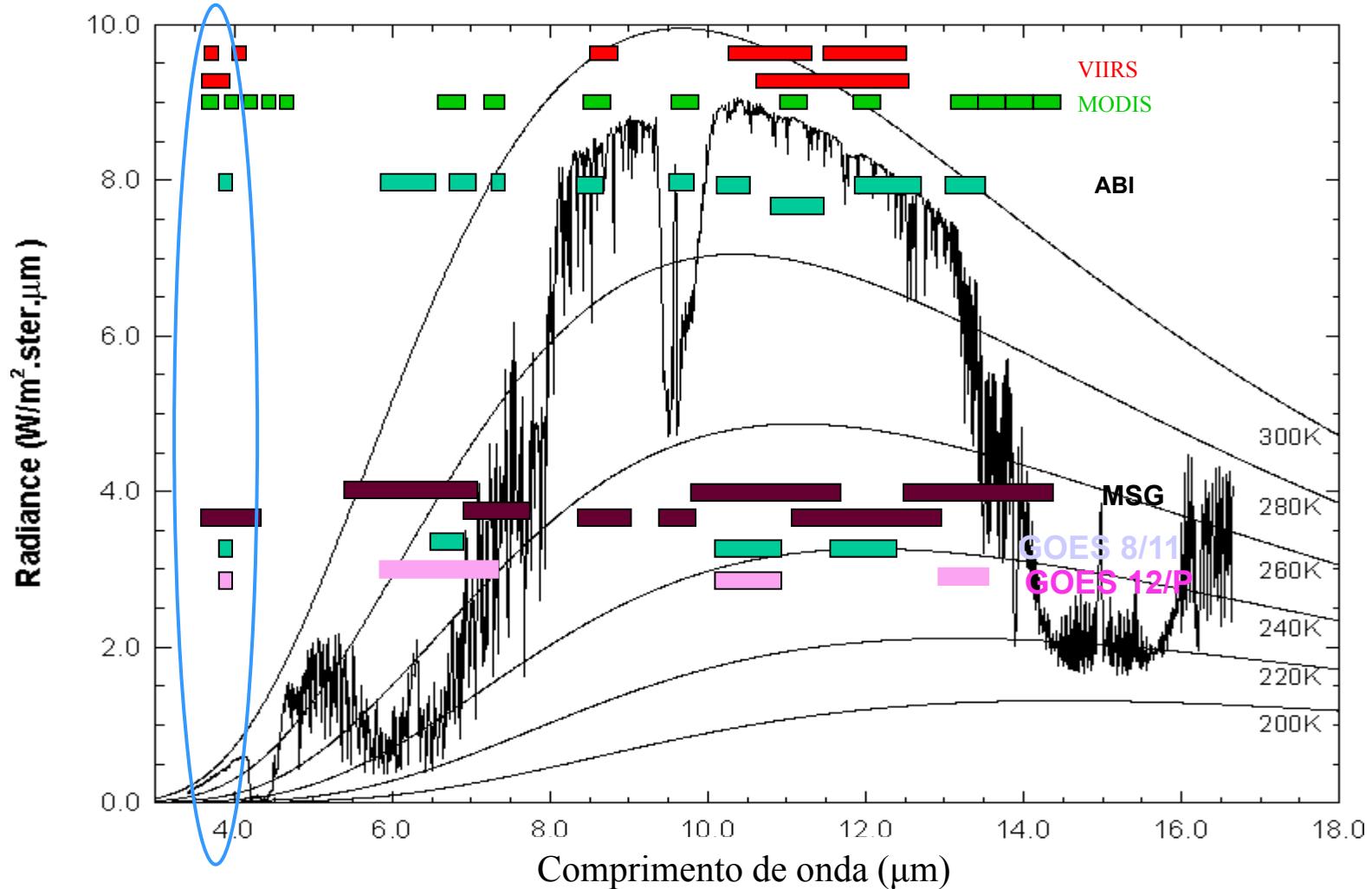
Utilidade de
algumas faixas espectrais

Radiação termal emergente da Terra, comparada com a função de Planck para diversas temperaturas





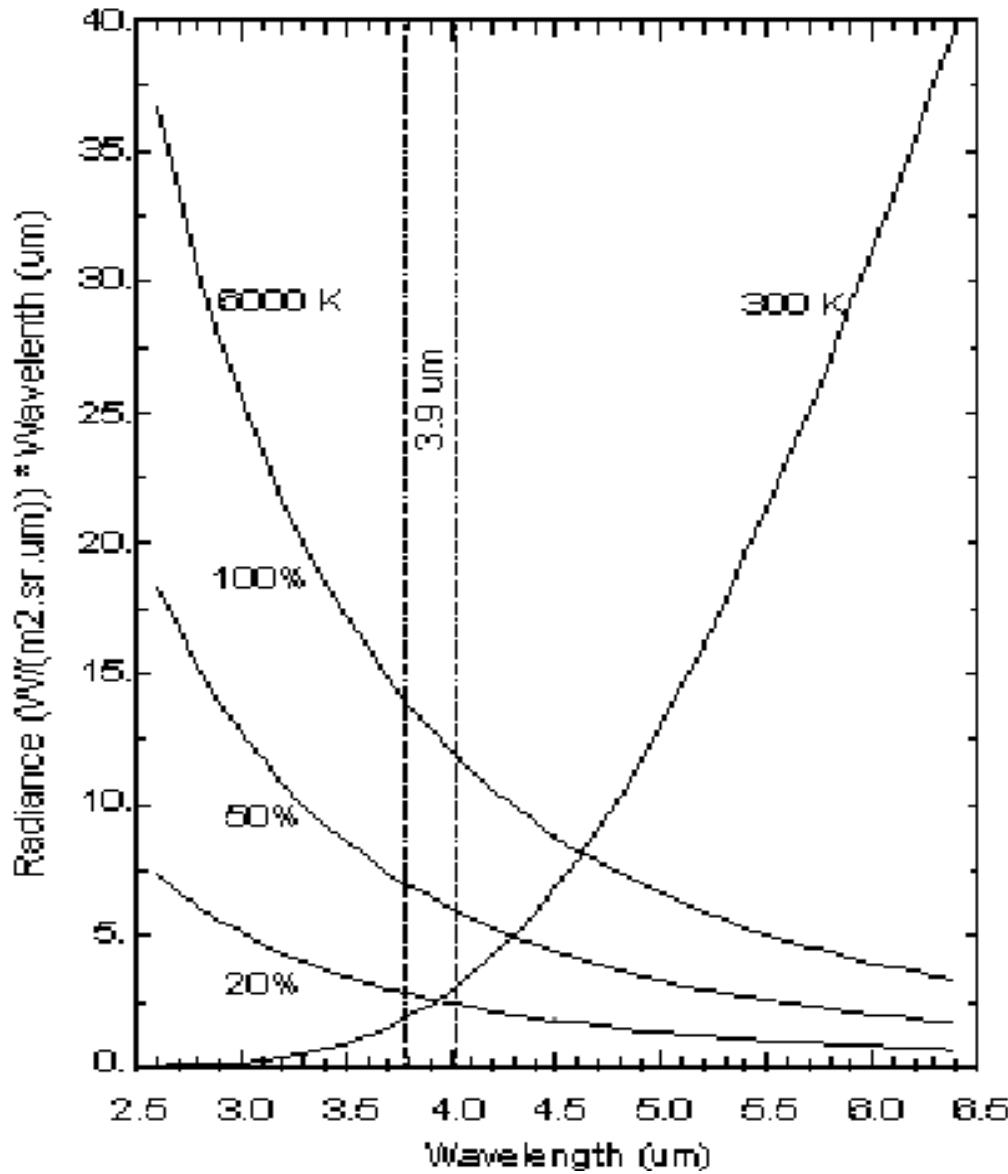
A mesma figura: observe a área próxima dos 3 e 4 μm





Aplicações das imagens em 3.7 - 3.9 μm

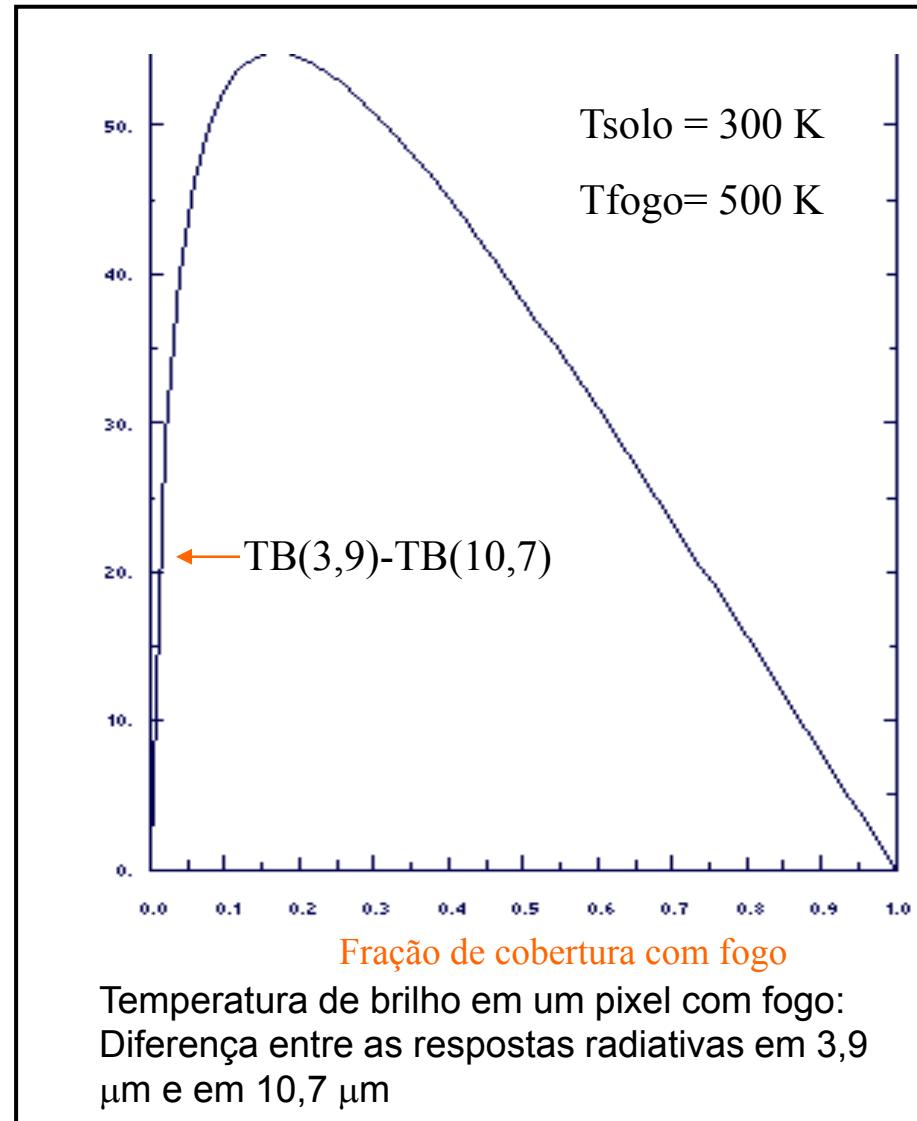
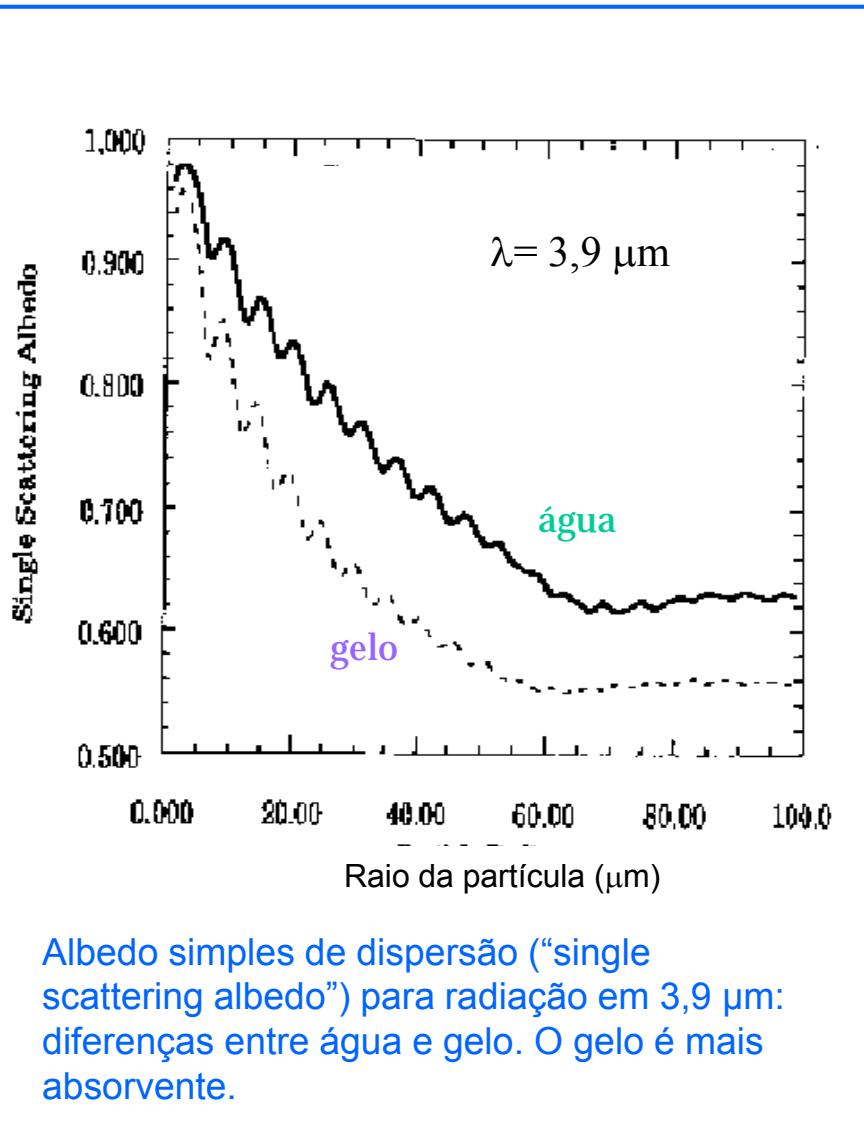
- Nevoeiros, estratos e cirrus noturnos
- Nuvens sobre-resfriadas
- Nevoeiro, nuvens líquidas e de gelo sobre neve
- Tormentas de inverno
- Temperatura do mar e continental
- Cirrus finos e nuvens multi-camada
- Ilhas de calor urbanas
- Detecção de fogos
- “Sun glint”
- Bandas de cúmulos noturnos
- Monitoramento de nuvens de poeira vulcânica

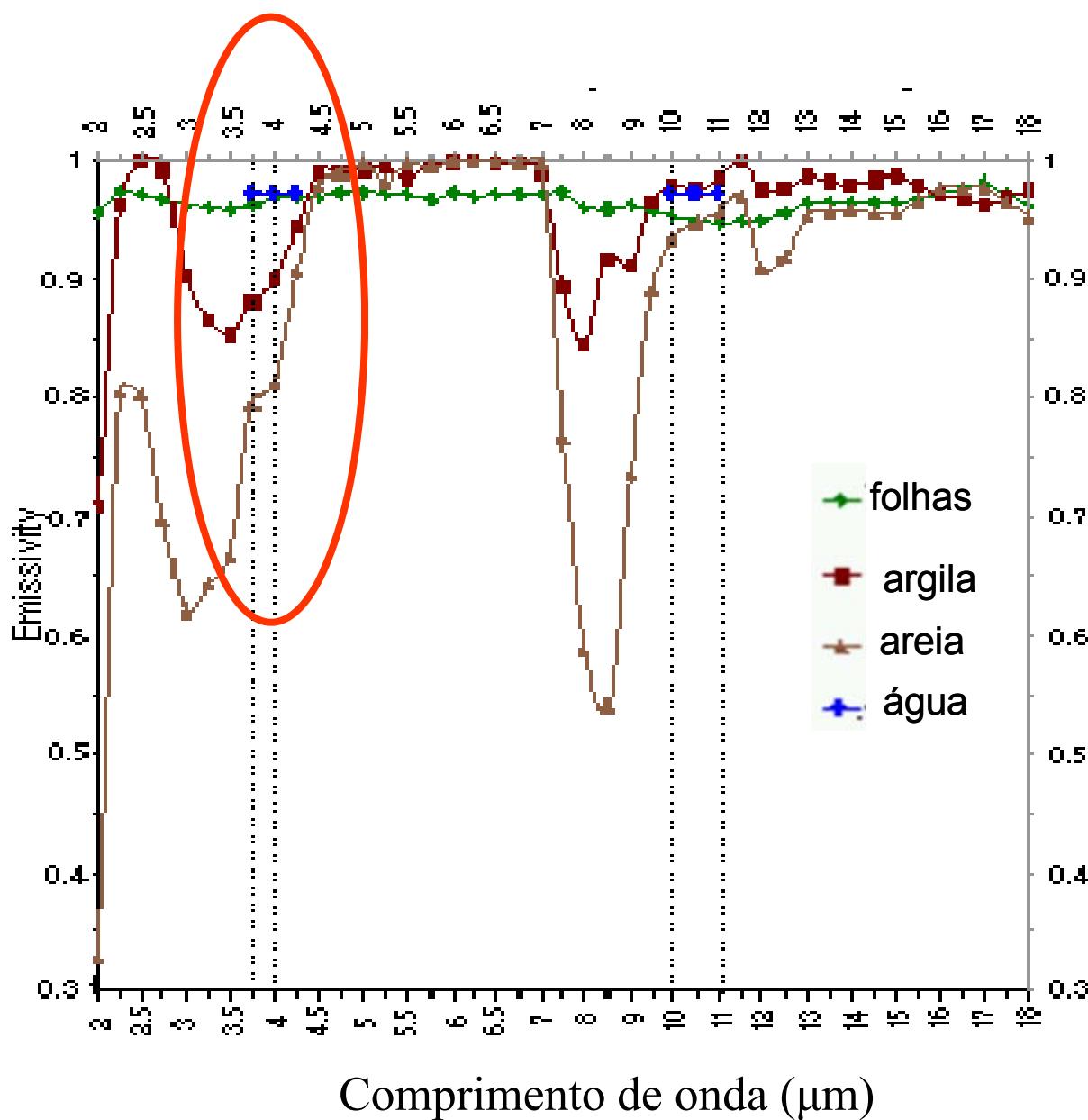


A área especial entre
3 e 4 mícrons

Uma visão mais detalhada
da região de 3,9 μm ,
comparando a emissão de
um corpo a 300 K com a
radiação refletida
proveniente do sol (níveis
de 20%, 50% e 100% de
refletância)

Evidências espetrais da fase de uma nuvem e aspectos não-lineares da resposta termal





Evidências
espectrais de
características
superficiais

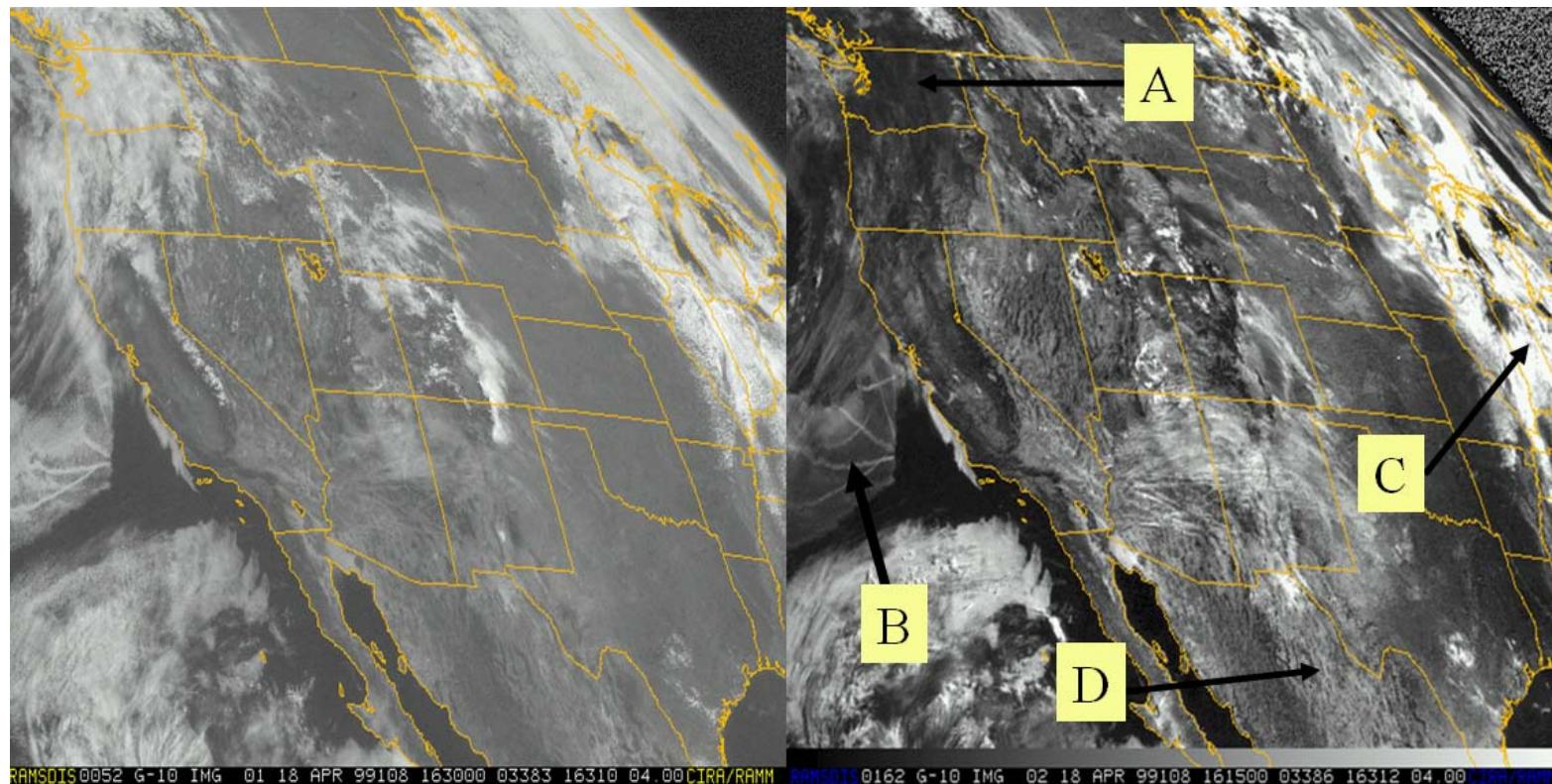
emissividade (ϵ)
ou
refletância (r):

$$\epsilon = 1 - r$$

Imagens GOES-West diurnas nos canais visível e 3,9 μm

Radiação solar refletida no visível

3,9 μm (total), menos a emissão em
3,9 μm (baseada na TB em 10,7 μm)



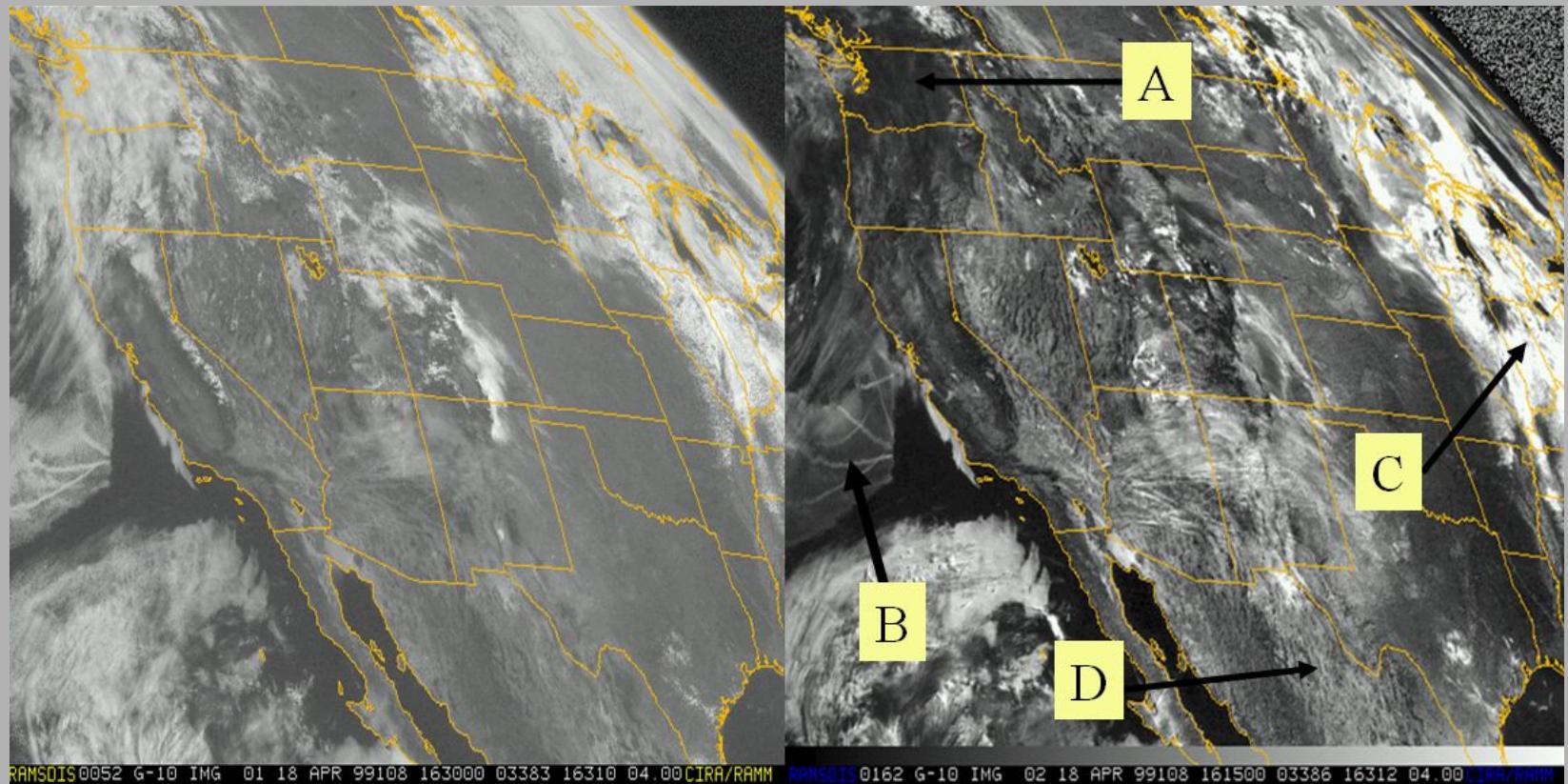
A: cirrus

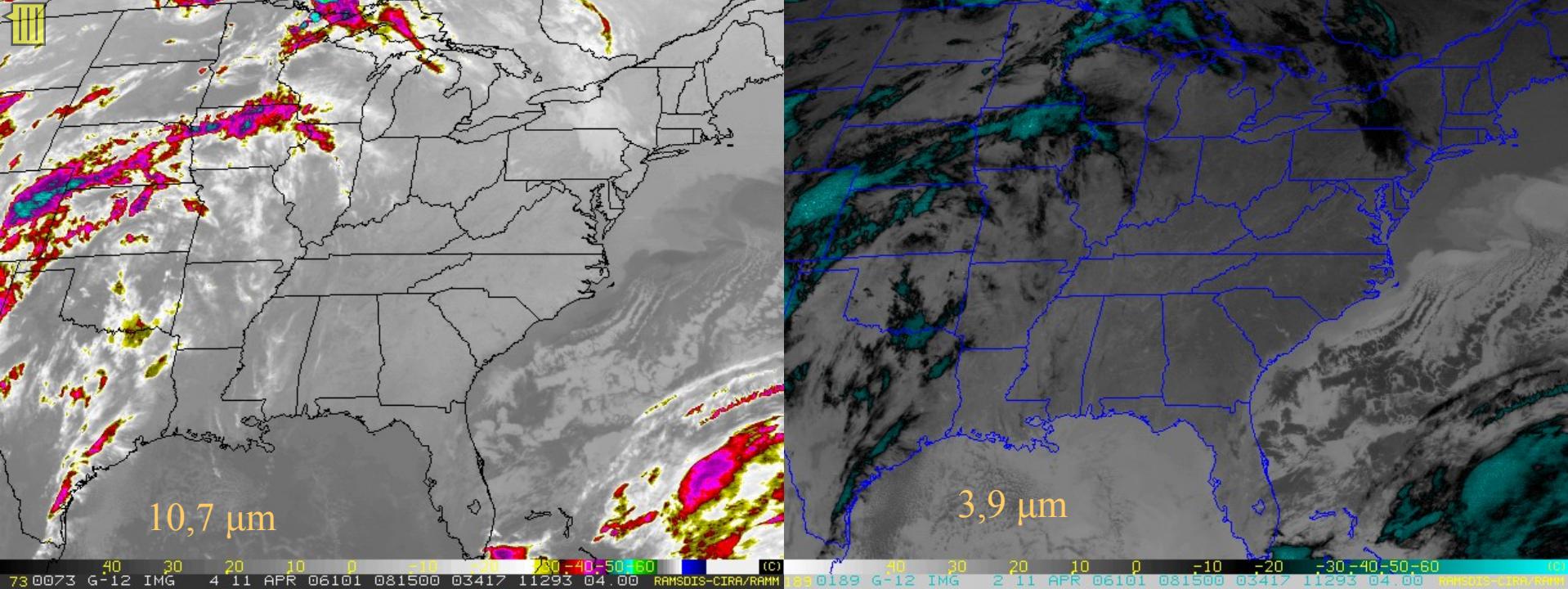
C: nuvens de água

B: trilhas de barcos

D: diferenças em
emissividade do solo

Inserir animação:



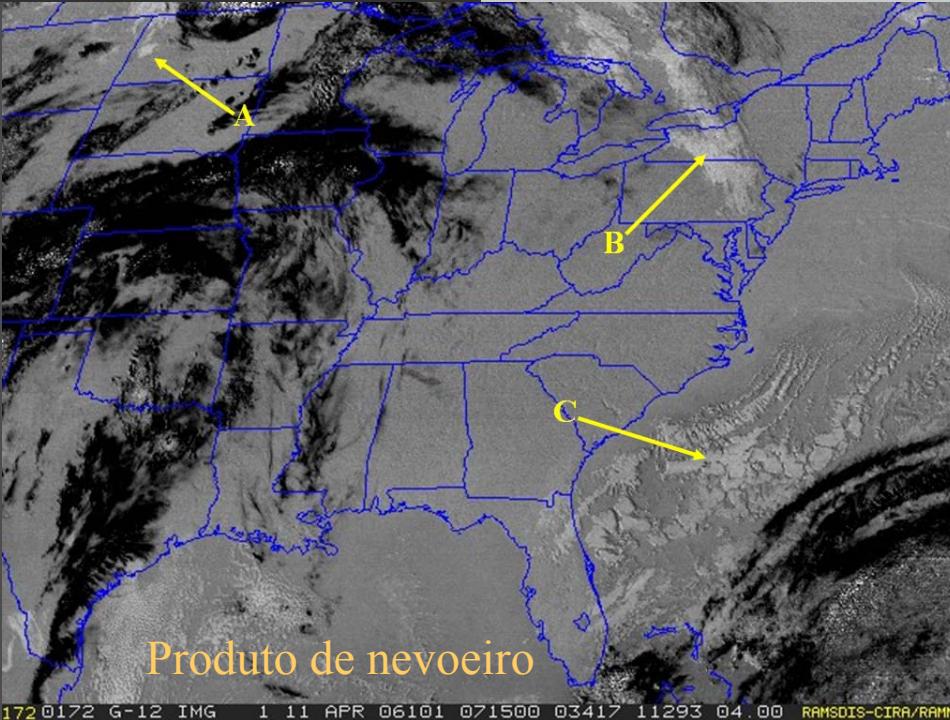


Imagens noturnas

Branco: nuvens com fase líquida.

Preto: nuvens com fase gelo.

As cores dão realce a temperaturas menores



Produto de nevoeiro para a mesma cena

A: névoa ou estrato com temperatura de topo de nuvem (TTN) de 4°C

B: nuvem líquida com TTN entre 12 e -15°C

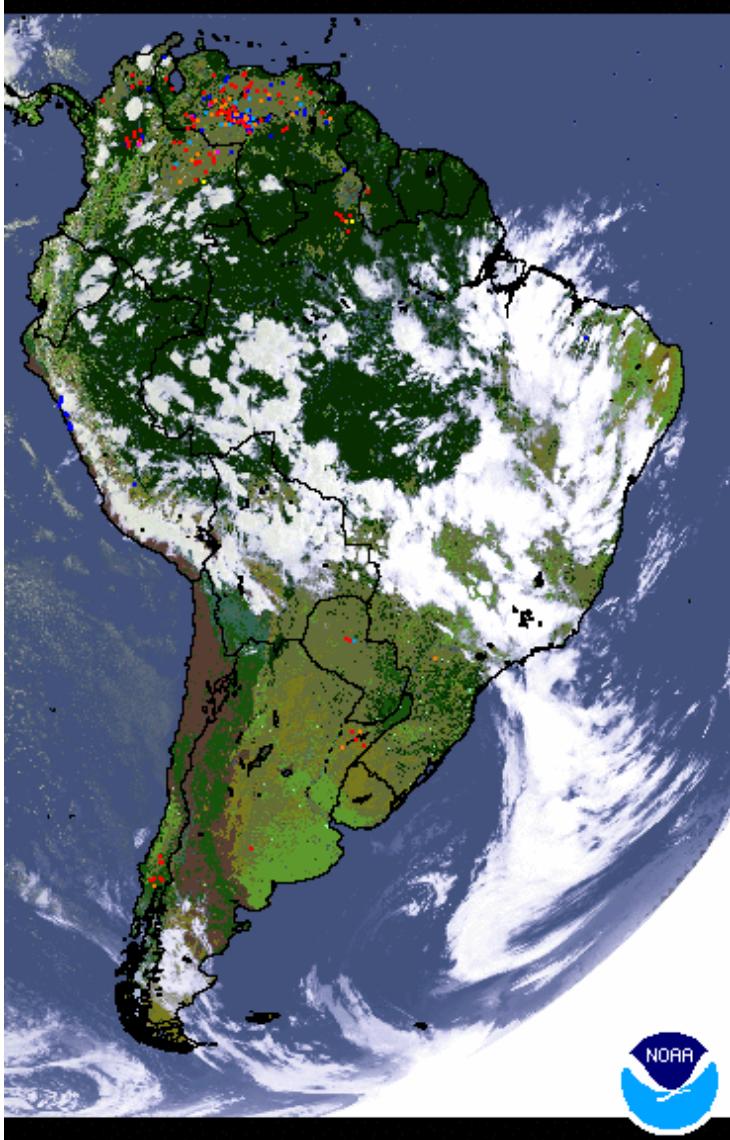
C: nuvem líquida sobre oceano com TTN entre 5 e 0°C



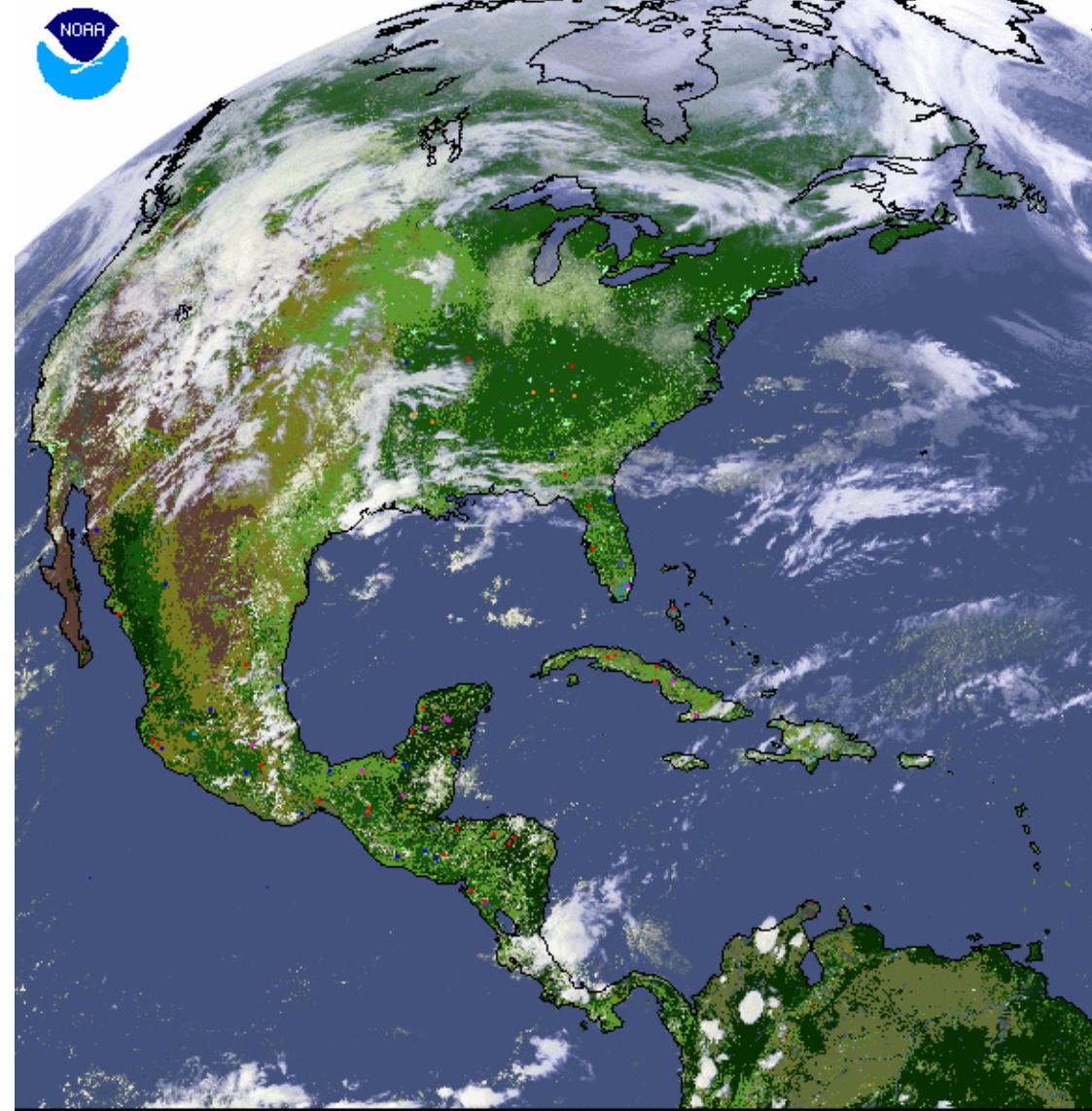
Detecção de fogos usando satélite geoestacionário (freqüência nominal: meia hora) – produto ABBA Wisconsin

Pixels com fogo indicados em vermelho

ES-12 OVERVIEW VIEW 29 MAR 06 20:45 UTC
EXPT. WILDFIRE ABBA NOAA/NESDIS/ORA
UW-MADISON CIMSS MCIDAS GRAPHICS



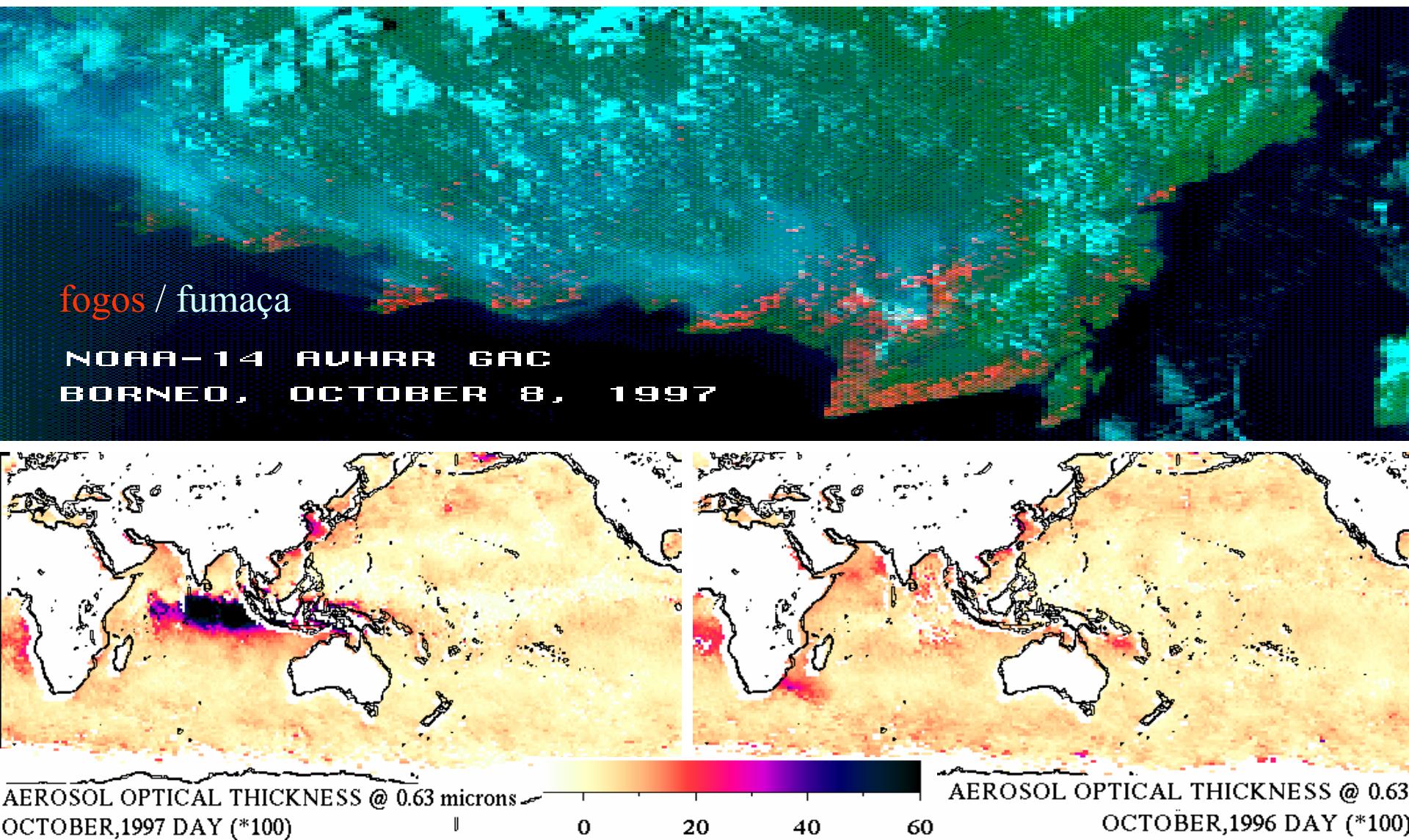
GOES-12 OVERVIEW VIEW 29 MAR 06 20:45 UTC
EXPT. WILDFIRE ABBA NOAA/NESDIS/ORA
UW-MADISON CIMSS MCIDAS GRAPHICS





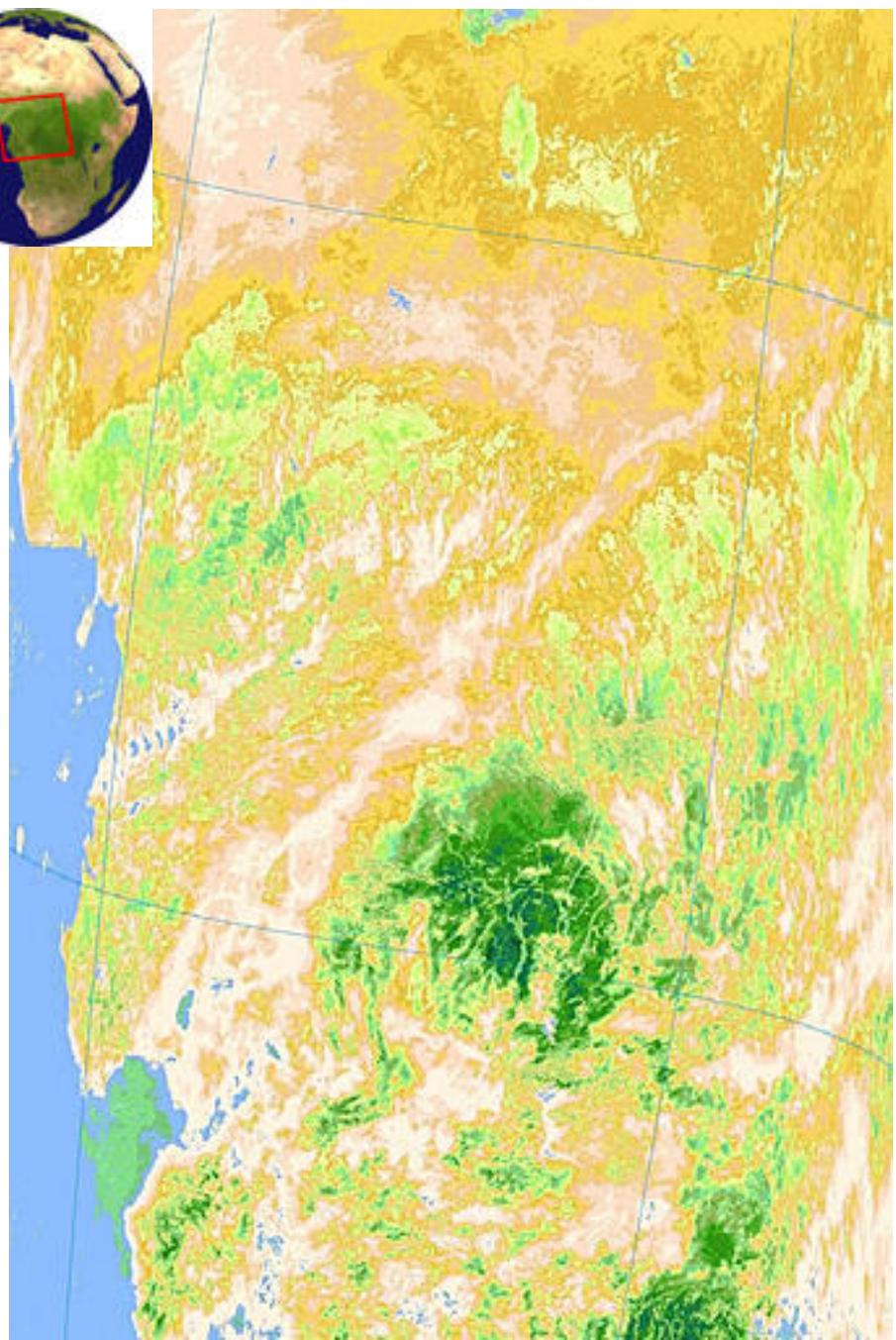
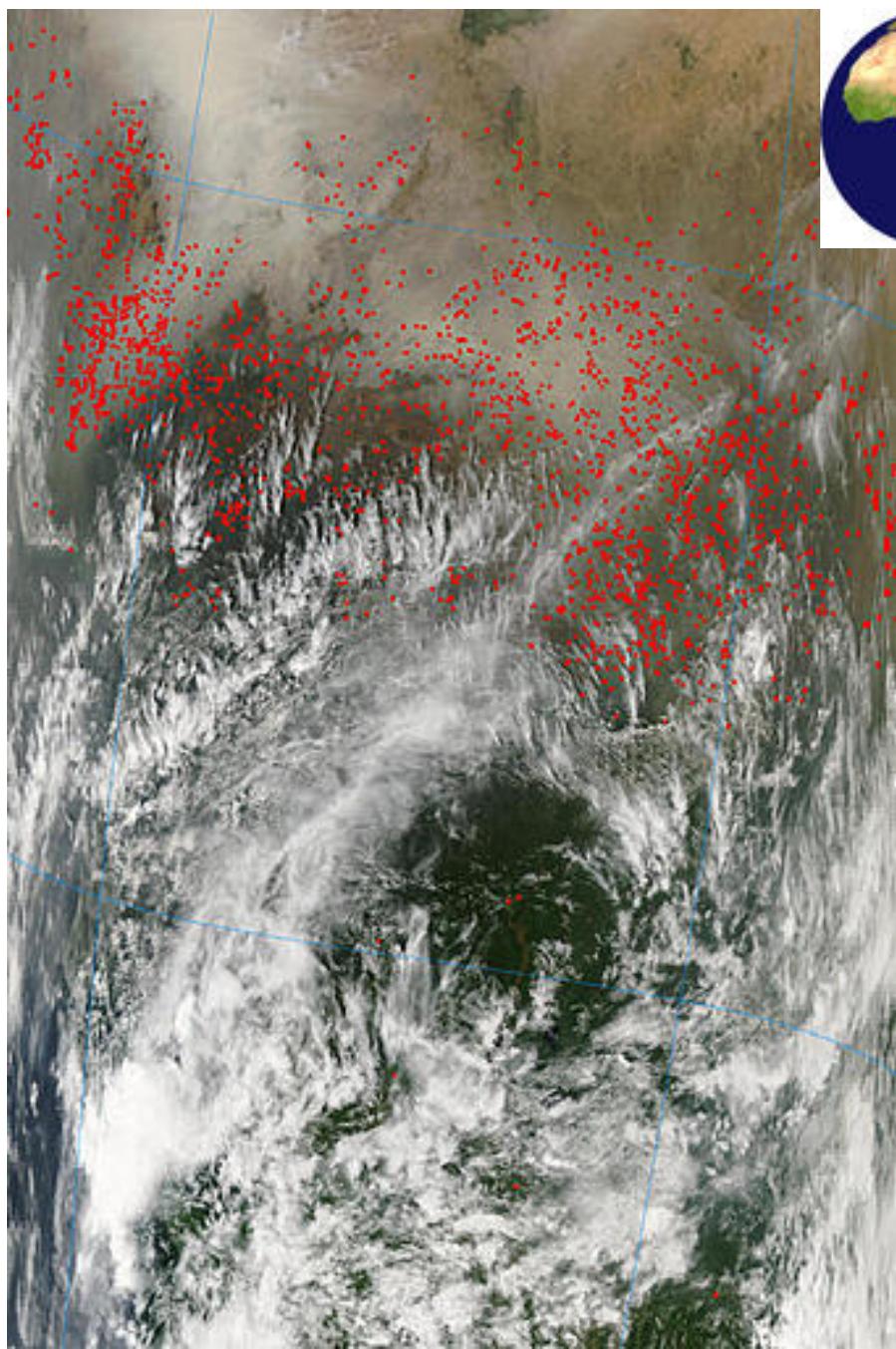
AVHRR/NOAA sobre Borneo

detecção de fogos (8 de outubro de 1997) e de aerossóis
(comparando dias julianos 100 em outubro de 1996 e de 1997)



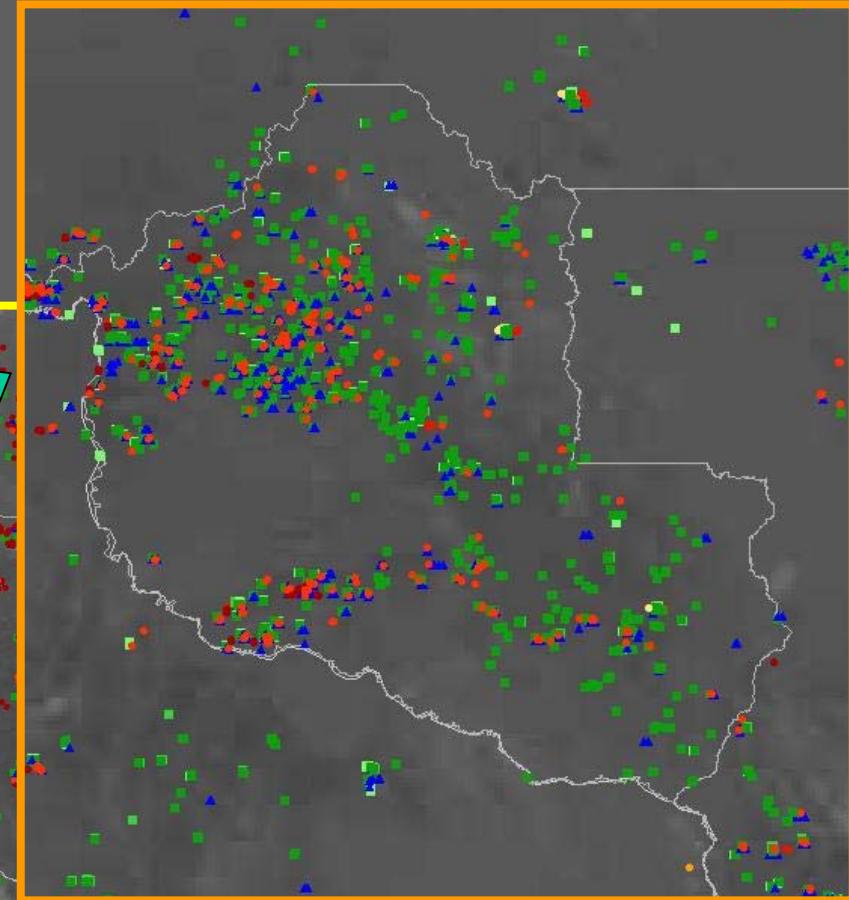
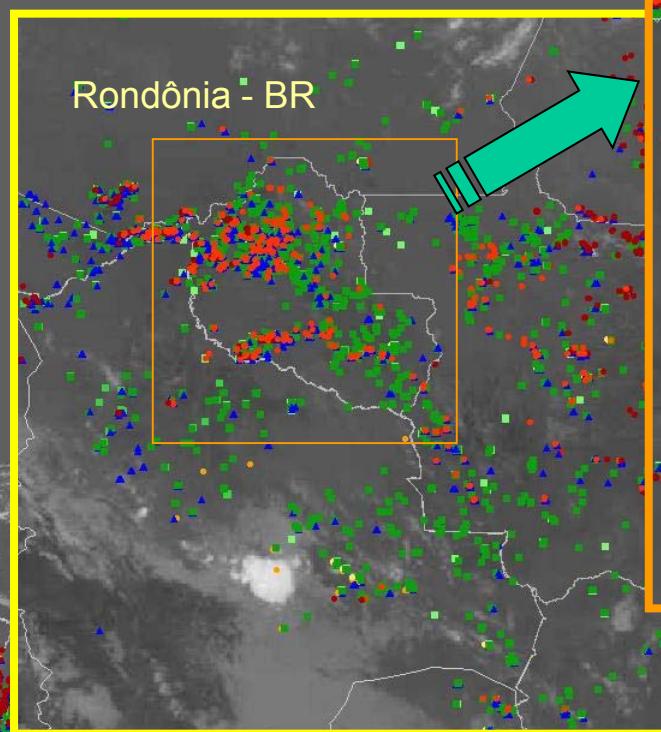
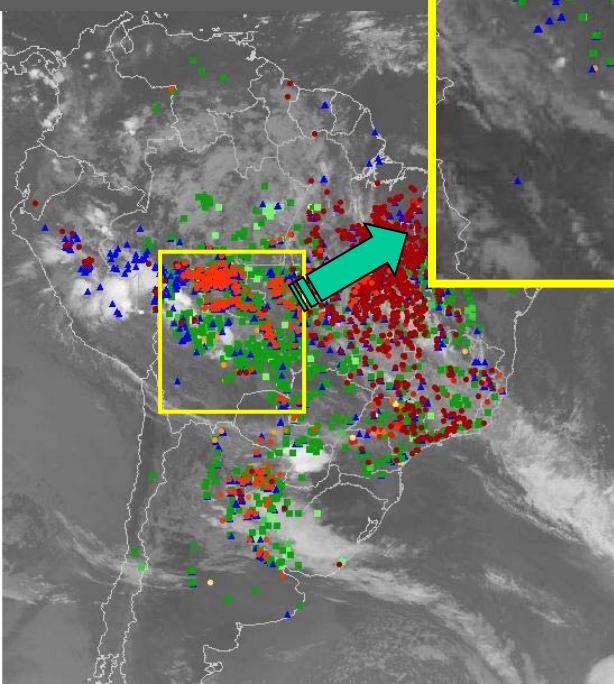


MODIS sobre África - detecção de fogos (esquerda) e NDVI (direita)





Vários satélites durante o dia
Resolução: 4 km (GOES)
até 1 km (MODIS e AVHRR)



Focos de calor na América do Sul

15 de setembro de 2006

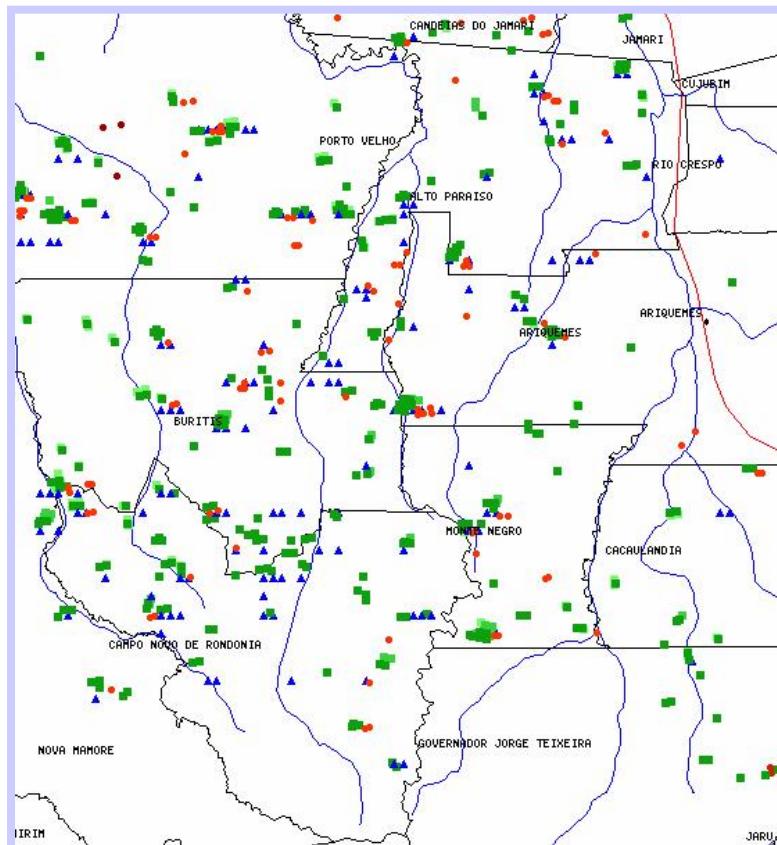
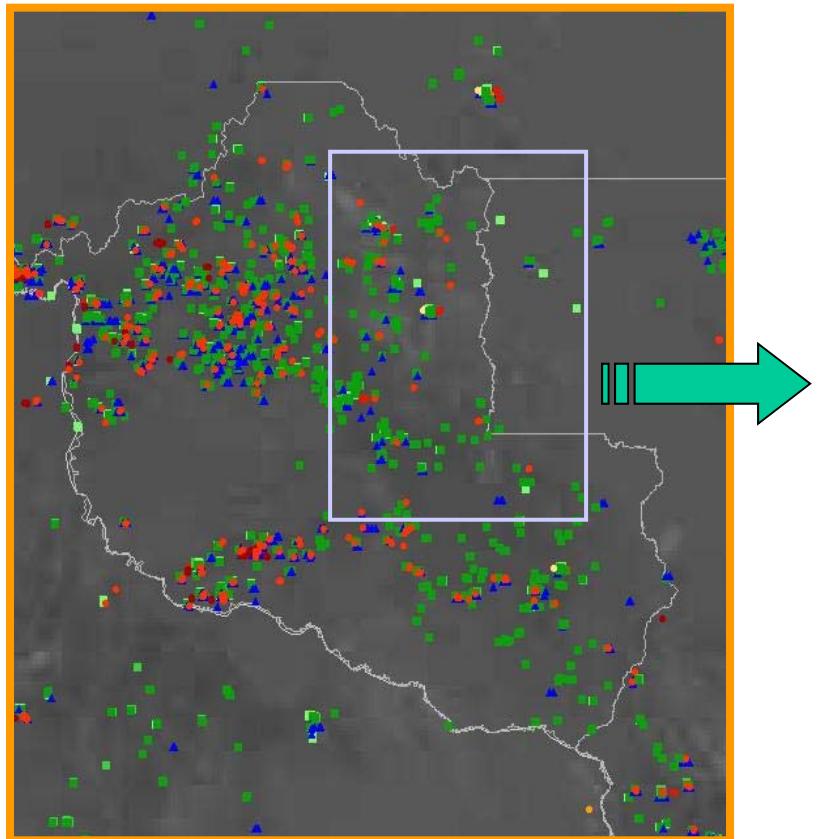
Produto operacional CPTEC/INPE

<http://satelite.cptec.inpe.br>

Gerenciamento da informação:

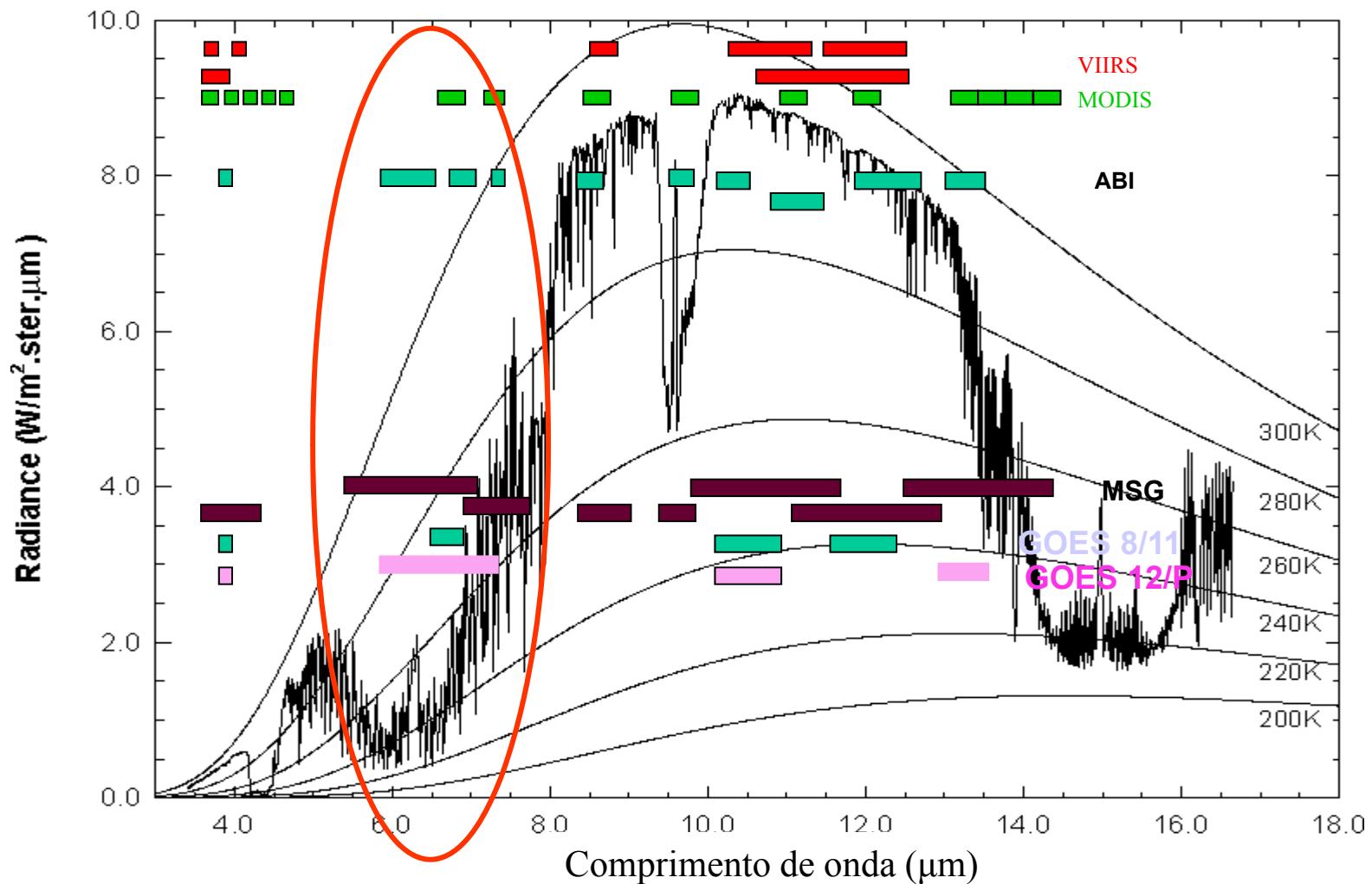
A detecção de fogos por satélite exige técnicas de detecção e de navegação de imagens de alta qualidade

A combinação do produto com SIGs (**Sistemas de Informação Geográfica**) permite um gerenciamento mais eficiente do controle de incêndios e análise de impacto



Sistema SIGMA – em testes de operação

A banda do vapor d'água em 6-7 µm

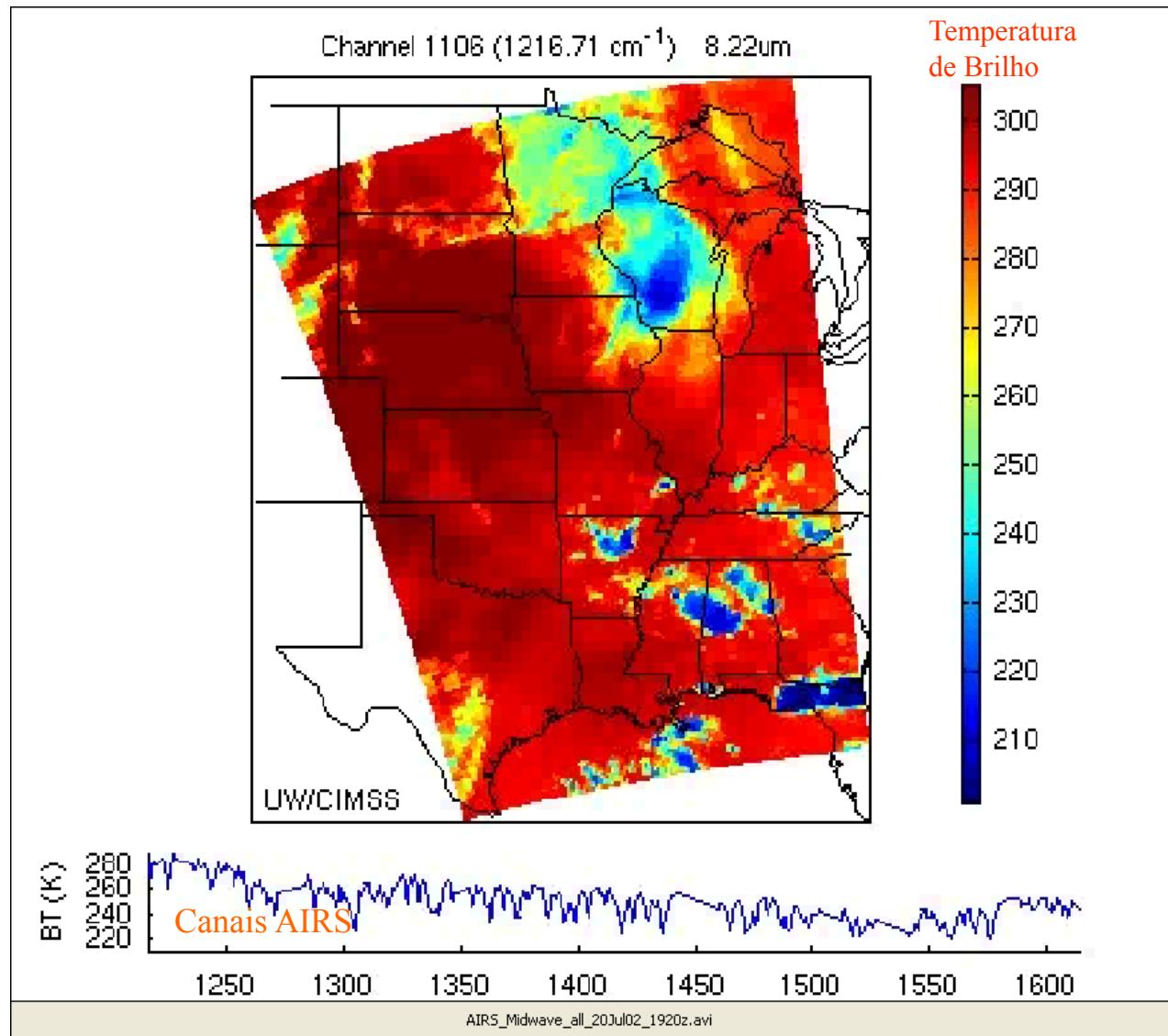
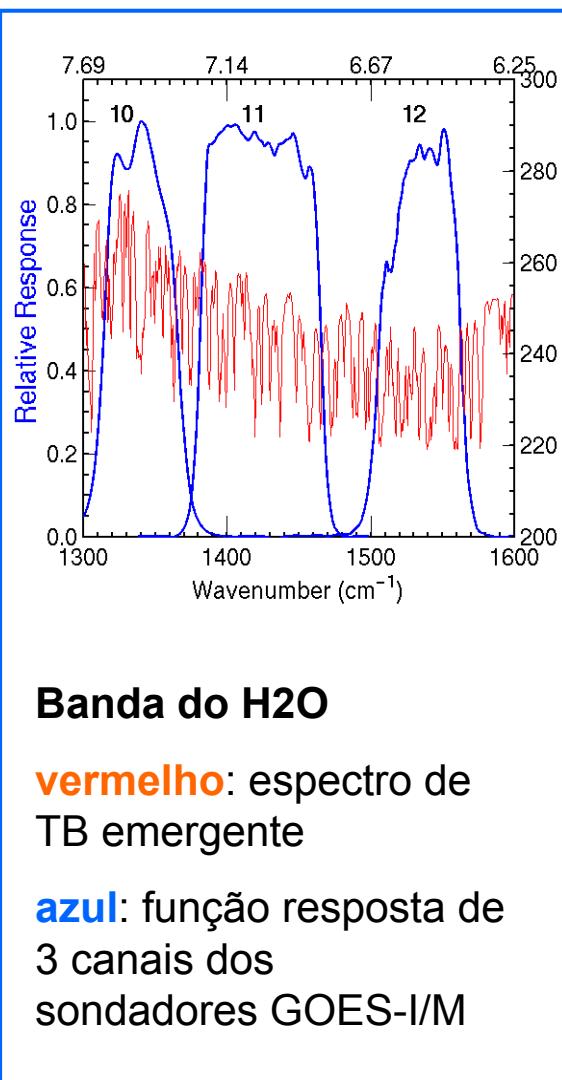


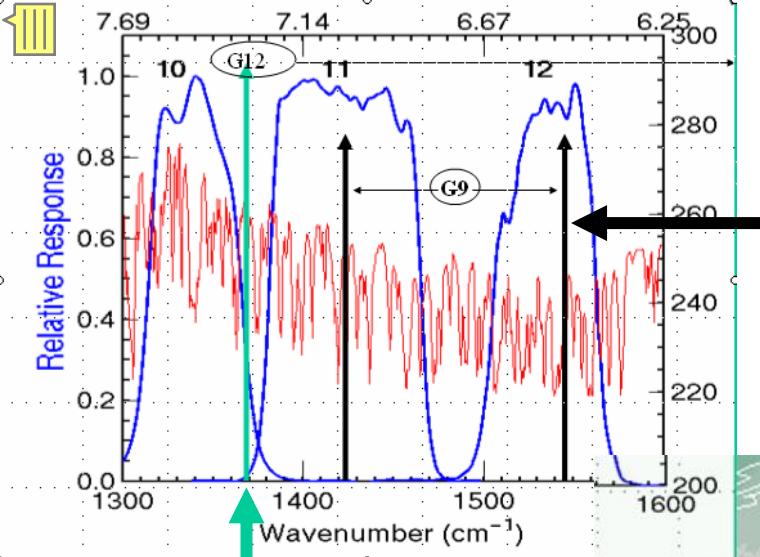


Sensores multi-espectrais e hiper-espectrais: GOES e AIRS

O Sondador de Alta Resolução Espectral **AIRS** discrimina detalhes espetrais do H₂O.

A figura ilustra TB de apenas um canal. O conjunto de canais permite observar detalhes espetrais e escolher a informação com vantagens sobre os canais em banda larga





O GOES-9 dispõe de canal na banda de 6.7 micron: [6.47 - 7.02 μm]

O GOES-12 tem canal de banda larga do vapor d'água em [5,8 - 7,3 μm]

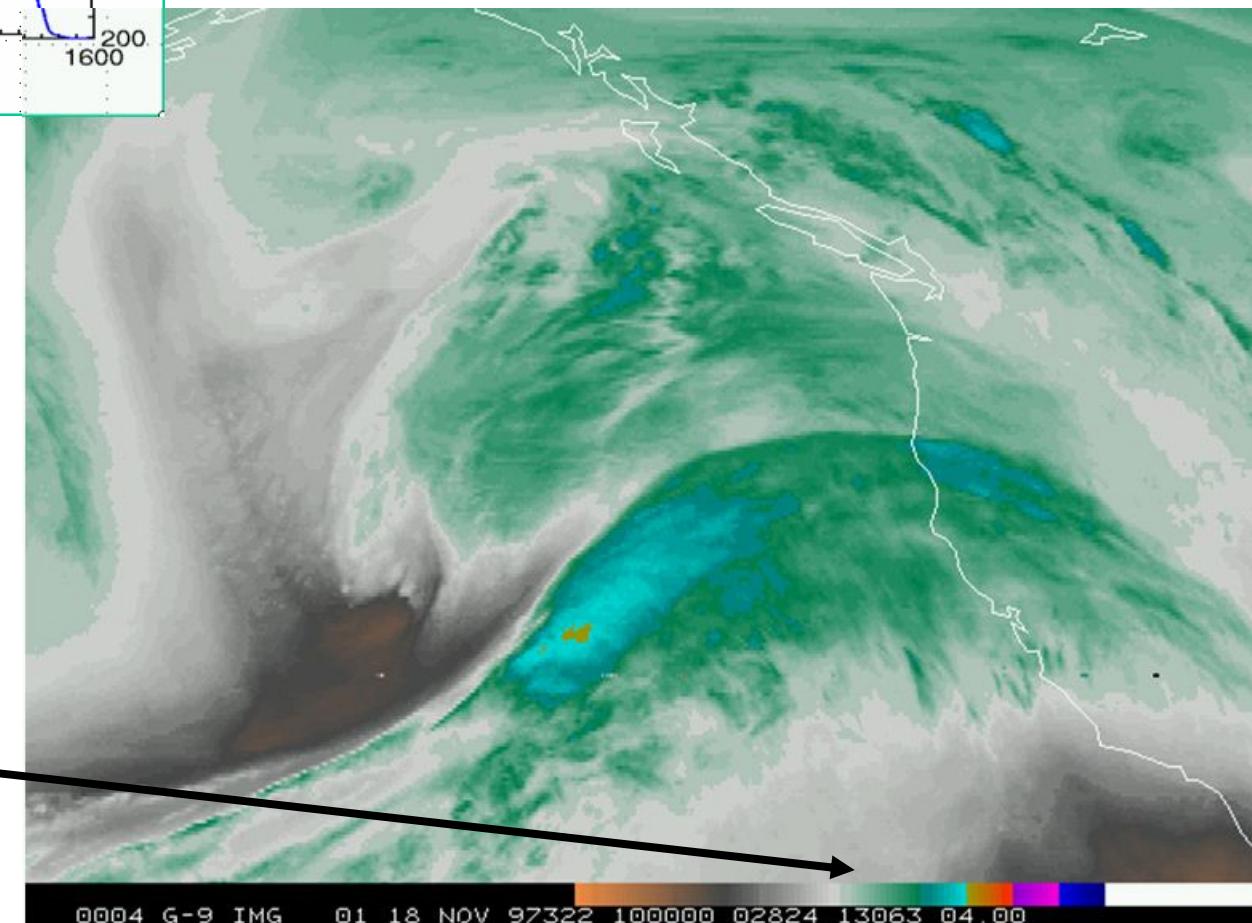
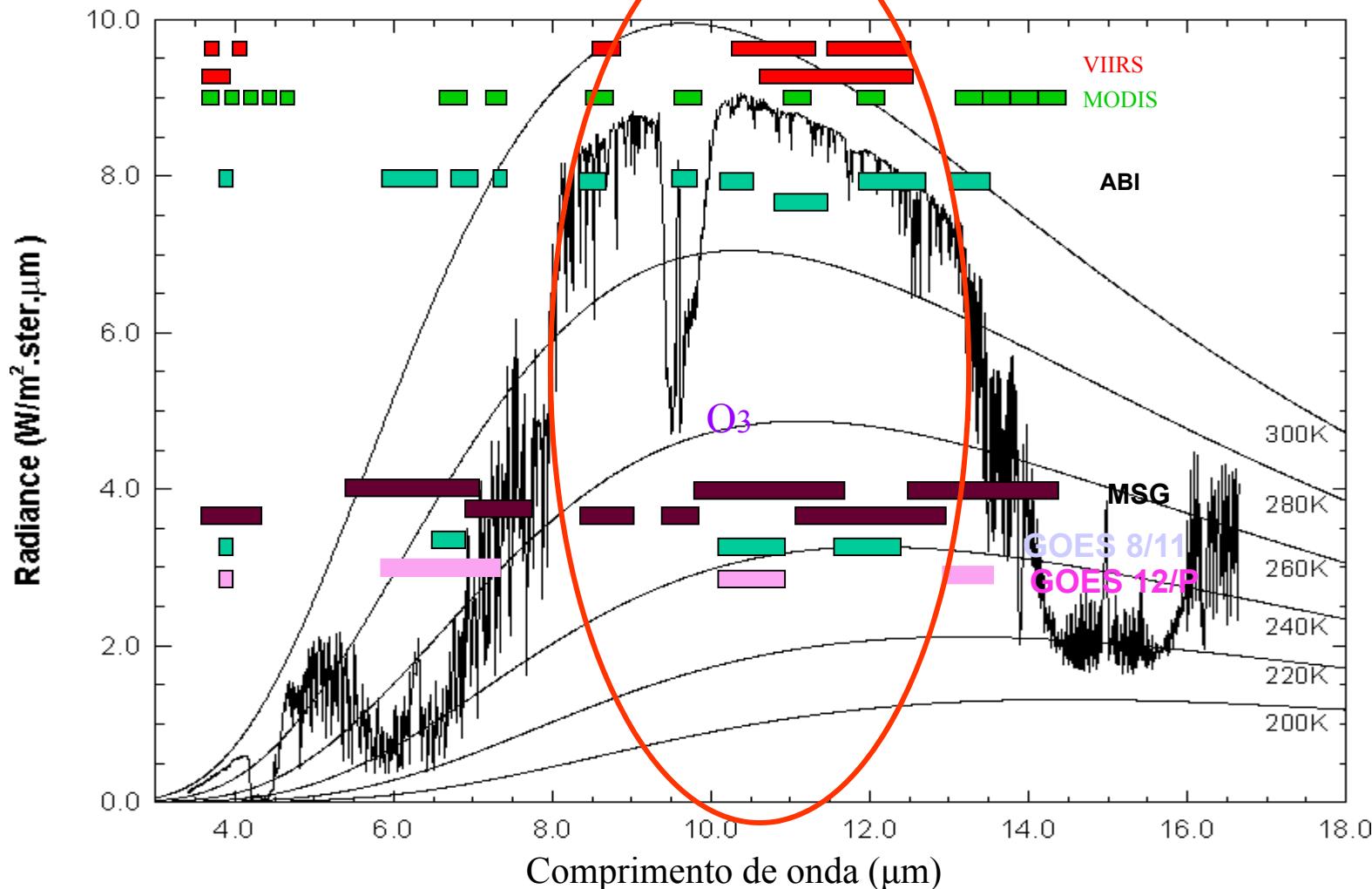
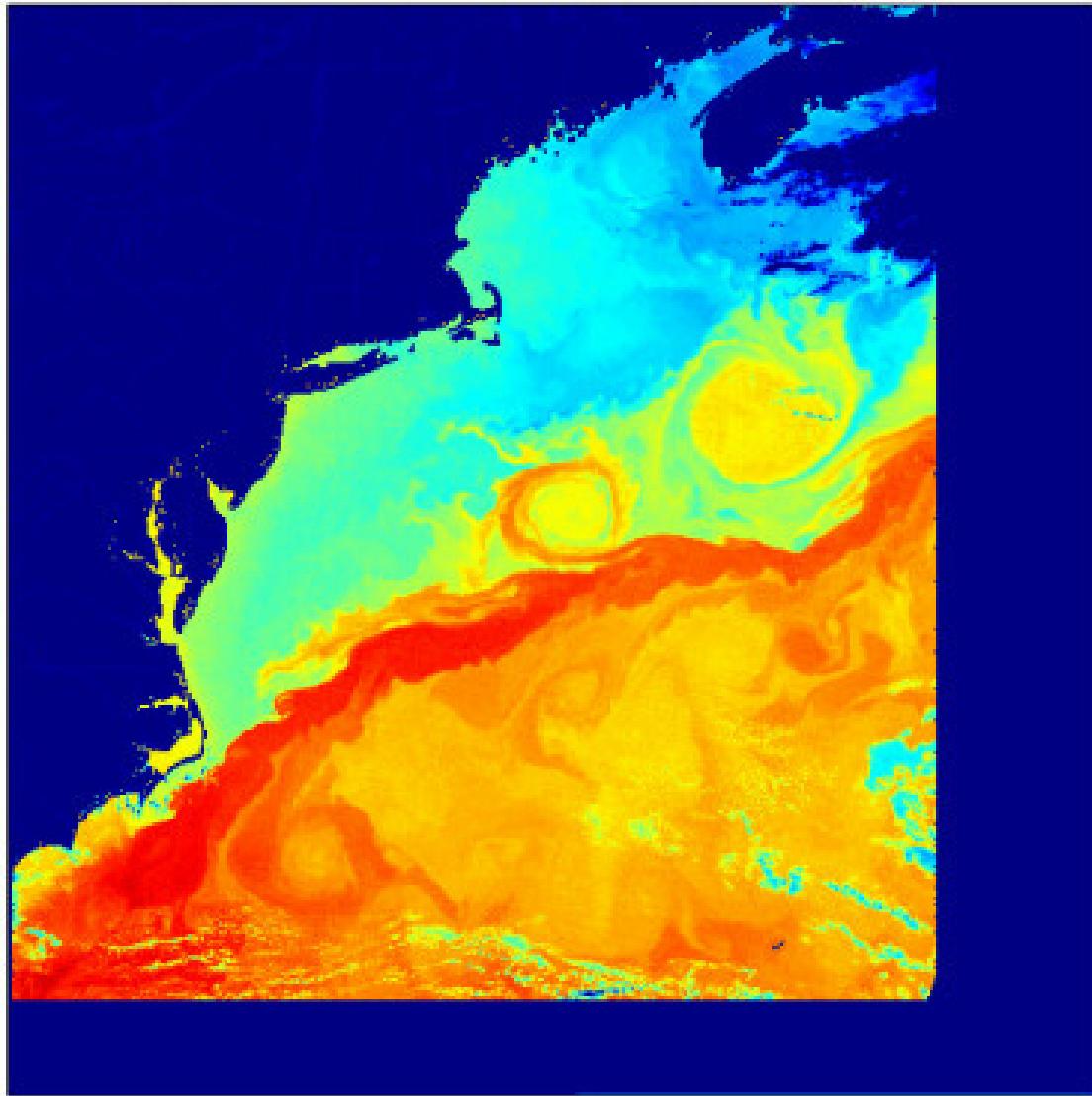


Imagen GOES-9 no canal de H_2O . Escala de cores de acordo com a TB (de quente para frio)

A “janela” do infravermelho termal (8-13 µm)



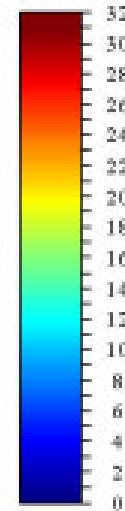
Observe que 10,5 µm tem a máxima TB; note também a banda de absorção de ozônio em 9,7 µm.



CoastWatch

AVHRR Temperature
File name: 99112111NDT
TMGLMAP Image
NOAA 12 Orbit: 31535
SST ID: 142 11:37 GMT
Pixel Size: 4.17 km
Lat Range: 39.94N to 45.82N
Lon Range: 78.81W to 58.81W
Horiz. Offset: -1994 2
Vert. Offset: 4681 0
SST - Split Window

Surface Temperature
(Degrees Celcius)

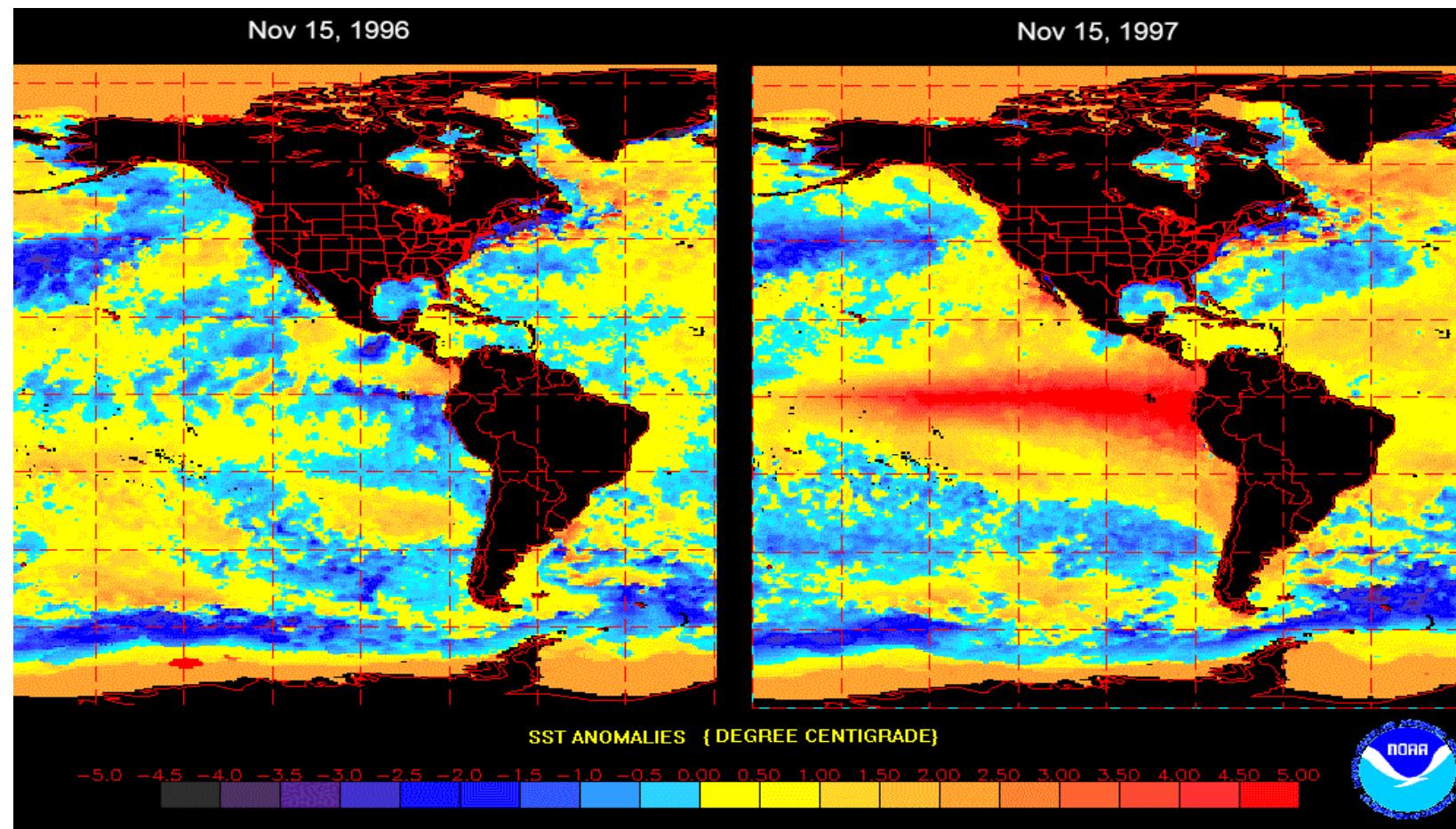


Produto CoastWatch de Temperatura da Superfície do Mar obtido com AVHRR.
Região: Oceano Atlântico mar adentro da Costa Leste dos Estados Unidos.

Note: 1) o elevado gradiente de temperatura através da borda da Corrente do Golfo,
2) os vórtices quentes que foram arrancados e migram para águas mais frias.

AVHRR – Anomalias da Temperatura da Superfície do Mar (°C)

novembro 1996 a novembro 1997



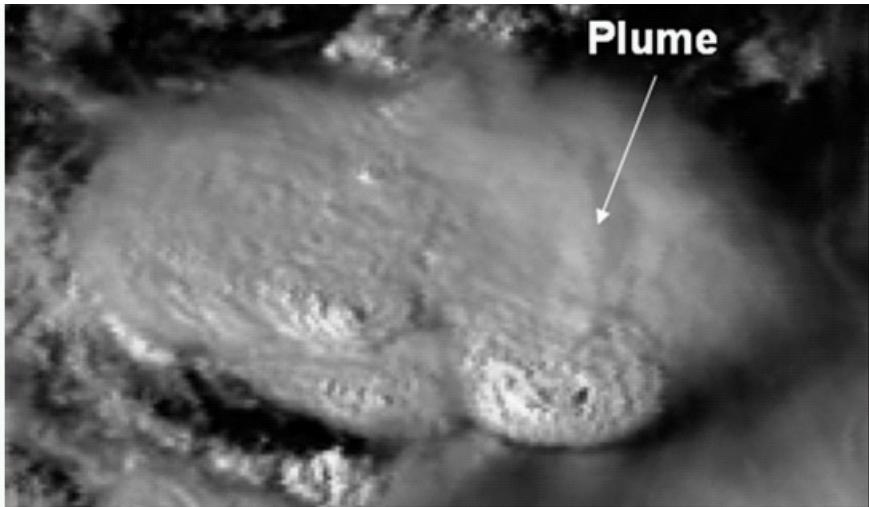
Combinando canais no espectro solar e
no infravermelho termal:

Alguns exemplos de
análise multiespectral

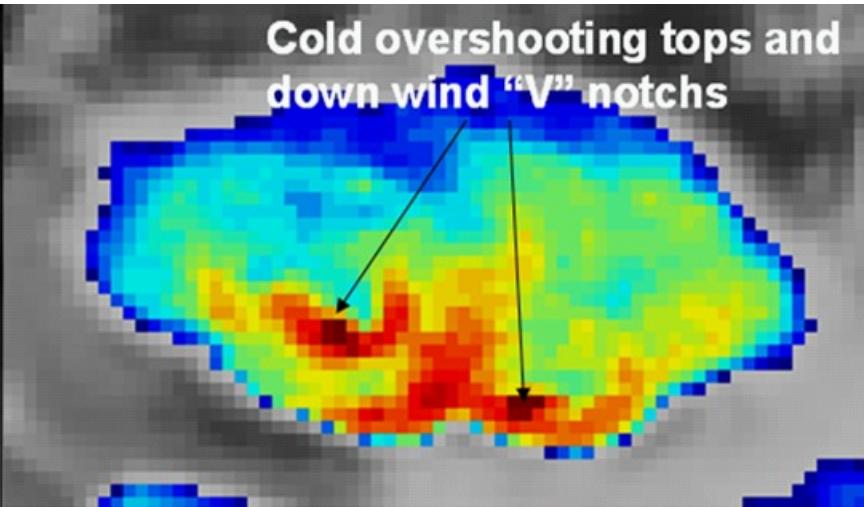


Topos de complexos convectivos sobre Europa. MSG, 29 julho 2005, 14:30 UTC

[Martin Setvak, EUMETSAT User's Conference].



MSG: canal visível alta resolução (HRV)



MSG: canal 10,7 μm com realce

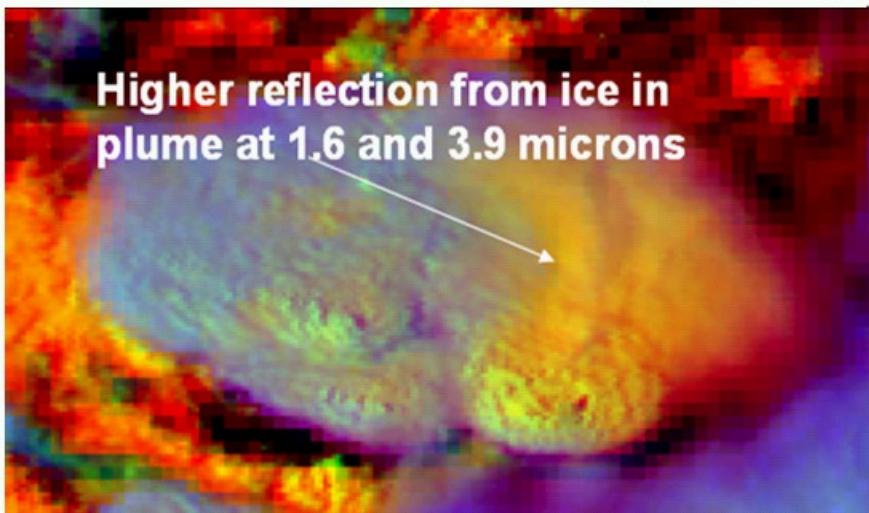
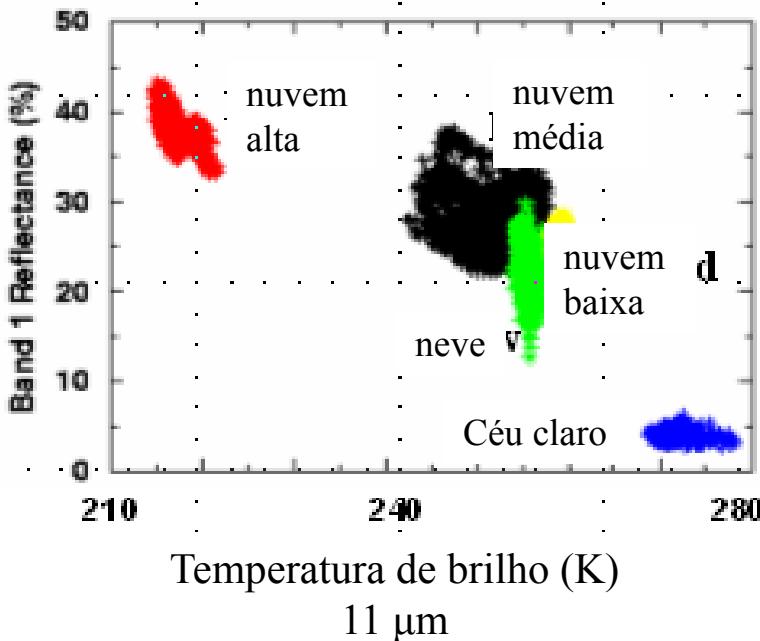


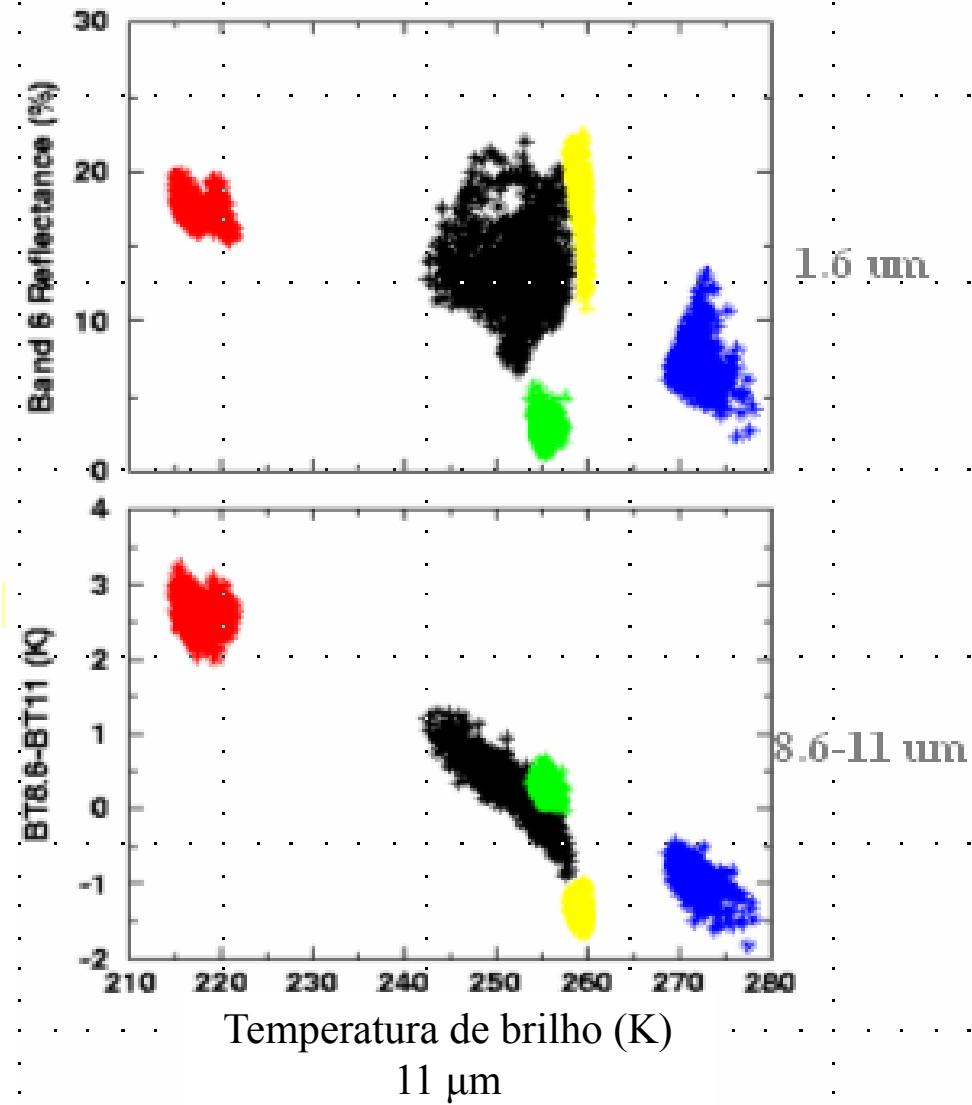
Imagen MSG3 colorida usando os canais HRV junto com os de 1,6 e 3,9 μm

As imagens mostram maior reflexão por gelo na pluma no topo do complexo, nos canais em 1,6 e 3,9 μm , talvez por causa de menor tamanho das partículas e relacionado com características da convecção (*updraft*).

As nuvens se separam em classes quando são observadas com informação multiespectral (exemplo: imagens MODIS)



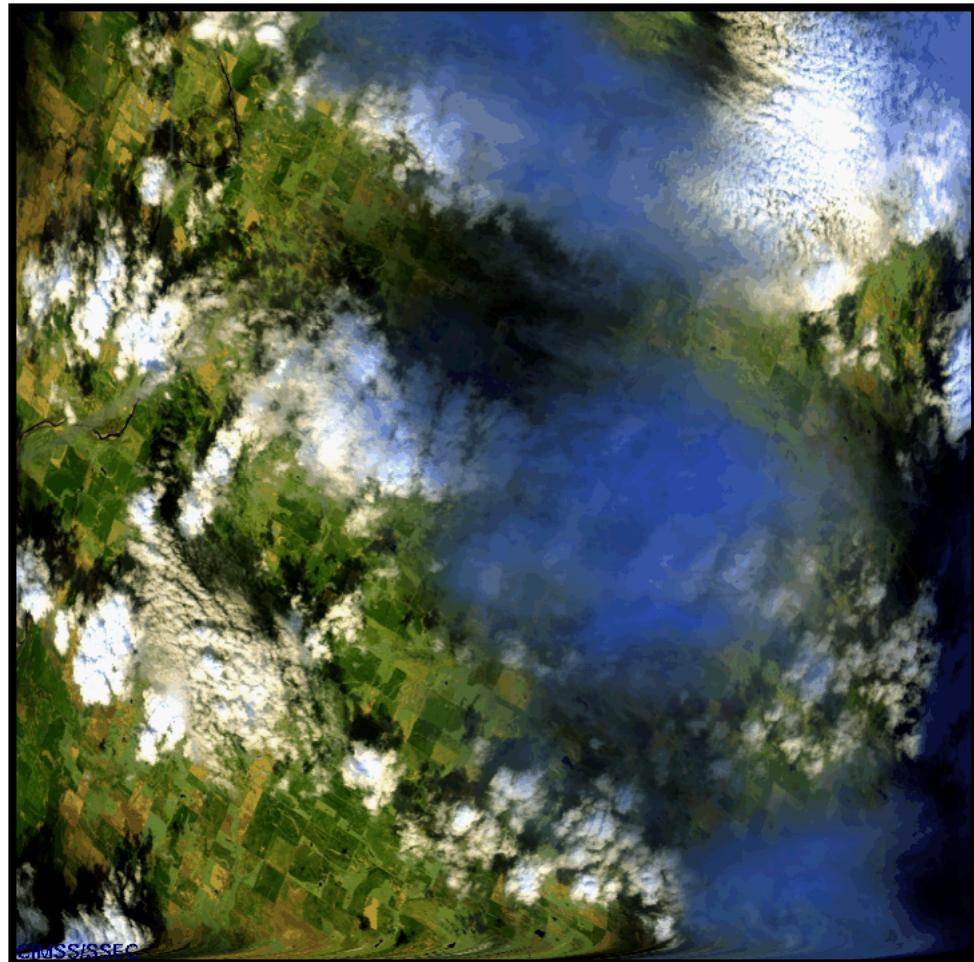
A superfície sob céu claro, a neve e diferentes tipos de nuvem têm **assinaturas espectrais** diferentes quando se representa uma variável espectral em função da TB em 11 μm



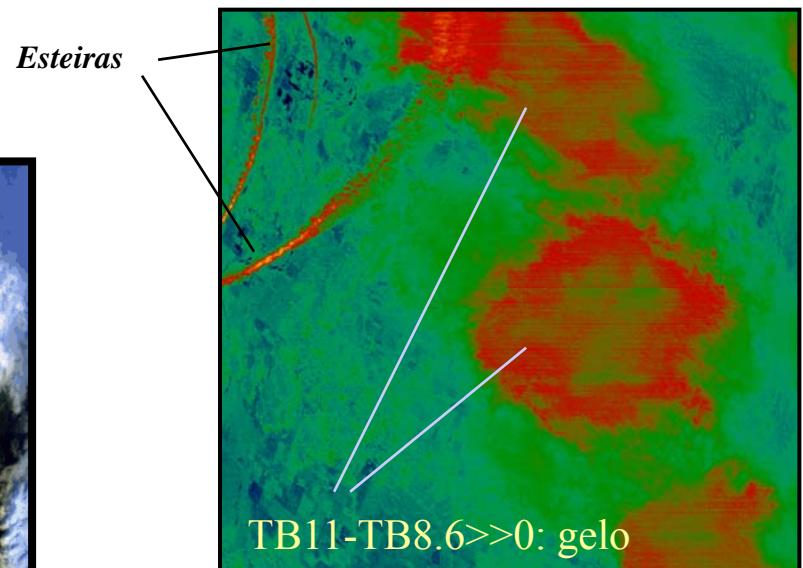
Composição das nuvens: água, gelo

Imagens: MODIS

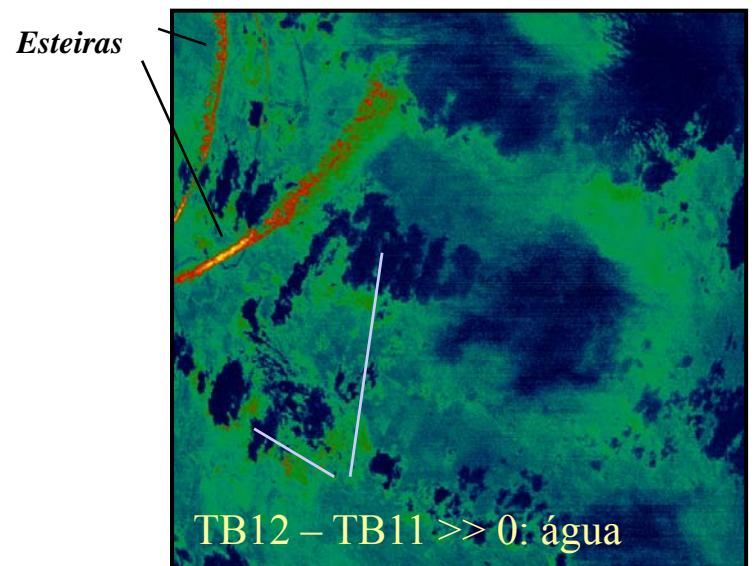
Imagen sobre Kansas - 21 abril 1996



Composição de canais no visível



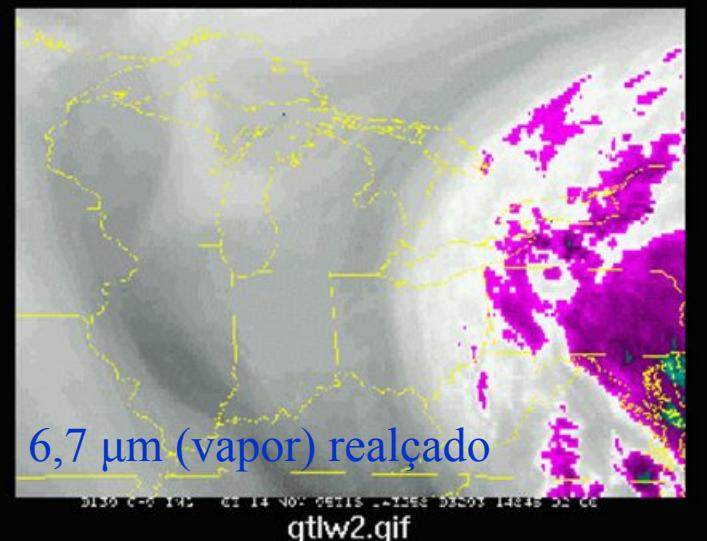
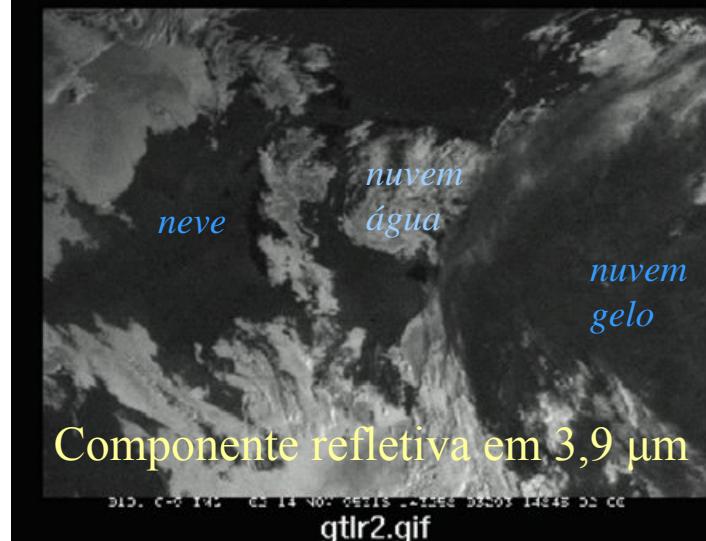
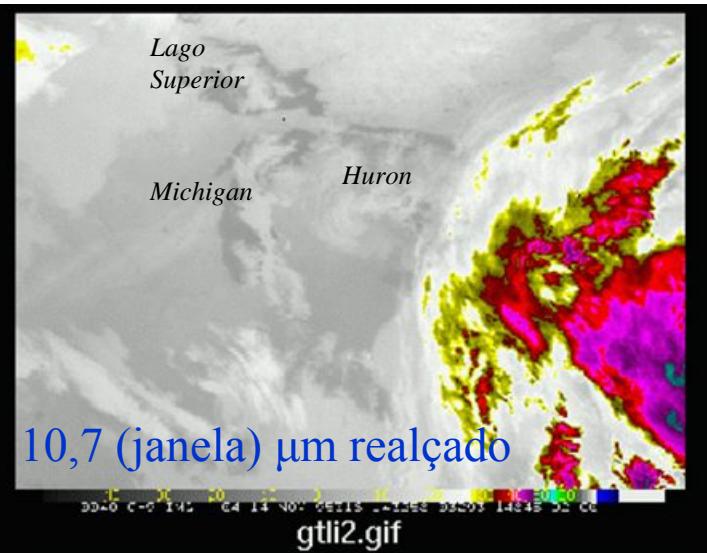
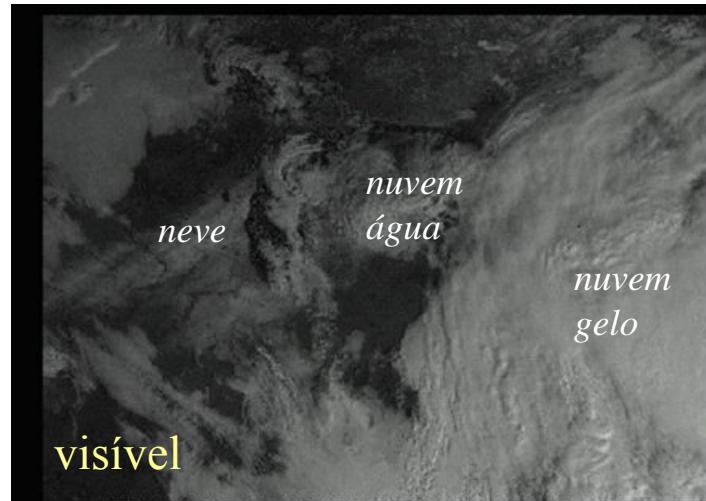
Diferença de TB no IV - 8.6 μm (Banda 29) - 11.0 μm (Banda 31)



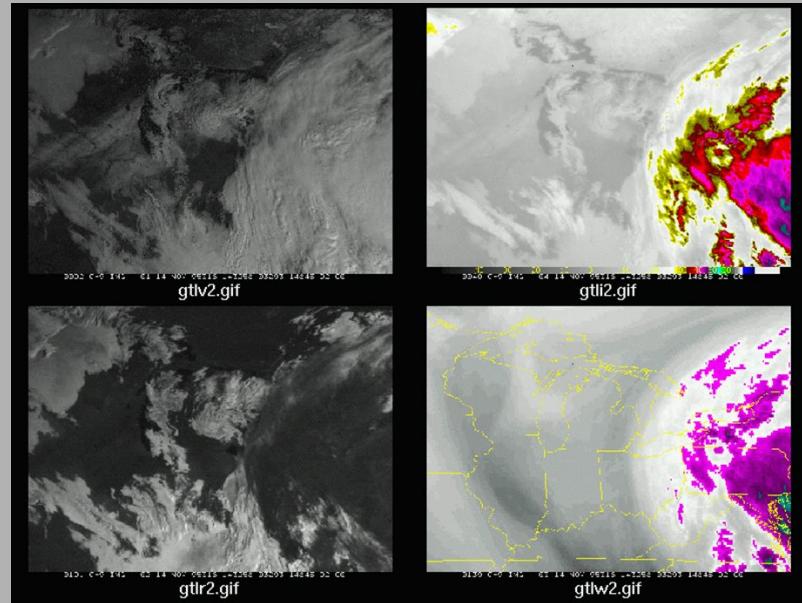
Diferença de TB no IV - 11.0 μm (Banda 31) - 12.0 μm (Banda 32)



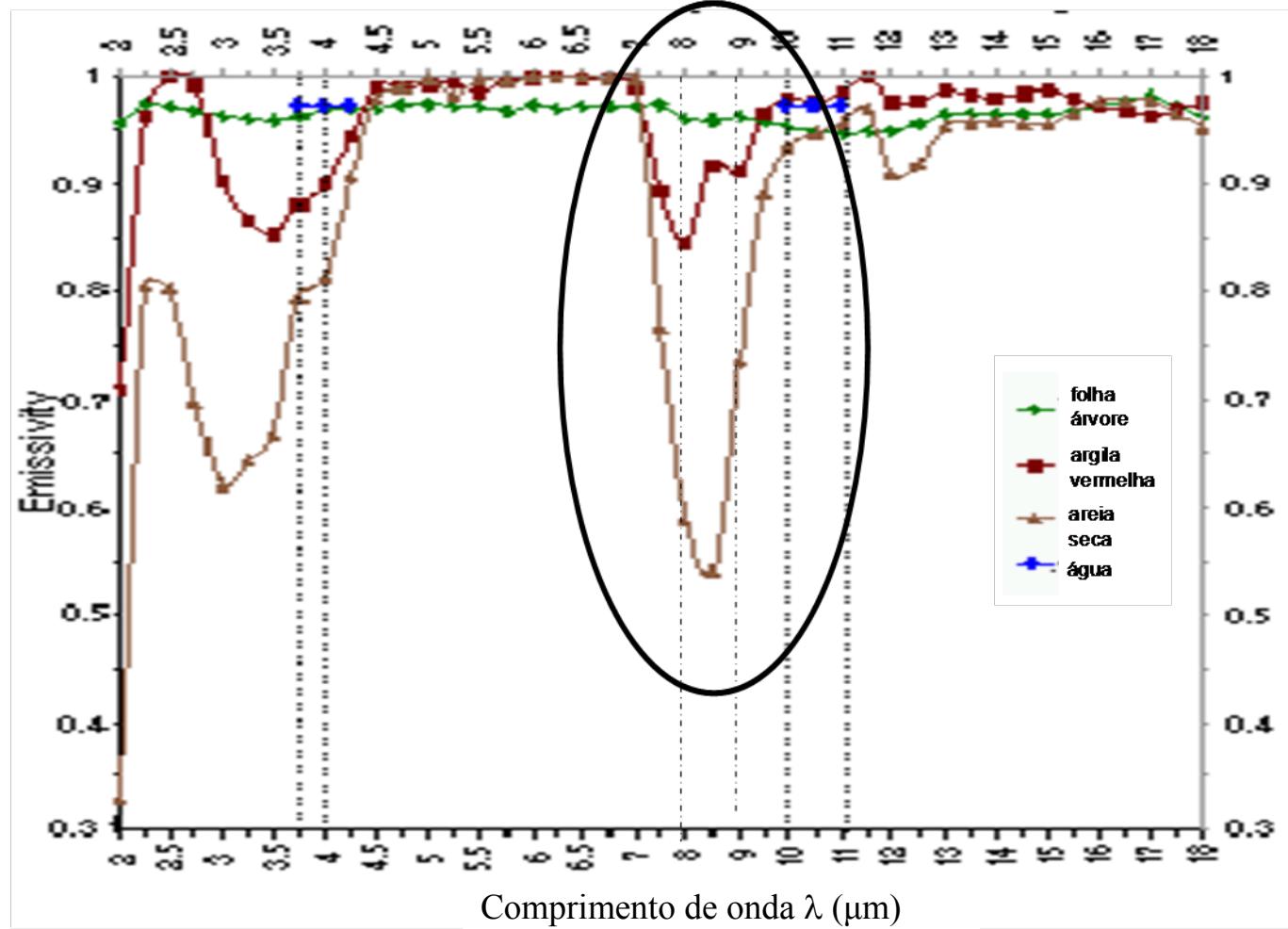
Painel de quatro imagens GOES sobre o centro dos Estados Unidos



Inserir animação



Deve-se estar ciente das características espectrais da superfície



A temperatura de brilho observada é influenciada pela absorção e emissão atmosférica, mas também pela **emissividade (ε)** da superfície

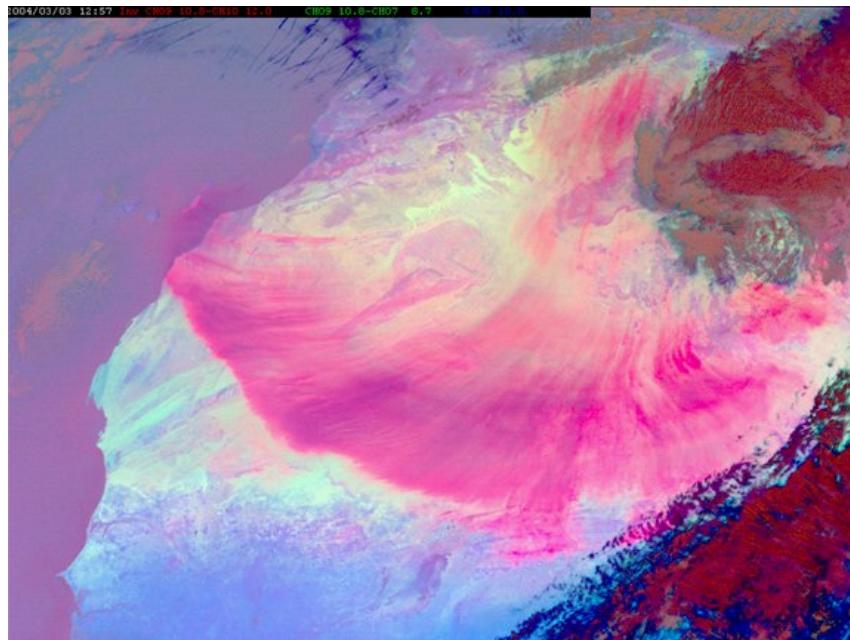
Ainda, a radiação térmica da atmosfera é refletida pelo solo:

$$R = 1 - \varepsilon$$

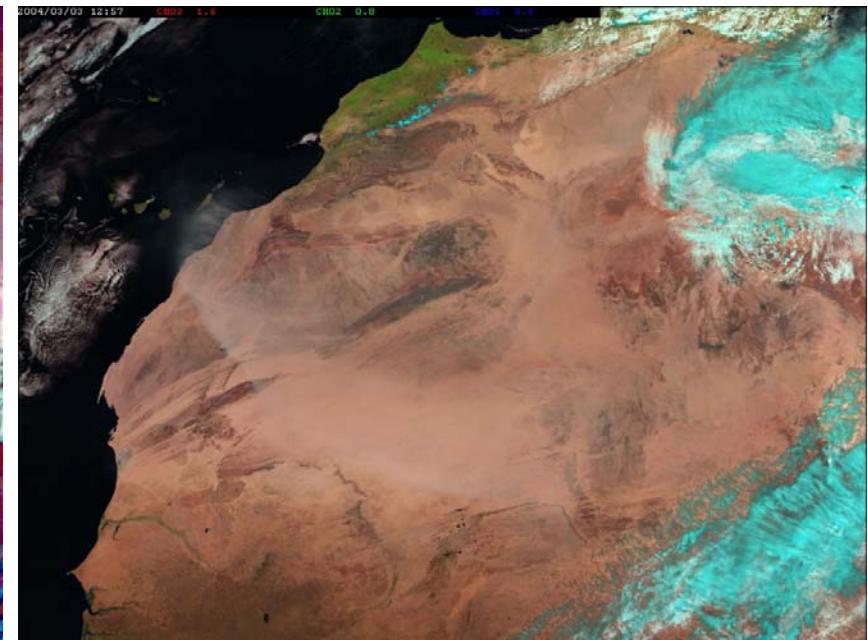


Como já se viu, poeira e cinzas em suspensão podem ser monitoradas com imagens no espectro solar (por reflexão) ou no espectro de emissão termal

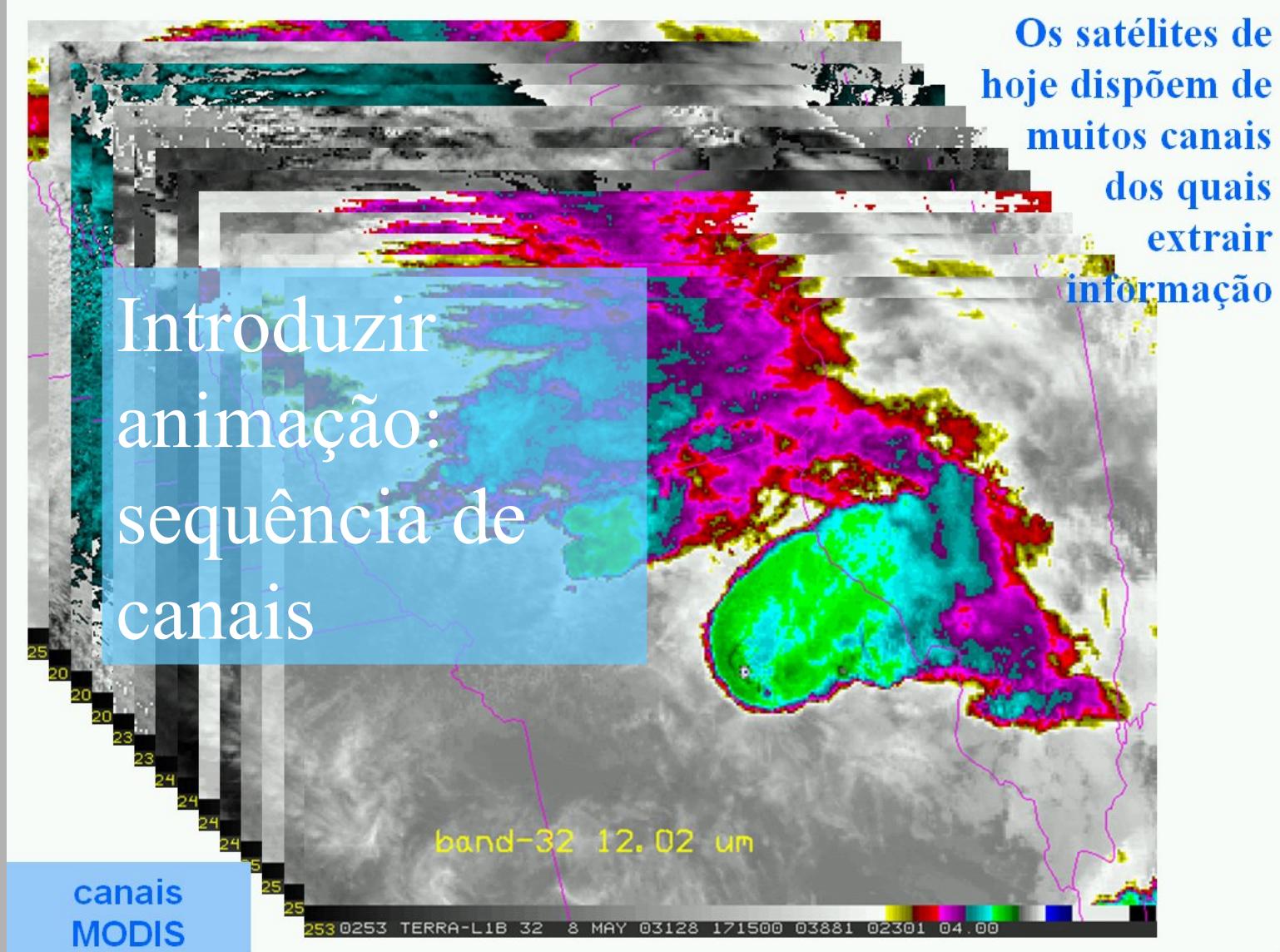
Tormenta de areia sobre a África, detectada por Meteosat-8 (MSG)

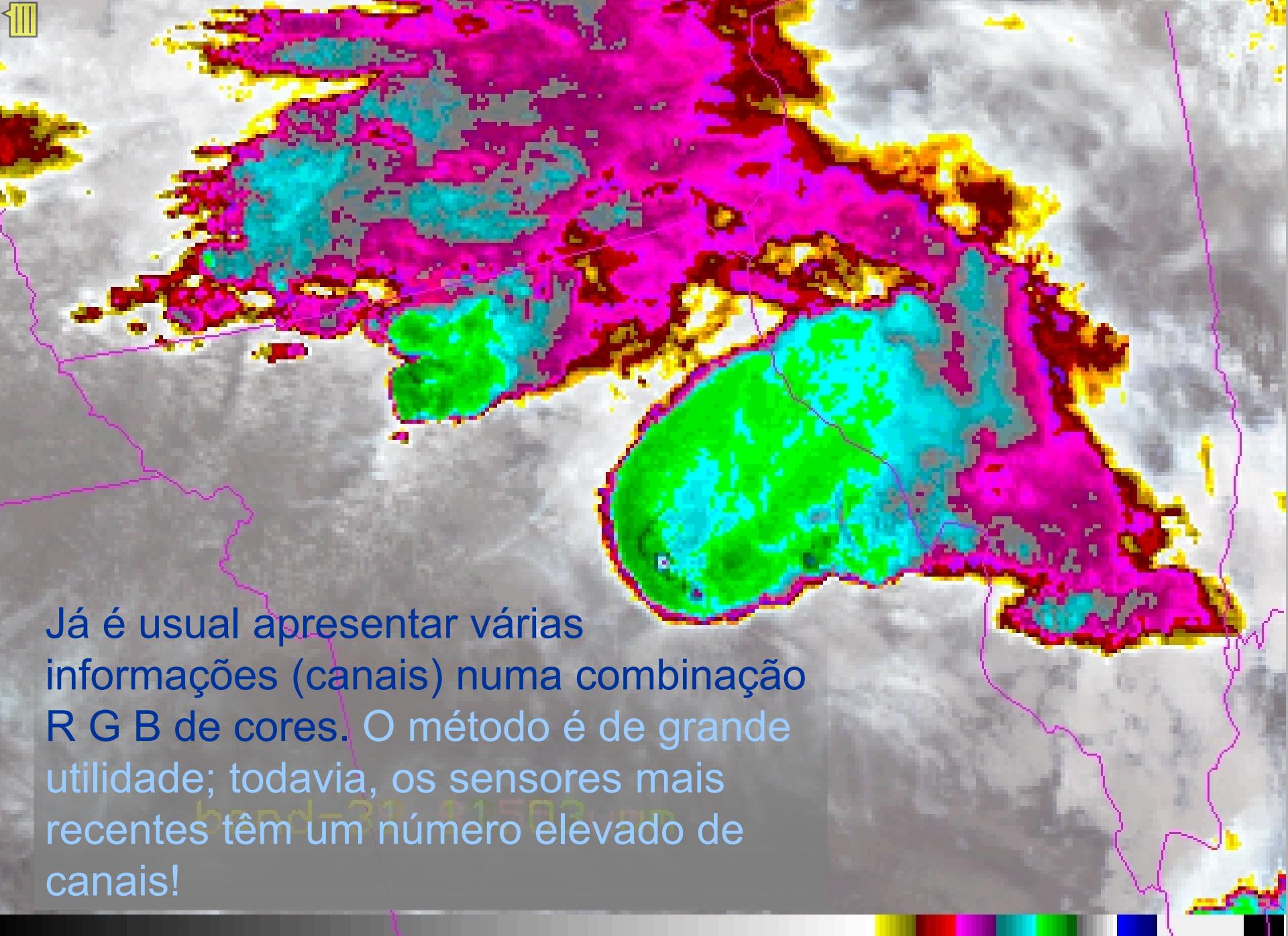


Combinação no IV termal



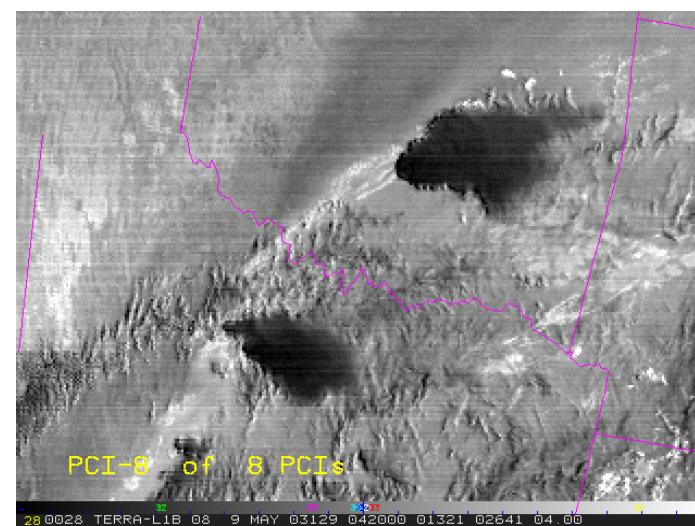
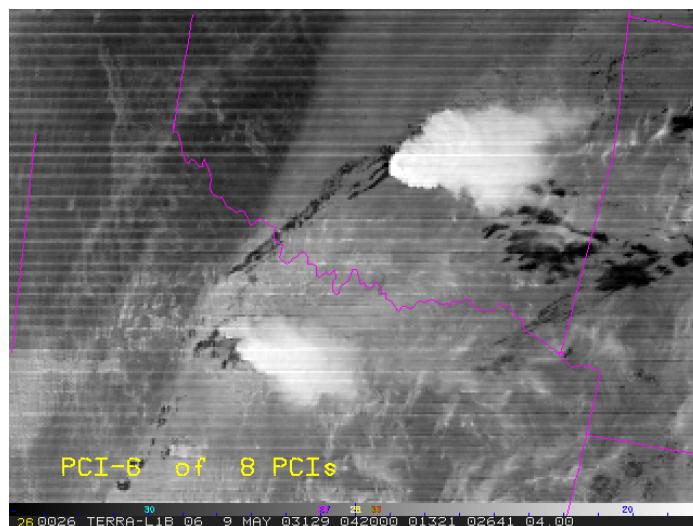
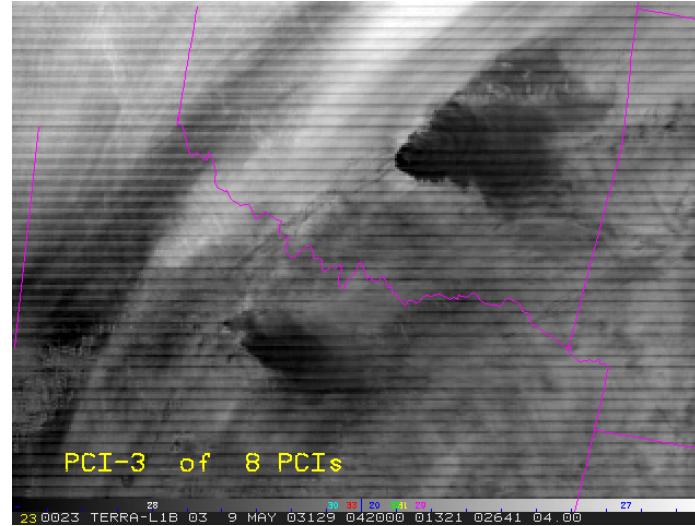
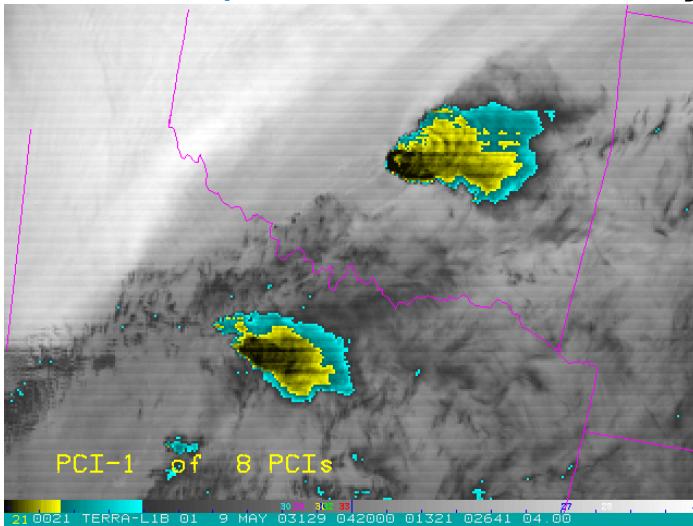
Combinação no espectro solar





Métodos avançados de cálculo:

A Análise em Componentes Principais (ACP) resume em poucos “canais equivalentes” a informação contida numa cena



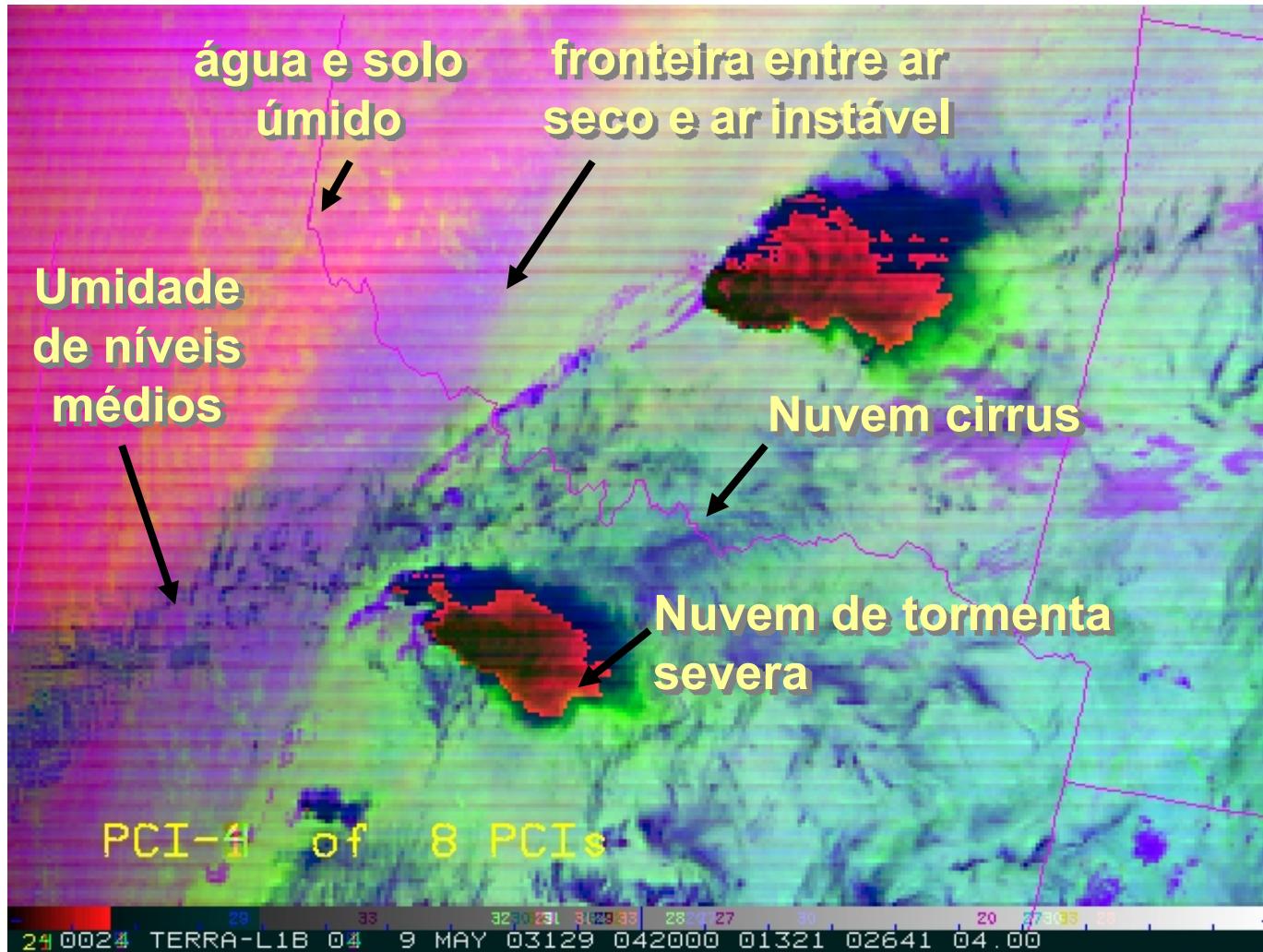
Cena obtida com MODIS, em 9 maio 2003.

Distribuição de quatro CPs (dentre oito **fatores principais significativos**)

Observe como são resgatadas propriedades diferentes

Métodos avançados de cálculo:

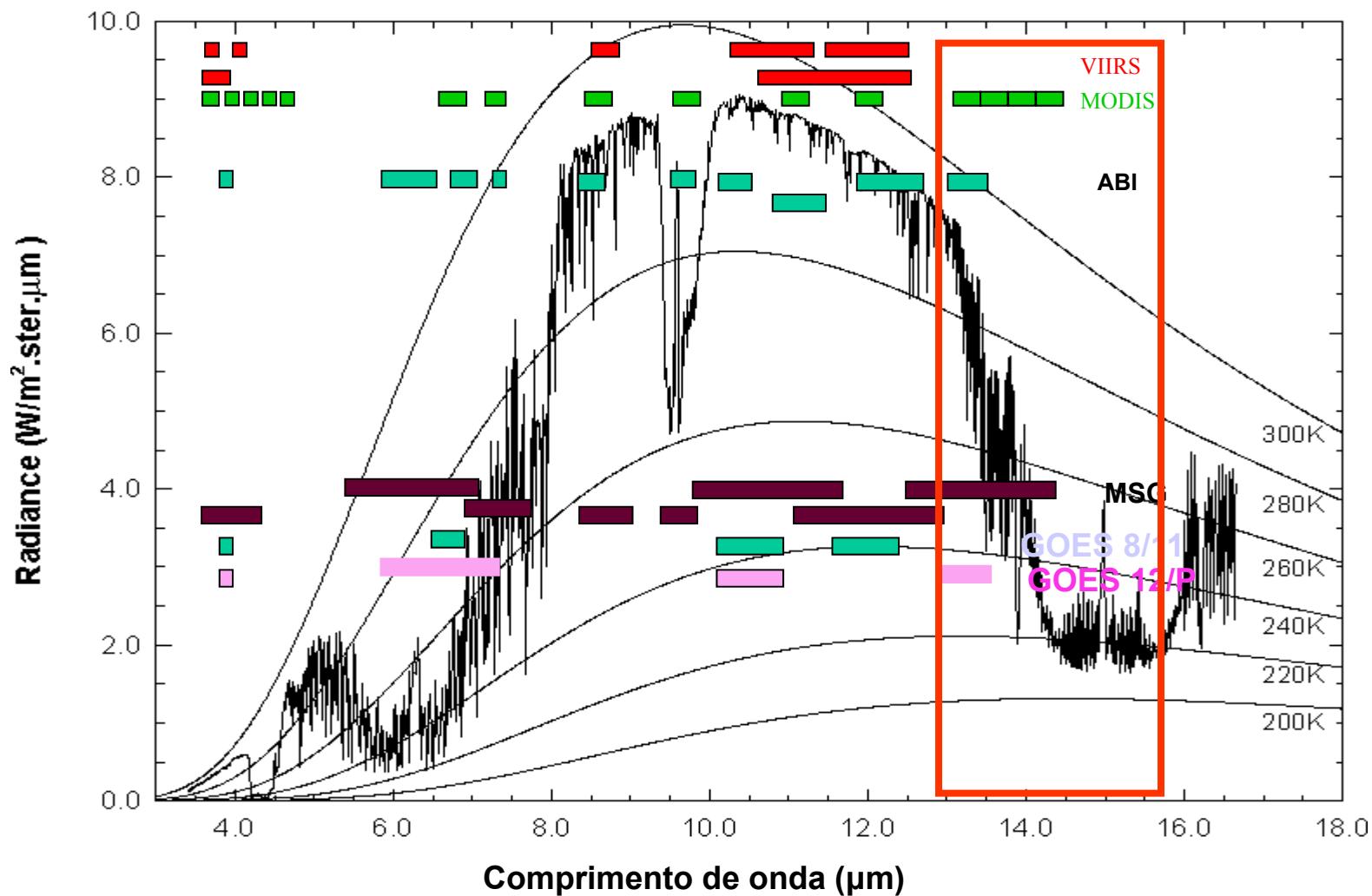
A Análise em Componentes Principais (ACP) reduz a informação contida numa cena a poucos “canais equivalentes”

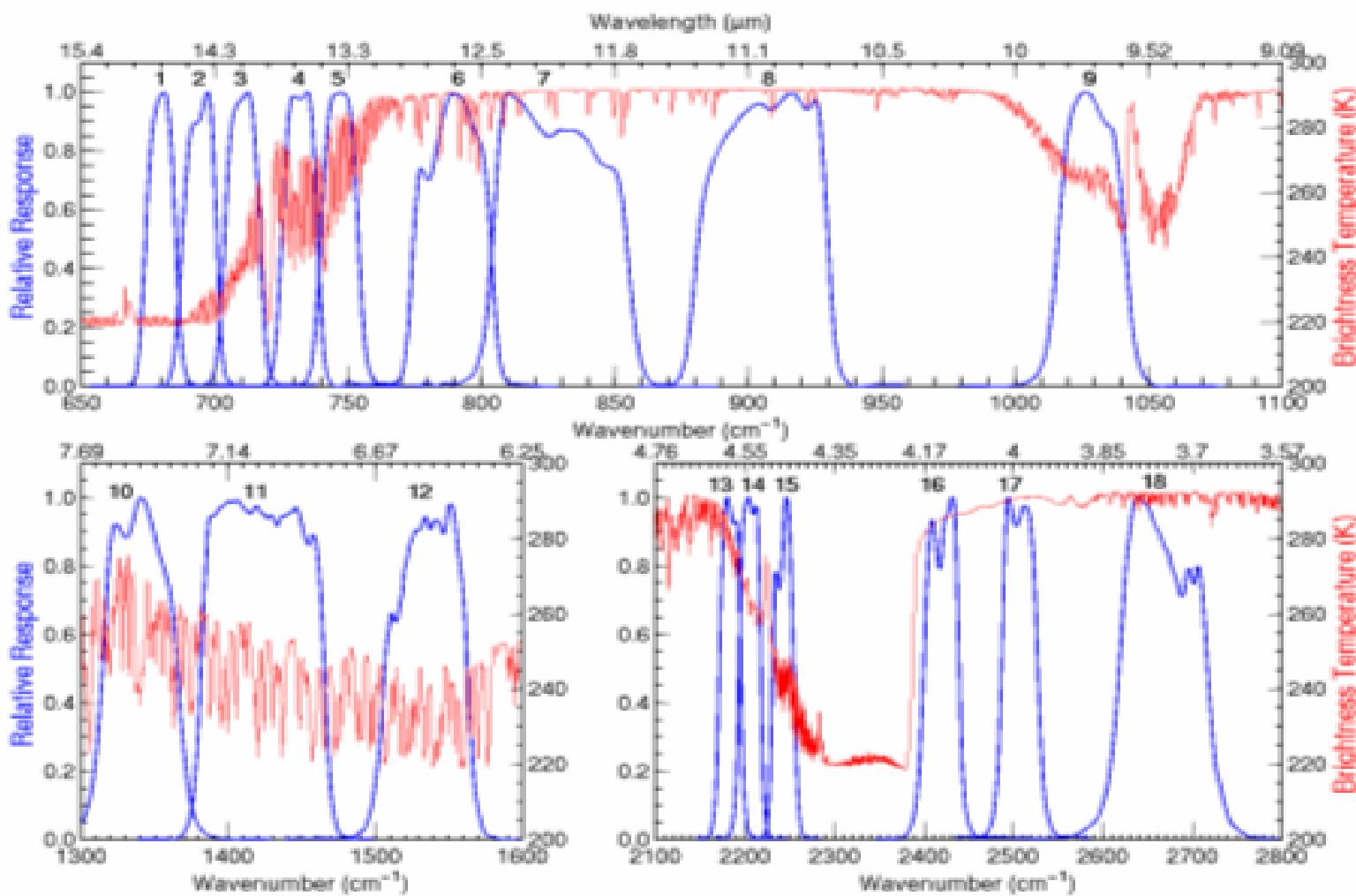


A mesma cena MODIS

Composição de algumas CPs em uma imagem RGB

Estimando perfis de temperatura: banda de absorção do CO₂ no IV termal





Curva em vermelho: espectro de radiação térmica terrestre entre 4 μm e 15 μm , em termos de temperaturas de brilho no topo da atmosfera (calculadas para uma atmosfera padrão de verão de latitudes médias, observando o nadir). *Escala de TB: direita.*

Curvas em azul: função resposta dos canais do Sondador GOES (série I-M). *Escala 0-1: esquerda.*

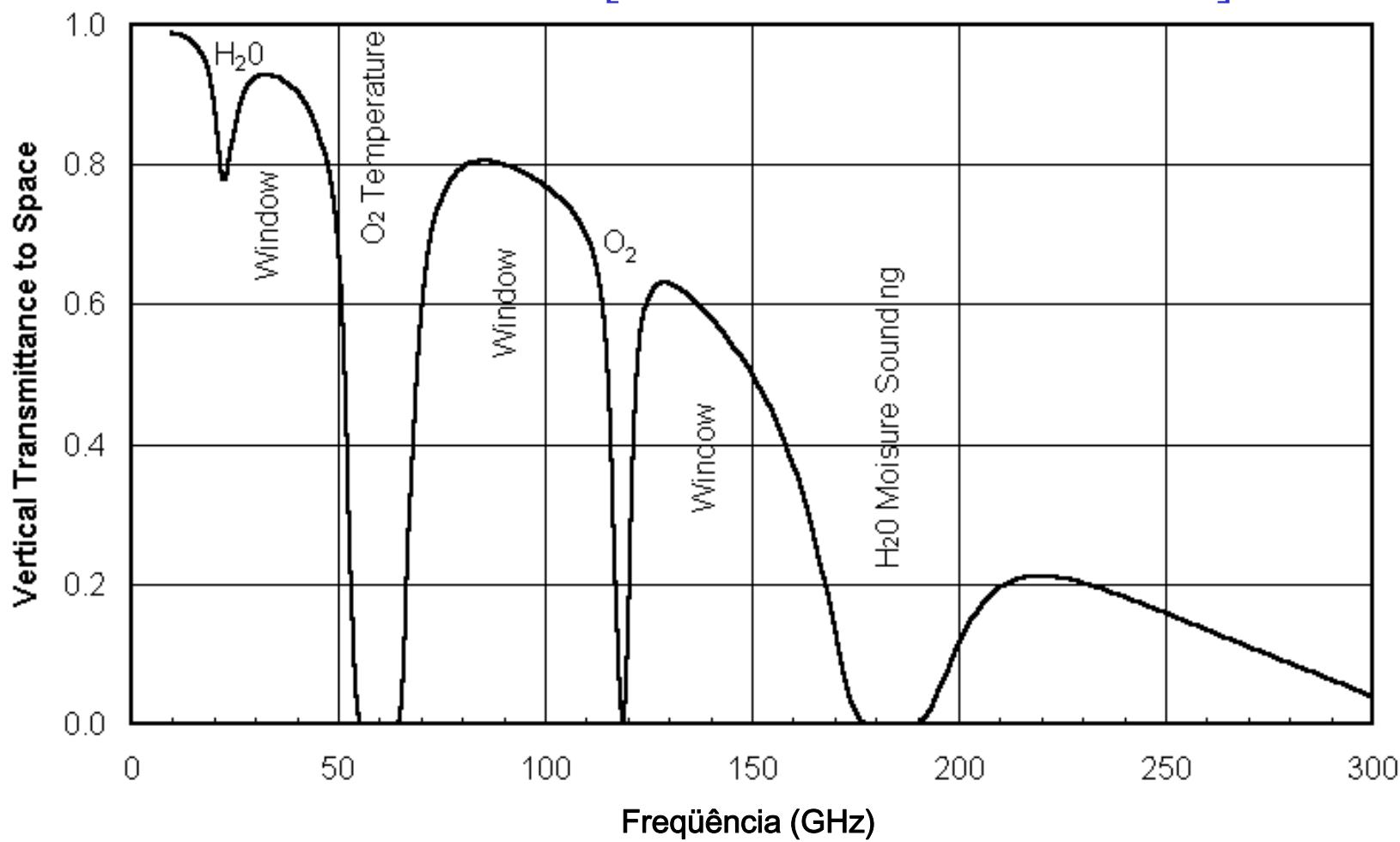
Wavenumber [freqüência] n (cm^{-1}): número de vezes em que λ está contido em 1 cm

A região espectral de microondas:

Algumas aplicações



Transmitância atmosférica vertical em microondas [$\nu = 100 \text{ GHz} \rightarrow \lambda = 3 \text{ mm}$]



Note as bandas intensas do **O₂** em 60 GHz e do **H₂O** vapor em 180 GHz



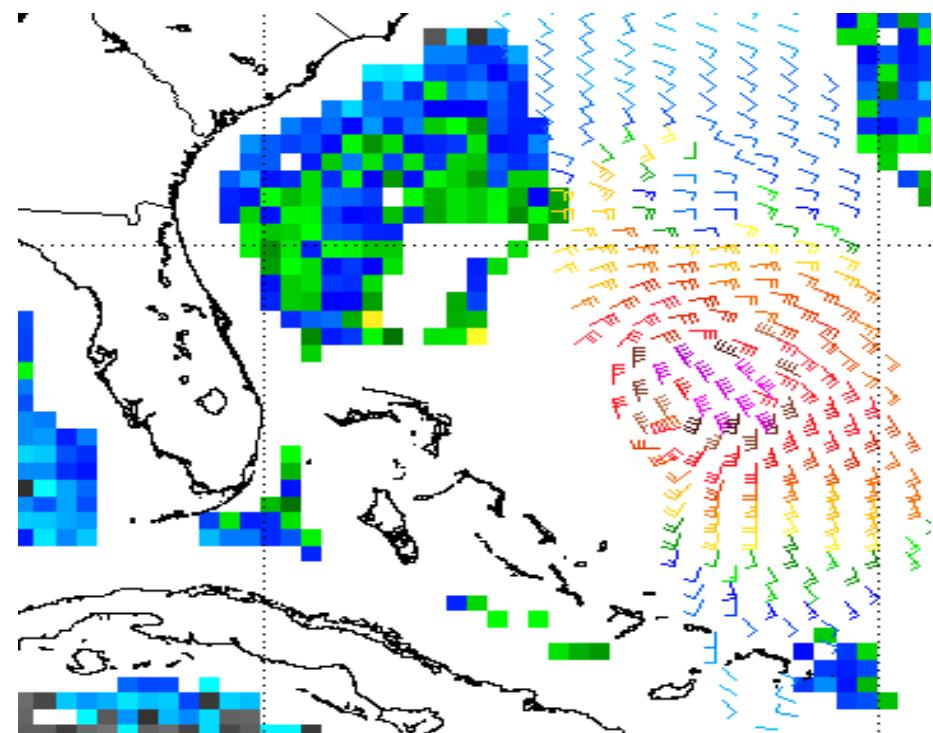
Oceano vs. Continente (interações principais e usos potenciais)

Freqüências	Processos em microondas	Uso potencial
AMSU 31, 50, 89 GHz	SSM/I 19, 37, 85 GHz	<ul style="list-style-type: none">• Grande contraste na emissividade de solo e água• Emissividade variável do solo• Emissividade do oceano varia:<ul style="list-style-type: none">-- liso vs rugoso,-- gelo vc água• Neve e gelo produzem dispersão

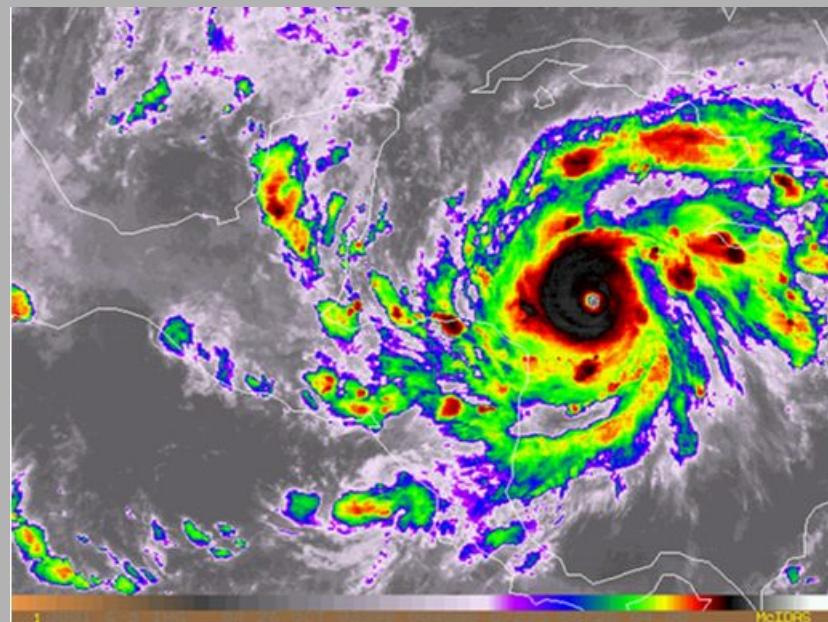
Estimativas de vento a partir de microondas:

SSM/I – sensor passivo
(Padrão de pixels verde-azul).
Apenas módulo

Scatterometer – sensor ativo:
módulo e direção



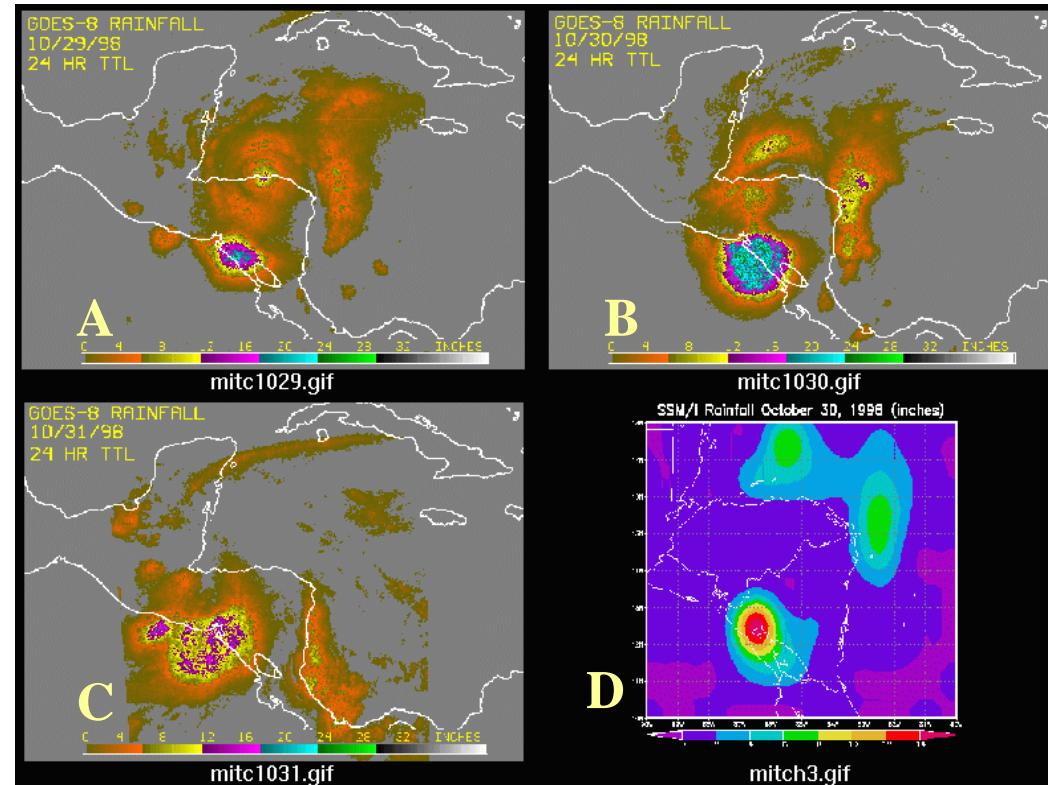
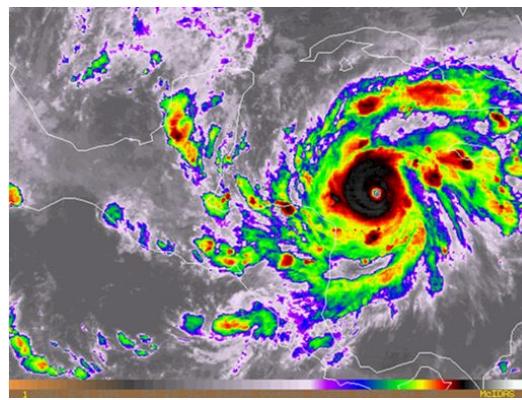
Inserir loop



Precipitação – água e gelo em nuvens

freqüências		Processos em microondas [w_L = conteúdo líquido, g/m ³]	Usos potenciais
AMSU	SSM/I		
31 GHz	19 GHz	Absorção e emissão por água em nuvem	[sobre oceanos]
50 GHz	37 GHz	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Gotas grandes / w_L elevado 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Água em nuvem e precipitação
89 GHz	85 GHz	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Gotas médias / w_L médio ▪ Gotas pequenas / w_L baixo 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Nuvens não-precipitantes
89 GHz	85 GHz	Dispersão por gelo em nuvem	Precipitação sobre oceano e continente

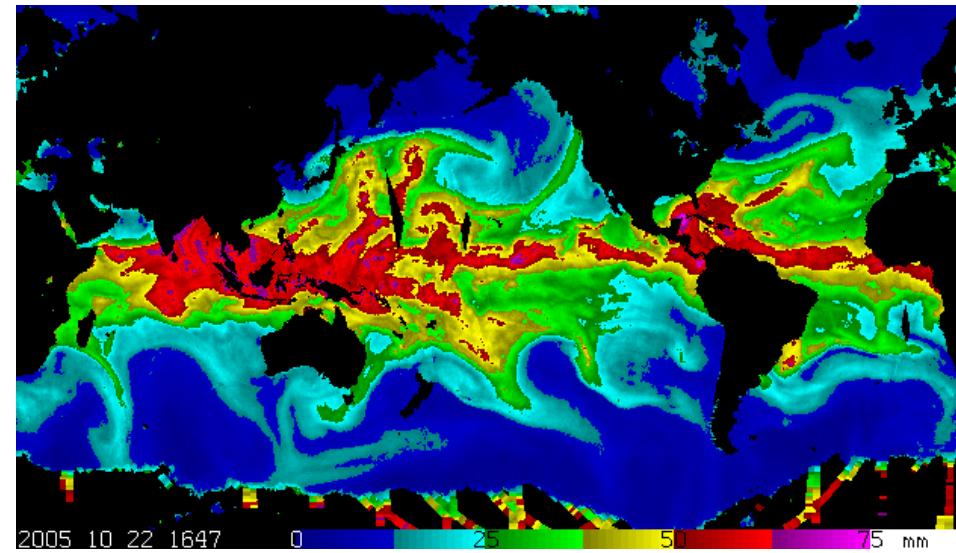
Imagen do furacão Mitchell (out. 1998): **GOES**, canal em 11 μm, TB realçada



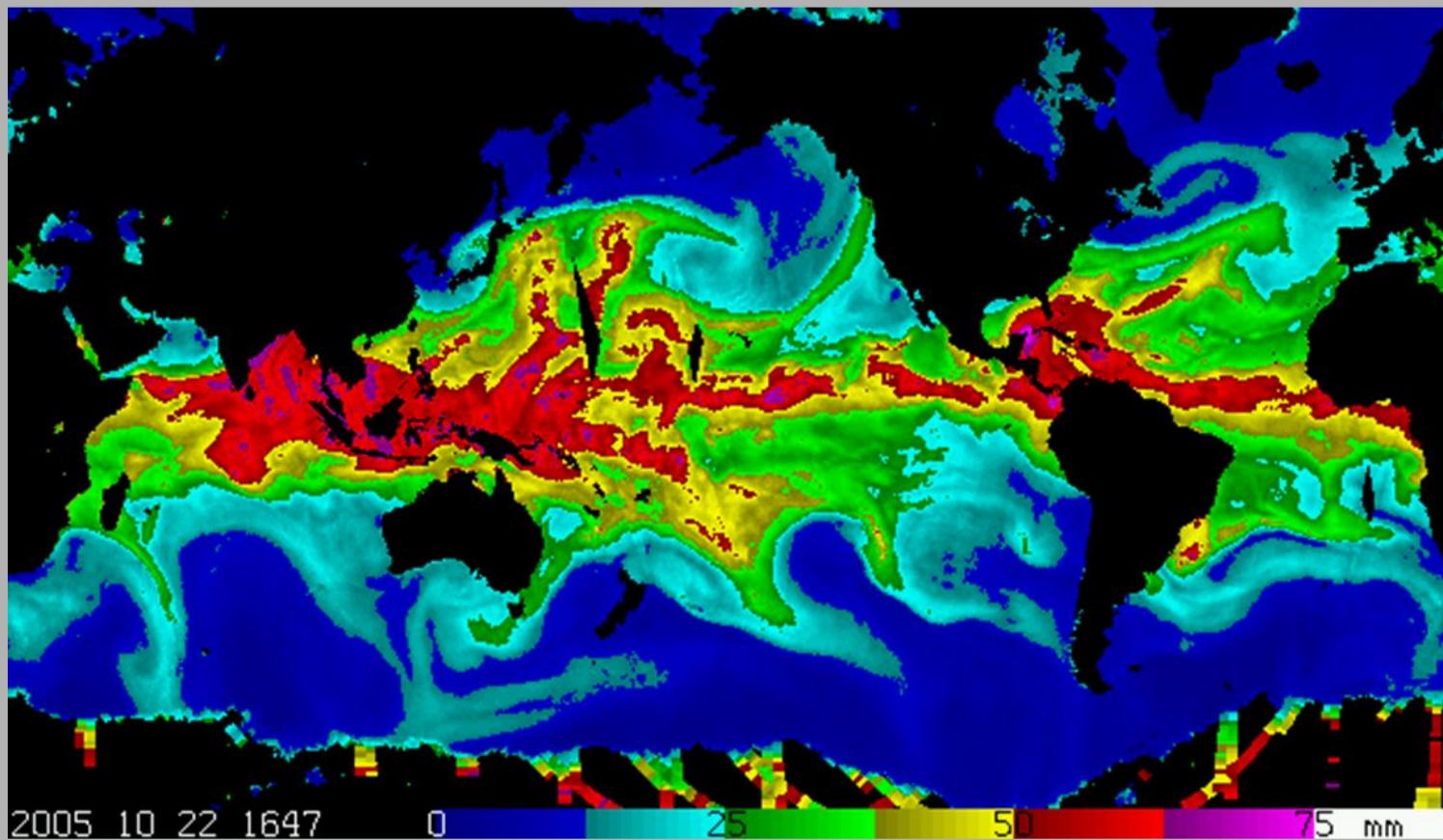
A,B,C: Estimativas de precipitação 24 horas (29, 30, 31 outubro 1998) usando canais termais do **GOES 8 Imager**
D: Estimativa para 30 de outubro usando **SSM/I**

Parâmetros meteorológicos			
Freqüências AMSU	SSM/I	Processos em microondas	Usos potenciais
23 GHz	22 GHz	<ul style="list-style-type: none"> Absorção / emissão pelo vapor d'água Absorção / emissão pela água líquida de nuvens Dispersão por gelo em nuvens 	<ul style="list-style-type: none"> Água precipitável (oceano) Água em nuvens e precipitação (oceano) Precipitação (oceano e continente)
31 50 89	19 37 85	<ul style="list-style-type: none"> Variações da emissividade de superfície <ul style="list-style-type: none"> Solo versus água Diferentes tipos de solo Diferentes superfícies oceano Dispersão por neve e gelo 	<ul style="list-style-type: none"> Fronteira solo / água Umidade em solos Tipo de cobertura vegetal Velocidade de vento oceano Cobertura neve e gelo
89 GHz	85 GHz		

Aplicação: água precipitável sobre os oceanos. Observe como a Zona de Convergência Intertropical é bem descrita, assim como a interação entre sistemas da latitudes tropicais e médias.



Inserir animação



Sensores ativos

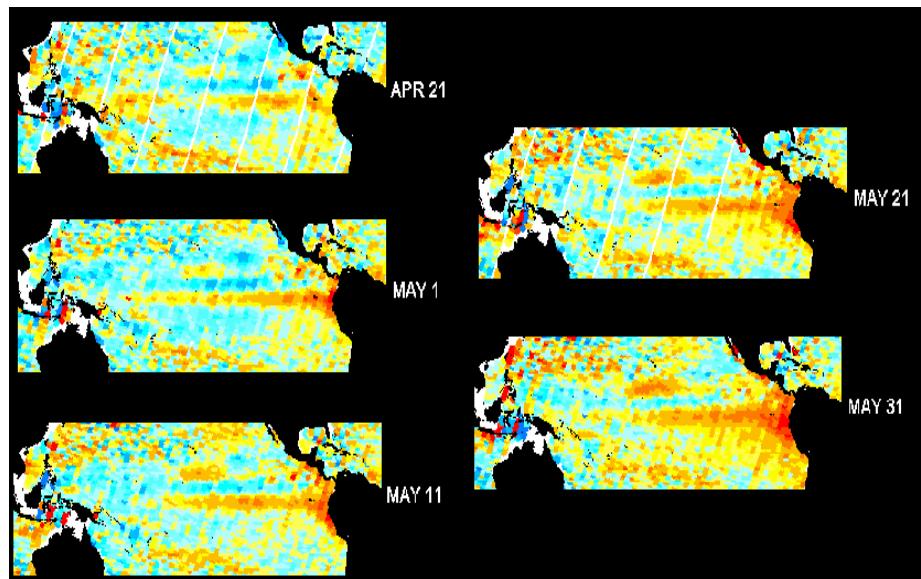
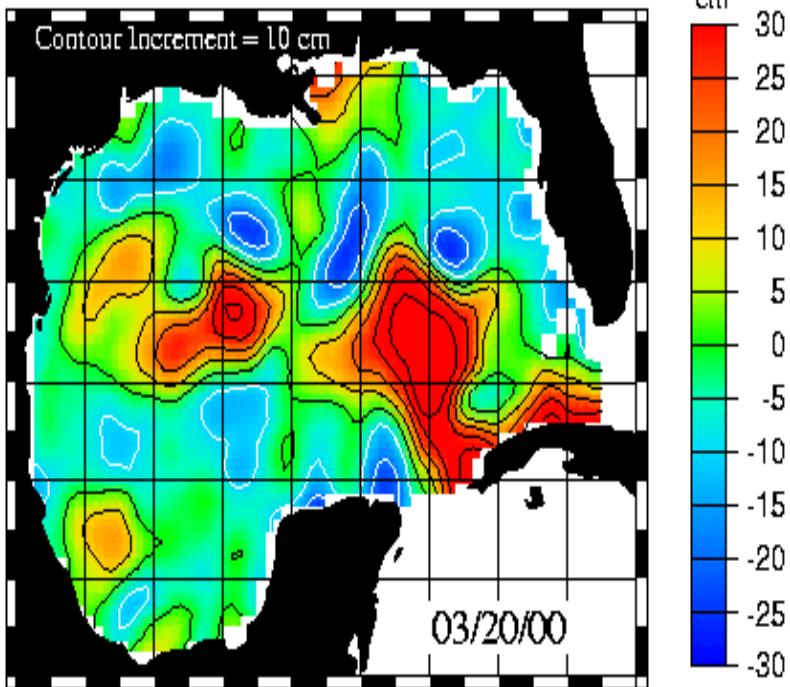
Um sensor ativo **emite pulsos de radiação** e detecta o **fluxo refletido** pelo elementos atmosféricos

Sensores ativos em satélites de pesquisa são usados para

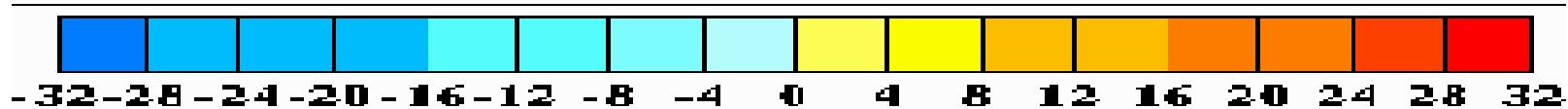
- **medir propriedades da superfície do mar**
(altimetria, direção e velocidade do vento, características de campos de gelo, monitoramento de icebergs);
- **medir precipitação sobre continente e oceano:**
muitos destes produtos estão disponíveis para uso em Centros Nacionais de Meteorologia e Hidrologia.

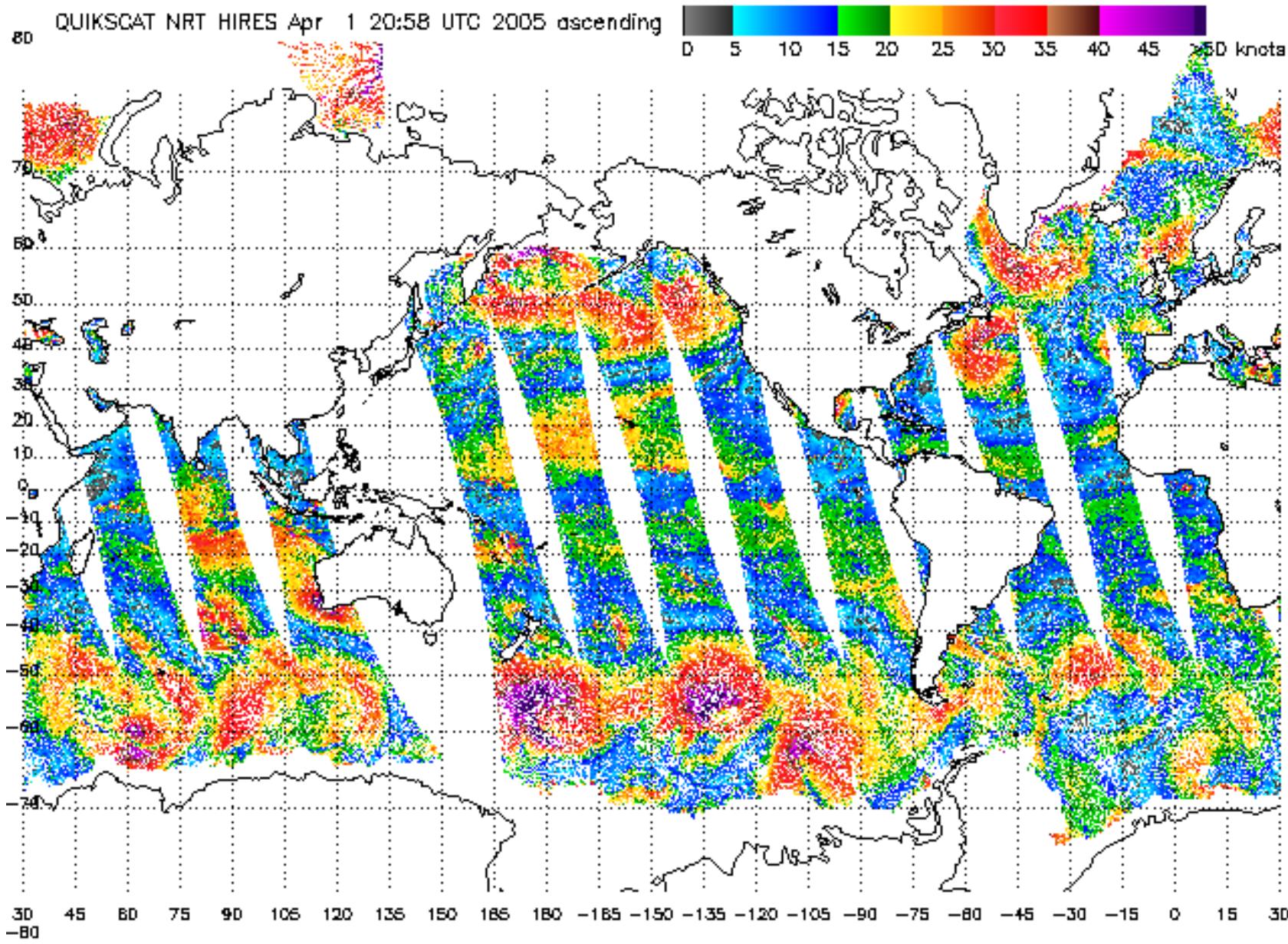
Altimetria por satélite

Anomalia do nível do mar
sobre o Golfo do México



Mapas de anomalia do nível do mar sobre o Pacífico Equatorial, mostrando o aumento do nível do mar a oeste da costa oeste da América do Sul, acompanhando o início do El Niño

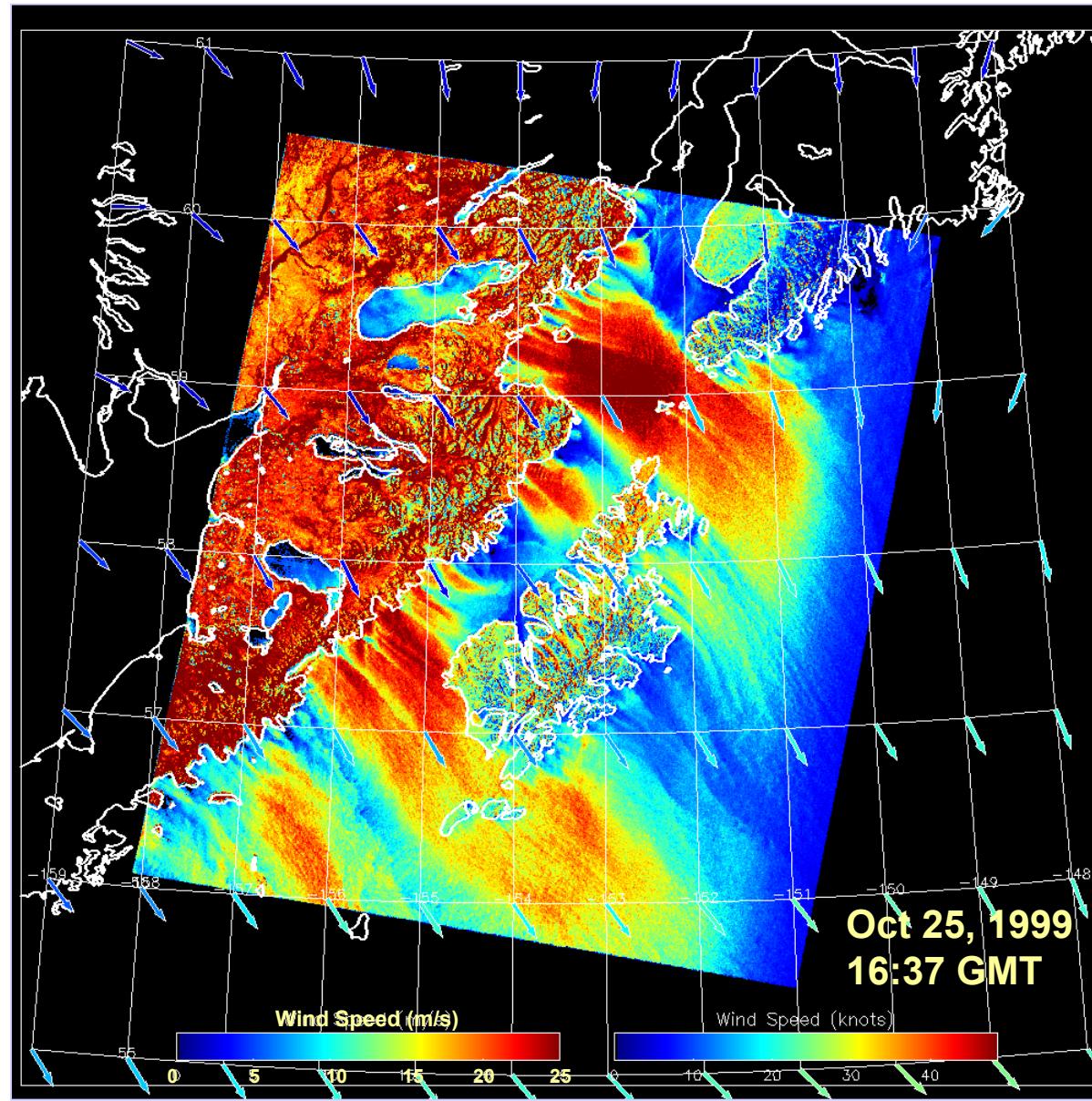




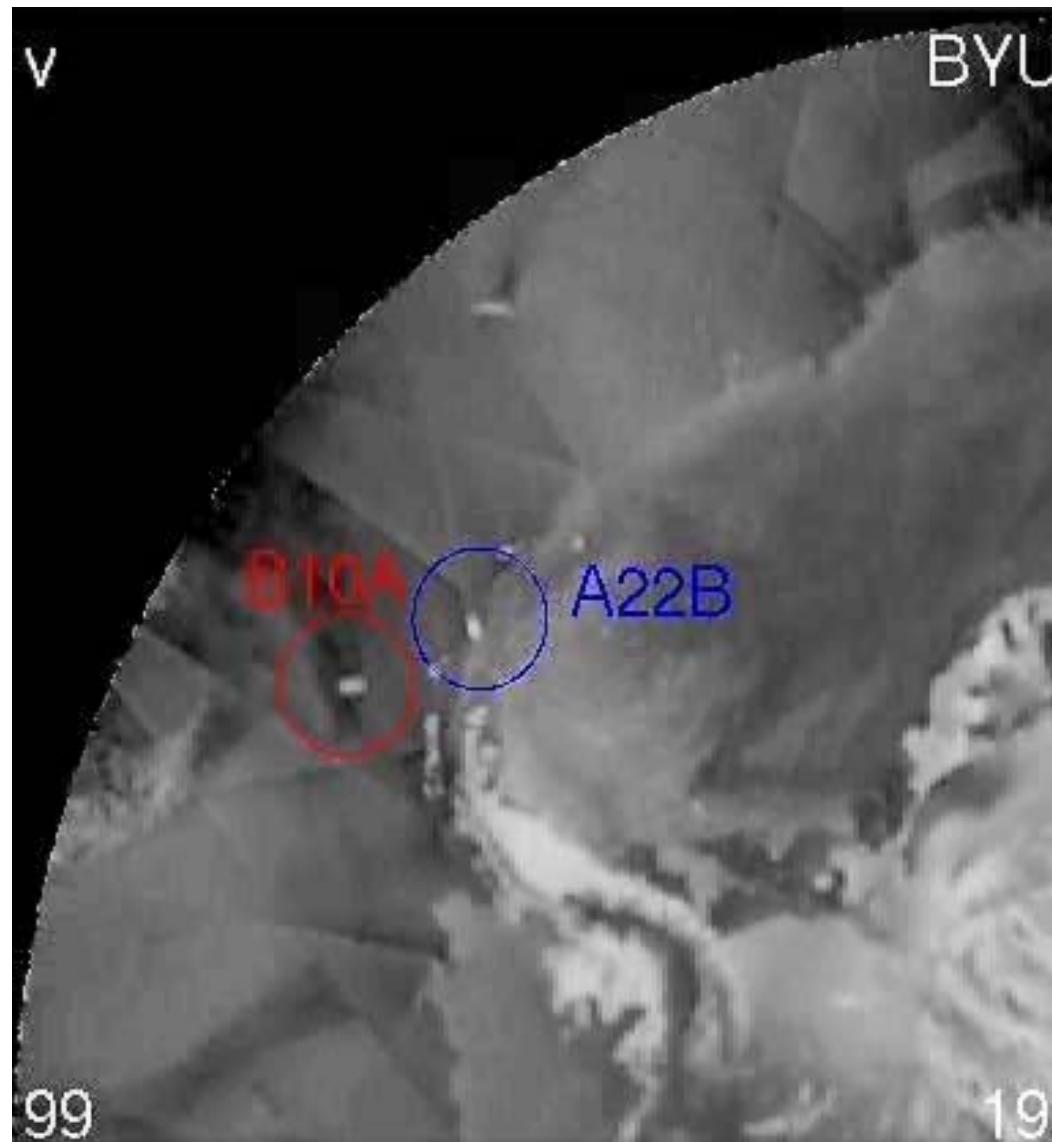
Exemplo de cobertura global de vento superficial pelo **QuickSCAT**, 1º de abril de 2005.



Produto de velocidade do vento do SAR (Synthetic Aperture Radar)



Acompanhamento de icebergs pelo SAR, monitoramento de crosta de gelo e gelo marinho



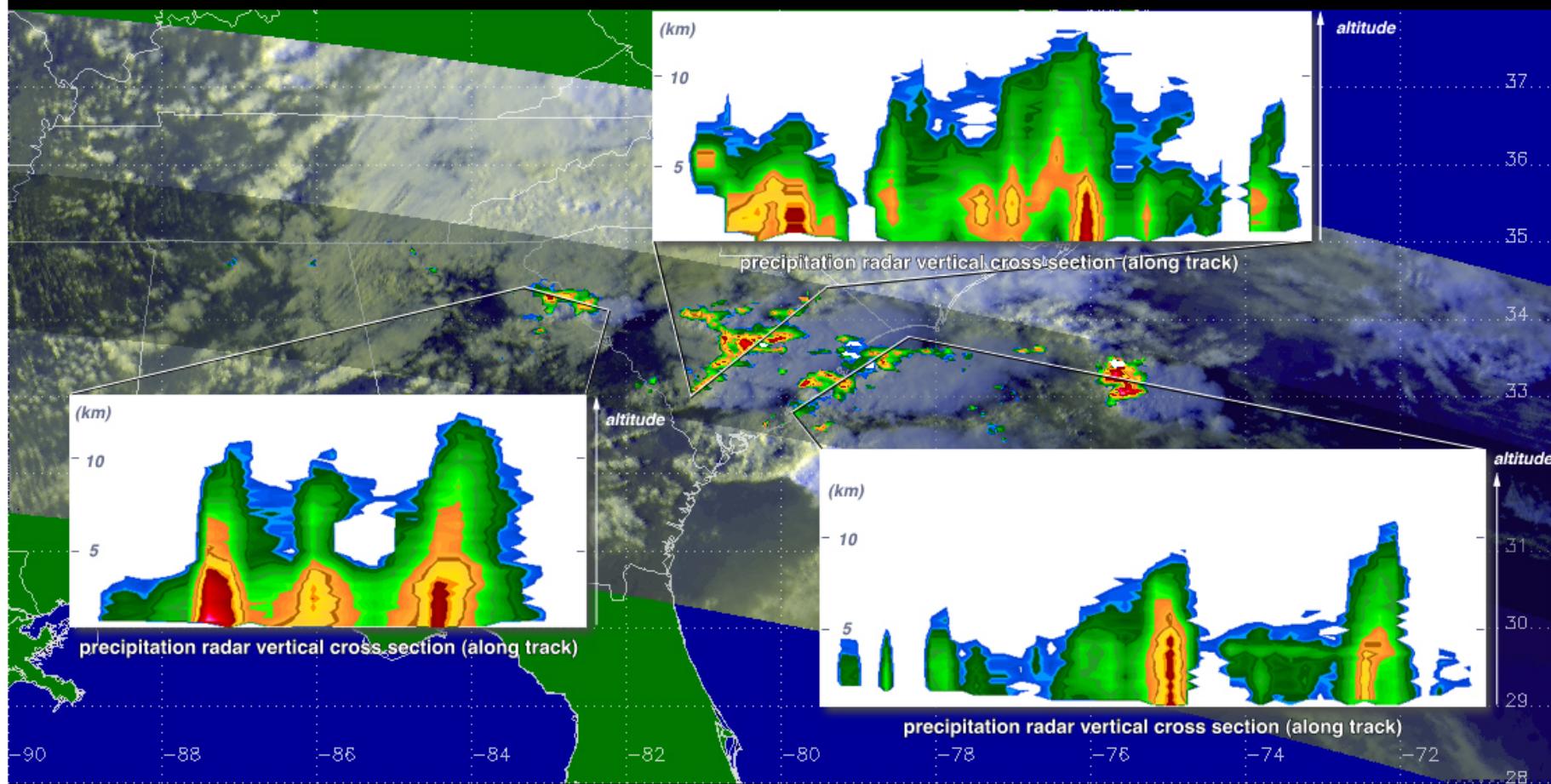


Seções transversais pelo radar do TRMM (NASA/GSFC web site).

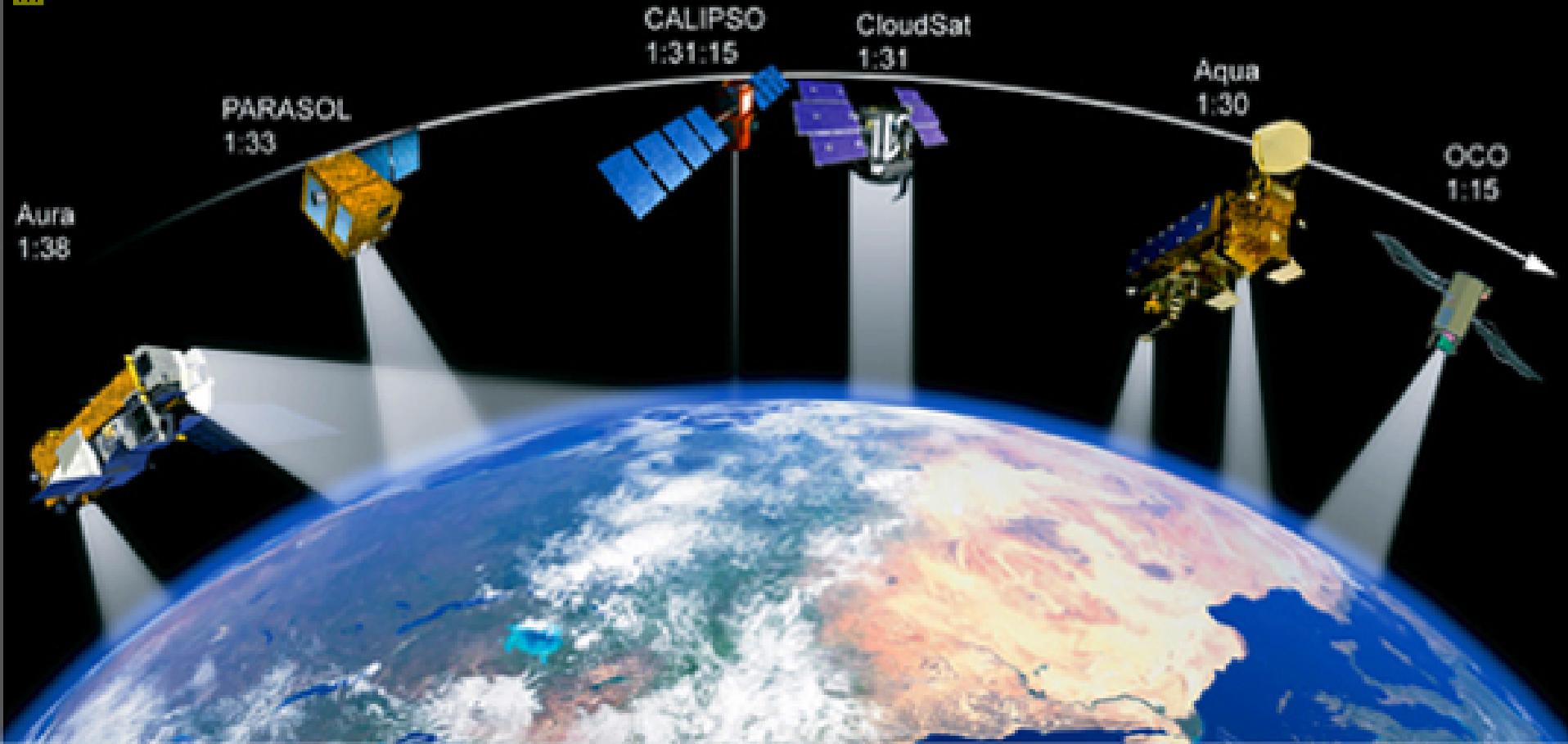
Tropical Rainfall Measuring Mission



NASDA
NATIONAL SPACE DEVELOPMENT AGENCY OF JAPAN

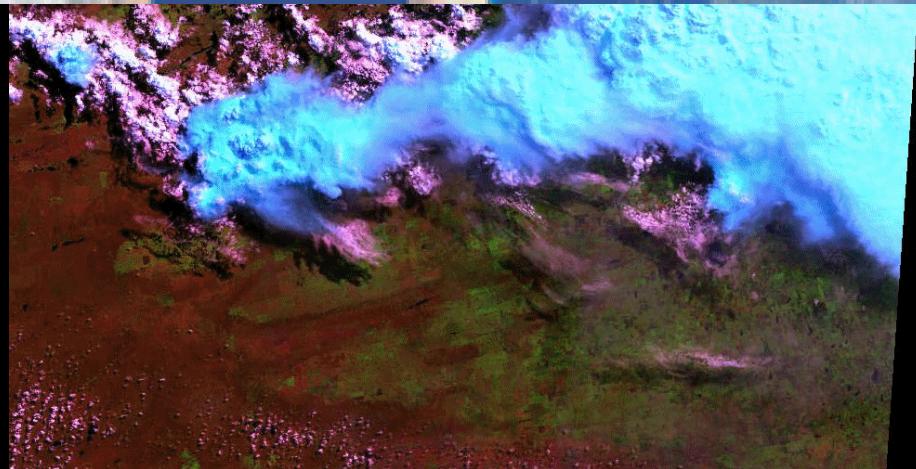


"Three vertical cross-sections through storms on March 10, 1998"



A formação “A Train” com seus horários de cruzamento do equador. Em princípio, todos os satélites seguem a mesma trajetória.

A imagem à esquerda foi obtida pelo **Terra**, **SAC-C** e **Landsat-7** (num intervalo total de 40 minutos)



Conclusão da Lição B

- Mais informação sobre bandas espectrais e suas aplicações encontra-se na VRL (Virtual Resource Library).
- Em caso de não dispor do CD que contém a informação VRL, pode usar internet para ir ao site da OMM e acceder o WMO Satellite Program para entrar no Virtual Laboratory.