

Oceanografia por Satélites

Radiômetro de Infra-Vermelho e Medidas de TSM

Paulo S. Polito, Ph.D.

polito@usp.br

Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo
<http://los.io.usp.br>
Laboratório de Oceanografia por Satélites

- 1 Introdução
 - Motivação
 - Órbitas
 - Teoria Eletromagnética
- 2 Radiômetro de Infra-Vermelho
 - Bandas Espectrais
 - Cal-Val
 - Limitações
 - Aplicações

Roteiro

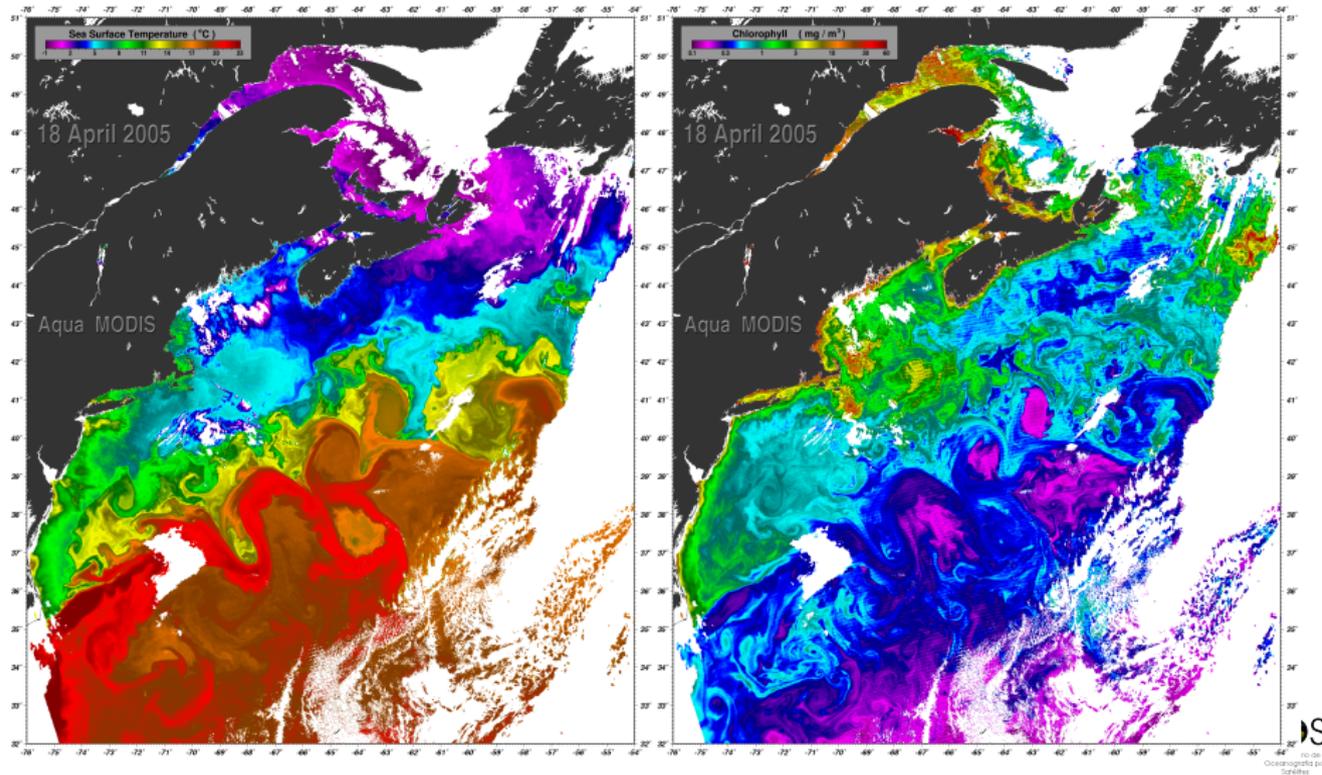
1 Introdução

- Motivação
- Órbitas
- Teoria Eletromagnética

2 Radiômetro de Infra-Vermelho

- Bandas Espectrais
- Cal-Val
- Limitações
- Aplicações

Temperatura da Superfície do Mar (e clorofila)

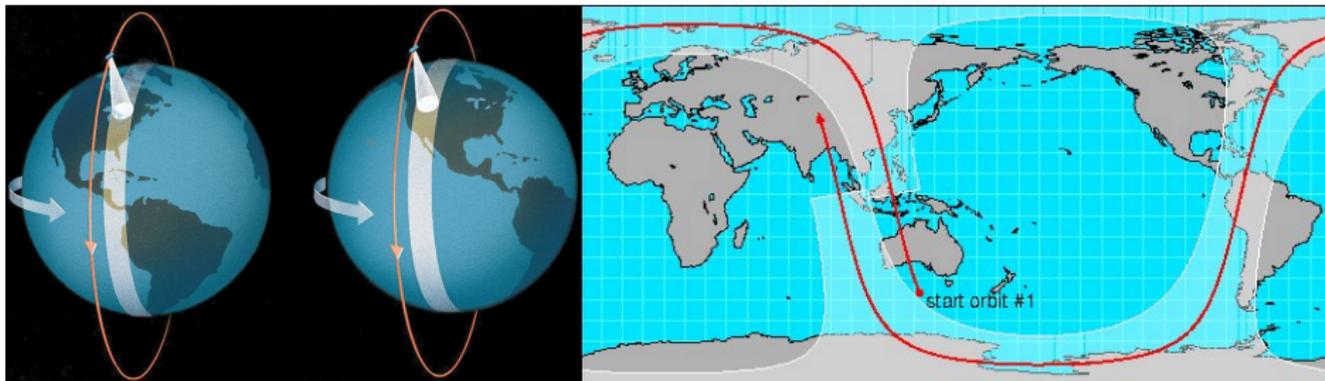


Motivação

- O Radiômetro de Infra-Vermelho foi o primeiro instrumento orbital a se tornar **operacional**.
- Suas imagens revelaram detalhes da circulação e ganharam a aceitação da comunidade oceanográfica há mais de 25 anos.
- Os padrões de variabilidade da temperatura podem ser usados para se inferir a presença de frentes, vórtices, correntes e ondas de larga escala.
- A TSM provê a condição de contorno inferior para os modelos de previsão do tempo e clima.
- Além disso, a meteorologia se beneficia também das medidas de temperatura no topo das nuvens.

Órbita Polar

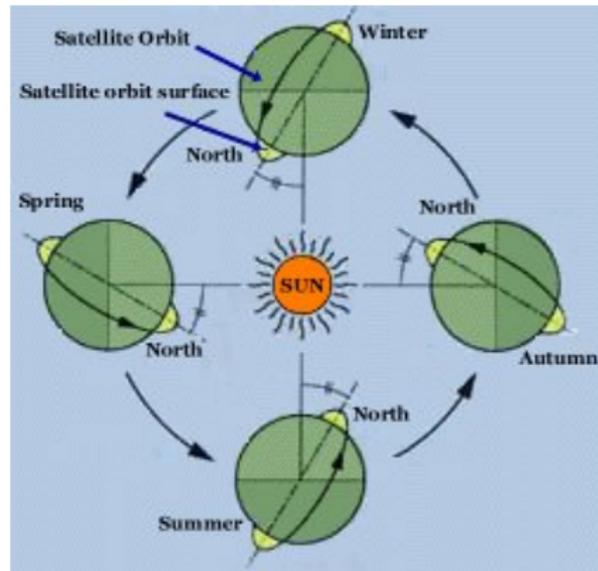
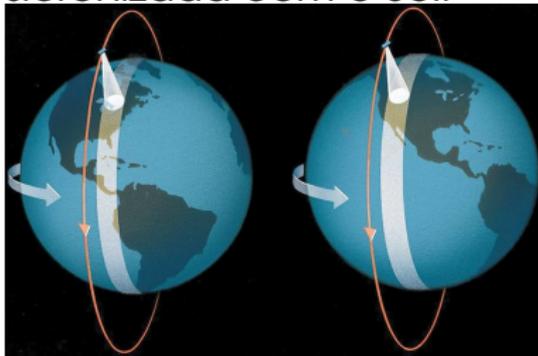
Por estarem em órbita quase-polar, vários satélites portadores de radiômetro de microondas de alta resolução provêem **cobertura global diária**. Por isso este curso discutirá primariamente estes satélites.



Exemplos: AVHRR, ATSR, OCTS, MODIS e GLI.

Órbita Sincronizada com o Sol

Muitos destes satélites estão em órbita sincronizada com o Sol.



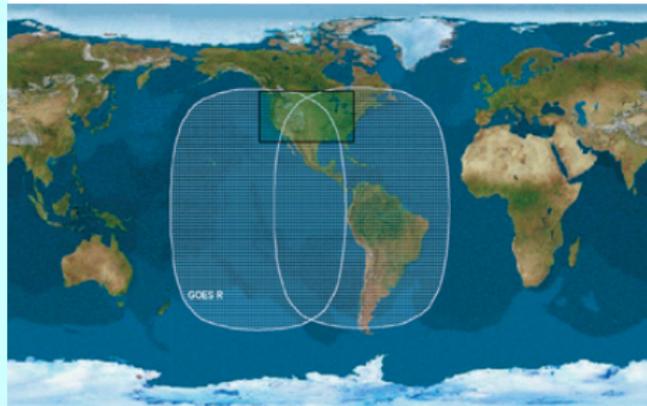
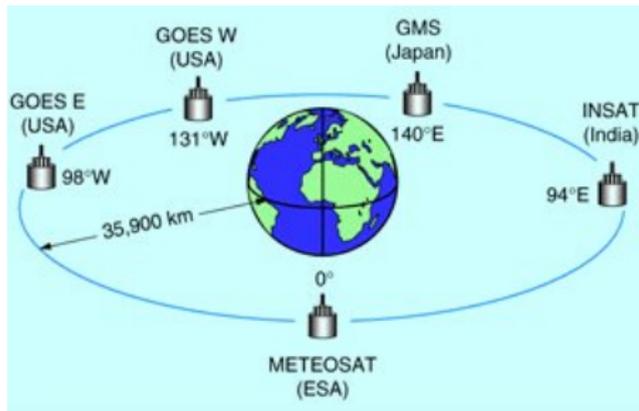
A vantagem é que a posição relativa local entre o satélite e o Sol não muda durante o ano, mantendo o efeito da radiação solar aproximadamente constante **no ano**.

Isto tem sido crucial nos estudos sobre aquecimento global.

Órbita Geoestacionária

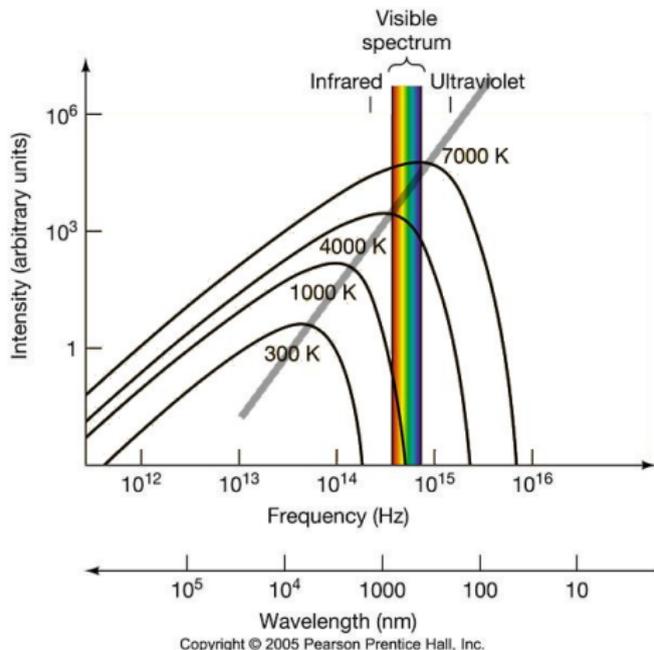
A órbita geoestacionária no plano do equador é utilizada em aplicações meteorológico–oceanográficas.

A Grande vantagem é a resolução temporal.



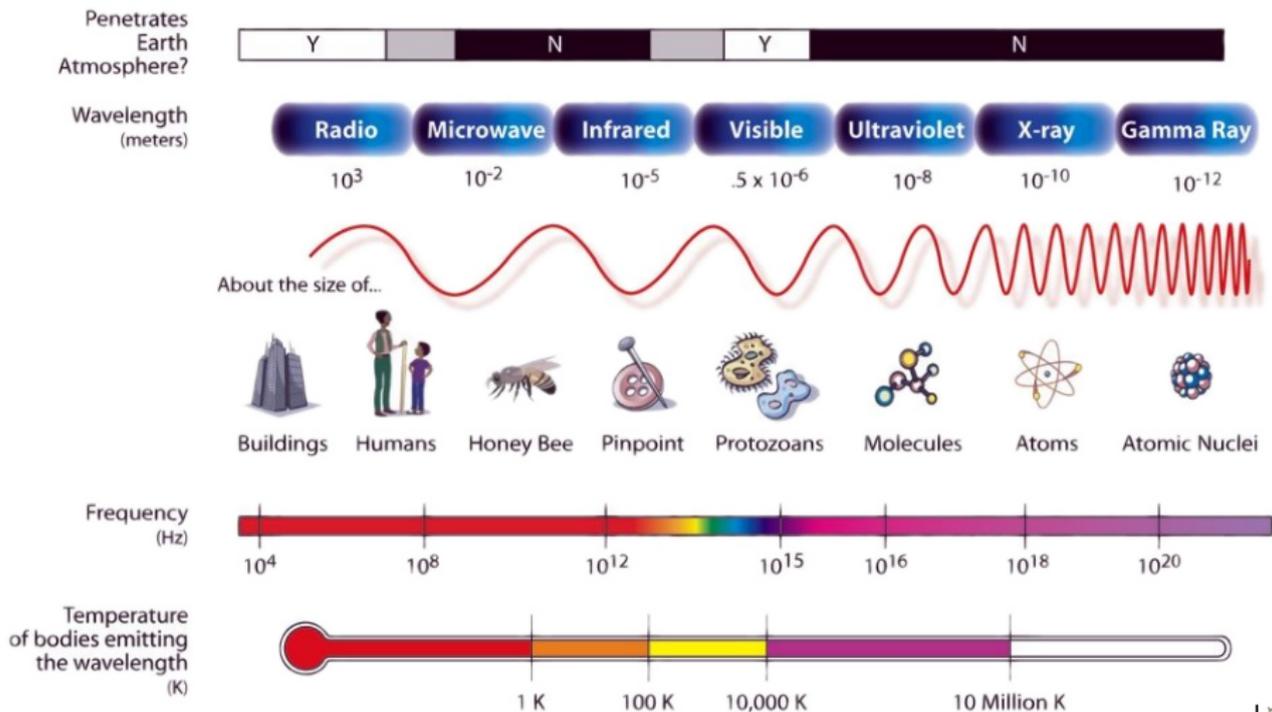
Exemplos: Meteosat, GOES, MSG, and AIRS.

Emissão da Terra e do Sol

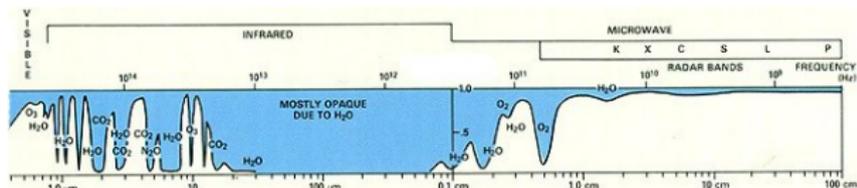
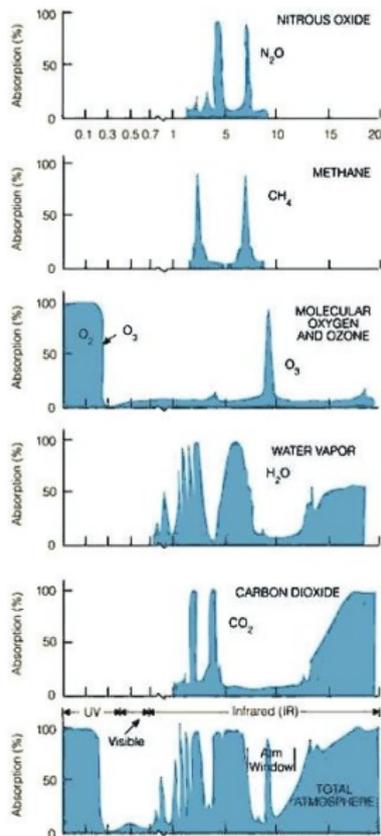


- $\lambda_{max} = \frac{k}{T}$
- O sol está a aproximadamente 5800K.
- O pico da emissão solar é no espectro visível.
- A Terra está em média a 300K.
- O pico de emissão da Terra é no infra-vermelho.
- O Sol emite mais energia que a Terra para todo λ .

Espectro Eletromagnético



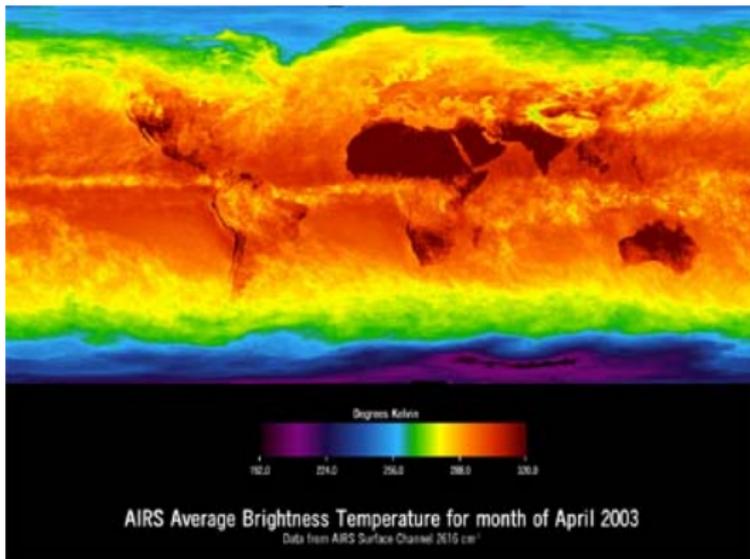
Janelas Atmosféricas



- A combinação dos espectros de absorção da atmosfera torna a atmosfera opaca a alguns comprimentos de onda e transparente a outros.
- Os principais componentes são N₂O, CH₄, O₂, O₃, CO₂ e H₂O.
- A diferença entre a absorção na banda do visível (do Sol) e do infra-vermelho (da Terra) cria o efeito estufa.

Temperatura de Brilho

- T_b é a temperatura de um corpo negro que emite a radiância medida.



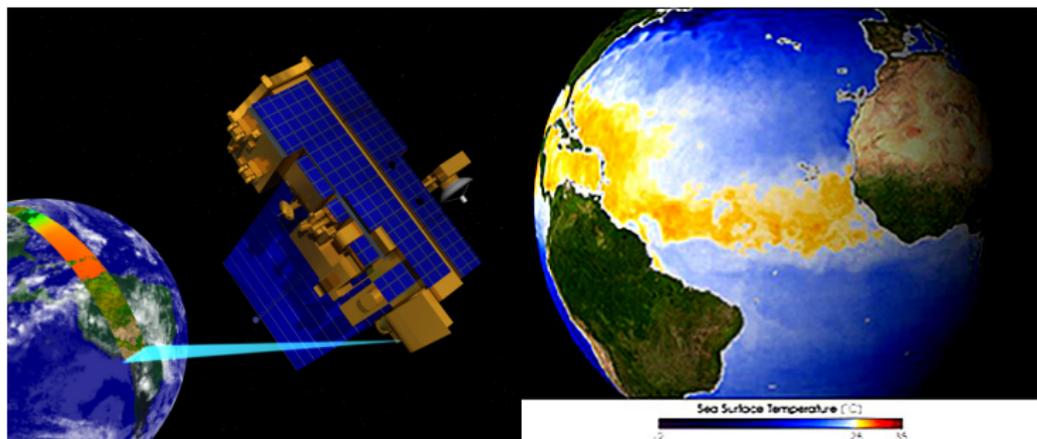
- Emissividade ϵ é a razão entre a exitância de um corpo e a de um radiador ideal.
- Na prática a T_b do sensor difere da observada na superfície pois
 - $\epsilon_o \simeq 0.98 \neq 1$;
 - há interferência atmosférica

Roteiro

- 1 Introdução
 - Motivação
 - Órbitas
 - Teoria Eletromagnética

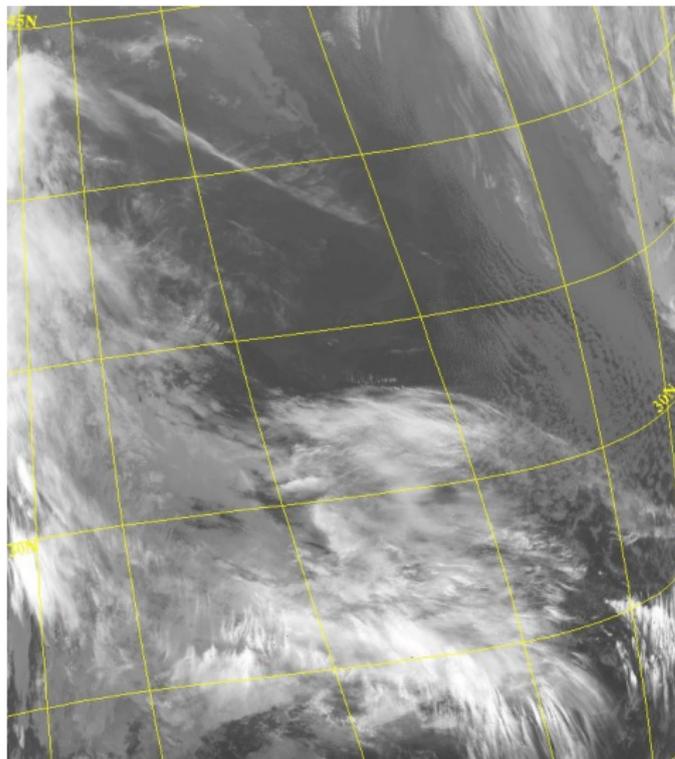
- 2 Radiômetro de Infra-Vermelho
 - Bandas Espectrais
 - Cal-Val
 - Limitações
 - Aplicações

Radiômetros de Infra-Vermelho



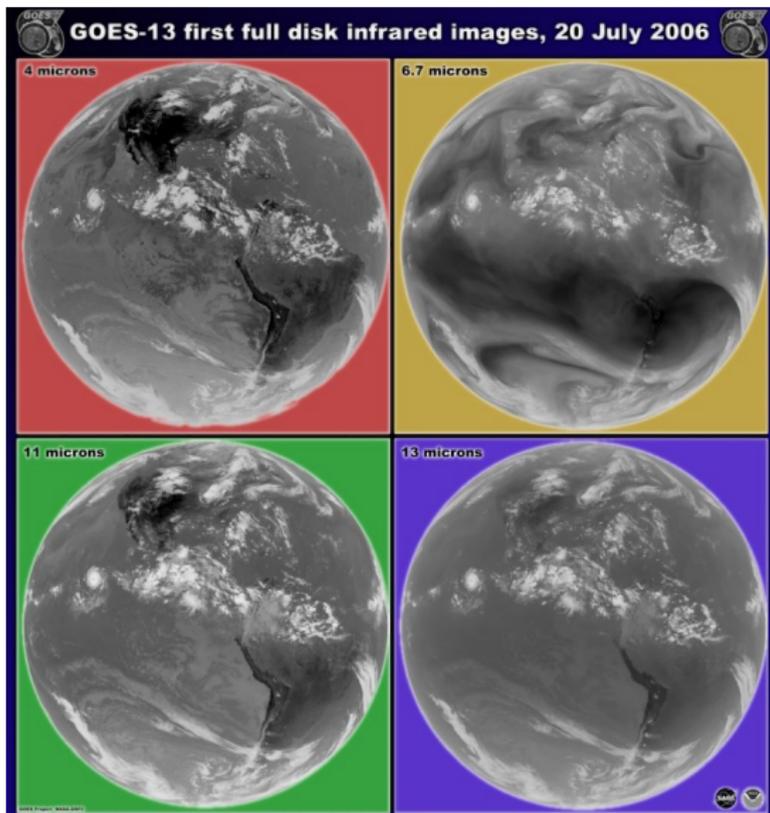
Sensor	Lanç.	Bandas I-V μm
AVHRR/NOAA	1981	3.55-3.93 10.3-11.3 11.5-12.5
ATSR/ESA	1991/1995	3.55-3.85, 10.3-11.3, 11.5-12.5
AATSR/ESA	2002	3.55-3.85, 10.4-11.3, 11.5-12.5
MODIS/NASA	1999	3.660-3.840, 3.929-3.989, 3.929-3.989, 4.020-4.080, 10.780-11.280, 11.770-12.270

Pontos a Ponderar

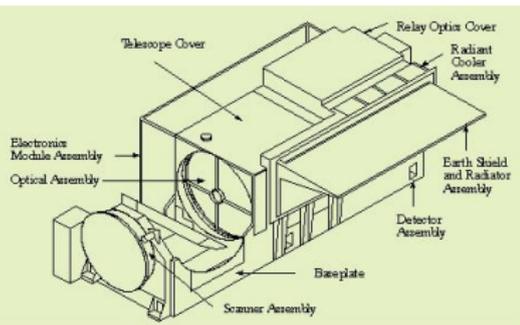
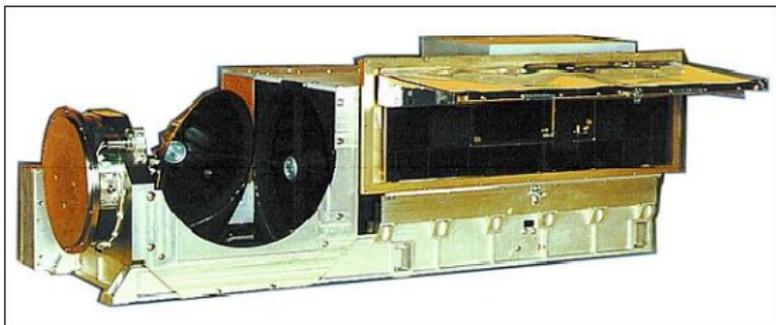


- Os Radiômetros de IV são sensores passivos.
- As nuvens não são transparentes ao IV.
- A $10 \mu\text{m}$, a emitância solar é $300 \times$ a do mar; mas a irradiância no topo da atmosfera é 3×10^{-2} a do mar. Porque?
- A $3.7 \mu\text{m}$ a irradiância no topo da atmosfera é similar à do mar \Rightarrow medidas noturnas.

Medidas em Vários Canais

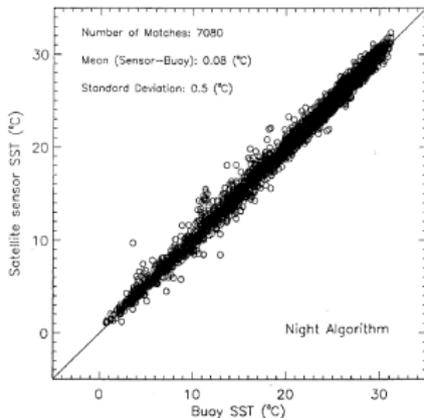
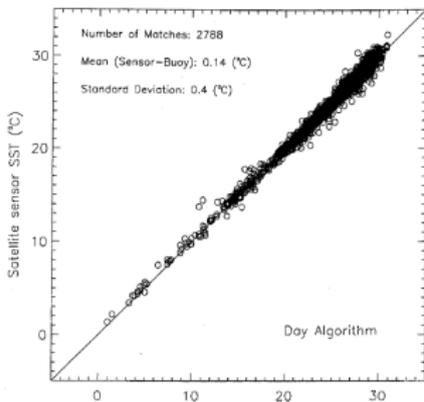


Calibração



- A variabilidade interna (ruído) do instrumento é uma das maiores fonte de erro.
- Este ruído na radiância medida é convertido em temperatura (Planck) e ganha o apelido de *Noise-Equivalent ΔT* .
- Os valores de $NE\Delta T$ são em torno de 1K para os sensores mais antigos (VHRR) e 0.1K para os mais recentes (AVHRR3).

Correção Atmosférica



- modelo teórico baseado na equação da transferência radiativa para cada canal;
- **algoritmo multi-espectral**, os coeficientes de um polinômio que combina a T_B em vários canais são ajustados às observações *in-situ*;
- regressão direta tem problemas por causa da variabilidade vertical;
- algoritmos semi-físicos são baseados na equação da transferência radiativa mas dependem de dados de sondas atmosféricas.

Algoritmos para Cálculo da Temperatura

- Primeira aproximação (MCSST):

$$T_f = B_1(T_4) + B_2(T_4 - T_5) + B_3(T_4 - T_5)(\sec(\zeta) - 1) - B_4$$

- Algoritmo não-linear (NLSST):

$$T_{sm} = A_1(T_4) + A_2(T_4 - T_5)T_f + A_3(T_4 - T_5)(\sec(\zeta) - 1) - A_4$$

- ζ é o ângulo zênite, T_n em Kelvin, T_{sm} em Celsius.
- A e B dependem do sensor e de horário dia/noite.
- Por exemplo, vejamos o MCSST Global para o NOAA14, Dia:

$$T_{sm} = .9506T_4 + .0760T_f(T_4 - T_5) + .6839(T_4 - T_5)(\sec(\zeta) - 1) - 258.0968$$

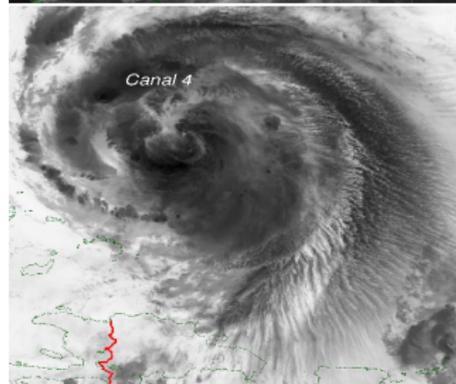
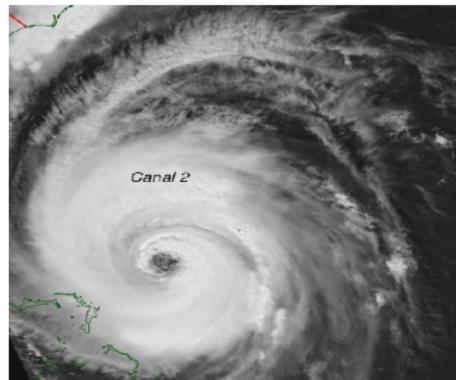
- Noite:

$$T_{sm} = .9242T_4 + .0755T_f(T_4 - T_5) + .6040(T_4 - T_5)(\sec(\zeta) - 1) - 250.4284$$



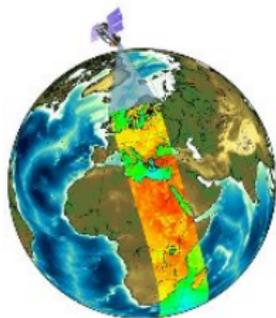
Nuvens

- A identificação de nuvens pode ser feita de várias maneiras:
 - Impondo limites nas temperaturas de brilho no infra-vermelho;
 - Impondo limites nas reflectância no visível e I-V próximo;
 - Em casos específicos, nuvens apresentam baixa coerência espacial (*patchiness*);
 - Estabelecendo um limite empírico em algoritmos multi-canal;
 - Analisando a variabilidade temporal em algoritmos estatísticos multi-imagem.

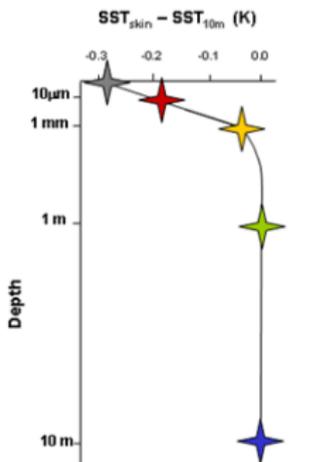


Na superfície × perto da superfície?

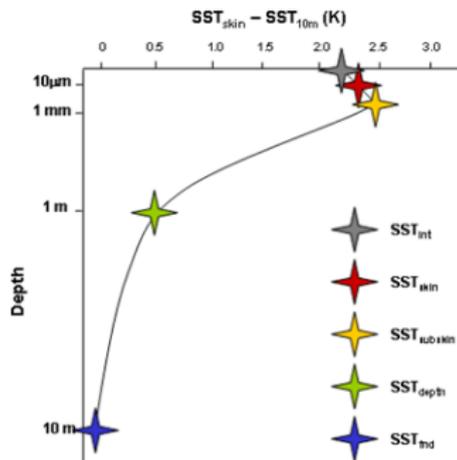
- Emissão de IV restrita a 3-14 μm .
- Bóias, navios (termômetro de reversão ou *intake*), XBT, CTD etc. 0.5-3 m: temperatura *bulk* ou “de balde”.
- Afetam a diferença entre TSM e temperatura *in-situ*:
 - Definições dúbias de TSM.
 - Termoclina diurna,
 - Efeito termal de pele,
 - Surfactantes,



Definições de TSM (GHRSSST-PP 2005)



(a) Night time situation, light wind



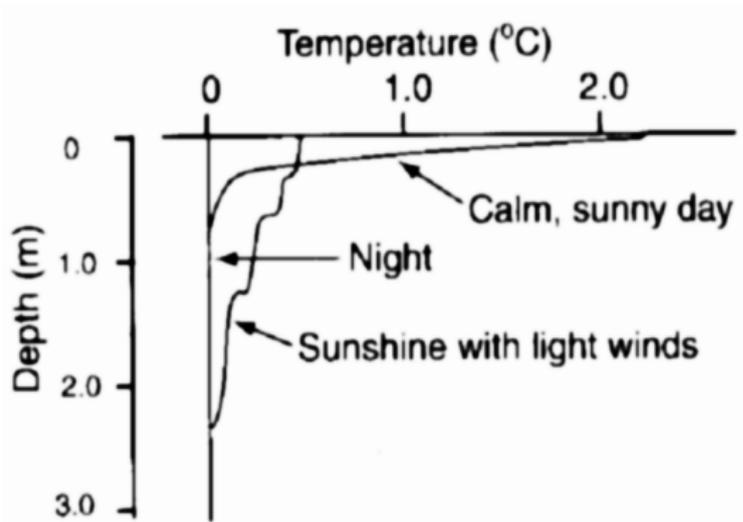
(b) Day time situation, strong solar radiation and light winds

- Interface (SST_{int}): Primeira camada de moléculas que contém ar e água. É teórica.
- Pele (SST_{skin}): Primeiros $\sim 20 \mu$ m de água, medido por radiômetros que operam a 10-12 μ m, Sujeita ao efeito termal de pele e à termoclina diurna.

Definições de TSM (GHRSSST-PP 2005) ... continued

- Sub-Pele ($SST_{sub-skin}$): Temperatura na base da camada térmica de pele, a ~ 1 mm de profundidade, medida por radiômetros de microondas de 6-11 GHz.
- em Profundidade (SST_z): É a usual, e.g.: SST_6 foi medida a 6 m de profundidade por um CTD. Nos modelos é a média na camada superior. Sem o z não pode ser usada para cal/val.
- Fundação (sst_{fnd}): Livre de sinais diurnos, representa a camada de mistura. Em geral tomada a 1-5 m, mínimo noturno ou pré-amanhecer.

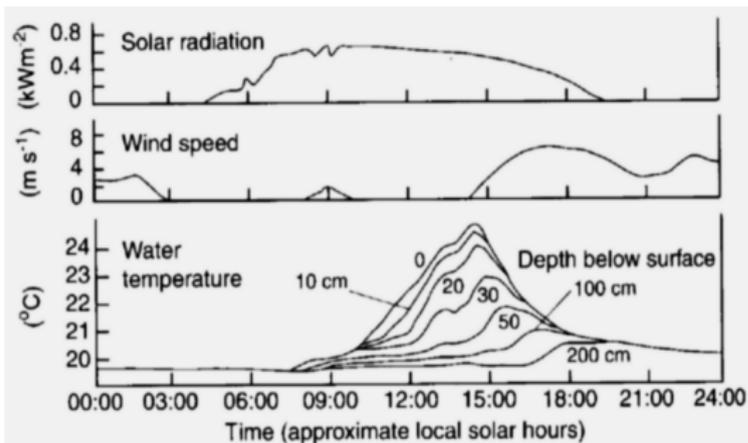
Termoclina Diurna



- Insolação e calmaria, a temperatura da camada superior pode subir até 4°C em relação à camada imediatamente abaixo. Esta camada pode ter até 0.5 m de espessura
- Depende de céu claro, probabilidade maior durante o dia.
- Analisar o ΔT entre imagens diurnas e noturnas.

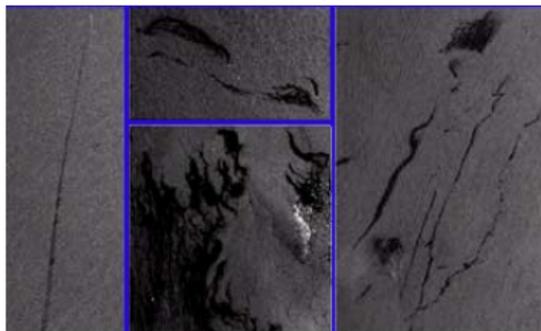
Efeito Termal de Pele

- O fluxo de calor \Rightarrow decréscimo da temperatura de pele.
- Calor latente domina, evaporação é um processo exotérmico.



- O fluxo depende da temperatura, do vento, da umidade relativa, da diferença de temperatura do ar e da água e do campo de ondas.
- Ocorre de dia e de noite.
- Tipicamente $\Delta T \simeq -0.17^{\circ}\text{C}$ se $v > 5\text{ms}^{-1}$.
- Efeito robusto

Surfactantes



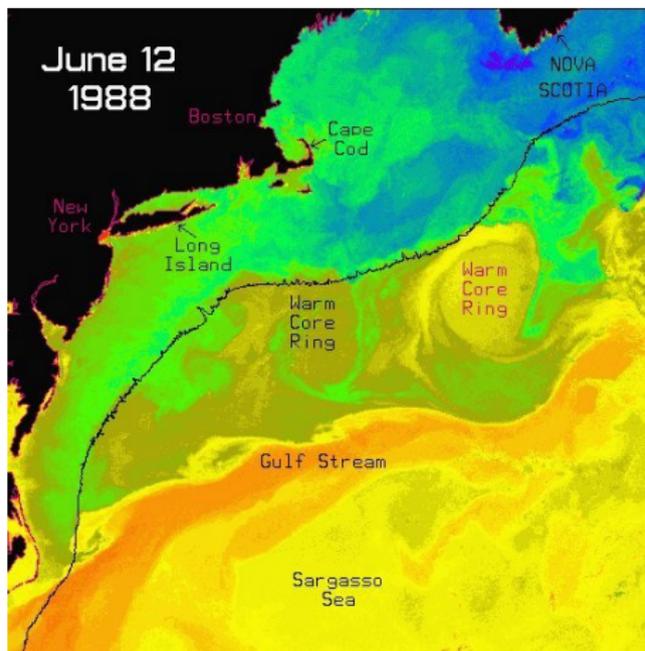
- Substâncias orgânicas que formam um filme superficial.
- Podem ser naturais, da decomposição de algas, de óleo do fundo ou
- Artificiais, como óleo de barcos, plataformas e portos.
- Se a camada for > 1 molécula, a radiância emitida é afetada e a T_b é reduzida.
- Afeta a estrutura térmica, inibe a mistura vertical, fomenta a termoclina diurna, reduz a evaporação.
- Película de óleo grossa absorve radiação solar e esquenta.
- Não é óbvio se o surfactante efetivamente aumenta ou reduz a TSM.

Acesso aos Dados

The screenshot shows the Podaac (Project for Ocean Data Access) website interface. The main content area is titled "Sea Surface Temperature" and includes a "Browse Metadata" section with a tree view containing folders for "ADJ3A", "ADJ3B/Profile", "ADJ3C", "MCD30", and "TDR3A". Below this is a "What is Sea Surface Temperature?" section with a globe icon and a brief explanation: "Sea Surface Temperature (SST) is a measure of the energy due to the motion of molecules at the top layer of the ocean. Depending on the sensor, satellite measurements give us an approximate global measurement of sea surface temperatures every two days for a week. Temperatures are measured from approximately 10 µm below the surface (enhanced) to 10m (conventional) depth using radiometers." There is also a "How is Sea Surface Temperature Measured?" section with a small text block.

- Nível 2:
 - HRPT - High Resolution Picture Transmission, antena local;
 - LAC - Local Area Coverage, também precisa de antena;
 - GAC - Global Area Coverage, diários, internet.
- AVHRR - Nível 3, NetCDF, <http://podaac-www.jpl.nasa.gov/>
- MODIS - Nível 3, NetCDF, <http://oceancolor.gsfc.nasa.gov/>

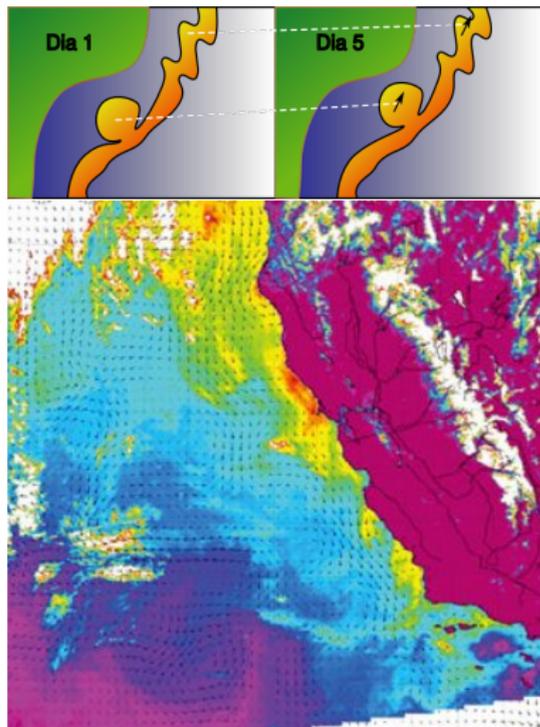
Caracterização de Feições



P. Cornillon, URI website

- Oceanografia por Satélites, Capítulo 7.
- Uma das primeiras aplicações das imagens de Infra-Vermelho foi a caracterização de feições oceânicas.
- Com a acumulação de dados, os estudos de eventos evoluíram para estudos de processo através de técnicas estatísticas.
- Estas incluem regiões de ressurgência, vórtices, correntes, meandros, ondas de Rossby e Kelvin, frentes e filamentos.

Medidas de Corrente Superficial

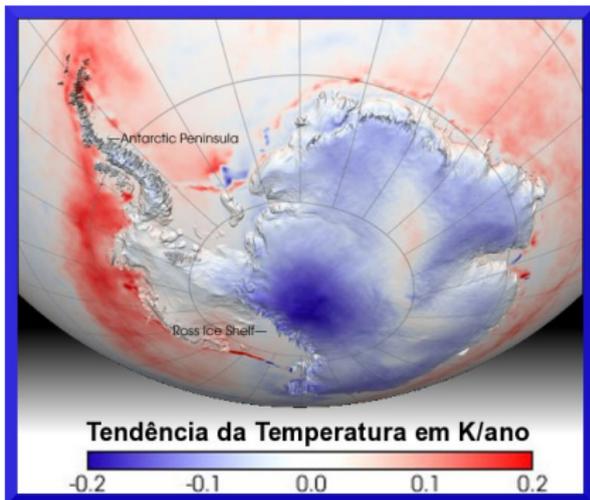


Emery et al., 2004

- Oceanografia por Satélites, Capítulo 4.
- Supondo que:
 - O erro de georreferenciamento é pequeno;
 - A feição observada no dia 1 é a mesma observada no dia 5;
 - A feição é advectada pelas correntes;
 - A deformação é pequena neste intervalo;
- O deslocamento é obtido por correlação cruzada local.
- Do deslocamento das feições obtemos a velocidade da corrente

Variação Global de Temperatura

- Por causa das fortes indicações de aquecimento global é crucial monitorar a temperatura dos oceanos.
- A idéia básica é ajustar uma reta às temperaturas em cada ponto usando a série temporal de N anos.



- O coeficiente angular da reta é a tendência (K/ano).
- Dados do sensor AVHRR formam a mais longa série temporal de TSM (desde 1978).
- Estes dados foram reprocessados para garantir a consistência pelo projeto Pathfinder (NASA/NOAA).

Muito Obrigado!