

# Sensoriamento Remoto Aplicado à Geografia

Histórico e  
Princípios Físicos do  
Sensoriamento Remoto

Reinaldo Paul Pérez Machado

# Breve Histórico do Sensoriamento Remoto

- Desenvolvimento da Fotografia
- Pesquisa Espacial

# Primeira Fotografia

- Daguerre e Niepce em **1839**
- **1840**: recomendação do uso das fotografias em levantamentos topográficos
- **1858**: Corpo de Engenharia da França utiliza fotografias tomadas de balões para levantamento topográfico
- **1909**: Irmãos Wright tomam as primeiras fotografias a partir de avião em território italiano
- **1930**: Primeiras fotografias coloridas

## Primeiras fotografias:

Joseph Nicéphore Niépce



View from the Window at Le Gras (1826/1827)



Utilizou betume como agente fotossensível aplicado sobre uma placa polida de peltre (estanho e cobre). O material acoplado a uma câmara escura foi exposto à luz por 8 horas, mas possivelmente pode ter demorado vários dias.

# Primeiras fotografias:

Primeiro registro de fotografia tirada de pessoas (1838)



Fotografia tirada por Louis Daguerre que juntamente com Niépce substituíram o betume  
Por um material mais sensível: iodeto de prata



The first known aerial photograph was obtained by Gaspard Felix Tournachon (Nadar) from a tethered balloon 1,700-ft. above Paris, France in 1858.

This is an oblique photograph obtained from the *Hippodrome* Balloon using a multiband camera.

# Pigeons



In 1903, Julius Neubronner patented a breast-mounted camera for carrier pigeons that weighed only 70 grams.

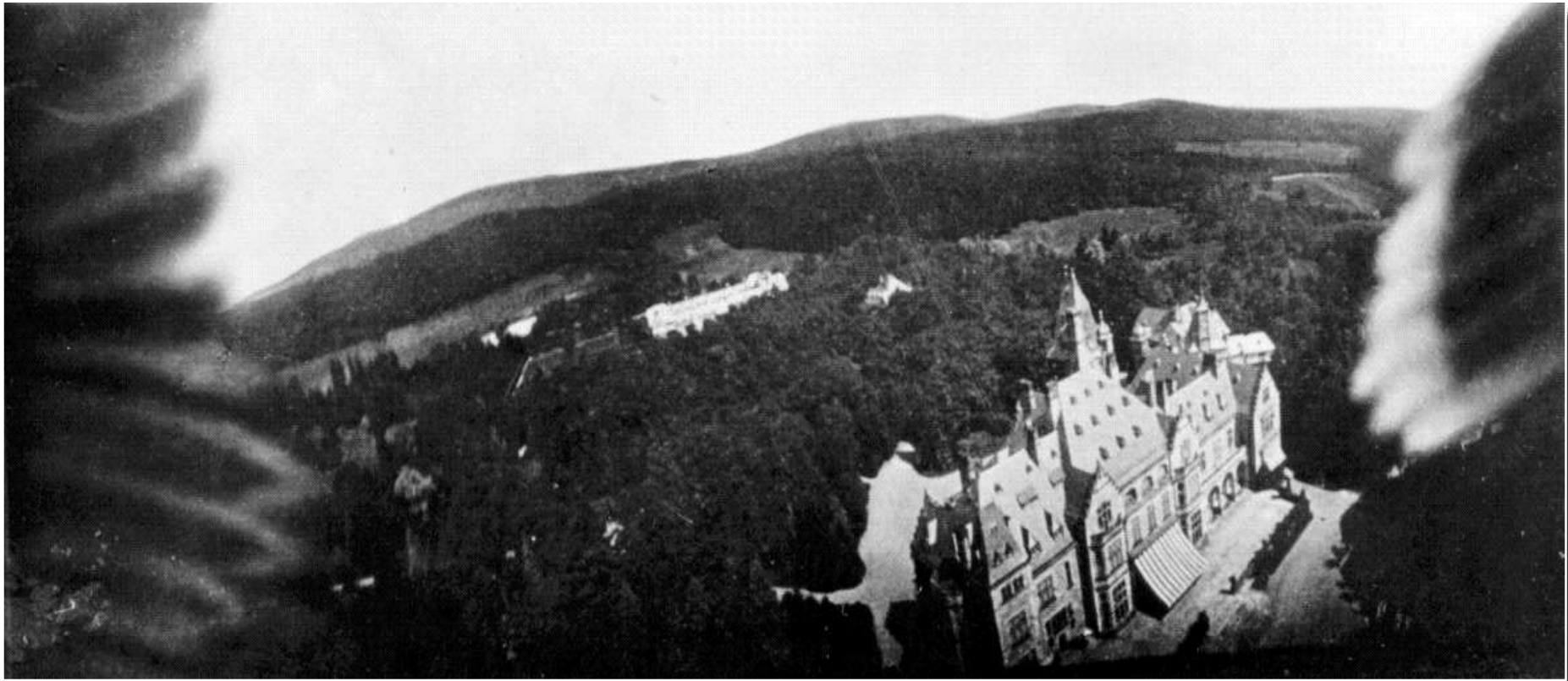
A squadron of pigeons is equipped with light-weight 70-mm aerial cameras.

Jensen, 2000

Copyright Deutsches Museum, Munich, Germany



# Pigeons



Oblique aerial photograph of a European castle obtained from a camera mounted on a carrier pigeon. The pigeon's wings are visible (copyright Deutsches Museum, Munich, Germany).

Jensen, 2000



# Finalidade Militar

- II Guerra Mundial: desenvolvimento do filme infravermelho
- Período da Guerra Fria: desenvolvimento dos sensores de alta resolução para fins de espionagem
- Fim da Guerra Fria: Dados considerados como Segredos Militares são liberados para Uso Civil

# Primeiras Fotografias Orbitais

- Década de 1960: primeiras **fotografias** obtidas pelos programas espaciais ***Mercury, Gemini*** e ***Apollo***
- Missão Apollo 9: fotografias multiespectrais (filmes infravermelho pb e colorido)
- 1960: Primeiro satélite meteorológico da série ***TIROS*** (primeiro sistema não tripulado)

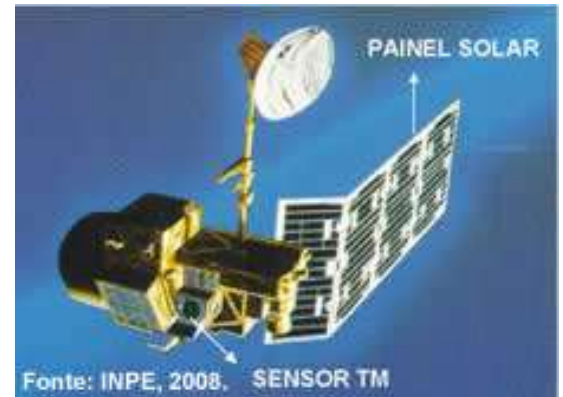
# Landsat 1, 2 e 3

- **1972**: Primeiro satélite de recursos terrestres **ERTS-1** (*Earth Resources Technology Satellites*), mais tarde denominado *Landsat-1*
- Sistema imageador de varredura **MSS** (*Multispectral Scanner System*): 4 bandas
- Sistema de televisão **RBV** (*Return Beam Vidicom*): 3 bandas
- **1973**: Primeiras imagens do Landsat recebidas no Brasil
- **1975**: Landsat-2 – idêntico ao primeiro
- **1978**: Landsat 3

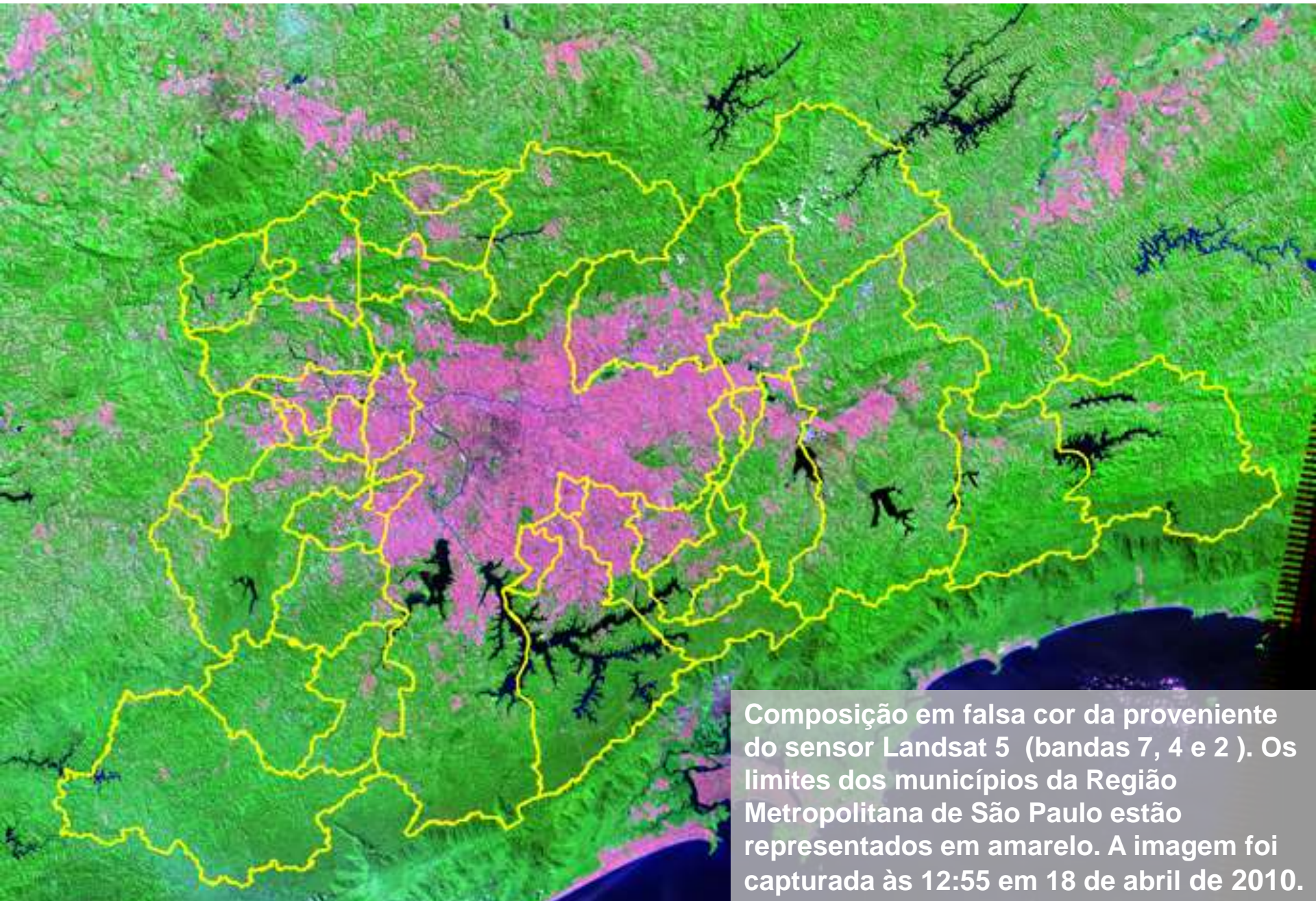


# Landsat 4 e 5

- **1982: Landsat 4**
- Aumento da resolução espacial de 80 para 30m
- Banda termal (Banda 8)
- TM (*Thematic Mapper*)
- Falha na transmissão dos dados
- **1984: Landsat 5**
- 7 bandas espectrais







Composição em falsa cor da proveniente do sensor Landsat 5 (bandas 7, 4 e 2). Os limites dos municípios da Região Metropolitana de São Paulo estão representados em amarelo. A imagem foi capturada às 12:55 em 18 de abril de 2010.



## Landsat 6 e 7

- **1993: Landsat 6**
- ETM (*Enhanced Thematic Mapper*)
- Mesmas bandas do TM mais a pancromática com 15m
- Sem sucesso no lançamento
- **1999: Landsat 7**
- ETM+ (*Enhanced Thematic Mapper Plus*)
- Mesmas bandas do predecessor
- Aumento da resolução no infravermelho termal



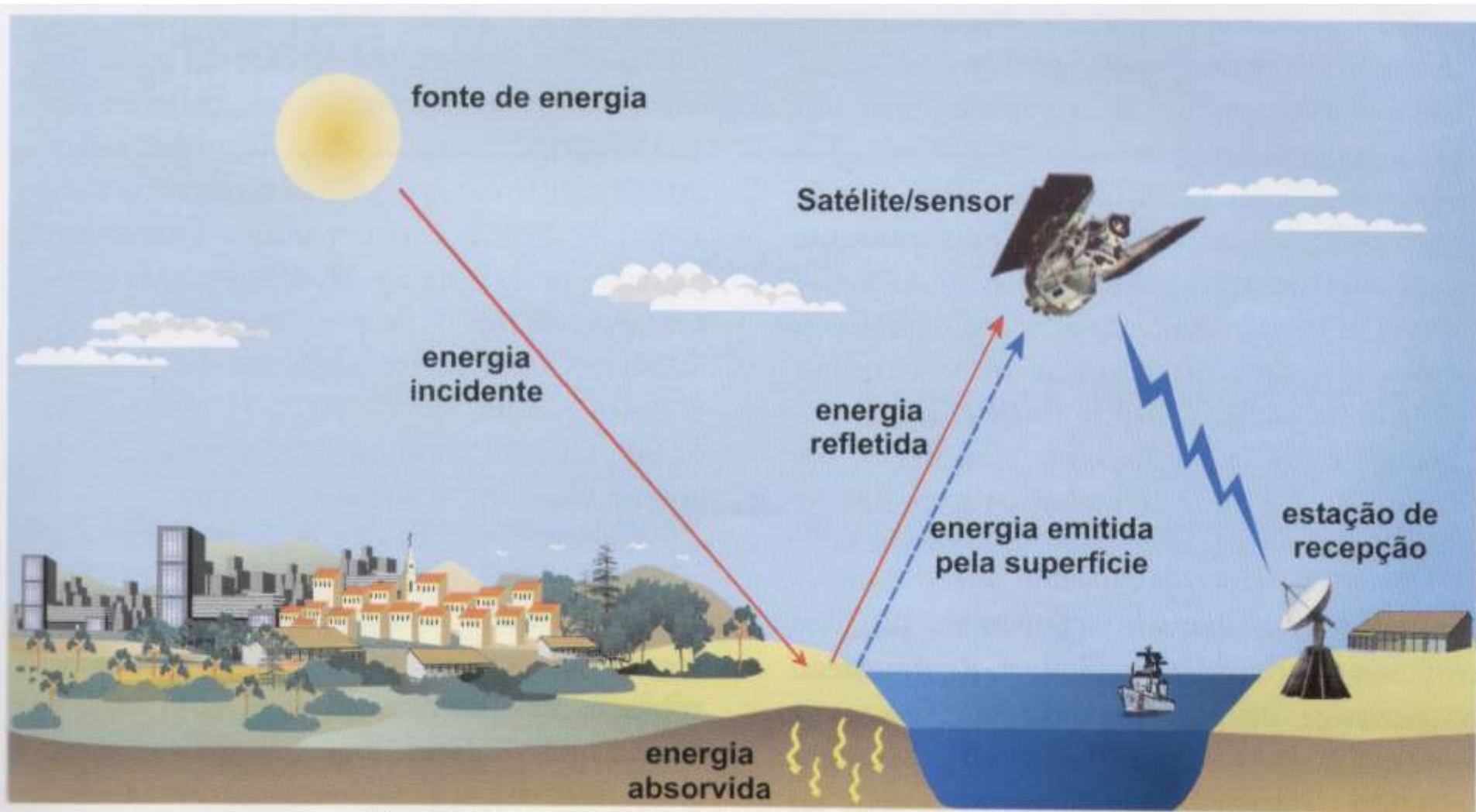
# Princípios físicos do sensoriamento remoto

- Radiação eletromagnética, regiões espectrais.

# O que é Sensoriamento Remoto?

Arte e ciência da obtenção de informação sobre um objeto ***sem contato físico direto*** com ele. É a tecnologia científica que pode ser usada para medir e monitorar importantes características biofísicas e atividades humanas. (JENSEN, 2000).

# Interação da radiação eletromagnética (REM) com os objetos



*Fig. 1.1* Obtenção de imagens por sensoriamento remoto

# O que é a Radiação Eletromagnética?

- A Radiação eletromagnética (**RE**) é uma combinação de um campo elétrico e de um campo magnético que se propagam através do espaço transportando energia.

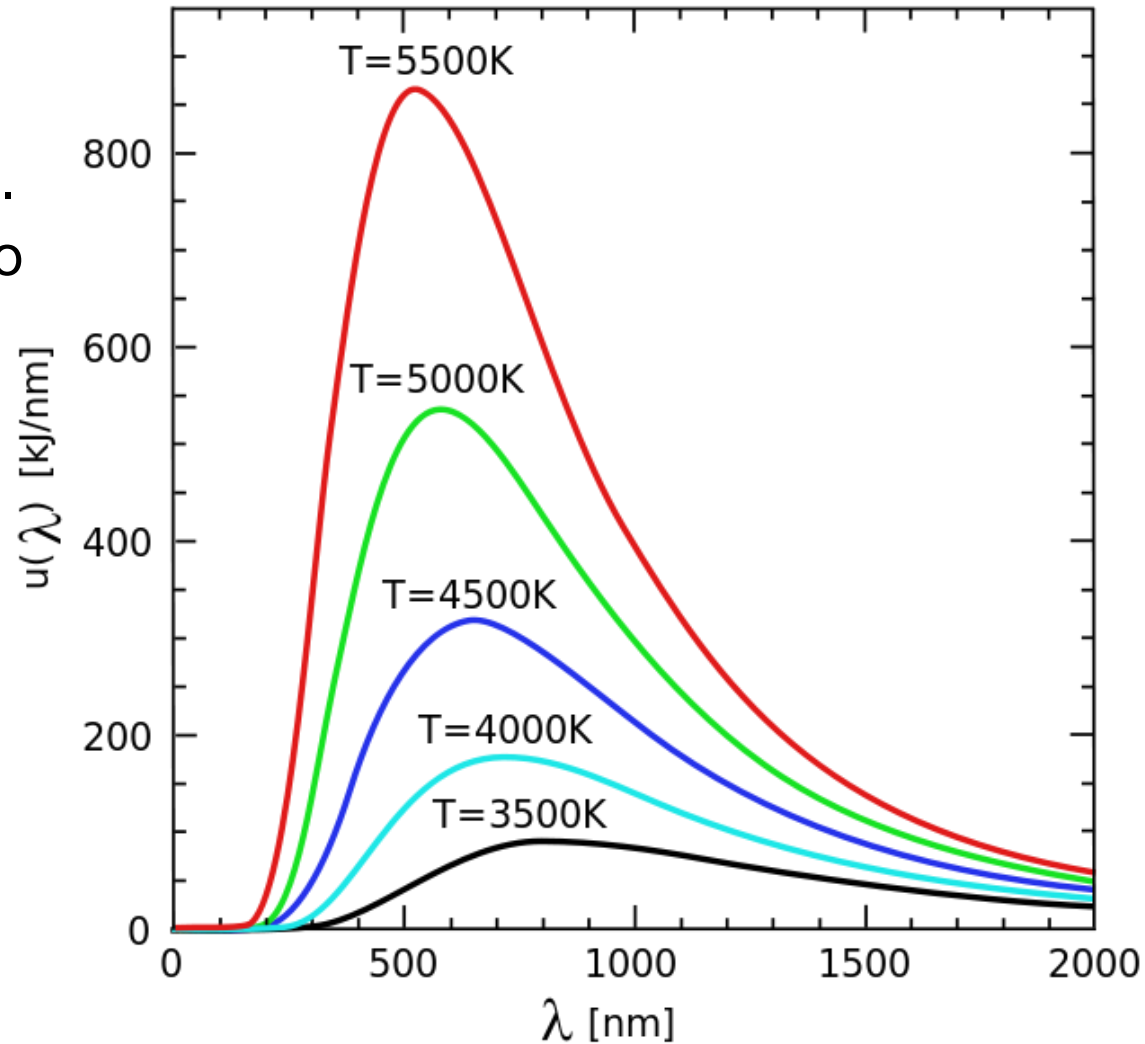
# Radiação Eletromagnética

- O universo é composto por partículas e materiais com cargas elétricas e magnéticas
- Uma partícula carregada eletricamente ou magneticamente gera vibrações eletromagnéticas de certa intensidade energética de acordo com a estrutura atômica e molecular
- As vibrações dos corpos possuem capacidade de emitir ou refletir radiação
- A transferência de energia por meio da radiação não necessita de um meio para a propagação.
- A velocidade é de 300 000 km/s.

# Princípios Físicos

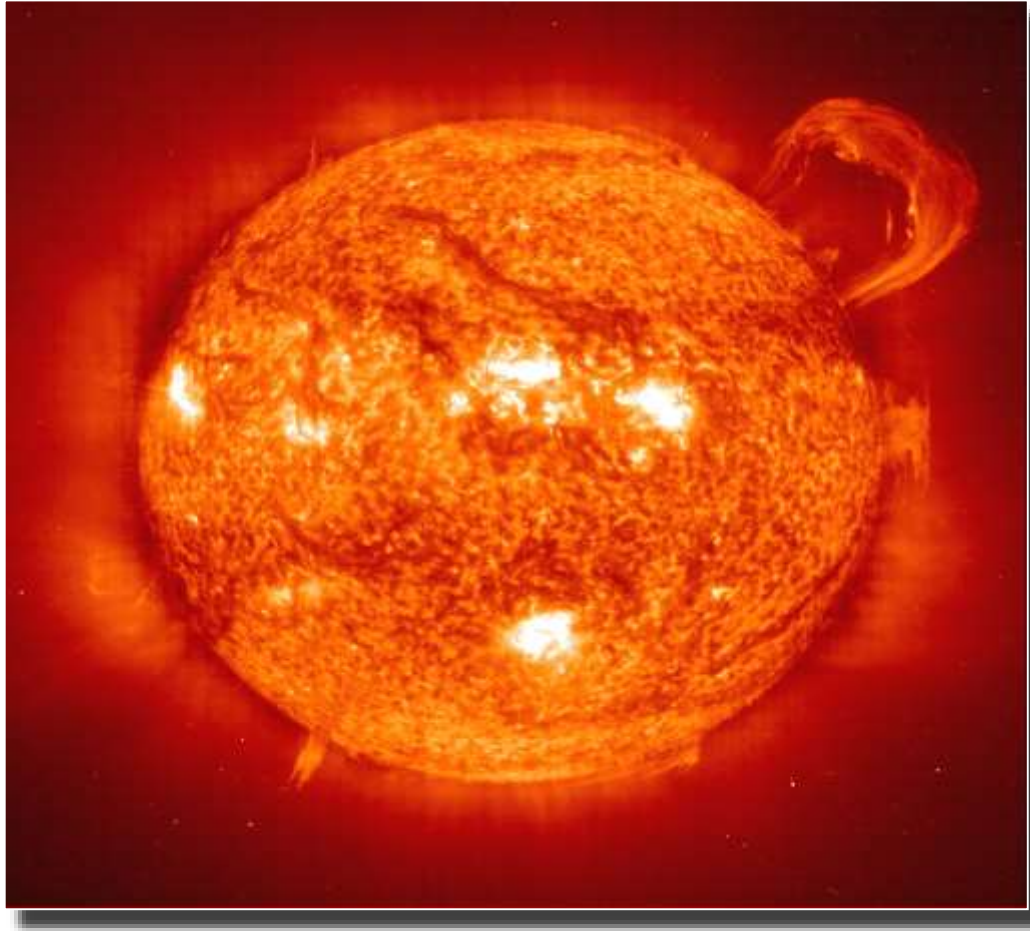
## Lei de Planck

Todo corpo emite radiação.  
A intensidade e distribuição da radiação depende da temperatura do corpo.



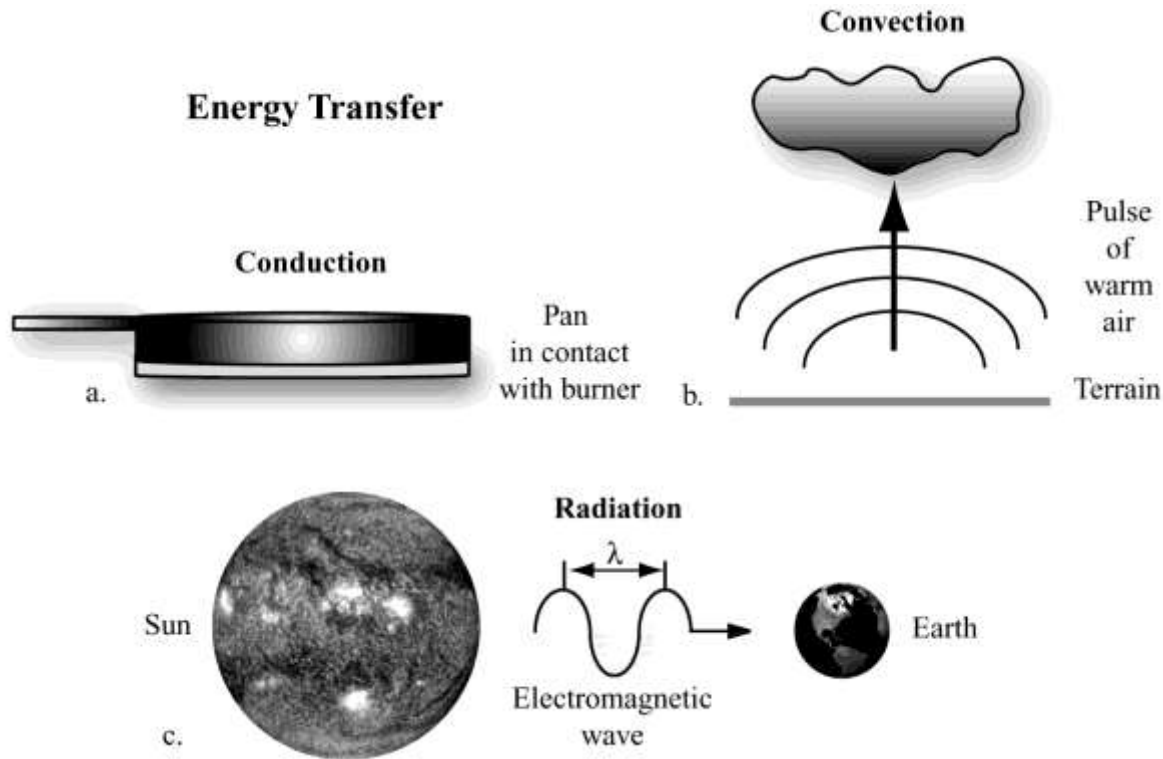


# Qual é a nossa principal fonte de energia?



Solar and Heliospheric Observatory (SOHO) Image of the Sun Obtained on September 14, 1999. (Jensen, 2006)

# Como a energia é transferida?



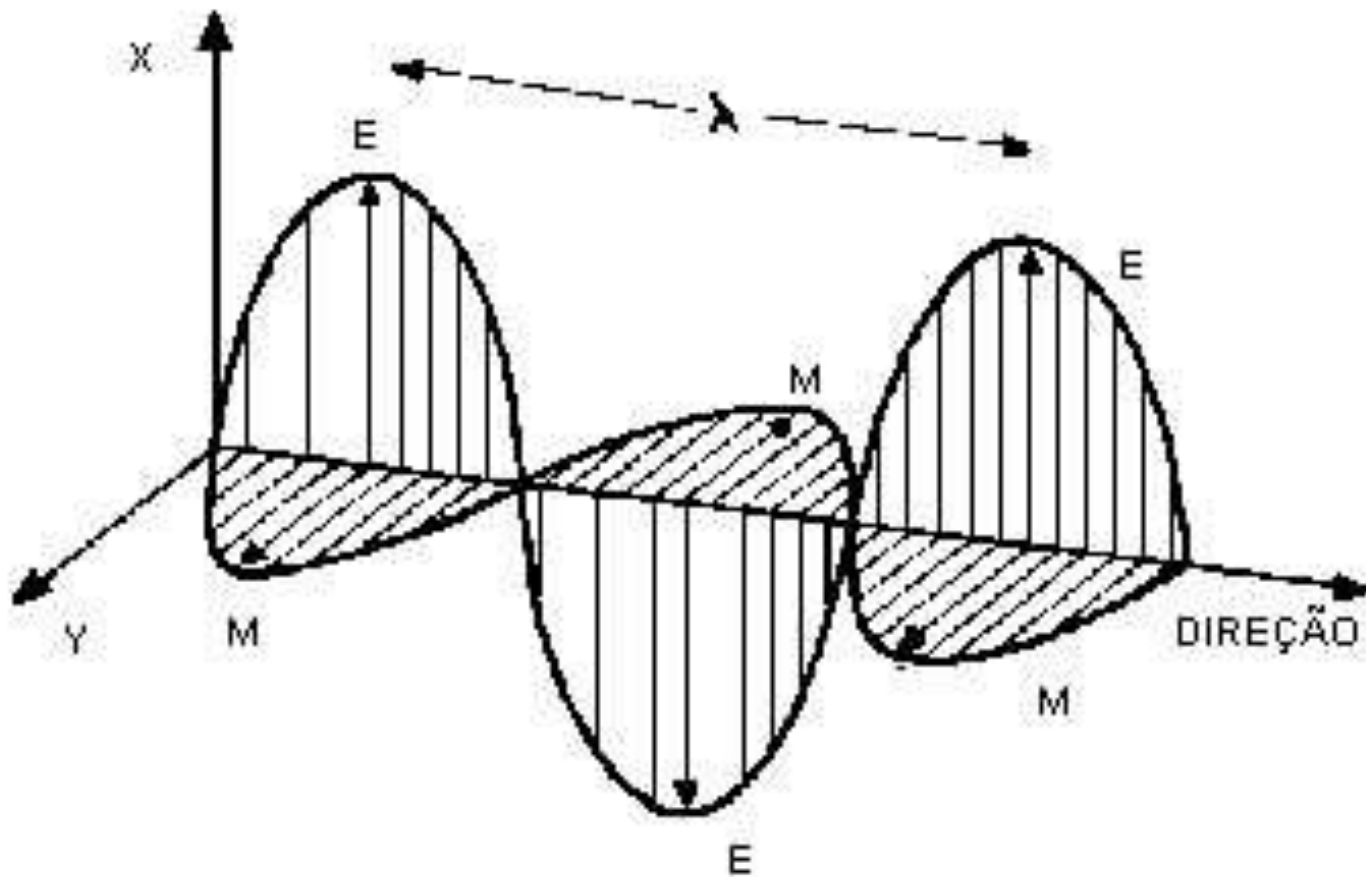
Condução

Convecção

Ondas  
eletromagnéticas

Jensen (2000)

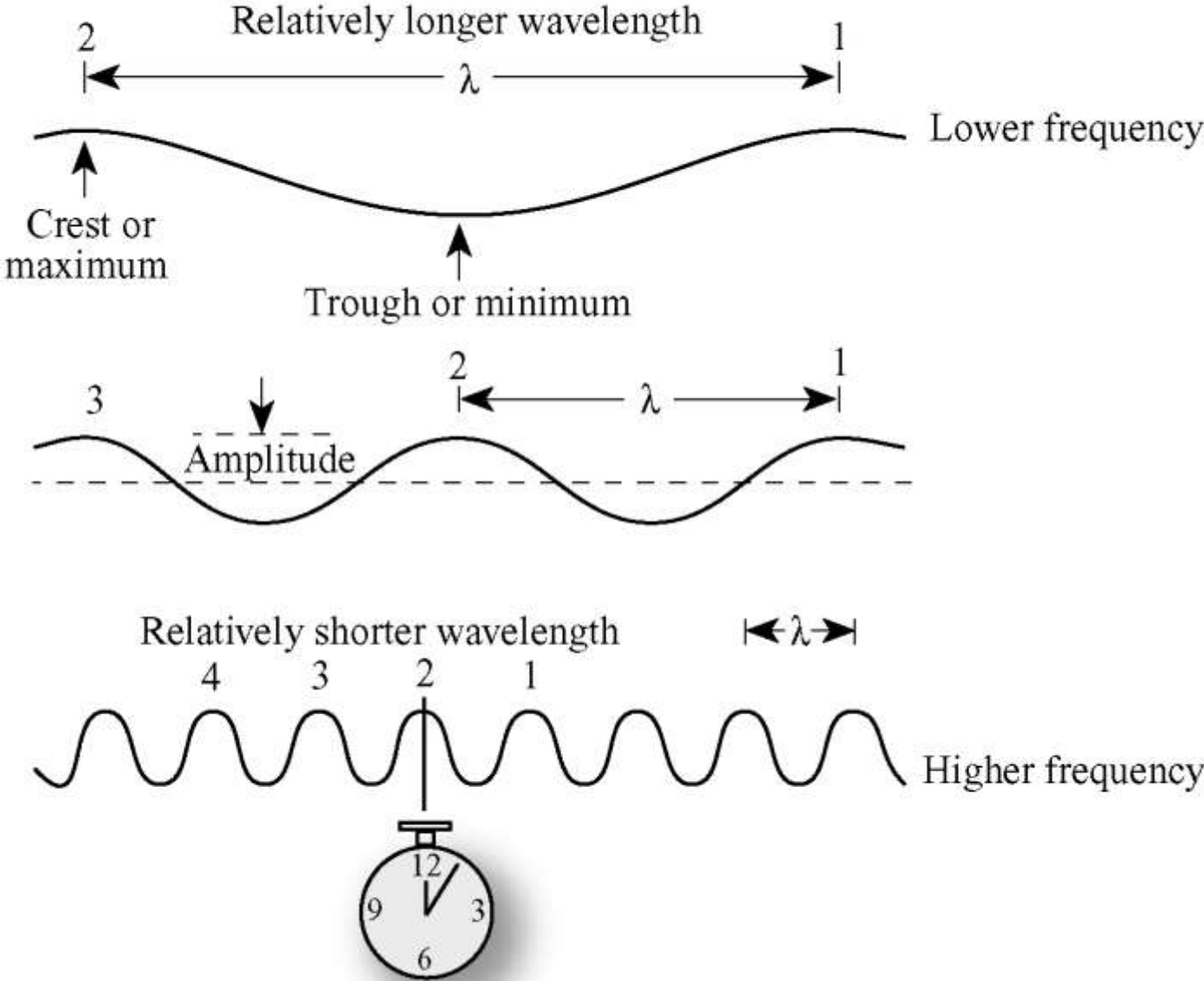
# Onda eletromagnética



# Velocidade da Luz

- $C = \lambda f$
  - $C$  = velocidade da luz (em m/s)
  - $\lambda$  = comprimento de onda (m, mm,  $\mu\text{m}$ )
  - $f$  = freqüência (em ciclos por segundo ou Hertz)
- 
- **Comprimento da onda:** distância entre dois picos de ondas sucessivas
  - **Freqüência da onda:** número de vezes que a onda se repete por unidade de tempo
  - **Velocidade da Luz:** 300.000 km/s

# Inverse Relationship between Wavelength and Frequency

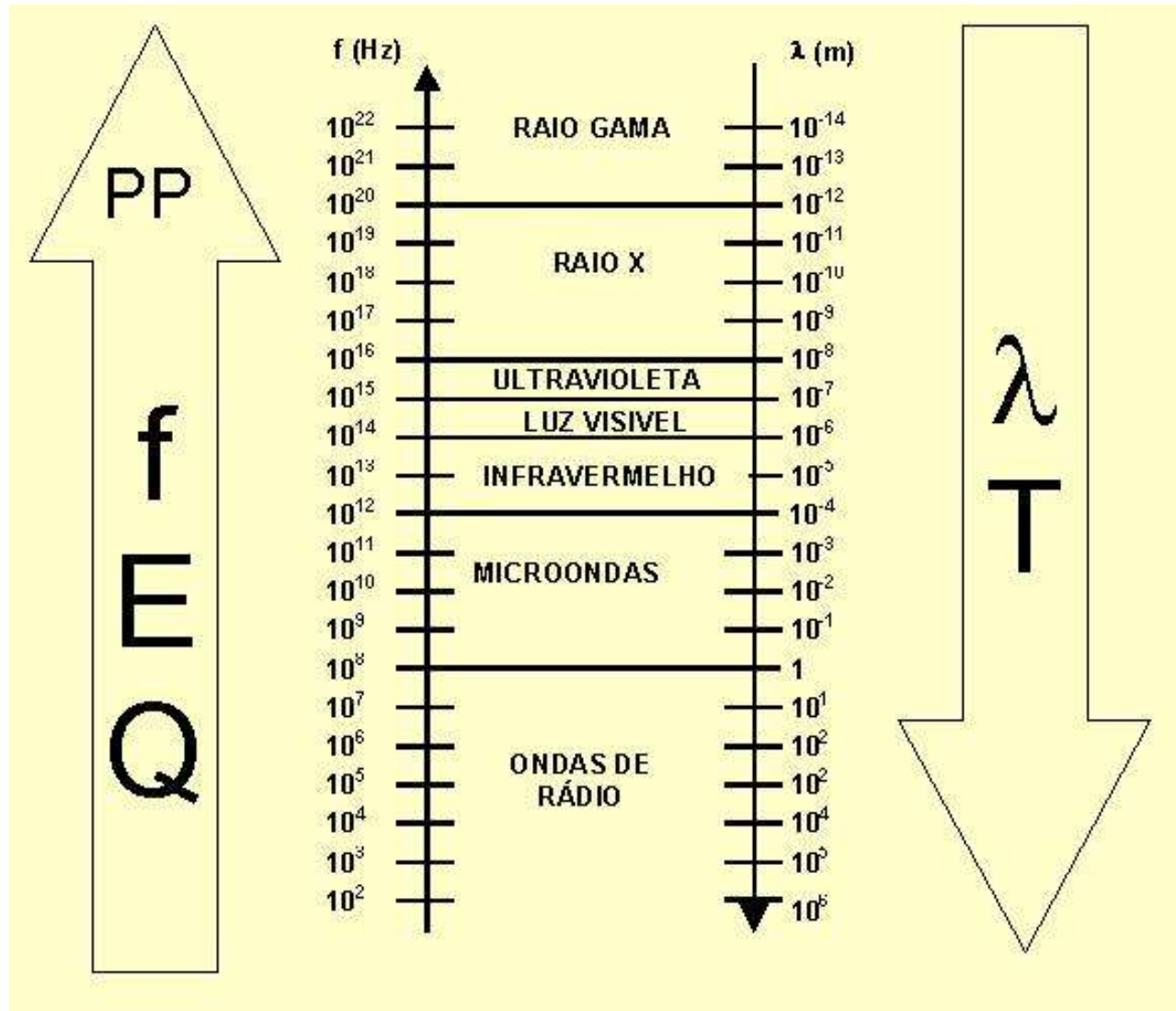


# Relação entre o comprimento e a frequência das ondas eletromagnéticas

- **A velocidade (C) da luz é constante.**
- **O comprimento ( $\lambda$ ) e a frequência (f) das ondas é inversamente proporcional**
- Quanto maior o comprimento menor a frequência
- Quanto maior a frequência, menor o comprimento



# Relação entre o comprimento e a frequência das ondas no espectro eletromagnético



# Spectrum

A palavra espectro (do latim "**spectrum**", que significa **fantasma** ou **aparição**) foi usada por **Isaac Newton**, no século XVII, para descrever a faixa de cores que apareceu quando numa experiência a luz do Sol atravessou um prisma de vidro colocado em sua trajetória.

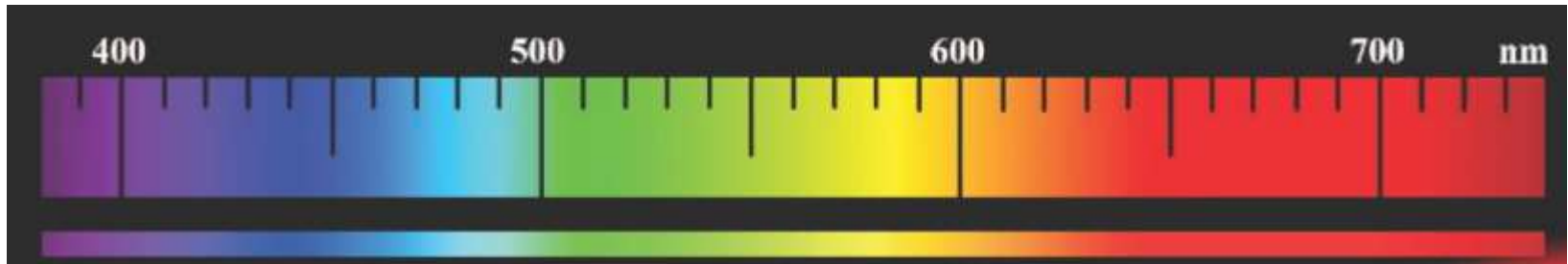
Atualmente chama-se espectro eletromagnético à faixa de frequências e respectivos comprimentos de ondas que caracterizam os diversos tipos de ondas eletromagnéticas.

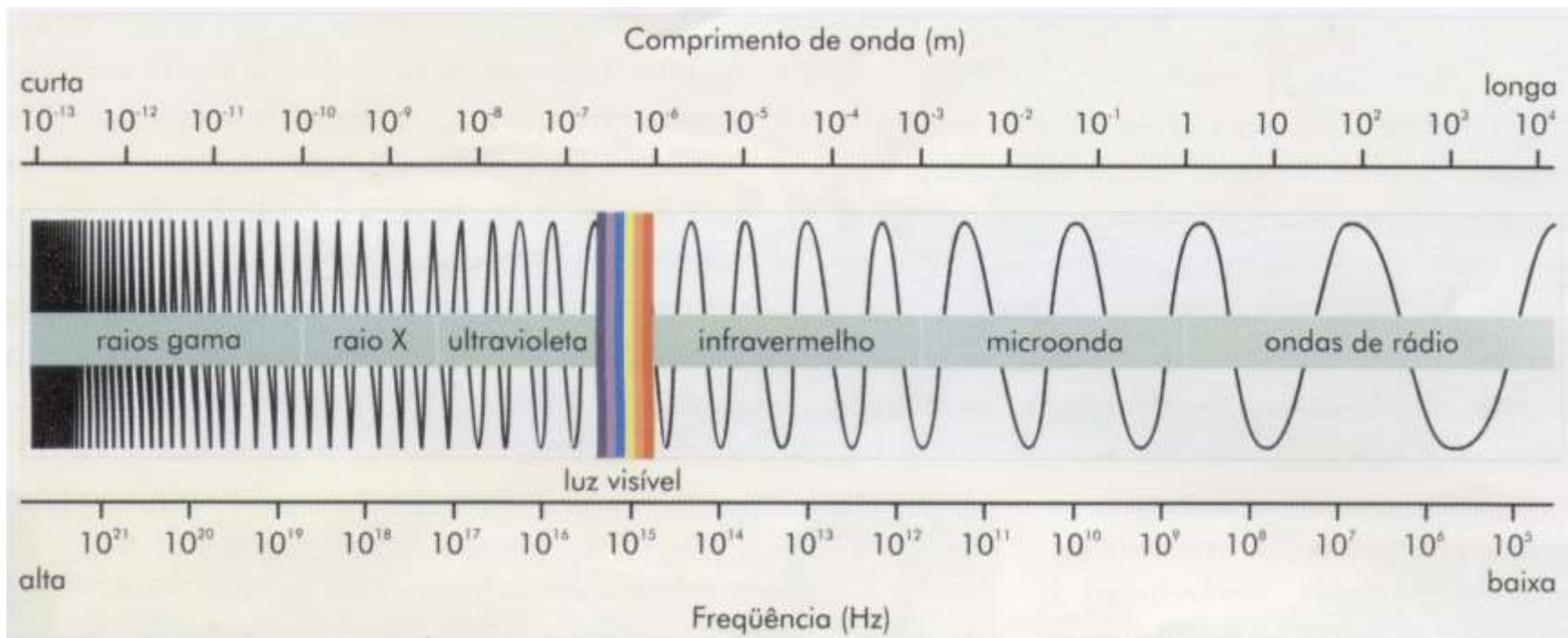
[http://www.zaz.com.br/fisicanet/cursos/ondas\\_eletromagneticas/ondas\\_eletromagneticas.html](http://www.zaz.com.br/fisicanet/cursos/ondas_eletromagneticas/ondas_eletromagneticas.html)

# Prisma

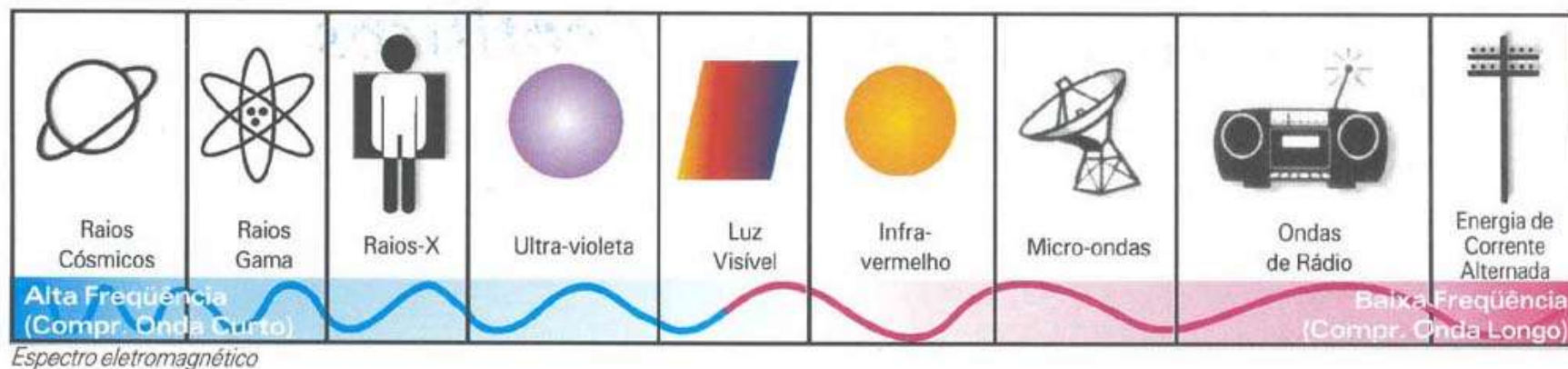


<http://lerweb.khlim.be/~infav/breking/4prisma.htm>



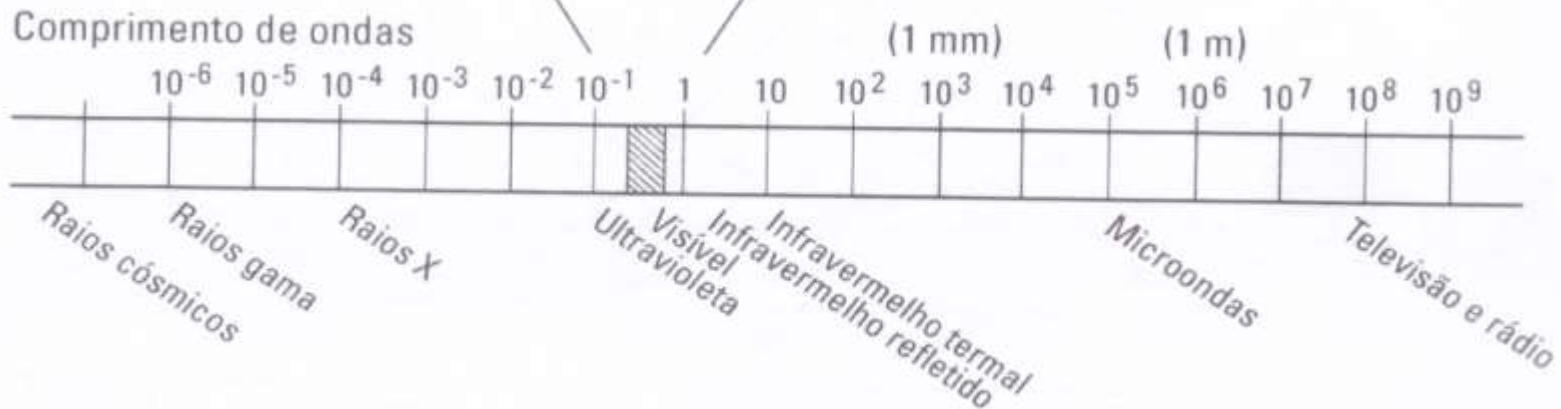
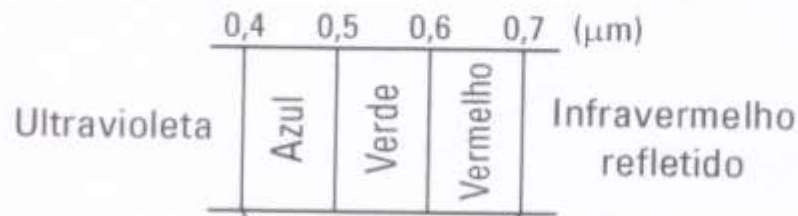
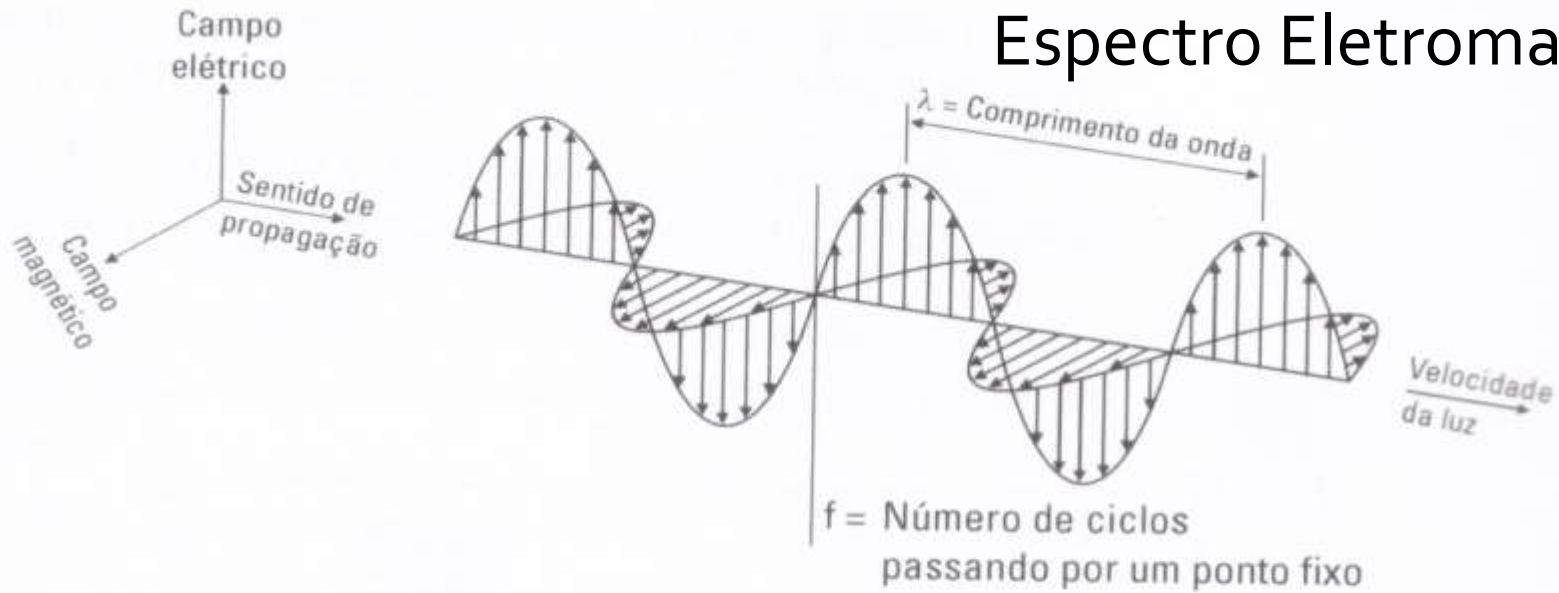


Florenzano (2002)

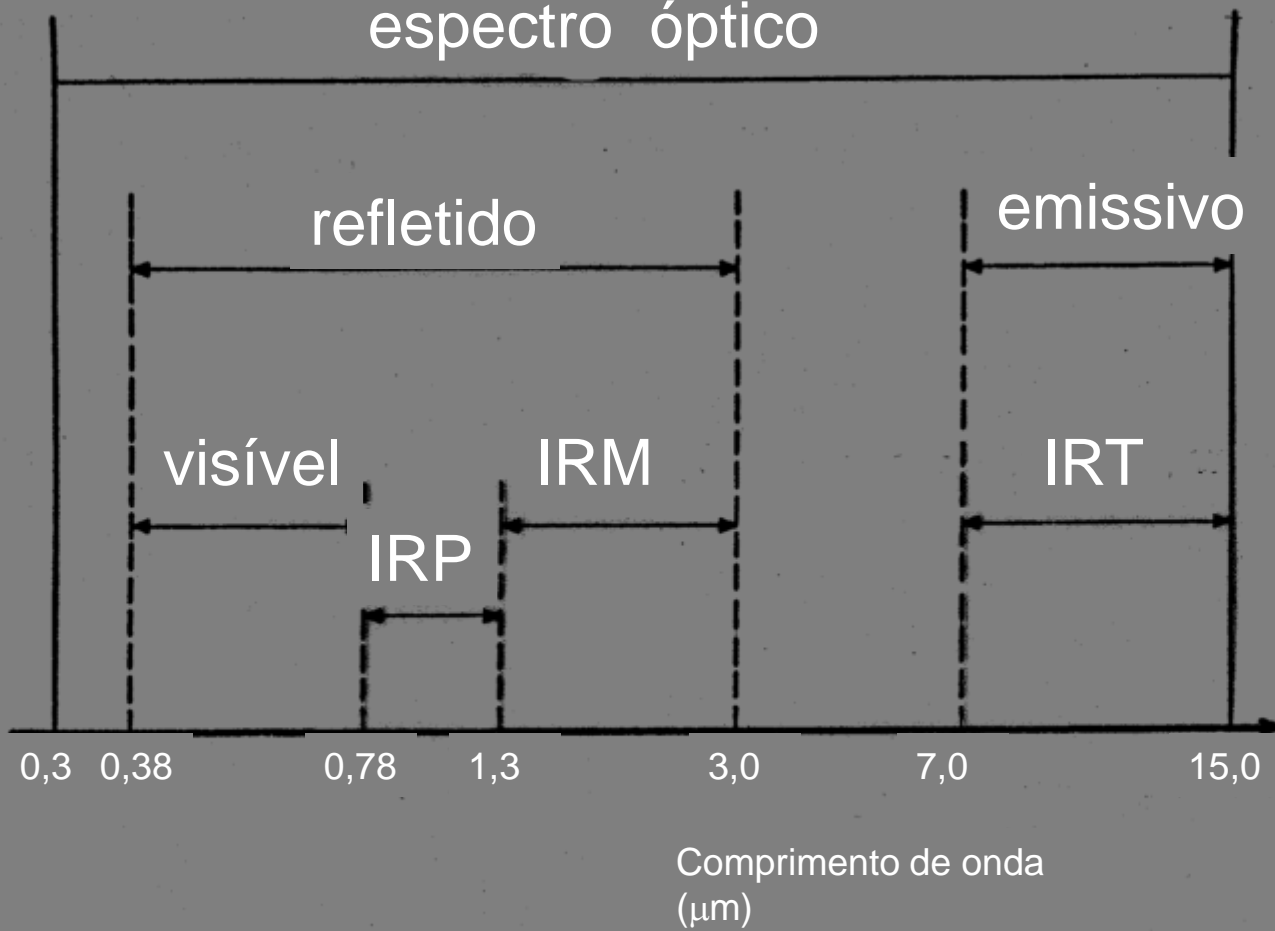


<http://www.cena.usp.br/irradiacao/espectrodeondas.jpg>

# Espectro Eletromagnético



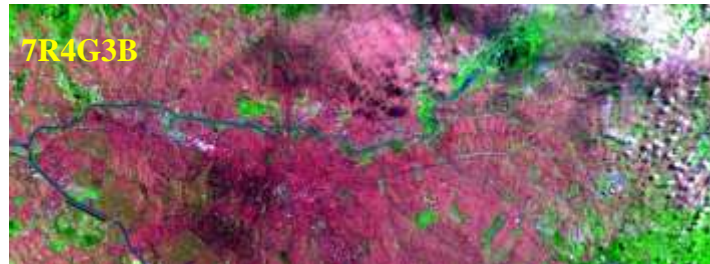
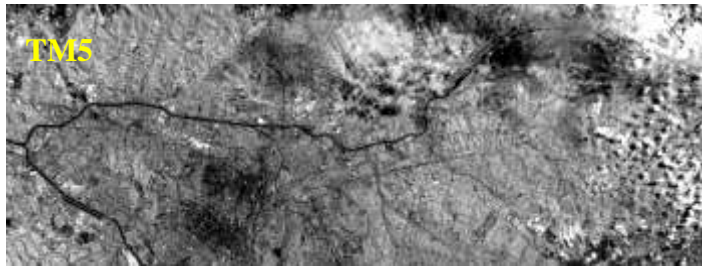
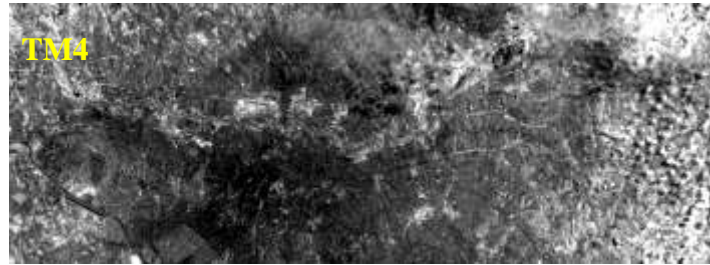
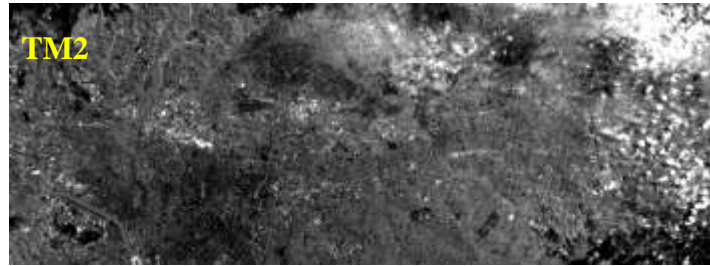
# espectro óptico



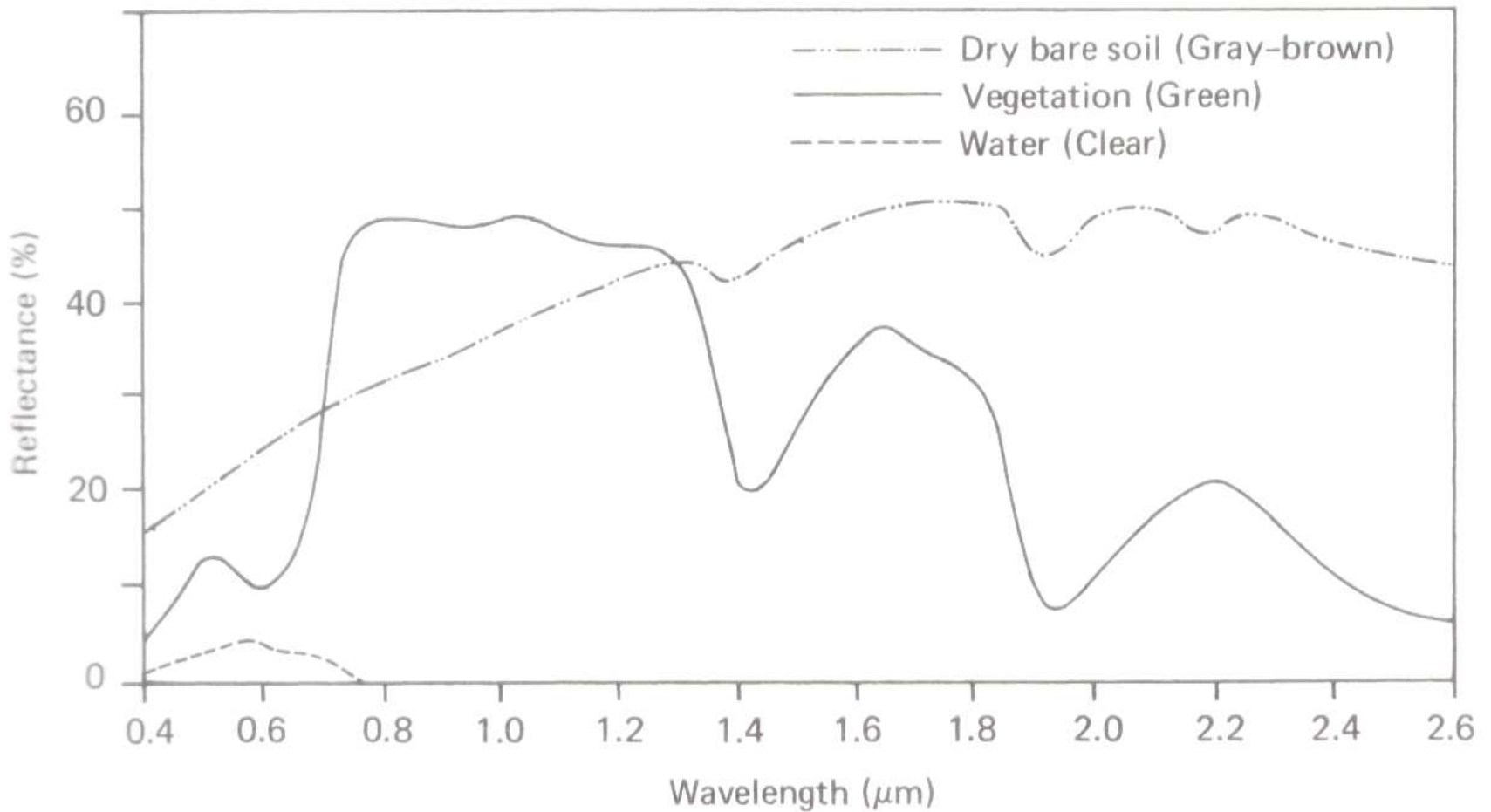


# Interação da REM

Imagem Landsat-5 TM adquirida em 23/03/1989 (órbita/ponto 219/76)







**Figure 1.10** Typical spectral reflectance curves for vegetation, soil, and water. (Adapted from Swain and Davis, 1978.)

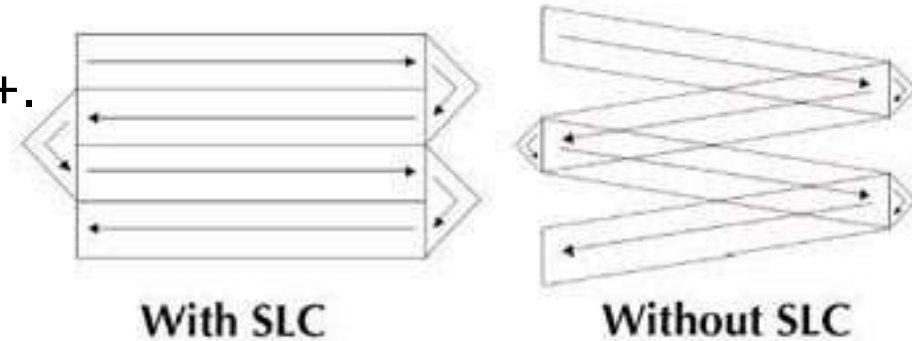
Banda	Intervalo espectral ( $\mu\text{m}$ )	Principais características e aplicações das bandas <i>TM</i> do satélite LANDSAT-5
1	(0,45 - 0,52)	Apresenta grande penetração em corpos de água, com elevada transparência, permitindo estudos batimétricos. Sofre absorção pela clorofila e pigmentos fotossintéticos auxiliares (carotenóides). Apresenta sensibilidade a plumas de fumaça oriundas de queimadas ou atividade industrial. Pode apresentar atenuação pela atmosfera.
2	(0,52 - 0,60)	Apresenta grande sensibilidade à presença de sedimentos em suspensão, possibilitando sua análise em termos de quantidade e qualidade. Boa penetração em corpos de água.
3	(0,63 - 0,69)	A vegetação verde, densa e uniforme, apresenta grande absorção, ficando escura, permitindo bom contraste entre as áreas ocupadas com vegetação (ex.: solo exposto, estradas e áreas urbanas). Apresenta bom contraste entre diferentes tipos de cobertura vegetal (ex.: campo, cerrado e floresta). Permite análise da variação litológica em regiões com pouca cobertura vegetal. Permite o mapeamento da drenagem através da visualização da mata galeria e entalhe dos cursos dos rios em regiões com pouca cobertura vegetal. É a banda mais utilizada para delimitar a mancha urbana, incluindo identificação de novos loteamentos. Permite a identificação de áreas agrícolas.
4	(0,76 - 0,90)	Os corpos de água absorvem muita energia nesta banda e ficam escuros, permitindo o mapeamento da rede de drenagem e delineamento de corpos de água. A vegetação verde, densa e uniforme, reflete muita energia nesta banda, aparecendo bem clara nas imagens. Apresenta sensibilidade à rugosidade da copa das florestas (dossel florestal). Apresenta sensibilidade à morfologia do terreno, permitindo a obtenção de informações sobre Geomorfologia, Solos e Geologia. Serve para análise e mapeamento de feições geológicas e estruturais. Serve para separar e mapear áreas ocupadas com <i>pinus</i> e <i>eucalipto</i> . Serve para mapear áreas ocupadas com vegetação que foram queimadas. Permite a visualização de áreas ocupadas com macrófitas aquáticas (ex.: aguapé). Permite a identificação de áreas agrícolas.
5	(1,55 - 1,75)	Apresenta sensibilidade ao teor de umidade das plantas, servindo para observar estresse na vegetação, causado por desequilíbrio hídrico. Esta banda sofre perturbações em caso de ocorrer excesso de chuva antes da obtenção da cena pelo satélite.
6	(10,4 - 12,5)	Apresenta sensibilidade aos fenômenos relativos aos contrastes térmicos, servindo para detectar propriedades termais de rochas, solos, vegetação e água.
7	(2,08 - 2,35)	Apresenta sensibilidade à morfologia do terreno, permitindo obter informações sobre Geomorfologia, Solos e Geologia. Esta banda serve para identificar minerais com íons hidroxilas. Potencialmente favorável à discriminação de produtos de alteração hidrotermal.



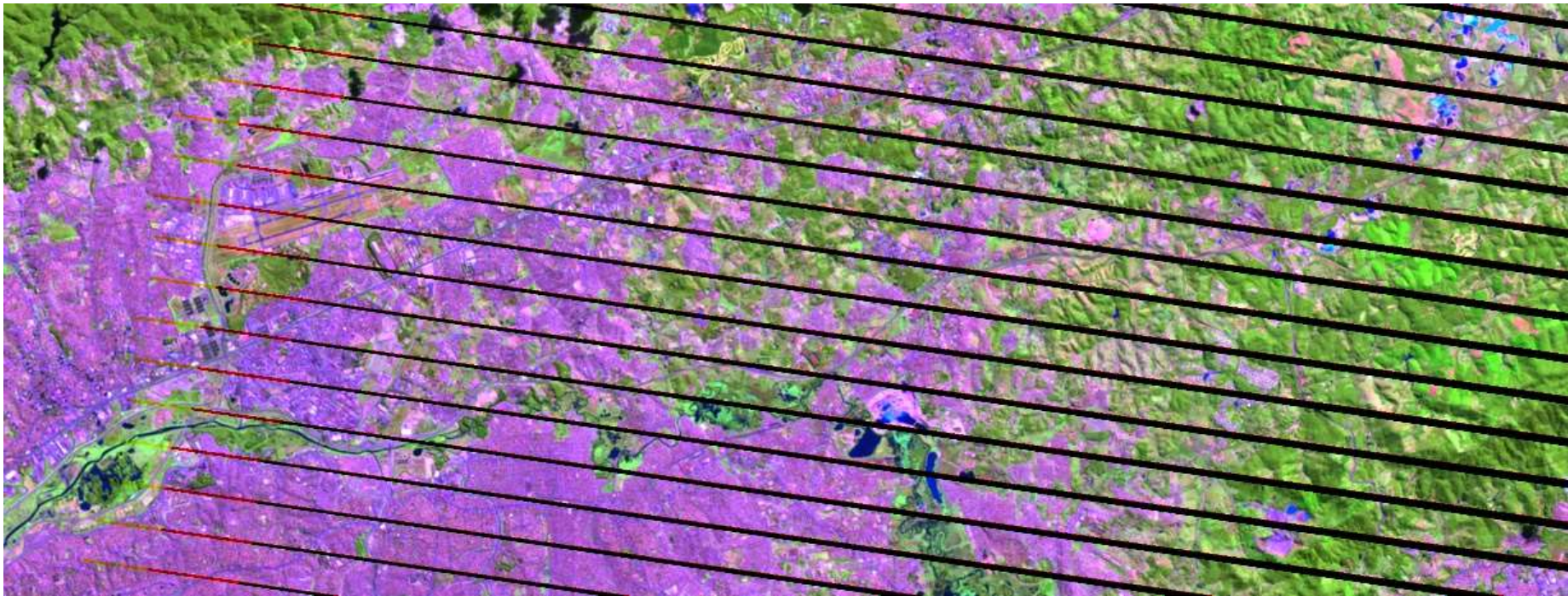
# Landsat 7 - Erro de imageamento a partir de 31-05-2003

Efeitos do *Scan Line Corrector*

sobre as imagens do sensor ETM+.



Fragmento de cena na  
Região de Guarulhos.



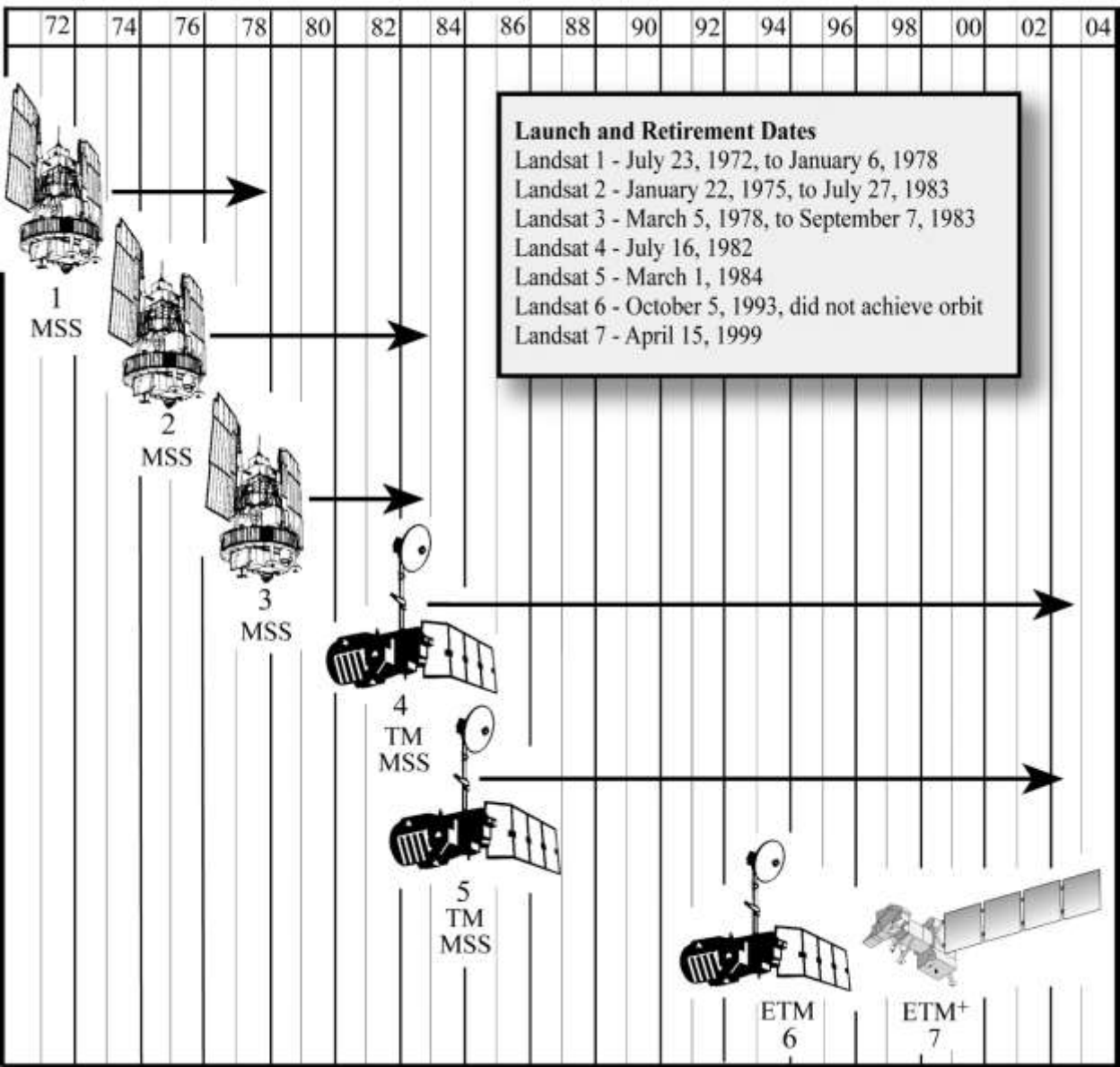
# Landsat 8



- **11 de fevereiro de 2013. Lançamento em Vandenberg, California**
- Primeiras cenas capturadas em maio de 2013
- 11 bandas espectrais (3 a mais que o LS7)
- Mesma resolução espacial que seu antecessor (30m nos canais multiespectrais e 15m no pancromático)

# Histórico do Landsat

Chronological Launch and Retirement History of the Landsat Satellites



## Programa Landsat

Landsat-8  
 Lançado em 11/02/2013

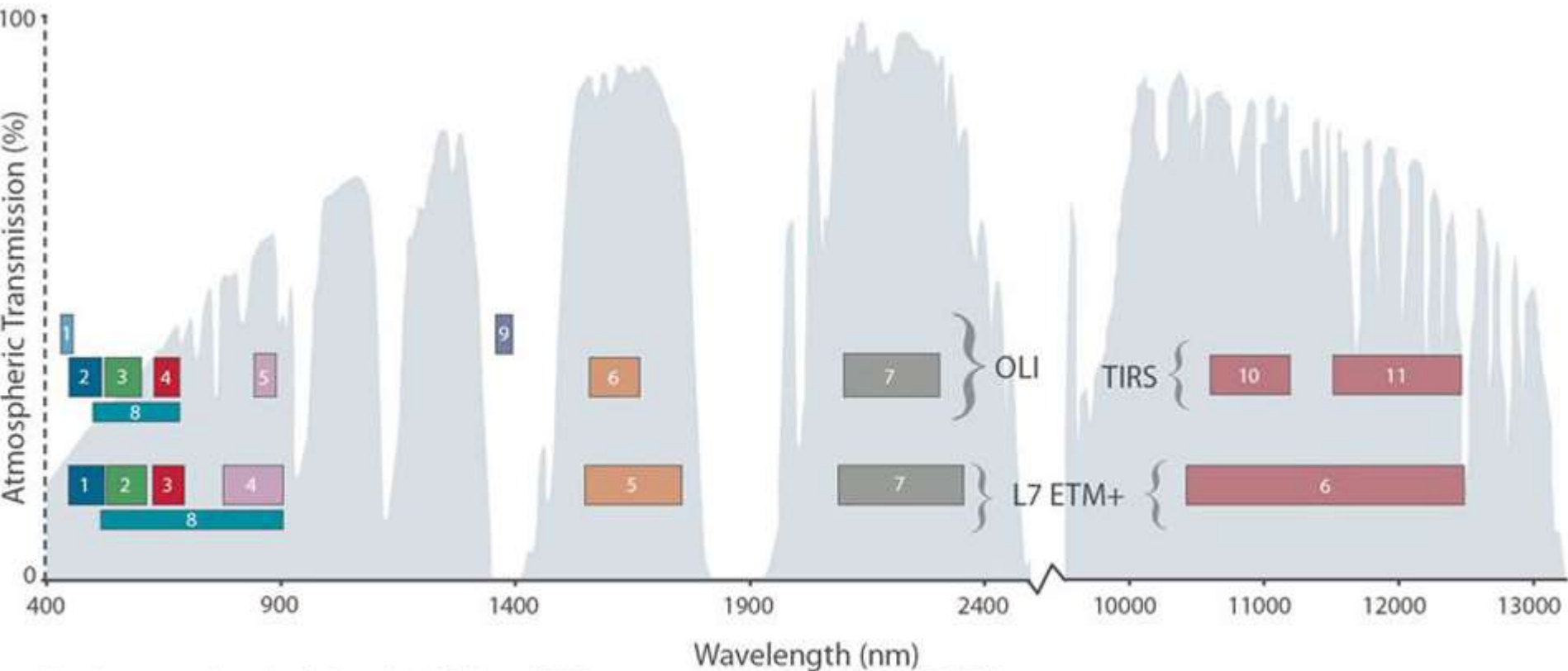


Vandenberg Calif.





# Comparação Landsat-7 ETM+ e Landsat-8 OLI/TIRS

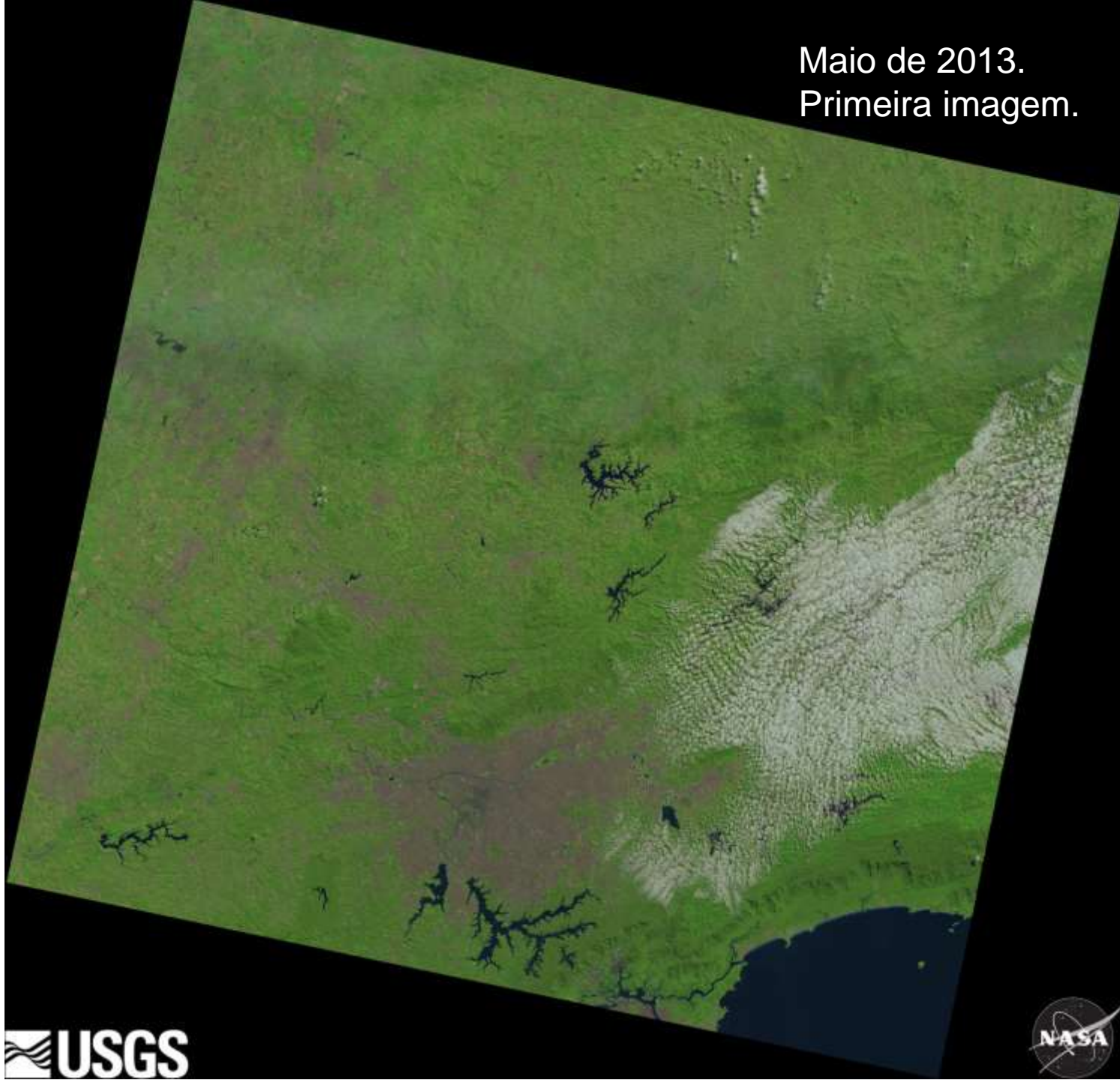


Bandpass wavelengths for Landsat 8 OLI and TIRS sensor, compared to Landsat 7 ETM+ sensor

*Note: atmospheric transmission values for this graphic were calculated using MODTRAN for a summertime mid-latitude hazy atmosphere (circa 5 km visibility).*

Landsat 8

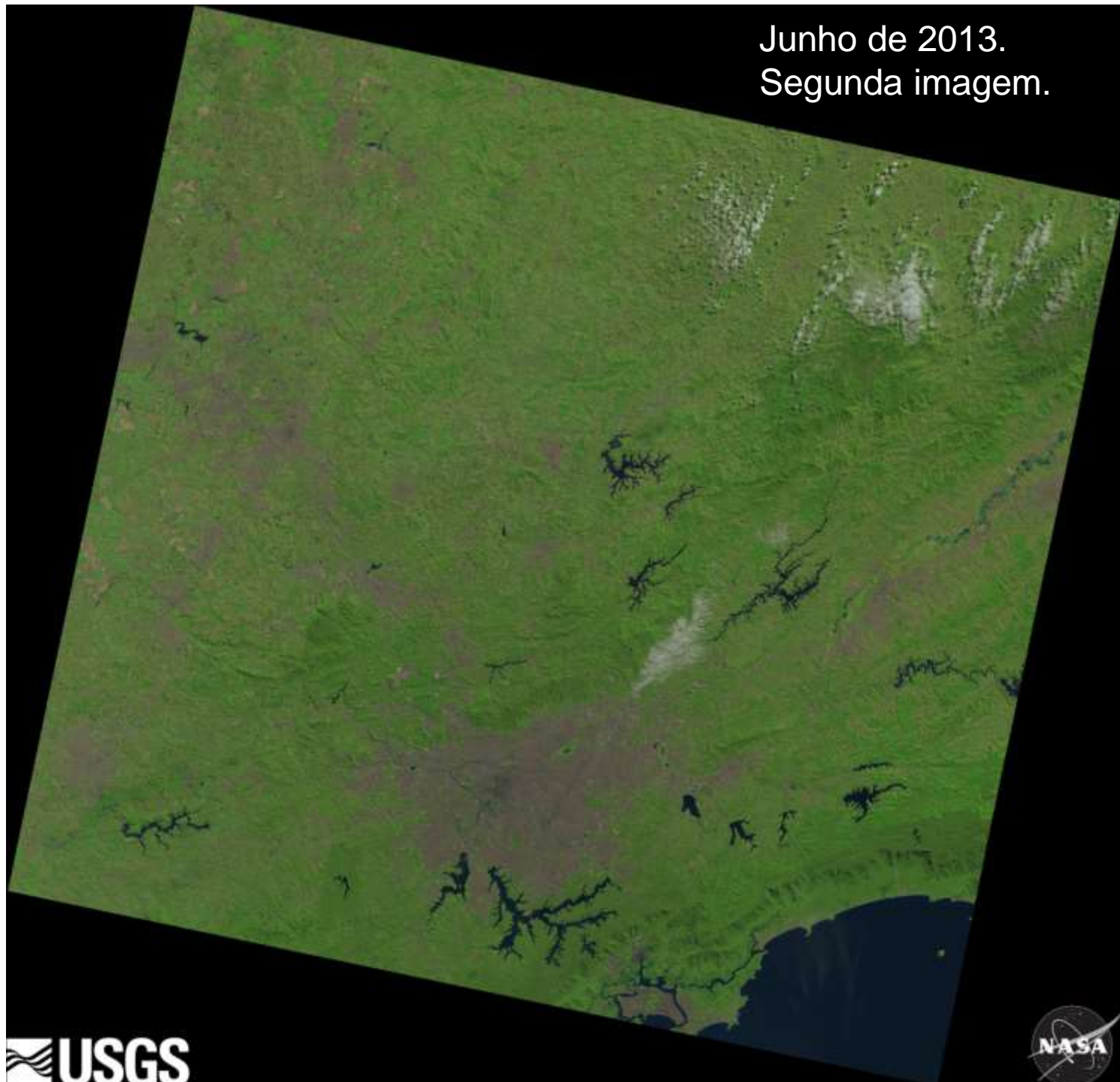
Maio de 2013.  
Primeira imagem.



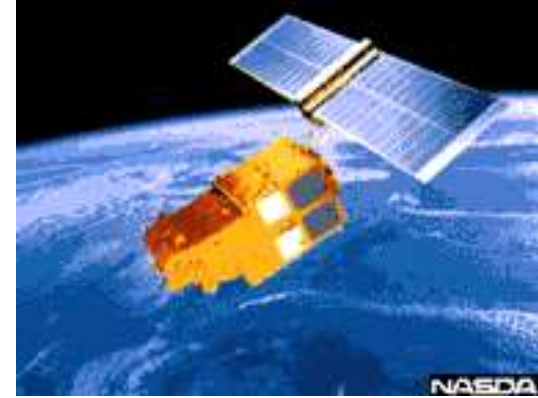


Landsat 8

Junho de 2013.  
Segunda imagem.



# SPOT 1, 2 e 3



- **1986: Spot** (*Système Pour L'Observation de la Terre*) – França, Bélgica e Suécia
- 2 sensores idênticos: **HRV** (*Haute Resolution Visible*) nos Spot's 1, 2 e 3
- 20m no multiespectral e 10m no pancromático
- Imagens com estereoscopia

# Spot 4



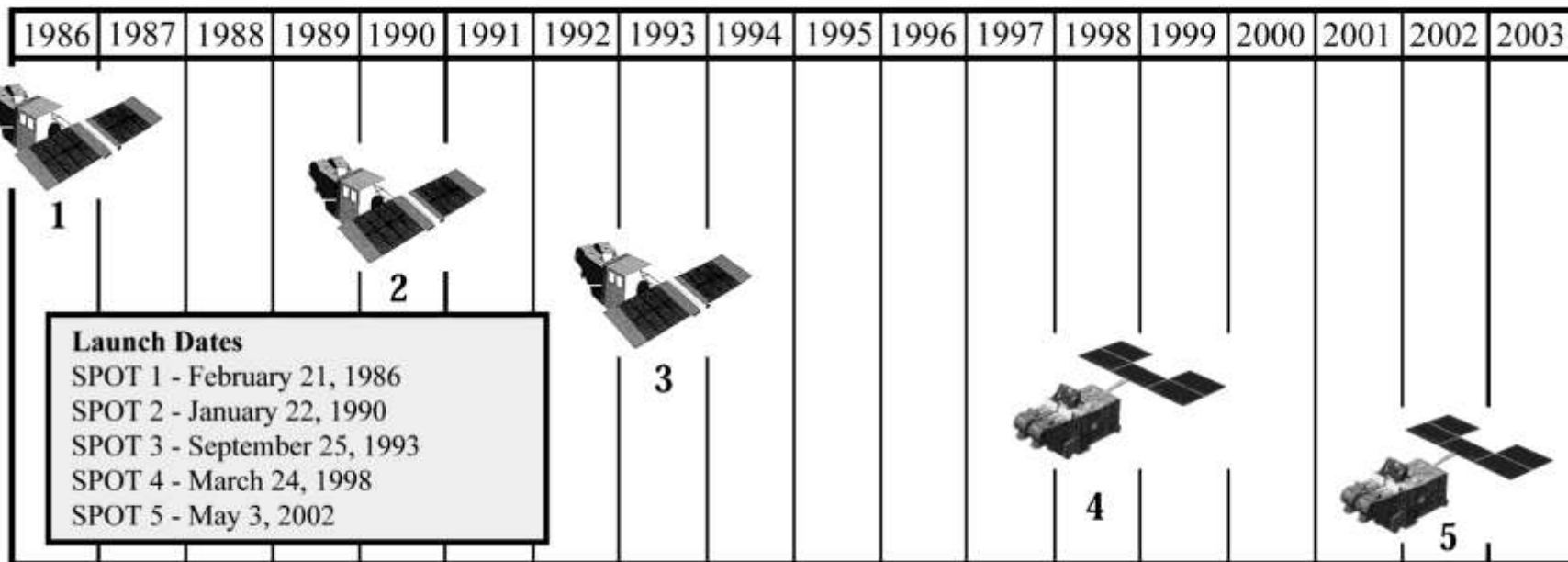
- **1998: Spot 4**
- **HRVI** (*Haute Resolution Visible et Infrarouge*)
- Banda do infravermelho médio
- Substituição da banda pancromática pelo vermelho (20 e 10m)

# Spot 5



- **1999: Spot 5**
- **HRVIR:** 10m multiespectral e 20 no infravermelho médio
- **HRS** (*Haute Resolution Stereoscopique*)
- Volta da pancromática: 5m
- Imagens com estereoscopia com 20m

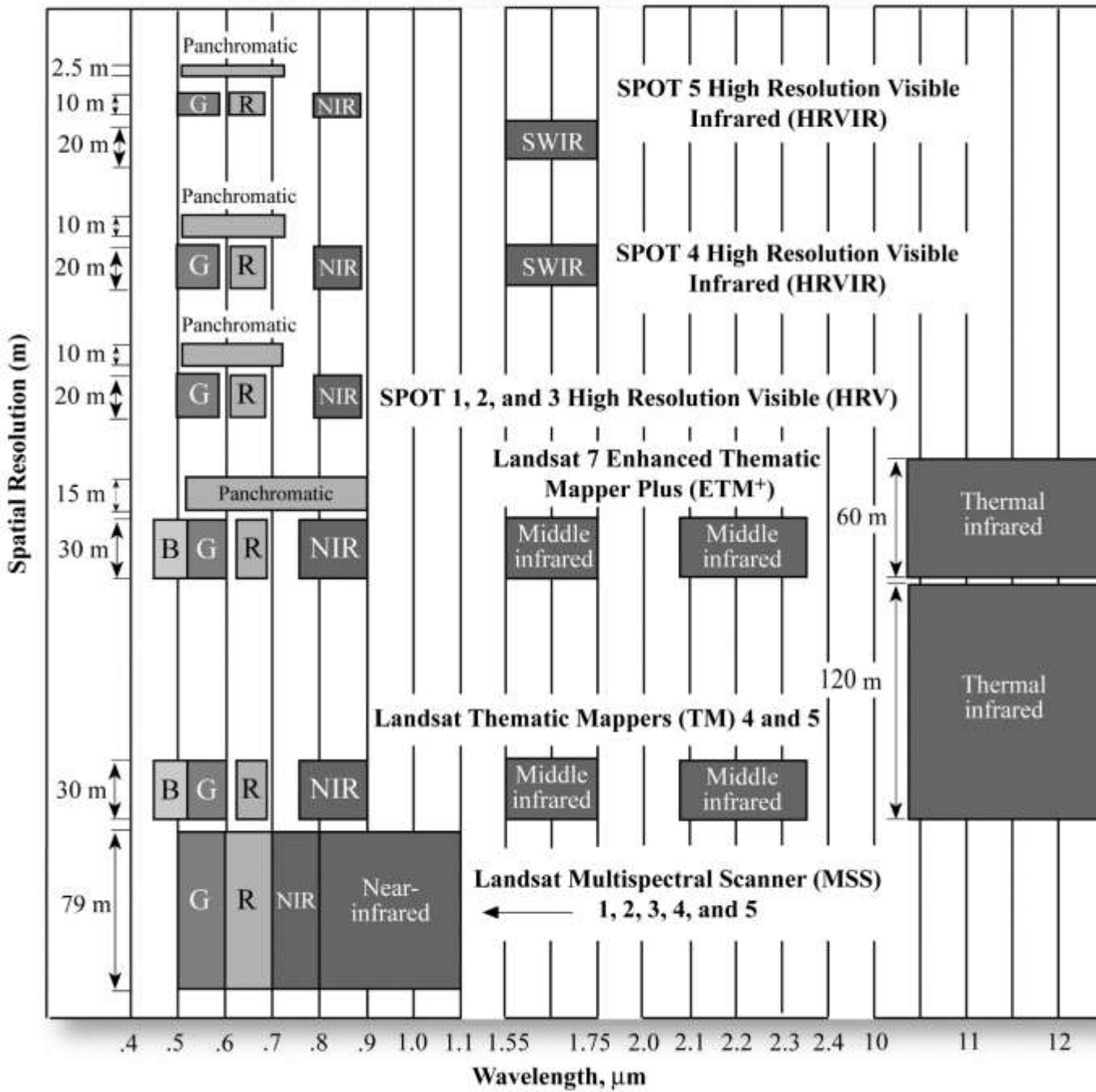
## Chronological Launch History of the SPOT Satellites



Jensen (2004)



# Spatial and Spectral Resolution of Landsat Multispectral Scanner, Landsat Thematic Mappers, and SPOT Sensor Systems



Jensen, 2000

# CBERS 1 e 2



## *China-Brazil Earth Resources Satellite*

*Lançamento: 14 de outubro de 1999 em  
Taiyuwan, China.*

3 câmeras

**CCD** – Câmera Imageadora de Alta Resolução: 5  
bandas – 20m

**IRMSS** – Imageador por Varredura de Média  
Resolução: 4 bandas - 80 e 160m

**WFI** – Câmera Imageadora de Amplo Campo de  
Visada: 2 bandas – 260m



# Programa CBERS. História.

## *China-Brazil Earth Resources Satellite*

Vale a pena recapitular um pouco da história até que esses números fossem alcançados: o Programa CBERS contemplou num primeiro momento apenas dois satélites de sensoriamento remoto, os CBERS-1 e 2. O sucesso do lançamento pelo foguete chinês Longa Marcha 4B e o perfeito funcionamento do CBERS-1 (lançado em outubro de 1999) e CBERS-2 (outubro de 2003) produziram efeitos imediatos. Brasil e China decidiram expandir o acordo e incluir outros três satélites da mesma categoria, os satélites CBERS-2B (setembro de 2007) e os CBERS-3 (dezembro de 2013, que não alcançou a órbita designada) e CBERS-4 (dezembro de 2014). O Presidente Lula anunciou em 14/04/2023 a retomada do Programa CBERS, com lançamento do CBERS 6 previsto para 2028.

# CBERS 2

imagem CBERS 2 CCD da região de Manaus - AM  
composição colorida 4 (R), 3 (G), 2 (B) - órbita 173/103 data 17/08/04



# CBERS 2B

Lançamento: 19 de setembro de 2007 em Taiyuan, China.

Semelhante ao CBERS 1 e 2, porém com substituição da camera IRMSS por uma camera pancromática HRC de 2,7 m



# CBERS 4

Lançado em 07 de dezembro de 2014

Centro de Lançamento de Taiyuan, China.



# CBERS 4A

Lançado em 20 de dezembro de 2019

Centro de Lançamento de Taiyuan, China.



## Características das câmaras do CBERS 3 e 4

	MUX	PAN	IRS	WFI
Bandas Espectrais	0,45-0,52 $\mu$ m (B) 0,52-0,59 $\mu$ m (G) 0,63-0,69 $\mu$ m (R) 0,77-0,89 $\mu$ m (NIR)	0,51-0,85 $\mu$ m (Pan) 0,52-0,59 $\mu$ m (G) 0,63-0,69 $\mu$ m (R) 0,77-0,89 $\mu$ m (NIR)	0,50-0,90 $\mu$ m (Pan) 1,55-1,75 $\mu$ m (SWIR) 2,08-2,35 $\mu$ m (SWIR) 10,40-12,50 $\mu$ m (TH)	0,45-0,52 $\mu$ m (B) 0,52-0,59 $\mu$ m (G) 0,63-0,69 $\mu$ m (R) 0,77-0,89 $\mu$ m (NIR)
Resolução	20 m	5 m / 10 m	40 m / 80 m (TIR)	64 m
Largura da Faixa Imageada	120 km	60 km	120 km	866 km
Apontamento	não	$\pm 32^\circ$	não	não
Revisita	26 dias	5 dias		
Revisita real	26 dias	não	26 dias	5 dias
Quantização	8 bits	8 bits	8 bits	10 bits
Taxa de Dados Bruta	68 Mbit/s	140 Mbit/s 100 Mbit/s	16 Mbit/s	50 Mbit/s



# CBERS 4



**Florianópolis**

**Sat/Sen:** CBERS 4 / MUX

**Base/Ponto:** 155/131

**Passagem:** 08/01/2015

**Resolução Espacial:** 20 Metros

**Composição:** 7(R), 6(G), 5(B)

**Projeção/Datum:** UTM/22S/WGS84

**Produzido pelo INPE/OBT/DGI**



# CBERS 4

**Rio de Janeiro**  
**Sat/Sen:** CBERS 4 / MUX  
**Base/Ponto:** 150/126  
**Passagem:** 20/01/2015

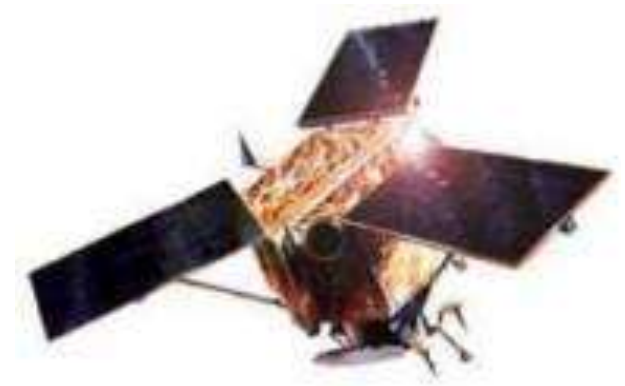
**Resolução Espacial:** 20 Metros  
**Composição:** 7(R), 6(G), 5(B)  
**Projeção/Datum:** UTM/23S/WGS84  
**Produzido pelo INPE/OBT/DGI**



# Imagens de alta resolução

## Ikonos:

- **1999**
- 4 bandas multiespectrais: 4m
- 1 pancromática: 1m





# Itaipu



# Imagens de alta resolução

## Quick Bird:

- 2000
- 3,4m no multiespectral
- 0,68m no modo pancromático



# Parque do Ibirapuera



<http://www.sat.cnpm.embrapa.br/satelite/quickbird.html>



Feature	QuickBird	WorldView-1	WorldView-2
Operational Altitude	450 km	496 km	770 km
Weight Class	1100 kg (2400 lb)	2,500 kg (5500 lb)	2,800 kg (6200 lb)
Spectral Characteristics	Pan + 4 MS	Pan	Pan + 8 MS
Panchromatic Resolution (nadir)	60 cm (0.6 m)	50 cm (0.5 m)	50 cm (0.5 m)
Multispectral Resolution (nadir)	2.4 meters	N/A	1.8 meters
Accuracy Specification*	24M CE90	6.5M CE90	6.5M CE90
Measured Accuracy* (133 samples)	16.4M CE90	4.1M CE90	TBD
Swath Width	16.5 km	17.5 km	16.4 km
Average Revisit at 40°N latitude	2.4 days at 1m GSD 5.9 days at 20° off-nadir	1.7 days at 1m GSD 5.9 days at 20° off-nadir	1.1 days at 1m GSD 3.7 days at 20° off-nadir
Monoscopic Area Coverage	1x	4.5x per satellite	
Single-Pass Stereoscopic Coverage	Single Scene (10° off-nadir)	2 x 2 Scenes (<30° off nadir) 1 x 10 Scenes (<30° off nadir)	
Attitude Control Actuators	Reaction Wheels	Control Moment Gyros (CMGs)	
Onboard Storage	137 Gbits (2 <sup>37</sup> bits)	2199 Gbits (2 <sup>41</sup> bits)	
Wideband Data Downlink Rate	320 Mbps total 280 Mbps effective	800 Mbps total 697 Mbps effective	
Rapid Delivery Options	Virtual Ground Terminal (VGT)	Direct Downlink, VGT	



# World View-2

**Country** : Japan  
**Area** : Fukushima Daiichi Nuclear Facility  
**Acquisition Date** : March 14, 2011  
**Sensor** : Worldview-2  
**Resolution** : 0.5 Meters



[www.satimagingcorp.com](http://www.satimagingcorp.com)

Copyright © DigitalGlobe 2011. All Rights Reserved

# Leituras sugeridas para as próximas semanas (até 15/09/2023)

SENSORIAMENTO REMOTO DO AMBIENTE:  
uma perspectiva em recursos terrestres.  
(Capítulos 1 e 2). J.R. Jensen

**(Disponíveis no Moodle).**

# Fichamento para a Aula 3 (15/09/2023)

Os novos enfoques da Geografia com o apoio das Tecnologias da Informação Geográfica.

**Reinaldo Paul Pérez Machado**

<https://www.researchgate.net/publication/266387529>

O link para baixar o arquivo estará disponível no Moodle.

**Fazer a entrega no próprio Moodle conforme instruções.**

Muito obrigado pela atenção!