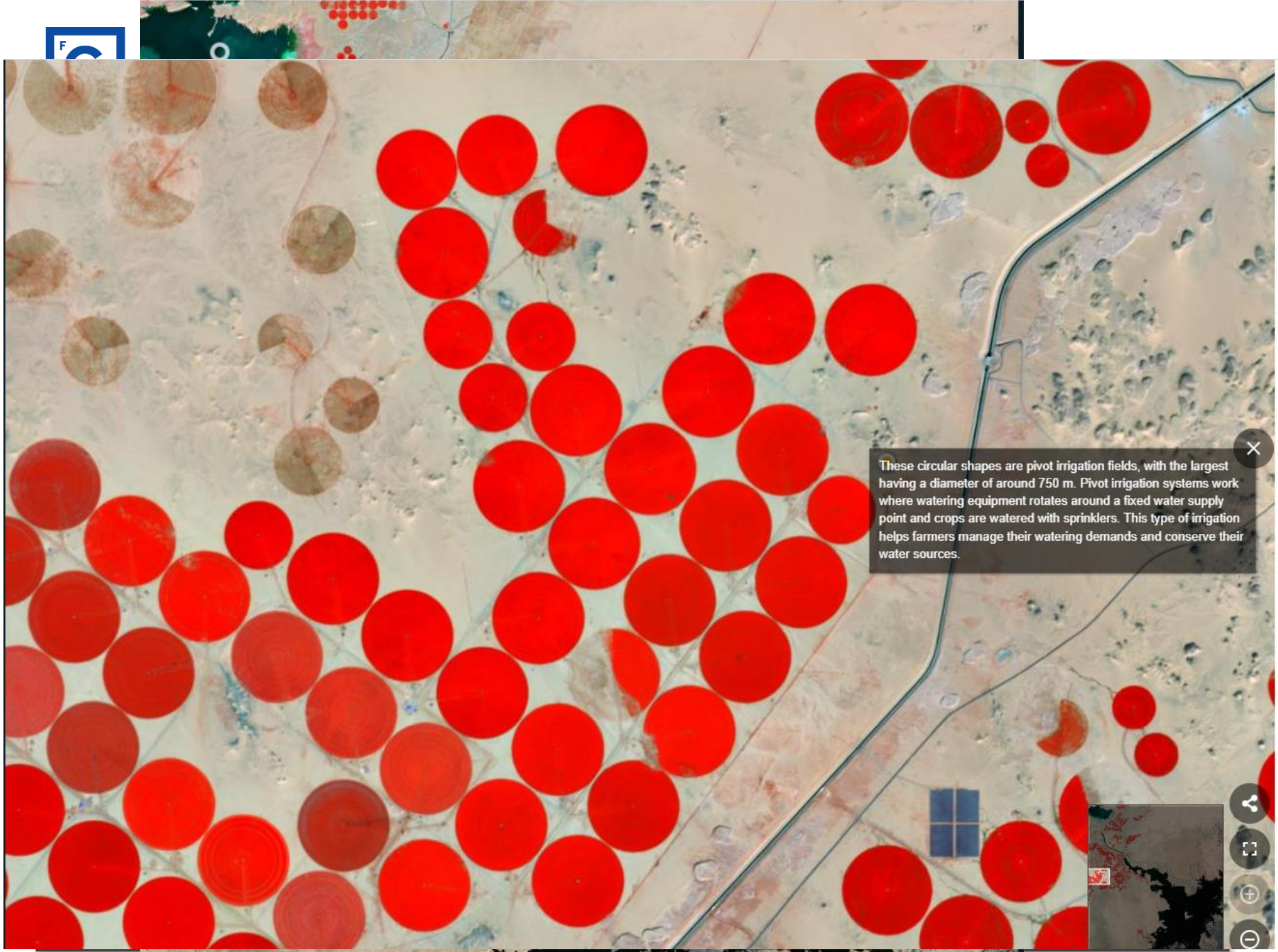


# PRINCIPIOS E APLICAÇÕES DA DETECÇÃO REMOTA



## Princípios Físicos da Deteção Remota



These circular shapes are pivot irrigation fields, with the largest having a diameter of around 750 m. Pivot irrigation systems work where watering equipment rotates around a fixed water supply point and crops are watered with sprinklers. This type of irrigation helps farmers manage their watering demands and conserve their water sources.

## Chapter 2 – Physical Principles of Remote Sensing

- Características da radiação eletromagnética
- Equações de Maxwell
- Quantidades radiométricas
- Interação da radiação com a matéria
- Radiação Térmica
- Fontes de radiação eletromagnética
- Radiação Solar
- Interação com a atmosfera
- Conversão DN para radiância
- Correção radiométrica e Geométrica de imagens



# Electromagnetic radiation characteristics

In physics, radiation is the emission or transmission of energy in the form of waves or particles through space or through a material medium

We are going to address systems based on electromagnetic radiation

## Modelo das Partículas (Planck)

A radiação é transportada por fotões, ou quanta, que viajam à velocidade da luz e cuja energia é proporcional à frequência de oscilação.

$$Q = hf$$



$$c = \lambda f$$

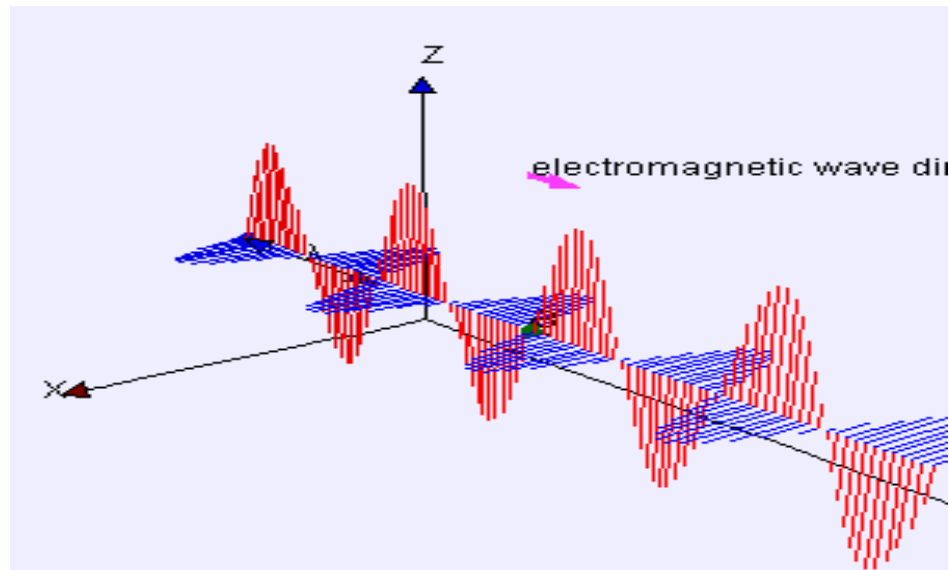


$$Q = \frac{hc}{\lambda}$$

Q é a energia de um quantum (em Joules), h a constante de Planck ( $6.626 \times 10^{-34}$  J.s)  
f a frequência em Hz (Hertz) e c a velocidade da luz.

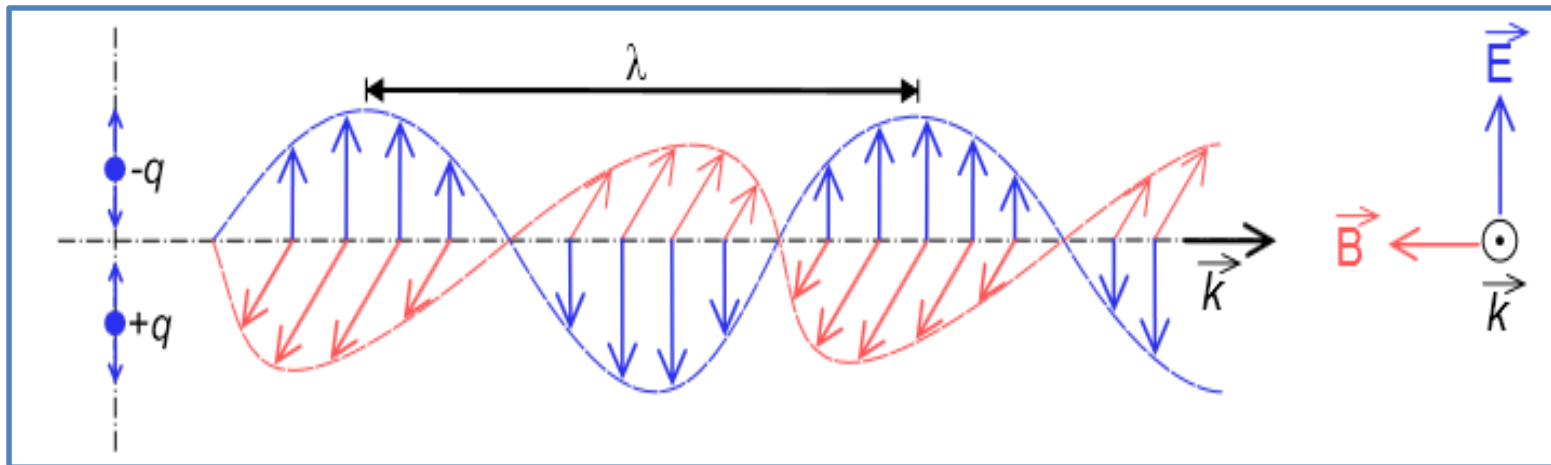
## Modelo das Ondas

A teoria das ondas postula que a radiação electromagnética é um processo ondulatório composto por um campo eléctrico e um campo electromagnético perpendiculares entre si e à direcção de propagação.



Synchronized  
oscillation of  
two fields:  
electric and  
magnetic

# Electromagnetic radiation characteristics



**E** : campo eléctrico; **B** : campo magnético; **k** : deslocamento

- Frequência ( $f$ ): número de ondas completas que passam por um ponto por unidade de tempo (segundo)
- Período ( $T$ ): tempo necessário para uma onda dar uma volta completa pelo mesmo ponto

## Equações de Maxwell

Publicadas num artigo "On Physical Lines of Force" em 1861 (reescritas por Oliver Heaviside e Willard Gibbs , que em 1884 ).

$$\nabla \times \mathbf{H} = \frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t} + \mathbf{j}$$

$$\nabla \cdot \mathbf{D} = \rho_e$$

**D:** deslocamento

**E:** campo elétrico

$$\nabla \times \mathbf{E} = - \frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t}$$

$$\nabla \cdot \mathbf{B} = 0$$

**H:** campo magnético

**B:** indução magnética

Em que:  $\nabla = \left( \frac{\partial}{\partial x}, \frac{\partial}{\partial y}, \frac{\partial}{\partial z} \right)$  é o operador Nabla, usado

Como rotacional  $\nabla \times$  e divergência  $\nabla \cdot$ ,  
 $\mathbf{j}$  é a densidade da corrente elétrica e  $\rho_e$  a densidade da carga elétrica.

Para um meio homogéneo e isotrópico distante de qualquer fonte emissora, os campos **D** e **H** estão relacionados com os campos **E** e **B** pelas expressões:

$$\mathbf{D} = \epsilon \mathbf{E} \qquad \mathbf{B} = \mu \mathbf{H}$$

Deslocamento  $\approx$  Campo Elétrico

Em que:

$\epsilon$  é a constante dielétrica ou permissividade elétrica e  
 $\mu$  é a permeabilidade magnética.

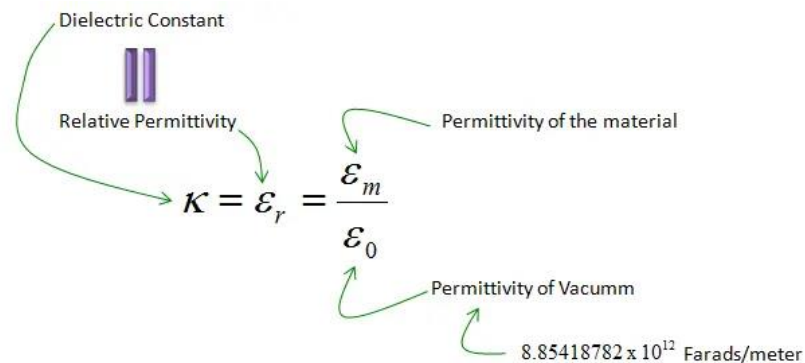
No caso do vácuo, que é um meio linear, homogéneo e isotrópico, as constantes elétricas são designadas por  $\epsilon_0$  e  $\mu_0$ .

$$c_0^2 = \frac{1}{\mu_0 \epsilon_0}$$

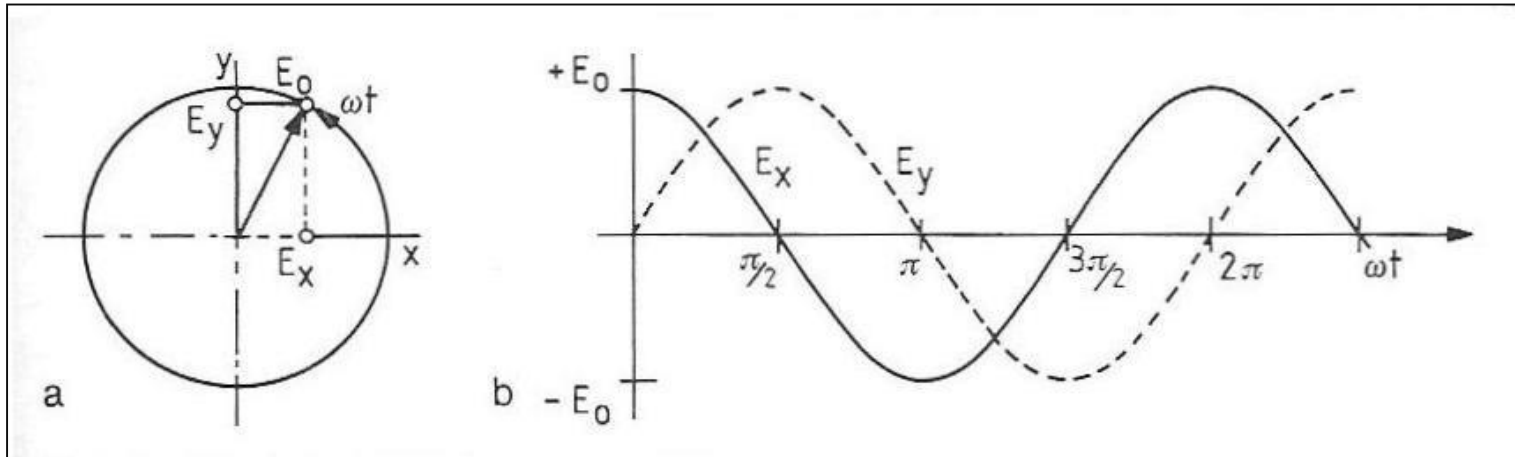


**Tabela 1** – Propriedades físicas de diversos materiais (Annan, 1992).

Material	Constante dielétrica	Condutividade elétrica (mS/m)	Velocidade (m/ns)	Atenuação (db/m)
Ar	1	0	0.3	0
Água destilada	80	0.01	0.033	$2 \cdot 10^{-3}$
Água doce	80	0.5	0.033	0.1
Areia seca	3.0–5.0	0.01	0.15	0.01
Areia saturada	20–30	0.1–1	0.06	0.03–0.3
Calcário	4.0–8.0	0.5–2	0.12	0.4–1
Folhelho	5.0–15.0	1–100	0.09	1–100
Siltito	5.0–30.0	1–100	0.07	1–100
Argila	5.0–40.0	2–1000	0.06	1–300
Granito	4.0–6.0	0.01–1	0.13	0.01–1



# Plane electromagnetic waves



$$\frac{d^2 \mathbf{E}}{dt^2} + \omega^2 \mathbf{E} = 0$$

Em que  $\mathbf{E}$  é o campo elétrico e  $\omega$  é uma constante (frequência angular). Uma possível solução para esta equação é:

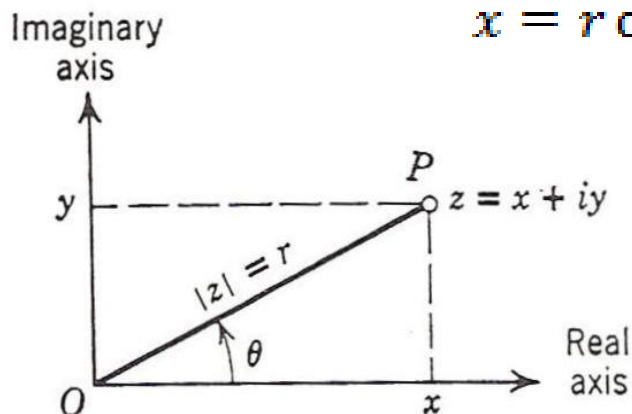
$$\mathbf{E} = \mathbf{E}_0 \cos \omega t$$

# Plane electromagnetic waves

Outra possível solução seria:  $E = E_0 \sin \omega t$

Para englobar as duas possíveis soluções é usual representar o movimento no plano complexo com o eixo dos  $xx$  real e um eixo dos  $yy$  imaginário. A solução é:

$$E = E_0 (\cos \omega t + i \sin \omega t) = E_0 \exp(i\omega t)$$



$$x = r \cos \theta; \quad y = r \sin \theta; \quad z = r (\cos \theta + i \sin \theta)$$

$$e^{iy} = \cos y + i \sin y$$

$$z = r e^{i\theta}$$



# Quantidades Radiométricas

## Energia Radiante (Q)

(Radiant Energy)

Energia Radiante é a quantidade de radiação eletromagnética recebida ou emitida por um corpo.

Unidades: Joule (J)

## Fluxo Radiante ( $\Phi$ )

$$\frac{dQ}{dt}$$

Radiant flux or  
radiant power

O Fluxo radiante ( $\Phi$ ), ou Potencia radiante, é a energia total radiada em todas as direções por unidade de tempo.

Unidades : Watt (W)

(relativo a um elemento pontual, área nula)

# Quantidades Radiométricas

## Emitância (M)

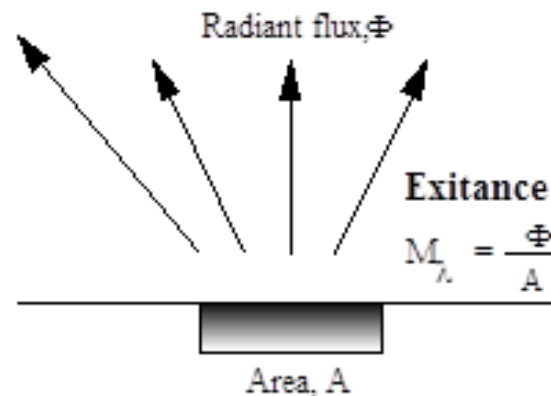
$$\frac{d\Phi}{dA} \text{ (out)}$$

(Emittance: radiant flux emitted by a surface per unit area)

Fluxo emitido por unidade de área

A Emitância (M), é o Fluxo radiante emitido por uma fonte extensa, por unidade de área projetada, **em todas as direções** (sem especificação da direccionalidade)

Unidades: W m<sup>-2</sup>  
(Watt por metro quadrado)



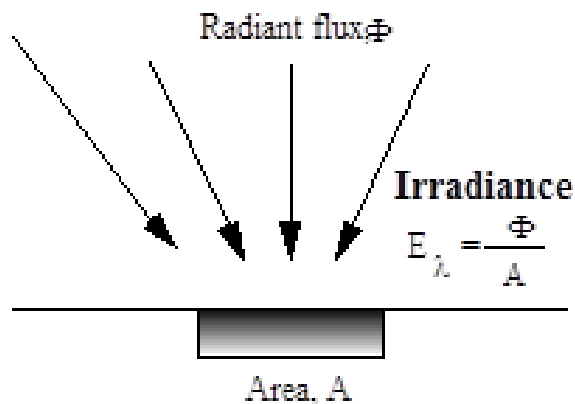
# Quantidades Radiométricas

## Irradiância (E)

$$\frac{d\Phi}{dA} \text{ (in)}$$

Irradiância (E) é a energia radiada numa unidade de área incidente numa superfície elementar. A potência recebida por unidade de área é fundamental para definir a SNR (relação sinal ruído) da imagem (muito mais do que saber a potência total recebida). Grandeza hemisférica.

Unidades:  $W \text{ m}^{-2}$   
(Watt por metro quadrado)



Fluxo incidente por  
unidade de área

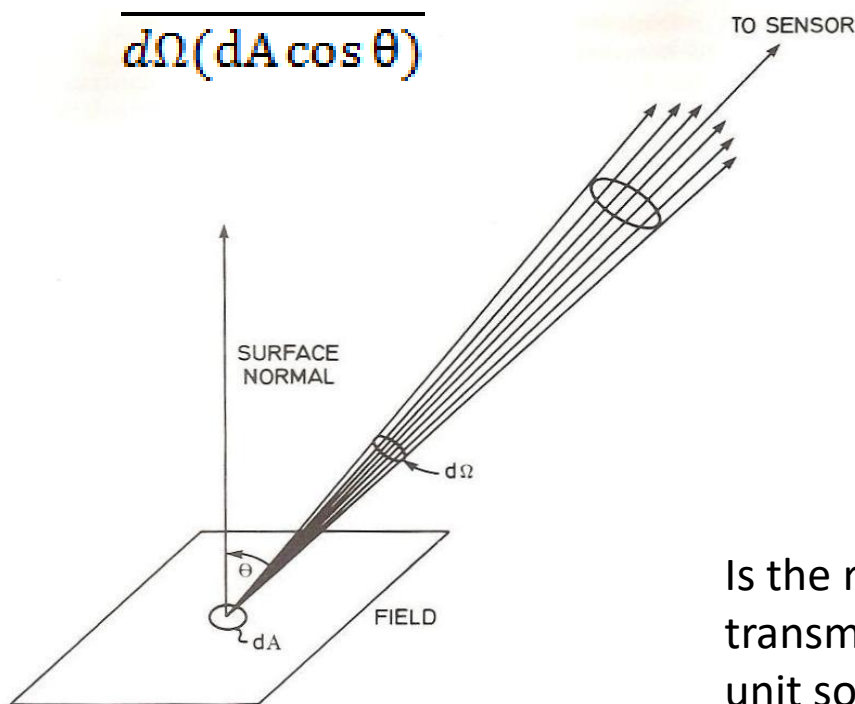
radiant flux *received* by a *surface* per unit area

# Quantidades Radiométricas

## Radiância (L)

Radiância (L) é o fluxo radiante por unidade de ângulo sólido que é emitido ou transmitido por unidade de área projetada. Grandeza cônica.

$$\frac{d\Phi}{d\Omega(dA \cos \theta)}$$



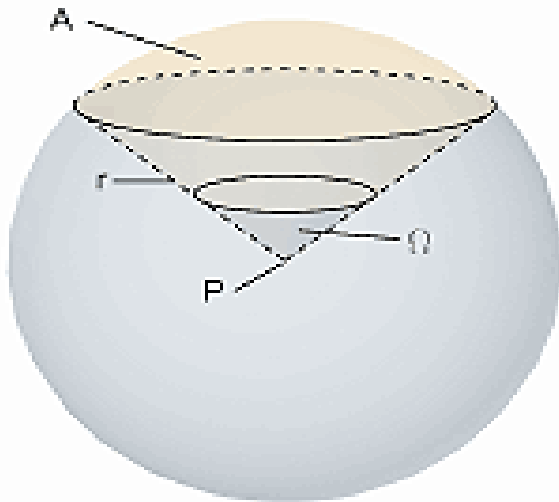
A Radiância é um dos termos mais importantes em Detecção Remota. É a energia que chega ao sensor.

Unidades :  $W m^{-2} sr^{-1}$

Is the radiant flux emitted, reflected, transmitted or received by a given surface, per unit solid angle per unit projected area.

# Angulo Sólido

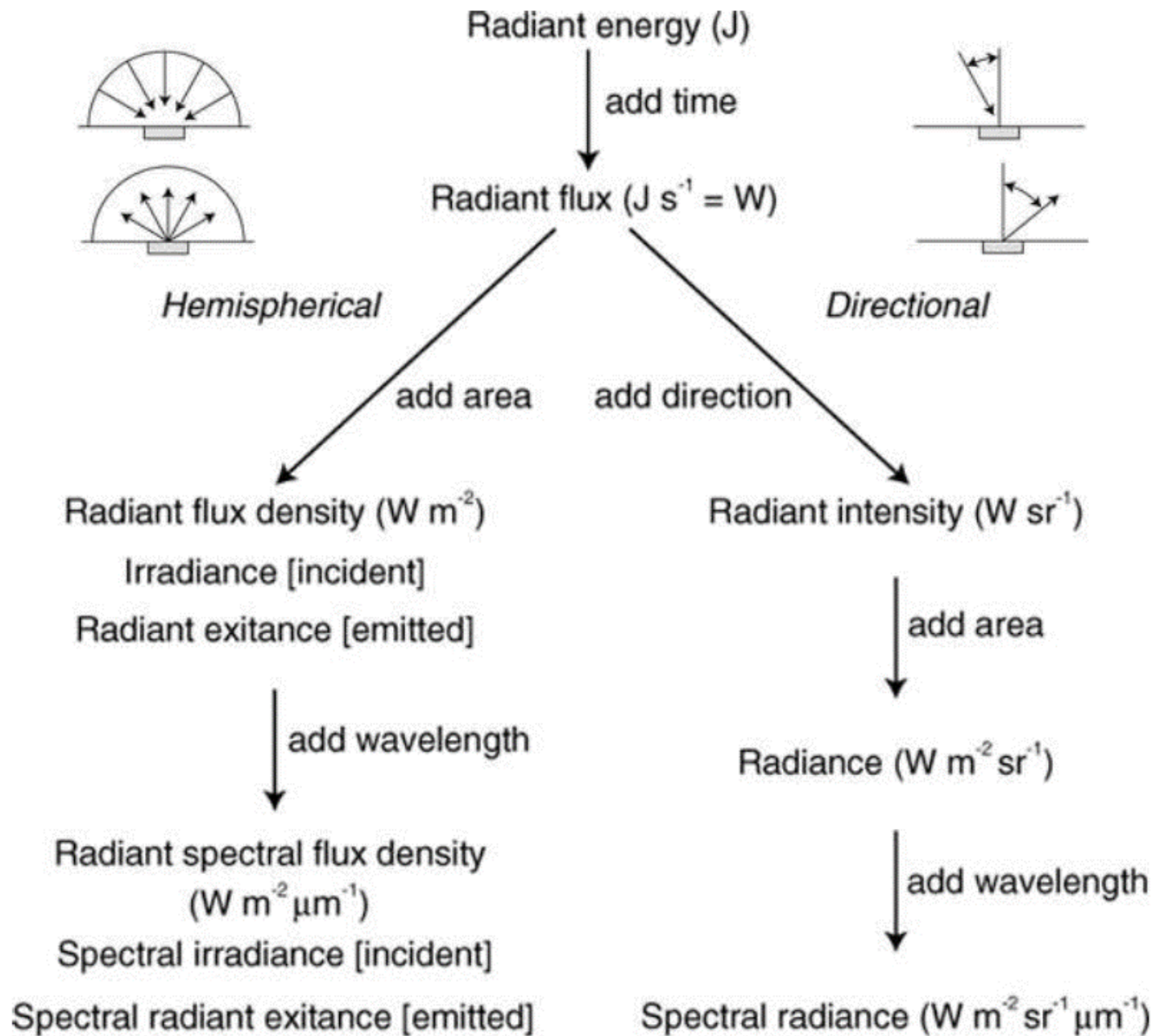
O ângulo sólido  $\Omega$  é definido como o ângulo (sólido) subjacente a uma área "A" na superfície de uma esfera dividida pelo quadrado do raio da esfera e é dado em unidades de esterradiano (sr).



$$\Omega = \frac{A}{r^2}$$

A : área da superfície da esfera  
r : raio da esfera  
 $\Omega$  : ângulo sólido





# Thermal Radiance

---

Todos os corpos com temperatura superior a 0°K emitem radiação com comprimento de onda  $\lambda$  variável no espectro eletromagnético.

A quantidade de energia (radiância) que um objeto radia é função da temperatura do corpo e é dada pela Lei de Planck do corpo negro:

$$L_\nu = \frac{2h\nu^3}{c^2} \cdot \frac{1}{e^{\frac{h\nu}{kT}} - 1}$$

Usualmente com  
unidades:  
 $\text{Wm}^{-2} \text{sr}^{-1} \text{Hz}^{-1}$

em que  $k$  é a constante de Boltzman,  $k=1.38 \times 10^{-23} \text{ J K}^{-1}$ , e  $h$  é a constante de Planck ( $6.6261 \times 10^{-34} \text{ J s}$ )

# Thermal Radiance

A equação de Planck pode ser expressa em termos de comprimento de onda em vez de frequência e neste caso a **Radiância Espectral** é dada por:

$$L_{\lambda} = \frac{2hc^2}{\lambda^5} \cdot \frac{1}{e^{\frac{hc}{\lambda kT}} - 1} \quad Wm^{-3}sr^{-1}$$

Se  $\frac{h \cdot c}{\lambda \cdot k \cdot T} \ll 1$ , o que é válido no caso da radiação emitida pela

Terra (T cerca de 290° K) na região das micro-ondas e das frequências radio, então:

$$L_{\lambda} = \frac{2 \cdot k \cdot T}{\lambda^2} \quad \text{Aproximação de Rayleigh-Jeans}$$

# Sources of electromagnetic radiation

---

Integrando a função de Planck em todos os comprimentos de onda (ou frequências) obtemos a Lei de Stefan-Boltzman:

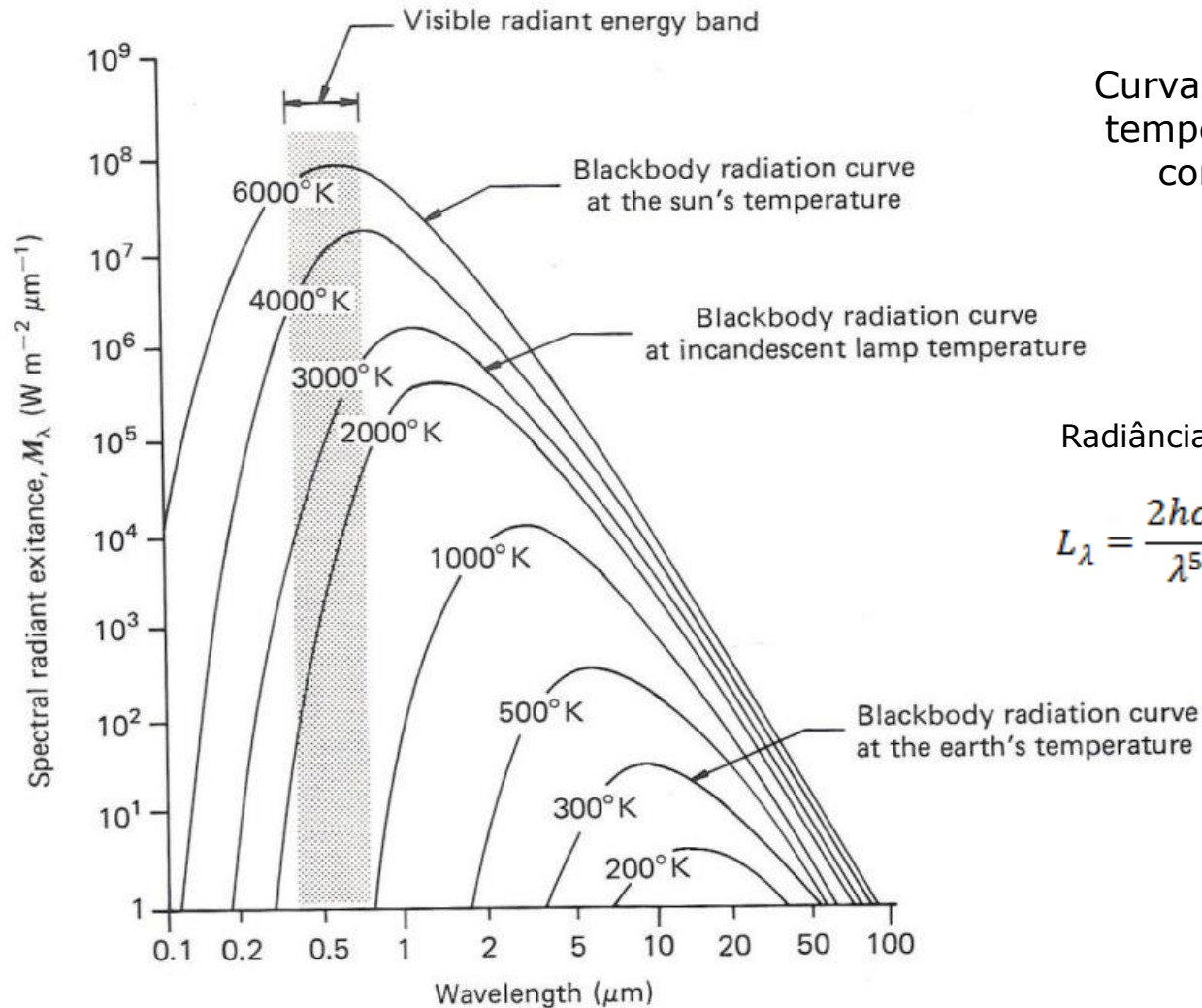
$$L = \int_0^{\infty} L_{\lambda} d\lambda = \frac{2k^4\pi^4}{15 c^2 h^3} T^4$$

Integrando em todas as direções, obtemos:

$$\text{(Emittance)} \quad M = \int_0^{2\pi} d\phi \int_0^{\frac{\pi}{2}} \sin \theta \cos \theta L d\theta = \sigma T^4 \quad W m^{-2}$$

Com  $\sigma = 5.670 \times 10^{-8}$  ( $W m^{-2} K^{-4}$ ), constante de Stefan-Boltzman e  $T$  a temperatura em K.

# Sources of electromagnetic radiance

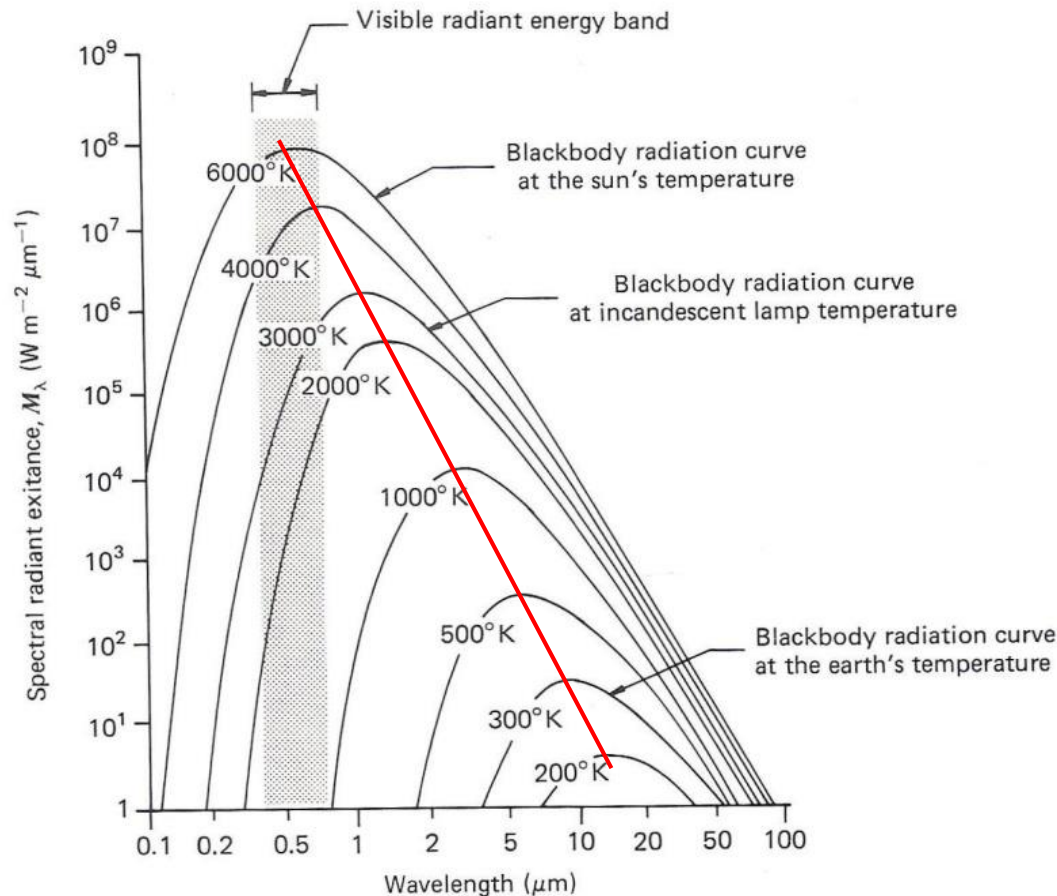


Curvas de Planck para várias temperaturas em função do comprimento de onda

Radiância espectral

$$L_\lambda = \frac{2hc^2}{\lambda^5} \cdot \frac{1}{e^{\frac{hc}{\lambda kT}} - 1} \quad Wm^{-3}sr^{-1}$$

# Sources of electromagnetic radiance



O comprimento de onda para o qual a curva atinge o máximo está relacionada com a sua temperatura pela lei do deslocamento de Wien's.

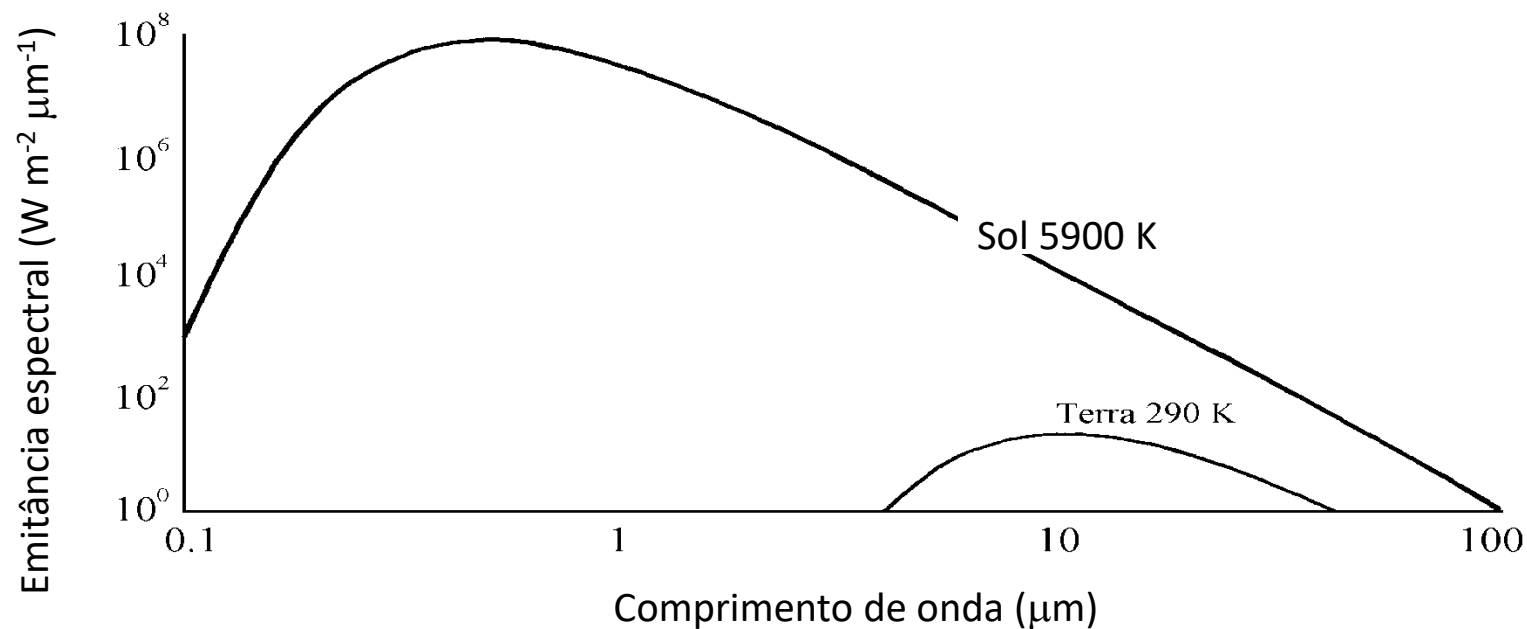
Esta lei é obtida calculando o máximo da curva de Planck é:

$$\lambda_{max} = \frac{2898 (\mu\text{m} \cdot \text{K})}{T (\text{K})}$$

Temperatura de cor

# Sources of electromagnetic radiance

Curvas da emitância espectral de dois corpos com temperaturas próximas do Sol e da Terra



Para a Terra,  $T=290\text{K} \rightarrow \lambda_{\text{max}} = 9.7 \mu\text{m}$  (infravermelho térmico).  
Para o Sol o valor de comprimento de onda dominante é  $0.480 \mu\text{m}$  (amarelo) .

# Radiação dos materiais reais e emissividade

---

Os materiais reais não se comportam como o corpo negro.

Emitem apenas uma fração da radiação emitida por um corpo negro a uma temperatura equivalente. Este facto é tido em consideração pela quantidade EMISSIVIDADE, ou coeficiente de emissividade( $\varepsilon$ )

$$\varepsilon(\lambda) = \frac{\text{Emitancia radiante do objecto a uma dada temperatura}}{\text{Emitancia radiante do corpo negro à mesma temperatura}} = \frac{M_{\lambda}}{M_{\lambda}(\text{corpo negro})}$$

A emissividade ( $\varepsilon$ ) é uma medida da capacidade de emissão de energia por radiação da sua superfície. A emissividade tem valores entre 0 e 1.

---





# Emissividade

A emissividade depende do comprimento de onda, da temperatura e de algumas propriedades físicas do material como a concentração de água ou densidade

Material	Average Emissivity over 8-14 $\mu\text{m}$
Clear water	0.98 - 0.99
Healthy green vegetation	0.96 - 0.99
Dry vegetation	0.88 - 0.94
Asphaltic concrete	0.94 - 0.97
Basaltic rock	0.92 - 0.96
Granitic rock	0.83 - 0.87
Dry mineral soil	0.92 - 0.96
<b>Polished metals</b>	<b>0.06 - 0.21</b>

Source: Lillesand et al. (2008)

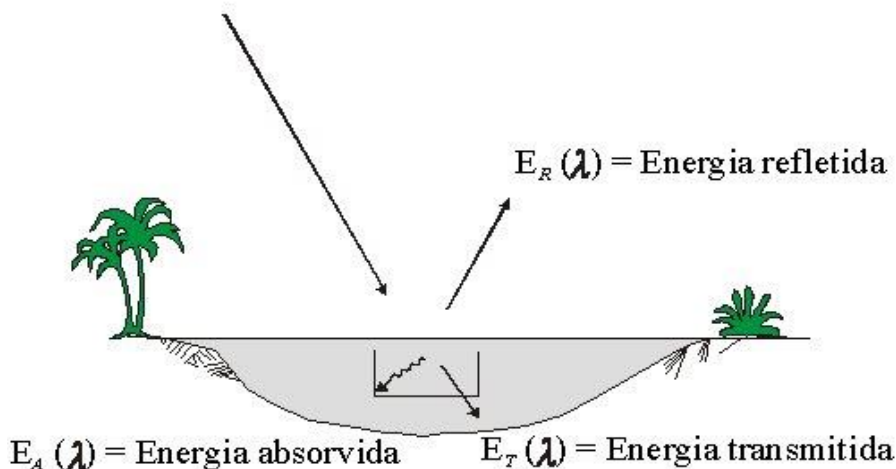
# Interação da radiação com a matéria

Quando a radiação eletromagnética incide na superfície terrestre, podem ocorrer três tipos de interação : a energia é **refletida**, **absorvida** e/ou **transmitida**.

Aplicando o princípio da conservação da energia , podemos estabelecer a relação entre as três interações como:

$$E_I(\lambda) = E_R(\lambda) + E_A(\lambda) + E_T(\lambda) \quad (\text{Irradiância})$$

$E_I(\lambda)$  = Energia incidente



Dividindo por  $E_I$  obtemos:

$$1 = \rho + \alpha + \tau$$

Razão entre a energia refletida e a energia incidente

# Interacção da radiação com a matéria

---

## Refletância

reflectance

A reflectância ( $\rho$ ) é a razão entre o fluxo radiante refletido e o incidente.

$$M_r = \rho E_i$$

## Absorvidade

absorptance

A Absorvidade ( $\alpha$ ) é a razão entre o fluxo radiante absorvido e o incidente.

## Transmissividade

transmittance

A Transmissividade ( $\tau$ ) é a razão entre o fluxo radiante transmitido e o incidente.

# Interação da radiação com a matéria

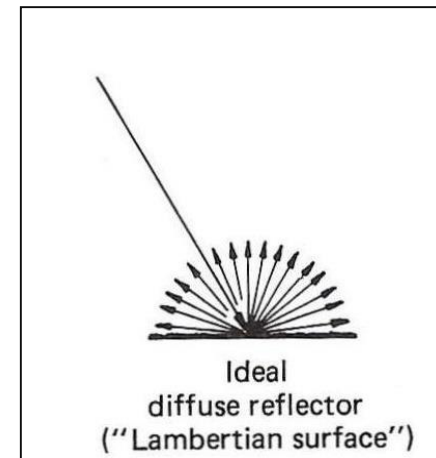
Para uma superfície Lambertiana a relação entre **radiância** espectral (grandeza "cónica") e **emitância** espectral (grandeza "hemisférica") é dada por

$$M_{\lambda} = \pi L_{\lambda}$$

e a reflectância espectral é dada por:

$$\rho_{\lambda} = \pi \frac{L_{\lambda}}{E_{\lambda}} \rightarrow \text{Irradiância (incidente)}$$

↓  
Radiância (refletido)



# Infravermelho Térmico

---

De acordo com a lei da radiação de Kirchhoff  $\epsilon_\lambda = \alpha_\lambda$

A emissividade espectral de um corpo negro é igual à sua absorção espectral: “good absorbers are good emitters” .

De acordo com esta lei:  $\epsilon_\lambda + \rho_\lambda + \tau_\lambda = 1$

Uma vez que a maioria dos corpos são opacos para a radiação do infravermelho térmico:

$$\epsilon_\lambda + \rho_\lambda = 1$$

Quanto maior a reflectancia no infravermelho térmico menor é a emissividade do corpo.

---



# Infravermelho Térmico

---

Se for conhecida a emissividade de um material, a sua temperatura absoluta (temperatura cinética,  $T_{kin}$ ) pode ser obtida da radiação que emite.

Se a emissividade não é conhecida, só poderemos conhecer a temperatura de brilho do material.

Uma vez que é válida a relação

$$T_{rad} = \varepsilon T_{kin}$$

A temperatura radiante (temperatura de brilho) de um material real é sempre menor que a sua temperatura cinética. No entanto, para um corpo negro verifica-se:

$$T_{rad} = T_{kin}$$

---

# Temperatura de brilho

A radiância espectral é dada pela formula de Planck

Medido pelo sensor

$$L_{\lambda} = \frac{2hc^2}{\lambda^5 \cdot \left(e^{\frac{hc}{\lambda KT}} - 1\right)}$$

$$L_{\lambda} = \frac{2 \cdot k \cdot T}{\lambda^2}$$

$$M_{\lambda} = \pi L_{\lambda} \longrightarrow M = \sigma T^4$$

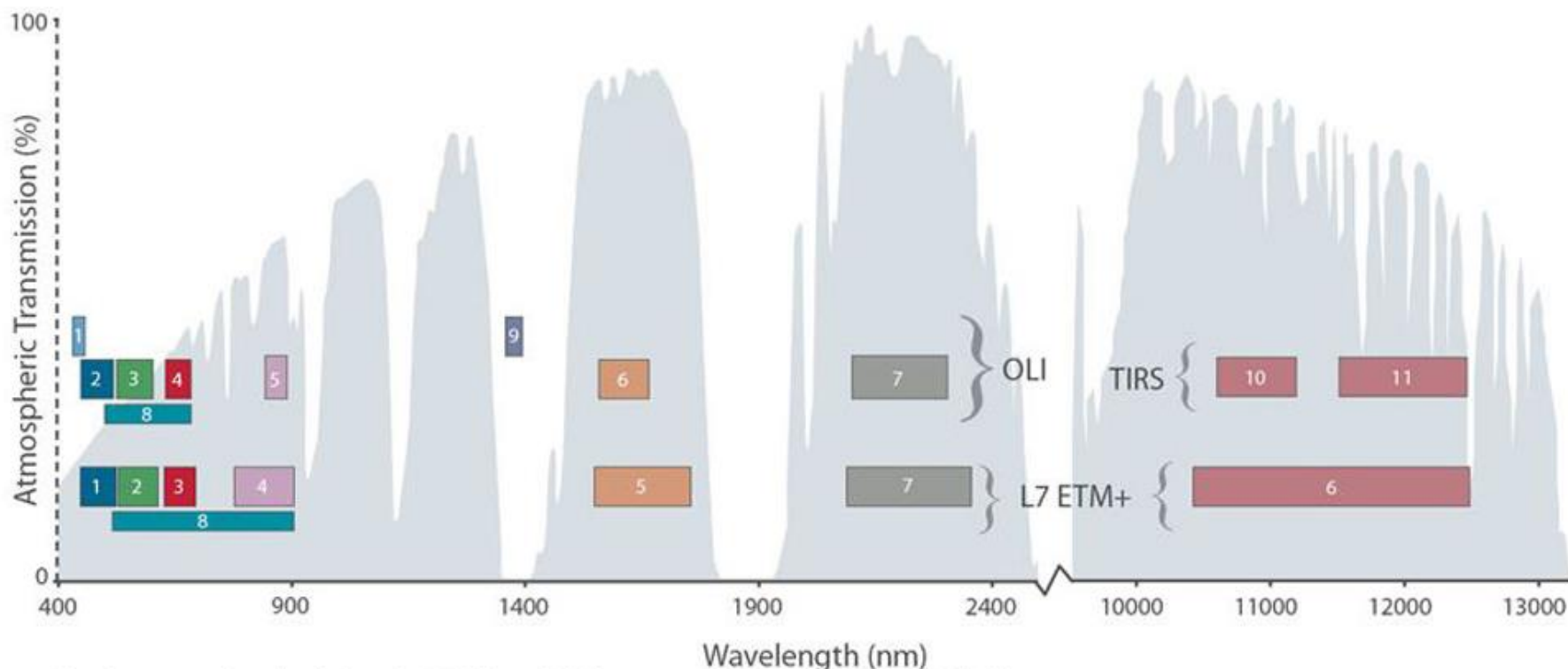
$$T_{rad} = \varepsilon T_{kin} \longleftarrow T_{rad} = \left(\frac{\pi L_{\lambda}}{\sigma}\right)^{1/4}$$

$L_{\lambda} = ??$



# Infravermelho Térmico

## Sensor Systems operating in the thermal IR Region



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).

wavelength [ $\mu\text{m}$ ]

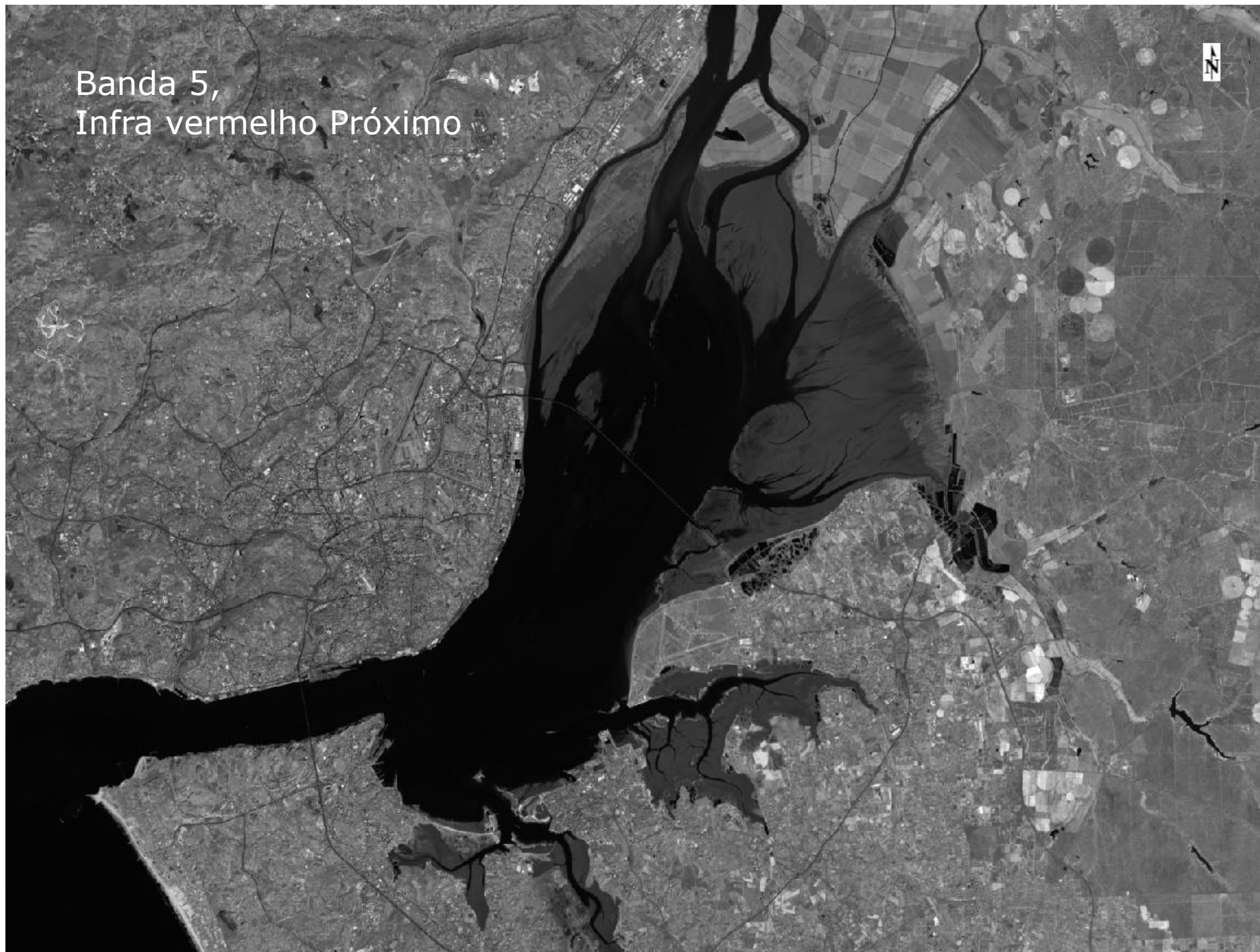


Banda 8,  
Pancromático

N



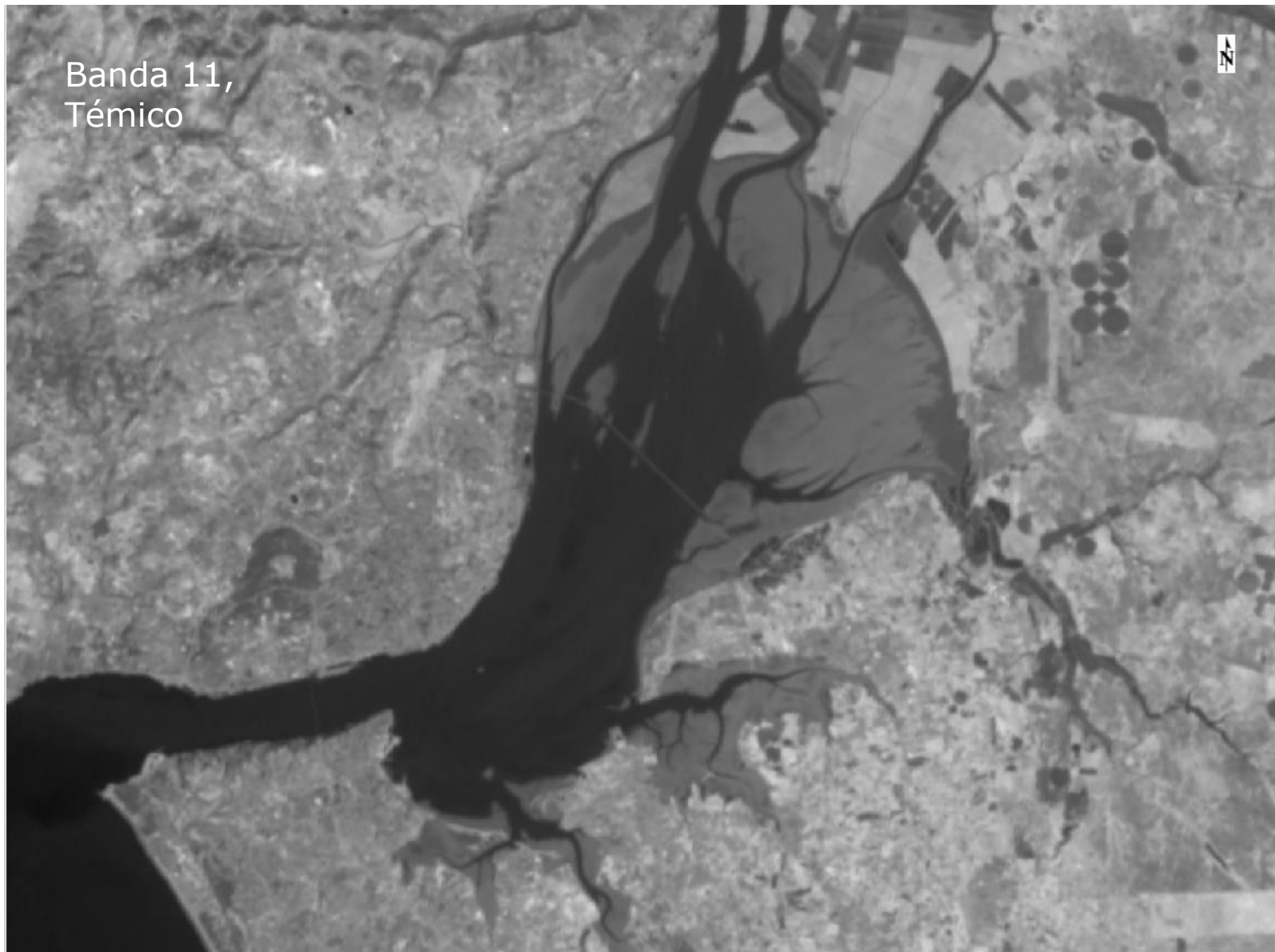
Banda 5,  
Infra vermelho Próximo



Banda 6,  
Infra vermelho



Banda 11,  
Témico



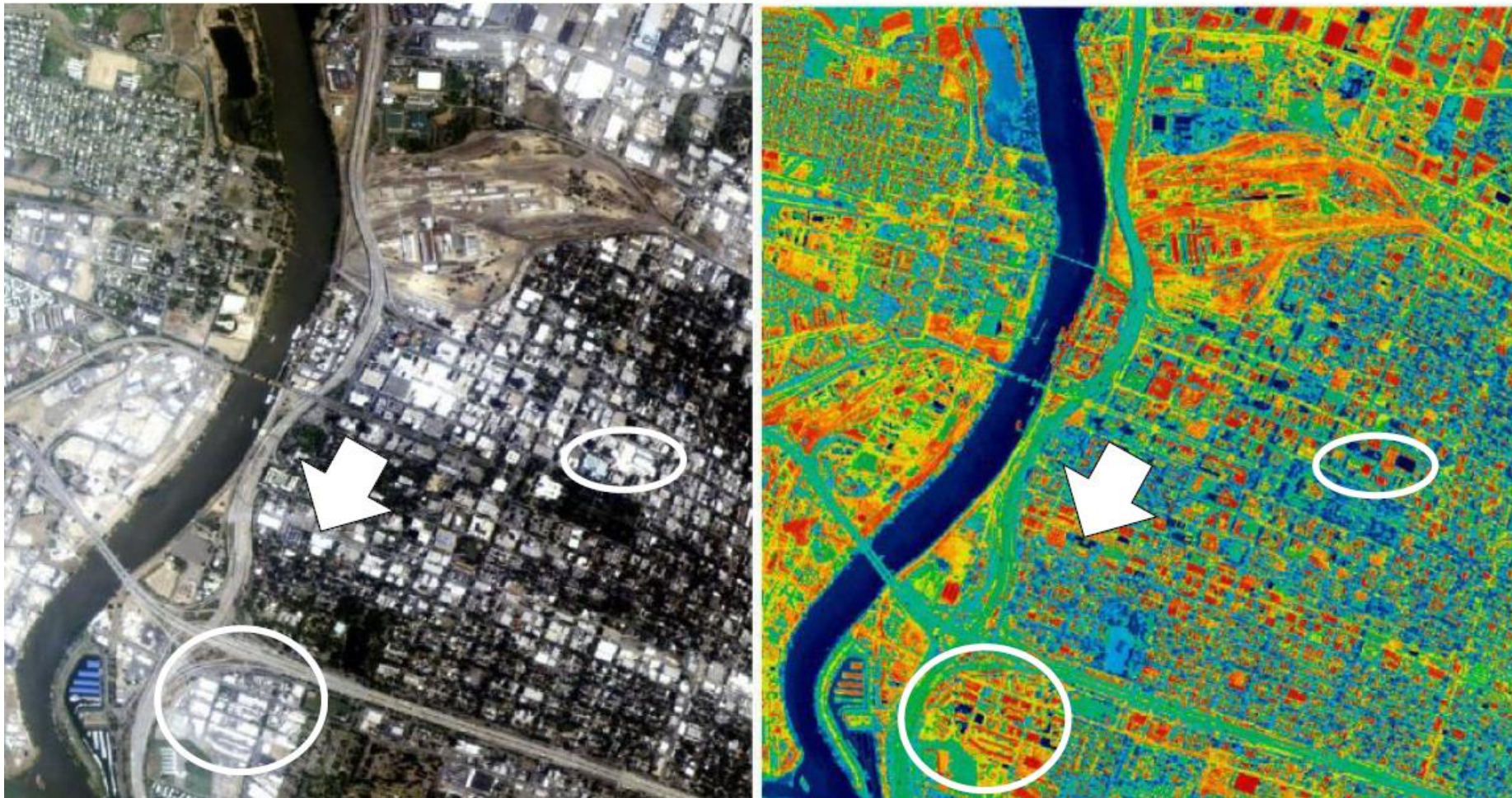


Ciências  
ULisboa

# Infravermelho Térmico

## Radiation of real Materials

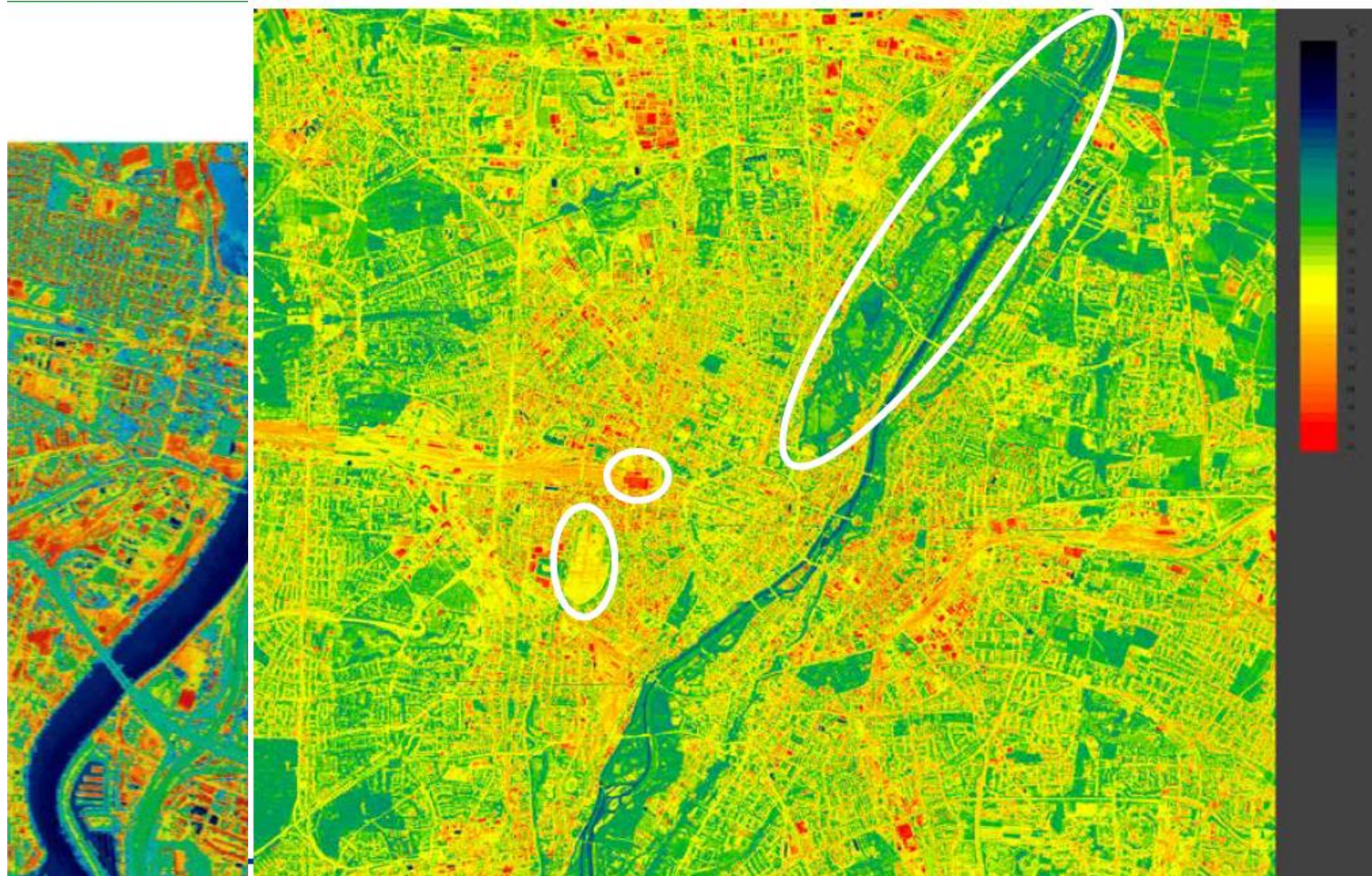
visible (left) vs. thermal IR (right), Sacramento, CAL, USA





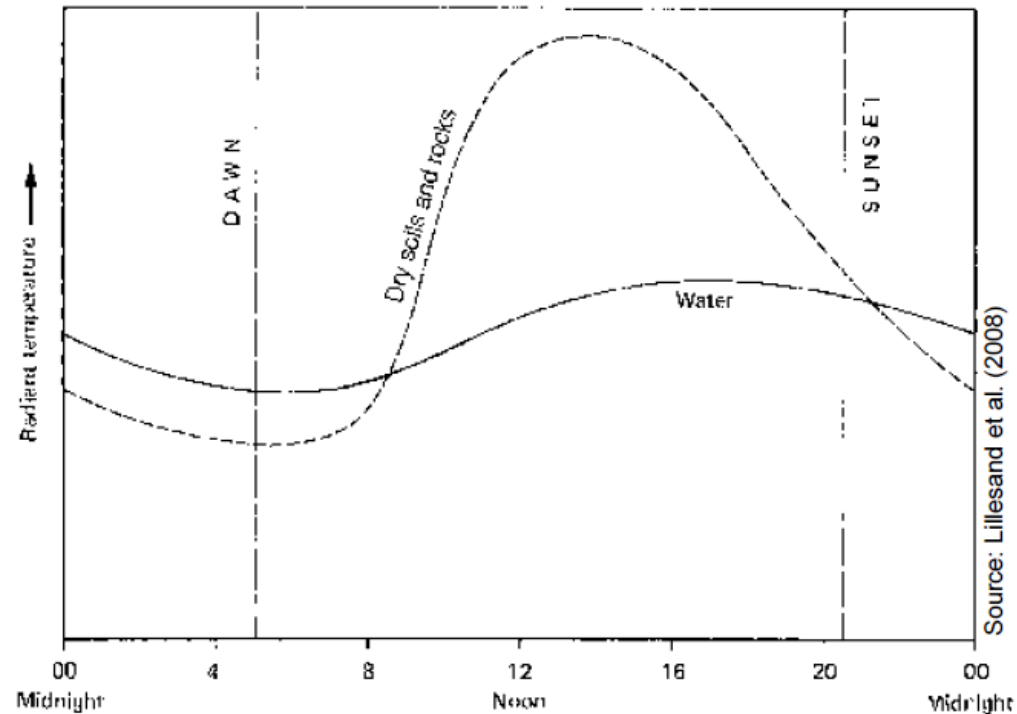
Ciências  
ULisboa

# Infravermelho Térmico



## Diurnal Temperature Variation

Each terrain element shows a distinctive **diurnal temperature cycle** determined by the interaction between the **thermal inertia** of the object and the history of the **incoming radiation** from the sun.

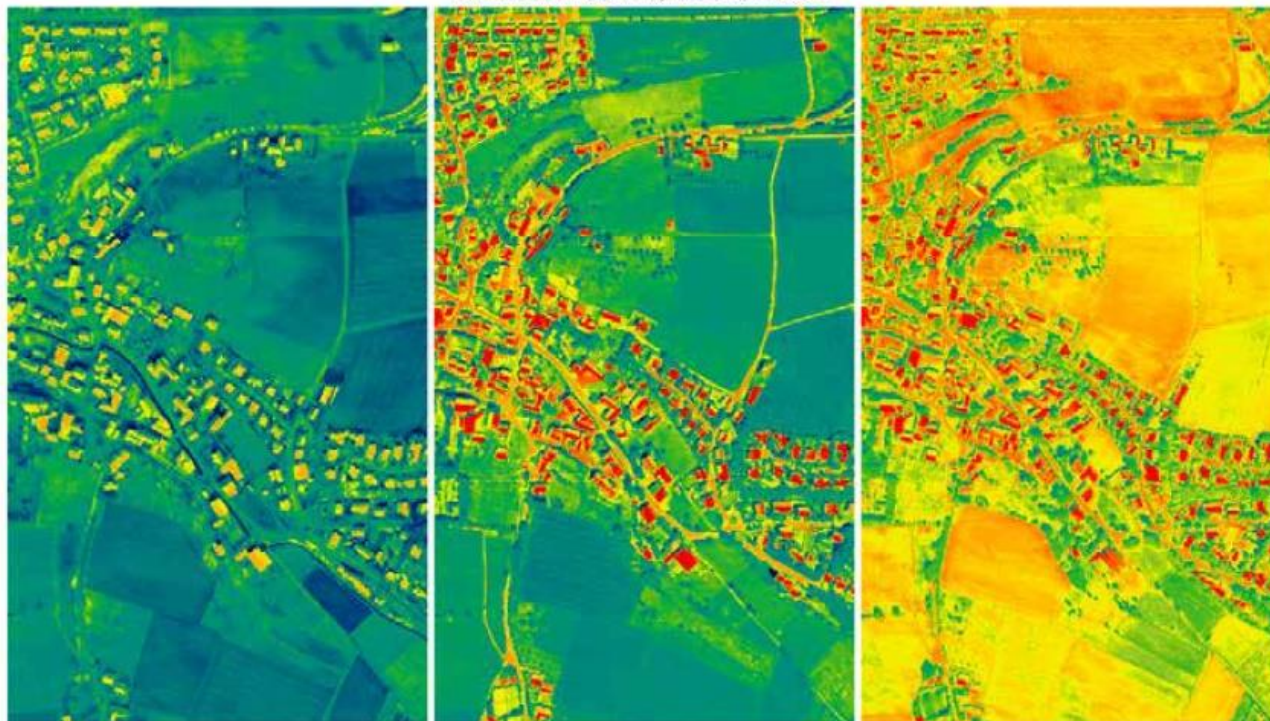


→ The effects of diurnal temperature variation has to be taken into consideration by mission planning and image interpretation.

# Infravermelho Térmico

## Intra-Annual Temperature Variation

Thermal map at different seasons  
Thermalkarte zu verschiedenen Jahreszeiten  
Gemeinde DAHL, Kr. Paderborn



Winter

Spring / Fruehjahr

Summer / Sommer

DAEDALUS –Scanneraufnahme aus 300m Flughoehe

Georeferenz: Gauss – Krueger

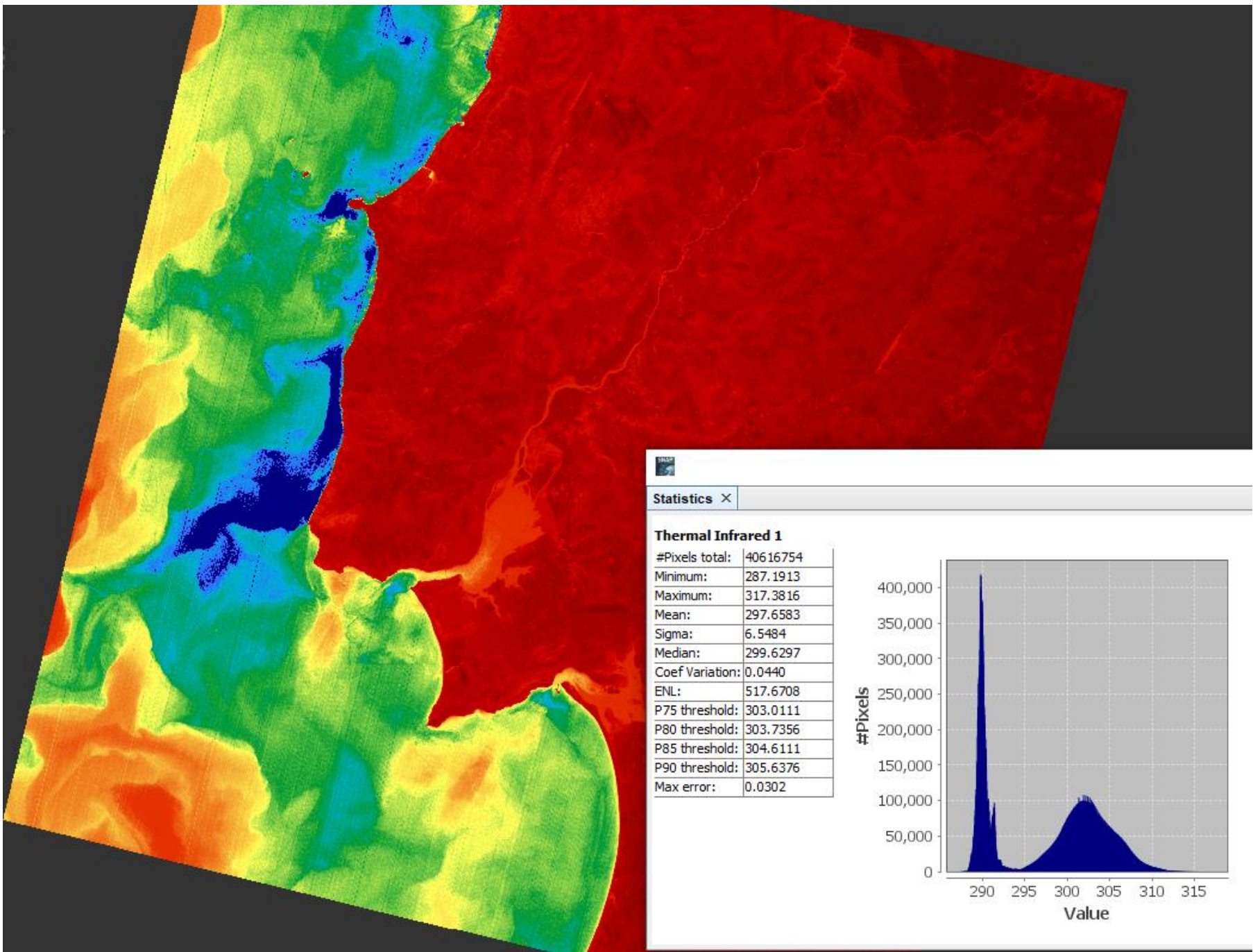
Pixelgrosse : 0.8m x 0.8m

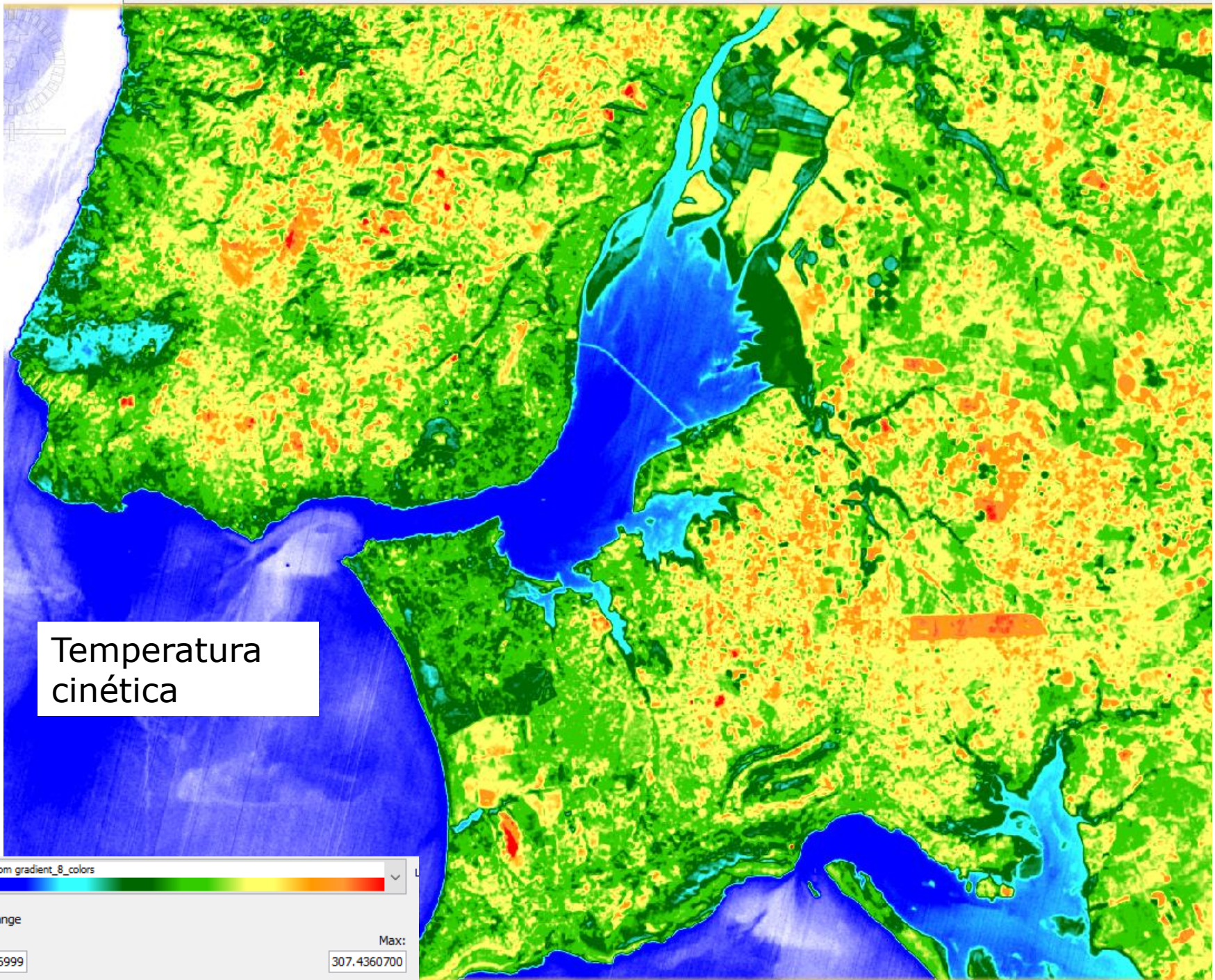
°C

4  
6  
8  
10  
12  
14  
16  
18  
20  
22  
24  
26  
28  
30  
32  
34  
36  
38  
40  
42  
44










Temperatura  
cinética

derived from gradient\_8\_colors



Display range  
Min: 288.8006999 Max: 307.4360700

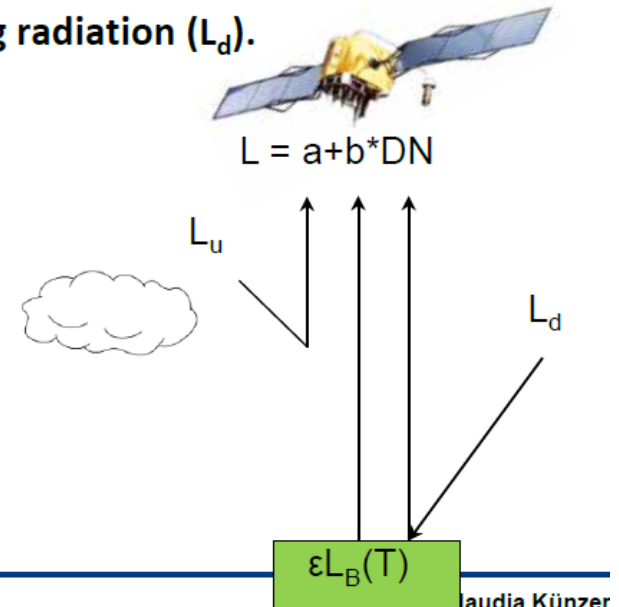
# Infravermelho Térmico

## Influence of the Atmosphere on the thermal IR Signal

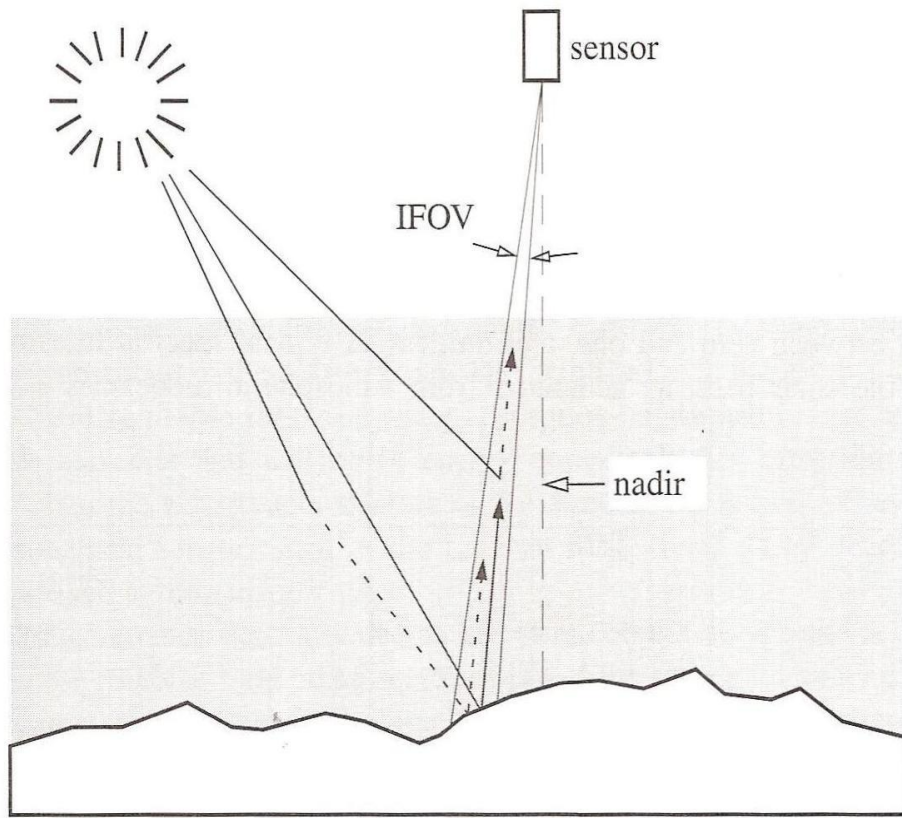
Scattering processes are negligible in the thermal IR region because of the long wavelength, but atmospheric absorption and emission by water vapor,  $\text{CO}_2$  and  $\text{O}_3$  are prevalent. Within atmospheric windows effects are less severe. However, signal recorded at the sensor ( $L$ ) consist of the radiation emitted from the terrain element ( $\epsilon L_B$ ) modified by the transmission of the atmosphere ( $\tau$ ), the atmospheric upwelling radiation ( $L_u$ ) and the atmospheric reflected downwelling radiation ( $L_d$ ).

Atmospheric correction methods:

- - Empirical line method (ELM)
- - Radiative transfer model (RTM)
- .....



# Atmospheric interaction



unscattered, radiação refletida pela superfície

$$L_{\lambda}^{su}$$

down-scattered, luz do céu, refletida pela superfície

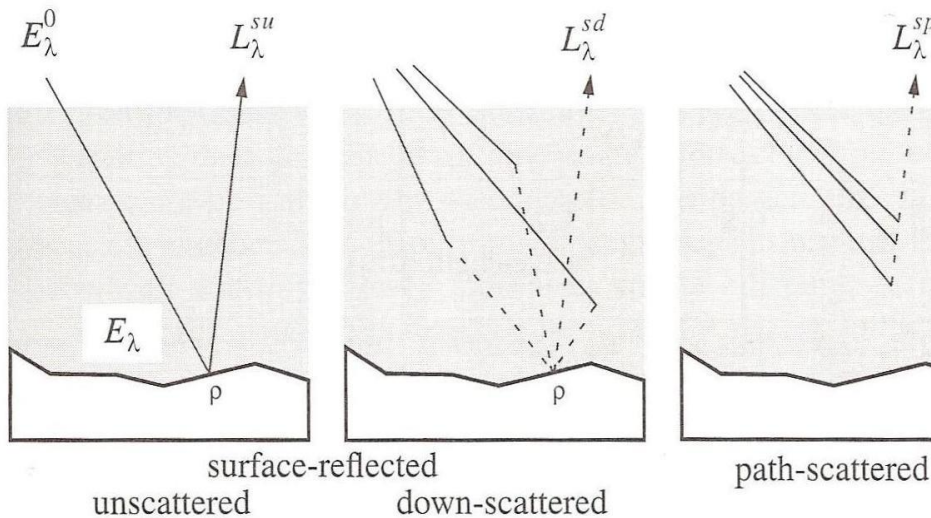
$$L_{\lambda}^{sd}$$

radiância up-scattered no percurso

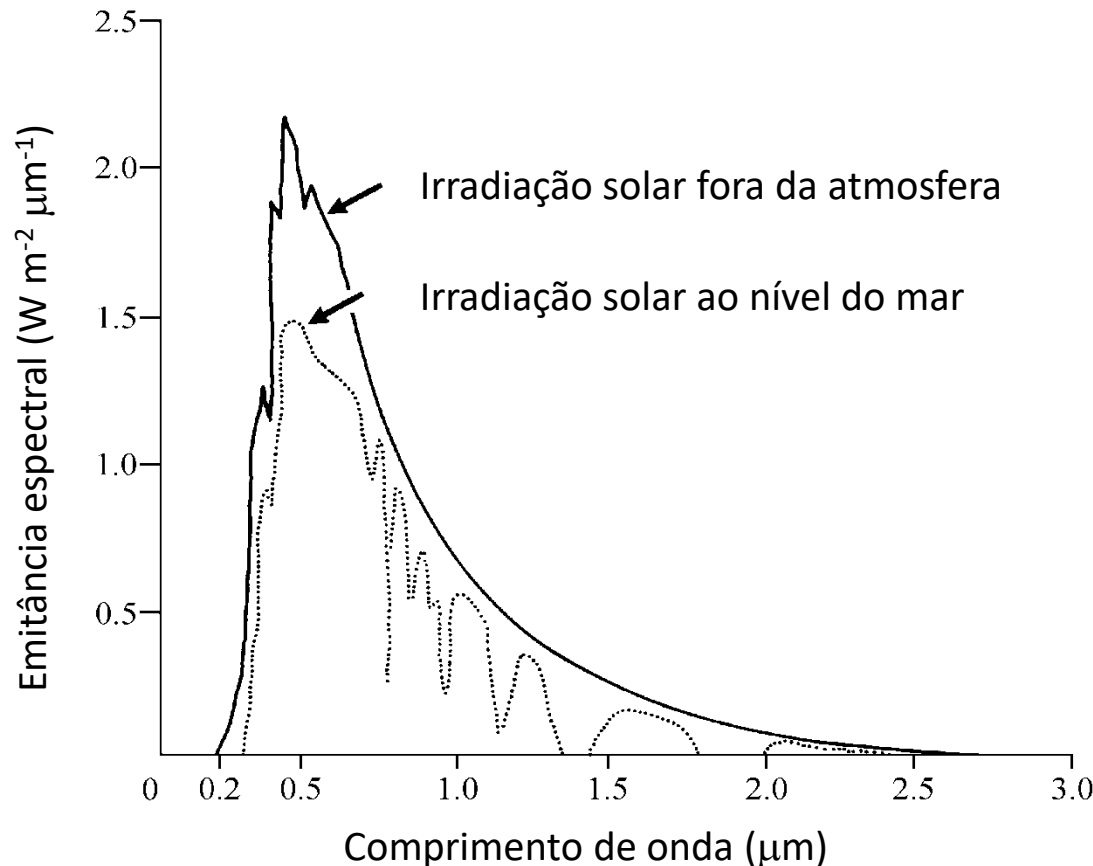
$$L_{\lambda}^{sp}$$

radiância no sensor:

$$L_{\lambda}^s = L_{\lambda}^{su} + L_{\lambda}^{sd} + L_{\lambda}^{sp}$$



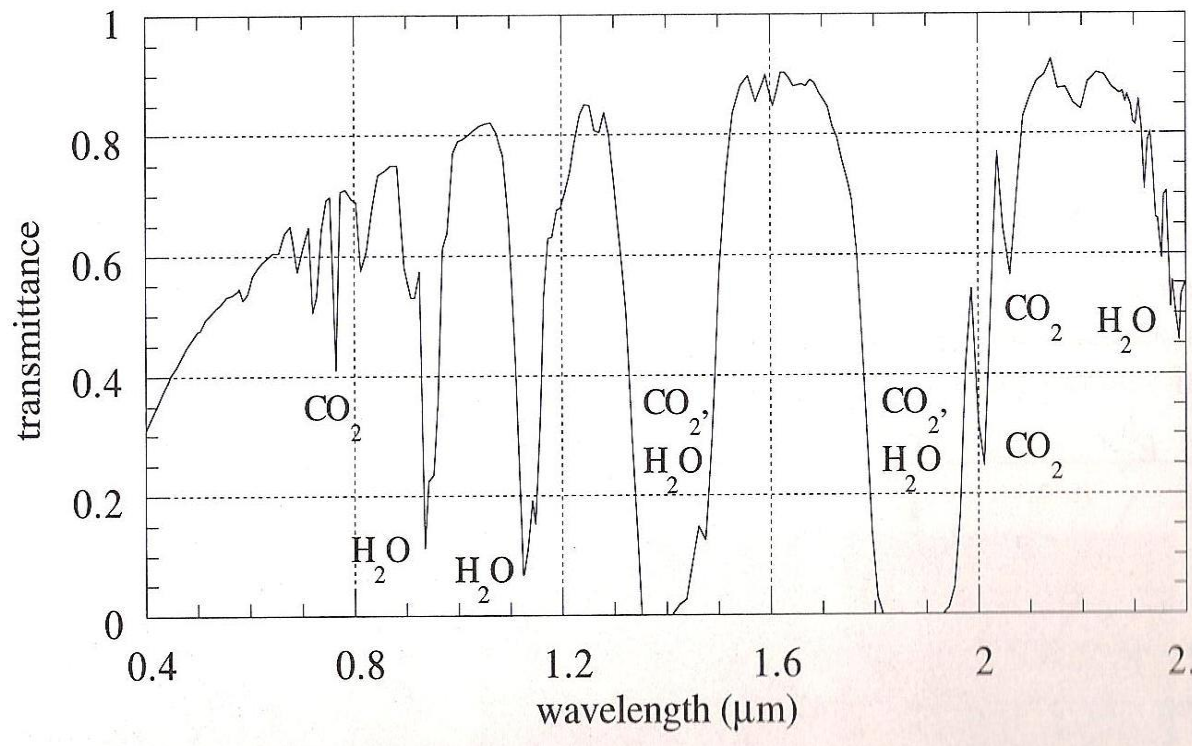
# A componente não dispersa ( $L_{\lambda}^{su}$ )



A razão entre estas curvas é a transmitância ou transmissividade da atmosfera.

Sobre a superfície terrestre chega apenas uma fração da energia emitida pelo Sol; a atmosfera desempenha uma função de filtragem.

# Unscattered component ( $L_{\lambda}^{SU}$ )



Transmissividade ao longo do percurso solar, i.e, entre o Sol e a superfície da Terra, para um ângulo de elevação solar de 45°. As bandas de absorção estão essencialmente associadas ao vapor de água e ao dióxido de carbono.

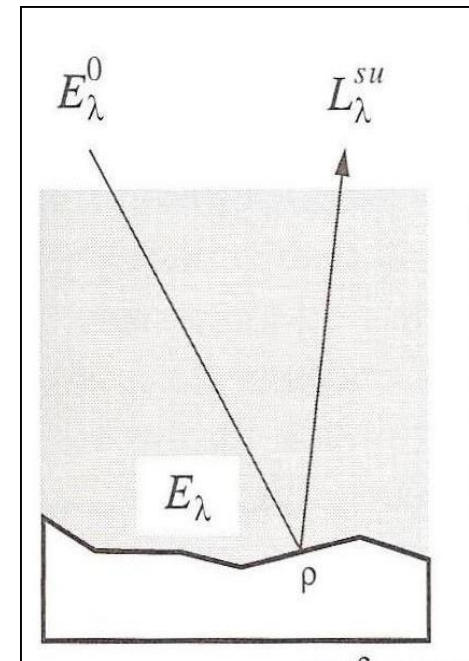
# Unscattered component ( $L_{\lambda}^{su}$ )

A atmosfera altera significativamente a irradiância espectral antes de chegar à superfície da Terra.

Matematicamente, a irradiância  $E_{\lambda}$  num plano perpendicular ao raio luminoso solar na superfície da Terra é dada por:

$$E_{\lambda} = \tau_s(\lambda) \cdot E_{\lambda}^0$$

Em que  $\tau_s$  é a transmissividade da atmosfera. De notar que por definição a irradiância  $E_{\lambda}$  deverá ser menor que  $E_{\lambda}^0$ .





# Unscattered component ( $L_{\lambda}^{su}$ )

A irradiância na superfície depende do ângulo de incidência

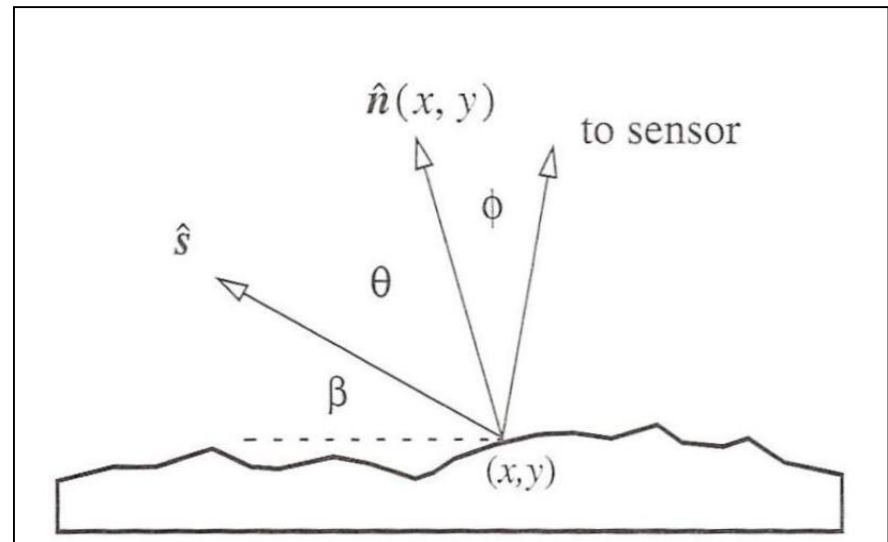
O vetor unitário  $\mathbf{s}$  está dirigido para o Sol e o vetor unitário  $\mathbf{n}(x,y)$  é normal à superfície.

O ângulo de elevação solar é  $\beta$  e o ângulo zenital solar é  $90-\beta$ .

O ângulo de incidência na superfície é  $\theta$  e o ângulo de emitância da superfície na direção do sensor é  $\phi$ .

$$E_{\lambda}(x, y) = \tau_s(\lambda) \cdot E_{\lambda}^0 \cdot \vec{n}(x, y) \cdot \vec{s}$$

$$E_{\lambda}(x, y) = \tau_s(\lambda) \cdot E_{\lambda}^0 \cdot \cos(\theta(x, y))$$



# Unscattered component ( $L_{\lambda}^{su}$ )

A próxima transferência de energia ocorre sobre a refletividade na superfície da terra.

A **irradiância** que incide numa superfície Lambertiana é convertida na **radiância** que sai da superfície com a ajuda do factor  $\pi$  e da refletividade espectral difusa  $\rho$ :

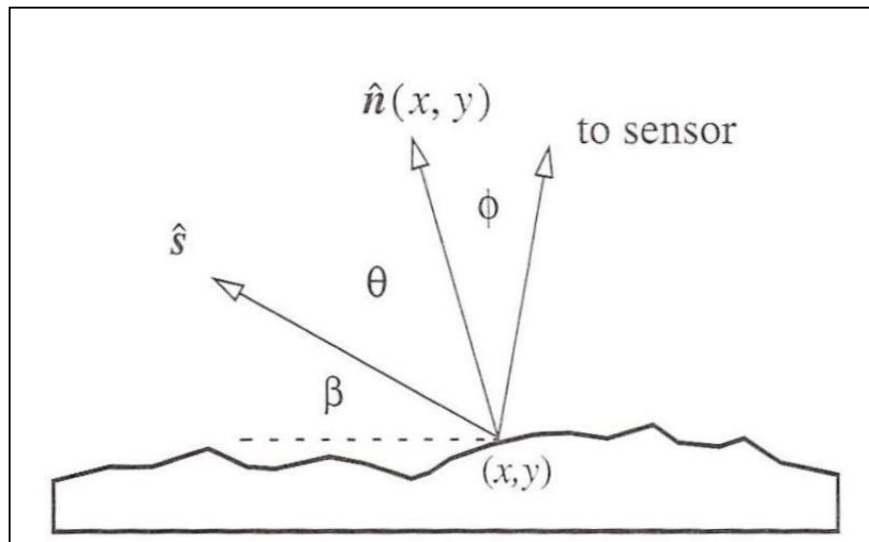
$$L_{\lambda}(x, y) = \rho(x, y, \lambda) \frac{E_{\lambda}(x, y)}{\pi}$$

$$\left| \begin{aligned} L &= \frac{E}{\Delta\Omega} \\ \Delta\Omega &= \frac{\pi \cdot r^2}{d^2} \end{aligned} \right.$$

$$L_{\lambda}(x, y) = \rho(x, y, \lambda) \frac{\tau_s(\lambda) \cdot E_{\lambda}^0}{\pi} \cos(\theta(x, y))$$

O desvio de um modelo simples é expresso numa Função distribuição da refletividade bidirecional (BRDF).

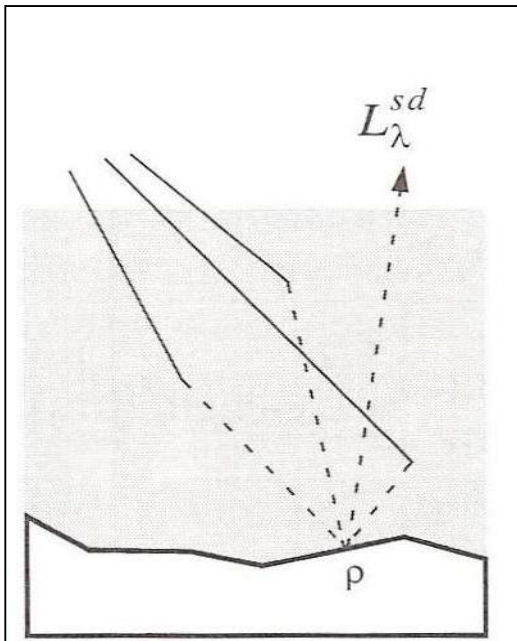
# Unscattered component ( $L_{\lambda}^{su}$ )



Devemos agora modificar a equação anterior para contemplar a transmissividade na vista do satélite ( $\tau_v(\lambda)$ ) para obter a radiância no sensor:

$$L_{\lambda}^{su}(x, y) = \tau_v(\lambda) \cdot L_{\lambda} = \rho(x, y, \lambda) \frac{\tau_s(\lambda) \cdot \tau_v(\lambda) \cdot E_{\lambda}^0}{\pi} \cos(\theta(x, y))$$

# Down-scattered component ( $L_{\lambda}^{sd}$ )



$$L_{\lambda}^{sd}(x, y) = F(x, y) \cdot \rho(x, y, \lambda) \frac{\tau_v(\lambda) \cdot E_{\lambda}^d}{\pi}$$

Irradiância do céu:  $E_{\lambda}^d$

Topografia  
(modelo terreno):  $F(x, y)$

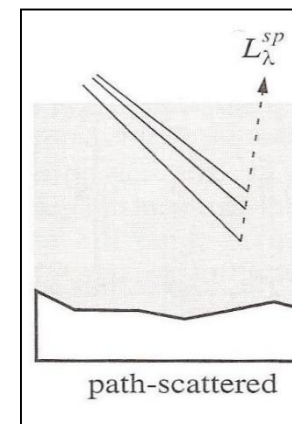
Transmissividade  
na direção do  
satélite  $\tau_v(\lambda)$

# Path-scattered component ( $L_{\lambda}^{SP}$ )

O termo da radiância do percurso (path) é a combinação da dispersão de **Rayleigh**, que varia com o comprimento de onda como  $\lambda^{-4}$ , e a dispersão de **Mie**, que depende fracamente, ou mesmo não depende, do comprimento de onda.

O efeito combinado da dispersão de Rayleigh e Mie numa atmosfera limpa resulta numa dependência do comprimento de onda na ordem de  $\lambda^{-2}$  e  $\lambda^{-0.7}$ .

Para sensores com IFOV pequeno, a radiância do percurso é assumida como constante em toda a imagem e escrevemos o termo como  $L_{\lambda}^{SP}(x,y)$ .



A soma das três componentes resulta na equação:

$$L_{\lambda}^s(x, y) = \rho(x, y, \lambda) \frac{\tau_v(\lambda)}{\pi} \left\{ \tau_s(\lambda) E_{\lambda}^0 \cos(\theta(x, y)) + F(x, y) \cdot E_{\lambda}^d \right\} + L_{\lambda}^{sp}(x, y)$$

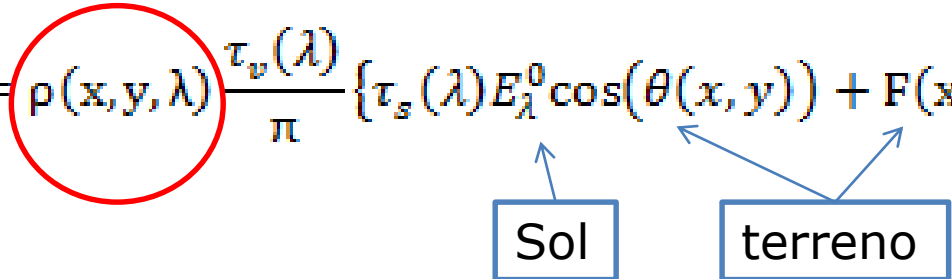
A radiância espectral total recebida pelo sensor é linearmente proporcional à refletividade difusa da superfície, modificada por:

um termo multiplicativo, fator variável espectralmente e espacialmente que depende da forma do terreno

um termo aditivo, espacialmente invariante e espectralmente dependente devido à dispersão do percurso da vista do sensor (view path scattering)

# Solar radiance at sensor

Como podemos usar a Deteção Remota para reconhecer diferentes ocupações do solo?

$$L_{\lambda}^s(x, y) = \rho(x, y, \lambda) \frac{\tau_v(\lambda)}{\pi} \left\{ \tau_s(\lambda) E_{\lambda}^0 \cos(\theta(x, y)) + F(x, y) \cdot E_{\lambda}^d \right\} + L_{\lambda}^{sp}(x, y)$$


(Radiative transfer model, RTM)

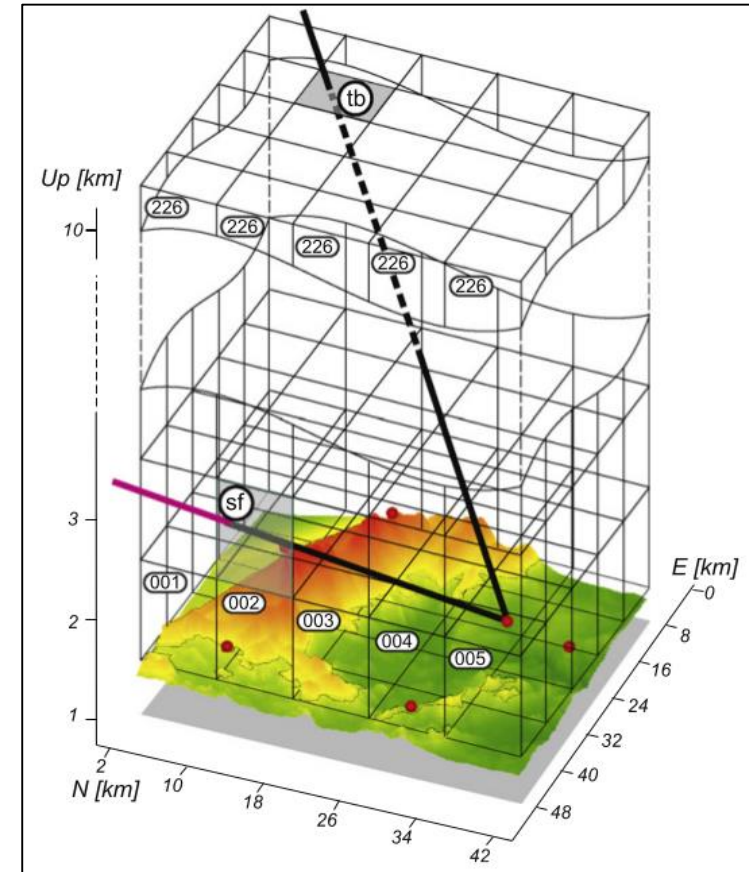
Os dados de Deteção Remota devem ser corrigidos dos efeitos atmosféricos e solares se o objetivo for a comparação com curvas de refletividade espectral medidas no terreno.

São necessárias correções atmosféricas relativas se as assinaturas espectrais de uma imagem numa data são para comparar com imagens adquiridas numa outra data, i.e se o objetivo é um estudo multitemporal.

# Atmospheric correction

Os métodos mais exatos são os baseados em modelos que abrangem a coluna inteira da atmosfera e que precisam de dados sobre as condições atmosféricas à superfície para serem calibrados (temperatura do ar, humidade, visibilidade, etc.).

Estes modelos, os mais conhecidos *Lowtran* e *Modtran* (MODerate resolution atmospheric TRANsmission) fornecem valores precisos da transmitância e da radiação atmosférica para calcular  $L_{sp}$  ed  $E_d$ .



$$L_{\lambda}^s(x, y) = \rho(x, y, \lambda) \frac{\tau_v(\lambda)}{\pi} \left\{ \tau_s(\lambda) E_{\lambda}^0 \cos(\theta(x, y)) + F(x, y) \cdot E_{\lambda}^d \right\} + L_{\lambda}^{sp}(x, y)$$





Ciências  
ULisboa

# Radiative Transfer Model: MODTRAN



## MODTRAN®

[About MODTRAN®](#)

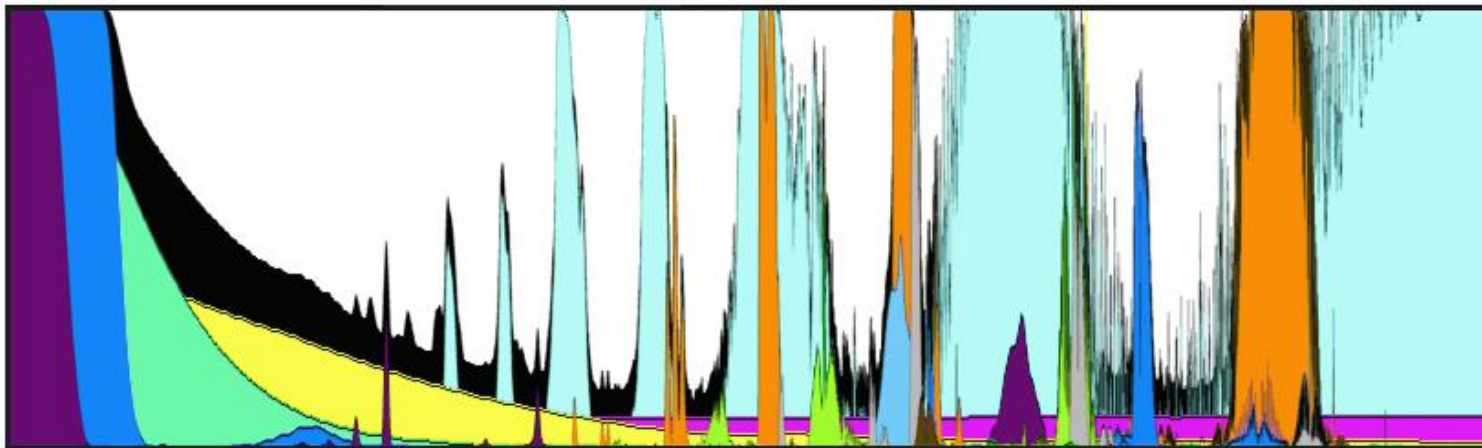
[Features ▾](#)

[FAQ](#)

[MODTRAN® Web App](#)

[Order](#)

[Add-ons ▾](#)



The MODTRAN® (MODerate resolution atmospheric TRANsmission) computer code is used worldwide by research scientists in government agencies, commercial organizations, and educational institutions for the prediction and analysis of optical measurements through the atmosphere. MODTRAN was developed and continues to be maintained through a longstanding collaboration between Spectral Sciences, Inc. (SSI) and the Air Force Research Laboratory (AFRL). The code is embedded in many operational and research sensor and data processing systems, particularly those involving the removal of atmospheric effects, commonly referred to as atmospheric correction, in remotely sensed multi- and hyperspectral imaging (MSI and HSI). [Read More](#)

## Moderate Spectral Atmospheric Radiance and Transmittance (MOSART)



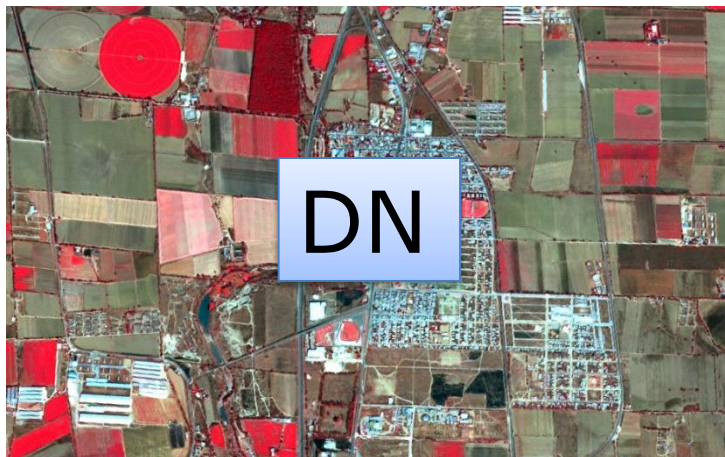
The Moderate Spectral Atmospheric Radiance and Transmittance (MOSART) computer program is a U.S. Department of Defense (DoD) standard code for calculating accurate and realistic atmospheric transmission and radiance along sensor-target line-of-sight paths and optical radiance backgrounds against which targets are detected by sensor systems. As such it has the capability to support both scene and signature

simulations.

The MOSART computer program calculates atmospheric transmission and radiation in the ultraviolet through the microwave spectral regions ( $0.2 \mu\text{m}$  to infinity ( $\infty$ ) or  $0 - 50,000 \text{ cm}^{-1}$ ). It contains features extracted from the MODTRAN<sup>®</sup> code developed by the Geophysics Division (PL/GPOS) of the Air Force's Phillips Laboratory [now Air Force Research Laboratory (AFRL)] and the APART code developed by Photon Research Associates, Inc. (PRA). MODTRAN<sup>®</sup> is widely used in many different atmospheric studies, both within and without DoD. Since APART was developed to provide atmospheric calculations for infrared (IR) signature studies of both targets and backgrounds, it has many features that are desirable for large simulation models. Because of the requirement that MOSART be compatible with various codes used in the Synthetic Scene Generation Model (SSGM), the overall structure of this version of MOSART closely follows that of APART. However, MOSART contains all the MODTRAN<sup>®</sup> atmospheric features and is easily used for that code's usual point-to-point calculations.

# Conversão de números digitais (DNs) para radiância

O calculo do valor da **radiância espectral** no sensor é essencial para a conversão de dados imagem de múltiplos sensores e plataformas numa quantidade com significado físico numa escala radiométrica comum.



## Conversão para radiância dos produtos nível 0

Os valores dos pixels nos produtos nível 0 (raw data) são representados por  $Q$ .

A relação entre estas imagens e o valor de radiância no sensor e  $L_\lambda$  é dada por:

$$Q = G \times L_\lambda + B$$

$$L_\lambda = \frac{Q - B}{G}$$

A letra  $G$  é o coeficiente de ganho em cada banda.

O valor de  $B$  é o "bias" que é baseado na resposta de cada linha do sensor ao obturador no escuro.

# Conversão para radiância dos produtos nível 1

Os valores dos pixels no nível 1 são representados como  $Q_{cal}$ .

A conversão dos produtos de nível 1 ( $Q_{cal}$ ) em radiâncias espectrais ao nível do sensor ( $L_\lambda$ ) requer o conhecimento dos valores mínimos e máximos dos fatores de escala originais.

$$L_\lambda = \left( \frac{L_{max,\lambda} - L_{min,\lambda}}{Q_{cal,max} - Q_{cal,min}} \right) \cdot (Q_{cal} - Q_{cal,min}) + L_{min,\lambda}$$

Dinâmica da imagem.  
Tipicamente  $255 = 2^8 - 1$

DN

= 1

# Conversão em reflectância TOA (Top of Atmosphere)

Poderemos obter uma menor variabilidade entre imagens adquiridas em diferentes datas convertendo a reflectância ao nível do sensor na reflectância exo-atmosfera (no topo da atmosfera, TOA), também conhecido como albedo planetário

$$\rho_{\lambda} = \frac{\pi \cdot L_{\lambda} \cdot d^2}{E_{SUN_{\lambda}} \cos \theta_S} \quad \text{Expressão obtida de (1)}$$

$\rho_{\lambda}$  é a reflectância planetária TOA

$L_{\lambda}$  é a radiância ao nível do sensor ( $\text{W m}^{-2} \text{sr}^{-1} \mu\text{m}^{-1}$ )

$d$  é a distância da Terra ao Sol em unidades astronómicas (1UA= 149,597,870,691km)

$$(1) L_{\lambda}^s(x,y) = \rho(x,y,\lambda) \frac{\tau_v(\lambda)}{\pi} \{ \tau_s(\lambda) E_{\lambda}^0 \cos(\theta(x,y)) + F(x,y) \cdot E_{\lambda}^d \} + L_{\lambda}^{sp}(x,y)$$

# Conversão para radiância dos produtos nível 1

Parâmetros calibrados para o sensor ETM+ do Landat 7 e irradiância solar exo-atmosférica (ESUN).

L7 ETM+ Sensor ( $Q_{calmin} = 1$ and $Q_{calmax} = 255$ )							
Band	Spectral range	Center wavelength	$L_{MIN\lambda}$	$L_{MAX\lambda}$	$G_{rescale}$	$B_{rescale}$	$ESUN_{\lambda}$
Units	$\mu m$		$W/(m^2 sr \mu m)$		$(W/m^2 sr \mu m)/DN$	$W/(m^2 sr \mu m)$	$W/(m^2 \mu m)$
<i>Low gain (LPGS)</i>							
1	0.452–0.514	0.483	–6.2	293.7	1.180709	–7.38	1997
2	0.519–0.601	0.560	–6.4	300.9	1.209843	–7.61	1812
3	0.631–0.692	0.662	–5.0	234.4	0.942520	–5.94	1533
4	0.772–0.898	0.835	–5.1	241.1	0.969291	–6.07	1039
5	1.547–1.748	1.648	–1.0	47.57	0.191220	–1.19	230.8
6	10.31–12.36	11.335	0.0	17.04	0.067087	–0.07	N/A
7	2.065–2.346	2.206	–0.35	16.54	0.066496	–0.42	84.90
PAN	0.515–0.896	0.706	–4.7	243.1	0.975591	–5.68	1362
<i>High Gain (LPGS)</i>							
1	0.452–0.514	0.483	–6.2	191.6	0.778740	–6.98	1997
2	0.519–0.601	0.560	–6.4	196.5	0.798819	–7.20	1812
3	0.631–0.692	0.662	–5.0	152.9	0.621654	–5.62	1533
4	0.772–0.898	0.835	–5.1	157.4	0.639764	–5.74	1039
5	1.547–1.748	1.648	–1.0	31.06	0.126220	–1.13	230.8
6	10.31–12.36	11.335	3.2	12.65	0.037205	3.16	N/A
7	2.065–2.346	2.206	–0.35	10.80	0.043898	–0.39	84.90
PAN	0.515–0.896	0.706	–4.7	158.3	0.641732	–5.34	1362



## Conversion to TOA Radiance

OLI and TIRS band data can be converted to TOA spectral radiance using the radiance rescaling factors provided in the metadata file:

$$L_{\lambda} = M_L Q_{cal} + A_L$$

where:

- $L_{\lambda}$  = TOA spectral radiance (Watts/( m<sup>2</sup> \* srad \* μm))
- $M_L$  = Band-specific multiplicative rescaling factor from the metadata (RADIANCE\_MULT\_BAND\_x, where x is the band number)
- $A_L$  = Band-specific additive rescaling factor from the metadata (RADIANCE\_ADD\_BAND\_x, where x is the band number)
- $Q_{cal}$  = Quantized and calibrated standard product pixel values (DN)

## Conversion to TOA Reflectance

OLI band data can also be converted to TOA planetary reflectance using reflectance rescaling coefficients provided in the product metadata file (MTL file). The following equation is used to convert DN values to TOA reflectance for OLI data as follows:

$$\rho_{\lambda}' = M_{\rho} Q_{cal} + A_{\rho}$$

where:

- $\rho_{\lambda}'$  = TOA planetary reflectance, without correction for solar angle. Note that  $\rho_{\lambda}'$  does not contain a correction for the sun angle.
- $M_{\rho}$  = Band-specific multiplicative rescaling factor from the metadata (REFLECTANCE\_MULT\_BAND\_x, where x is the band number)
- $A_{\rho}$  = Band-specific additive rescaling factor from the metadata (REFLECTANCE\_ADD\_BAND\_x, where x is the band number)
- $Q_{cal}$  = Quantized and calibrated standard product pixel values (DN)





# LandSat 8

Ciências  
ULisboa

```
GROUP = L1_METADATA_FILE
GROUP = METADATA_FILE_INFO
ORIGIN = "Image courtesy of the U.S. Geological Survey"
REQUEST_ID = "0501505116091_00442"
LANDSAT_SCENE_ID = "LC82040332015001LGN00"
FILE_DATE = 2015-05-12T16:55:09Z
STATION_ID = "LGN"
PROCESSING_SOFTWARE_VERSION = "LPGS_2.5.0"
END_GROUP = METADATA_FILE_INFO
```

```
RADIANCE_MAXIMUM_BAND_1 = 786.09534
RADIANCE_MINIMUM_BAND_1 = -64.91601
RADIANCE_MAXIMUM_BAND_2 = 804.97119
RADIANCE_MINIMUM_BAND_2 = -66.47478
RADIANCE_MAXIMUM_BAND_3 = 741.77411
RADIANCE_MINIMUM_BAND_3 = -61.25595
RADIANCE_MAXIMUM_BAND_4 = 625.50568
RADIANCE_MINIMUM_BAND_4 = -51.65446
RADIANCE_MAXIMUM_BAND_5 = 382.77829
RADIANCE_MINIMUM_BAND_5 = -31.60996
RADIANCE_MAXIMUM_BAND_6 = 95.19348
RADIANCE_MINIMUM_BAND_6 = -7.86111
RADIANCE_MAXIMUM_BAND_7 = 32.08530
RADIANCE_MINIMUM_BAND_7 = -2.64961
RADIANCE_MAXIMUM_BAND_8 = 707.90033
RADIANCE_MINIMUM_BAND_8 = -58.45864
RADIANCE_MAXIMUM_BAND_9 = 149.59843
RADIANCE_MINIMUM_BAND_9 = -12.35389
RADIANCE_MAXIMUM_BAND_10 = 22.00180
RADIANCE_MINIMUM_BAND_10 = 0.10033
RADIANCE_MAXIMUM_BAND_11 = 22.00180
RADIANCE_MINIMUM_BAND_11 = 0.10033
```

$$L_{\lambda} = \left( \frac{L_{max,\lambda} - L_{min,\lambda}}{Q_{cal,max} - Q_{cal,min}} \right) \cdot (Q_{cal} - Q_{cal,min}) + L_{min,\lambda}$$

```
RADIANCE_MULT_BAND_1 = 1.2986E-02
RADIANCE_MULT_BAND_2 = 1.3298E-02
RADIANCE_MULT_BAND_3 = 1.2254E-02
RADIANCE_MULT_BAND_4 = 1.0333E-02
RADIANCE_MULT_BAND_5 = 6.3233E-03
RADIANCE_MULT_BAND_6 = 1.5725E-03
RADIANCE_MULT_BAND_7 = 5.3003E-04
RADIANCE_MULT_BAND_8 = 1.1694E-02
RADIANCE_MULT_BAND_9 = 2.4713E-03
RADIANCE_MULT_BAND_10 = 3.3420E-04
RADIANCE_MULT_BAND_11 = 3.3420E-04
```

```
RADIANCE_ADD_BAND_1 = -64.92899
RADIANCE_ADD_BAND_2 = -66.48808
RADIANCE_ADD_BAND_3 = -61.26820
RADIANCE_ADD_BAND_4 = -51.66480
RADIANCE_ADD_BAND_5 = -31.61628
RADIANCE_ADD_BAND_6 = -7.86268
RADIANCE_ADD_BAND_7 = -2.65014
RADIANCE_ADD_BAND_8 = -58.47033
RADIANCE_ADD_BAND_9 = -12.35636
RADIANCE_ADD_BAND_10 = 0.10000
RADIANCE_ADD_BAND_11 = 0.10000
```



## Question:

**Where can I find the solar exoatmospheric spectral irradiances (ESUN) values for Landsat 8 OLI data?**

Answer:

ESUN values are not provided for Landsat 8 data because they are not required for converting data to reflectance. Landsat 8's Operational Land Imager (OLI) adopted two independent National Institute for Standards and Technology (NIST) traceable radiance and reflectance calibration methods. The Landsat 8 metadata file provides coefficients necessary to convert to radiance and reflectance from the quantized and calibrated Digital Numbers (DNs) of the product

(see [http://landsat.usgs.gov/Landsat8\\_Using\\_Product.php](http://landsat.usgs.gov/Landsat8_Using_Product.php)). Thus, ESUN values are not required for reflectance conversion.

Relative Spectral Response (RSR) of the OLI spectral bands can be found on [http://ldcm.gsfc.nasa.gov/spacecraft\\_instruments/oli\\_band\\_average.html](http://ldcm.gsfc.nasa.gov/spacecraft_instruments/oli_band_average.html) and used along with the user's preferred solar spectrum to calculate ESUN values corresponding to Landsat 8 OLI bands. (NOTE: ESUN values calculated from RSRs were not used for OLI calibration).



# LandSat 8

Ciências  
ULisboa

TOA reflectance with a correction for the sun angle is then:

$$\rho_{\lambda} = \frac{\rho_{\lambda}'}{\cos(\theta_{SZ})} = \frac{\rho_{\lambda}'}{\sin(\theta_{SE})}$$

where:

$\rho_{\lambda}$  = TOA planetary reflectance

$\theta_{SE}$  = Local sun elevation angle. The scene center sun elevation angle in degrees is provided in the metadata (SUN\_ELEVATION).

$\theta_{SZ}$  = Local solar zenith angle;  $\theta_{SZ} = 90^{\circ} - \theta_{SE}$

For more accurate reflectance calculations, per pixel solar angles could be used instead of the scene center solar angle, but per pixel solar zenith angles are not currently provided with the Landsat 8 products.

REFLECTANCE\_MULT\_BAND\_1 = 2.0000E-05

REFLECTANCE\_ADD\_BAND\_1 = -0.100000

```
GROUP = IMAGE_ATTRIBUTES
CLOUD_COVER = 0.49
CLOUD_COVER_LAND = 0.75
IMAGE_QUALITY_OLI = 9
IMAGE_QUALITY_TIRS = 9
TIRS_SSM_POSITION_STATUS = "ESTIMATED"
ROLL_ANGLE = -0.001
SUN_AZIMUTH = 158.52732765
SUN_ELEVATION = 25.19344132
EARTH_SUN_DISTANCE = 0.9833024
GROUND_CONTROL_POINTS_VERSION = 2
GROUND_CONTROL_POINTS_MODEL = 408
GEOMETRIC_RMSE_MODEL = 8.874
GEOMETRIC_RMSE_MODEL_Y = 7.353
GEOMETRIC_RMSE_MODEL_X = 4.968
GROUND_CONTROL_POINTS_VERIFY = 111
GEOMETRIC_RMSE_VERIFY = 4.466
END_GROUP = IMAGE_ATTRIBUTES
```



### Level-1C

Level-1C processing includes radiometric and geometric corrections including ortho-rectification and spatial registration on a global reference system with sub-pixel accuracy.

Level-1C processing is broken down into the following steps:

- Tiles association: selection of pre-defined tiles intersecting the footprint of the required image.
  - Resampling grid computation: enabling linking of the native geometry image to the target geometry image (ortho-rectified).
  - Resampling of each spectral band in the geometry of the ortho-image using the resampling grids and an interpolation filter. Calculation of the TOA reflectances also occurs in this step.
  - Masks computation: cloud and land/water masks are generated.
  - Imagery compression of the resultant Level-1C imagery via the JPEG2000 algorithm and a GML geographic imagery-encoded header.
-



### ▾ Level-2

The Level-2A processing includes a scene classification and an atmospheric correction applied to Top-Of-Atmosphere (TOA) Level-1C orthoimage products. Level-2A main output is an orthoimage Bottom-Of-Atmosphere (BOA) corrected reflectance product.

Additional outputs are an Aerosol Optical Thickness (AOT) map, a Water Vapour (WV) map and a Scene Classification Map (SCM) together with Quality Indicators (QI) for cloud and snow probabilities at 60 m resolution. Level-2A output image products will be resampled and generated with an equal spatial resolution for all bands, based on the requested resolution (10 m, 20 m or 60 m). A 10 m resolution product contains the spectral bands 2, 3, 4 and 8 and an AOT map resampled from 20 m. A 20 m product contains bands 2 - 7, the bands 8A, 11 and 12 and an AOT and WV map. A 60 m product contains all components of the 20 m product and additionally the 60 m bands 1 and 9. The cirrus band 10 will be omitted, as it does not contain surface information.

The processor algorithm is a combination of state-of-the-art techniques for performing atmospheric corrections (including cirrus clouds correction [R1]), which have been tailored to the SENTINEL-2 environment together with a scene classification module described in [R2]. The scene classification algorithm allows detection of clouds, snow and cloud shadows and generation of a classification map, which consists of four different classes for clouds (including cirrus), together with six different classifications for shadows, cloud shadows, vegetation, soils/deserts, water and snow. The algorithm is based on a series of threshold tests that use as input TOA reflectance as input from the SENTINEL-2 spectral bands. In addition, thresholds are applied on band ratios and indexes like Normalised Difference Vegetation Index (NDVI) and Normalised Difference Snow and Ice Index (NDSI). For each of these threshold tests, a level of confidence is associated. It produces at the end of the processing chain a probabilistic cloud mask quality indicator and a snow mask quality indicator. The algorithm uses the reflective properties of scene features to establish the presence or absence of clouds in a scene. Cloud screening is applied to the data in order to retrieve accurate atmospheric and surface parameters, either as input for the further processing steps below or for being valuable input for processing steps of higher levels.

Sen2Cor is a Level-2A processor which main purpose is to correct single-date

**Sentinel-2 Level-1C Top-Of-Atmosphere (TOA) products**

from the effects of the atmosphere in order to deliver a

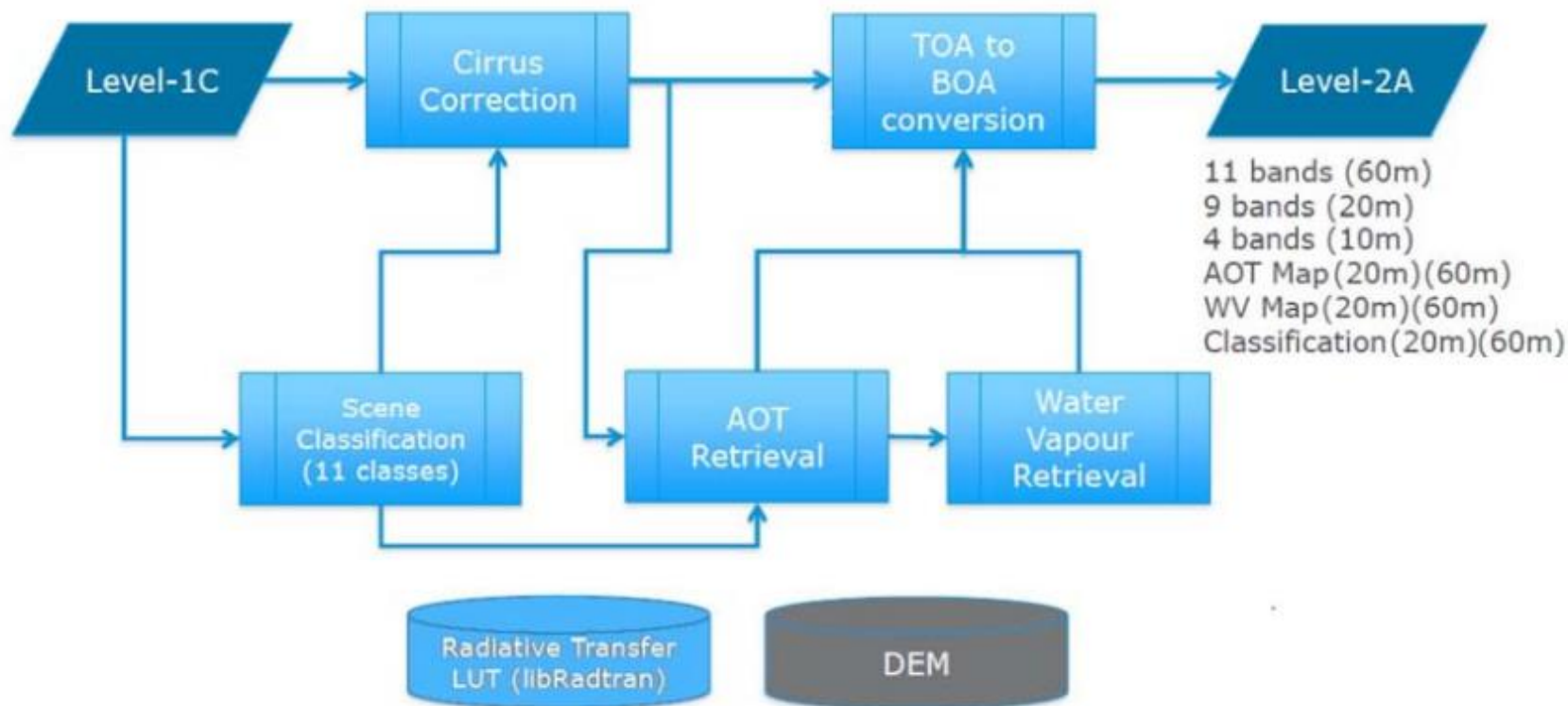
**Level-2A Bottom-Of-Atmosphere (BOA) reflectance product.**

Additional outputs are an Aerosol Optical Thickness (AOT) map, a Water Vapour (WV) map and a Scene Classification (SCL) map with Quality Indicators for cloud and snow probabilities.

---



# SEN2COR



Level-2A processing schema with Sen2Cor



Ciências  
ULisboa

# SEN2COR

## libradtran

[Log In](#) [Recent Changes](#)

[Home](#)  
[Download](#)  
[Documentation](#)  
[Publications](#)  
[Basic usage](#)  
[Newsletters](#)  
[Contact](#)  
[FAQ](#)  
[Known Bugs](#)  
[User Area](#)  
[WiKi](#)  
[Documentation](#)



# libRadtran

libRadtran - library for radiative transfer - is a collection of C and Fortran functions and programs for calculation of solar and thermal radiation in the Earth's atmosphere. libRadtran is freely available under the GNU General Public License.

**Authors:** Bernhard Mayer, Claudia Emde, Josef Gasteiger, and Arve Kylling

**Newest release:** 2.0.4 from December 24, 2020.

### libRadtran reference publications:

- » C. Emde, R. Buras-Schnell, A. Kylling, B. Mayer, J. Gasteiger, U. Hamann, J. Kylling, B. Richter, C. Pause, T. Dowling, and L. Bugliaro. **The libradtran software package for radiative transfer calculations (version 2.0.1)**. *Geoscientific Model Development*, 9(5):1647-1672, 2016, [link](#)
- » B. Mayer and A. Kylling. **Technical note: The libRadtran software package for radiative transfer calculations - description and examples of use**. *Atmos. Chem. Phys.*, 5: 1855-1877, 2005, [link](#)



### 3.2 Cloud / Snow detection algorithm

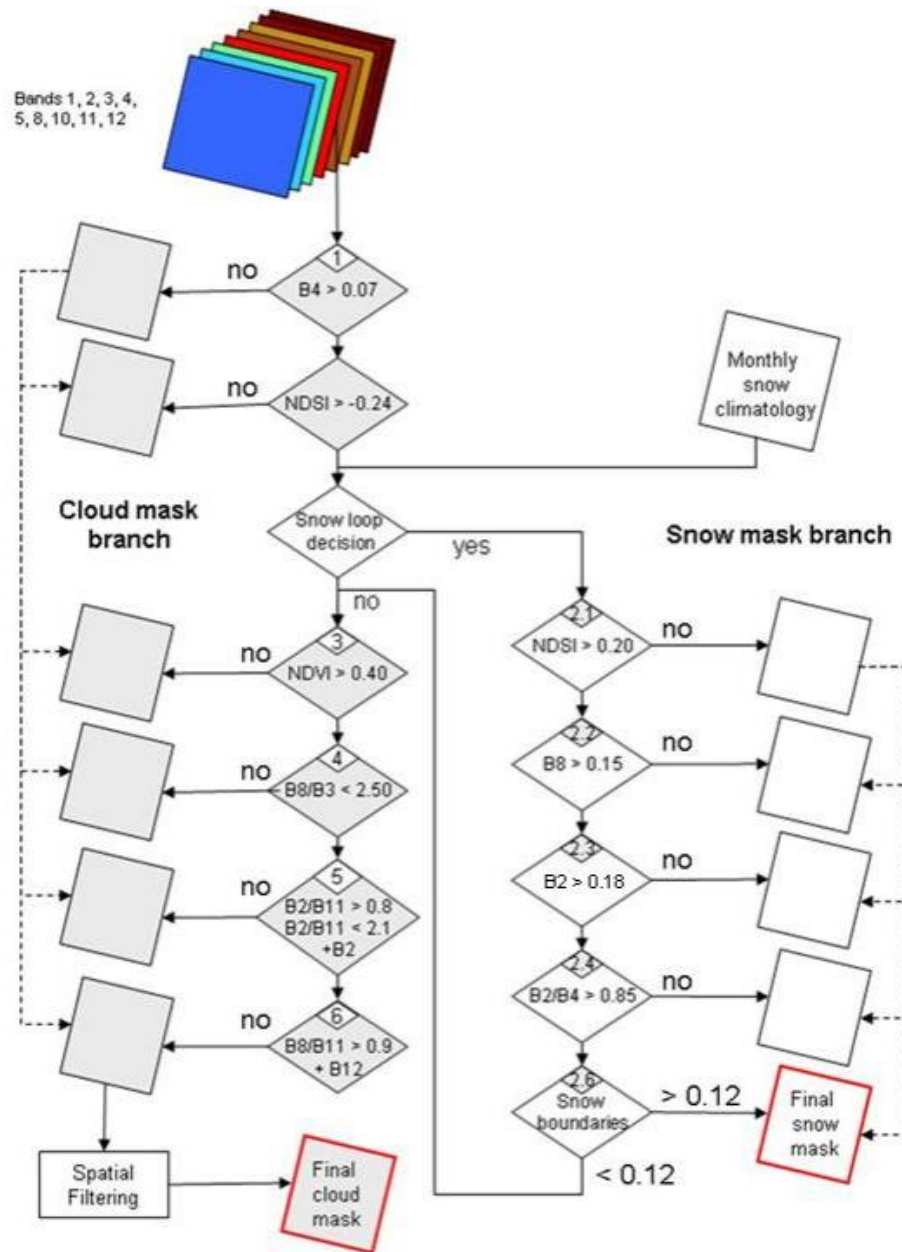


Table 3-I – Classification Map

Label	Classification
0	NO_DATA
1	SATURATED_OR_DEFECTIVE
2	DARK_AREA_PIXELS
3	CLOUD_SHADOWS
4	VEGETATION
5	BARE_SOILS
6	WATER
7	CLOUD_LOW_PROBABILITY
8	CLOUD_MEDIUM_PROBABILITY
9	CLOUD_HIGH_PROBABILITY
10	THIN_CIRRUS
11	SNOW

Product Explorer X Pixel Info

- Vector Data
- Bands
  - sun
  - view
  - quality
  - B1 (443 nm)
  - B2 (490 nm)
  - B3 (560 nm)
  - B4 (665 nm)
  - B5 (705 nm)
  - B6 (740 nm)
  - B7 (783 nm)
  - B8 (842 nm)
  - B8A (865 nm)
  - B9 (945 nm)
  - B11 (1610 nm)
  - B12 (2190 nm)
- Masks
  - nodata
  - partially\_corrected\_crosstalk
  - saturated\_11a
  - saturated\_11b
  - defective
  - ancillary\_lost
  - ancillary\_degraded
  - msi\_lost
  - msi\_degraded
  - opaque\_clouds
  - cirrus\_clouds
  - sd
  - detector\_footprint-B01
  - detector\_footprint-B02
  - detector\_footprint-B03
  - detector\_footprint-B04
  - detector\_footprint-B05
  - detector\_footprint-B06
  - detector\_footprint-B07
  - detector\_footprint-B08
  - detector\_footprint-B08A
  - detector\_footprint-B09
  - detector\_footprint-B11
  - detector\_footprint-B12

Product Explorer X Pixel Info

- B8 (842 nm)
- B8A (865 nm)
- B9 (945 nm)
- B11 (1610 nm)
- B12 (2190 nm)
- Masks
  - nodata
  - partially\_corrected\_crosstalk
  - saturated\_11a
  - saturated\_11b
  - defective
  - ancillary\_lost
  - ancillary\_degraded
  - msi\_lost
  - msi\_degraded
  - opaque\_clouds
    - opaque\_clouds\_10m
    - opaque\_clouds\_20m
    - opaque\_clouds\_60m
  - cirrus\_clouds
    - cirrus\_clouds\_10m
    - cirrus\_clouds\_20m
    - cirrus\_clouds\_60m
  - sd
  - detector\_footprint-B01
  - detector\_footprint-B02
  - detector\_footprint-B03
  - detector\_footprint-B04
  - detector\_footprint-B05
  - detector\_footprint-B06
  - detector\_footprint-B07
  - detector\_footprint-B08
  - detector\_footprint-B8A
  - detector\_footprint-B09
  - detector\_footprint-B11
  - detector\_footprint-B12

Product Explorer X Pixel Info

- saturated\_11b
- defective
- ancillary\_lost
- ancillary\_degraded
- msi\_lost
- msi\_degraded
- opaque\_clouds
- cirrus\_clouds
- sd
  - sd\_dark\_feature\_shadow
  - sd\_cloud\_shadow
  - sd\_vegetation
  - sd\_not\_vegetated
  - sd\_water
  - sd\_unclassified
  - sd\_cloud\_medium\_proba
  - sd\_cloud\_high\_proba
  - sd\_thin\_cirrus
  - sd\_snow\_ice
- detector\_footprint-B01
- detector\_footprint-B02
- detector\_footprint-B03
- detector\_footprint-B04
- detector\_footprint-B05

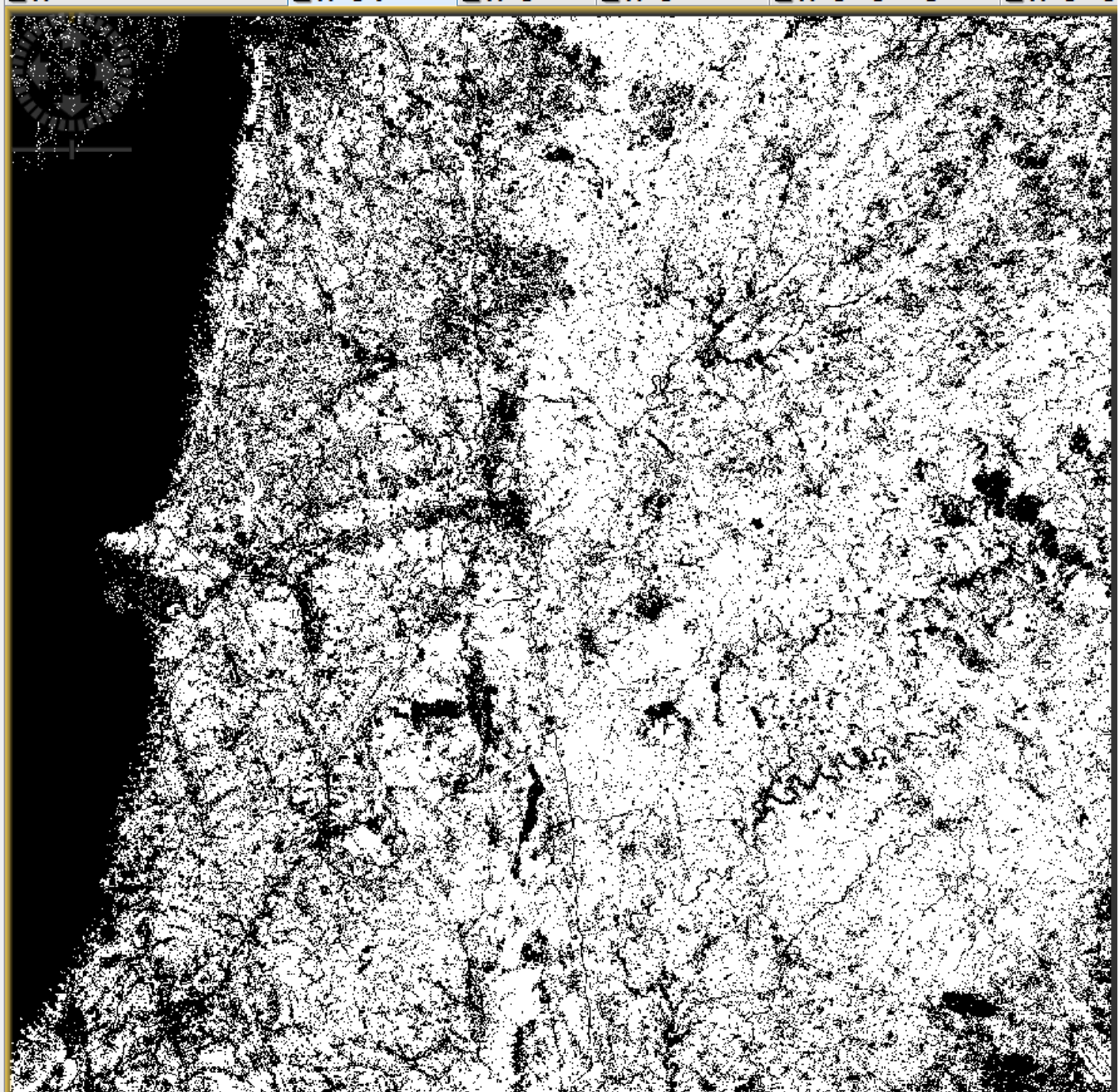


Sentinel-2, 20170614

- B8 (842 nm)
- B8A (865 nm)
- B9 (945 nm)
- B11 (1610 nm)
- B12 (2190 nm)
- Masks
  - nodata
  - partially\_corrected\_cross
  - saturated\_11a
  - saturated\_11b
  - defective
  - ancillary\_lost
  - ancillary\_degraded
  - msi\_lost
  - msi\_degraded
  - opaque\_clouds
    - opaque\_clouds\_10m
    - opaque\_clouds\_20m
    - opaque\_clouds\_60m
  - cirrus\_clouds
    - cirrus\_clouds\_10m
    - cirrus\_clouds\_20m
    - cirrus\_clouds\_60m
- scd
- detector\_footprint-B01
- detector\_footprint-B02
- detector\_footprint-B03
- detector\_footprint-B04
- detector\_footprint-B05
- detector\_footprint-B06
- detector\_footprint-B07
- detector\_footprint-B08
- detector\_footprint-B8A
- detector\_footprint-B09
- detector\_footprint-B11
- detector\_footprint-B12



- partially\_corrected\_crosstalk
- saturated\_11a
- saturated\_11b
- defective
- ancillary\_lost
- ancillary\_degraded
- msi\_lost
- msi\_degraded
- opaque\_clouds
  - opaque\_clouds\_10m
  - opaque\_clouds\_20m
  - opaque\_clouds\_60m
- cirrus\_clouds
  - cirrus\_clouds\_10m
  - cirrus\_clouds\_20m
  - cirrus\_clouds\_60m
- sd
  - sd\_dark\_feature\_shadow
  - sd\_cloud\_shadow
  - sd\_vegetation
  - sd\_not\_vegetated
  - sd\_water
  - sd\_undclassified
  - sd\_cloud\_medium\_proba
  - sd\_cloud\_high\_proba
  - sd\_thin\_cirrus
  - sd\_snow\_ice
- detector\_footprint-B01
- detector\_footprint-B02
- detector\_footprint-B03
- detector\_footprint-B04
- detector\_footprint-B05
- detector\_footprint-B06
- detector\_footprint-B07
- detector\_footprint-B08
- detector\_footprint-B8A



Navi... Layer... x Worl... Unc... -

Editor:  Basic  Sliders  Table

Name: sd\_vegetation  
Unit: null  
Min: 0.0  
Max: 255.0  
**Rough statistics!**

95% 100%  
Log10

255.0

More Options

# Distorção Geométrica das imagens

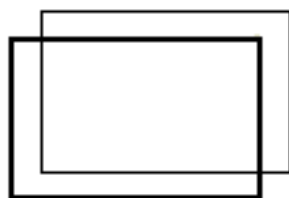
---

Qualquer sistema de DR terá distorções geométricas. Este é um problema inerente à DR uma vez que pretendemos representar a superfície da Terra 3D numa imagem bidimensional (matematicamente equivalente ao problema da cartografia matemática, acrescida de outras deformações).

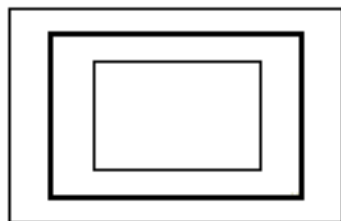
Os elementos que contribuem para a distorção geométrica das imagens são:

- a) O movimento do sistema de varrimento
- b) A instabilidade da plataforma.
- c) A atitude da plataforma
- d) O relevo do terreno
- e) Curvatura e rotação da Terra.

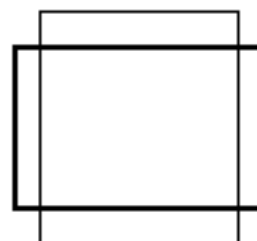
## External Distortions



(a) Shift error



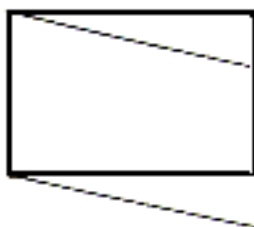
(b) Scale error



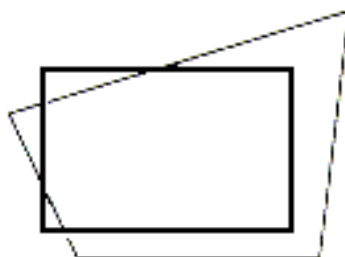
(c) V/H error



(d) Skew



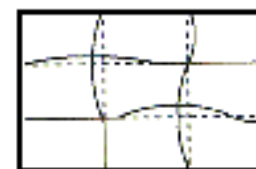
(e) Skew of scan line



(f) Projection distortion

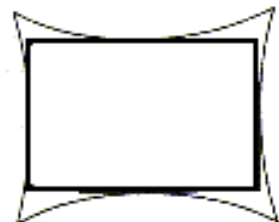


(g) Distortion due to  
Earth curvature

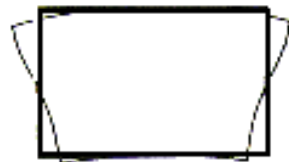


(h) Terrain relief  
Displacement

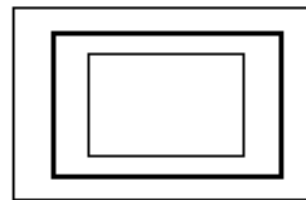
## Internal Distortions



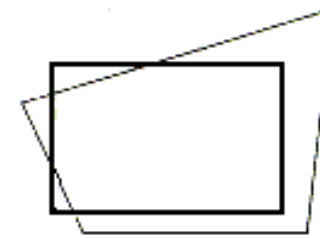
(a) Radial distortion



(b) Tegential distortion



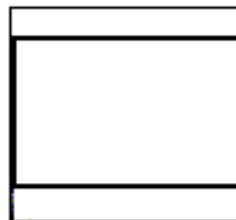
(c) Scale error



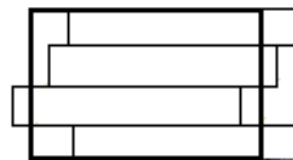
(d) Projection distortion



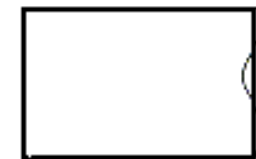
(e) Skew



(f) Along track scale error



(g) Step-wise distortion



(h) Scan-line scale error



# Correcção das imagens

---

Os dados recolhidos pelos sensores de detecção remota precisam, antes de ser utilizados, de um conjunto de correcções para eliminar ou atenuar as distorções introduzidas pela aquisição e transmissão.

Esta fase de pré-tratamento pode ser dividido em dois tipos de correcções:

**Correcções radiométricas**

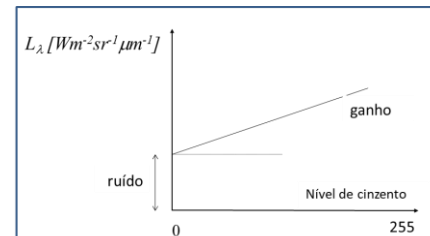
**Correcções geométricas**

---

# Radiometric corrections

As correções radiométricas são usadas para calibrar os sensores, corrigir os erros devidos ao seu mau funcionamento e mitigar os efeitos devidos à propagação da radiação na camada atmosférica. Essas podem ser divididas em:

Calibração radiométrica



Equalização do sensor

Correcção atmosférica

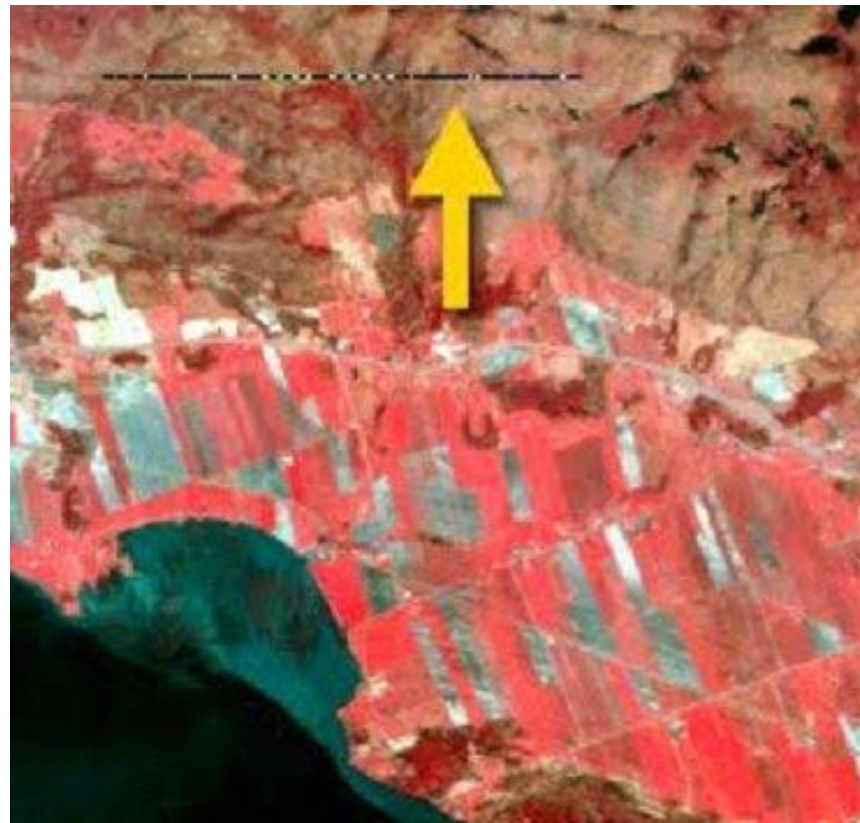
$$\rho_\lambda = \frac{\pi \cdot L_\lambda \cdot d^2}{E_{SUN_\lambda} \cos \theta_S}$$

Correcção da linhas e píxeis não gravados

## Lines and pixels not registered

Pode acontecer que durante a scanerização de uma imagem, devido a quedas de tensão ou por perdas de sinal, ocorram erros nas imagens.

Este tipo de erros ocorre geralmente sob a forma de linhas escuras ou uniformemente cinzentas (*Drop Line*) ou de píxeis com valores anómalos.



# Atmospheric correction– Dark pixel

---

## Método Dark-pixel

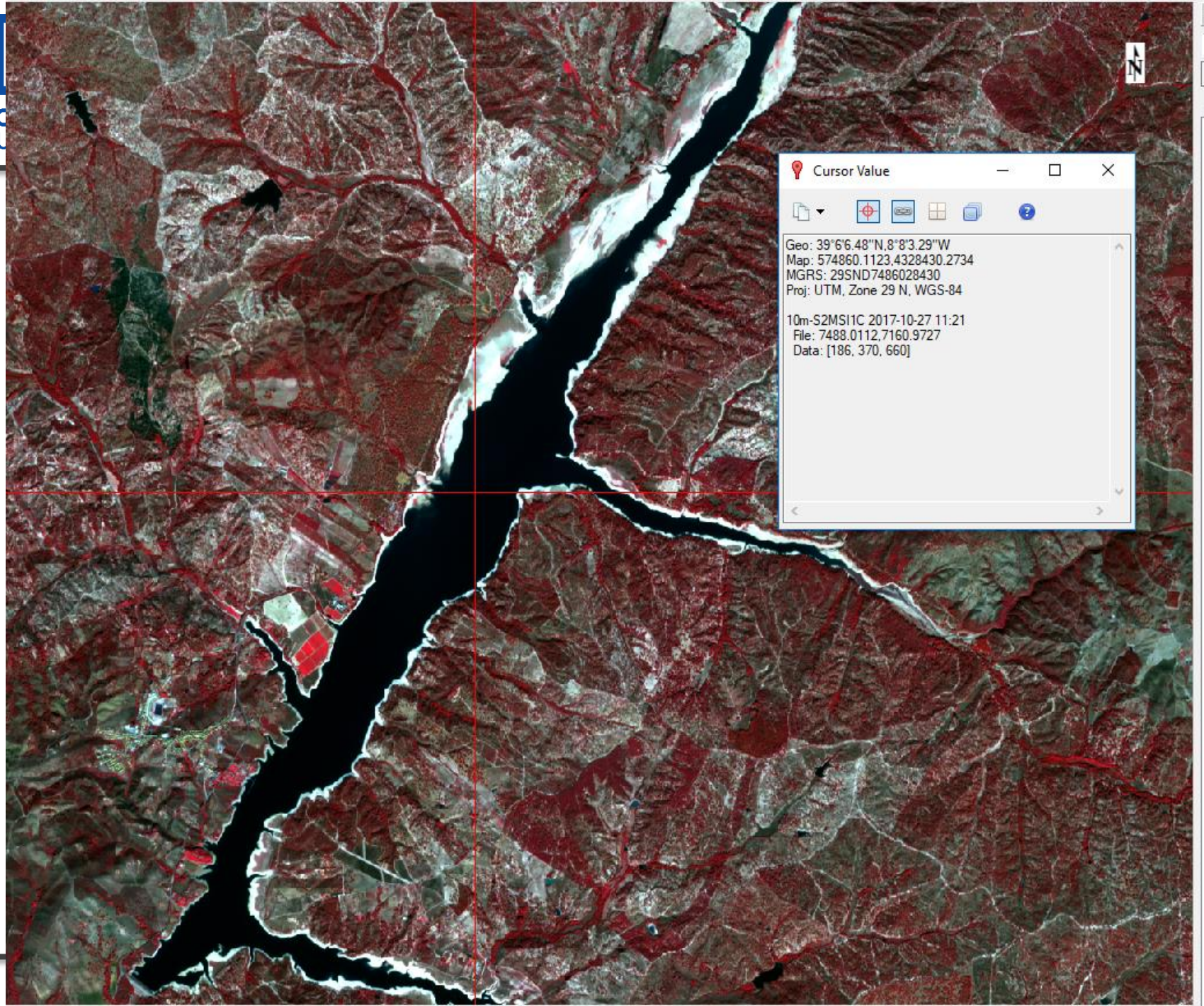
Não requer modelos atmosféricos.

Os píxeis escuros correspondem a tipos de solo que refletem pouco e para os quais o sensor deveria supostamente medir uma radiância bastante baixa (devida apenas aos efeitos atmosféricos).

Com base na radiância destes píxeis registada no sensor podemos determinar a transmitância e a radiância atmosféricas.

Em geral os “dark pixels” usados para corrigir os efeitos atmosféricos são as águas oligotróficas (baixa refletividade na região do infravermelho) e as florestas de coníferas (baixa refletividade nas banda do azul e do vermelho).

---



Cursor Value

Geo: 39°6'6.48"N, 8°8'3.29"W  
Map: 574860.1123, 4328430.2734  
MGRS: 29SND7486028430  
Proj: UTM, Zone 29 N, WGS-84

10m-S2MSI1C 2017-10-27 11:21  
File: 7488.0112, 7160.9727  
Data: [186, 370, 660]



### FLAASH Atmospheric Correction Model Input Parameters

Input Radiance Image:

Output Reflectance File: C:\Users\JCFERN~1\AppData\Local\Temp\

Output Directory for FLAASH Files: C:\Users\JCFERN~1\AppData\Local\Temp\

Rootname for FLAASH Files:

Scene Center Location: DD <> DMS    Sensor Type: UNKNOWN-HSI    Flight Date: Jan 1 2000

Lat: 0 0 0.00    Sensor Altitude (km): 0.000

Lon: 0 0 0.00    Ground Elevation (km): 0.000

Pixel Size (m): 0.000

Flight Time GMT (HH:MM:SS): 0 : 0 : 0

Atmospheric Model: Tropical    Aerosol Model: Rural    Spectral Polishing:

Water Retrieval: Yes     Aerosol Retrieval: 2-Band (K-T)    Width (number of):

Water Absorption Feature: 1135 nm    Initial Visibility (km): 40.00    Wavelength Rec:

### FLAASH Advanced Settings

Spectrograph Definition File:

For Non-nadir Looking Instruments: DD <> DMS

Zenith Angle: 180 0 0.00

Azimuth Angle: 0 0 0.00

Aerosol Scale Height (km): 1.50

CO2 Mixing Ratio (ppm): 390.00

Use Square Slit Function: No

Use Adjacency Correction: Yes

Reuse MODTRAN Calculations: No

Modtran Resolution: 5 cm-1

Modtran Multiscatter Model: Scaled DISORT

Number of DISORT Streams: 8

Use Tiled Processing: Yes     Tile Size (Mb): 100

Radiance Image: Spatial Subset    Full Scene

Re-define Scale Factors For Radiance Image: Choose

Output Reflectance Scale Factor: 10000

Automatically Save Template File: Yes

Output Diagnostic Files: No

- Search the toolbar
- /Radiometric Correction/Atmospheric Correction
- Favorites
- Anomaly Detection
- Band Algebra
- Change Detection
- Classification
- Feature Extraction
- Filter
- Geometric Correction
- Image Sharpening
- LIDAR
- Mosaicking
- Radar
- Radiometric Correction
  - Apply Gain and Offset
  - Atmospheric Correction Module
    - FLAASH Atmospheric Correction
    - Quick Atmospheric Correction (K)
  - Calibrate AVHRR
  - Calibrate TIMS
  - Cross-Track Illumination Correction
  - Dark Subtraction
  - EFFORT Polishing
  - Emissivity Alpha Residuals
  - Emissivity Normalization
  - Emissivity Reference Channel
  - Empirical Line Compute Factors and
  - Empirical Line Correct Using Existing
  - Flat Field Correction
  - IAR Reflectance Correction
  - Log Residuals Correction
  - Radiometric Calibration
  - Thermal Atmospheric Correction
- Raster Management
- Regions of Interest
- Spatiotemporal Analysis
- SPEAR
- Spectral
- Statistics
- Target Detection
- THOR
- Terrain
- Transform
- Vector
- Extensions

in New View

ad Grayscale



# Geometric corrections

---

Como as imagens de detecção remota são usadas em conjunto com outra informação, sobretudo de origem cartográfica, é preciso corrigir geometricamente as imagens no sentido de usar a mesma referência cartográfica.

As imagens de detecção remota são caracterizadas por diferentes tipos de distorções geométricas que em geral são corrigidas usando dois tipos de técnicas de correcções:

**Correcções sistemáticas**

Ligadas ao sensor e plataforma e por isso constantes no tempo

**Correcções de Posicionamento**

---



# Geometric & Positioning Correction

---

As correcções de Posicionamento, para além de corrigir geometricamente a imagem de maneira coerente com o sistema de referência escolhido (georreferenciação), podem corrigir também os efeitos devidos à topografia.

Os sistemas de transformação que são geralmente usados podem ser divididos em duas categorias:

**Polinomial**

**Orto-rectificação**

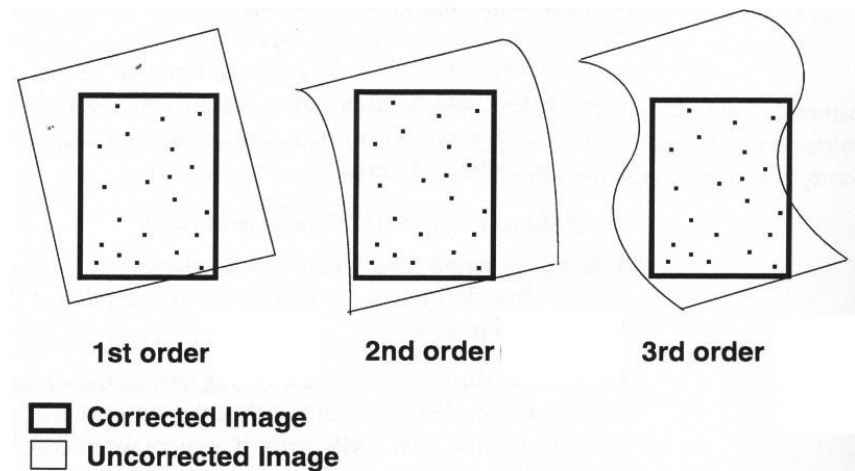
---



# Correcção pelo método polinomial

Identifica-se um conjunto de Pontos de Controlo no terreno e na imagem, chamados na literatura GCP (*Ground Control Points*).

Com base nesse conjunto de pontos, é definido um conjunto de equações de transformação que ligam as coordenadas imagem e as coordenadas cartográficas.



Essas equações podem ser polinómios de diferente ordem.

Transformação bilinear:  $x = a u + b v + d$ ;  $y = e u + f v + g$



# Reamostragem / Resampling

---

No processo de correcção geométrica da imagem é necessário calcular o valor radiométrico de cada píxel na sua nova posição.

O procedimento de cálculo do valor do nível radiométrico de cada píxel na imagem final designa-se por reamostragem.

Os algoritmos mais usados são:

**Vizinho mais próximo**

**Bilinear**

**Bicúbico**

---

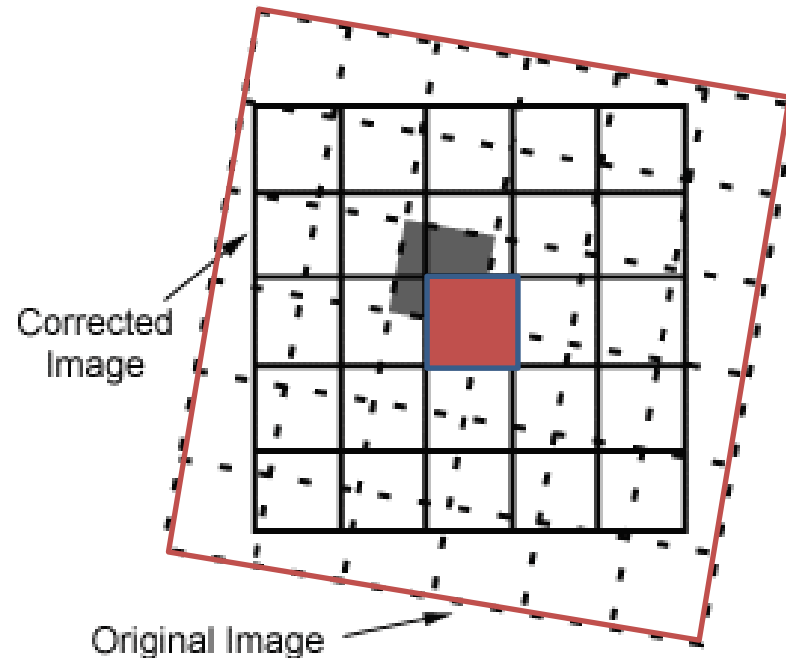
# Nearest Neighbour

O valor de radiância DN  $(x,y)$  que vamos escrever no píxel de output é o valor correspondente ao píxel que tem coordenadas linha-coluna  $(l,c)$  mais perto das coordenadas  $(x,y)$  obtidas pela transformação.

Como resultado obtemos imagens com efeito de degrau.

Por outro lado mantêm-se inalterados os valores dos píxeis originais

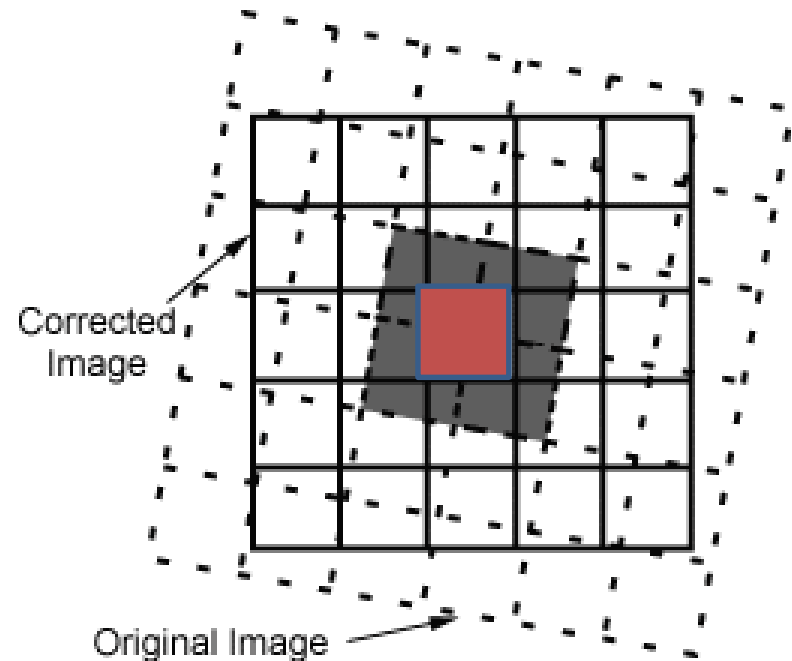
(isso é importante por exemplo na georreferenciação dos mapas de uso do solo)



# Bilinear

O novo valor de radiância DN  $(x,y)$  é calculado por interpolação que abrange os quatros pixéis mais próximos ao ponto de coordenadas  $(x,y)$  obtidas pela transformação geométrica.

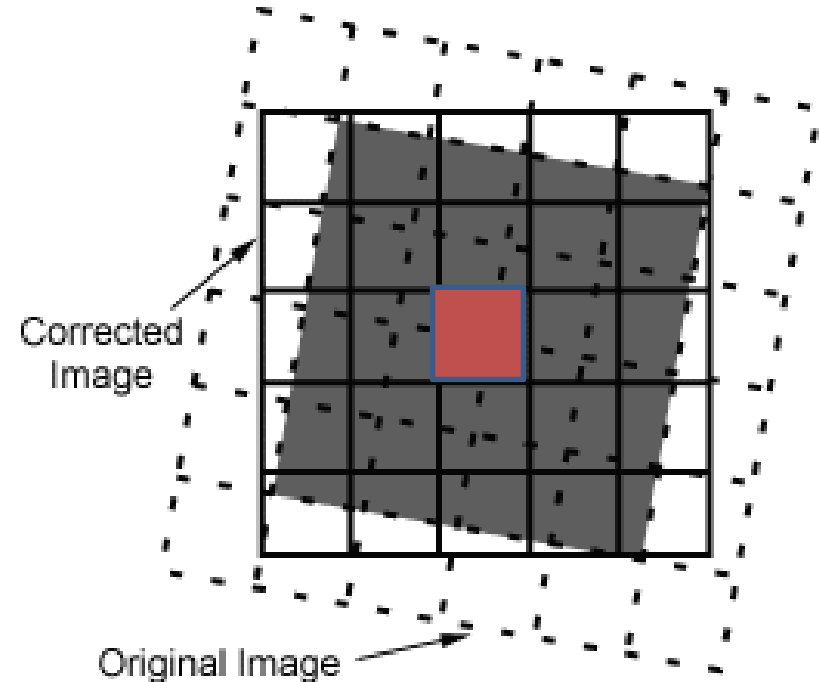
Os valores de radiância originais são alterados e a imagem obtida é caracterizada por menos contrastes e variações radiométricos mais suaves (efeito da filtragem ! )



# Bicubic

Neste caso a interpolação (de ordem superior) abrange os 16 píxeis mais próximos.

Do ponto de vista geométrico este método é mais fiável, mas o conteúdo radiométrico é mais alterado.



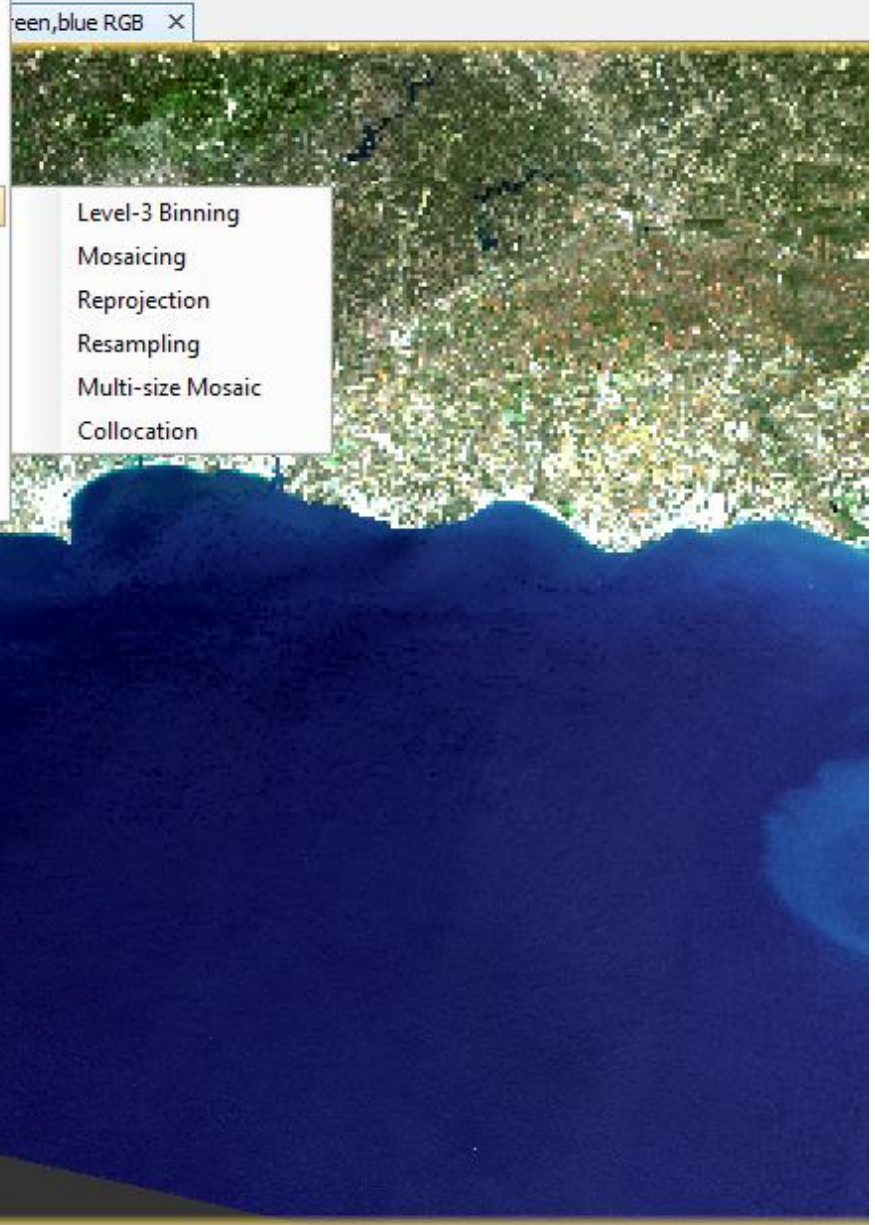
Esta técnica só faz muito sentido se o fim for a interpretação visual da imagem interpolada mas não deveria ser usada nos casos de análise numérica dos valores radiométricos.



**Product Explorer** × **Pixel Info**

- [1] LC08\_L1TP\_203034\_20170523
- Metadata
- Flag Codings
- Vector Data
- Bands
- Masks

- Band Maths...
- Filtered Band...
- Convert Band
- Propagate Uncertainty...
- Geo-Coding Displacement Bands...
- Subset...
- Geometric Operations** >
- DEM Tools >
- Masks >
- Data Conversion >
- Image Analysis >
- Classification >
- Segmentation >
- Export >



Navi... × Unce... Worl... -

Red  Green  Blue

Name: red  
Unit:  $W/(m^2 \cdot sr \cdot \mu m)$   
Min: 13.515  
Max: 257.919  
Rough statistics!

14.95 76.53

More Options ?





Layer Manager x [1] Landsat-8 red.green.blue RGB x

### Reprojection

File Help

I/O Parameters Reprojection Parameters

Coordinate Reference System (CRS)

Custom CRS

Geodetic datum: World Geodetic System 1984

Projection: Geographic Lat/Lon (WGS 84)

Projection Parameters...

Predefined CRS Select...

Use CRS of ...

Output Settings

Preserve resolution  Reproject tie-point grids

Output Parameters... No-data value: NaN

Add delta lat/lon bands Resampling method: Nearest

Output Information

Scene width: 19228 pixel	Center longitude: 7°45'44" W
Scene height: 15582 pixel	Center latitude: 37°28'09" N
CRS: WGS84(DD)	Show WKT

Run Close



# Exercícios

1. Calcule a irradiância solar no topo da atmosfera. Considere que a temperatura do Sol é de cerca 5800°K. O seu raio é  $r = 6.96 \cdot 10^8$  m e a sua distancia à Terra  $D = 1.50 \cdot 10^{11}$  m.

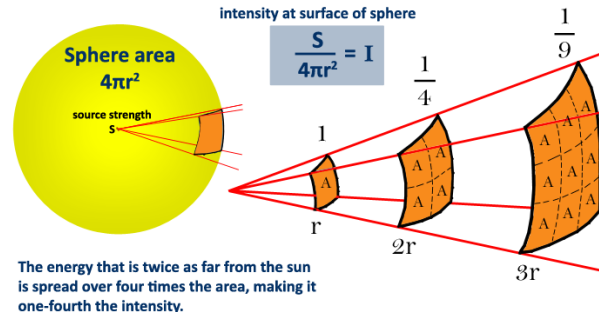
Podemos considerar que o Sol emite radiação no interior dum cone que tem como base o disco solar ( $r$ ) e como altitude a distancia Sol-Terra ( $d$ ). No topo da atmosfera a irradiância do Sol é dada por:

$$E_{\lambda}^0 = L_{\lambda} \times \frac{\text{área do disco solar}}{(\text{distancia à Terra})^2}$$

$$E_{\text{TOP}} = 1367 \text{ Wm}^{-2}$$

irradiância média exo-atmosférica (600-800 km)

Este valor médio, designado por **constante solar**, foi adotado como padrão pela Organização Meteorológica Mundial.



# Radiação Solar

A radiância espectral é dada pela fórmula de Planck (multiplicada pela emissividade  $\varepsilon$ )

$$L_{\lambda} = \frac{2\varepsilon hc^2}{\lambda^5 \cdot \left( e^{\frac{hc}{\lambda KT}} - 1 \right)}$$

Por outro lado a irradiância espectral é dada por:

$$E_{\lambda} = \frac{2\varepsilon hc^2}{\lambda^5 \cdot \left( e^{\frac{hc}{\lambda KT}} - 1 \right)} \cdot \Delta\Omega$$

Por exemplo, ao comprimento de onda  $\lambda = 0.5 \mu\text{m}$ , típico da radiação solar, a radiância espectral e a irradiância espectral são dadas por

$$L_{\lambda} = 2.65 \cdot 10^{13} \text{ W m}^{-2} \text{ sr}^{-1} \mu\text{m}^{-1}$$

$$E_{\lambda} = 1790 \text{ W m}^{-2} \mu\text{m}^{-1}$$

2. De acordo com a lei do deslocamento de Wiens qual é o comprimento de onda de máxima emitância do Sol? (considere a temperatura de 5800 K)

3. Considere um pixel com os valores (75, 36, 29, 123, 103) nas primeiras 5 bandas de uma imagem Landsat 7 ETM+. Quais os valores de radiância espectral para o pixel nas 5 bandas?

4. Considerando os dados do problema 3, determine o valor do índice de vegetação NDVI para esse pixel e interprete o valor. A imagem foi adquirida no dia 6 de Julho de 2007. O Sol tinha no momento da aquisição da imagem num azimute de  $122.8^\circ$  e uma elevação de  $64.5^\circ$ .



## Exercício

5 Sabendo que a irradiância espectral no topo da atmosfera é em média  $1039 \text{ Wm}^{-2} \mu\text{m}^{-1}$  para a banda 4 do Landsat ( $0.772\text{-}0.898\mu\text{m}$ ), que a transmissividade atmosférica na direção do Sol é 0.91 e que a radiação difusa é nula para essa banda, estime a irradiância à superfície para essa banda.

$$L_{\lambda}^s(x, y) = \rho(x, y, \lambda) \frac{\tau_v(\lambda)}{\pi} \{ \tau_s(\lambda) E_{\lambda}^0 \cos(\theta(x, y)) + F(x, y) \cdot E_{\lambda}^d \} + L_{\lambda}^{sp}(x, y)$$

6 Suponha que um determinado pixel na banda ( $0.79\text{-}0.89 \mu\text{m}$ ) tem um valor de radiância de  $90 \text{ W m}^{-2} \text{ sr}^{-1} \mu\text{m}^{-1}$  e que a irradiância à superfície nessa banda na altura da aquisição da imagem é de  $900 \text{ W m}^{-2} \mu\text{m}^{-1}$ . Suponha ainda que a transmissividade atmosférica na direção do sensor nessa banda do espectro é de 0.91. Com base na informação de que dispõe estime a reflectância da parcela de terreno correspondente a esse pixel da imagem.



## Exercícios

---

6. Suponha que dispõe de uma imagem de alta resolução de uma pequena área essencialmente plana que quer georreferenciar no Sistema ETRS89-PTTM06 usando três pontos de control com as seguinte sposições (coluna, linha) na imagem de alta resolução:  $(1000,800)$ ,  $(10000,20000)$ ,  $(15000, 5000)$ . Os mesmos pontos têm coordenadas  $(M,P)$  respectivamente  $(-5, 15)$ ,  $(29, 38)$   $(15,5)$  no Sistema PTTM06. Suponha que a transformação de coordenadas é uma transformação polinomial de primeiro grau. Escreve o sistema de equações que define a transformação de coordenadas

---

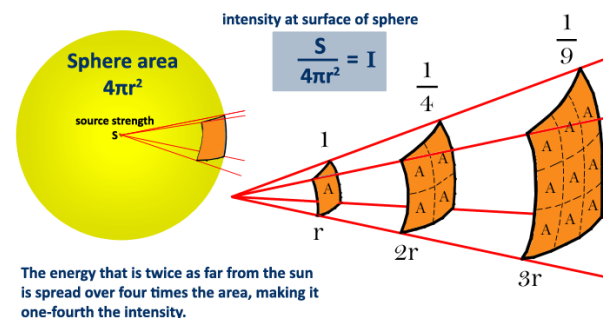
# Solar radiation

Podemos considerar que o Sol emite radiação no interior dum cone que tem como base o disco solar ( $r$ ) e como altitude a distancia Sol-Terra ( $d$ ). No topo da atmosfera a irradiância do Sol é dada por:

$$E_{\lambda}^0 = L_{\lambda} \times \frac{\text{área do disco solar}}{(\text{distancia à Terra})^2}$$

$$E_{\text{TOP}} = 1367 \text{ Wm}^{-2}$$

irradiância média exo-atmosférica (600-800 km)



Este valor médio, designado por **constante solar**, foi adotado como padrão pela Organização Meteorológica Mundial.