

Sensor Termal

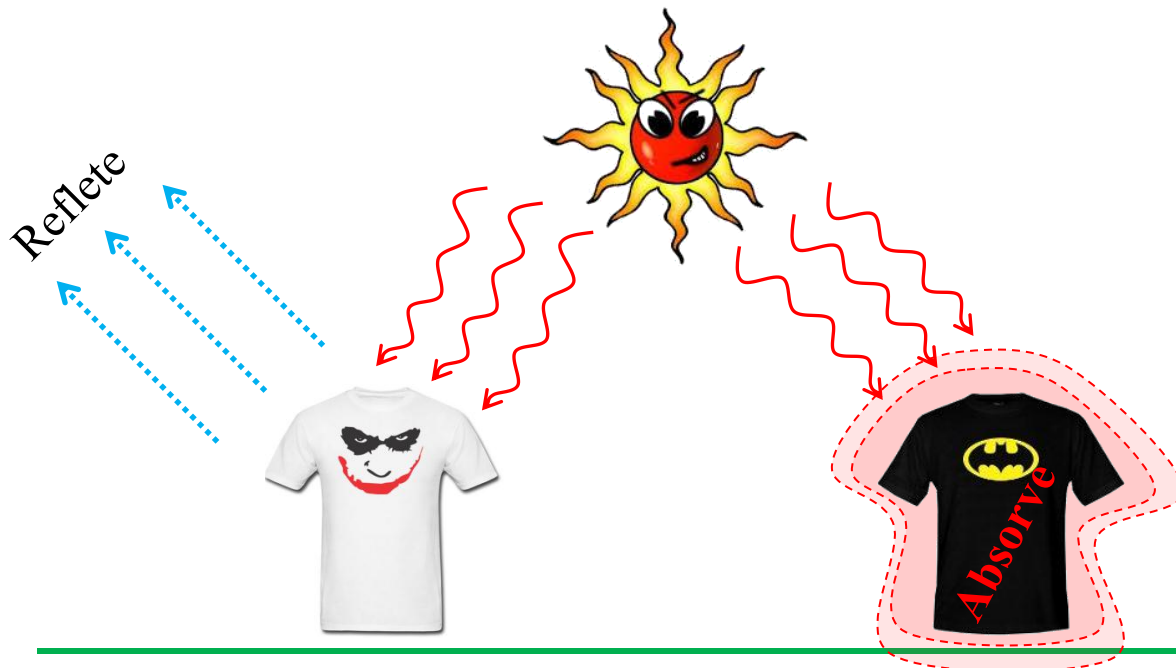
Prof. Dr. Rogério Galante Negri

Temperatura, Energia, IR...

- O espectro do infravermelho (IR) é dividida em 3 subintervalos:
 - IR próximo ($0,7 - 3,0 \mu m$) – interação da REM é similar ao visível
 - IR termal ($5,0 - 20,0 \mu m$) – abordagem diferente
 - IR distante ($20,0 - 1000 \mu m$) – não usada em SR
 - SR (termal) usa a faixa $8,0 - 14 \mu m$
 - Todo corpo com $T > 0K$ emite REM
 - Emissão de REM é devido a agitação das moléculas
 - A radiação é função de T e da emissividade do material (capacidade de emitir energia)
-

Radiação

- REM é uma onda que carrega partículas de energia (fótons)
- Quando os fótons são absorvidos pelo material, o estado energético do material aumenta
- Para o material retornar a seu estado original, os fótons absorvidos são emitidos na forma de ondas longas, perceptíveis na faixa do infravermelho termal (TIR)
- Humanos não veem no TIR, mas sentem pelo tato

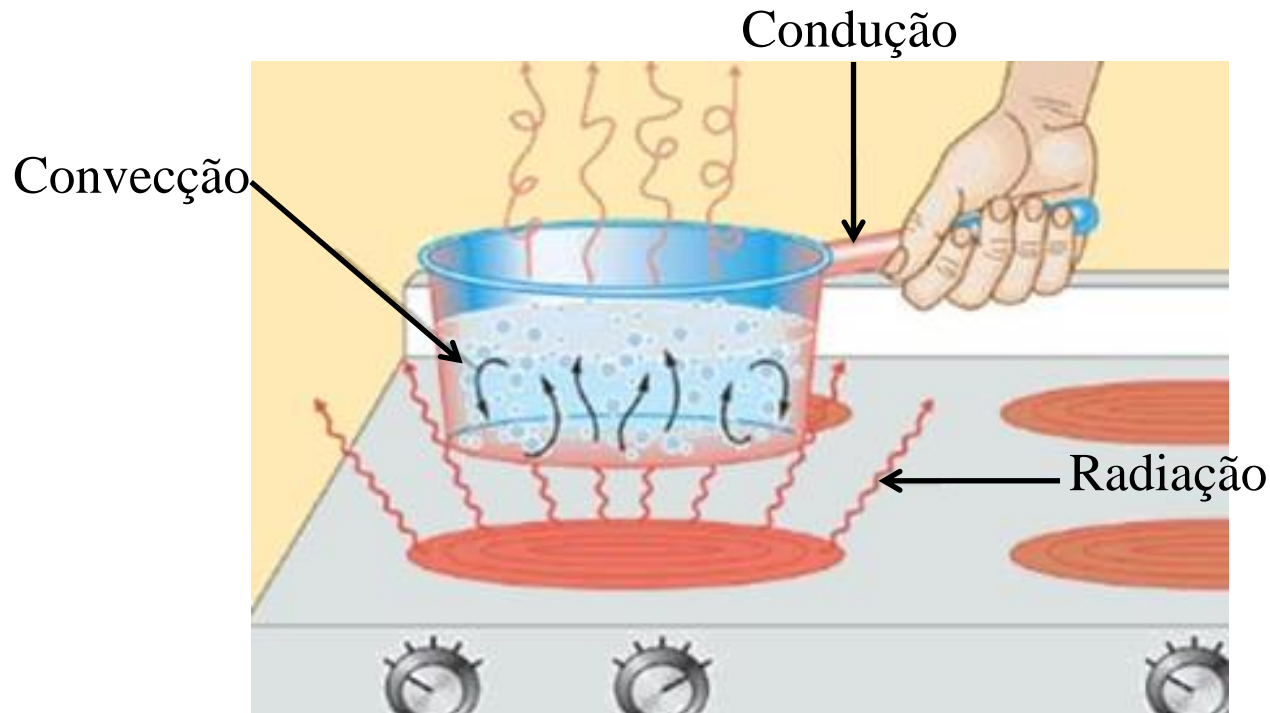


Toda energia absorvida precisa ser liberada

A liberação de fótons é necessária para retomar o estado energético original

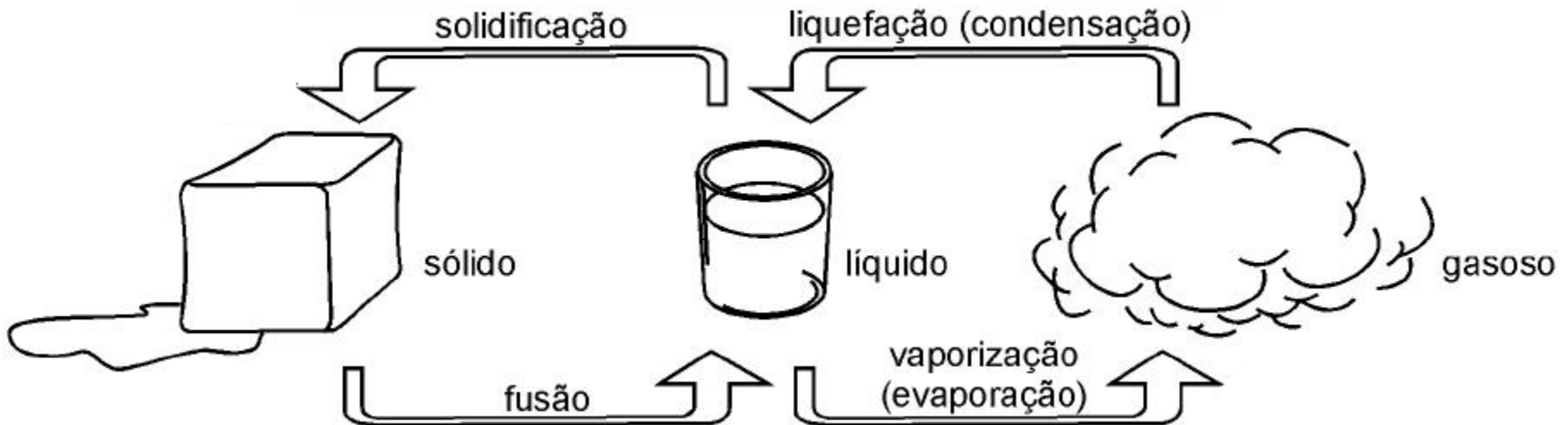
Energia, temperatura e calor

- Energia → capacidade de realizar trabalho [energia cinética]
- Temperatura → grau de agitação dos átomos/moléculas
- Calor → fluxo de energia entre dois corpos com \neq energias
- Fluxo de calor → do mais quente para o mais frio



Calor latente e sensível

- Quando se recebe/emite calor e provoca a mudança de temperatura, diz-se que houve troca de calor sensível
- Quando a quantidade de calor não causa mudança de temperatura, mas causa mudança de estado físico, houve variação de calor latente



Lei de Stephen-Boltzman

“A quantidade de energia que qualquer corpo emite é, dentre outras coisas, função da temperatura do corpo”

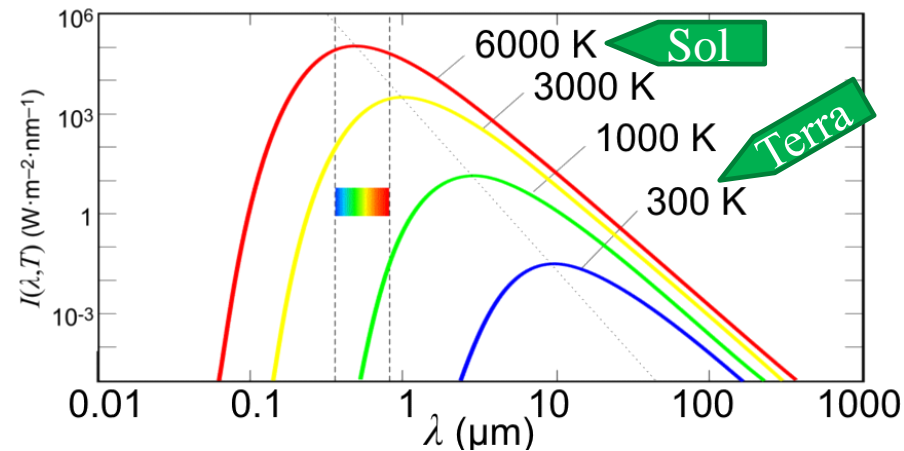
$$M = \sigma T^4$$

M : emitância radiante da superfície do material [fluxo radiante/área]

σ : constante de Stephan-Boltzman ($5,6697 \cdot 10^{-8} [W m^{-2} K^{-4}]$)

T : temperatura absoluta medida em Kelvin

- A energia total emitida por um corpo varia com a temperatura
- A distribuição espectral da energia emitida também varia
- O comprimento de onda onde a emissão de energia é máxima é determinado pela Lei de Wien (vimos)



$$\lambda_{max} = C/T$$

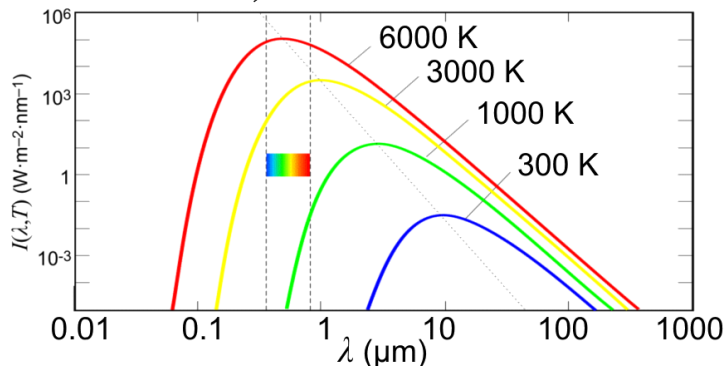
Const. Wien: $C = 2898 \mu m K$

Interação no Infraverm. Termal

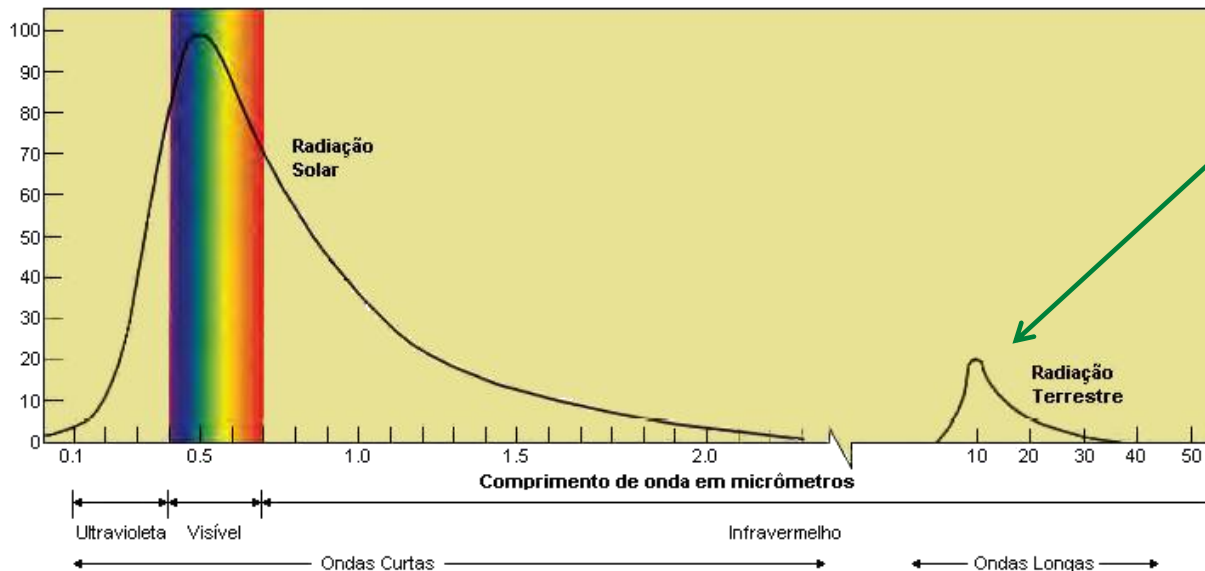
SR termal → comportamento térmico dos alvos

SR das prop. térmicas, é importante interpretar as medidas de radiância de uma fonte distante do sensor em relação a sua temperatura cinética

- Para isso, utilizaremos novamente o conceito de fonte corpo negro



Há uma relação inversa entre a temperatura e o comprimento de onda no qual se tem o pico máximo de energia



A temp. média da Terra é de 300 K

Um corpo negro nessa temp. emite o máximo de energia radiante em $9,6 \mu m$ e sua faixa de REM é de 8 a 35 μm

Emissividade

- O mundo não é composto de corpos negros
- Os corpos radiam apenas parte da energia que recebe
- Emissividade (ε) é a razão entre a radiância real emitida pelo corpo do mundo real (M_r) e pelo corpo negro à mesma temperatura (M_b)
$$\varepsilon = \frac{M_r}{M_b}$$
- Kirchoff observou que na porção do infravermelho do espectro a emissividade espectral de um objeto geralmente é igual a sua absorptância espectral (fração absorvida)
- Logo, podemos dizer que bons absorvedores são bons emissores

Nas imagens, os objetos mais escuros (baixa reflectância) são mais absorvedores e no termal eles são mais emissores

Emissividade

- A umidade do material altera o albedo
[razão energia refletida/incidente]
- A composição química é outra propriedade que influencia a emissividade do material

ε em 8 – 14 μm	
Material	Emissividade (ε)
Água destilada	0,99
Água	0,92 – 0,98
Gelo seco	0,97 – 0,98
Vegetação verde	0,96 – 0,99
Vegetação seca	0,88 – 0,94
Gramma	0,97
Solo úmido	0,95 – 0,98
Solo seco	0,92 – 0,94
Neve	0,83 – 0,85
Areia	0,90
Asfalto	0,95
Basalto	0,95
Granito	0,86
Dunito	0,78
Metal polido	0,16 – 0,21
Alumínio polido	0,55
Ouro polido	0,02 – 0,03
Aço inoxidável	0,16

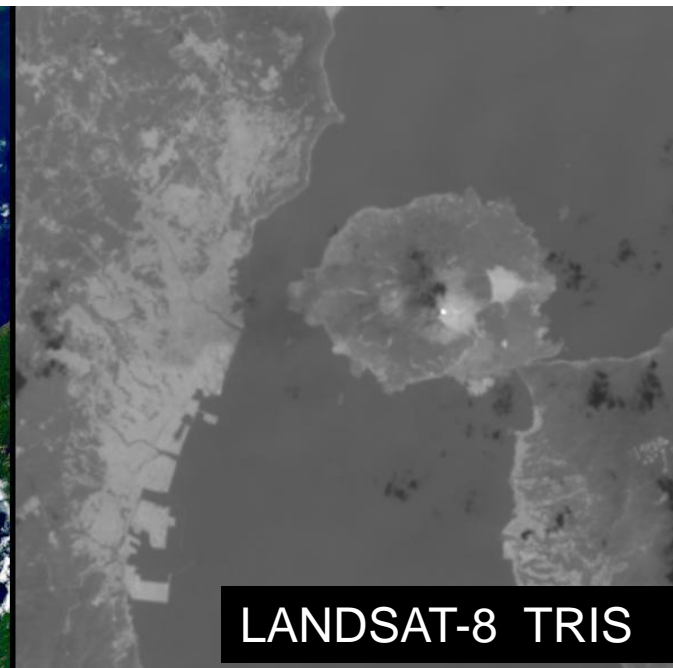
Intensidade Radiante

Reflectância = fluxo refletido/incidente

- A intensidade radiante é:

$$I = \rho_{\lambda} + \varepsilon_{\lambda}$$

- Isso demonstra que a energia que emana dos objetos tem uma relação entre a reflectância (ρ_{λ}) e a emissividade (ε_{λ})
 - Se uma é alta a outra é baixa, e *vice-versa*



Temperaturas Cinética e Radiométrica

- Sensores TIR registram a intensidade da radiação equivalente à temperatura radiante aparente do terreno, e não a temperatura cinética verdadeira
 - A temperatura cinética verdadeira (T_k), medida com termômetro, é que mede o grau de agitação das moléculas, fazendo assim os objetos emitir radiação eletromagnética
 - O fluxo radiante que sai do objeto é chamada de temperatura radiométrica (T_r) ou temperatura aparente
-

Temperaturas Cinética e Radiométrica

- Saber a temperatura do objeto pode ser importante
 - Mapeamento de nuvens
 - Queimadas
 - Movimento de frentes frias
 - Ilhas urbanas de calor
 - Superfície do mar
 - Derramamento de lava
- Mas é preciso relacionar as temps. cinética e radiométrica
- Uma alteração na lei de Stephan-Boltzman pode ser efetuada, possibilitando obter a relação entre tais temperaturas:

$$M_r = \varepsilon \cdot \sigma \cdot T^4$$

- Por sua vez: $M_r = M_b \cdot \varepsilon$
- Assim: $\sigma \cdot T_r^4 = \varepsilon \cdot \sigma \cdot T_k^4 \Rightarrow T_r = \varepsilon^{0,25} \cdot T_k; 0 < \varepsilon < 1$

A temp. radiométrica é sempre menor que a cinética!

Imagens Termal – Pt. 1

- Todos os objetos na superfície emitem REM com intensidades proporcionais à sua temperatura
 - Condições ambientais/climáticas interferem na temperatura de superfície
 - Os dados das imagens obtidas na faixa do termal podem variar temporalmente
 - Outro fator que pode trazer problemas para o uso prático das imagens termais é a influência do aquecimento solar sobre os materiais
 - Uma imagem termal tomada em um dia em que a insolação é fraca será diferente de um dia de alta insolação
 - Logo, as duas imagens apresentarão diferentes NCs para os mesmos alvos,
 - Há impressão que ocorreu mudança dos alvos entre as duas imagens
 - Uso ou aplicações com imagens termais depende do conhecimento das condições ambientais na data do imageamento, a fim de se corrigir/normalizar a radiância
-

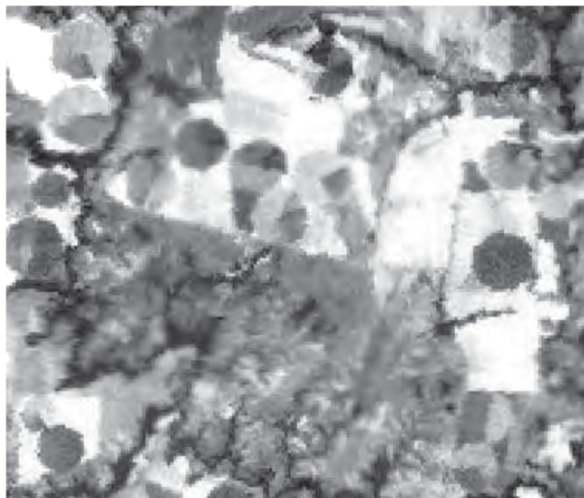
Imagens Termal – Pt. 2

- Sensores termais são iguais aos ópticos e os mesmos conceitos sobre resoluções espacial, espectral e radiométrica discutidos anteriormente são válidos
 - Por isso, muitos dos sensores orbitais atualmente em operação adquirem simultaneamente imagens termais e ópticas da mesma área
 - A aquisição dos dados termais é realizado em função do horário de imageamento das imagens ópticas
 - Em casos como esse, em que as imagens termais são obtidas simultaneamente com as imagens ópticas, vemos que sempre a resolução espacial das imagens termais é menor
 - Existe um comprometimento entre a resolução espacial e a radiométrica na obtenção de dados termais
 - Quanto maior o IFOV maior o tempo de permanência do sensor imageando o terreno, visando captar a radiação emitida pela superfície com mais precisão, porém, a precisão espacial diminui
-

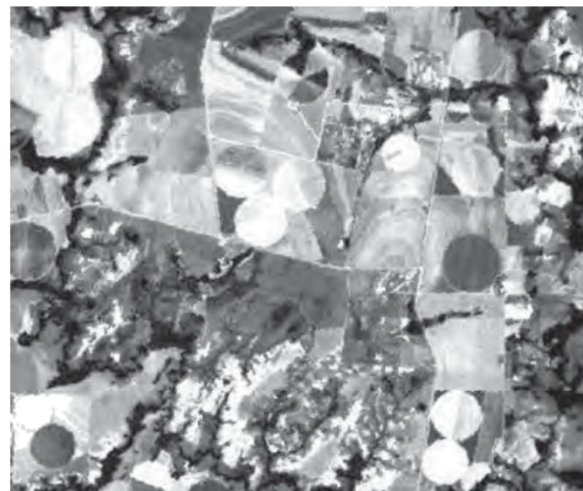
Imagens Termal

- Pode ser difícil distinguir imagens “termal” e “óptica” tomadas simultaneamente no horário diurno
 - Imagens (qualquer λ) é o registro dos NCs das diferentes intensidades de REM que chegam ao sensor
 - Variações de NC em imagens do “visível” correspondem às diferenças de reflectâncias entre os alvos
 - Em imagens “termais” as variações de NC correspondem às relações de temperaturas/emissividades dos alvos

LANDSAT-7
ETM



Termal 10,4 – 12,5 μm



Vermelho 0,63 – 0,69 μm

Bibliografia da aula

- MENESES, P. R.; ALMEIDA, T. (Orgs.) **Introdução ao Processamento de Imagens de Sensoriamento Remoto**, UNB/CNPq, Brasília, 2012.

