

13. Qual o princípio físico da detecção de queimadas?

A detecção dos focos não é intuitiva para a maioria das pessoas, pois apesar de ser feita com telescópios óticos, a informação utilizada não está na luz visível percebida pelo olho humano (comprimentos de onda 0,38 a 0,74 micrometros, “ μm ”), e sim dentro da faixa de energia infravermelha (0,75 a 1000 μm). A temperatura medida pelo satélite é diferente da temperatura obtida por um termômetro comum em contato físico com a superfície que está sendo examinada, e esta distinção costuma ser mal interpretada pelos que não estão familiarizados com o tema.

Um exemplo de aplicação da energia infravermelha está nos termômetros com apontador de laser amplamente usados durante a pandemia da COVID-19 para medir a temperatura das pessoas, sem tocá-las. No caso dos satélites, que necessitam fazer medidas muito mais precisas, os instrumentos são mantidos em temperatura constante muito baixa, e possuem sensores específicos para as diferentes faixas de temperatura; por estas razões custam alguns milhões de dólares.

Ao considerarmos o modo como a energia é emitida por uma superfície, deve-se levar em conta que ela varia conforme a temperatura da superfície e, por exemplo, um corpo a 30 °C emite mais energia no comprimento de onda $\sim 11 \mu\text{m}$ e, outro a 500 °C, concentra a emissão em $\sim 4 \mu\text{m}$. Estas relações são dadas pelas Leis de Plank, de 1900 e, do Deslocamento de Wien, de 1893, representadas no gráfico da Figura 1 abaixo, e, de Stefan-Bolzmann, de 1894, que relaciona a energia emitida por um corpo à quarta potência de sua temperatura, dada em graus Kelvin. Também deve-se levar em conta que medidas feitas pelos satélites são influenciadas por outras características das superfícies além da temperatura, como emissividade, e, pela atenuação na atmosfera da energia emitida, devido a gases e aerossóis em suspensão. De maneira geral, o estudo das interações óticas e de energia na atmosfera é um dos campos mais complexos da física clássica, não cabendo esclarecimentos adicionais neste contexto de perguntas frequentes.

Outro aspecto não intuitivo para a maioria das pessoas é a relação entre a o tamanho do objeto observado e a energia por ele emitida. Voltando ao uso de um telescópio, um objeto muito distante aparecerá da mesma forma para o observador, tanto se for pequeno e emitir muita luz ou, se for grande e emitir pouca luz. No caso dos satélites, seus telescópios apresentam uma resolução espacial, ou seja, o tamanho da menor área que conseguem analisar – o “*pixel*”, em inglês, derivado de “*picture element*”, ou píxel em português. No monitoramento de focos, esta área do píxel varia de 4 km² para os satélites geoestacionários, a 1 km² nos sensores AVHRR dos antigos satélites polares NOAA e nos sensores MODIS dos satélites TERRA e AQUA e, a 0,15 km² nos novos sensores VIIRS dos satélites S-NPP e NOAA-20.

Assim, como mostrado na Figura 2, o sensor MODIS do satélite AQUA, que é o “satélite de referência” do programa Queimadas desde 2002, verá a mesma situação e indicará a mesma temperatura para o “foco de queima” com área de 1km² (10.000 ha) toda queimando a 300°C e, para uma área 100 vezes menor com 0,01 km² (1 hectare, ou 10.000 m²) queimando a 450 °C - ver Figura 2 abaixo. Ou seja, o sensor mede a quantidade de energia (de ftons) que chega até ele originária de um píxel, a qual pode ser gerada por múltiplas combinações de tamanho e temperatura da superfície queimando, inclusive de fontes separadas, mas desde que dentro do mesmo píxel. A temperatura assim medida é chamada de “temperatura aparente do fogo”, ou de “temperatura radiométrica” e “temperatura de brilho”, obtidas a partir da “radiância espectral” indicada pelo sensor em unidades de Watt/stereoradiano/m² em um determinado comprimento de onda ($\text{W}\cdot\text{sr}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{nm}^{-1}$), combinando energia medida (Watts) por tamanho de ângulo sólido espacial do píxel (stereoradiano) por unidade de área observada (m²). A conversão da radiância espectral medida para a temperatura é feita pela Lei de Plank.

Outra unidade de medida utilizada é o “*Fire Radiative Power*”, “FRP”, a potência radiativa da queima, que é obtida pela multiplicação da radiância pela área do píxel, com resultado em unidades de Watts ou MegaWatts; e da mesma forma que na explicação acima, um mesmo valor de FRP pode corresponder tanto a uma queima pequena com alta temperatura, ou a uma queima mais extensa de menor temperatura. Portanto, tampouco FRP pode dar uma medida precisa da real dimensão ou temperatura da queima da vegetação – mesmo combinando informações em comprimentos de onda distintos.

Ainda para o sensor MODIS-AQUA, o canal infravermelho termal-médio mais relevante na detecção dos focos, o de número 22, centrado em 3,96 μm , satura a $\sim 331\text{ K}$, portanto $\sim 58^\circ\text{C}$. Este limite, de forma alguma quer dizer que qualquer superfície acima de 58°C será classificada como um foco de queima. Se assim fosse, em um dia ensolarado de verão seriam detectados como queimadas/incêndios todas as praias, calçadas de cimento, ruas asfaltadas, pistas de aeroporto, estradas, tetos de ônibus, tetos metálicos de galpões etc, que atingem a faixa de 70°C a 120°C ; entretanto, casos assim nunca ocorrem no monitoramento! O uso das medidas em outros canais, como no 31, em $\sim 11\ \mu\text{m}$, permitem ao algoritmo de detecção eliminar falsos focos com razoável confiança.

Uma interferência que pode prejudicar as detecções de queima de vegetação no período diurno, e apenas nele, é o reflexo de luz solar em superfícies refletivas, como corpos d’água, prédios espelhados, neve, e alguns solos expostos. Quando os reflexos ocorrem na direção do satélite, o sensor passa a registrar dados como se estivesse apontando diretamente para o Sol, obviamente gerando medidas falsas e exageradas. Por esta razão, o algoritmo de detecção de focos tem um método mais restritivo com imagens diurnas e usa também medidas dos canais na faixa do “visível”.

As possibilidades de focos falsos relacionam-se a vulcões ativos, indústrias que manuseiam substâncias de altas temperaturas, como siderúrgicas com altos-fornos, e “flares” (chamas) de petroquímicas. Estes locais foram identificados pelo Programa Queimadas constatando-se focos recorrentes, que são eliminados das contagens de focos de queima de vegetação. Ao visualizar os focos de queima no Banco de Dados de Queimadas, BDQ (www.inpe.br/queimadas/bdqueimadas), pode-se também visualizar estes focos removidos, por meio da opção “Focos espúrios”.

Eventualmente ocorrem focos de queima devido a casos de incêndios residenciais e industriais e em acidentes rodoviários, e não à queima de vegetação. Pela imprevisibilidade e aleatoriedade destes casos, não há como identifica-los pelos algoritmos de detecção de focos; porém, no contexto de centenas de milhares de focos anualmente, estes falsos focos no BDQ não influenciam as análises e estatísticas.

Para exemplos de detecções de fogo e casos validados, ver www.inpe.br/queimadas/portal/links-adicionais/exemplos-e-validacoes

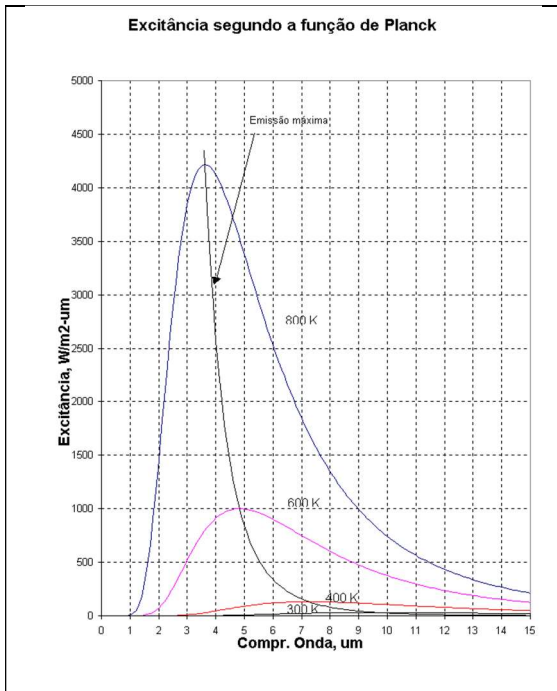


Figura 1. Emissão de energia de um “corpo negro” conforme sua temperatura segundo a lei de Planck, e a curva de máxima emissão pela Lei do Deslocamento de Wien

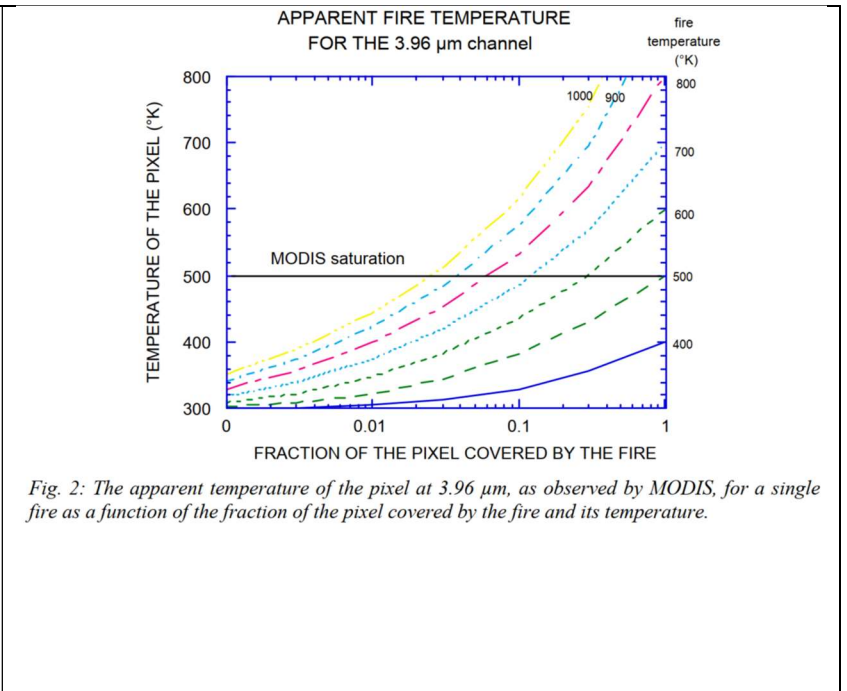


Fig. 2: The apparent temperature of the pixel at 3.96 µm, as observed by MODIS, for a single fire as a function of the fraction of the pixel covered by the fire and its temperature.

Figura 2. Gráfico mostrando a relação entre a proporção da área do píxel queimando, a temperatura do fogo e, a temperatura atribuída ao píxel. Fonte: Justice, C. et al. MODIS ATDB: Fires; v. 2.3, 1/Oct/2006, EOS id#2741

Por último, apresenta-se abaixo resultados de experimentos de campo feitos em julho/2017 justamente para validar as detecções de queima de vegetação por satélites. As queimas foram no campus do INPE em Cachoeira Paulista, com participação de pesquisadores da NOAA/USA, UFRJ e INPE.



Preparo de material a ser queimado durante passagens dos satélites usados no monitoramento do Programa Queimadas. INPE, Cachoeira Paulista, Jul/2017.



Queima diurna para validação da detecção por satélites de focos de queima. Notar o drone no céu registrando dados. INPE, C. Paulista, Jul/2017



6-channel radiometer
(thermopiles)
Single measurement
~50° FOV

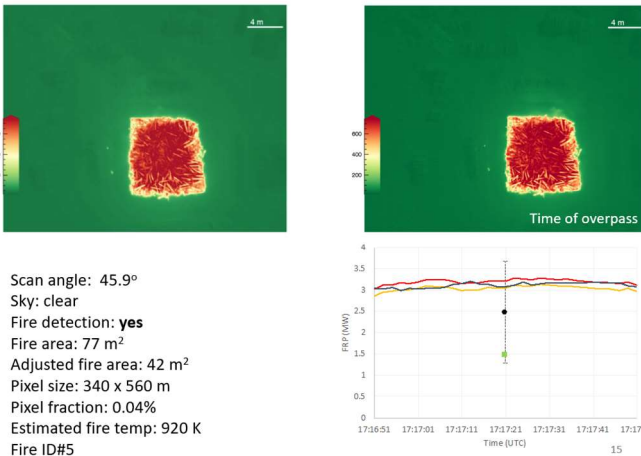


FLIR Vue Pro R camera
640 x 512 array
45° x 37° FOV

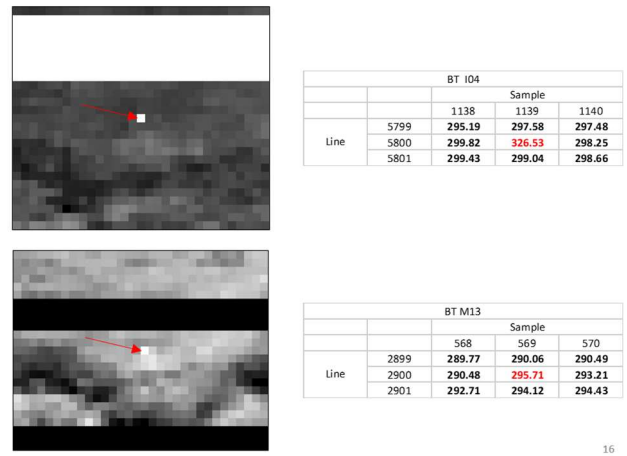
Queima noturna para validação de focos de queima na detecção por satélites. INPE, Cachoeira Paulista, Jul/2017

Sensores termais e câmera infravermelha usados na coleta de dados de validação das queimas controladas dos experimentos de Jul/2017 no INPE.

S-NPP/VIIRS – 07 Jul 2017 17:17:22UTC



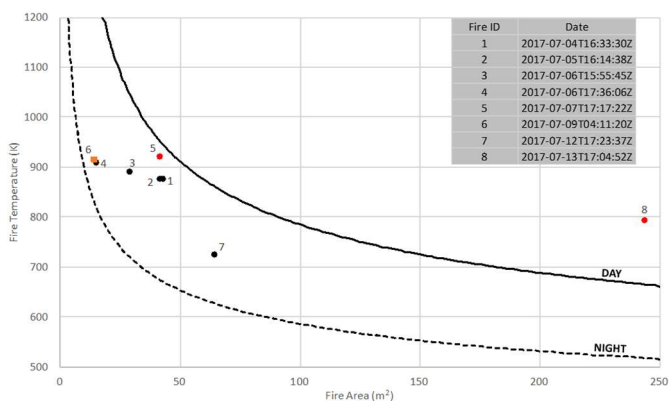
S-NPP/VIIRS – 07 Jul 2017 17:17:22UTC



Registros feitos com drone da queima controlada e coincidente com a passagem do satélite S-NPP e seu sensor VIIRS para validar a detecção de focos

Identificação da queima controlada durante a tarde de 07/Jul/2017 nos píxeis de dois canais da imagem VIIRS do satélite S-NPP.

VIIRS 375m Theoretical Detection Envelope



Análise da detecção das queimas controladas em relação aos limites dos algoritmos de detecção para o sensor VIIRS do satélite S-NPP.

Vista da área do INPE em Cachoeira Paulista, SP, onde tem sido feitos experimentos de validação e Desenvolvimento dos algoritmos de focos de queima.

Referências/ leituras sugeridas.

Dozier, J., A method for satellite identification of surface temperature fields of subpixel resolution. Remote Sensing of Environment, Volume 11,1981, Pages 221-229.

Disponível em <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0034425781900213>

MODIS ATBD: Fires. Algorithm Technical Background Document MODIS FIRE PRODUCTS (Version 2.3, 1 October 2006 - EOS ID# 2741). C. Justice, L. Giglio, L. Boschetti, D. Roy, I. Csiszar, J. Morisette, and Y. Kaufman (MODIS Science Team).

Disponível em https://lpdaac.usgs.gov/documents/451/MOD14_ATBD_V5.pdf

Texto elaborado por A.Setzer, Programa Queimadas, INPE, 20200925

Para citar este texto: Programa Queimadas, INPE, Perguntas frequentes.

<http://www.inpe.br/queimadas/portal/informacoes/perguntas-frequentes>