

QUESTÕES RELACIONADAS À OBTENÇÃO DE ESPESSURA ÓPTICA DE AEROSSÓIS, EM ALTA RESOLUÇÃO, NA REGIÃO AMAZÔNICA.

*Silvia de Lucca¹; Paulo Artaxo¹, Andrea de Almeida Castanho²,
Alexandre Correia³, Carlos Pires^{1,3}*

RESUMO: A contribuição de aerossóis tem um efeito fundamental no balanço radiativo terrestre (Schimel, 1996). Os aerossóis e as nuvens são componentes básicos no balanço energético terrestre, embora seu papel ainda esteja longe de ser compreendido. Os aerossóis troposféricos afetam o balanço radiativo diretamente (absorção e espalhamento de radiação) e indiretamente (influenciando nas propriedades radiativas de nuvens). Este trabalho discute um projeto, iniciado no Instituto de Física da Universidade de São Paulo, que desenvolverá métodos para a obtenção da espessura óptica de partículas de aerossóis com alta resolução para região amazônica. Será adaptada a metodologia desenvolvida para aerossóis urbanos por Castanho et al., 2005 à aerossóis biogênicos naturais e emitidos em queimadas. Modelos de propriedades ópticas de aerossóis para a Amazônia serão construídos, utilizando o código de transferência radiativa atmosférica SBDART, acoplado à medidas de parâmetros físicos da rede de fotômetros solares da NASA/AERONET. Medidas de propriedades ópticas de aerossóis serão utilizadas na construção de modelos dinâmicos de aerossóis. Estes parâmetros serão introduzidos no SBDART para obtermos propriedades de transmitância atmosférica com a presença de aerossóis em várias faixas de concentração. Irradiâncias com alta resolução de 1 km do sensor MODIS a bordo do satélites Aqua e Terra da NASA serão convertidas a espessura óptica de aerossóis (AOT) em alta resolução.

ABSTRACT: Aerosols play a fundamental role in the earthly energy budget (Schimel, 1996). Os aerosols and the clouds are basic components of the earthly energy budget, still their true impacts are far from comprehended. Tropospheric aerosols affect the radioactive balance both directly (through absorption and radiation scattering) and indirectly (by affecting the radioactive properties of the clouds). This paper refers to a project started at Instituto de Física da Universidade de São Paulo which will develop methods for obtaining the optical thickness of the aerosol particles with high resolution at the Amazon. The methodology for urban aerosols developed by Castanho et. al. (2005) will be further adapted to natural biogenic aerosols as well as for those originated through

¹ Instituto de Física da Universidade de São Paulo – Laboratório de Física Atmosférica – Rua do Matão, Trav. R, 187 – CEP 05508-900 – São Paulo/SP – Phone: +55-11-3091-6925 – e-mail: delucca@if.usp.br

² Massachusetts Institute of Technology - 77 Massachusetts Av. - Building 54- 1411 - Cambridge, MA - 02139-4307 - Tel: (617) 452 5991 ; fax: (617) 253 0354

³ Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos – Rod. Pres Dutra, km 39 – CEP 12630-000 – Cachoeira Paulista/SP – Phone: +55-12-3186-9372 – e-mail: acorreia@cptec.inpe.br

burnt. Models for Amazonian aerosols optical properties will be produced, making use of the atmospheric radioactive transfer code SBDART, added with physical parameters measurements from the NASA/AERONET solar photometers system. These measurements of aerosol optical properties will be utilized for making dynamic aerosol models. These parameters will be introduced an SBDART to achieve atmospheric transmittance values for different levels of aerosol concentration. MODIS sensor high resolution (1km) irradiances aboard NASA satellites Aqua and Terra will be converted into high resolution aerosol optical thickness (AOT).

PALAVRAS CHAVES: Espessura óptica de aerossóis, Amazônia, alta resolução.

INTRODUÇÃO

As partículas de aerossol da Amazônia

O conjunto das partículas de aerossol presentes na atmosfera da bacia amazônica é fruto da contribuição de emissões da floresta, de emissões de queimada e partículas de poeira de solo resultantes da interação entre ventos e superfície (Artaxo et al., 1988, 1990, 1998). A intensidade com que cada uma dessas fontes atua na formação de novas partículas é algo que varia espacial e temporalmente, devido a heterogeneidade geográfica e sazonal de cada fonte. Em regiões mais sujeitas a atividades antropogênicas, ocorrem grandes emissões de queimada na estação seca. Além disso, estas regiões também têm maiores áreas de solo exposto, o que diminui a participação das emissões naturais da floresta e aumenta a de poeira de solo. O oposto ocorre em regiões remotas, com pouco ou nenhuma influência antropogênica.

A Figura 1 apresenta uma série temporal da profundidade óptica de aerossóis medidos em 4 sites na Amazônia com fotômetros solares da rede AERONET, sendo que Rondônia (Abracos Hill) será utilizado na validação dos produtos .

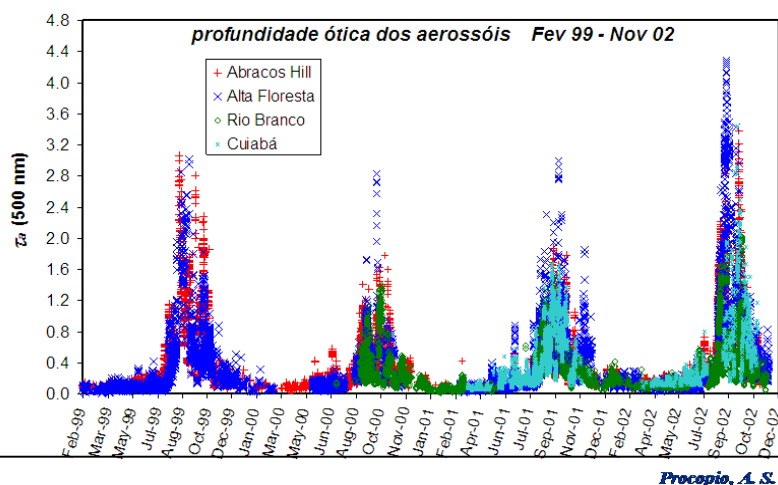


Figura 1 - Série temporal da profundidade óptica de aerossóis medidos em 4 sites na Amazônia com fotômetros solares da rede AERONET .

Através da Figura 1 nota-se que os sites apresentados são regiões críticas na Amazônia, com valores de AOT superiores a 3 em épocas de queimadas. Este trabalho discute a implementação de um projeto de pesquisa que tem por objetivo quantificar essa espessura óptica de aerossóis com alta resolução espacial, através do conceito de refletância crítica, utilizando modelos de aerossóis regionalizados, com definição dinâmica e interativa de qual melhor modelo descreve o aerossol estudado, um critério de cloud screening mais rígido, para que as radiâncias utilizadas sejam o mais próximas da condição de céu limpo possível e de parâmetros físicos mais realistas, sempre ponderando a relação custo computacional e precisão alcançada.

METODOLOGIAS EMPREGADAS

O sítio de amostragem de Rondônia

A validação, i.e. comparação entre medidas realizadas com instrumentos calibrados e resultados obtidos a partir de sensoriamento remoto, ocorrerá em Rondônia, e será realizada com medidas feitas na Fazenda Nossa Senhora (FNS, 10°45'44" S, 62°21'27" W), no município de Ouro Preto do Oeste. São elas, medidas de espessura óptica de aerossóis com fotômetros solares CIMEL da rede AERONET (HOLBEN et al, 1998) perfis verticais de aerossóis medidos com o avião Bandeirante do INPE durante o experimento SMOCC (**SMO**ke Aerosols, Clouds, Rainfall and Climate-Aerosols from Biomass Burning Perturb Global and Regional Climate), em 2002.

O sensoriamento remoto de aerossóis por satélite

O fluxo de radiação solar que chega ao topo da atmosfera (TOA) interage com a camada de aerossóis, sendo refletido de volta para o espaço (retro espalhado), pró-espalhado, absorvido e transmitido diretamente sem sofrer interação com a camada de aerossóis (Fraser e Kaufman, 1985). A fração correspondente a cada uma destas interações pode ser calculada com as equações de transferência radiativa, ETR. A interação depende das propriedades ópticas da camada de aerossóis, como: albedo simples ($\omega_0(\lambda)$); parâmetro de assimetria ($g(\lambda)$) (ou função de fase $P(\Theta)$); eficiência de extinção ($Q_{\text{ext}}(\lambda)$); e a espessura óptica da camada ($\tau_a(\lambda)$).

Serão geradas equações de inversão de refletância para a Amazônia (Castanho et al., 2005), que são ilustradas na Figura 2 para o caso de São Paulo. Para cada refletância de superfície é feito um ajuste da refletância no topo da atmosfera em função da espessura óptica de aerossóis geradas pelo modelo SBDART (Castanho et al., 2005).

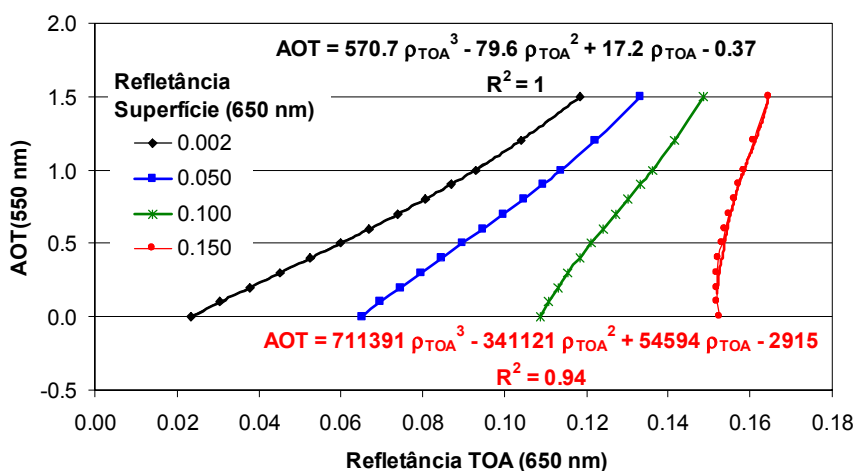


Figura 2: Equações de inversão da refletância no TOA em espessura óptica (AOT), definidas para uma condição específica de posições angulares do Sol e do sensor, para um modelo de aerossol (Modelo de Aerossol 3 $\tau_o(550)=0,85$) e algumas refletâncias de superfície ($\tau_{sup}(650)=0,002; 0,05; 0,1; 0,15$). Os cálculos das refletâncias no topo da atmosfera (650 nm) para diferentes $\tau_a(550)$ foram realizados com o código de transferência radiativa SBDART.

INSTRUMENTAÇÃO E MÉTODOS

MODerate Resolution Imaging Spectroradiometer – MODIS

Os produtos do sensor MODIS utilizados são MOD02- nível L1B (radiâncias calibradas e georeferenciadas, nas bandas referentes ao vermelho, azul e infravermelho próximo) e MOD04 (produto dos aerossóis sobre a terra e o oceano). Informações mais detalhadas sobre as características do sensor MODIS e dos seus produtos podem ser encontradas no trabalho de Correia et al. (2006).

O Radiômetro espectral CIMEL da AERONET

É essencial, em qualquer trabalho de sensoriamento remoto, um cuidado na validação dos resultados, devido à natureza das medidas de propriedades através de sensoriamento remoto. Neste trabalho, iremos validar as medidas de espessura óptica de aerossóis obtidas com o sensor MODIS, através de fotômetros solares fabricados pela CIMEL Electronique e operados pela NASA através da rede AERONET no Brasil.

Neste trabalho, o radiômetro CIMEL também será utilizado para a caracterização das propriedades ópticas dos aerossóis da região amazônica, que definem, por sua vez, os chamados modelos de aerossóis. Os modelos de aerossóis serão por sua vez utilizados para a obtenção de τ_a da pluma de poluentes com o MODIS. As medidas de τ_a obtidas com o fotômetro serão também utilizadas para a validação dos produtos de τ_a com alta resolução, a serem obtidos neste projeto.

O código computacional SBDART – (Santa Bárbara Disort Atmospheric Radiative Transfer)

O SBDART (*Santa Babara DISORT Atmospheric Radiative Transfer*) é um software de transferência radiativa na atmosfera terrestre.

Neste projeto, o SBDART é utilizado para simular a refletância no topo da atmosfera sob diferentes refletâncias de superfície e propriedades de material particulado em suspensão na

atmosfera. O objetivo é obter um conjunto de equações de inversão utilizadas nos cálculos das espessuras ópticas em função das refletâncias no topo da atmosfera, medidas com o MODIS. O SBDART será também utilizado nos estudos de testes de sensibilidade da espessura óptica obtida em função de incertezas nas variáveis inerentes aos cálculos de τ_a por satélite, além de correções dos efeitos da atmosfera (efeito de espalhamento Rayleigh e de absorção por ozônio) sobre a radiação solar para a recuperação de informações sobre a superfície.

Resultados já obtidos com a metodologia proposta neste projeto para a região metropolitana de São Paulo

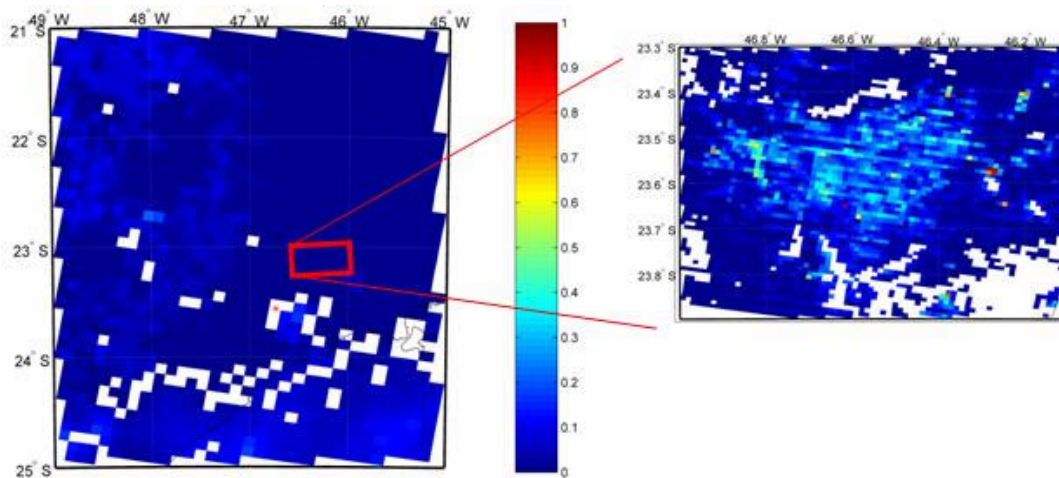


Figura 3: À esquerda, (a) Produto operacional do MODIS de espessura óptica (550 nm), com resolução de 10x10 km, sobre São Paulo e cidades vizinhas; à direita (b) Produto de espessura óptica (550 nm) com resolução de 1x1 km, obtido por Castanho (2005), com aproximação sobre a Região Metropolitana de São Paulo. As barras de cores indicam τ_a (550 nm) de zero (azul) a 1 (vermelho).

Os resultados apresentados na Figura 3 mostram a melhora da resolução espacial obtida com a aplicação do método à região metropolitana de São Paulo. O projeto em andamento no Instituto de Física da USP obterá resultados semelhantes para medidas na Amazônia. Em um dia bastante poluído em São Paulo, a Figura 4 mostra a distribuição de aerossóis em alta resolução obtida e validada com medidas de superfície. Como temos duas passagens diárias do sensor MODIS (as 10:30 e 13:30) podemos ter uma distribuição dinâmica duas vezes ao dia, em alta resolução.

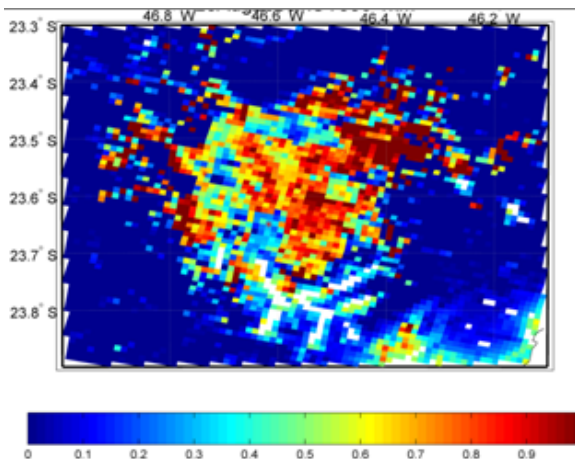


Figura 4: Imagem de espessura óptica sobre a região metropolitana de São Paulo para o dia 22 de agosto de 2000, às 10h30min, com resolução de 1x1 km, obtidos por Castanho (2005). A barra de cores indica $\tau(550 \text{ nm})$ de zero (azul) a 1 (vermelho).

Para a região estudada na Bacia Amazônica, são esperados melhores resultados do que os obtidos para São Paulo, já que trata-se de uma região com uma menor variabilidade nos modelos ópticos de aerossóis e uma região mais escura, conforme discutido por Kaufman (1997).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Artaxo, P., E. T. Fernandes, J. V. Martins, M. A. Yamasoe, P. V. Hobbs, W. Maenhaut, K. M. Longo, A. Castanho. Large Scale Aerosol Source Apportionment in Amazonia. *J. Geophys. Res.*, **103**, 31837-31848, 1998.
- Artaxo, P.; Maenhaut, W.; Storms, H.; Van Grieken, R.; "Aerosol characteristics and sources for the Amazon basin during the wet season", *J. Geophys. Res.*, **95**, 16971-16985, 1990.
- Artaxo, P.; Storms, H.; Bruynseels, F.; Van Grieken, R.; Maenhaut, W. - "Composition and sources of aerosols from the Amazon Basin - *J. Geophys. Res.*", **93**, 1605-1615, 1988.
- Castanho ADA, Martins JV, Hobbs PV, et al.- Chemical characterization of aerosols on the east coast of the United States using aircraft and ground-based stations during the CLAMS experiment - *JOURNAL OF THE ATMOSPHERIC SCIENCES* **62** (4): 934-946 APR 2005
- Correia, A.L., Castanho, A.D.A., Martins, J.V., Longo, K.M., Yamasoe, M.A., Artaxo, P. Inferência de Aerossóis. In: Rudorff, B.F.T., Shimabukuro, Y.E., Ceballos, J.C. (org.) *O Sensor MODIS e suas Aplicações Ambientais no Brasil*. Bookimage, p.297-314, ISBN 85-8739329-4, 2006.
- FRASER, R., Y.J. KAUFMAN. The relative importance of aerosol scattering and absorption in remote sensing. *Transactions on geoscience and remote sensing*, vol. GE-23(5), p. 625-633, 1985.
- HOLBEN, B.N., T.F. ECK, I. SLUTSKER, D. TANRE, J.P. BUIS, A. SETZER, E. VERMONTE, J.A. REAGAN, Y.J. KAUFMAN, T. NAKAJIMA, et al. *AERONET – A federated instrument network and data archive for aerosol characterization*. *Remote Sens. Environ.*, vol. 66, p. 1-16, 1998.
- Kaufman YJ, Wald AE, Remer LA, et al. - The MODIS 2.1- μ m channel - Correlation with visible reflectance for use in remote sensing of aerosol. *IEEE TRANSACTIONS ON GEOSCIENCE AND REMOTE SENSING* **35** (5): 1286-1298 SEP 1997