

# Caracterização da Estrutura Física das Nuvens em Diferentes Ecossistemas da América do Sul A Partir de Dados do MODIS

Bruno Muniz Duarte<sup>1</sup>  
José Ricardo de Almeida França<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ/Departamento de Meteorologia  
Avenida Athos da Silveira Ramos – Rio de Janeiro - RJ, Brasil  
bruno@lma.ufrj.br, jricardo@lma.ufrj.br

**Abstract.** Clouds play an extremely important role in the physical processes of the atmosphere, affecting the energy budget in all atmosphere levels by interacting with solar and earth radiation. This project aims to distinguish and classify all cloud types according to their physical and microphysical properties. The most practical way to obtain cloud information is through remote sensing, since direct access is not easy to achieve. Cloud products data from MODIS sensor (installed on TERRA and AQUA platforms) is used. For this paper, four cases for six different regions have been prepared, according to the different biomes encountered in South America. Two cases for supposedly stratus clouds and two for general clouds, where there was no attempt to make a fore-classification using another product. The first results show that this methodology is well adjusted to the purpose of the project, for it is able to separate the spectrums for clouds with different natures. It also shows that the data is consistent to previous experiments, using other approaches (mainly aircraft experiments). Different spectrums for maritime and continental clouds have been found, showing that maritime clouds have a broader spectrum and larger drops. Some results also show the bimodal aspect observed by other authors.

**Palavras-chave:** remote sensing, clouds microphysics, MODIS, sensoriamento remoto, microfísica de nuvens.

## 1. Introdução

A partir da década de 70, quando os estudos sobre o clima e suas modificações começaram a tomar forma, o entendimento dos processos físicos e radiativos das nuvens foi se mostrando essencial para melhor avaliar a evolução ambiental do planeta nas décadas seguintes. A importância em quantificar estes processos vem do fato de que as nuvens afetam diretamente as interações radiativas da atmosfera com a Terra e com o sol, com cada tipo de nuvem interagindo de uma forma particular, de acordo com seu tamanho, forma e constituição física (Rudorff et. al., 2007). Por exemplo, nuvens do tipo *cirrus* são praticamente transparentes à luz solar (ondas curtas), porém, retêm grande parte da radiação infravermelha proveniente da Terra (ondas longas), gerando um saldo positivo no aquecimento da atmosfera. Já nuvens do tipo Cúmulos, que são mais espessas e densas, bloqueiam a radiação solar, gerando um saldo negativo. Em um dado instante, o céu de determinado local pode conter os mais variados tipos de nuvem ao mesmo tempo, sendo assim de extrema importância que o conjunto de interações das nuvens com as radiações solar e terrestre esteja muito bem representado nos modelos numéricos da atmosfera, para se obter melhores resultados. A constituição física pode ser descrita através de certos parâmetros que apresentam valores típicos para cada tipo de nuvem, possibilitando o uso destes valores nas parametrizações dos modelos para fins de análise e previsão tanto de tempo como de clima ou simulações numéricas.

Em meados do século 20, muitos experimentos começaram a ser desenvolvidos para tentar desvendar a microestrutura das nuvens, principalmente utilizando dados coletados por aeronaves especiais que atravessavam o seu interior com placas externas capturando gotículas. Battan e Raitan (1957) foram um dos primeiros a quantificar a diferença no espectro do tamanho das gotas para nuvens marítimas e continentais, evidenciando que estas têm espectro mais estreito. Logo em seguida, Squires (1958a) mostrou que para o mesmo tipo de núcleo de condensação e mesma massa de ar, nuvens de tipos diferentes apresentam espectros distintos. Ele verificou que, apesar de haver pouca variação no conteúdo de água

líquida, as gotas se tornam menores, mais numerosas e mais homogêneas em tamanho ao passar do tipo *stratus* para o tipo *cumulus*. Mais tarde, Hobbs et al. (1980) mostrou que *cumulus* embebidos em uma camada de *stratus* têm espectro ainda mais espalhado.

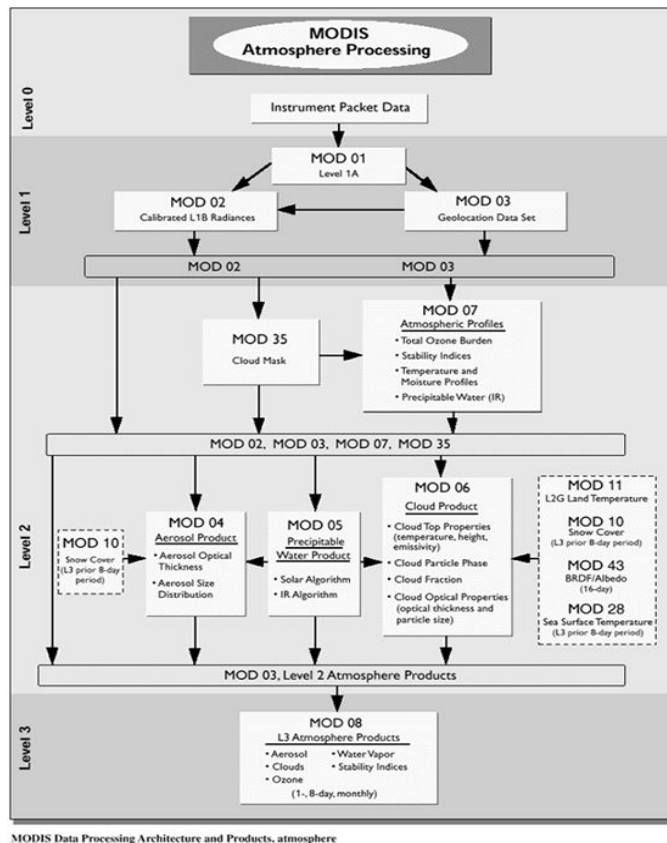
Outro aspecto interessante retirado de experimentos com aeronaves é o fato de haver uma tendência bi-modal no espectro das gotas, tendência esta que aumenta conforme a altura dentro da nuvem também aumenta. Warner (1969a) foi um dos autores a obter este tipo de distribuição, sugerindo que este aspecto estivesse associado com o processo de mistura por entranhamento de ar seco na nuvem. Warner estudou nuvens do tipo *cumulus*, porém, o mesmo padrão foi encontrado por Slingo et al. (1982) para nuvens *stratocumulus* na Inglaterra e por Ryan et al. (1972) para nuvens *Stratus* na costa da Califórnia.

Dessa forma, o objetivo deste trabalho é caracterizar a estrutura física e microfísica das nuvens, através de parâmetros como espessura óptica da nuvem e raio efetivo da partícula de nuvem, usando dados de sensoriamento remoto e comparando regiões de ecossistemas distintos na América do Sul. A diferença entre os biomas das regiões é determinante para definir algumas características de formação das nuvens, principalmente pelos tipos de núcleos de condensação encontrados. A partir de uma quantidade satisfatória de resultados pretende-se classificar cada tipo de nuvem em função dos parâmetros citados acima. No entanto, para este artigo não será possível apresentar qualquer classificação desta natureza, uma vez que a quantidade de informação ainda é pequena.

## 2. Metodologia de Trabalho

De maneira a se obter o maior volume de dados possível, a técnica mais apropriada para estudar as nuvens é o sensoriamento remoto, uma vez que objeto de estudo não é de fácil acesso direto. Assim, este trabalho faz uso do principal instrumento desenvolvido para o programa de monitoramento da Terra da NASA, o EOS (*Earth Observing System*): o sensor MODIS (*Moderate-resolution Imaging Spectroradiometer*), que está instalado nas duas primeiras plataformas lançadas pelo programa - TERRA e AQUA. Os produtos do MODIS são divididos em três ramos: produtos para ecossistemas terrestres (MODLAND), produtos para oceano (MOCEAN) e produtos para a atmosfera (MODIS *Atmosphere*). Entre as diversas aplicações do MODIS *Atmosphere* está a recuperação de propriedades físicas e radiativas das nuvens. Os dados são processados no centro de operações GSFC (*Goddard Space Flight Center*), onde são divididos em níveis hierárquicos, de acordo com o grau de processamento. A figura 1 mostra um fluxograma dos dados atmosféricos do MODIS e seus respectivos níveis. Os produtos de nuvem fazem parte no nível 2 (são denominados MOD06 quando provém do satélite TERRA e de MYD06 quando provém do satélite AQUA), onde os dados de radiação já foram transformados em variáveis geofísicas com suas respectivas informações de geolocalização. Os algoritmos para a geração destes produtos são descritos com detalhes no ATBD-MOD-05 *Cloud Product (Algorithm Theoretical Basis Document)* de King et al. (1997).

O sensor MODIS possui 36 bandas espectrais que vão desde o visível até o infravermelho médio. Os produtos de nuvem utilizam toda a extensão deste espectro, com alguns parâmetros tendo bandas específicas para o dia e para a noite. Espessura óptica e raio efetivo das partículas usam bandas nas regiões do visível e infravermelho próximo, com resolução espacial de 1 km, enquanto as propriedades de topo das nuvens são tiradas a partir de bandas situadas na região do infravermelho médio, com resolução de 5 km. A tabela 1 exibe os canais utilizados nestes algoritmos. No caso dos produtos do MODIS *Atmosphere* de nível 2, os dados são disponibilizados na forma de *granules* (fragmentos), armazenados a cada 5 minutos de varredura do satélite. A uma altura de 705 km e uma varredura de 55° para cada lado, cada *granule* gera uma imagem com largura de 2330 km.



**Figura 1.** Fluxograma dos dados do MODIS ATMOSPHERE. Fonte: NASA

**Tabela 1.** Canais do MODIS para os produtos de Nuvem. Adaptado de King et al. (1997).

Banda	$\lambda$ ( $\mu\text{m}$ )	$\Delta\lambda$ ( $\mu\text{m}$ )	Aplicação
1	0,645	0,05	Espessura óptica sobre os continentes
2	0,858	0,035	Espessura óptica sobre os oceanos
5	1,24	0,02	Espessura óptica sobre neve e gelo
6	1,64	0,025	Distinção neve/nuvem; fase termodinâmica
7	2,31	0,05	Raio efetivo das gotas
20	3,75	0,18	Raio efetivo das gotas; temperatura da nuvem/superfície
31	11,03	0,5	Correção termal

Foram escolhidas seis regiões de estudo de acordo com a classificação dos biomas brasileiros pelo IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). As regiões são: Amazônia, Cerrado, Caatinga, Rio de Janeiro, Atlântico subtropical (próxima à costa brasileira) e Atlântico sul (próxima à costa argentina). A figura 2 mostra o mapa da América do sul com as regiões demarcadas, dentro das quais estão os dados coletados para análise.

Na próxima seção serão apresentados os resultados obtidos para quatro conjuntos de casos (quatro casos para cada região de estudo) através de gráficos relacionando os parâmetros espessura óptica e raio efetivo da partícula de nuvem, além de histogramas para o raio efetivo. As imagens foram selecionadas em datas aleatórias, com o único requisito de alguma área dentro do perímetro de cada bioma estar encoberta por nuvens. Em cada imagem

de cada caso, a matriz de dados original (2030x1354) foi recortada para uma área com aproximadamente 100 km<sup>2</sup> (matriz de 11x9), uma vez que a resolução no nadir é de 1 km.

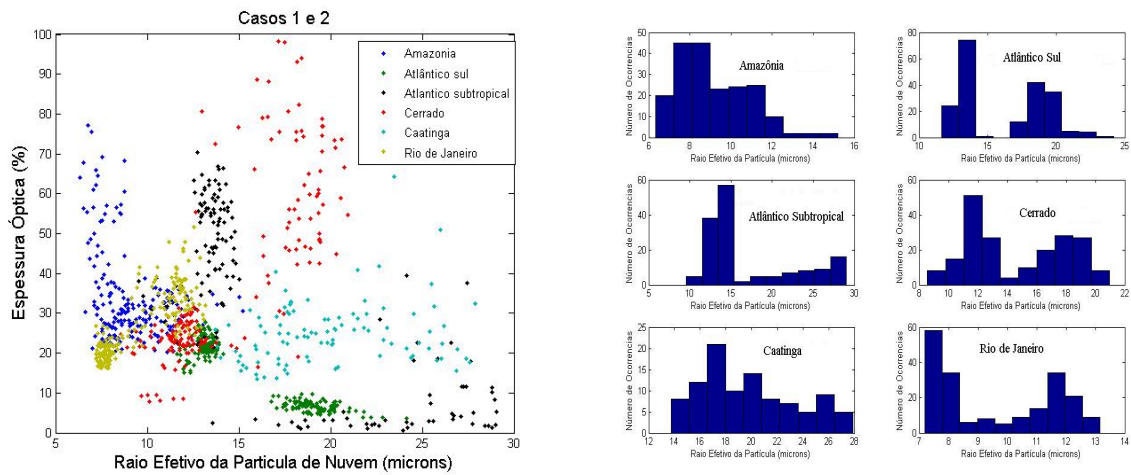


Figura 2. Regiões de estudo.

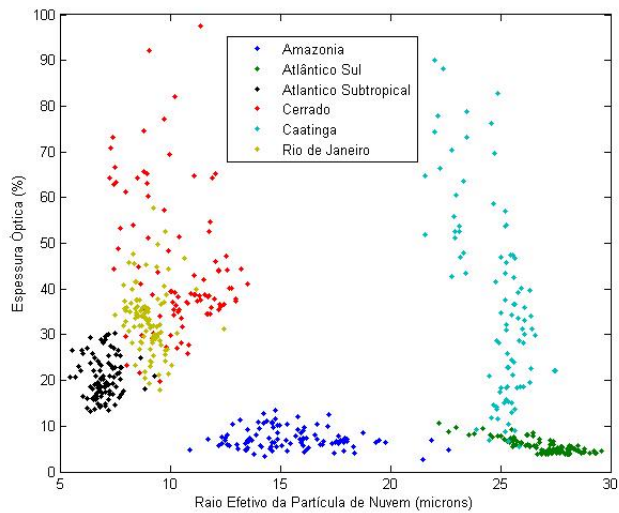
### 3. Resultados e Discussão

Os dois primeiros conjuntos de casos obtidos com a metodologia apresentada aqui foram para nuvens do tipo stratus, de acordo com a classificação do produto do satélite GOES, disponibilizado pelo INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais)/DSA (Divisão de Satélites e Sistemas Ambientais) em <http://sigma.cptec.inpe.br/nuvens/>. A figura 3 a seguir ilustra estes resultados com os dois casos superpostos. Ao juntar os dois casos no mesmo plano, nota-se que aparece o aspecto bi-modal em praticamente todas as regiões analisadas. Na caatinga o espectro aparece mais espalhado, sugerindo a presença de nuvens cumulus embebidos na camada de stratus percebida pelo produto de classificação.

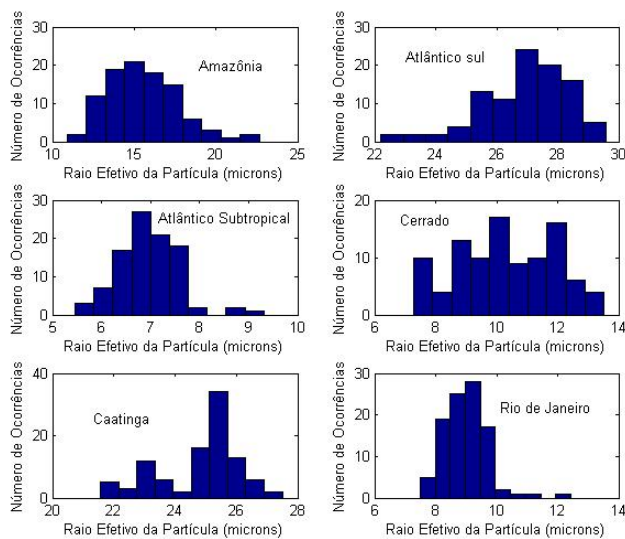
Para os outros dois casos, as imagens foram selecionadas sem tentar saber previamente o tipo de nuvem presente. Eles estão representados nas figuras 4, 5, 6 e 7. De maneira geral, cada região analisada apresentou uma distribuição com valores preferenciais, ou seja, os histogramas aparecem com picos bem definidos. Os espectros variam aproximadamente na faixa de 5-30  $\mu\text{m}$ . Tanto no caso 3 como no caso 4 destaca-se a separação bem nítida entre cada região (figuras 4 e 6), mais uma vez com exceção da caatinga, no caso 4, onde o espectro é mais espalhado. Isto pode ser visto com mais clareza na figura 7, onde nota-se que o raio efetivo está variando entre 10 e 25  $\mu\text{m}$  de forma bem homogênea. Na figura 6, os dados referentes ao bioma amazônico não aparecem no gráfico, pois todos os pixels de espessura óptica analisados computaram o valor de 100% na área recortada. A razão disso ainda está por ser avaliada. Os valores máximos de raio efetivo nos casos 3 e 4 ocorrem em regiões marítimas (atlântico sul no caso 3 e atlântico subtropical no caso 4). Em compensação, o mínimo do caso 3 está exatamente no atlântico subtropical (e no Rio de Janeiro no caso 4).



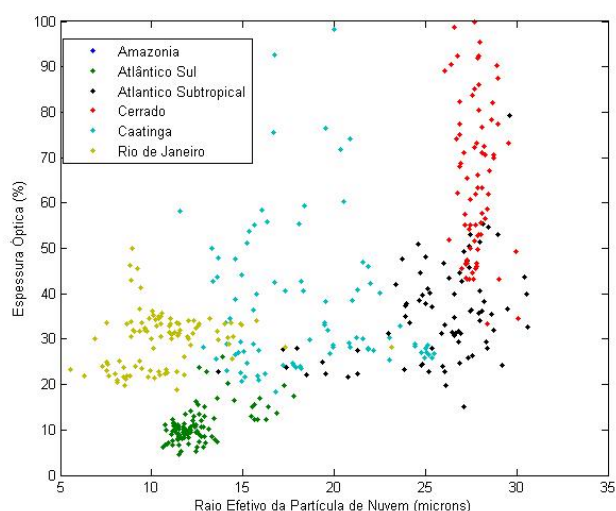
**Figura 3.** Casos 1 e 2: a esquerda, gráfico relacionando raio efetivo da partícula e espessura óptica da nuvem e à direita, histogramas do espectro do raio efetivo – stratus.



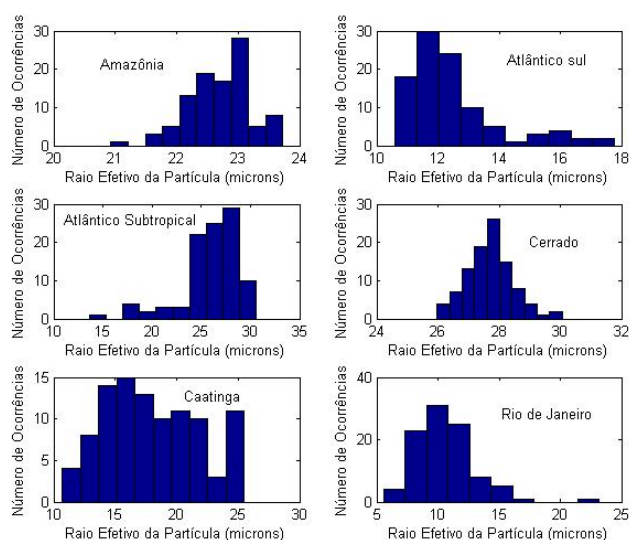
**Figura 4.** Caso 3: gráfico relacionando raio efetivo da partícula e espessura óptica da nuvem.



**Figura 5.** Caso 3: histogramas do espectro do raio efetivo.



**Figura 6.** Caso 4: gráfico relacionando raio efetivo da partícula e espessura óptica da nuvem.



**Figura 7.** Caso 4: histogramas do espectro do raio efetivo.

#### 4. Conclusões e Próximos Passos

O que pode ser destacado dos resultados obtidos neste trabalho é que a metodologia utilizada consegue separar os espectros de raio efetivo da partícula e seus respectivos valores de espessura óptica para nuvens de naturezas distintas. Contudo, a quantidade de dados analisados ainda é insuficiente para distinguir claramente os tipos de nuvem e caracterizá-las em função dos parâmetros microfísicos estudados. Este objetivo será alcançado quando mais dados forem tratados (novos casos), gerando uma maior gama de informação. Assim, será possível aplicar um trabalho estatístico sobre os gráficos de forma a evidenciar os diferentes tipos de nuvem e propor curvas paramétricas para a distribuição do tamanho das gotas.

Além de separar bem os espectros dos casos acima, à primeira vista estes novos resultados estão de acordo com os que foram obtidos através de experimentos com outras metodologias. Os espectros mais largos estão provavelmente associados com nuvens marítimas ou nuvens *cumuliformes* embebidas em nuvens *stratiformes*, uma vez que a área de 100 km<sup>2</sup> recortada da matriz original permite essa configuração. Isto é consistente com os trabalhos de Battan e Raitan (1957) e Squires (1958a). O aspecto bi-modal observado por Warner, Slingo e Ryan também é visto na junção dos casos de stratus, mostrados na figura 3.

Apesar de serem nuvens diferentes, o resultado indica uma tendência semelhante na maioria das regiões.

Uma das limitações encontradas para avaliar os resultados dos casos 1 e 2 foi a falta de detalhe oferecido pelo produto de classificação de nuvens do CPTEC, que distingui a imagem de satélite em apenas 4 configurações: Stratus, Cumulus, Cirrus e Multicamadas. Dessa forma, o produto nos dá uma boa indicação, porém em determinadas situações não é fácil saber se a nuvem que estamos observando é um stratus ou um stratocumulus, por exemplo.

Para enriquecer os resultados, futuramente pretende-se ainda incluir análises de outros parâmetros, como temperatura do topo da nuvem, fase termodinâmica da partícula, tipo de aerossol (MOD04/MYD04) e produtos de vapor d'água (MOD05/MYD05).

### **Agradecimentos**

Os autores agradecem a NASA, que distribui os dados dos produtos do MODIS gratuitamente na internet.

### **Referências Bibliográficas**

King, M. D.; Tsay, A. S.; Platnick, S. E.; Wang, A. M.; Liou, K. **Cloud Retrieval Algorithms for MODIS: Optical Thickness, Effective Particle Radius, and Thermodynamic Phase**. NASA, 1997. 10-41. MODIS Algorithm Theoretical Basis No. ATBD-MOD-05.

Rudorff, B. F. T.; Shimabukuro, Y. E.; Ceballos, J. C. **O Sensor MODIS e Suas Aplicações Ambientais no Brasil**. INPE, 2007.

Battan, L. J., Reitan C. H. **Artificial Stimulation of Rain**. Pergamon, p. 184. 1957.

Squires, P. *Tellus* 10, 256. 1958.

Hobbs, P. V., Politovich, M. K., Radke, L. F. **Journal of Applied Meteorology** 19, 645. 1980.

Warner, J., **Atmos. Sci.** 27, 1049. 1969.

Slingo, A., Brown, R., Wrench, C. L. **Quart. J. Roy. Meteor. Soc.** 108, 145. 1982.

Ryan, R. T. **Journal of Applied Meteorology** 11, 149. 1972.

INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais)/CPTEC (Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos)/DSA (Divisão de Satélites e Sistemas Ambientais), Classificação de Nuvens, disponível em <http://sigma.cptec.inpe.br/nuvens/> (Acessado em 17 de julho de 2008).