

Nuvens e a variabilidade espacial e meridional das propriedades obtidas de CLOUDSAT em São Paulo

Jorge Rosas Santana ¹
Marcia Akemi Yamasoe ¹

¹Universidade de São Paulo - USP/IAG
Rua do Matão -05508-090 - Butantã- SP, Brasil
jorge.rosas@iag.usp.br

Abstract. In this work a survey of the cloudiness in São Paulo is made assessing spatial and meridional variability of geometric and optical properties of clouds measured by Cloudsat. For this purpose, data level 2 2B-CLDCLASS and 2B-CWC_RO from CLOUDSAT database is employed. Optical properties as effective radius (r_e), ice water content (IWC) are analyzed focusing on their spatial variability using 2B-CLDCLASS e 2B-CWC_RO product. Within a distance of 15 km from center of reference point, lower differences are found between 10 % and 40 % for r_e . Increasing the distance higher differences are found, especially near 14 km getting 200 %. For IWC, differences are higher than 1000 %, showing the higher spatial variability of IWC. In conjunction between 2B-CLDCLASS and 2B-CWC_RO geometric and optical properties of clouds types were retrieved. An assessment is made using distributions of every data for every latitude. There is a little variability of these properties: cloud base high and mean effective radius with latitude, especially for high clouds Ci and Ac, being lower for Sc clouds. Mean distributions are shown for every cloud type. Clouds as Ac e As have higher r_e values, meanwhile Sc e Cu have lower values of r_e , where Cu have the lowest deviation of data.

Palavras-chave: Cloudsat, effective radius, IWC, cloud base.

1. Introdução

As nuvens são vitais para o clima devido ao seu forte efeito sobre o balanço de radiação. Elas refletem uma grande parte da radiação proveniente do sol e evitam que escape para o espaço a radiação terrestre. Elas podem ter efeitos de resfriamento como no caso de nuvens baixas e convectivas e aquecimento da atmosfera como em caso de nuvens frias, médias e altas (Stephens, 2005).

Estudos sobre as nuvens são muito importantes, por exemplo, para o estudo em áreas de alto potencial no desenvolvimento da energia solar. O aumento do componente difuso de radiação solar devido ao espalhamento pelas nuvens em grande parte estimula a fotossíntese e, portanto, a produtividade da vegetação (Roderick e outros, 2001). Além disso, elas têm um papel importante no transporte de energia, devido ao calor latente liberado no processo de condensação (Stephens 2005, Eitzene outros, 2009).

Devido a todos os processos mencionados anteriormente, as nuvens afetam a circulação atmosférica em grande escala. Sistemas de nuvens representam uma questão importante para os modelos de previsão do tempo e do clima, mas suas configurações nesses modelos não são bem representadas, devido à escassez de dados de alta resolução e poucas medições em regimes climáticos diferentes. Por isso ainda há um baixo nível de conhecimento científico sobre nuvens e também do efeito delas sobre a radiação solar (Stocker e IPCC, 2013)

Bretherton e outros (2014) mostram como o chamado processo de retroalimentação das nuvens ou "cloud feedbacks", termo em inglês, conhecido como o processo de resposta das nuvens ao efeito que elas poderiam gerar sobre as alterações climáticas apresenta nestes tempos grandes incertezas, daí a necessidade de parametrizações mais complexas de nuvens nos modelos. Além disso, (Inoue e outros, 2010) mostram como uma representação adequada dos cirros é a chave para melhorar os modelos climáticos.

Atualmente com a inclusão de sensores ativos, tais como radar e Lidar as técnicas de medição das propriedades de nuvens por satélite tornam-se uma ferramenta poderosa para o estudo do perfil vertical das propriedades das nuvens. Isto é de grande importância para entender melhor como nuvens impactam o balanço de radiação da Terra (Joiner e outros, 2010).

A constelação A-train com seus importantes instrumentos a bordos dos satélites tem contribuído para melhorar as obtencões das propriedades das nuvens, o forçamento radiativo das nuvens na atmósfera depende muito da estrutura vertical das mesmas (Mace 2010).

A constelação A-Train é um grupo de 5 satélites que até hoje em dia ficam na mesma órbita polar, um detrás do outro. A diferença de tempo entre o primeiro satélite e o último são de 15 minutos. Esta constelação é liderado pelo satélite Aqua que tem acoplado o sensor MODIS. Depois, segue CloudSat e CALIPSO que tem acoplado um lidar a bordo, seguido de Parasol e Aura. Esta constelação é chamada de tarde devido a que ela passa pelo equador as 13:30 hora local. A diferença de tempo entre CALIPSO y CLOUDSAT é apenas de 15 segundos. Estes dois importantes satélites foram jogados ao espaço em abril de 2006.

CloudSat mede a estrutura vertical das nuvens e a precipitação desde o espaço a partir de medições de refletividade do radar na frequência de 94 GHz, mas também outras propriedades são determinadas a partir de combinações com outros satélites na mesma constelação. O CPR, ou radar perfil das nuvens é um radar de microondas com visão 'nadir' que mede o retroespalhamento das nuvens. Este radar no nível do mar tem uma resolução espacial de 1,7 km em direção faixa (ao longo da faixa) e 1,3 km em toda faixa a cada 240 m.

Cloudsat pode detectar mais nuvens, porém devido as limitantes do instrumento, o radar perde alguns camadas quando elas têm baixo conteúdo de água o pequenos tamanhos de gotículas, então para isto as medições com CALIPSO são importantes. A superfície tem uma alta refletividade nos comprimentos do radar isto leva a que o radar não pode ver hidrômetros no primeiro quilômetro acima da superfície.

Produtos de CloudSat estão disponíveis no centro de processamento de CloudSat (<http://www.cloudsat.cira.colostate.edu/>) Atualmente na versão 5 (R_04), o produto principal do nível 1 é o 1B-CPR . Este produto contém a energia de retroespalhamento dados como uma função da distância do radar para cada um dos 125 níveis, com resolução vertical de 240 m. O produto principal do nível 2 é o 2B-GEOPROF cujas variáveis calculam-se usando os dados de CPR 1B. Este produto contém duas variáveis principais: a 'máscara de nuvem' e 'refletividade' do radar. A 'máscara de nuvem' identifica onde ocorrem hidrometeoros em perfis individuais sobre o nível de ruído do instrumento. Esta é usada para reconhecer camadas de nuvens e os topos delas. A 'refletividade' do radar é uma variável que se mostra em dBZ associada com a 'máscara de nuvem'. O produto 2B-CLD-CLASS classifica 8 tipos de nuvens (Cu, Sc, nuvens convectivas profundas (Cb), St, Ac, As, Ci, Ns), usando somente medições do CPR. O método usa a presença de precipitação também na definição os tipos de nuvens são definidos. É importante ressaltar que o método não se concentra em um só perfil, mas também nos perfis ao redor para analisar a extensão horizontal da camada de nuvens (Wang e Sassen 2007). O conteúdo de água do produto da nuvem usando apenas radar de CloudSat (2B-CWC RO, siglas em inglês) fornece estimativas do conteúdo de água líquida, nuvens de gelo, e raio efetivo de gotas de água e gelo e outros produtos relativos. Este produto tem como entrada somente o fator de refletividade do radar do produto 2B-GEOPROF e assume perfis compostos de valores obtidos para água e gelo (Austin

2007). Neste trabalho se analisa a variabilidade espacial e latitudinal das propriedades ópticas das nuvens dadas pelo CLOUDSAT e se mostram propriedades para cada tipo de nuvem dados por CLOUDSAT na região.

2. Metodologia de Trabalho

Os dados usados neste trabalho são os produtos 2B-CWC-RO e 2B-CLDCLASS do Cloudsat e foram baixados diretamente do site <http://www.cloudsat.cira.colostate.edu> e selecionados na condição de que a passagem fosse inferior a 200 km de distância do ponto de referência, neste caso, as coordenadas geográficas da Cidade Universitária (Campus USP, 23,5° S, 46,7° W). Durante o processamento foi necessário analisar a qualidade do dado com o valor das incertezas das medições, e valores de incertezas maiores do que 100% foram descartadas. Também foram utilizados os dados de "Data Quality" para selecionar apenas os dados qualificados de boa qualidade. Foi necessário eliminar a presença de dados de precipitação que aumentassem significativamente os valores de incertezas, porque o método de produção tem limitações na presença de precipitação. O período de tempo analisado foi a partir de 31 de dezembro de 2007 até 26 de dezembro de 2015. O cálculo da altura de base e topo sobre terra de cada tipo de nuvem foi calculado usando o dado 2B-CLDCLASS, e usando ambos os dados 2B-CWC-RO e 2B-CLDCLASS, se calculam os valores de r_e médio para cada tipo de nuvem na região e sua variabilidade latitudinal.

Um total de 437 passagens a menos de 200 km de distância do ponto de referência foram detectados. O maior número de passagens aconteceram numa distância maior que 50 km do ponto de referência. As passagens sobre a região ocorrem a cada 7 a 9 dias, e nos horários das 4:00 UTC quando o satélite se desloca para o sul e 16:00 ou 17:00 UTC durante o deslocamento para o norte, resultando em aproximadamente 4 passagens por mês. Assim, 300 passagens ocorreram próximo da 17:00 UTC, enquanto 136 às 4:00 UTC, e apenas um caso às 16:00 UTC.

mais da metade dos casos são passagens com distâncias mínimas centradas em 75 km, acontecendo às 17:00 UTC Um total de 68 passagens para a distância centrada em 50 km às 4:00 UTC.

3. Resultados e Discussão

A variabilidade espacial das propriedades radiativas das nuvens de CloudSat -e feito a partir da variabilidade dos perfis em cada passagem. Para isso foram selecionados os perfis que ficaram mais perto do campus USP dentro de um raio de 50 km e calculadas as diferenças relativas com relação ao perfil do ponto mais perto do campus. A análise é feita em função das distâncias de cada ponto com relação ao ponto mais perto ao Campus e com a condição de presença de nuvem para o cálculo das diferenças. Só se mostram as diferenças relativas com as propriedades das nuvens frias. Na figura 1 observam-se as diferenças relativas do r_e partícula de gelo em função da distância ao ponto de referência. Valores positivos de distância indicam que o valor comparado foi observado ao norte do ponto de referência.

Pode-se observar que num raio de 15 km aproximadamente temos diferenças baixas com valores entre 10 % e 40 % de diferença relativa. Mas, com o aumento da distância se observa maior diferença no raio efetivo. A diferença máxima é observada em torno dos 14 km de altura, chegando a 200%. Importante notar a presença de duas camadas onde as diferenças não aumentam muito com a

distância, uma entre 8 e 9,5 km e a segunda entre 10 e 11.5 km. Nessas camadas, as diferenças chegam ao máximo de 50%.

Pode-se observar como a distância ao ponto é um fator que influencia no raio efetivo, sobretudo nas camadas perto do topo e as camadas abaixo de 8 km.

Para o caso do IWC as diferenças são significativas, demonstrando a alta variabilidade espacial desta variável, com diferenças superiores a 1000%.

A seguir se analisa o comportamento das propriedades geométricas para diferentes tipos de nuvens, especificamente Cirrus(Ci), Cumulos (Cu), Estratocumulus (Sc), Altoestratus (As), Altocumulus (Ac), Nimbostratus (Ns) e Cumulonimbus(Cb) da classificação de nuvens de CLOUDSAT. Para este cálculo foi usado o valor de altura sobre a superfície da terra de cada nível medido com presença de nuvens. Foram eliminadas os perfis medidos acima da terra e só usados os perfis das passagens perto das 18 UTC. Após detectada a camada de nuvem e o tipo então foi calculada a sua base e a sua espessura. Nas figuras a seguir se mostram as variações meridionais das distribuições da altura da base de nuvem calculada para cada latitude de medição com passo de 0.1 graus. São mostrados somente as distribuições na latitude com mais de 30 casos para tipo de nuvem Ci e Sc.

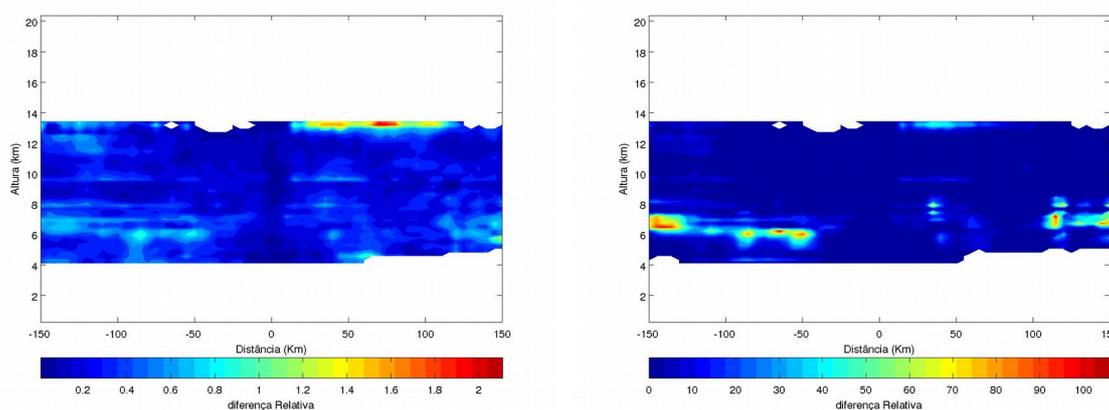


Figura 1: Perfil médio das diferenças relativas do raio efetivo respeito ao ponto de referência (esquerda) por cada distância na passagem e perfil médio das diferenças relativas do IWC ao ponto de referência para a cada distancia no feixe da passagem (direita).

Na figura 2 se mostram a distribuição latitudinal dos valores da base da nuvem para o caso da nuvem Cirrus. Os valores da base da nuvem ficaa entre 8.5 km e 12 km, com valores extremos que podem chegar o mais baixo perto dos 6 km e o mais alto chegando perto de 17 km. Pode-se observar como tem diferenças nas distribuições se mostram aumentos e diminuição dos valores, mas a distancia não é um fator importante. O coeficiente de correlacion calculado entre os quantis da distribuição tomada como referencia, em -23.5° S é mostrado na mesma figura 2 e pode-se observar como se têm distribuições mais parecidas embora aumenta a distância. Para o caso de As e Ac (no mostrado) as diferenças são também parecidas ao Ci. Também se apresenta a variabilidade meridional para o tipo de nuvem Sc (figura 3). Oberva-se os valores de altura da base da nuvem ficando entre 500 m e 1.2 km com extremos entre 0.3 km e 4 km para a base da nuvem. Para este tipo de nuvem se mostram maiores diferenças que para as anteriores nuvens com valores de coeficiente de correlação ficando entre 0.85 e 0.95 na maior parte. Mas, se observa uma maior influência da distância llegando até un valor de 0.7 em -24.5 S. Embora, podemos ter leve diminuição das diferenças perto de -21.5 S.

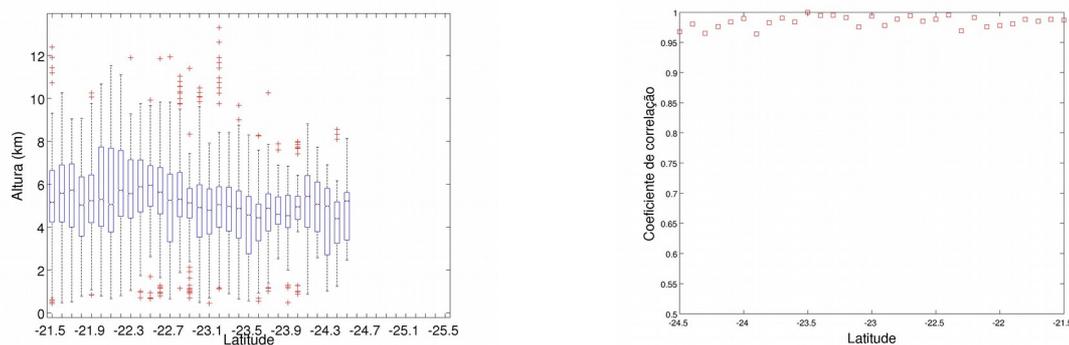


Figura 2:Variação meridional das distribuições da altura da base da nuvem para a nuvem Ci (esquerda) e o coeficiente de correlacion entre os quantis das distribuições respeito a distribuição centrada em -23.5 S (direita).

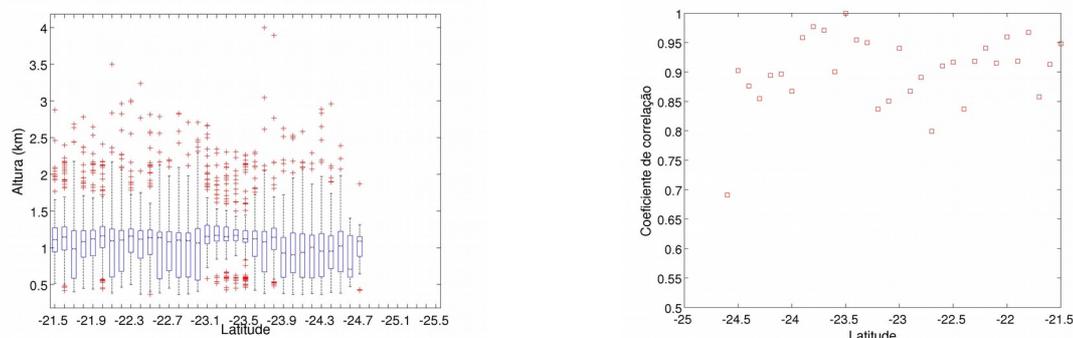


Figura 3:Variação meridional das distribuições da altura da base da nuvem para a nuvem As (esquerda) e o coeficiente de correlacion entre os quantis das distribuições respeito a distribuição centrada em -23.5 S (direita).

As distribuições das propriedades geométricas dos tipos de nuvens em -23.5 S se apresentam na figura 4. Pode-se observar como o cirrus fica entre 8 e 10 km. O valor da altura de base de As não passa de 6 km, unicamente em casos extremos pode atingir os 8 km de altura. O Ac fica um pouco mais embaixo com a altura da base entre 1.5 km e 4.2 km. O resto das nuvens ficam com altura da base na mediana perto de 1 km com o Cumulominbus tendo o valor menor. No caso da espessura da camada de nuvem mostrada na figura 4 á direita, se observa como o Sc é a nuvem com menor espessura ficando menor de 1 km, embora pode ter espessuras de até 2.5 km. O cirrus tem uma espessura pouco variavel também ficando entre 1 e 2 km, com máximo de até 6 km. Para o caso de As este tipo de nuvem apresenta a maior variabilidade na sua espessura entre 2.5 e 7 km. O Cu apresenta também pouca variabilidade na espessura geométrica entre 3 e 4.5 km. Notar os extremos do Ns entre 2.5 e 12 km, mas na maior parte da distribuição 50 % fica entre 8 e 9 km de espessura. No caso do Cb é a nuvem com maior espessura como era de esperar com valores entre 7.5 e 12 km chegando a atingir os 15 km de espessura. A seguir, se mostram os valores de raio efetivo medio das camadas de nuvens analisadas. Somente podem ser mostrados na variação latitudinal do r_e medio os tipos de nuvens Ci. Tambem foi analisado para As e Ac, embora não se mostram os gráfico, para o resto das nuvens se têm menos dados, e não dá para mostrar na variação meridional.

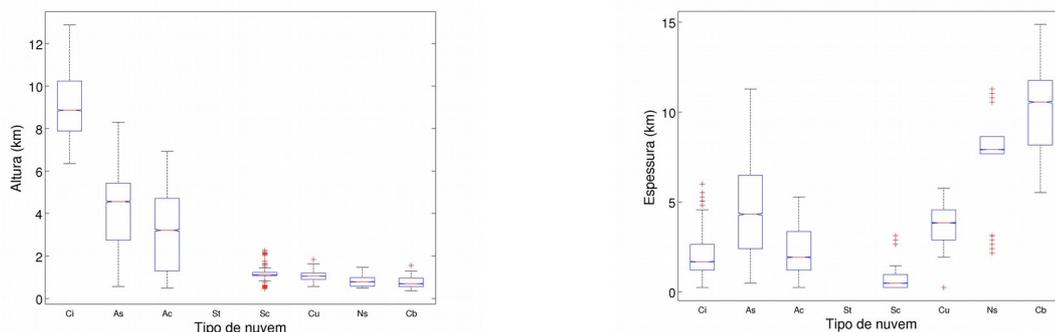


Figura 4: Distribuições (mediana e rango interquartile) de valores de altura de base da cada tipo de nuvem (esquerda) e para a espessura da camda de cada tipo de nuvem (direita).

Os valores do raio efetivo medio do cirrus ficam entre 48 y 65 μm (figura 5) com extremos chegando perto de 100 μm e menor embaixo de 30 μm . Se mostra poca variabilidade como no caso da base da nuvem, com altos valores de correlação pertos de -23 S e 24.5, evidência de que a distância também não se mostra como fator que defina nas diferenças do raio efetivo medio da camada da nuvem para este tipo de nuvem. A variabilidade meridional do As apresenta maiores valores de raio efetivo medio, sendo entre 60 e 90 μm , com extremos entre 40 e 128 μm . A variabilidade meridional tem um leve acrescimento do valor para o sul. Mas as diferenças não são de alto valor, embora os coeficientes de correlação diminuim respeito a Ci, estes ficam maiores que 0.9 com mínimo de 0.85. No entanto, não se observa certa relação com a distância.

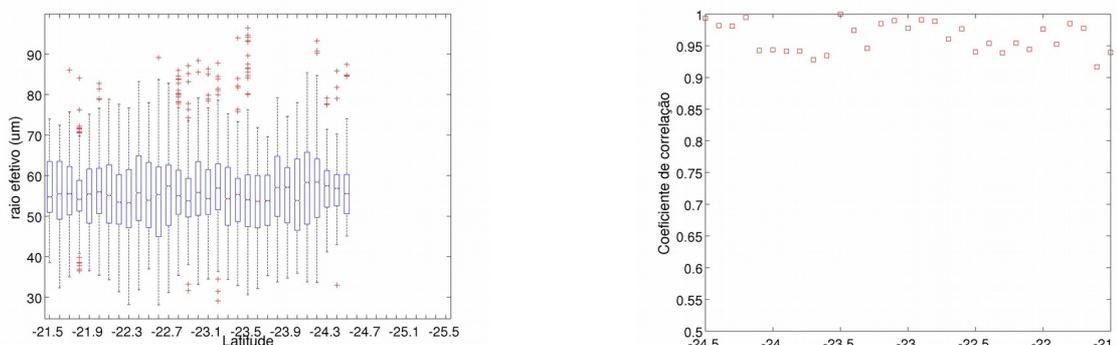


Figura 5:Variação meridional das distribuições do raio efetivo medio para a nuvem Ci (esquerda) e o coeficiente de correlacion entre os quantiles das distribuições respeito a distribuição centrada em -23.5 S (direita).

Para o Ac os valores de r_e medio ficam como o As, entre 50 e 87 μm ,embora diminuim levemente. Os extremos podem atingir perto do 40 e de 128 μm para o máximo medio. Este tipo de nuvem mostra menor variabilidade com a a distância com valores de coeficientes de correlação maior de 0.95, como no caso de Ci. Os valores das distribuições de r_e medio da camada de nuvem para cada tipo de nuvem na latitude centrada em -23.5 S se mostra na figura 6. Pode-se observar maiores valores de r_e para nuvens altas e meias, com máximo valor medio para o tipo de nuvem As (entre 72 e 88 μm). O Ci mostra a menor variabilidade com valor entre 48 e 60 μm , o Ac é a nuvem com segundo maior valor de r_e medio (entre 55 e

75 um). Para o resto das nuvens os valores são menores, na figura 6 á direita se mostram somente para Sc e Cu. Observa-se a maior variabilidade de Sc (entre 9.5 e 12.5 um) com mediana em 11.5 um. O Cu fica entre 11.2 e 11.6 um com muito menos variabilidade.

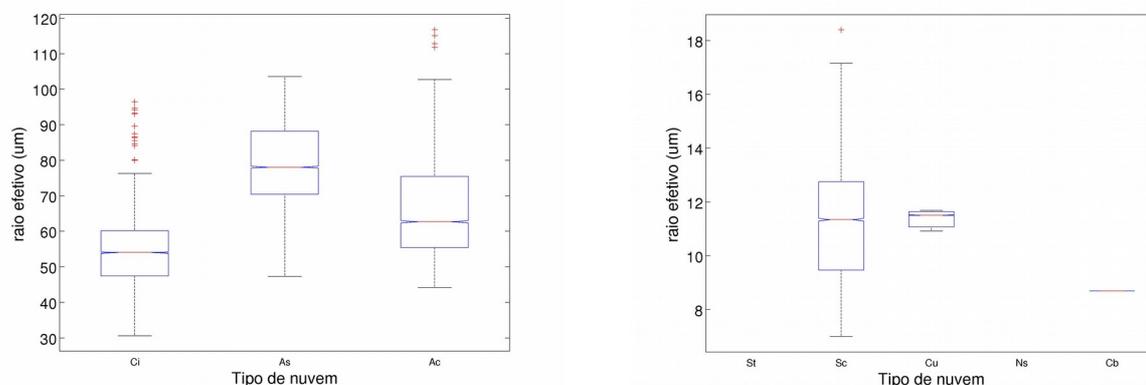


Figura 6: Distribuições (mediana e rango interquartile) de valores de raio efetivo medio de cada tipo de nuvem meia e alta (esquerda) e cada tipo de nuvem com base em baixos niveis (direita).

4. Conclusões

Se faz um análise da variação espacial e meridional das propriedades raio efetivo, altura da base da nuvem e conteúdo de agua gelo obtidos a partir de dados de CLOUDSAT. Pode-se observar como se tem certa variabilidade no caso do análise centrado-se em todas as nuvens e nos perfis nas medicões no instante, sobretudo maior variabilidade se tem com o conteúdo de agua gelo. No caso do análise conjunto entre os dados 2B-CLDCLASS e 2B-CWC_RO se obtiveram propriedades geométricas e ópticas dos tipos de nuvens da classificação empregada em CLOUDSAT. Quando se têm distribuições das variaveis para a cada latitude, pôde-se observar que não se mostram variabilidades entre as distribuições para altura da base da nuvem com a distância, sobretudo a nuvem Ci e Ac apresentam menores diferenças com a distância.. As maiores diferencias entre as distribuições latitudinais respeito a distribuição centrada em -23.5 para as propriedades geométricas pôde-se observar para o tipo de nuvem Sc. Para o caso de raio efetivo medio da camada, a variabilidade meridional só pôde ser calculado para três tipos de nuvens, mostrando a menor variabilidade o Ci e Ac. Se obtiveram valores de raio efetivo medio de cada tipo de nuvem centrado na latitude de -23.5 S, mostrândose como o valor de raio efetivo medio maior corresponde á nuvem As. As nuvens meias e altas apresentam os maiores valores de raio efetivo. Para as nuvens baixas só pôde ser calculado para Sc e Cu, mostrando valores de medianas muito pertos entre ambos os tipos de nuvens, mas o Sc apresenta maior variabilidade. Se mostram propriedades de nuvens importantes nos cálculos da transferência radiativa. Estas propriedades obtidas por satélites e aquelas que vão ser calculadas desde superficie seram empregados como dados de entrada no modelo de transferência radiativa para o cálculo do efeito dos tipos de nuvens sobre a radiação solar em São Paulo.

Agradecimentos

Estes resultados estão dentro do começo da pesquisa do projeto da caracterização das nuvens em São Paulo dentro do programa de mestrado em meteorologia no IAG. Este trabalho tem o apoio financeiro do programa de Bolsas CAPES dentro do mestrado em meteorologia no IAG-USP.

Referências Bibliográficas

- Austin, R. T. 2007. "Level 2B Radar-Only Cloud Water Content (2B-CWC-RO) Process Description Document." *CloudSat Project Report*.
ftp://ftp.cira.colostate.edu/ftp/CloudSat/Docs/2B-CWC-RO_PDICD.P_R04.20071021.pdf.
- Bretherton, Christopher S., Peter N. Blossey, and Cristiana Stan. 2014. "Cloud Feedbacks on Greenhouse Warming in the Superparameterized Climate Model SP-CCSM4." *Journal of Advances in Modeling Earth Systems* 6 (4): 1185–1204. doi:10.1002/2014MS000355.
- Eitzen, Zachary A., Kuan-Man Xu, and Takmeng Wong. 2009. "Cloud and Radiative Characteristics of Tropical Deep Convective Systems in Extended Cloud Objects from CERES Observations." *Journal of Climate* 22 (22): 5983–6000. doi:10.1175/2009JCLI3038.1.
- Inoue, Toshiro, Masaki Satoh, Yuichiro Hagihara, Hiroaki Miura, and Johannes Schmetz. 2010. "Comparison of High-Level Clouds Represented in a Global Cloud System-resolving Model with CALIPSO/CloudSat and Geostationary Satellite Observations." *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* 115 (D4): D00H22. doi:10.1029/2009JD012371.
- Joiner, J., A. P. Vasilkov, P. K. Bhartia, G. Wind, S. Platnick, and W. P. Menzel. 2010. "Detection of Multi-Layer and Vertically-Extended Clouds Using A-Train Sensors." <http://ntrs.nasa.gov/search.jsp?R=20110014293>.
- Mace, Gerald G. 2010. "Cloud Properties and Radiative Forcing over the Maritime Storm Tracks of the Southern Ocean and North Atlantic Derived from A-Train." *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* 115 (D10): n/a-n/a. doi:10.1029/2009JD012517.
- Roderick, Michael, Graham Farquhar, Sandra Berry, and Ian Noble. 2001. "On the Direct Effect of Clouds and Atmospheric Particles on the Productivity and Structure of Vegetation." *Oecologia* 129 (1): 21–30. doi:10.1007/s004420100760.
- Stephens, Graeme L. 2005. "Cloud Feedbacks in the Climate System: A Critical Review." *Journal of Climate* 18 (2): 237–273.
- Stocker, Thomas F., and Intergovernmental Panel on Climate Change, eds. 2013. *Climate Change 2013: The Physical Science Basis ; Summary for Policymakers, a Report of Working Group I of the IPCC, Technical Summary, a Report Accepted by Working Group I of the IPCC but Not Approved in Detail and Frequently Asked Questions ; Part of the Working Group I Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. New York: Intergovernmental Panel on Climate Change.
- Wang, Zhien, and Kenneth Sassen. 2007. "Level 2 Cloud Scenario Classification Product Process Description and Interface Control Document." *Version 5*: 50.