

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
CÂMPUS EXPERIMENTAL DE OURINHOS**

THIAGO RAMIRES

**COMPARAÇÃO DOS TOPOS DOS ECOS DE RADAR NO ESTADO
DE SÃO PAULO COM TOPOS DE NUVENS OBSERVADOS POR
CALIOP A BORDO DO SATÉLITE CALIPSO**

OURINHOS - SP

2016

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
CÂMPUS EXPERIMENTAL DE OURINHOS**

**Comparação dos topos dos ecos de radar no Estado de São Paulo
com topos de nuvens observados por CALIOP a bordo do satélite
CALIPSO**

THIAGO RAMIRES

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Universidade Estadual
Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Campus
Experimental de Ourinhos - UNESP, como
parte das exigências para a obtenção de
título de Bacharelado em Geografia.

Orientador:

Dr. Gerhard Held

**OURINHOS/SP
2016**

THIAGO RAMIRES

**COMPARAÇÃO DOS TOPOS DOS ECOS DE RADAR NO ESTADO DE SÃO PAULO
COM TOPOS DE NUVENS OBSERVADOS POR CALIOP A BORDO DO SATÉLITE
CALIPSO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Campus Experimental de Ourinhos - UNESP, como parte das exigências para a obtenção de título de Bacharelado em Geografia.

Ourinhos, 03 de junho de 2016.

BANCA EXAMINADORA

Dr. Gerhard Held
Orientador

Profa. Dra. Ana Claudia Carfan
UNESP – Campus de Ourinhos

Profa. Dra. Daniela Fernanda da Silva Fuzzo
UNESP – Campus de Ourinhos

Agradecimentos

A Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” e ao Campus de Ourinhos. A todos os professores do curso, que foram tão importantes na minha vida acadêmica e no desenvolvimento deste trabalho

Ao Pesquisadores Gerhard Held e Ana Maria Gomes, companheiro de caminhada ao longo do curso. Eu posso dizer que a minha formação, inclusive pessoal, não teria sido a mesma sem o seu apoio.

Ao professor Jonas por me acompanhar por toda a jornada acadêmica.

Aos meus pais, irmã e namorada que, com muito carinho e apoio, não mediram esforços para que eu chegasse até esta etapa de minha vida.

Aos meus amigos e companheiros de convivência, pelas alegrias e tristezas compartilhadas e as histórias em que construímos juntos.

Aos técnicos do IPMet, em especial, ao técnico Hermes Franca que ajudou no processamento de vários dados.

“Existem muitas hipóteses em ciência que estão erradas. Isso é perfeitamente aceitável, eles são a abertura para achar as que estão certas”. (Carl Sagan)

RESUMO

As nuvens desempenham um papel muito importante na constituição da vida no nosso planeta, através dos processos climáticos, tempestades severas e suas contribuições diretas e indiretas no balanço radiativo da Terra. A comparação dos topos dos ecos de radar no estado de São Paulo, através da utilização dos dados dos radares meteorológicos do IPMet (Instituto de Pesquisas Meteorológicas; desde 2014: Centro de Meteorologia de Bauru) e do CALIOP (*Cloud-Aerosol Lidar with Orthogonal Polarization*) a bordo do satélite CALIPSO (*Cloud-Aerosol Lidar and Infrared Pathfinder Satellite Observation*), possibilita a quantificação das células convectivas penetrando acima da tropopausa e injetando água em forma líquida, ou cristais de gelo na baixa estratosfera (*overshooting*). Esse processo tem grande importância para o transporte global de água dentro da baixa estratosfera, facilitando também algumas reações químicas, que podem impactar em alterações do clima. Esse trabalho analisou a relação dos dados entre a altura do topo dos ecos do radar e topo de nuvem de CALIOP da mesma célula de chuva. Os dados foram coletados no período de dezembro de 2010 a janeiro de 2011 e dezembro de 2012 a fevereiro de 2013. Os dados de radar foram processados no software IRIS (*Interactive Radar Information System*) e gerados os produtos, CAPPI 3,5 km e topo dos ecos com altitude máxima de 20 km. Para o processamento dos dados do CALIOP foram utilizados o software Mathematica e visualizado no HDFview. A comparação foi realizada com 16 dias em que foi registrado precipitação na trajetória do CALIPSO na área dos radares. O CALIOP registrou um topo maior que o identificado no radar em 90% dos dias, em média 3,6 km mais alto que detectado pelo radar. Não foi possível preparar uma estatística exata devido aos problemas de localizar o mesmo ponto na escala do radar e do CALIOP, e devido a diferença de resolução espacial de ambos os sensores.

ABSTRACT

Clouds have a very important function for all life on our planet, due to climatic processes, severe thunderstorms and their direct and indirect contributions to the Earth's radiative balance. The comparison of radar echo tops in the state of São Paulo, derived from the meteorological radars of the Meteorological Research Institute (IPMet; since 2014: Centro de Meteorologia de Bauru) with data generated by the CALIOP (*Cloud-Aerosol Lidar with Orthogonal Polarization*) system onboard of the CALIPSO (*Cloud-Aerosol Lidar and Infrared Pathfinder Satellite Observation*) satellite, permits a quantification of convective cells penetrating above the tropopause and injecting water in liquid form (supercooled), or as ice crystals into the lower stratosphere (*overshooting*). This process is of great importance for the global transport of water within the lower stratosphere, and also facilitating certain chemical reactions, which could lead to climate changes. This research project analyzed the relationship between the height of radar echo tops and cloud tops of the same rain cell observed by CALIOP. The data was collected during the periods from December 2010 to January 2011 and from December 2012 to February 2013. The radar data was processed with the IRIS (*Interactive Radar Information System*) software, generating 3,5 km CAPPIs, as well as images of echo tops up to 20 km. CALIOP data was processed with the software "Mathematica" and visualized with HDFview. The comparison yielded 16 days, when precipitation was observed along the trajectory of CALIPSO within the range of the two radars. In 90% of these days, CALIOP observed cloud tops higher than the echo tops identified by the radars. On average, this difference was 3,6 km. However, it was not possible to compile an exact statistic, due to the problem of localizing the very same point on the radar image and the CALIOP trajectory, as well as the difference in spatial resolution.

Lista de Figuras

Figura 1 – Espectro Eletromagnético.....	17
Figura 2 – Princípio do radar meteorológico, mostrando o feixe de radar relativo a superfície da terra atingindo grandes distâncias.....	18
Figura 3 – Movimento da antena (esq) e composição do CAPPI (dir)	19
Figura 4 – Rede de radares <i>Doppler</i> do IPMet (BRU = Bauru; PPR = Presidente Prudente), mostrando os anéis de 240km, e 450km.....	20
Figura 5 – <i>A-Train Constellation</i>	21
Figura 6 – Órbita CALIPSO, feixe vertical do CALIOP.....	22
Figura 7 – Instrumento CALIOP.....	23
Figura 8 – Imagem mostrando a seção vertical gerada pelo CALIOP sobre a região de alcance dos radares (Fig. 2) no dia 26 de dezembro de 2010 (17:20:42-17:22:12 UT) Altura – escala log; Níveis da temperatura (K); escala a direita: <i>Lidar signal ratio</i> (escala log arbitrária, em cores)	26
Figura 9 – Exemplo para testar o método da análise do dia 26 de dezembro de 2010.....	27
Figura 10 – Trajetórias de órbita do CALIPSO com a obtenção das imagens do CALIOP – 22/01/2013.....	28
Figura 11 – Raios (240 km) dos radares de BRU e PP e “overpass” no software do Google earth – 22/01/2013.....	29
Figura 12 – Topos dos ecos até 20 km de altitude – 10 de fevereiro de 2013.....	29
Figura 13 – Ferramenta Archive Menu – IRIS.....	30
Figura 14 – Ferramenta Ingest Sumary – IRIS.....	31
Figura 15 – Ferramenta Scheduler – IRIS.....	31
Figura 16 – Configuração produto CAPPI 3,5 km – Scheduler – IRIS.....	32
Figura 17 – Configuração produto TOPS – Scheduler – IRIS.....	32
Figura 18 – 5 km de extensão a partir do ponto central para cada lado, latitude -21.93°.....	33
Figura 19 – 50km de extensão para cada lado a partir do ponto central, latitude -23,93°	33

Figura 20 – Latitude e longitude da célula 2124, software HDFview.....	34
Figura 21 – Produto de topo dos ecos do radar, e overlay da trajetória do CALIOP – 17 de dezembro de 2012 – Informações da janela “Cursor Tool” retiradas do local do cursor “+”....	35
Figura 22 – Trajetória do CALIOP não passa na área do radar.....	36
Figura 23 – sem ocorrência de chuva na trajetória do CALIOP.....	37
Figura 24 – Janela “Cursor Tool” e Cursor “+” – Topo 11,5 km 3 de dezembro de 2010.....	38
Figura 25 – Dado bruto de 3 de dezembro de 2010 no software HDFView – Latitude, Longitude e Altitude.....	39
Figura 26 – Produto de topo dos ecos do radar e overlay da trajetória do CALIOP – 03 de dezembro de 2010, 17h16UT.....	40
Figura 27 – Dados CALIOP de 3 de dezembro de 2010 no software HDFView – Latitude, Longitude e Altitude.....	40
Figura 28 – Top do radar, e overlay da trajetória do CALIOP – 12 de dezembro de 2010, 17h08UT.....	41
Figura 29 – Dados CALIOP de 12 de dezembro de 2010 – Latitude, Longitude e Altitude....	42
Figura 30 – Imagem de Satélite GOES (T_Realce) 12 de dezembro de 2010, 16h30UT.....	42
Figura 31 – Topo do radar e overlay da trajetória do CALIOP, 26 de dezembro de 2010, 17h23UT.....	43
Figura 32 – Dados CALIOP de 26 de dezembro de 2010 – Latitude, Longitude e Altitude....	43
Figura 33 – Seção de corte horizontal sobre trajetória do CALIOP – 26 de dezembro de 2010, 17h23UT.....	44
Figura 34 – Seção de corte vertical da célula de chuva – 26 de dezembro de 2010.....	44
Figura 35 – Imagem de Satélite GOES (T_Realce) 26 de dezembro de 2010, 16h30UT.....	45
Figura 36 – Topo dos ecos do radar e overlay da trajetória do CALIOP – 26 de dezembro de 2010, 17h23UT.....	46
Figura 37 – Dados CALIOP de 26 de dezembro de 2010 – Latitude, Longitude e Altitude....	46
Figura 38 – Topo dos ecos do radar e overlay da trajetória do CALIOP – 11 de janeiro de 2011, 14h23UT.....	47

Figura 39 – Dados CALIOP de 11 de janeiro de 2011 – Latitude, Longitude e Altitude.....	47
Figura 40 – Seção de corte horizontal sobre trajetória do CALIOP – 11 de janeiro de 2011.....	48
Figura 41 – Seção de corte vertical da célula de chuva – 11 de janeiro de 2011.....	48
Figura 42 – Imagem de Satélite GOES (T_Realce) dia 11 de janeiro de 2011, 17:15 UT.....	49
Figura 43 – Topo do radar e overlay da trajetória do CALIOP – 22 de janeiro de 2011, 03h01UT.....	50
Figura 44 – Dados CALIOP de 22 de janeiro de 2011 – Latitude, Longitude e Altitude.....	50
Figura 45 – Seção de corte horizontal sobre trajetória do CALIOP – 22 de janeiro de 2011.....	51
Figura 46 – Seção de corte vertical da célula de chuva – 22 de janeiro de 2011.....	51
Figura 47 – Topo dos ecos do radar e overlay da trajetória do CALIOP – 22 de janeiro de 2011.....	52
Figura 48 – Dados CALIOP de 22 de janeiro de 2011 – Latitude, Longitude e Altitude.....	52
Figura 49 – Topo dos ecos do radar e overlay da trajetória do CALIOP – 24 de janeiro de 2011, 04h46UT.....	53
Figura 50 – Topo dos ecos do radar e overlay da trajetória do CALIOP – 05 de fevereiro de 2011, 17h16UT.....	53
Figura 51 – Dados CALIOP de 05 de fevereiro de 2011 – Latitude, Longitude e Altitude.....	54
Figura 52 – Seção de corte horizontal sobre trajetória do CALIOP – 05 de fevereiro de 2011.....	54
Figura 53 – Seção de corte vertical da célula de chuva – 05 de fevereiro de 2011.....	55
Figura 54 – Topo do radar e overlay da trajetória do CALIOP – 05 de fevereiro de 2011, 17h16UT.....	55
Figura 55 – Dados CALIOP de 05 de fevereiro de 2011 – Latitude, Longitude e Altitude.....	56
Figura 56 – Seção de corte vertical da célula de chuva – 05 de fevereiro de 2011.....	56
Figura 57 – Topo do radar e overlay da trajetória do CALIOP – 17 de dezembro de 2012, 17h08UT.....	57

Figura 58 – Dados CALIOP de 17 de dezembro de 2012 – Latitude, Longitude e Altitude.....	57
Figura 59 – Topo do radar e overlay da trajetória do CALIOP – 31 de dezembro de 2012, 17h23UT.....	58
Figura 60 – Dados CALIOP de 31 de dezembro de 2012 – Latitude, Longitude e Altitude.....	58
Figura 61 – Seção de corte vertical da célula de chuva – 31 de dezembro de 2012.....	59
Figura 62 – Topo do radar e overlay da trajetória do CALIOP – 13 de janeiro de 2013, 04h38UT.....	60
Figura 63 – Dados CALIOP de 13 de janeiro de 2013 – Latitude, Longitude e Altitude.....	60
Figura 64: Imagem de Satélite GOES (T_Realce) 13 de janeiro de 2011: 04:45 UT.....	61
Figura 65 – Topo do radar e overlay da trajetória do CALIOP – 25 de janeiro de 2013, 17h16UT.....	61
Figura 66 – Dados CALIOP de 25 de janeiro de 2013 – Latitude, Longitude e Altitude.....	62
Figura 67 – Topo do radar e overlay da trajetória do CALIOP – 27 de janeiro de 2013, 04h53UT.....	62
Figura 68 – Dados CALIOP de 27 de janeiro de 2013 – Latitude, Longitude e Altitude.....	63
Figura 69 – Topo do radar e overlay da trajetória do CALIOP – 01 de fevereiro de 2013, 17h23UT.....	63
Figura 70 – Dados CALIOP de 01 de fevereiro de 2013 – Latitude, Longitude e Altitude.....	64
Figura 71 – Seção de corte vertical da célula de chuva – 01 de fevereiro de 2013.....	64
Figura 72 – Topo do radar e overlay da trajetória do CALIOP – 10 de fevereiro de 2013, 17h16UT.....	65
Figura 73 – Dados CALIOP de 10 de fevereiro de 2013 – Latitude, Longitude e Altitude.....	65
Figura 74 – Seção de corte vertical da célula de chuva – 10 de fevereiro de 2013.....	66
Figura 75: Alturas de topo de Radar e topo de nuvem medido pelo CALIOP.....	68
Figura 76: a) Imagem de Satélite GOES (T_Realce) do dia 31 de dezembro de 2012: 17:30 UT. b) CAPPI com corte vertical do dia 31 de dezembro de 2012: 17:23 UT. A célula isolada está destacada com um circulo vermelho.....	69

Lista de tabela

Tabela 1: Analise dos pontos de coordenadas, identificando topo de Radar e CALIOP.....67

Sumário

1 – INTRODUÇÃO	14
2 – OBJETIVOS	16
2.1 Objetivos gerais.....	16
2.2 Objetivos específicos.....	16
3 – FUNDAMENTAÇÃO TEORICA	17
3.1 Sensoriamento Remoto.....	17
3.2 RADAR.....	18
3.3 Satélite CALIPSO.....	20
3.4 LIDAR.....	24
4 – METODOLOGIA	25
4.1 Primeira campanha.....	25
4.2 Segunda campanha.....	27
5 – PROCESSAMENTO DOS DADOS	30
5.1 Processamento de dados do Radar.....	30
5.2 Processamento de dados do CALIOP.....	33
6 – RESULTADOS	38
7 – CONCLUSÕES	69
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	71
ANEXOS	72

1. INTRODUÇÃO

As nuvens desempenham um papel muito importante na constituição da vida no nosso planeta, através dos processos climáticos e suas contribuições diretas e indiretas no balanço radiativo da Terra. Ajudam a transportar a chuva para regiões mais distantes do planeta, e o ciclo hidrológico. As previsões do tempo que existem hoje, só são possíveis devido ao monitoramento e compreensão das características das nuvens. O estudo sobre a formação e dispersão das nuvens, é de extrema importância para a previsão do tempo meteorológico e para as ferramentas que eles possibilitam a sua previsão. Esta importância recai sobre questões econômicas, operação de energia e produção agrícola, fatores esses que são influenciados pelo clima.

A atmosfera é a camada gasosa que envolve a Terra. Está dividida em camadas: Troposfera, Estratosfera, Mesosfera e Termosfera, separado pelas camadas intermediárias Tropopausa, Estratopausa, Mesopausa e Termopausa. As nuvens se localizam principalmente na troposfera e podem chegar à baixa estratosfera em caso de tempestades severas.

O desenvolvimento vertical de nuvens de convecção profunda pode ser capaz de transportar o vapor d'água na baixa estratosfera, chamada de *overshooting*. Esse meio de transporte das nuvens foi estudado no projeto TRO-pico (2012) no IPMet em Bauru com a aquisição e análise de informações coletadas a partir de balões que voam em altitudes próximas a tropopausa/baixa estratosfera e medidas de satélites CALIPSO (*Cloud-Aerosol Lidar and Infrared Pathfinder Satellite Observation*) com o instrumento CALIOP (*Cloud-Aerosol Lidar with Orthogonal Polarization*) e MEGHA-TROPIQUES com os instrumentos SAPHIR (*Sounder for Probing Vertical Profiles of Humidity*) e MADRAS (*Microwave Analysis and Detection of Rain and Atmospheric Structures*) (TRO-pico, 2012). Um dos estudos do TRO-pico foi realizado para identificar os topos de nuvens e a quantidade de overshooting durante o período.

O satélite CALIPSO foi lançado em abril de 2006 pela NASA e CNES para estudar o papel que as nuvens e aerossóis desempenham na regulação da qualidade de tempo, clima e ar da Terra. A bordo do satélite estão três instrumentos de medição: *Cloud-Aerosol Lidar with Orthogonal Polarization* (CALIOP), *Imaging Infrared Radiometer* (IIR) e *Wide Field Camera* (WFC) (NASA, 2013b).

Em contrapartida aos satélites, os radares meteorológicos são instrumentos que podem efetuar uma medida remota na quantificação de chuva. A rede de radares meteorológicos da UNESP é operada pelo Centro de Meteorologia de Bauru (CMB; antigo Instituto de Pesquisas Meteorológicas, IPMet), e pode quantificar as precipitações ocorridas em uma área de 240 km de raio a partir das cidades aonde estão instalados os radares, Bauru e Presidente Prudente. A resolução espacial dos radares pode chegar a 1 km² suprimindo a deficiência de rede de pluviômetros. Essa crescente onda de interesse em torno dos parâmetros meteorológicos é identificada na conscientização das atividades humanas em relação ao meio ambiente.

O uso do Sensoriamento Remoto é importante para obter os dados de chuva (nuvens) seja de radar com um feixe horizontal ou o satélite com um feixe vertical e reconhecer as diferenças de banda em que cada ferramenta trabalha e identifica as nuvens e suas características, obtendo uma maior confiabilidade nos dados obtidos e nos resultados que elas proporcionam.

2.OBJETIVOS

2.1 - Objetivos gerais

O objetivo deste estudo é o de validar os topos de nuvens identificados a partir da comparação entre os dados de Radar meteorológico *Doppler* com os dados obtidos do sistema CALIOP a bordo do satélite CALIPSO.

2.2 – Objetivos específicos:

- Comparar as medidas de CALIOP de topos de nuvens com os topos dos ecos detectados pelo Radar meteorológico (gotas de chuva $\geq 0,15$ mm/h).
- Estabelecer uma relação entre a altura do topo dos ecos do radar e topo de nuvem de CALIOP da mesma célula.
- Considerar a refletividade mínima da célula detectada, em relação a distância do radar.
- Estimar a quantidade de células dentro do alcance quantitativa dos radares (240 km cada), penetrando a tropopausa e entrando na baixa estratosfera (“*overshooting*”).

3 - FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 – Sensoriamento Remoto

O Sensoriamento Remoto é a ciência de obter informações sobre determinados alvos à distância através do registro da interação da radiação eletromagnética, sem contato físico com o objeto. Envolve a detecção, aquisição e análise da energia eletromagnética emitida ou refletida pelo objeto (JENSEN, 2009). O Sol é a principal fonte de radiação para o nosso planeta e, devido à sua elevada temperatura é gerada uma grande quantidade de energia irradiada para todo o espaço. O espectro eletromagnético está organizado de maneira contínua em função do comprimento de onda ou de sua frequência.

As ondas eletromagnéticas se propagam no vácuo, não necessitando de um meio. Estão divididos em ordem crescente de comprimento de onda, e mostrados na figura 1, onde se destacam os Raios Gama, Raio X, Ultravioleta, Visível (luz), Infravermelho, Microondas e Radio (MORAES, 2002). A frequência de onda está ligada ao comprimento de onda do espectro, o menor comprimento de onda tem uma maior frequência.

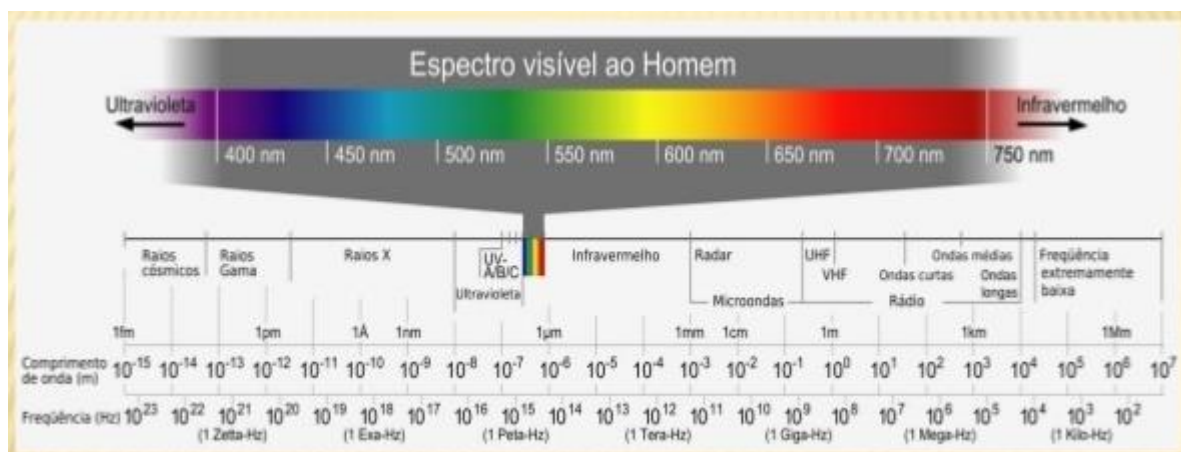


Figura 1: Espectro Eletromagnético.

Fonte: INPE http://www.dgi.inpe.br/ndc/html/s24112008/Bernardo/Introducao_SR-s24112008.pdf

A radiação solar atinge a Terra onde é em parte refletida de volta para o espaço em formas de energia. A base do sensoriamento remoto é a detecção das alterações sofridas pela radiação eletromagnética quando esta interage com os componentes do objeto estudado.

Para obter a medida é registrado o fluxo radiante do sensor e o fluxo refletido em direção ao sistema sensor (SAUSEN, 2005). Conhecer como esse fluxo se modifica espectralmente e espacialmente numa determinada área é importante para conhecer as propriedades do objeto de estudo. Os dados podem ser obtidos através de sensores passivos ou ativos. O Sensor Passivo capta a energia refletida ou emitida de um alvo que foi iluminado por uma fonte de radiação externa, geralmente o Sol. O Sensor Ativo emite um sinal, que ao atingir um objeto registra o sinal refletido, avaliando a diferença entre sinal emitido e recebido.

3.2 – Radar

O RADAR (RADio Detection And Ranging) meteorológico é um instrumento de Sensoriamento Remoto que tem a função de localizar alvos, ou seja precipitação, através do envio de ondas eletromagnéticas. O Radar banda S utilizado, trabalha no comprimento de ondas microondas de 10 cm. O Radar possibilita três tipos de produto, a imagem *Plan Position Indicator (PPI)*, *Range-Height Indicator (RHI)* ao longo de um azimute fixo e em *Constant Altitude Plan Position Indicator (CAPPI)*. O produto PPI é gerado a partir de uma volta completa (360°) em torno do seu eixo, demonstrando a localidade das chuvas, e é utilizado para se monitorar precipitação ocorrendo a longas distâncias, ou seja, com alcance de até 450 km sendo utilizado para vigilância meteorológica (figura 2).



Figura 2 – Princípio do radar meteorológico, mostrando o feixe de radar relativo a superfície da terra atingindo grandes distâncias.

Fonte: IPMet http://www.ipmet.unesp.br/index2.php?menu_esq1=&abre=ipmet_html/saibamais/radar.htm

O CAPPI é um produto gerado através de várias varreduras completas do radar (360°), com ângulos de elevação diferentes, por exemplo, de 0,3° a 45° (varredura volumétrica 240 km) em relação ao horizonte. De cada elevação é extraído um anel de informações. Combinando os PPIs de todas as elevações, tem-se uma varredura volumétrica a cada 7,5 min, e um campo de precipitação de 240 km de raio, a partir do radar, com altura média e amostragem constante (figura 3).

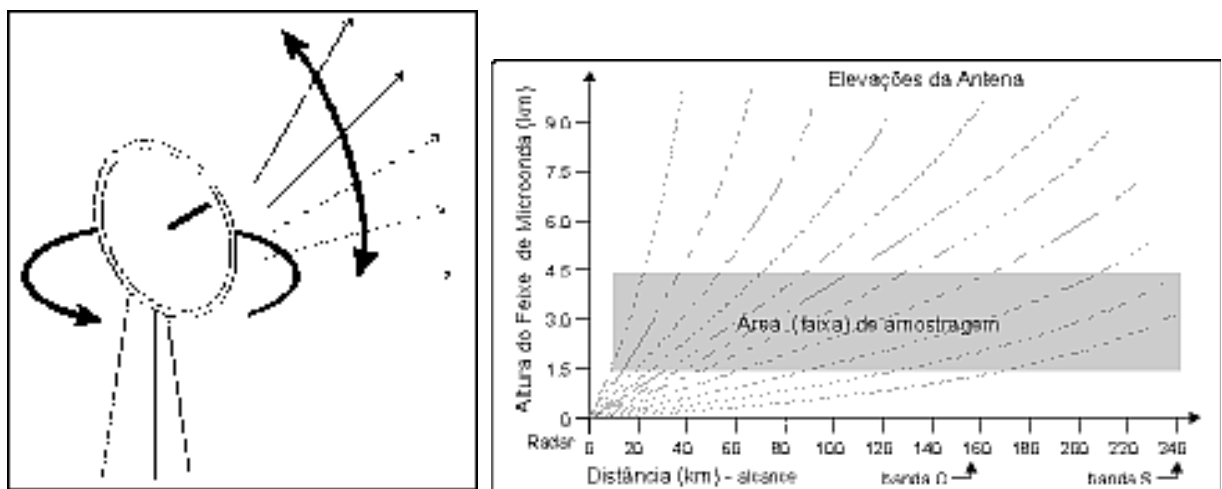


Figura 3 – Movimento da antena (esq) e composição do CAPPI (dir).

Fonte: IPMet http://www.ipmet.unesp.br/index2.php?menu_esq1=&abre=ipmet_html/saibamais/radar.htm

Os radares utilizados para esse estudo foram operados e mantidos pelo antigo IPMet, hoje Centro de Meteorologia de Bauru, da UNESP, e estão instalados nos municípios de Bauru (BRU) e Presidente Prudente (PPR), localizados na área central e oeste do estado de São Paulo, respectivamente (figura 4).

Estes radares são sistemas que possuem capacidade *Doppler*, permitindo não só a determinação das intensidades de precipitação pluvial, mas também indicando a velocidade dos movimentos das gotas de precipitação ao longo das radiais, isto é, se as partículas estão se movendo em direção ao radar ou se estão se afastando do radar. Desta forma o processamento do radar *Doppler* tem desempenhado um importante papel na meteorologia (GOMES, 1993).

Uma vez que os radares disponibilizam rotineiramente e de forma automática os produtos gerados, torna-se factível utilizá-los para análise e caracterização, não só da ocorrência desses eventos, mas também para se determinar a magnitude com que os mesmos são observados (LEAL, 2008).

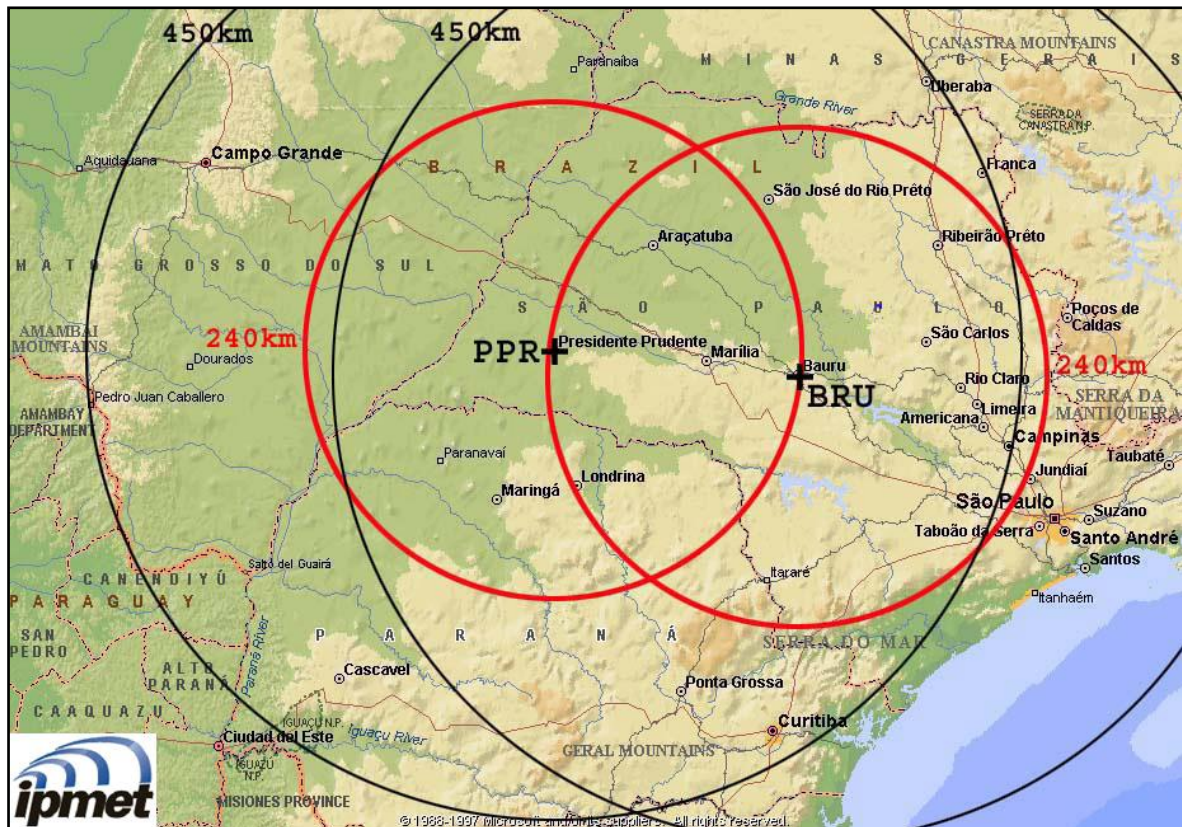


Figura 4- Rede de radares *Doppler* do IPMet (BRU = Bauru; PPR = Presidente Prudente), mostrando os anéis de 240km (alcance quantitativa) e 450km (alcance de vigilância).
Fonte: Held *et al.* (2012)

3.3 – Satélite CALIPSO

O satélite CALIPSO foi desenvolvido em parceria da *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) com a agência espacial francesa *Centre National d'Etudes Spatiales* (CNES), pertence a um conjunto de satélites chamados de *A-Train* (*A- Constellation*) (WINKER *et al.*, 2002, 2004).

A-Train foi formado pelos satélites Aura, GCOM-W1, PARASOL, OCO2, CloudSat, CALIPSO e Aqua (figura 5). Os satélites foram lançados em datas diferentes, mas foram

colocados em orbitas sincronizados com poucos minutos de diferença, permitindo que as missões tenham medidas quase simultâneas de uma grande variedade de parâmetros..

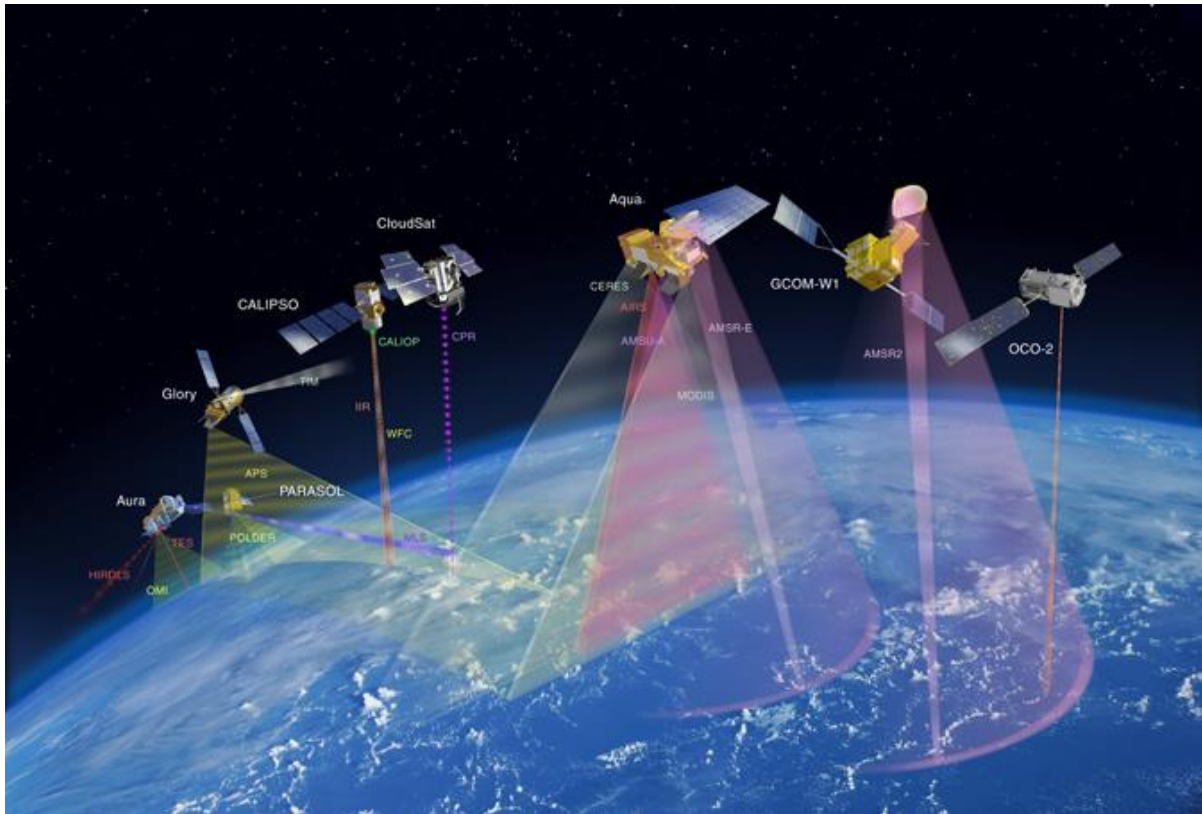


Figura 5: A-Train Constellation.

Fonte: NASA http://www.nasa.gov/mission_pages/a-train/a-train.html#.U9Fs3-NdXaA

O CALIPSO possui a bordo o sistema LIDAR (*Light Detection And Ranging*) denominado CALIOP (Figura 6), capaz de identificar aerossóis e nuvens através de uma distribuição vertical (WINKER et al., 2002, 2004). Foi lançado no dia 28 de abril de 2006 e seus primeiros feixes ocorreu em 7 de junho de 2006 (NASA, 2013a). Segundo Lopes (2011), em um dia o CALIPSO percorre 14,55 voltas em torno da Terra e perfaz a cobertura total do globo em 16 dias de medidas.

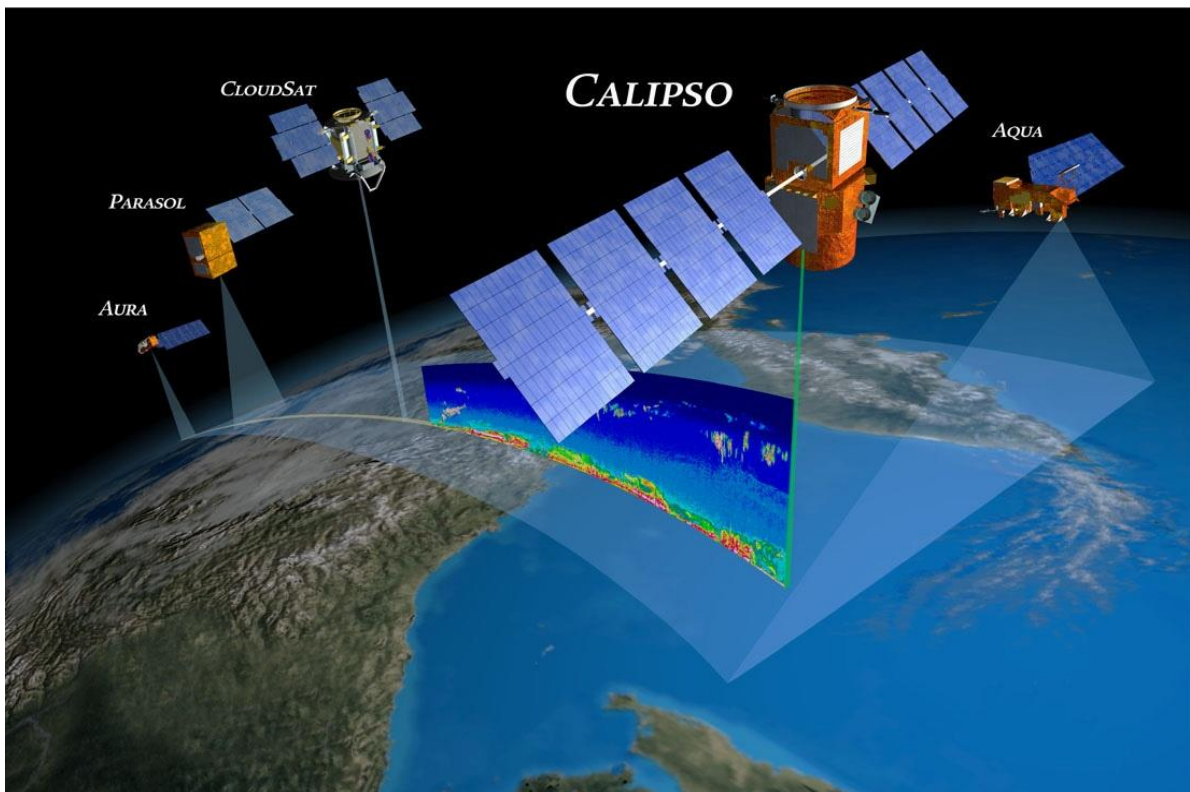


Figura 6: Órbita CALIPSO, feixe vertical do CALIOP.

Fonte: NASA http://www.nasa.gov/images/content/329173main_CALIPSO-a-train-full.jpg

Sua órbita em torno da Terra está aproximadamente em 705 km de altitude, em órbita do tipo Polar e sincronizado com o Sol, cruzando a linha do Equador em torno das 13h30min no horário local. O principal instrumento carregado a bordo do satélite é o sistema de sensoriamento remoto ativo Lidar denominado CALIOP.

O CALIOP é formado por duas unidades (Figura 7), ou seja, os sistemas de transmissão e de recepção. O sistema de transmissão é composto por dois lasers idênticos que operam no comprimento de onda de 1064 nm e com geração do sinal de segundo harmônico em 532 nm e opera em uma frequência de 20,16 Hz. A energia por pulso é de 220 mJ para 1064 nm e 110 mJ para 532 nm e estão abrigados, dentro de um compartimento preenchido com ar seco a uma pressão atmosférica padrão de 16 psi (HUNT *et al.*, 2009). O feixe gerado pelo laser chega à superfície com cerca de 70 m de diâmetro. O sistema de recepção é composto por um telescópio de 1 metro de diâmetro que direciona a radiação retroespalhada para um conjunto de instrumentos ópticos. O sinal de retorno em 532 nm é

separado em dois sinais, em perpendicular e paralelo, eles passam por um conjunto de filtros de 35 nm para bloquear o ruído solar, o retorno do retroespalhamento em 1064 nm é direcionado diretamente e utiliza um filtro de 100 nm para o ruído solar (LOPES, 2011). No canal do infravermelho é utilizado um fotodiodo avalanche (APD) que detecta os sinais de fótons e os transforma em sinal elétrico.

O feixe de laser é enviado em direção à superfície da Terra e o telescópio captará em seguida o sinal retro-espalhado por nuvens e aerossóis, que será direcionado para um sistema óptico com capacidade de separar os feixes de retorno e filtrar os comprimentos de onda de interesse, digitalizando o sinal e sendo armazenado em um computador a bordo do satélite. Resolução dos dados brutos de 30 m para os dados de 532 nm e de 60 m para os dados de 1064 nm. (WINKER *et al.* 2004).

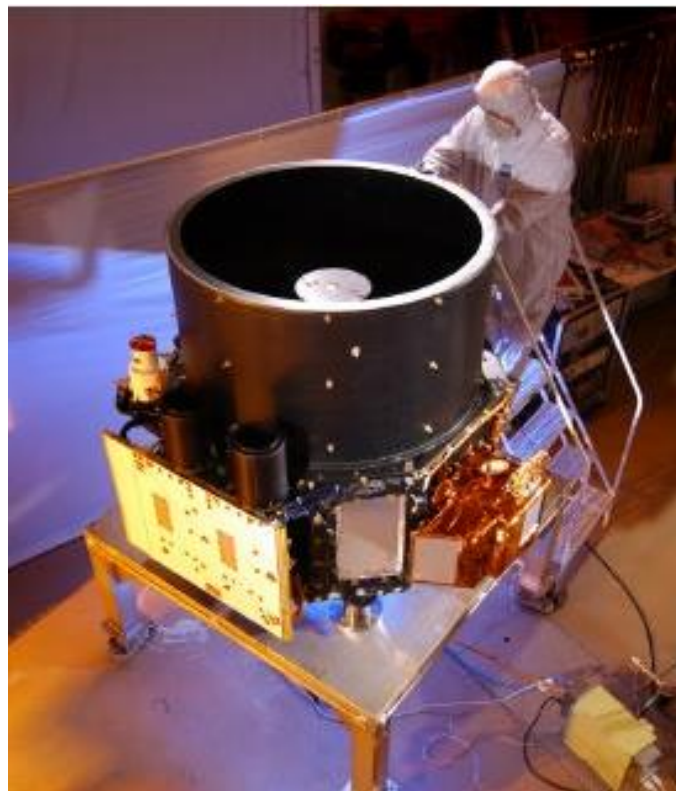


Figura 7: Instrumento CALIOP.

Fonte: NASA <http://www-calipso.larc.nasa.gov/about/images/cleanroom.jpg>

3.4 – LIDAR

LIDAR é um acrônimo para *Light Detection And Ranging*, e utiliza um processo semelhante do Radar. O Radar ao emitir o pulso de energia está utilizando as ondas de rádio para a detecção do alvo. O LIDAR utiliza como fonte de energia um Laser. Um laser emite um feixe de luz para o alvo a ser estudado, para cada partícula é refletida uma porção diferente de energia. A partir dessa detecção da energia refletida é possível calcular a concentração dos particulados e aerossóis. O funcionamento do LIDAR pode ser observado através da citação a seguir:

Um pulso de luz ao ser enviado para atmosfera sofre interação com moléculas e partículas que agem como espalhadores, uma porção dessa radiação é espalhada no caminho de volta do sistema Lidar (180°), essa radiação retroespalhada é captada por um telescópio e focalizada em um sistema de detecção que realiza a medida do sinal (Lopes, 2011).

Sendo assim o Lidar e o Radar são ferramentas de Sensoriamento Remoto ativas, se utilizam de uma fonte interna para a detecção do alvo.

4 - METODOLOGIA

O trabalho foi realizado nas dependências do IPMet, por que ser necessária a utilização do software instalado com a licença do SIGMET (SIGMET, 2005) no computador "PC-Iris". O estudo foi determinado pelo período em que colaboradores franceses participaram da campanha TRO-Pico em março de 2012 no IPMet, Campus da UNESP, em Bauru, como um dos objetivos coletar informações durante o período de lançamentos dos balões estratosféricos realizados nessa campanha.

Um estudo semelhante foi realizado para a campanha de lançamento de balão em 2004, parte do projeto HIBISCUS, onde se fez a primeira tentativa de identificar os topos e *overshootings* na área do radar de Bauru. A campanha HIBISCUS abrangeu o período 21 de janeiro – 11 de março de 2004 e identificou um total de 122.384 topos de eco nas áreas do Radar de Bauru, mas o número dos "*overshoots*" (água transportada para baixa Estratosfera) ocorridos não foi analisado, porque a ênfase foi dada para a variação diurna dos topos (POMMEREAU e HELD, 2007). Durante as campanhas do TRO-pico foram identificados um total de 147.248 topos de ecos, sendo 820 *overshootings* nas áreas do Radar BRU, e 72.986 com 204 *overshootings*, em 2012 e 2013, respectivamente.

4.1 – Primeira campanha

Ocorreu no período de 02 a 19 de março de 2012, entretanto durante esse período o sistema CALIOP foi desligado devido às intensas tempestades solares, que poderiam danificar o instrumento. Para testar o método, foram analisadas 16 passagens do satélite, de dezembro de 2010 a janeiro de 2011, na área de alcance dos 240 km dos radares do IPMet, para estabelecer uma metodologia adequada e comparar diferentes medidas. As análises foram realizadas a partir do software proprietário *Interactive Radar Information System* (IRIS) de propriedade da SIGMET Inc. (SIGMET, 2005), que controla a coleta, geração e o armazenamento dos dados coletados pelos radares Doppler do IPMet, permitindo a obtenção de uma vasta quantidade de produtos derivados da refletividade e velocidades radiais.

Após a obtenção de todos os dados de passagens do satélite foram gerados CAPPs (*Constant Altitude Plan Position Indicator*) 3,5 km com intervalos de 7,5 minutos utilizando limiares de refletividade de -6 dBz à 54 dBz e mapas de topo dos ecos com cortes verticais até 20 km de altitude. Com isso consegue-se "varrer" completamente a atmosfera, desde próximo ao solo até o topo das células. De cada elevação é extraído um anel de informações cuja altura média corresponde a um valor pré-estabelecido. Agrupando-se sequencialmente os anéis de todas as varreduras, tem um campo de precipitação de 240 km de raio. Através das imagens do satélite, tem-se as coordenadas geográficas (Figura 8), possibilitando assim, a criação de um *overlay* que será utilizado para a análise das imagens no IRIS. Cada imagem

possui seu próprio *overlay*. Para facilitar a criação do *overlay* com o *Software* IRIS, foi utilizado o Google Earth, como ferramenta de criação das coordenadas (Figura 9a).

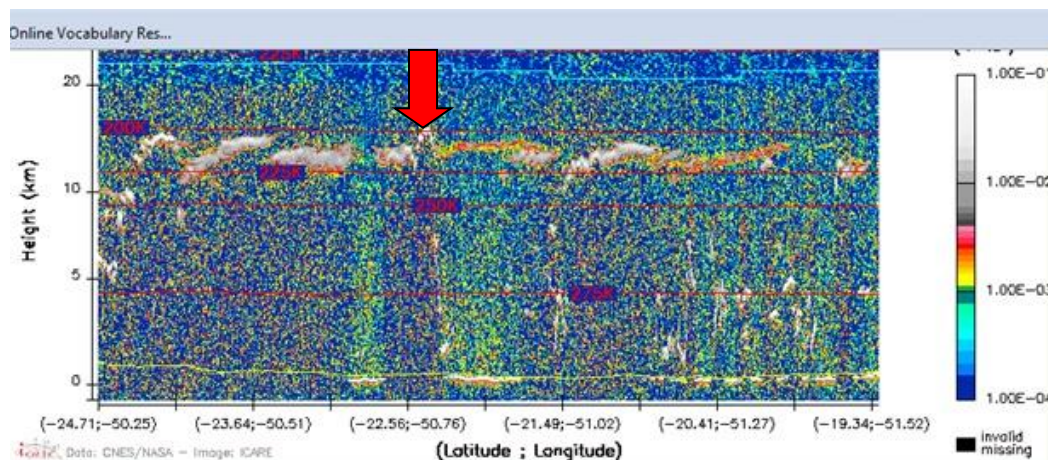


Figura 8. Imagem mostrando a seção vertical gerada pelo CALIOP sobre a região de alcance dos radares (Fig. 2) no dia 26 de dezembro de 2010 (17:20:42-17:22:12 UT).

Altura – escala log; Níveis da temperatura (K) (escala a direita: *Lidar signal ratio* (escala log arbitrária, em cores)). A seta indica o ponto de coordenada utilizada.

Fonte: ICARE - <http://www.icare.univ-lille1.fr/calipso/browse/>

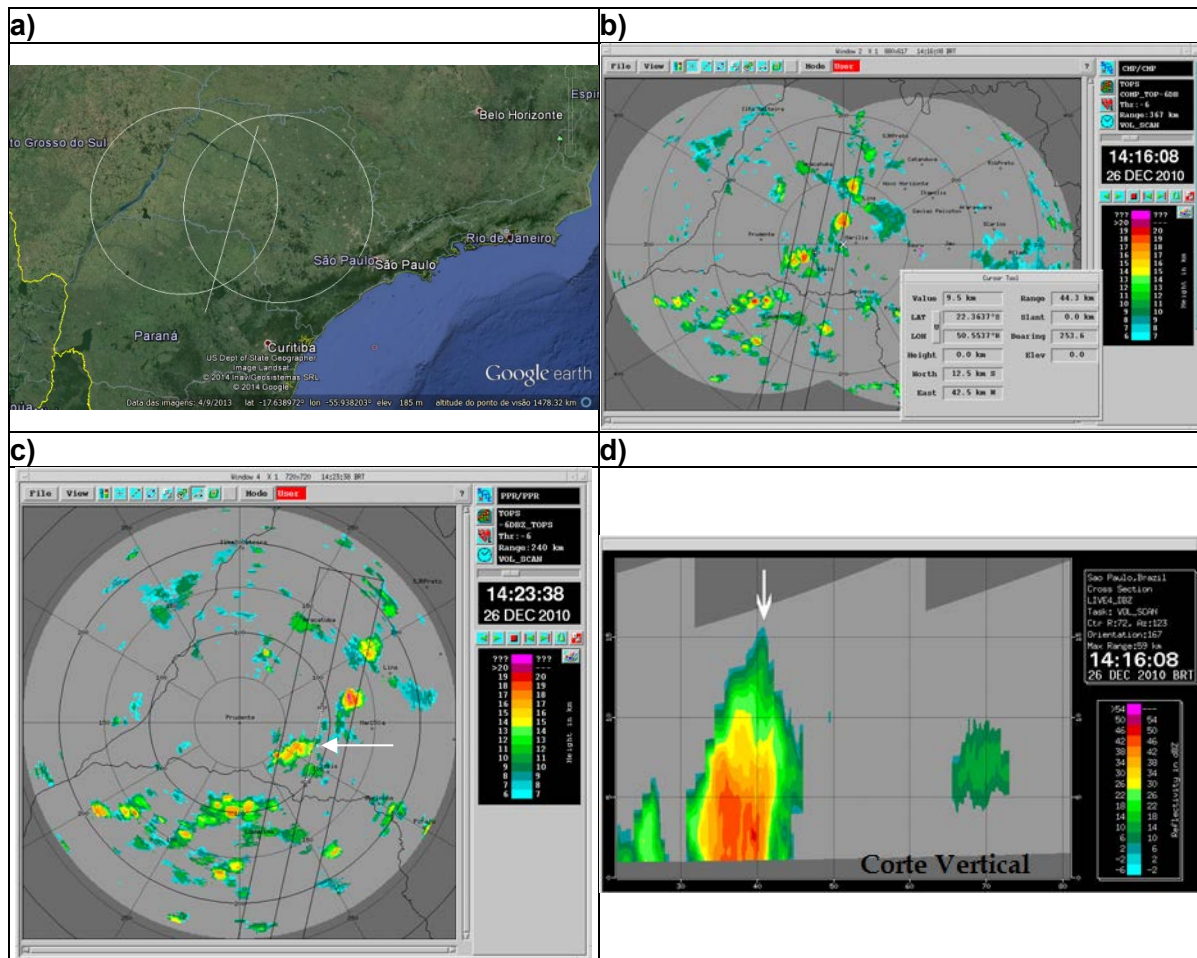


Figura 9. Exemplo para testar o método da análise para o dia 26 de dezembro de 2010:
a) Rastro do CALIPSO no mapa de Google Earth (17:20:42-17:22:12 UT);
b) Rastro do CALIPSO no software IRIS, CAPPi composto por BRU e PP;
c) localização do corte vertical às 14:16:08 HL (17:16 UT);
d) Perfil vertical do corte, mostrando um topo de eco de 15 km.
 Fonte: O autor

A comparação é feita através das imagens de Radar e do satélite, utilizando alguns parâmetros: topos (altitude), refletividade e temperatura. Estes parâmetros são importantes, pois através deles, é possível definir a formação e o desenvolvimento da nuvem.

4.2 – Segunda campanha

Realizada de 18 de janeiro a 13 de fevereiro de 2013. Para essa campanha, os procedimentos de obtenção dos dados foram utilizados a mesma metodologia da primeira. Foram identificadas as trajetórias de órbita do CALIPSO com a obtenção das imagens do CALIOP (Figura 10) do período de dezembro de 2012 a fevereiro de 2013, retiradas do site da Universidade Lille (CNRS, 2013) têm-se as coordenadas geográficas, possibilitando a criação de um *overlay* da trajetória do CALIPSO que será utilizado para a análise das imagens utilizando o software IRIS.

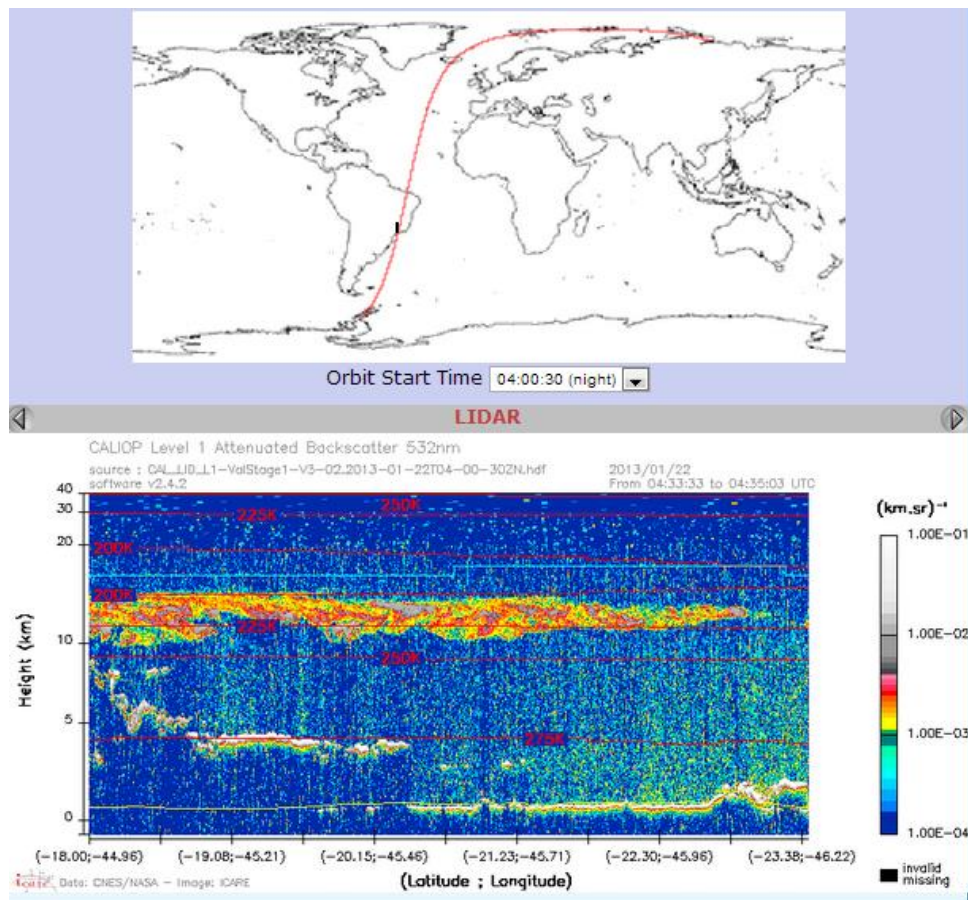


Figura 10: Trajetórias de órbita do CALIPSO com a obtenção das imagens do CALIOP – 22/01/2013. Fonte: ICARE - <http://www.icare.univ-lille1.fr/calipso/browse/>

Através das coordenadas foram gerados arquivos “*overpass*” no software do Google Earth, em formato kml (Figura 11) para melhor visualização e escolha dos dias que a órbita passa no alcance dos radares. Cada *overpass* tem seção de 610km em 1 minuto e 30 segundos.

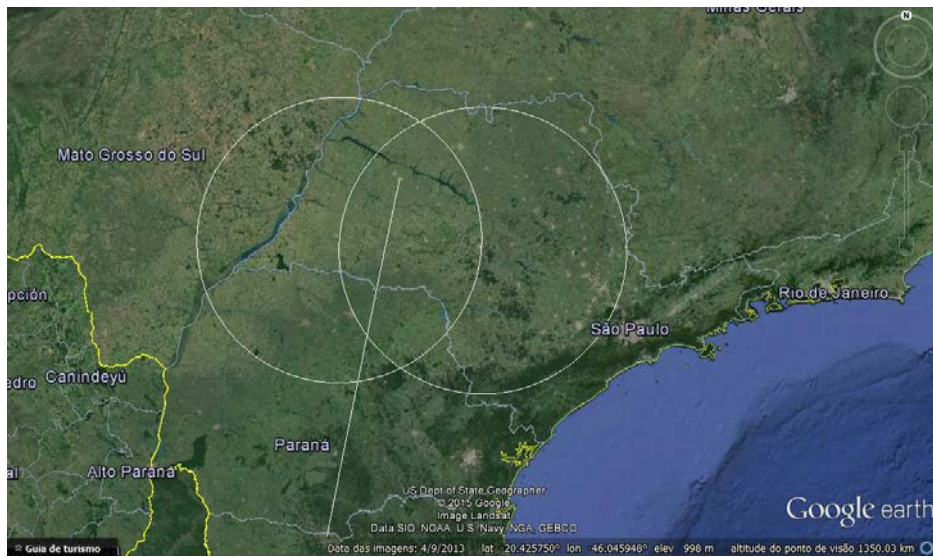


Figura 11: Raios (240 km) dos radares de BRU e PP e “overpass” no software do Google Earth – 22/01/2013.

Fonte: O autor

Após a obtenção de todos os dados brutos durante o *overpass* do satélite dentro da área de alcance dos radares, foram gerados CAPPIs 3,5 km com intervalos de 7,5 minutos e valores de refletividade com limiar variando de -6 dBZ à 54 dBZ e CAPPIs de TOPO até 20 km de altitude, o cursor “+” vai identificar o pixel em que vai ser realizado a medida através das ferramentas disponíveis do software, como as informações geradas na janela sobre a imagem (Figura 12). Os dados utilizados foram gerados pelos radares de Bauru e Presidente Prudente.

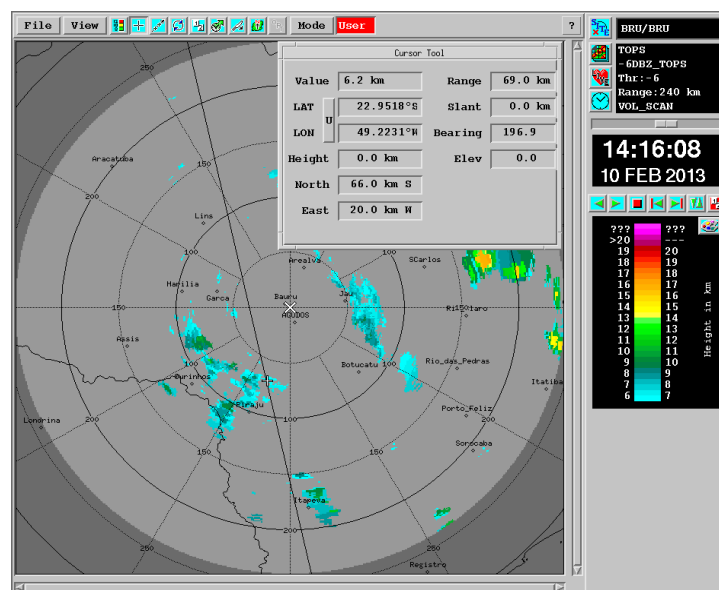


Figura 12: TOPOs dos ecos até 20 km de altitude – 10 de fevereiro de 2013.

Fonte: O autor

5 – PROCESSAMENTO DOS DADOS

5.1 Processamento de dados do RADAR

Para o processamento dos dados, foram obtidos os dados brutos do Radar, gravados no CDs. Os dados são copiados na máquina PC-Iris, através da ferramenta “*archive menu*” (Figura 13).

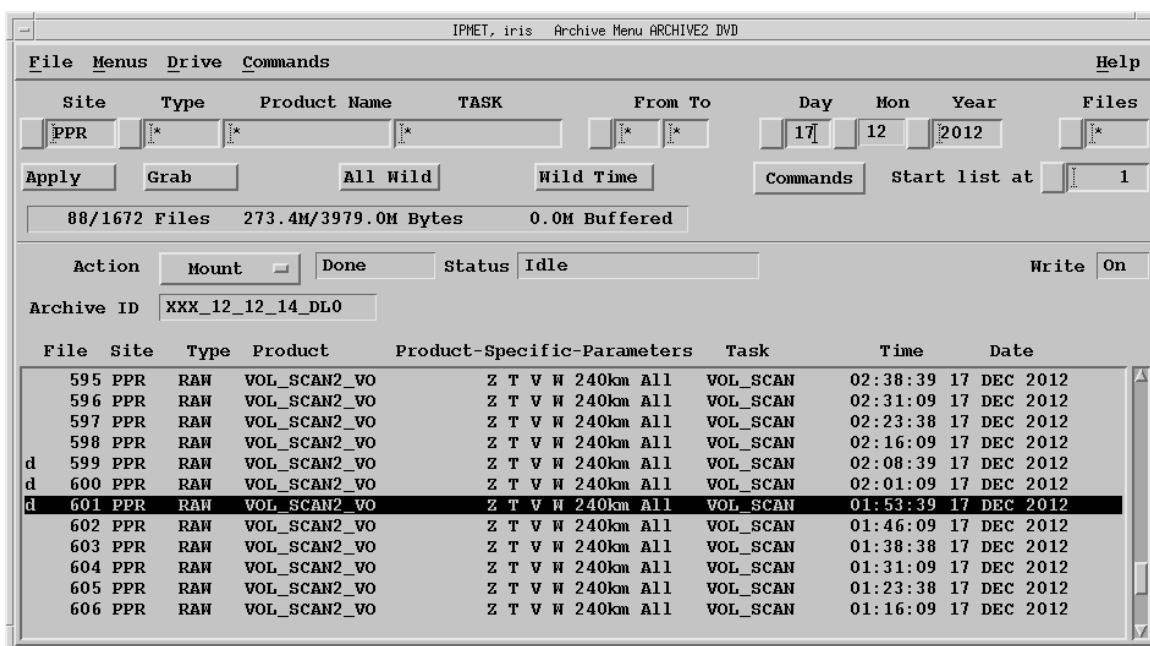


Figura 13: Ferramenta Archive Menu – IRIS.

Fonte: O autor

O dado localizado no “*archive menu*” é necessário transferir para a Ferramenta “*ingest*” (Figura 14) onde vai estar disponível para o processamento e configuração dos produtos.

Tag	Site	TASK Name	Scan Range	Data	Sweeps	Start Time	Size
	BRU	VOL_SCAN	PPIF 240.0	Z T V W	16	16:31:08 7 SEP 2014	16.9 M
	BRU	VOL_SCAN	PPIF 240.0	Z T V W	16	16:23:38 7 SEP 2014	16.9 M
	BRU	VOL_SCAN	PPIF 240.0	Z T V W	16	16:16:09 7 SEP 2014	16.9 M
	BRU	VOL_SCAN	PPIF 240.0	Z T V W	16	16:08:39 7 SEP 2014	16.9 M
	BRU	VOL_SCAN	PPIF 240.0	Z T V W	16	16:01:08 7 SEP 2014	16.9 M
	BRU	VOL_SCAN	PPIF 240.0	Z T V W	16	15:53:38 7 SEP 2014	16.9 M
	PPR	VOL_SCAN	PPIF 240.0	Z T V W	16	14:23:38 31 DEC 2012	14.5 M
	PPR	VOL_SCAN	PPIF 240.0	Z T V W	16	01:53:39 17 DEC 2012	14.5 M
K	BRU	VOL_SCAN	PPIF 240.0	Z V W	12	17:47:00 22 APR 1993	2.2 M
K	BRU	VOL_SCAN	PPIF 240.0	Z V W	12	17:32:00 22 APR 1993	2.2 M
K	BRU	VOL_SCAN	PPIF 240.0	Z V W	12	17:17:00 22 APR 1993	2.2 M

Figura 14: Ferramenta Ingest Summary – IRIS.
Fonte: O autor

Após confirmação dos arquivos na ferramenta “*ingest*”, foi realizado a criação dos produtos “CAPPI” e “TOPS” na ferramenta “*scheduler*” (Figura 15).

Site	Product	Data	TASK	Next-Data-Time	Skip	Rqst	Status	Runs
	BASE	--Products--						
	BEAM	--Products--						
	CAPPI	--Products--						
PPR	CAPPI	CAPPI Z 35	dBZ VOL_SCAN	01:53 17 DEC 2012	00:00		Stop Wait	1
	FCAST	--Products--						
	HMAX	--Products--						
	MAX	--Products--						
	PPI	--Products--						
	RAIN1	--Products--						
	RAINN	--Products--						
	RAW	--Products--						
	RHI	--Products--						
	RTI	--Products--						
	SRI	--Products--						
	TOPS	--Products--						
PPR	TOPS	-6DBZ_TOPS	Height VOL_SCAN	01:53 17 DEC 2012	00:00		Stop Wait	1
	TRACK	--Products--						
	VIL	--Products--						
	VVP	--Products--						
	WARN	--Products--						
	WIND	--Products--						
	XSECT	--Products--						

Figura15: Ferramenta Scheduler – IRIS.
Fonte: O autor

A configuração feita através da ferramenta *Scheduler* do produto CAPPI 3,5 km, 16 elevações de 0,3° a 45° e alcance de 240 km (Figura 16).

Figura 16: Configuração produto CAPPI 3,5 km – Scheduler – IRIS.
Fonte: O autor

A configuração do produto *TOPS* contém 16 elevações de 0,3° a 45° e alcance de 240 km feita através da ferramenta *Scheduler* com 0 a 25,3 km de altura (Figura 17).

Figura 17: Configuração produto TOPS – Scheduler – IRIS.
Fonte: O autor

Após a configuração, o produto foi gerado a partir da data escolhida. Para visualizar os dados, entra na plataforma de visualização dos IRIS, e se busca o arquivo CAPPI ou TOP.

5.2 - Processamento de dados CALIOP

Os dados foram obtidos no site da NASA - *Earth Observing System Data and Information System* (EOSDIS). O processamento foi realizado no software Mathematica e a visualização dos dados numéricos no software HDFview. Na figura 18, o ponto central na latitude -21.93° , do dia 17 de dezembro de 2012, extensão de 10 km, 5 km para cada lado do ponto central.

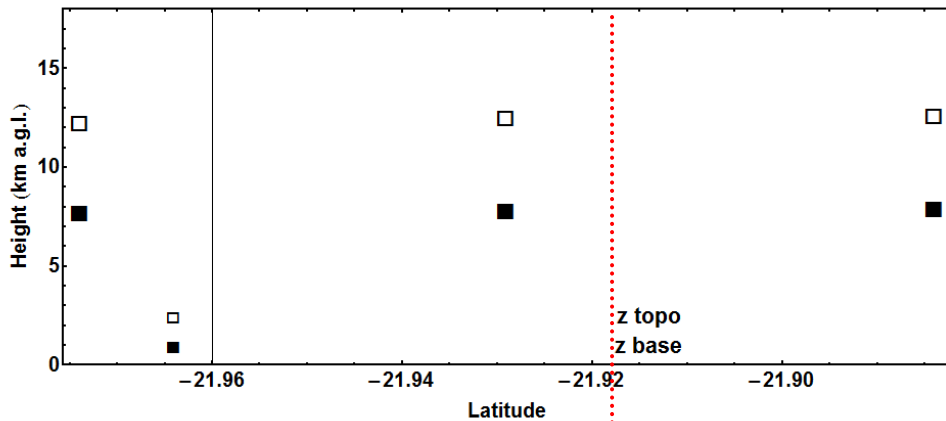


Figura 18: 5 km de extensão a partir do ponto central (linha vermelha) para cada lado, latitude -21.93° .
Fonte: O autor

Resultado do mesmo produto bruto do CALIOP, configurado com uma extensão de 100 km centrados na latitude -21.93° (Figura 19)

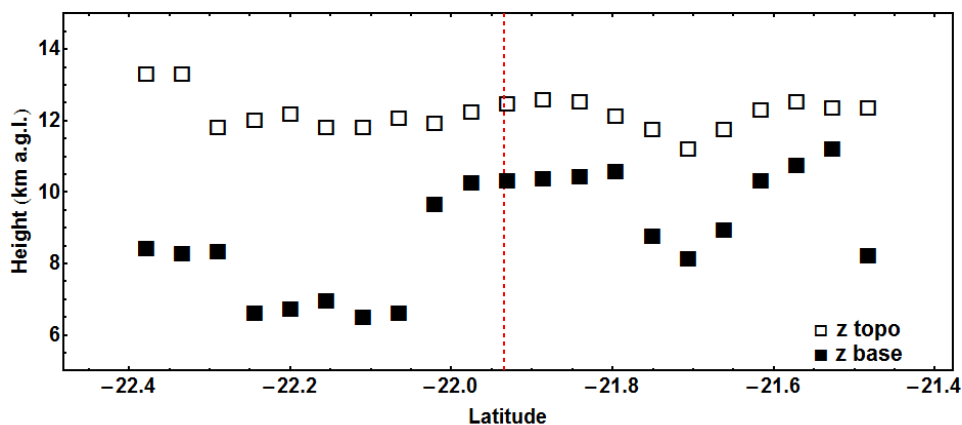


Figura 19: 50 km de extensão para cada lado a partir do ponto central (linha vermelha), latitude -21.93° .
Fonte: O autor

Os dias em que ocorreu passagem do CALIOP na área do Radar e chuva foram identificados no período de dezembro de 2010 a janeiro de 2011 e de dezembro de 2012 a fevereiro de 2013. Foram 18 passagens do satélite na 1ª campanha e 5 passagens na 2ª campanha em que a trajetória do CALIOP atravessou áreas de chuva observados pelos radares. Para análise foram baixados os dados brutos de CALIOP e visualizados no HDFview.

O *software* permitiu identificar cada célula de latitude e longitude do CALIOP (Figura 20), a célula 2124 é o ponto de referência obtido no Radar para comparação do dia 17 de dezembro de 2012.

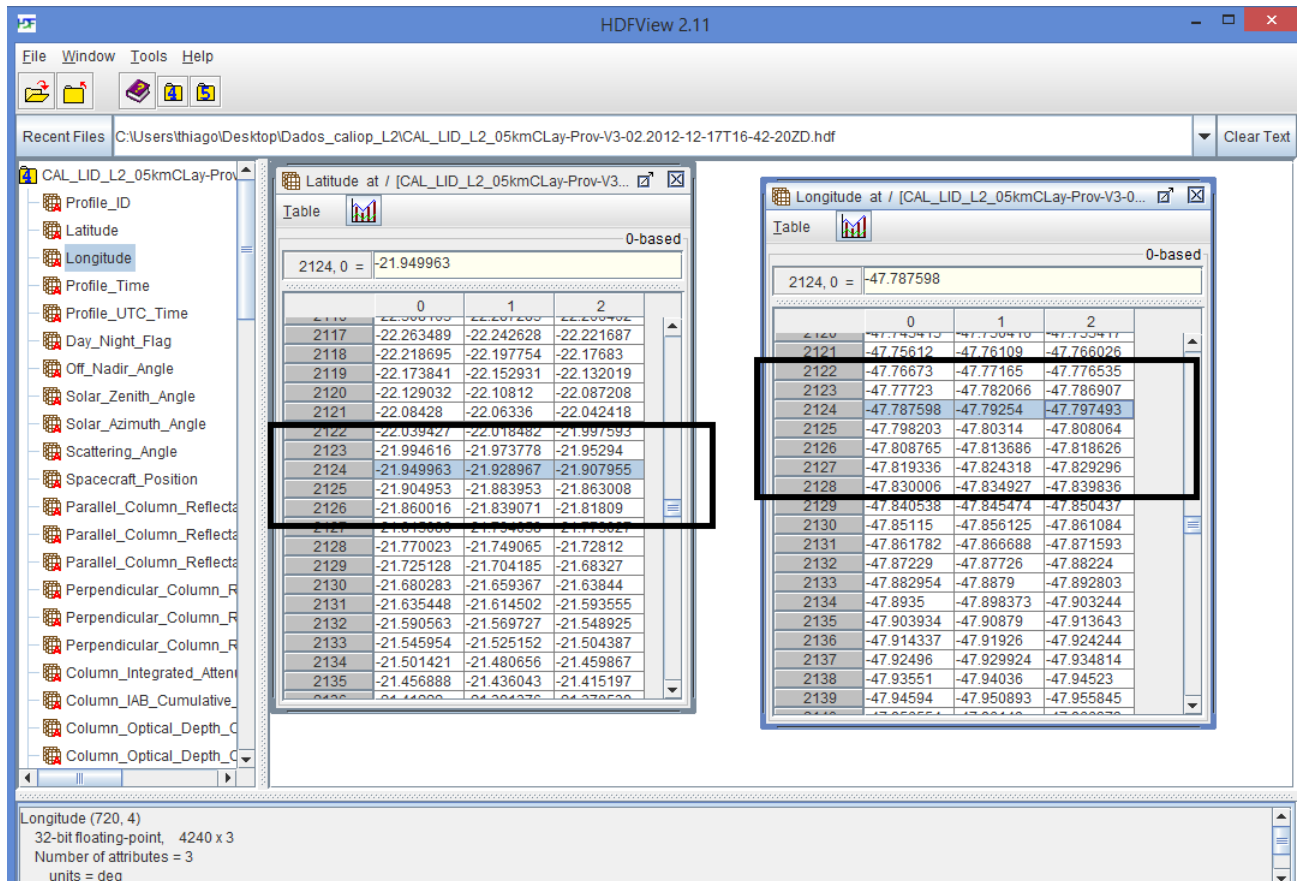


Figura 20: Latitude e longitude da célula 2124, software HDFview.
Fonte: O autor

Para obter o *layer* top de altitude do CALIOP, foi localizado a célula 2124. Essa identificação foi realizada para todos os dias de trajetória do CALIPSO. Uma tabela foi organizada para todos os dias, identificando através da latitude e longitude de cada dia. No radar foram gerados todos os dias em que houve trajetória do CALIOP em sua área de 240 km de raio, o produto de topo e CAPPI. Através desse produto foi obtida a latitude e longitude da célula de chuva identificada pelos dois sistemas, Radar e CALIOP. Para isso, foram gerados *overlays* da trajetória do CALIOP e inseridos no *software* do Radar (Figura 21).

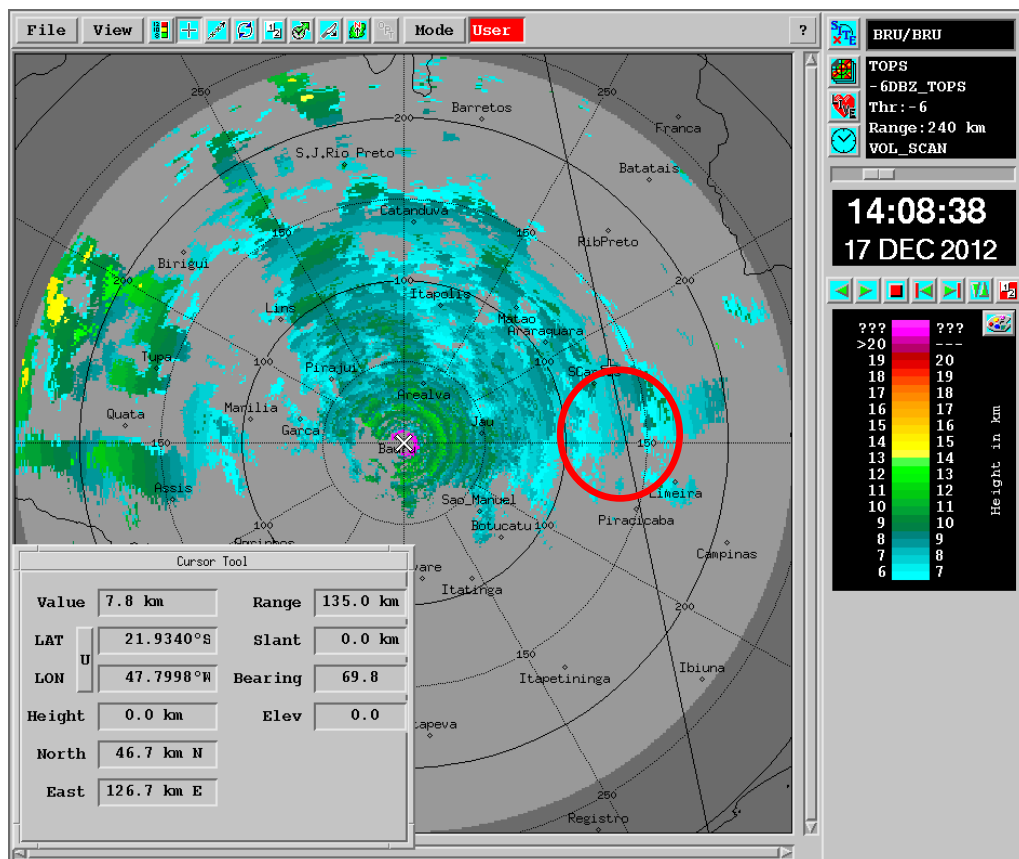


Figura 21: Produto de topo dos ecos do Radar, e overlay da trajetória do CALIOP – 17 de dezembro de 2012 – Informações da janela “Cursor Tool” retiradas do local do cursor “+”
Fonte: O autor

Todos os dias de trajetória do CALIOP foram processados, entretanto não foram todos que atravessaram a área de alcance do Radar. Os *overlays* foram gerados no *software* Google Earth para justificar confirmando a orbita do CALIOP (Figura 22).



Figura 22: Trajetória do CALIOP não passa na área do Radar.
 Fonte: O autor

Os dias em que houve trajetória do CALIOP na área do Radar, e não foram identificadas chuva, também foram processados (Figura 23).

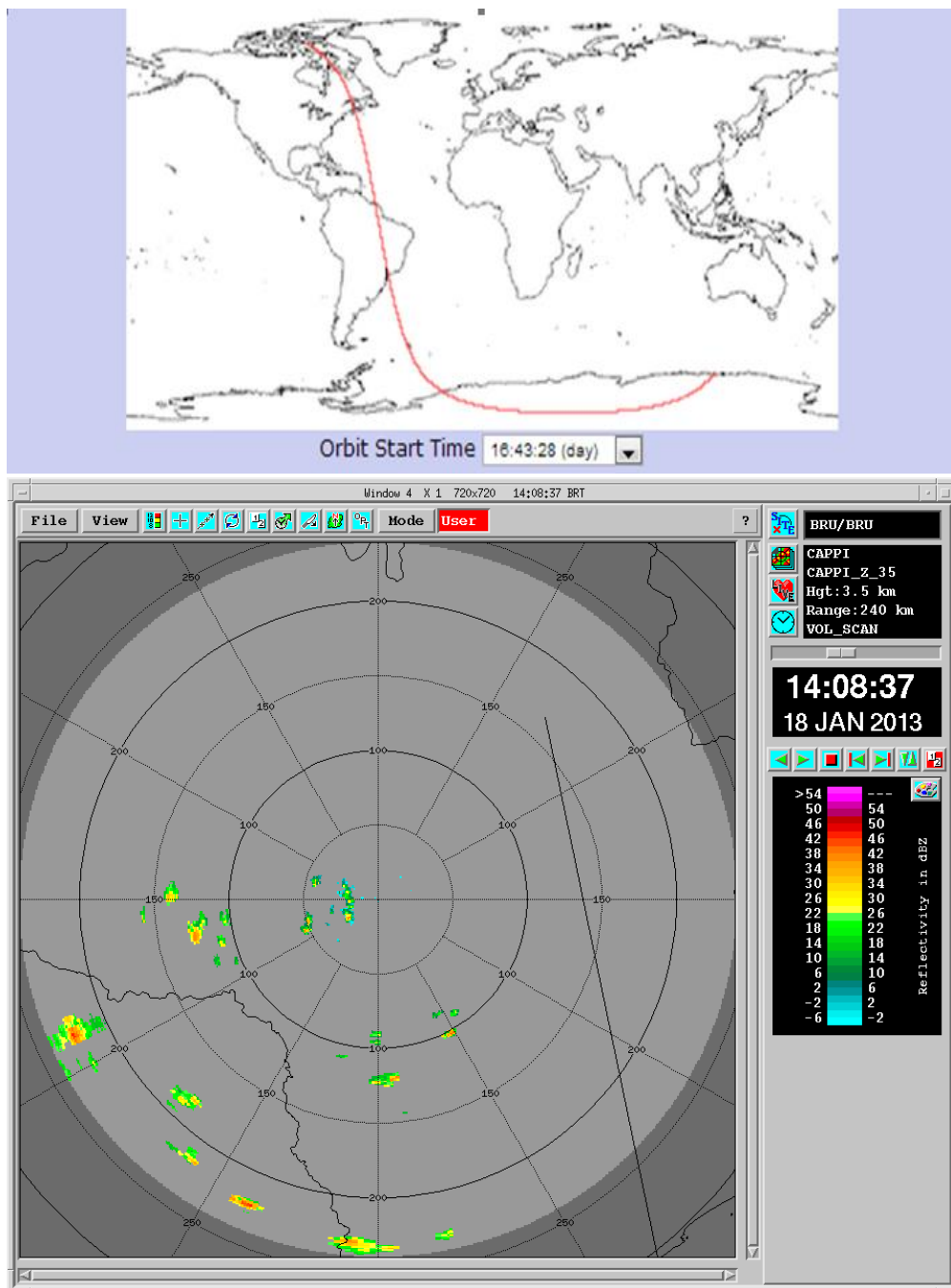


Figura 23: Sem ocorrência de chuva na trajetória do CALIOP.
 Fonte: O Autor

6. RESULTADOS

Nos primeiros testes foi utilizada a resolução disponível do LIDAR de 70 km sobre o trajeto, sendo 35 km para cada lado do overlay. Assim, a partir dos dados gerados no Radar, alguns deles não obtiveram a coordenada exata da passagem do CALIOP nesse período de tempo. Na imagem do dia 03 de dezembro de 2010, conseguiu-se um ponto de coordenada muito próximo entre Radar e CALIOP (Figura 24), O cursor identificado como um “+” é o local em que o software IRIS retira a informação, e o mesmo foi ajustado manualmente, buscando o melhor lugar para comparação. Na janela de informação sobre a imagem, é possível identificar as coordenadas e o valor do topo registrado.

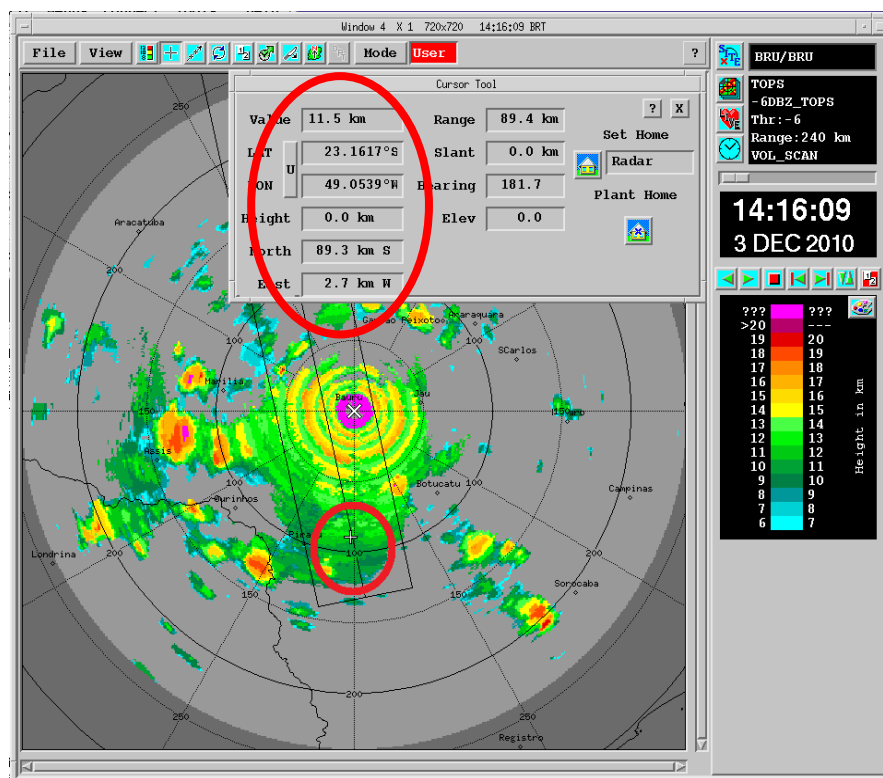


Figura 24: Janela “Cursor Tool” e Cursor “+” – Topo 11,5 km 3 de dezembro de 2010, 17:16UT
Fonte: O autor

A coordenada do CALIOP para essa mesma seção, foi localizada na latitude $-23,16^\circ$ e longitude $-49,03^\circ$, a célula de identificação do dado bruto 10349 (Figura 25).

The screenshot shows the HDFView 2.11 interface with three data tables displayed side-by-side. The tables are titled 'Latitude at / [CA...', 'Longitude at / [CA...', and 'Layer_Top_Altitud...'. Each table shows a grid of data points. A black rectangular box highlights a row in the 'Layer_Top_Altitude' table, specifically the row with latitude 10349 and longitude -49.036335, which has a top altitude of 15.665511 km.

Latitude	Longitude	Layer_Top_Altitude
10349, 0 = -23.165134	10349, 0 = -49.036335	10349, 0 = 15.665511
10338 -23.263668	10338 -49.01091	10340 15.36613
10339 -23.254684	10338 -49.013035	10341 15.605635
10340 -23.245703	10339 -49.015156	10342 15.545758
10341 -23.23674	10340 -49.01728	10343 15.485882
10342 -23.2278	10341 -49.019394	10344 15.36613
10343 -23.218859	10342 -49.021503	10345 15.725388
10344 -23.209917	10343 -49.02361	10346 15.665511
10345 -23.200977	10344 -49.02572	10347 15.84514
10346 -23.192036	10345 -49.027824	10348 15.785264
10347 -23.183094	10346 -49.02993	10349 15.665511
10348 -23.17412	10347 -49.03204	10350 15.605635
10349 -23.165134	10348 -49.03418	10351 15.605635
10350 -23.15615	10349 -49.036335	10352 15.605635
10351 -23.147165	10350 -49.038486	10353 15.605635
10352 -23.13818	10351 -49.040638	10354 15.84514
10353 -23.129196	10352 -49.04279	10355 15.84514
10354 -23.12025	10353 -49.04494	10356 15.84514
10355 -23.11139	10354 -49.0471	10357 15.84514
10356 -23.102457	10355 -49.049244	10358 15.84514
10357 -23.093525	10356 -49.0514	

Figura 25: Dado bruto de 3 de dezembro de 2010, no software HDFView – Latitude, Longitude e Altitude.

Fonte: o autor

O topo identificado pelo Radar foi de 11,5 km e o topo identificado pelo CALIOP de 15,66 km. O Radar identifica apenas o que considera como chuva, seguindo um parâmetro de configuração mínimo, e a partir do momento em que o Radar não registra mais esse requisito, deixa de considerar o objeto como chuva, mas sabe-se que ali existem nuvens e aerossóis podendo ter quilômetros de extensão, já o CALIOP identifica o objeto através do feixe de luz e tem por base para sua medida a refletividade registrada no equipamento após a passagem da mesma pelos aerossóis, essas formas distintas culminam na diferença observada. Essa diferença é de 4 km e é uma ótima medida para explicar os processos de identificação entre os topos de chuva, identificado pelo Radar e os topos de nuvem, identificado pelo CALIOP.

Para a mesma imagem do dia 03 de dezembro de 2010, foi realizado uma outra coleta de dados em um ponto diferente (Figura 26). O cursor “+” se localiza a uma distância visível da trajetória da orbita. A coordenada identificada pelo Radar e o topo pode ser visualizado na janela de informação.

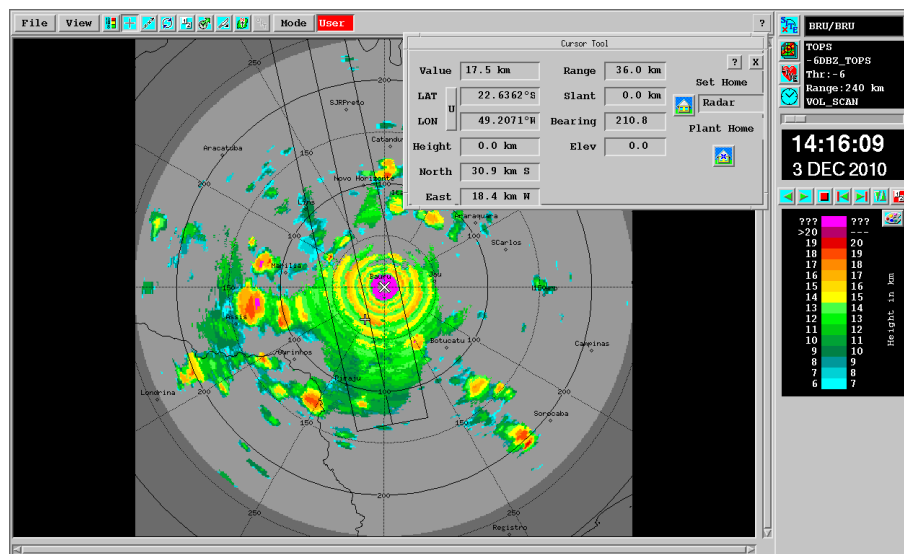


Figura 26: Topo do Radar e overlay da trajetória do CALIOP – 03 de dezembro de 2010, 17h16UT.
Fonte: O autor

A coordenada mais próxima do CALIPSO foi identificada a célula 10408 (Figura 27), através da latitude do Radar $-22,6362^\circ$ e do CALIOP $-22,6367^\circ$. A longitude ficou distante prejudicando a análise dessa passagem, Radar $-49,2071^\circ$ e CALIOP $-49,1625^\circ$. O topo registrado no Radar foi de 17,5 km e no CALIOP de 15,54. Na figura 26 é visível notar a distância entre o overlay da trajetória do CALIPSO e o cursor “+” do Radar.

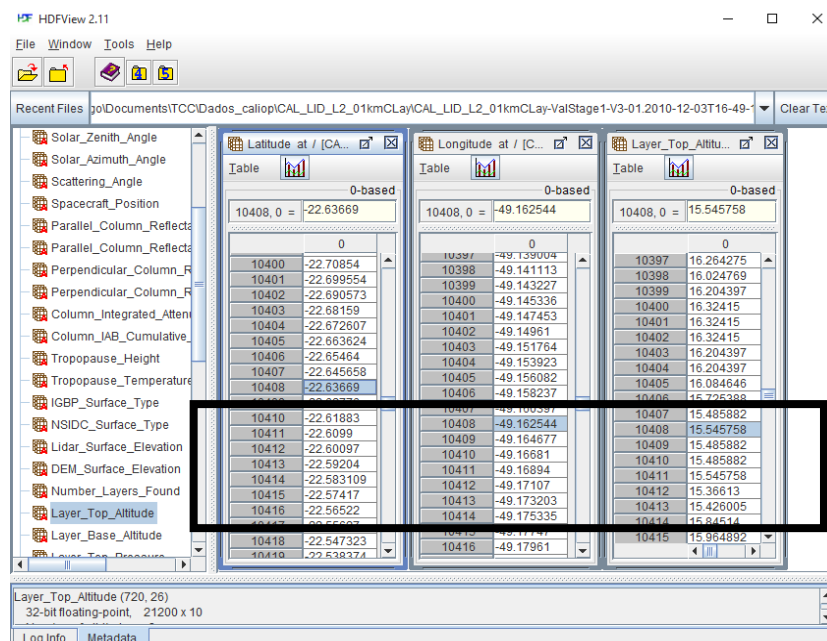


Figura 27: Dados CALIOP de 3 de dezembro de 2010 no software HDFView, Latitude, Longitude e Altitude.
Fonte: O autor

Para a passagem do dia 12 de dezembro de 2010, o Radar identificou um núcleo de chuva na trajetória do overlay, encontrando um ponto de coordenada muito próximo entre o Radar e CALIOP (Figura 28).

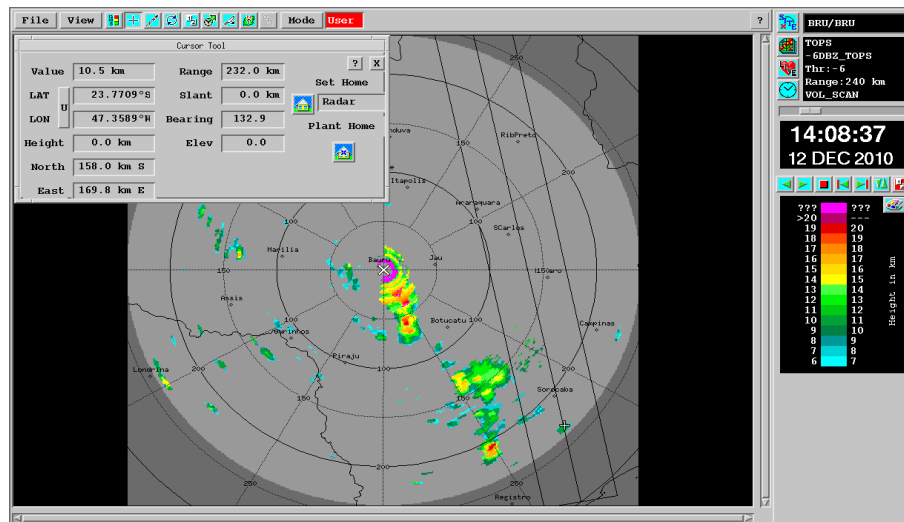


Figura 28: Topo do Radar, e overlay da trajetória do CALIOP – 12 de dezembro de 2010, 17h08UT
Fonte: O autor

A passagem do CALIOP foi muito satisfatória, sendo um ponto de coordenada muito próxima da medida no Radar. As latitudes do Radar e CALIOP respectivamente foram -23,7709° e -23,7700° e longitudes de -47,3589° e -47,3695°. A Célula de identificação do CALIOP 10392 (Figura 29). O topo identificado no CALIOP foi de 16,86 km e no Radar de 10,5 km. Um ponto de coordenada muito próximo, sendo um ótimo dia para fins de comparação.

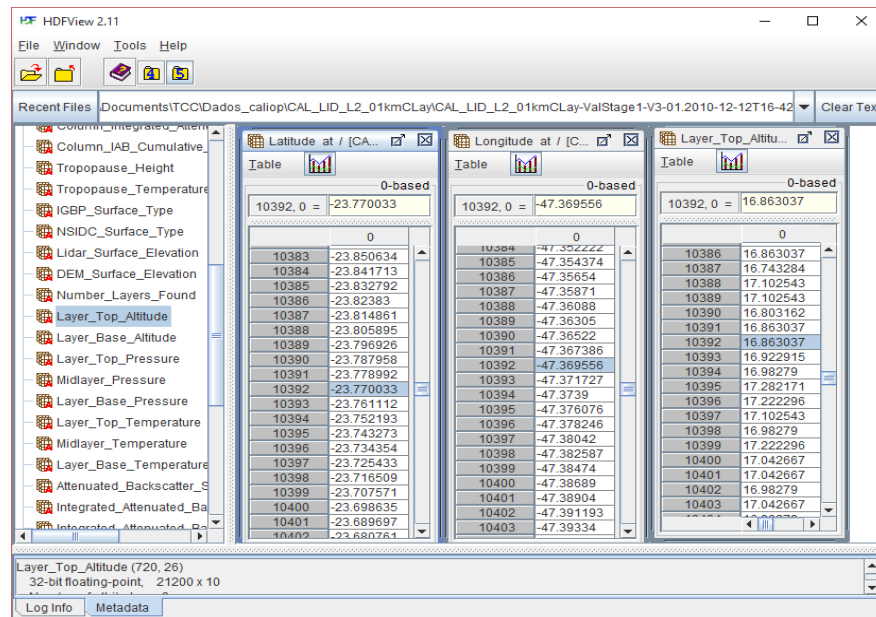


Figura 29: Dados CALIOP de 12 de dezembro de 2010, Latitude, Longitude e Altitude.
Fonte: O autor

Figura 30, uma imagem de satélite GOES (T_Realce) para ver a temperatura máxima da célula de nuvem e relacionar com o topo identificado pelo CALIOP.

O CALIOP pode ter identificado pequenas áreas de nuvens cirrus acima do núcleo de chuva. Aproximadamente a célula identifica entre -50° e -60°C , a essa temperatura as nuvens estão a uma altitude de 12,0 – 13,5 km bem abaixo da tropopausa (17,5 km).

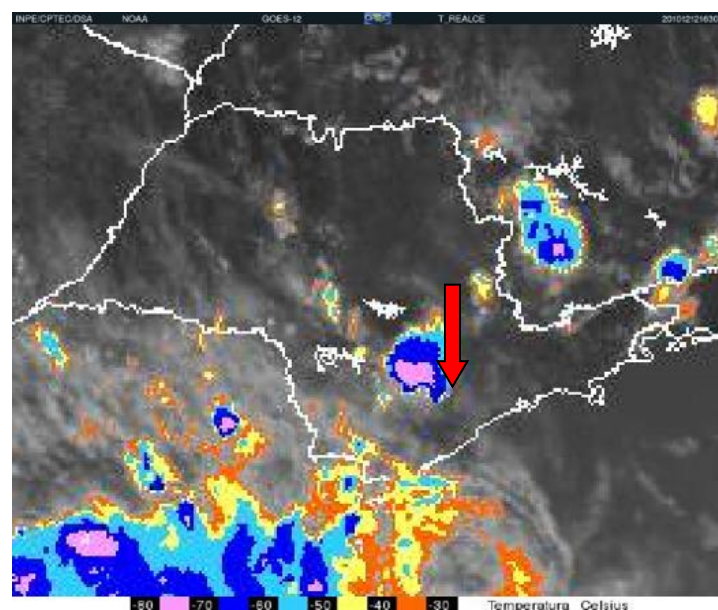


Figura 30: Imagem de Satélite GOES (T_Realce) do dia 12 de dezembro de 2010, 16:30 UT. A seta indica a célula entre -50° e -60°C
Fonte: adaptado de CPTEC/DSA, 2010.

A imagem do dia 26 de dezembro de 2010 (Figura 31), identifica o ponto de intersecção entre os dois instrumentos. O topo identificado pelo Radar foi de 17,5 km na latitude $-22,3769^\circ$ e longitude $-50,7944^\circ$.

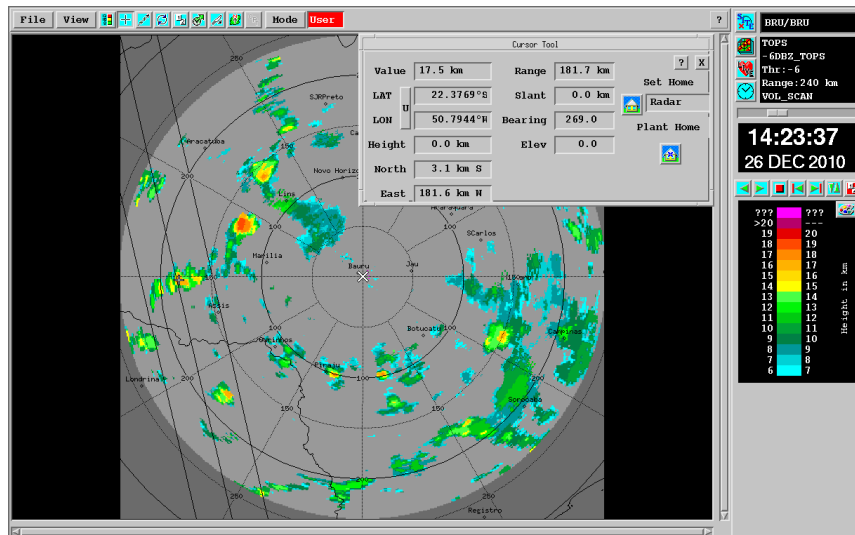


Figura 31: Topo do Radar e overlay da trajetória do CALIOP, 26 de dezembro de 2010, 17h23UT.
Fonte: O autor

Os dados do CALIOP (Figura 32) identificaram um topo de 14,04 km de altitude, latitude $-22,3749^\circ$ e longitude $-50,8084^\circ$.

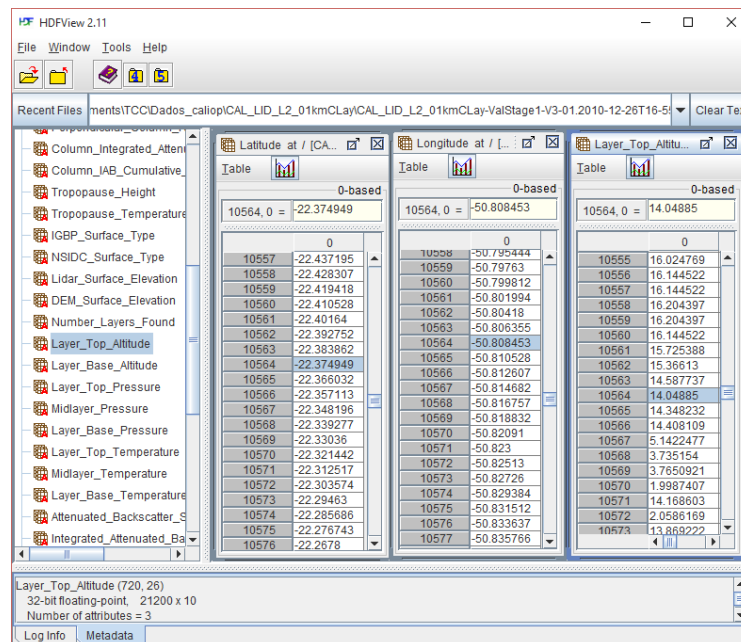


Figura 32: Dados CALIOP de 26 de dezembro de 2010, Latitude, Longitude e Altitude.
Fonte: O autor

Para entender como o Radar identificou um topo maior que o CALIOP, foram feitos cortes na imagem do topo (Figura 33).

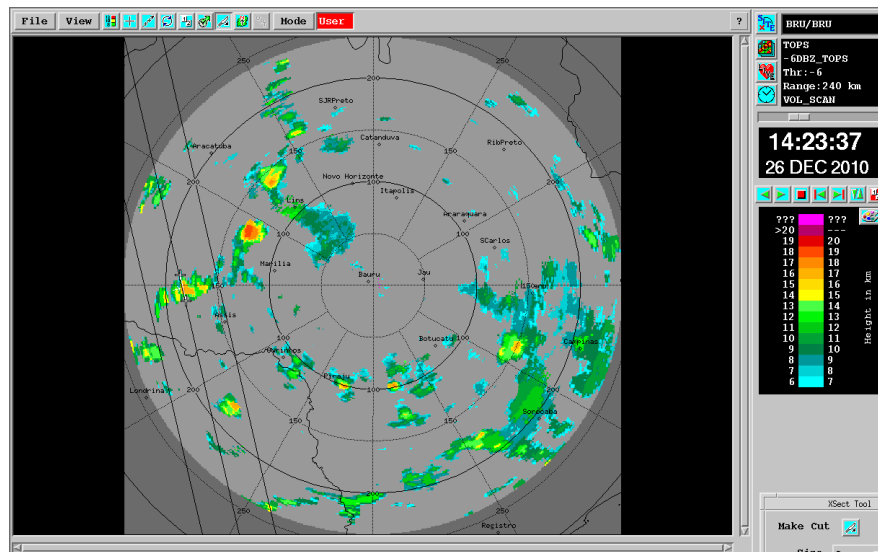


Figura 33: Seção de corte horizontal sobre trajetória do CALIOP – 26 de dezembro de 2010, 17h23UT.
Fonte: O autor

Esse corte resulta em uma imagem vertical da célula de chuva (Figura 34), ferramenta “*make cut*” do software *IRIS*.

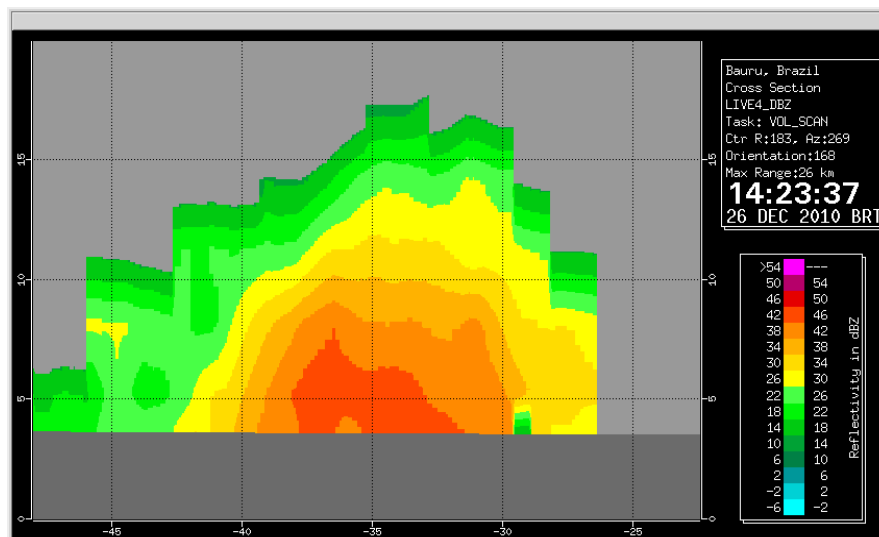


Figura 34: Seção de corte vertical da célula de chuva – 26 de dezembro de 2010.
Fonte: O autor

Na imagem de corte é possível identificar um topo acima de 15 km, e as suas áreas em volta podendo chegar até próximo de 5 km. Para tentar entender essa diferença pode-se levar em consideração a diferença de resolução de cada instrumento. O Radar possui uma

resolução de 250 m e o CALIOP de 1 km. Apesar de possuir os dados digitais do CALIOP, o local de intersecção dos instrumentos é próximo, mas não exato. E pela chuva não ser homogênea, a diferença de $0,01^\circ$ na longitude pode ter ocasionado essa alteração no resultado. Na figura 35, imagem de satélite GOES (T_Realce), demonstra a célula de chuva com temperatura entre -50° e -60°C , a esta temperatura a nuvem se localiza a aproximadamente de 12 a 13 km de altitude. O Radar pode ter encontrado um ponto de pico da chuva devido a sua alta resolução espacial.

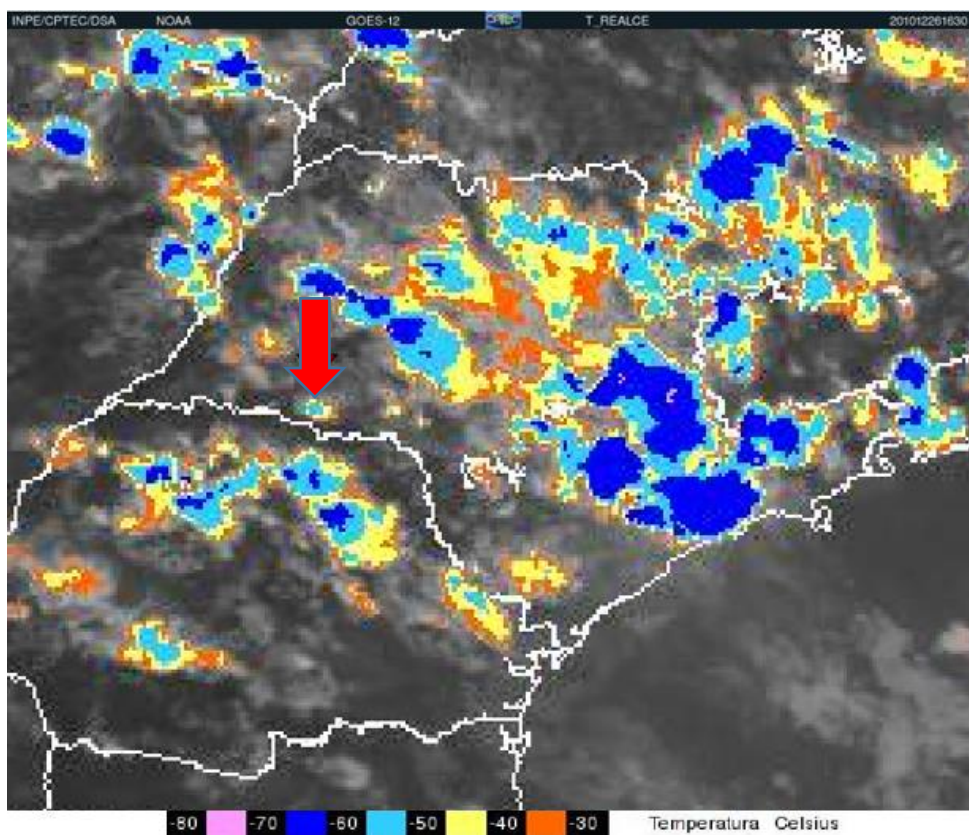


Figura 35: Imagem de Satélite GOES (T_Realce) do dia 26 de dezembro de 2010, 16:30 UT. A seta demonstra a célula de chuva com temperatura entre -50° a -60°C
 Fonte: adaptado de CPTEC/DSA, 2010.

Na imagem do dia 26 de dezembro de 2010, foi realizada uma segunda análise em outra célula de chuva na mesma trajetória do CALIPSO. Foi encontrado o topo de 13,5 km na latitude $-21,5502^\circ$ longitude $-50,9789^\circ$ (Figura 36). Nessa imagem, é possível visualizar que o ponto de intersecção não está próximo do *overlay* do satélite.

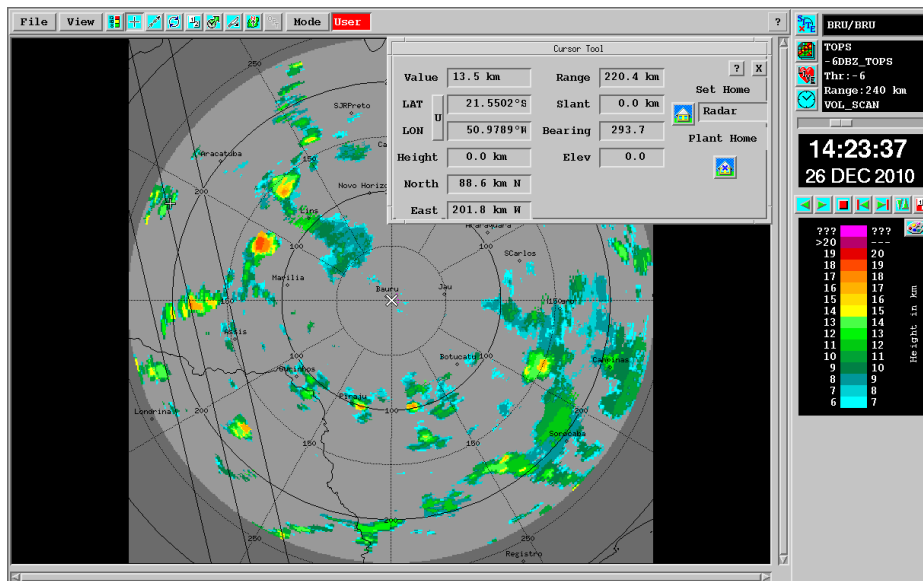


Figura 36: Topo dos ecos do Radar e overlay da trajetória do CALIOP, 26 de dezembro de 2010, 17h23UT

Fonte: O autor

O valor mais próximo que o CALIOP identificou para essa coordenada foi de topo 13,92 km, célula 10655 no HDFView latitude $-21,5604^\circ$ e longitude $-51,0009^\circ$ (Figura 37).

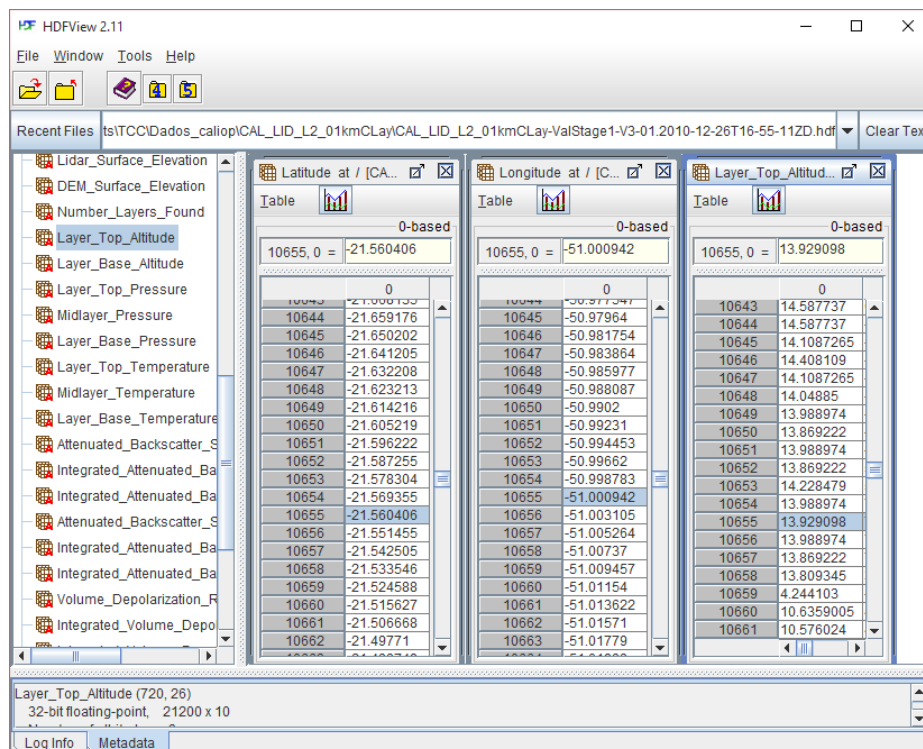


Figura 37: Dados CALIOP de 26 de dezembro de 2010, Latitude, Longitude e Altitude.

Fonte: O autor

A imagem do dia 11 de janeiro de 2011 (Figura 38), identificou um núcleo de chuva na coordenada latitude $-22,5709^\circ$ e longitude $-50,7631^\circ$, um topo de 10,5 km. O ponto de intersecção está próximo a trajetória do satélite.

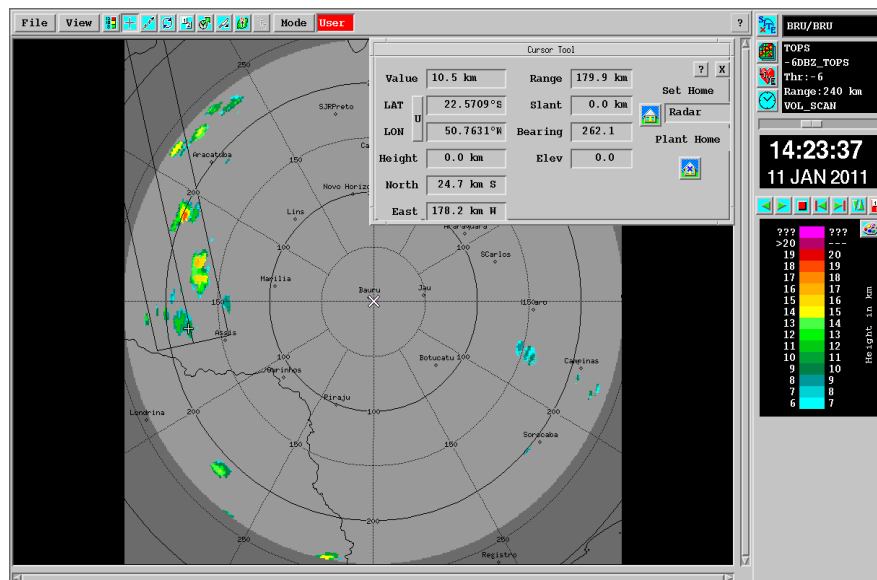


Figura 38: Topo dos ecos do Radar e overlay da trajetória do CALIOP, 11 de janeiro de 2011, 14h23UT.

Fonte: O autor

O CALIOP identificou para essa área, a célula mais próxima 10328 (Figura 39), com latitude $-22,5799^\circ$, longitude $-50,7460^\circ$ e topo de 12,67 km.

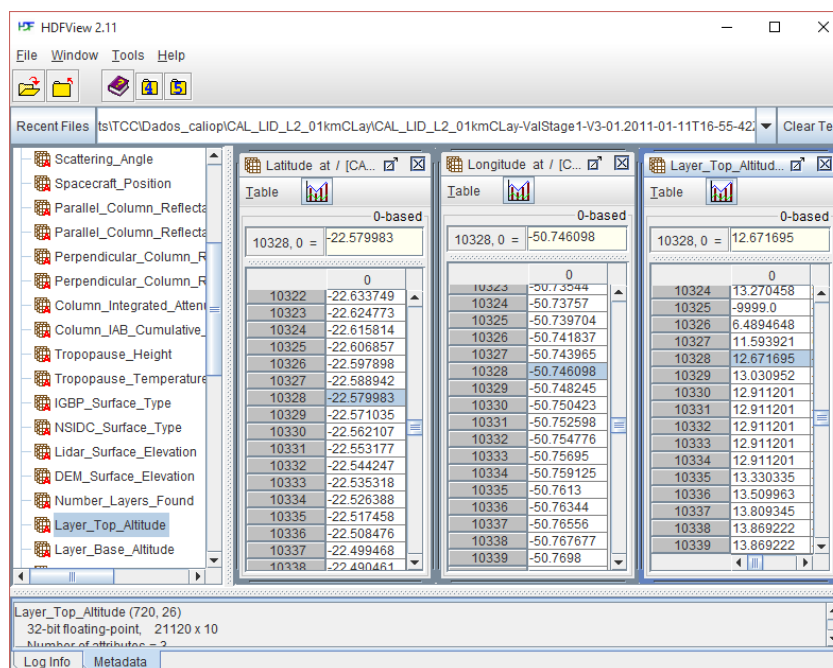


Figura 39: Dados CALIOP de 11 de janeiro de 2011, Latitude, Longitude e Altitude.

Fonte: O autor

Essa diferença de longitude pode invalidar a análise, para ver a oscilação do topo foi realizado um corte vertical nesse núcleo de chuva no Radar (Figura 40). O corte feito pela ferramenta “*make cut*”, e permitiu visualizar a chuva na mesma posição em que percorre a trajetória do satélite.

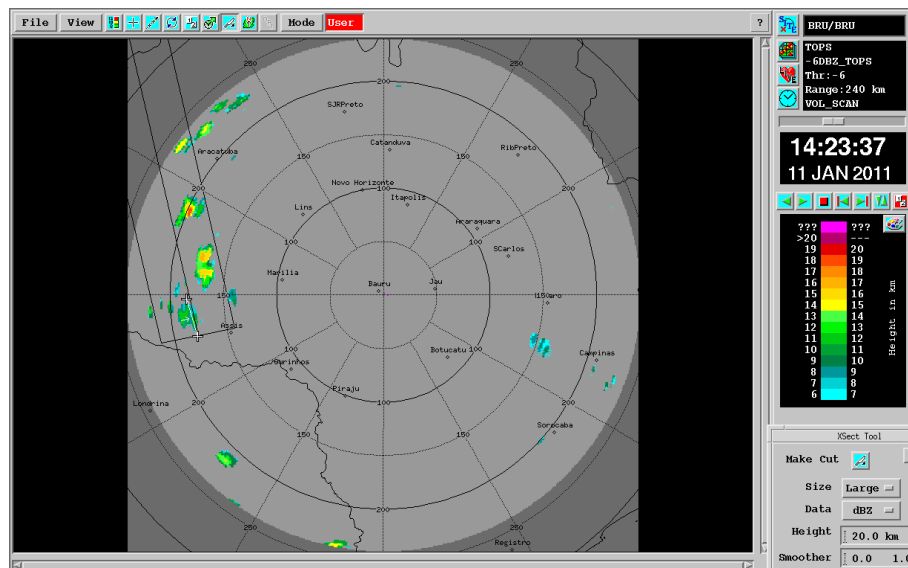


Figura 40: Seção de corte horizontal sobre trajetória do CALIOP – 11 de janeiro de 2011.
Fonte: O autor

O resultado do corte vertical (Figura 41) mostra um topo acima de 10 km. Isso demonstra que o topo da chuva se manteve acima dos 10 km próximos da área em que foram retirados os dados para comparação com o CALIOP.

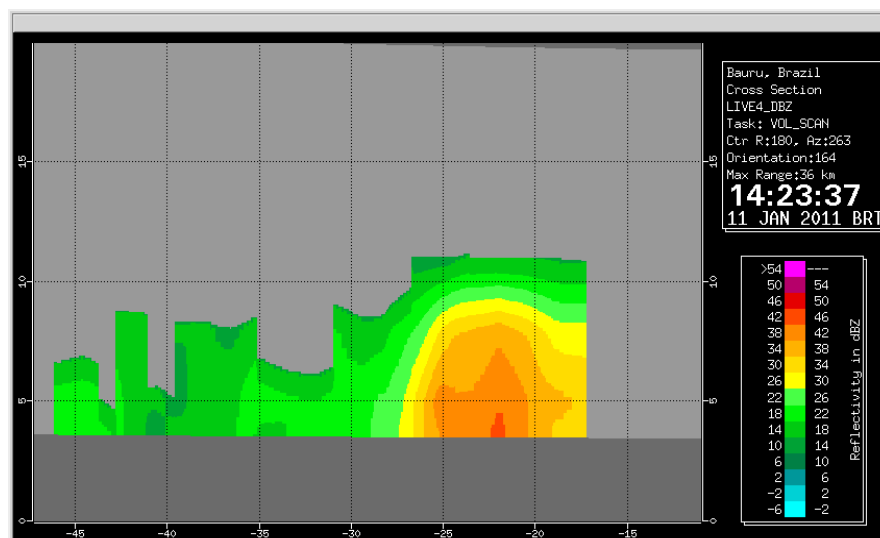


Figura 41: Seção de corte vertical da célula de chuva – 11 de janeiro de 2011.
Fonte: O autor

Na figura 42, imagem de satélite GOES (T_Realce), demonstra a célula de chuva com temperatura entre -40° e -50°C , a esta temperatura a nuvem se localiza a aproximadamente 12 km de altitude.

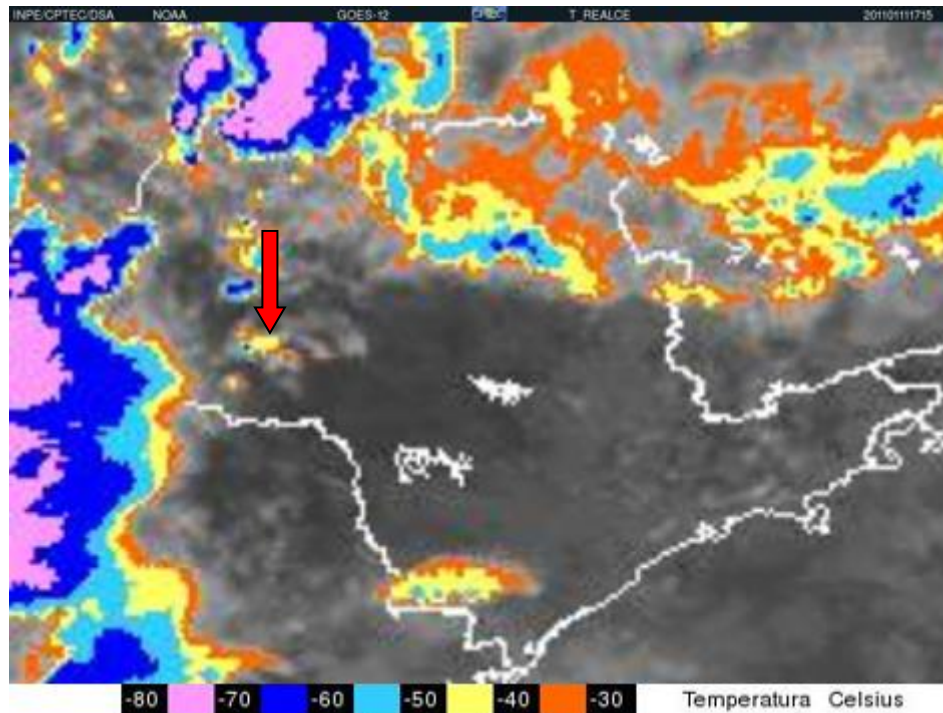


Figura 42: Imagem de Satélite GOES (T_Realce) dia 11 de janeiro de 2011, 17:15 UT. A seta indica a célula de chuva com temperatura entre -40° e -50°C .
Fonte: adaptado de CPTEC/DSA, 2010.

A imagem do dia 22 de janeiro de 2011, um grande núcleo de chuva foi identificado no Radar (Figura 43). O processamento dos dados foi realizado e o ponto de intersecção ficou próximo do *overlay* do satélite. O topo identificado nas coordenadas, latitude $-21,1013^{\circ}$ e longitude $-50,2430^{\circ}$, foi de 11,5 km.

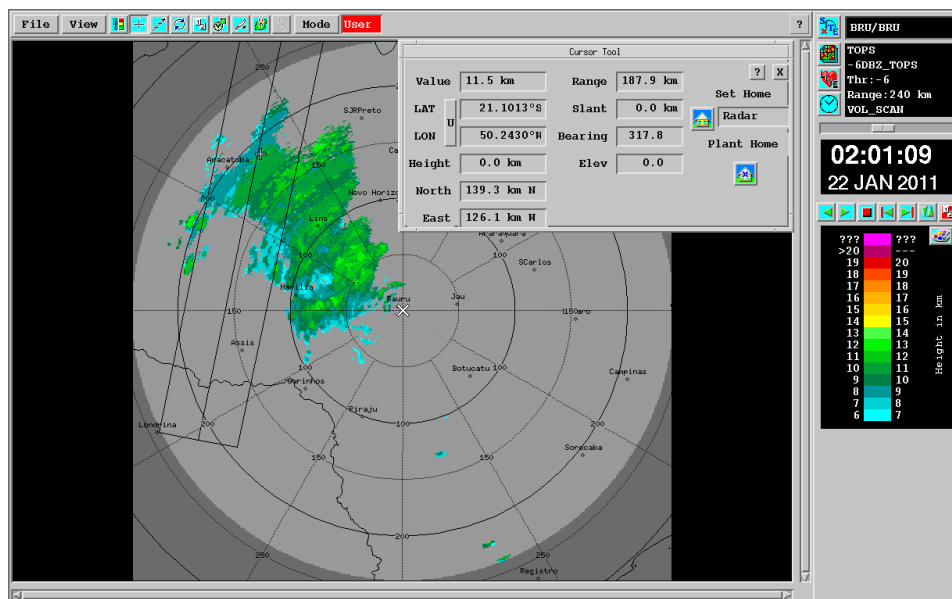


Figura 43: Topo do Radar e overlay da trajetória do CALIOP – 22 de janeiro de 2011, 03h01UT.
Fonte: O autor

O CALIOP identificou a coordenada mais próxima desse ponto do Radar, a célula 13686 (Figura 44), o topo de 14,89 km, latitude $-21,1024^\circ$ longitude $-50,2743^\circ$.

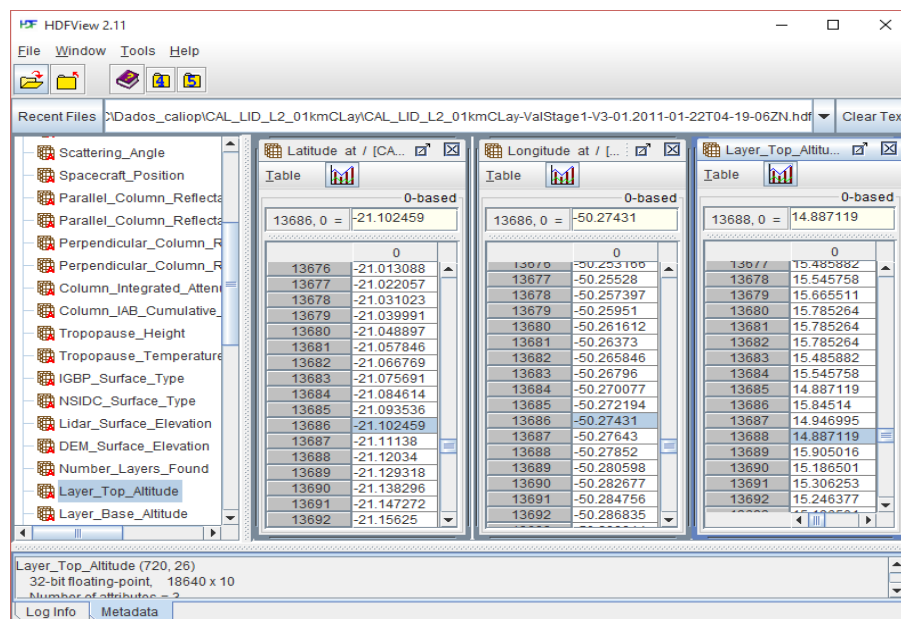


Figura 44: Dados CALIOP de 22 de janeiro de 2011, Latitude, Longitude e Altitude.
Fonte: O autor

Para visualizar a oscilação do nível do topo, foi realizado o corte vertical dessa chuva (Figura 45).

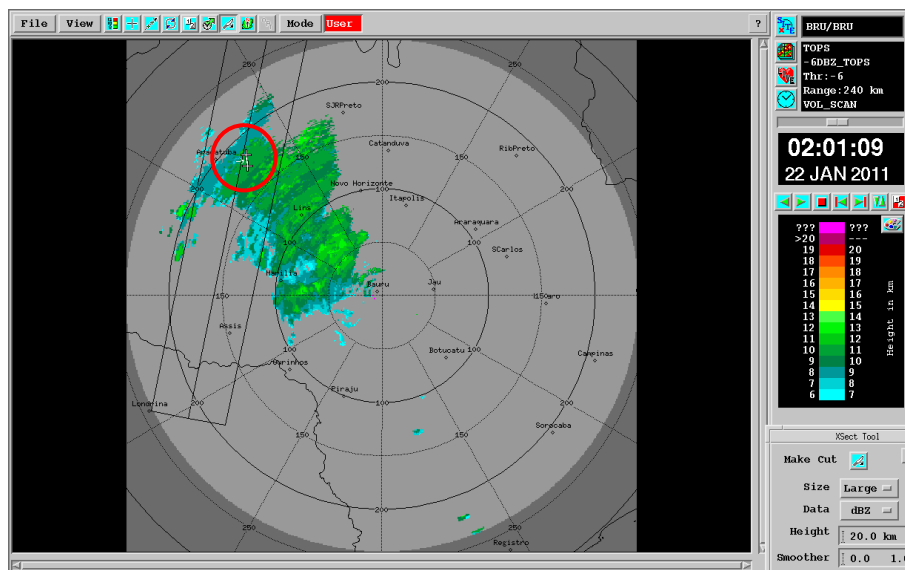


Figura 45: Seção de corte horizontal sobre trajetória do CALIOP, 22 de janeiro de 2011.
Fonte: O autor

O resultado (Figura 46) do corte mostra um nível de topo em que se mantêm entre 8 e 10km. Assim mesmo que exista uma distância de $0,03^\circ$, entre as longitudes na comparação, a chuva se manteve homogênea.

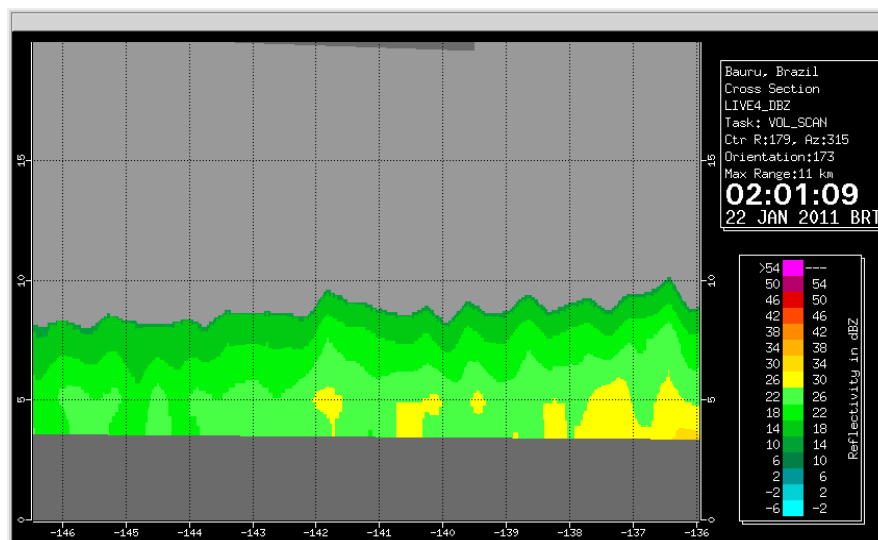


Figura 46: Seção de corte vertical da célula de chuva – 22 de janeiro de 2011.
Fonte: O autor

Para a mesma imagem, foi obtido um ponto de coordenada diferente (Figura 47), o ponto de intersecção foi colocado na coordenada $(-21,4691^\circ, -50,3484^\circ)$, e um topo de 10,5 km, próximo a trajetória do satélite.

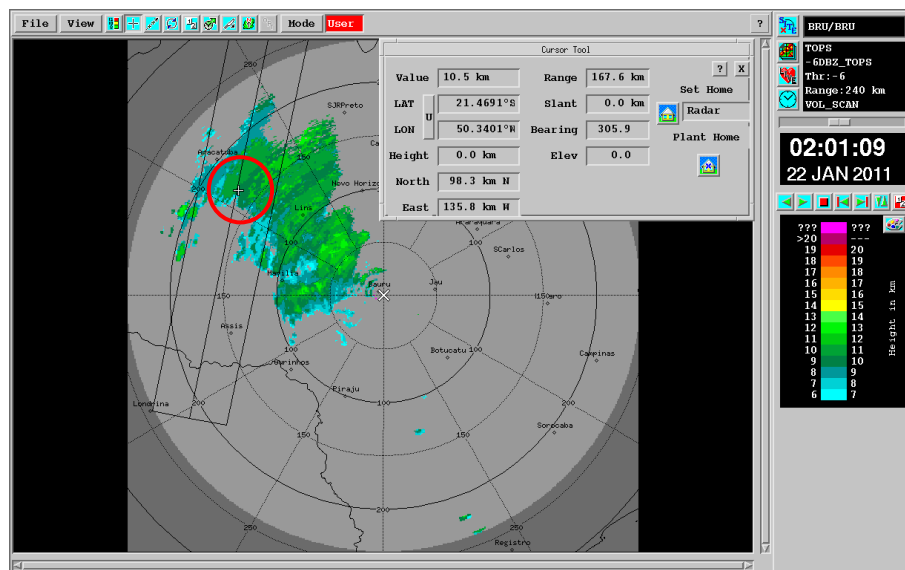


Figura 47: Topo dos ecos do Radar e overlay da trajetória do CALIOP – 22 de janeiro de 2011
Fonte: O autor

O CALIOP identificou a coordenada mais próxima desse ponto do Radar, na célula 13726 (Figura 48), o topo de 15,36 km, com latitude $-21,4612^\circ$ e longitude $-50,3584^\circ$.

The screenshot shows the HDFView 2.11 software interface. It displays three data tables for cell 13726, showing Latitude, Longitude, and Layer_Top_Altitude data. The altitude value is highlighted as 15.36613 km.

Latitude at / [CA...]	Longitude at / [C...]	Layer_Top_Altitu...
13726, 0 = -21.461256	13726, 0 = -50.35844	13726, 0 = 15.36613
13712 -21.335482	13711 -50.326767	13710 15.126624
13713 -21.344442	13712 -50.32889	13711 15.126624
13714 -21.35342	13713 -50.33102	13712 15.186501
13715 -21.36241	13714 -50.33315	13713 15.246377
13716 -21.371399	13715 -50.33528	13714 15.246377
13717 -21.380388	13716 -50.337414	13715 15.36613
13718 -21.389376	13717 -50.339546	13716 15.36613
13719 -21.398365	13718 -50.34168	13717 15.306253
13720 -21.407354	13719 -50.34381	13718 15.246377
13721 -21.416342	13720 -50.345943	13719 15.36613
13722 -21.425325	13721 -50.34807	13720 15.246377
13723 -21.434307	13722 -50.350143	13721 15.246377
13724 -21.44329	13723 -50.35222	13722 15.306253
13725 -21.452274	13724 -50.35429	13723 15.306253
13726 -21.461256	13725 -50.356365	13724 15.306253
13727 -21.47024	13726 -50.35844	13725 15.36613
13728 -21.479246	13727 -50.36051	13726 15.36613
13729 -21.488289	13728 -50.362606	13727 15.36613
13730 -21.497332	13729 -50.36474	13728 15.426005
13731 -21.506374	13730 -50.366867	13729 15.426005
13732 -21.515415	13731 -50.368996	13730 15.426005
13733 -21.524458	13732 -50.371128	13731 15.006871
13734 -21.533468	13733 -50.373257	

Figura 48: Dados CALIOP de 22 de janeiro de 2011, Latitude, Longitude e Altitude.
Fonte: O autor

A imagem do dia 24 de janeiro de 2011 (Figura 49) identifica um núcleo de chuva na coordenada latitude $-21,4328^\circ$ e longitude $-47,1856^\circ$, um topo de 9,5 km. No ponto de intersecção entre o CALIOP e o Radar é possível ver uma distância da trajetória. Essa análise não foi utilizada para a comparação entre os sensores.

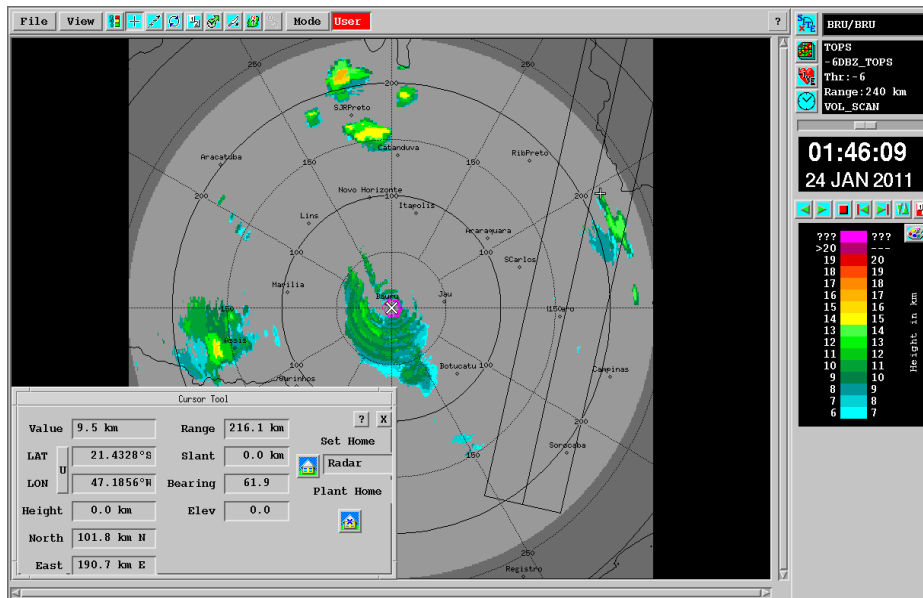


Figura 49: Topo dos ecos do Radar e overlay da trajetória do CALIOP – 24 de janeiro de 2011, 04h46UT.

Fonte: O autor

A imagem do dia 05 de fevereiro de 2011 identifica um núcleo de chuva no Radar (figura 50), na trajetória do *overlay* do satélite. O topo identificado nas coordenadas, latitude $-23,7295^\circ$ e longitude $-48,8947^\circ$, foi de 10,5 km.

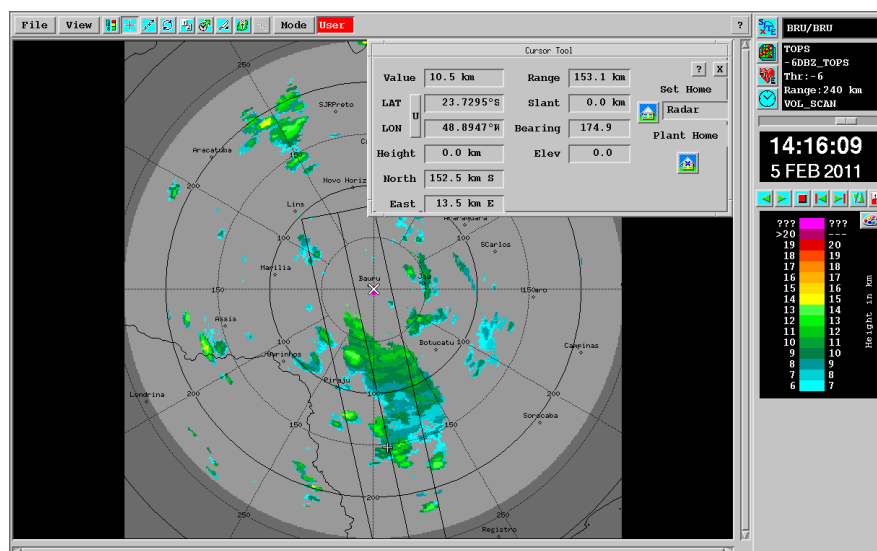


Figura 50: Topo do Radar e overlay da trajetória do CALIOP – 05 de fevereiro de 2011, 17h16UT.

Fonte: O autor

O CALIOP identificou a coordenada mais próxima desse ponto do Radar, a célula 9471 (Figura 51), latitude $-23,7250^\circ$ e longitude $-48,8730^\circ$, topo de 6,42 km.

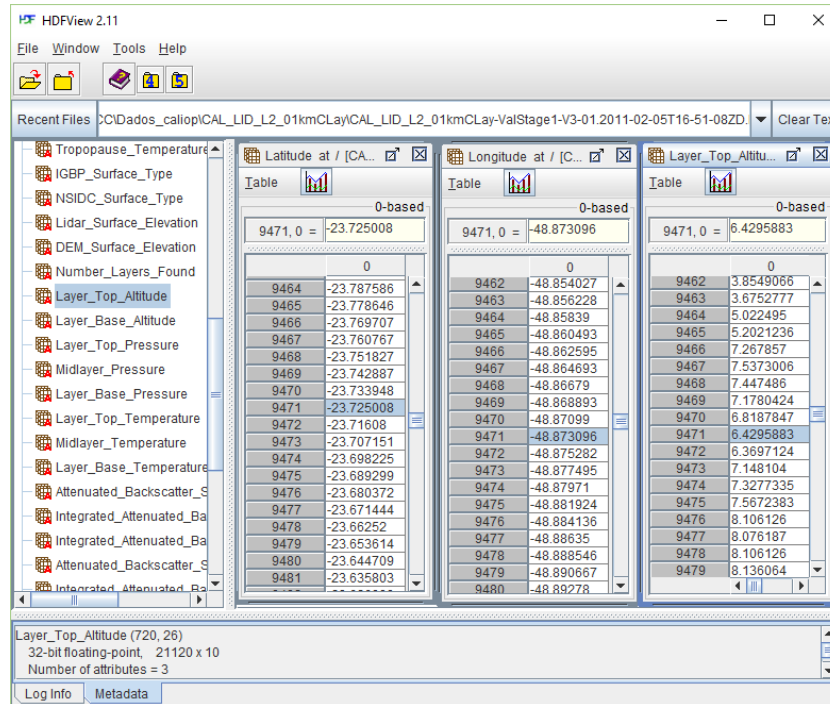


Figura 51: Dados CALIOP de 05 de fevereiro de 2011, Latitude, Longitude e Altitude.
Fonte: O autor

O topo identificado pelo Radar foi de 10,5 km e o do CALIOP de 6,42 km. Para entender essa diferença foi realizado o corte vertical da chuva (figura 52).

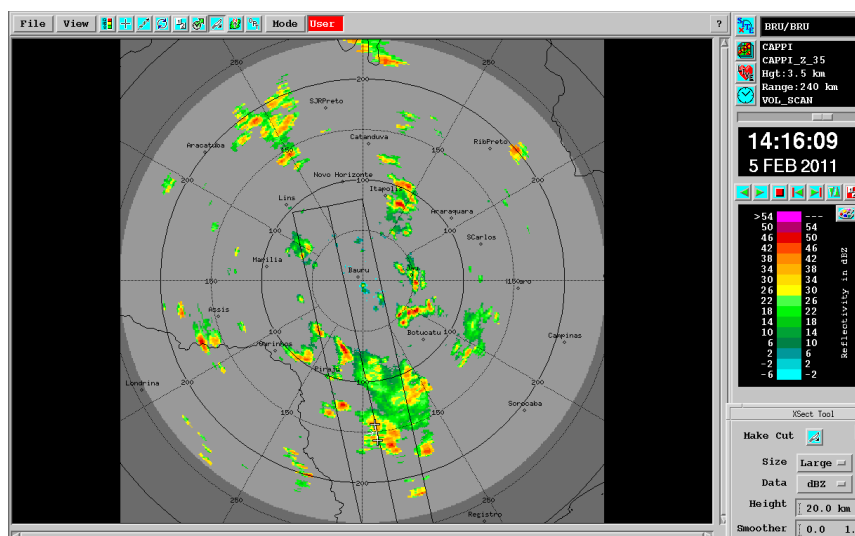


Figura 52: Seção de corte horizontal sobre trajetória do CALIOP – 05 de fevereiro de 2011.
Fonte: O autor

O resultado (figura 53) demonstra que a chuva tem uma oscilação durante a sua trajetória. Isso pode explicar a diferença entre os dados de topo entre Radar e CALIOP, além da diferença de resolução entre os dois instrumentos.

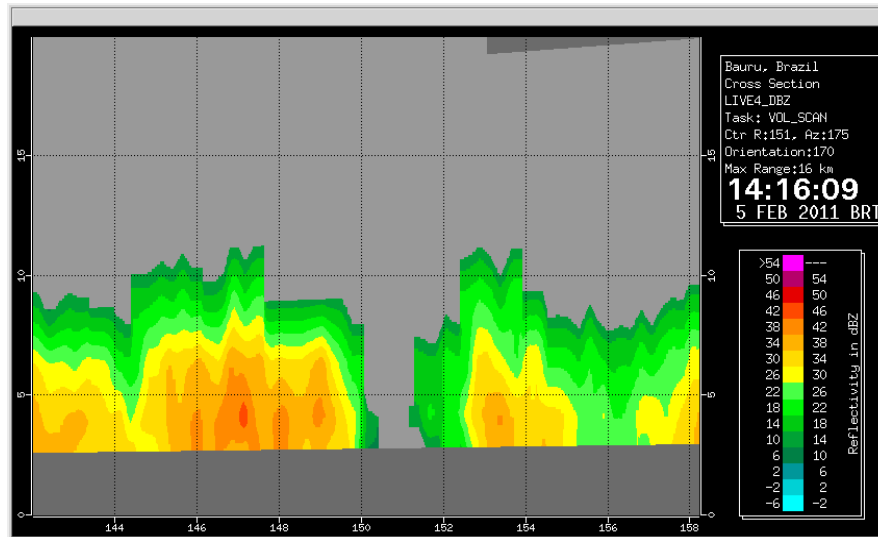


Figura 53: Seção de corte vertical da célula de chuva – 05 de fevereiro de 2011.
Fonte: O autor

Para a mesma data foi realizado um novo ponto de análise (figura 54). O Radar identificou o ponto de intersecção na coordenada latitude $-23,2048^\circ$ longitude $-48,9768^\circ$, e um topo de 9,5 km.

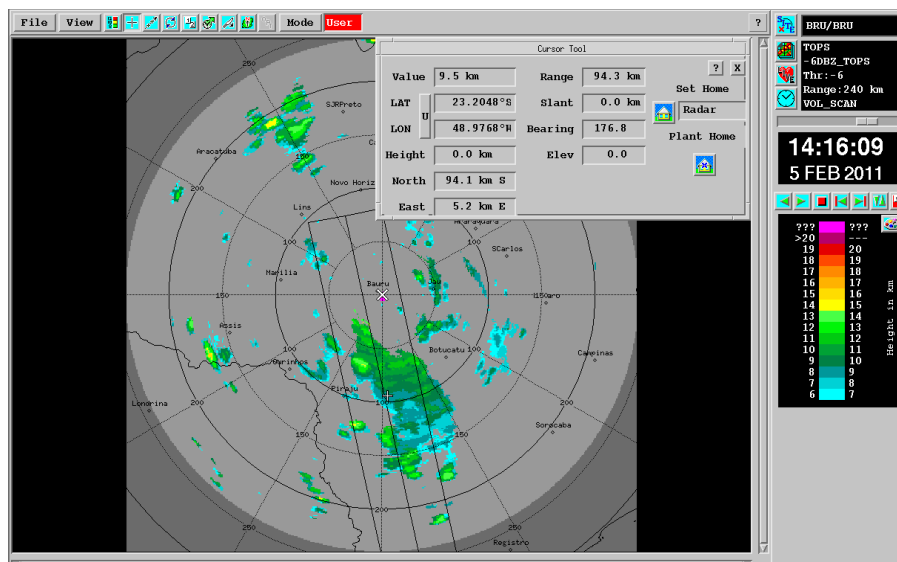


Figura 54: Topo do Radar e overlay da trajetória do CALIOP – 05 de fevereiro de 2011, 17h16UT.
Fonte: O autor

Para essa coordenada de comparação o CALIOP (figura 55) identificou a trajetória mais próxima à célula 9529, latitude $-23,2061^\circ$ e longitude $-48,9980^\circ$ e topo de 10,57 km.

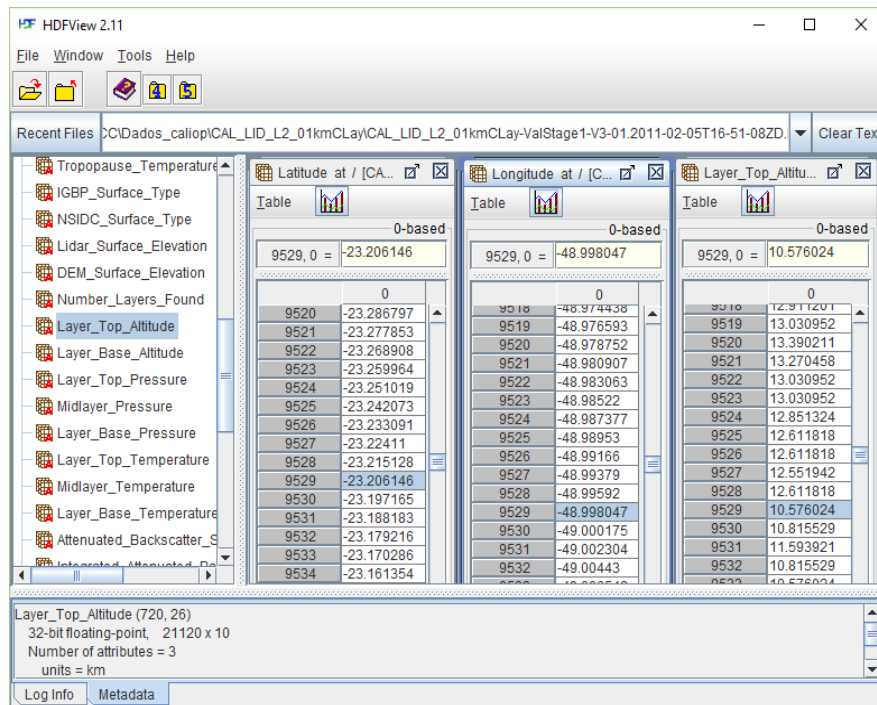


Figura 55: Dados CALIOP de 05 de fevereiro de 2011, Latitude, Longitude e Altitude.
Fonte: O autor

O topo do CALIOP de 10,57 km é maior que o topo do Radar de 9,5 km, diferente da primeira análise em que o topo do Radar ficou acima do CALIOP. Um corte vertical foi realizado para ver o comportamento da célula de chuva (figura 56). A chuva tem uma oscilação de aproximadamente 7,5 e 10 km, diminuindo conforme se afasta do Radar. Esse núcleo de chuva é mais homogêneo, sendo possível fazer a comparação entre os topos de Radar e CALIOP.

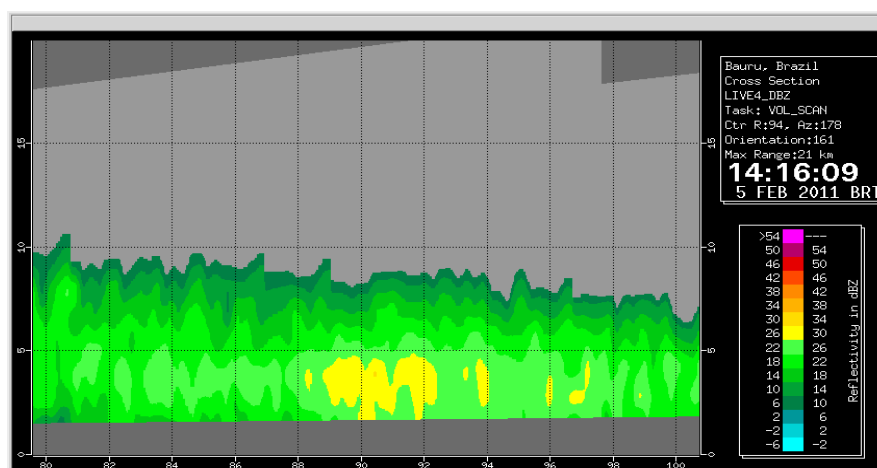


Figura 56: Seção de corte vertical da célula de chuva – 05 de fevereiro de 2011.
Fonte: O autor

A imagem do dia 17 de fevereiro de 2012 identifica o núcleo de chuva no Radar (figura 57), na trajetória do *overlay* do satélite. O topo identificado foi de 7,8 km, na coordenada de latitude $-21,9340^\circ$ e longitude $-47,7998^\circ$.

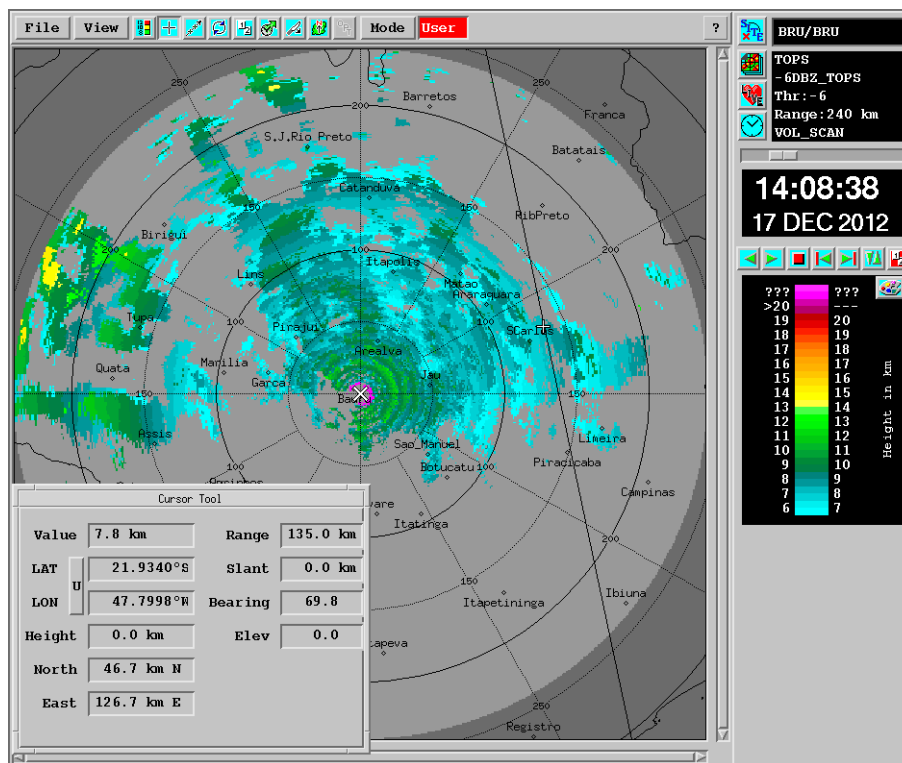


Figura 57: Topo do Radar e overlay da trajetória do CALIOP – 17 de dezembro de 2012, 17h08UT
Fonte: O autor

O CALIOP identificou as coordenadas para latitude $-21,9379^\circ$ e longitude $-47,7904^\circ$, o topo de 12,49 km. A célula de identificação 10621 (figura 58).

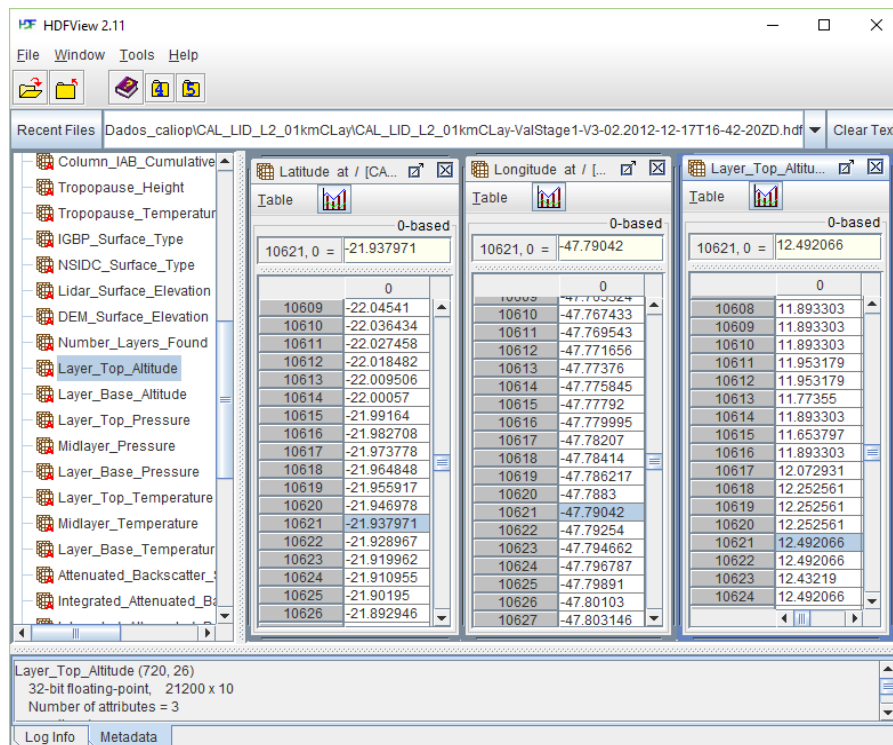


Figura 58: Dados CALIOP de 17 de dezembro de 2012, Latitude, Longitude e Altitude.
Fonte: O autor

A imagem de Radar do dia 31 de dezembro de 2012 identifica um núcleo de chuva no Radar (figura 59). O topo identificado é de 13,8 km nas coordenadas latitude $-23,8687^\circ$ e longitude $-50,4700^\circ$.

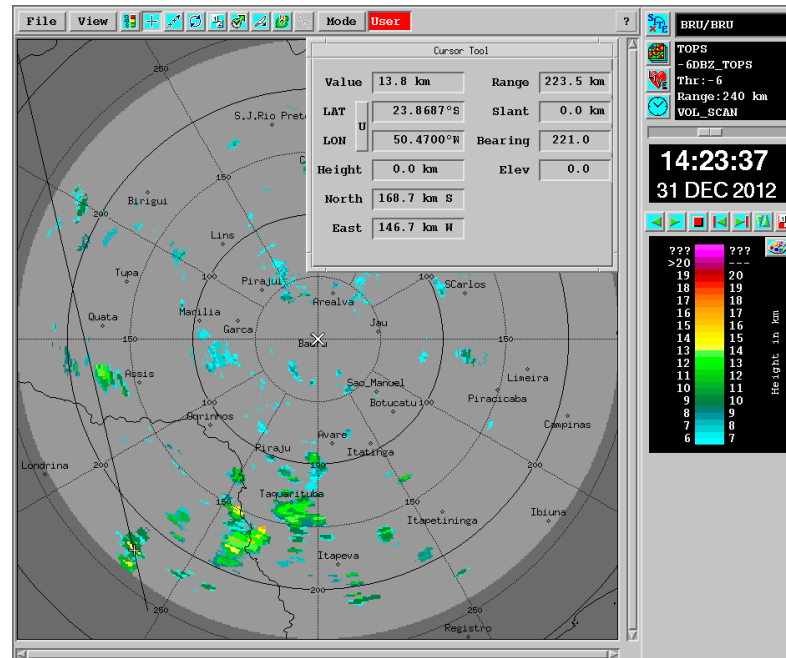


Figura 59: Topo do Radar e overlay da trajetória do CALIOP – 31 de dezembro de 2012, 17h23UT.
Fonte: O autor

O CALIOP identificou a coordenada mais próxima, a célula 10342 (figura 60), latitude $-23,8680^\circ$, longitude $-50,4718^\circ$ e topo de 8,6 km.

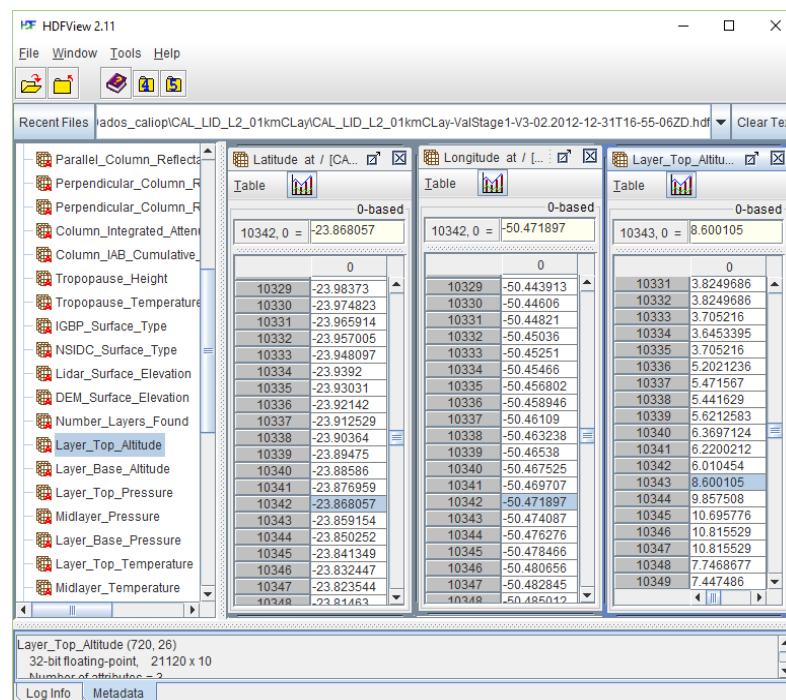


Figura 60: Dados CALIOP de 31 de dezembro de 2012, Latitude, Longitude e Altitude.
Fonte: O autor

A diferença entre os instrumentos, com o topo maior sendo identificado pelo Radar, foi necessário realizar o corte vertical (figura 61). A célula de chuva tem uma altitude mínima de aproximadamente 5 km, isso ocorre devido a distância da chuva em relação com o Radar. Ao se distanciar o feixe sofre uma inclinação no eixo devida a circunferência da Terra.

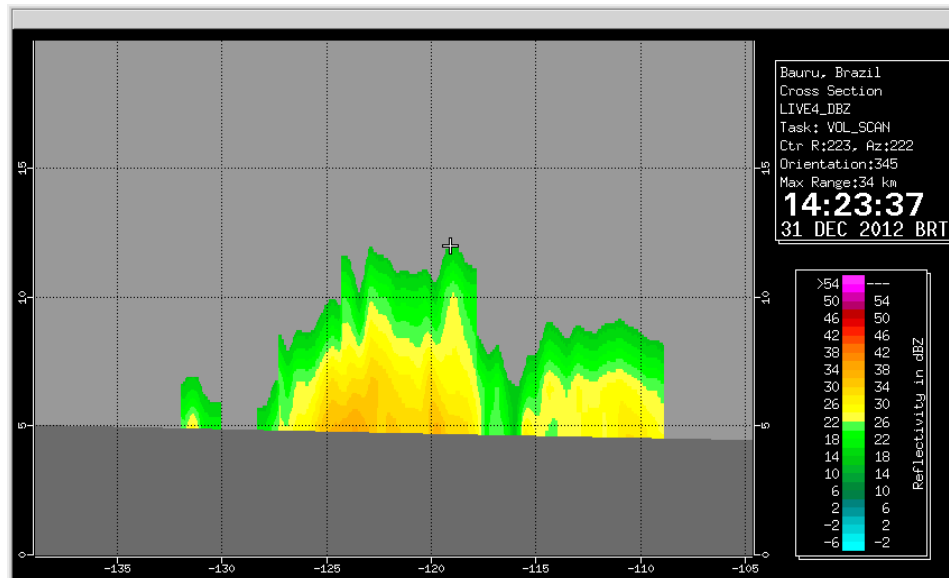


Figura 61: Seção de corte vertical da célula de chuva – 31 de dezembro de 2012, 17h23UT.
 Fonte: O autor

A imagem do dia 13 de janeiro de 2013 (figura 62) identifica um núcleo de chuva na coordenada: latitude $-22,5074^\circ$ e longitude $-47,5351^\circ$, um topo de 9,2 km. O ponto de intersecção está próximo a trajetória do satélite.

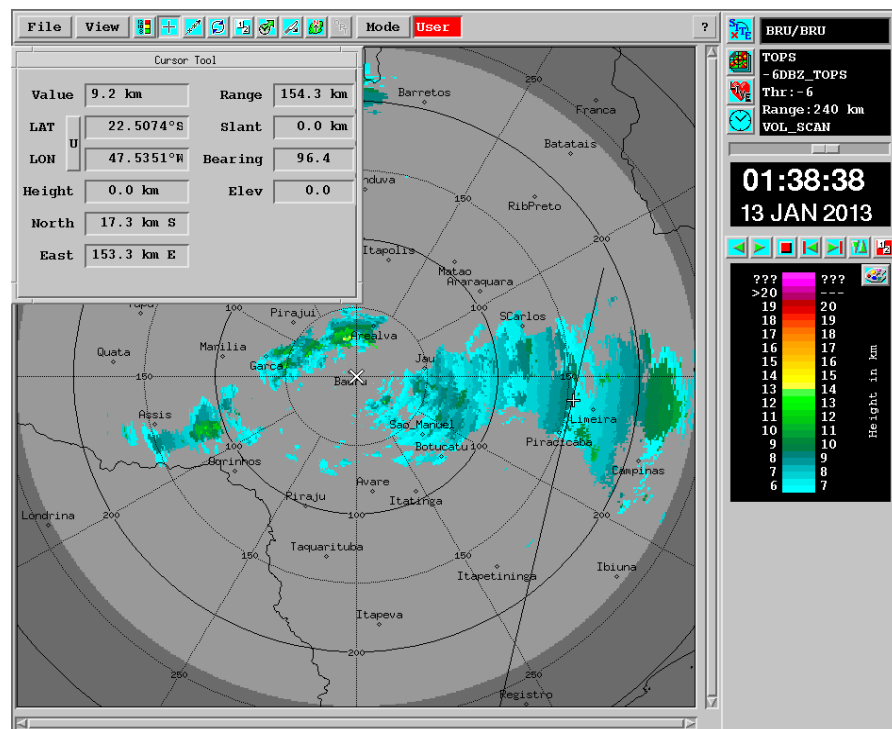


Figura 62: Topo do Radar e overlay da trajetória do CALIOP – 13 de janeiro de 2013, 04h38UT.
Fonte: O autor

O CALIOP identificou para o dia 13 de janeiro de 2013 (figura 63) para a coordenada mais próxima do ponto do Radar foi identificado o topo de 12,55 km, latitude $-22,5012^\circ$ e longitude $-47,5449^\circ$.

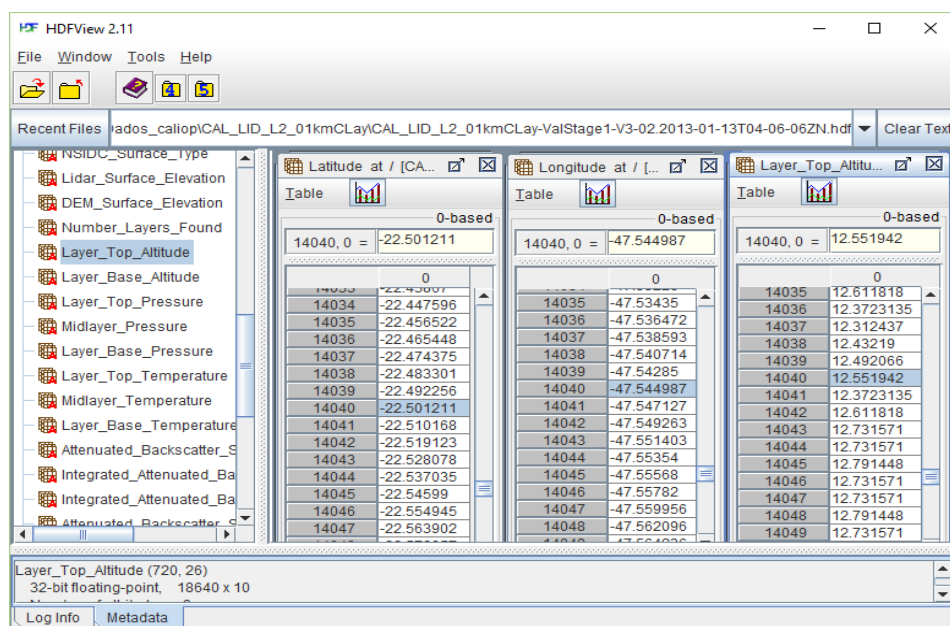


Figura 63: Dados CALIOP de 13 de janeiro de 2013, Latitude, Longitude e Altitude.
Fonte: O autor

Na figura 64, imagem de satélite GOES (T_Realce), demonstra a célula de chuva com uma temperatura entre -40° e -50°C , a esta temperatura a nuvem se localiza a aproximadamente 10,3 – 11,5 km de altitude.

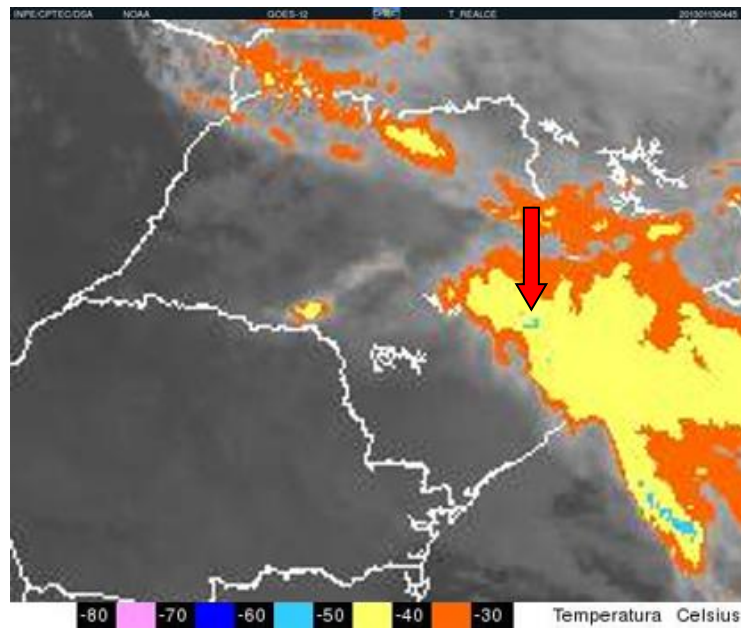


Figura 64: Imagem de Satélite GOES (T_Realce) do dia 13 de janeiro de 2013: 04:45 UT. A seta indica a célula de chuva com temperatura de -40° a -50°C
 Fonte: adaptado de CPTEC/DSA, 2010

Para a data de 25 de janeiro de 2013, o topo identificado pelo Radar foi de 8,8 km na longitude $-49,5804^{\circ}$ e latitude $-21,0984^{\circ}$ (figura 65).

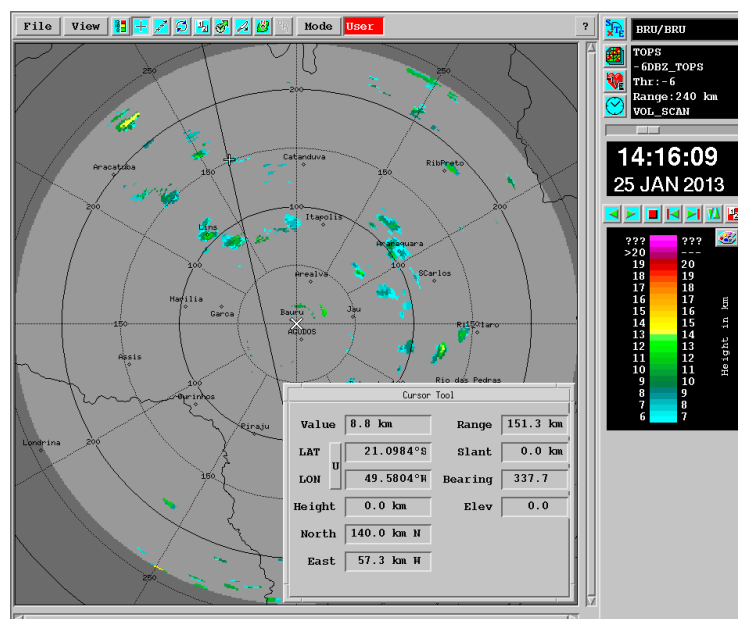


Figura 65: Topo do Radar e overlay da trajetória do CALIOP – 25 de janeiro de 2013, 17h16UT.
 Fonte: O autor

O CALIOP identificou para o dia 25 de janeiro de 2013 (Figura 66) a coordenada mais próxima do ponto do Radar, o topo de 12,55 km, latitude $-21,1090^\circ$ e longitude $-49,5807^\circ$.

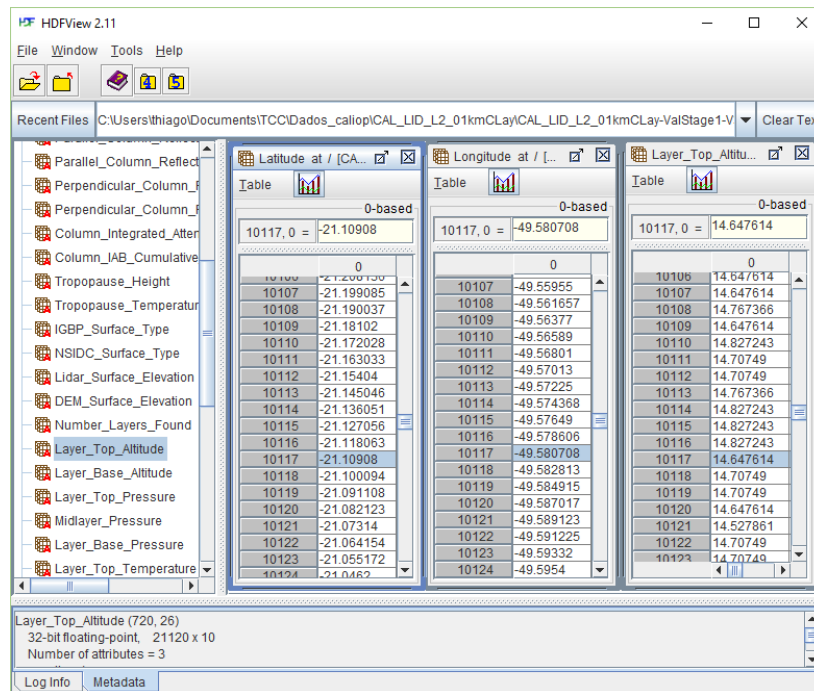


Figura 66: Dados CALIOP de 25 de janeiro de 2013, Latitude, Longitude e Altitude.
Fonte: O autor

O núcleo de chuva do dia 27 de janeiro de 2013 identificou o topo de 10,2 km na coordenada de latitude $-21,5130^\circ$ e longitude $-50,4326^\circ$ (figura 67).

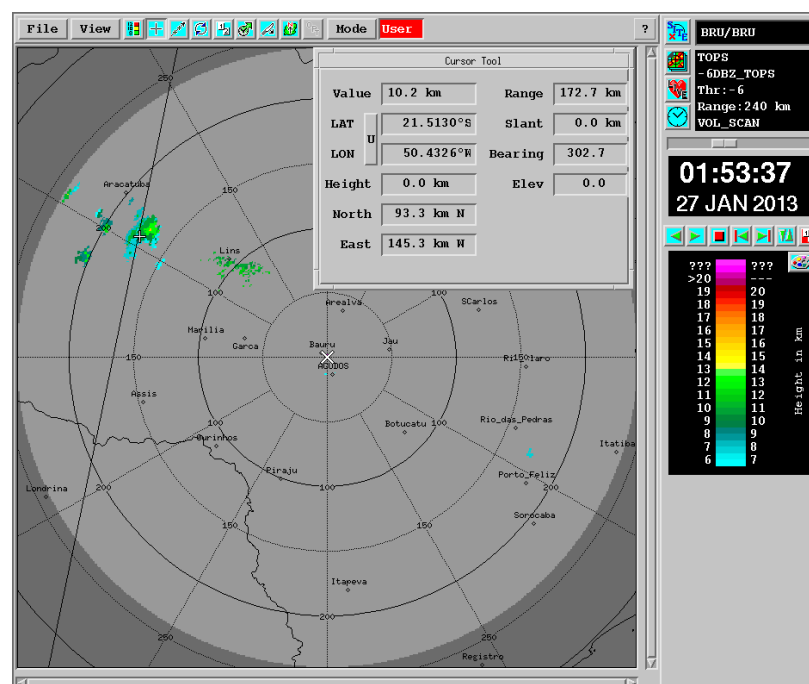


Figura 67: Topo do Radar e overlay da trajetória do CALIOP – 27 de janeiro de 2013, 04h53UT.
Fonte: O autor

O topo identificado pelo CALIOP (Figura 68) para a mesma foi de 13,74 km na coordenada de latitude $-21,5138^\circ$ e longitude $-50,4461^\circ$.

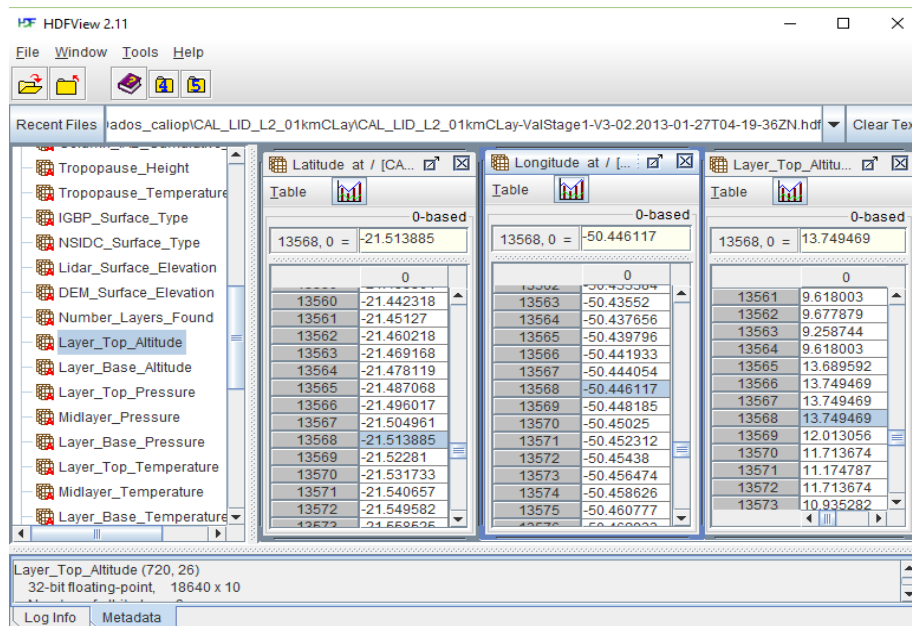


Figura 68: Dados CALIOP de 27 de janeiro de 2013, Latitude, Longitude e Altitude.
Fonte: O autor

A célula de chuva para o dia 01 de fevereiro de 2013, o Radar identificou um núcleo de chuva (figura 69) com topo de 7,8 km na latitude $-22,6903^\circ$ e longitude $-50,8137^\circ$.

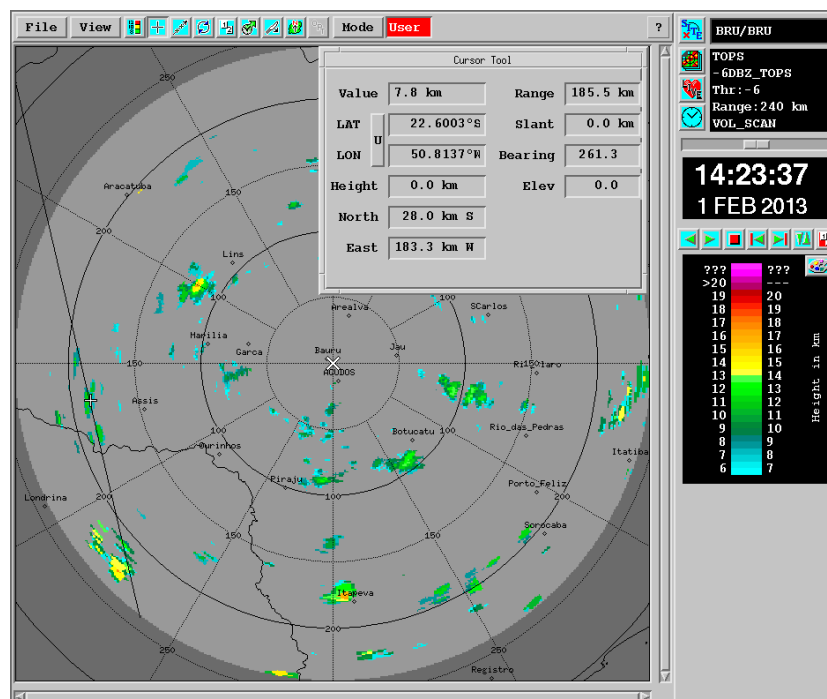


Figura 69: Topo do Radar e overlay da trajetória do CALIOP – 01 de fevereiro de 2013, 17h23UT
Fonte: O autor

Os dados do CALIOP (figura 70) identificaram para a coordenada mais próxima do Radar o topo 6,57 km, latitude $-22,6037^\circ$ e longitude $-50,8127^\circ$.

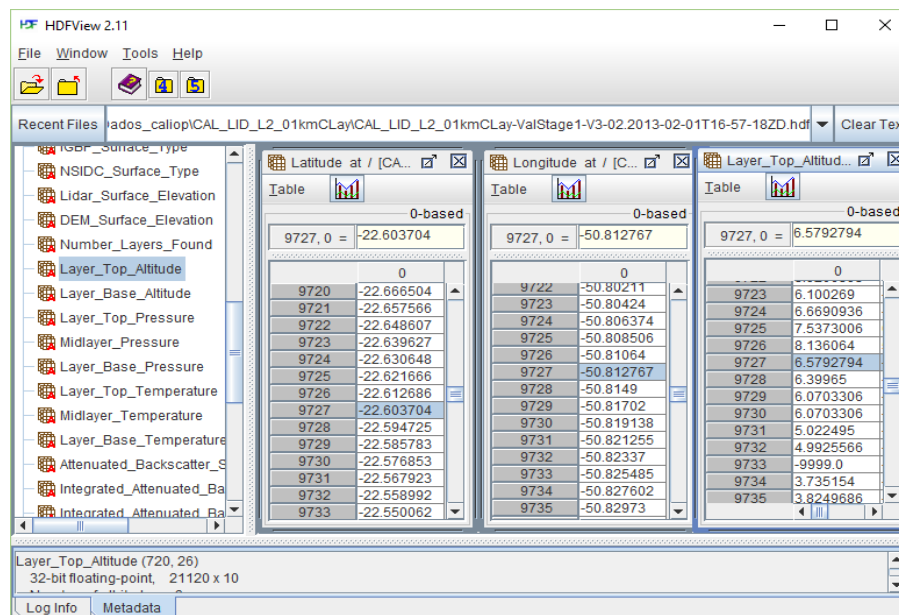


Figura 70: Dados CALIOP de 01 de fevereiro de 2013, Latitude, Longitude e Altitude.
Fonte: O autor

Esse núcleo de chuva está a 185,5 km de distância do Radar. Devido a isso o feixe de Radar identifica a altitude mínima de aproximadamente 4 km de altitude. Foi realizado o corte vertical da célula (figura 71), a célula não mantém uma altitude mínima que possa confirmar que a diferença de escala entre os dois instrumentos, seja confiável para comparação.

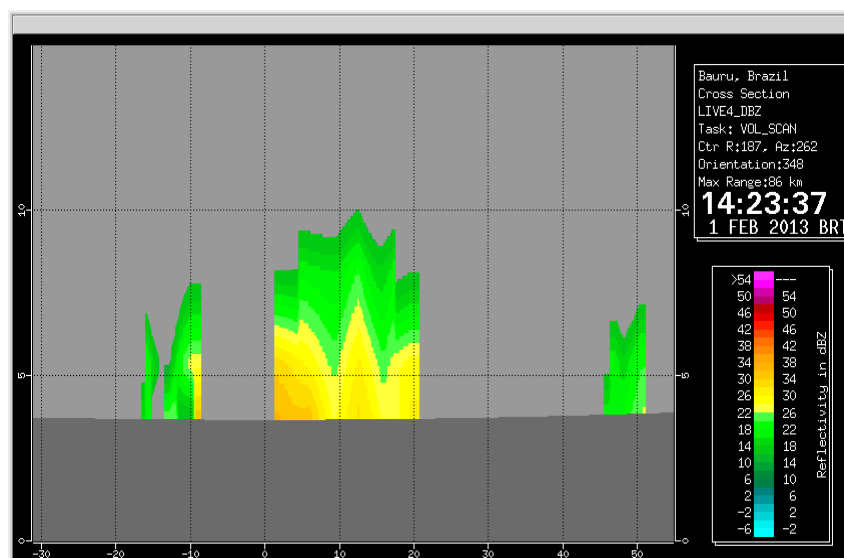


Figura 71: Seção de corte vertical da célula de chuva – 01 de fevereiro de 2013, 17h23UT.
Fonte: O autor

O dia 10 de fevereiro de 2013 identificou o topo de 6,2 km na latitude $-22,9518^\circ$ km e longitude $-49,2231^\circ$ (figura 72).

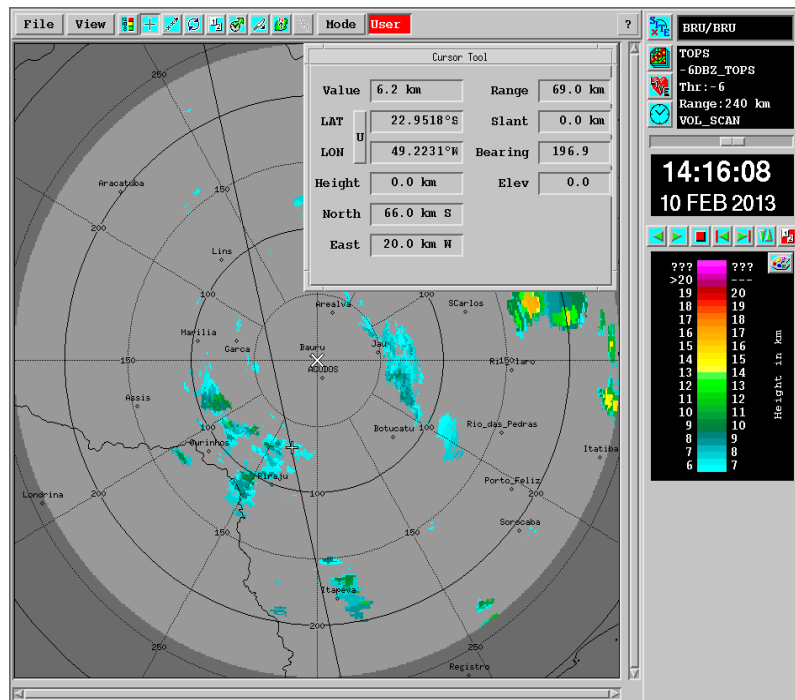


Figura 72: Topo do Radar e overlay da trajetória do CALIOP – 10 de fevereiro de 2013, 17h16UT.
Fonte: O autor

Os dados do CALIOP localizaram a coordenada mais próxima para essa chuva, à célula 9351, topo de 11,95 km na latitude $-22,9541^\circ$ e longitude $-49,2189^\circ$ (figura 73).

Cell ID	Latitude	Longitude	Layer_Top_Altitude (km)
9345	-23.007627	-49.218956	11.953179
9346	-22.99869	-49.20819	12.312437
9347	-22.98975	-49.210297	12.192684
9348	-22.980812	-49.21241	12.192684
9349	-22.97193	-49.21459	12.072931
9350	-22.963049	-49.21677	12.132808
9351	-22.954166	-49.218956	11.953179
9352	-22.945284	-49.221138	12.252561
9353	-22.936401	-49.223324	11.833426
9354	-22.92752	-49.225506	12.072931
9355	-22.918638	-49.227688	11.893303
9356	-22.909753	-49.22984	12.013056
9357	-22.900797	-49.231953	11.953179
9358	-22.891863	-49.234066	11.852170
9359	-22.882929	-49.236176	11.751163

Figura 73: Dados CALIOP de 10 de fevereiro de 2013, Latitude, Longitude e Altitude.
Fonte: O autor

A diferença entre CALIOP e Radar foi de 5,7 km, para entender essa distância entre os dados, foi realizado o corte vertical (figura 74) e ficou claro que a chuva identificada pelo Radar está com grande oscilação entre a altitude identificada ao longo da célula.

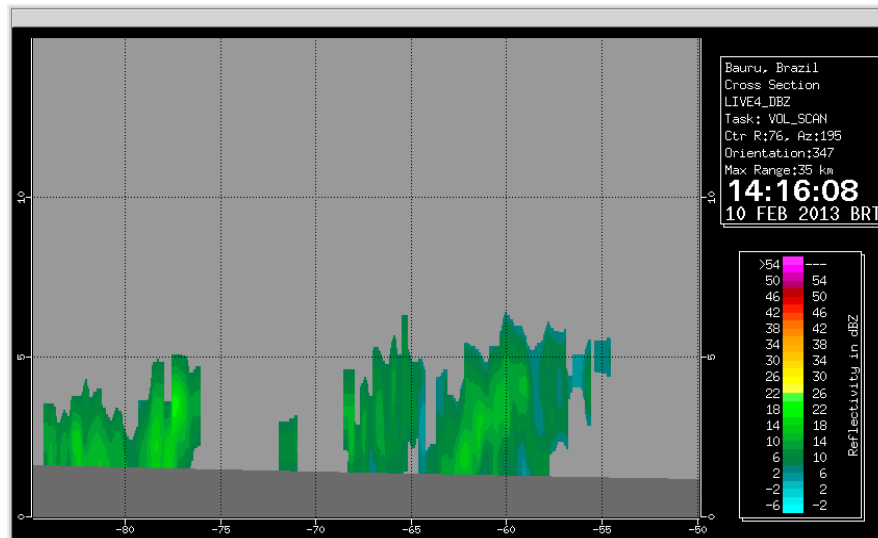


Figura 74: Seção de corte vertical da célula de chuva – 10 de fevereiro de 2013, 17h16UT
Fonte: O autor

Foi gerada uma tabela com os dados de todas as trajetórias utilizadas (Tabela 1). Para a comparação entre o Radar e CALIOP as datas de 05 de fevereiro de 2011 e 10 de fevereiro de 2013, foram excluídas pois demonstraram uma grande oscilação entre topo e altura mínima da célula. A data de 01 de fevereiro de 2013 foi excluída porque está além de 180 km de distância do Radar e a célula de chuva não foi identificada de forma homogênea.

Tabela 1: Análise dos pontos de coordenadas, identificando topo de Radar e CALIOP
 Fonte: O autor

Data	RADAR			CALIOP			Horario Overpass	Diferença Cal-Rad	Não utilizada
	Latitude	Long	Topo	Latitude	Long	Topo			
03/12/2010	-23,1617	-49,0539	11,5	-23,1651	-49,0363	15,66	17h14	4,16	
12/12/2010	-23,7709	-47,3589	10,5	-23,77	-47,3695	16,86	17h08	6,26	
26/12/2010	-22,3769	-50,7944	17,5	-22,3749	-50,8084	14,04	17h20	-3,46	
26/12/2010	-21,5502	-50,9789	13,5	-21,5604	-51,0009	13,92	17h20	0,42	
11/01/2011	-22,5709	-50,7631	10,5	-22,5799	-50,746	12,67	17h21	2,17	
22/01/2011	-21,1013	-50,243	11,5	-21,1024	-50,2743	14,88	04h52	3,38	
22/01/2011	-21,4691	-50,3401	10,5	-21,4612	-50,3584	15,36	04h52	4,86	
05/02/2011	-23,7295	-48,8947	10,5	-23,725	-48,873	6,42	17h13		X
05/02/2011	-23,2048	-48,9768	9,5	-23,2061	-48,998	10,57	17h13	1,07	
17/12/2012	-21,9340	-47,9778	7,8	-21,9379	-47,9704	12,49	17h07	4,69	
31/12/2012	-23,8687	-50,47	13,8	-23,868	-50,4718	8,6	17h20	-5,2	
13/01/2013	-22,5074	-47,5351	9,2	-22,5012	-47,5448	12,55	04h40	3,35	
25/01/2013	-21,0984	-49,5804	8,8	-21,1090	-49,5807	14,64	17h14	5,84	
27/01/2013	-21,513	-50,4326	10,2	-21,5138	-50,4461	13,74	17h21	3,54	
01/02/2013	-22,6003	-50,8137	7,8	-22,6037	-50,8127	6,57	17h23	-	X
10/02/2013	-22,9518	-49,2231	6,2	-22,9541	-49,2189	11,95	17h16	-	X

Os dados utilizados foram organizados em um gráfico de altura do topo (Figura 75). O CALIOP identificou um topo maior que o Radar acima de 90% dos casos. Em média dos 11 casos avaliados, as nuvens ficaram 3,6 km mais alto que o topo dos ecos detectados pelo Radar. Não foi possível preparar uma estatística exata devido aos problemas de localizar o mesmo ponto na escala do Radar e do CALIOP.

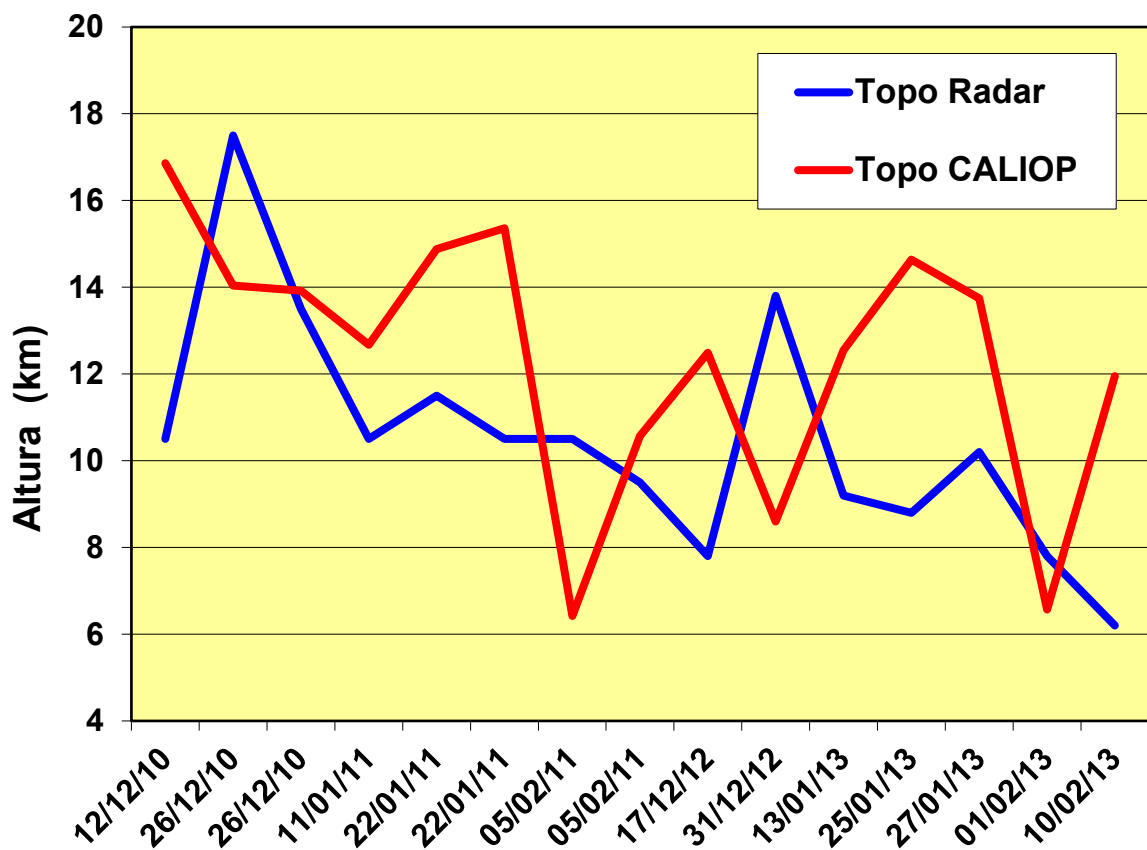


Figura 75: Alturas de topo de Radar e topo de nuvem medido pelo CALIOP (16 casos; tabela 1)
Fonte: O autor

Foram registrados dois casos com a altura do topo de eco do Radar bem acima do topo da nuvem observado pelo CALIOP (26 de dezembro de 2010, 17h20UT e 31 de dezembro de 2012, 17h20UT; Tabela 1). Para o primeiro caso, não tem imagens do satélite GOES (T_Realce) disponível no Banco de Dados do CPTEC, impedindo uma comparação independente. O segundo caso é o 31 de dezembro de 2012 e Figura 76a mostra a imagem de T_Realce do satélite GOES e Figura 76b o CAPPI, destacando a mesma célula. Como foi uma pequena célula isolada, com um forte gradiente da refletividade (cada um dos picos dos topos de eco tem uma extensão entre 250 e 500 m), uma pequena diferença entre as coordenadas (especificamente da longitude, Tabela 1) pode resultar que essa célula na verdade não ficou no caminho do CALIOP, devido a imagem de corte vertical mostrar uma extensão do eco acima de 10 km em torno de 5 km ao longo da trajetória do satélite.

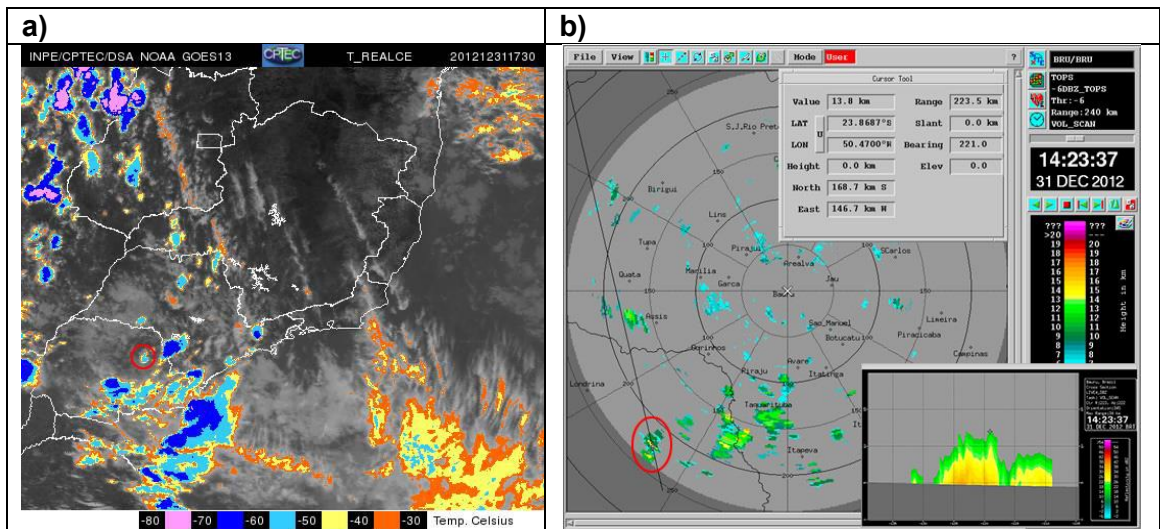


Figura 76: a) Imagem de Satélite GOES (T_Realce) do dia 31 de dezembro de 2012: 17:30 UT.

b) CAPPI com corte vertical do dia 31 de dezembro de 2012: 17:23 UT. A célula isolada está destacada com um círculo vermelho.

Fonte: adaptado de CPTEC/DSA, 2010

7 - CONCLUSÕES

A comparação dos topos dos ecos de Radar no estado de São Paulo, através da utilização dos dados dos radares meteorológicos do IPMet e do CALIOP a bordo do CALIPSO, não possibilitou uma quantificação das células convectivas penetrando acima da tropopausa e injetando água em forma líquida (“gotas super-resfriadas”), ou cristais de gelo na baixa estratosfera, pois não houve casos de *overshooting* durante o período analisado.

Durante as campanhas do TRO-pico, em 2012 e 2013, respectivamente, foi identificado um total de 147.248 topos de ecos, com 820 *overshootings*, e 72.986 com 204 *overshootings* nas áreas do Radar de Bauru. A análise comparativa do topo de eco do Radar com os topos de nuvens determinado pelo lidar CALIOP do satélite CALIPSO, proporcionaram uma oportunidade para diferenciar a capacidade de resolução e escala entre os dois instrumentos. Com a quantificação das células com *overshooting* é possível se estimar a quantidade de água disponível na baixa estratosfera para o transporte regional e ultimamente global, também possibilitando e facilitando reações químicas com aerossóis e gases traços.

Na primeira fase, a comparação foi feita através das imagens de Radar e do satélite, utilizando alguns parâmetros: topos (altitude) e refletividades dos ecos versus a altura e temperatura das nuvens detectadas pelo satélite e pode-se testar uma metodologia a ser utilizada durante a pesquisa. Foram identificados os dias em que ocorre precipitação na área do Radar coincidente com a trajetória do CALIPSO. Essa primeira fase se mostrou satisfatória na identificação das trajetórias e precipitação para uma comparação qualitativa.

Na segunda fase foram obtidos os dados brutos do CALIOP com resolução de 1 km. Infelizmente, os dados brutos de 30 e 60m não foram liberados pela NASA. Assim a comparação entre os dois instrumentos ficou prejudicada, considerando o objetivo desse projeto. Com os dados digitais foi possível realizar o processo da comparação quantitativa dos topos. A comparação se mostrou satisfatória. Durante o período analisado o CALIOP identificou em 90% dos casos uma camada de altitude maior do que o Radar. Em média dos 11 casos avaliados, as

nuvens ficaram 3,6 km mais alto que o topo dos ecos detectados pelo Radar. Essa diferença é explicada devido ao limiar imposto ao Radar para que ele considere um núcleo com uma célula de chuva, enquanto o CALIOP detecta gotículas de nuvens. Devido à baixa quantidade de tempestades nos meses de estudo, sendo reconhecido um período atípico com forte seca, não ocorrendo bons casos para que houvesse *overshooting*. Conseqüentemente não foi possível preparar uma estatística detalhada devido aos problemas de localizar o mesmo ponto na escala do Radar e do CALIOP e por falta de casos de *overshooting*.

Esse estudo contribui para expor a área de atuação de cada instrumento, sendo necessário estimar o objetivo de cada estudo para escolher a melhor opção de dados relacionado a identificação de chuva. A análise comparativa proporcionou uma oportunidade única para a validação desses dados gerados e também uma forma adicional para as aplicações das informações de Radar.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CPTEC/DSA, 2010. **Banco de Dados de Imagens, Divisão de Satélites e Sistemas Ambientais**. <http://satelite.cptec.inpe.br/acervo/meteosat.formulario.logic> Acesso em: 2013

CNRS. **Centre National de la Recherche Scientifique**, 2013. Disponível em: <<http://www.icare.univ-lille1.fr/calipso/browse/>> Acesso em: 2013.

GOMES, A. M. **Tópicos em Meteorologia com Radar**. Bauru: IPMet, 1993.

HELD G, RAMIRES T, POMMEREAU J-P, GOMES AM and RIVIÈRE E. **Comparison of Radar-Echo Tops in the State of São Paulo with Cloud Tops Observed by CALIOP onboard the CALIPSO Satellite**. *Proceedings*, CALIPSO, CloudSat, EarthCARE Joint Science Workshop, Paris, France, 16-22 June 2012, 1p. (2012)

HUNT, W. H.; WINKER, D. M.; VAUGHAN, M. A.; KATHLEEN, P. A.; LUCKER, P. L.; WEIMER, C. CALIPSO Lidar Description and Performance Assesment, **Journal of Atmospheric and Oceanic Technology**. Disponível em: <<http://journals.ametsoc.org/doi/pdf/10.1175/2009JTECHA1223.1>>. Acesso em: 2012.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento Remoto do Ambiente: uma perspectiva em Recursos Terrestres// Remote sensing of the environment: an earth resource perspective**. Tradução de J. C. N. Epiphânio. São José dos Campos, SP: Parênteses, 2009.

LEAL, D. C. **Estruturas de tempestades severas: estudos de caso**. Ourinhos: Trabalho de conclusão de curso, Campus Experimental de Ourinhos, UNESP, 2008. pp. 4

LOPES, F. J. S.. **Validação dos dados do satélite CALIPSO utilizando um sistema lidar de retroespalhamento elástico e o fotômetro solar da rede AERONET**. Tese, Doutorado Tecnologia Nuclear - Materiais, São Paulo: Universidade de São Paulo, 2011. pp. 72-74.

MORAES, E. C . **Fundamentos de sensoriamento remoto**. INPE, 2002.

NASA. **CALIPSO**. Disponível em: <http://www.nasa.gov/mission_pages/calipso/main/index.html> Acesso em: 25 de julho de 2013a.

NASA. **National Aeronautics and Space Administration** Disponível em: <<http://www.calipso.larc.nasa.gov/>>. Acesso em: 25 de julho de 2013b.

POMMEREAU J-P and HELD G. **Is there a Stratospheric Fountain?** *Atmos. Chem. and Phys. Discuss.*, **7**, 2007, 8933-8950 (Special HIBISCUS issue).

SAUSEN, T. Sensoriamento remoto: **Tópicos em Meio Ambiente e Ciências Atmosféricas**, INPE. 2005.

SIGMET (2005). **IRIS Product & Display Manual**, Sigmnet Inc., Westford, MA, USA (Revision: 14 April 2005).

TRO-pico (2012) http://www.ipmet.unesp.br/tropico/RESUMO_Projeto_TRO-pico.pdf Acesso em 2013.

WINKER, D. M., J. PELON, M. P. MCCORMICK, The CALIPSO Mission: Spaceborne lidar for observation of aerosols and clouds. In: **Proc. SPIE**, 4893, 1–11. 2002.

WINKER, D. M., W. H. HUNT, AND C. A. HOSTETLER. Status and performance of the CALIOP Lidar. In: **Proc. SPIE**, 5575, 8–15. 2004.

ANEXOS

Anexos 1: Trabalhos publicados e apresentados

HELD G, RAMIRES T, POMMEREAU J-P, GOMES AM and RIVIÈRE E. **Comparison of Radar-Echo Tops in the State of São Paulo with Cloud Tops Observed by CALIOP onboard the CALIPSO Satellite. Proceedings**, CALIPSO, CloudSat, EarthCARE Joint Science Workshop, Paris, France, 16-22 June 2012, 1p.

HELD, G.; RAMIRES, T.; POMMEREAU, J-P.; GOMES AM and RIVIÈRE, E. **Comparison of Radar-Echo Tops in the State of São Paulo with Cloud Tops Observed by CALIOP onboard the CALIPSO Satellite**. Proceedings, In: XVII Congresso Brasileiro de Meteorologia, CD 662C, Gramado, RS, 23-28 de setembro de 2012, SBMET, 4pp.

RAMIRES, T.; HELD, G.; NERY, J. T. Comparação dos topos dos ecos de radar no Estado de São Paulo com topos de nuvens observados por CALIOP a bordo do satélite CALIPSO, in Congresso de Iniciação Científica – CIC 2013.

**COMPARISON OF RADAR-ECHO TOPS IN THE STATE OF SÃO PAULO
WITH CLOUD TOPS OBSERVED BY CALIOP ONBOARD THE
CALIPSO SATELLITE**

Gerhard HELD¹, Thiago RAMIRES², Jean-Pierre POMMEREAU³, Ana Maria GOMES¹,
Emmanuel RIVIÈRE⁴

¹ Instituto de Pesquisas Meteorológicas / UNESP - Bauru - S.P. - ¹gerhard@ipmet.unesp.br

² Campus Experimental de Ourinhos / UNESP - Ourinhos - São Paulo

³ Laboratoire Atmosphères, Milieux, Observations Spatiales, CNRS, Guyancourt, France

⁴ Groupe de Spectrometrie Moleculaire et Atmosphérique, Université de Reims Champagne-Ardenne, Reims, France

RESUMO: Foram analisadas 18 passagens do satélite, de dezembro de 2010 a janeiro de 2011, na área de alcance dos 240 km dos radares do IPMet, para estabelecer uma metodologia adequada e comparar diferentes medidas. Sobreposição com a trajetória do satélite é gerada, correspondendo ao campo de visada do CALIOP, numa faixa de 64 km de largura do Radiometro Imageador Infra-vermelho. Esta sobreposição foi transferida para o software IRIS, que gera CAPPIS, ECHO TOP, seções verticais e medidas pontuais da refletividade e altura dos topos dos ecos, utilizados para identificar a posição, intensidade e altura das células de tempestade. Em 26 de dezembro de 2010, 17:21:30 UT (14:21:30 LT), o CALIPSO passou sobre uma tempestade relativamente intensa (máxima refletividade 44 dBZ). O ponto mais alto detectado pelo radar, em 10 dBZ, foi 17,5 km, às 14:23 LT. A imagem CALIOP indicou pouco menos de 200K, correspondendo em torno dessa altitude, confirmado pela Temperatura de Brilho IIR e Refletância próxima de 1.

ABSTRACT: IPMet's radars cover the western and central State of São Paulo when operated in volume-scan mode (240 km). Initially, 18 satellite overpasses of the radar ranges were analyzed from December 2010 and January 2011, in order to establish a method suitable to compare the different measurements. An overlay with the exact Satellite trajectory is generated, corresponding to the CALIOP field of view, and the 64 km wide strip of the Imaging Infrared Radiometer. This overlay is transferred to the IRIS Software, which generates CAPPIS, ECHO TOP, vertical cross-sections and spot measurements of the radar reflectivity and echo-top height, which were used to identify the position, intensity and height of the storm cells. On 26 December 2010, 17:21:30 UT (14:21:30 LT), CALIPSO was overflying a relatively intense storm (maximum reflectivity 44 dBZ); The highest point detected by the radar at 10 dBZ was 17,5 km amsl

at 14:23 LT. The CALIOP image indicated just less than 200K, corresponding to about the same altitude, confirmed by the IIR Brightness Temperature and a Reflectance close to 1. However, this still needs to be verified with the digital data from CALIPSO and the local temperature profile on that day.

1 – INTRODUCTION

The Instituto de Pesquisas Meteorológicas operates two S-band Doppler radars, which are located in the central and western State of São Paulo, *viz.* in Bauru and Presidente Prudente. Both have a 2° beam width and a range of 450 km for surveillance ($0,3^\circ$ PPI every 30 or 15 min), covering the entire State of São Paulo, but when operated in volume-scan mode every 7,5 minutes it is limited to 240 km, with a resolution of 250 m radially and 1° in azimuth, recording reflectivities and radial velocities at 16 elevations. Two different systems of Software are available to visualize and analyze the radar data, *viz.* IRIS (*Interactive Radar Information System*) Analysis and TITAN (*Thunderstorm, Identification, Tracking, Analysis and Nowcasting*; Dixon and Wiener, 1993). Initially, 18 satellite overpasses of the radar ranges were analyzed from December 2010 and January 2011, in order to establish a method suitable to compare the different measurements. It is now planned to also add some suitable cases from February and March 2012, when the TRO-Pico campaign took place in Bauru. During this period, various radiosoundings and small balloon-borne measurements were performed, providing temperature, humidity and particle profiles within the troposphere and lower stratosphere, as well as measurements with a Raman Lidar, which yields information on possible cirrus clouds and ice particles up to about 20 km.

CALIPSO (CALIPSO, 2012) is a satellite launched in cooperation of NASA with the French CNES and CNRS. The data are available from both French and NASA Websites.



Figure 1: IPMet's S-band radars in Bauru (BRU) and Presidente Prudente (PPR) with the quantitative radar ranges of 240 km..

2 –METHODS

The method developed for this comparison uses a Google map to first generate an overlay with the exact Satellite trajectory, corresponding to the CALIOP field of view, and the 64 km wide strip of the Imaging Infrared Radiometer (IIR). This overlay is then transferred to the IRIS Software, which generates CAPPs (Constant Altitude PPIs), ECHO TOP, vertical cross-sections and spot measurements of the radar reflectivity and echo-top height. In the initial analysis a CAPPI at 3,5 km amsl and of the echo tops was generated to identify the position, intensity and height of the storm cells, using a reflectivity threshold of -6 dBZ. Vertical cross-sections along the CALIOP path were generated for the most intense cells.

3 – RESULTS

A good example was observed on 26 December 2010, at 17:21:30 UT (14:21:30 LT) while overflying a relatively intense storm (maximum reflectivity 44 dBZ), about 180 km west of Bauru. The highest point detected by the radar at 10 dBZ was 17,5 km amsl during the volume scan at 14:16 – 14:23 LT. The CALIOP image indicated just less than 200K, corresponding to about the same altitude, confirmed by the IIR Brightness Temperature and a Reflectance close to 1. However, this still needs to be verified with the digital data from CALIPSO and the local temperature profile on that day.

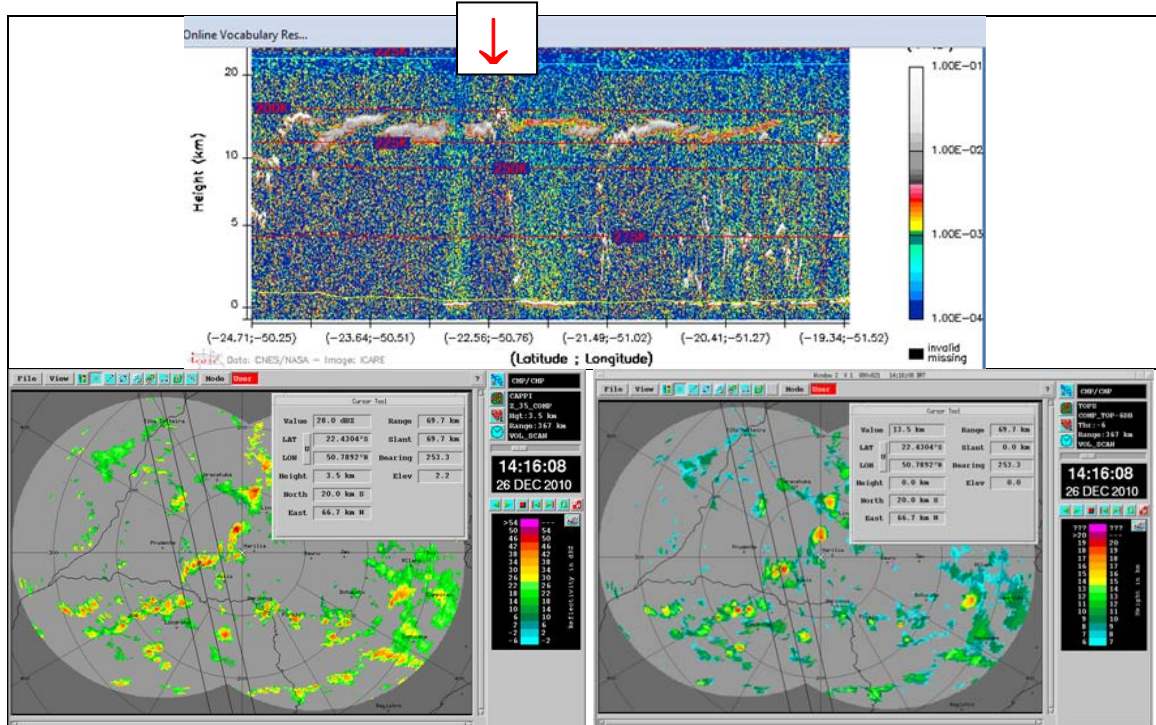


Figure 2: CALIOP image on 26 December 2010, 17:20:42 – 17:22:12 UT, traversing the radar ranges near Presidente Prudente at 14:21:30 LT (top). CAPPI at 3,5 km (left) and Echo Tops (right) at 14:16 LT.

Figure 3 shows a vertical cross-section of the tallest cell, just south-east of the PPR radar. Its echo top corresponds to the CALIOP track marked by the red arrow in Figure 2.

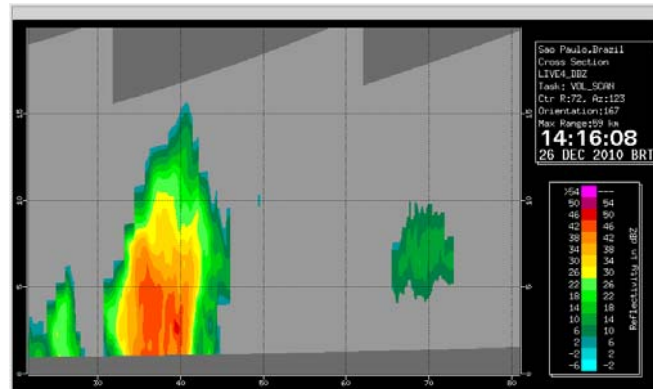


Figure 3: Vertical cross-section along the CALIOP ground-track in Figure 2.

An other example from a CALIPSO overpass on 02 January 2011 at 17:27:04 – 17:28:34 UT has also been analyzed in detail (Held *et al.*, 2012) and will be shown in the presentation.

4 – FINAL CONSIDERATIONS

Some of the problems that were identified with this kind of comparison arise from the different scales of resolution in space and height (radar: 250 m horizontally; CALIOP 100 m), the Google projection and the observation time (radar volume scan every 7,5 min). Furthermore, the sensitivity of the radar reflectivity decreases with increasing distance from the radar (detectable threshold at 50 km is about +5 dBZ, but at 240 km it is ≤ 10 dBZ), which effectively reduces the detectable echo heights at greater ranges from the radar.

The analysis for 2010/11 and 2012 is still in progress. Spot measurements of the echo-top height and exact reflectivity threshold at that point will be compared to the digital data from CALIPSO.

5 – ACKNOWLEDGEMENTS

Hermes Augusto de Godoy França of IPMet is thanked for assistance with the generation of the radar images and the overlays.

5 – REFERENCES

CALIPSO, 2012: http://www.nasa.gov/mission_pages/calipso/main/index.html

HELD G., RAMIRES T., POMMEREAU J.-P., GOMES A.M. and RIVIÈRE E., 2012. Comparison of Radar-Echo Tops in the State of São Paulo with Cloud Tops Observed by CALIOP onboard the CALIPSO Satellite. *Proceedings, CALIPSO, CloudSat, EarthCARE Joint Science Workshop*, Paris, France, 16-22 June 2012, 1p.

COMPARISON OF RADAR-ECHO TOPS IN THE STATE OF SÃO PAULO WITH CLOUD TOPS OBSERVED BY CALIOP ONBOARD THE CALIPSO SATELLITE

Gerhard Held^{1*}, Thiago Ramires², Jean-Pierre Pommereau³, Anne Garnier³, Ana Maria Gomes¹, Emmanuel Rivière⁴

¹ Instituto de Pesquisas Meteorológicas, Universidade Estadual Paulista, Bauru, S.P., Brazil

² Campus Experimental de Ourinhos, Universidade Estadual Paulista, Ourinhos, S.P., Brazil

³ Laboratoire Atmosphères, Milieux, Observations Spatiales, CNRS, Guyancourt, France

⁴ Groupe de Spectrométrie Moléculaire et Atmosphérique, Université de Reims Champagne-Ardenne, Reims, France

* Email: gerhard@ipmet.unesp.br Tel.: +55 14 3103-6030 Fax: +55 14 3203-3649

Abstract

The Instituto de Pesquisas Meteorológicas operates two S-band Doppler radars, which are located in the central and western State of São Paulo, *viz.* in Bauru and Presidente Prudente. Both have a 2° beam width and a range of 450 km for surveillance (0,3° PPI every 30 or 15 min), covering the entire State of São Paulo, but when operated in volume-scan mode every 7,5 minutes it is limited to 240 km, with a resolution of 250 m radially and 1° in azimuth, recording reflectivities and radial velocities at 16 elevations. Two different systems of Software are available to visualize and analyze the radar data, *viz.* IRIS (*Interactive Radar Information System*) Analysis and TITAN (*Thunderstorm, Identification, Tracking, Analysis and Nowcasting*; Dixon and Wiener, 1993). Initially, 18 satellite overpasses of the radar ranges were analyzed from December 2010 and January 2011, in order to establish a method suitable to compare the different measurements. It is now planned to also add some suitable cases from February and March 2012, when the TRO-Pico campaign took place in Bauru. During this period, various radiosoundings and small balloon-borne measurements were performed, providing temperature, humidity and particle profiles within the troposphere and lower stratosphere, as well as measurements with a Raman Lidar, which yields information on possible cirrus clouds and ice particles up to about 20 km.

The method developed for this comparison uses a Google map to first generate an overlay with the exact Satellite trajectory, corresponding to the CALIOP field of view, and the 64 km wide strip of the Imaging Infrared Radiometer (IIR). This overlay is then transferred to the IRIS Software, which generates CAPPIs (Constant Altitude PPIs), ECHO TOP, vertical cross-sections and spot measurements of the radar reflectivity and echo-top height. In the initial analysis a CAPPI at 3,5 km amsl and of the echo tops was generated to identify the position, intensity and height of the storm cells, using a reflectivity threshold of -6 dBZ. Vertical cross-sections along the CALIOP path were generated for the most intense cells. A good example was observed on 26 December 2010, 17:21:30 UT (14:21:30 LT) while overflying a relatively intense storm (maximum reflectivity 44 dBZ), about 180 km west of Bauru. The highest point detected by the radar at 10 dBZ was 17,5 km amsl at 14:23 LT. The CALIOP image indicated just less than 200K, corresponding to about the same altitude, confirmed by the IIR Brightness Temperature and a Reflectance close to 1. However, this still needs to be verified with the digital data from CALIPSO and the local temperature profile on that day.

Some of the problems that were identified with this kind of comparison arise from the different scales of resolution in space and height (radar: 250 m horizontally; CALIOP 100 m), the Google projection and the observation time (radar volume scan every 7,5 min). Furthermore, the sensitivity of the radar reflectivity decreases with increasing distance from the radar (detectable threshold at 50 km is about +5 dBZ, but at 240 km it is ≤ 10 dBZ), which effectively reduces the detectable echo heights at greater ranges from the radar.

The analysis for 2010/11 and 2012 is still in progress. Spot measurements of the echo-top height and exact reflectivity threshold at that point will be compared to the digital data from CALIPSO.

Comparison of Radar-Echo Tops in the State of São Paulo with Cloud Tops Observed by CALIOP onboard the CALIPSO Satellite

Gerhard Held^{1*}, Thiago Ramires², Jean-Pierre Pommereau³, Ana Maria Gomes¹ and Emmanuel Rivière⁴

¹ Instituto de Pesquisas Meteorológicas, UNESP Bauru, SP, Brasil

² Campus Experimental – Curso de Geografia – UNESP Ourinhos, SP, Brasil

³ Laboratoire Atmosphères, Milieux, Observations Spatiales, CNRS, Guyancourt, France

⁴ Groupe de Spectrométrie Moléculaire et Atmosphérique, Université de Reims Champagne-Ardenne, Reims, France



INTRODUCTION

- Scientific collaboration between the Meteorological Research Institute (Instituto de Pesquisas Meteorológicas, IPMet) of the São Paulo State University (UNESP) and CNRS has been ongoing since the late 90s and was formalized through an Agreement of Cooperation in October 2000, which was renewed again in 2011;
- In terms of this Agreement, the Project TRO-Pico was launched, during which stratospheric balloons, carrying a variety of payloads, were launched from the Campus of UNESP in Bauru during March 2012;
- The main objective of TRO-Pico is to determine the impact of overshooting convection on the stratospheric water budget at different scales through H₂O profiles (by pico-SDLA & FLASH) up to about 25 km, while IPMet's radars would quantify the effect of overshooting tropical thunderstorm towers on a regional scale;
- Unfortunately, exactly during the period of the balloon launches, CALIPSO was de-activated from 06 – 20 March 2012 to protect it from the possible effects of a major sunflare;
- Since TRO-Pico will resume the balloon launches in January and February 2013, the comparison will be extended until the completion of the TRO-Pico Project.

OBJECTIVES

- To compare CALIOP measurements of cloud tops with radar-detected echo tops during overpasses above thunderstorms;
- To establish a relationship between the range-dependent minimum radar reflectivity and CALIOP-derived cloud tops;
- To apply this relationship to extend CALIOP's measurements for regional quantification of overshoots.

GROUND-BASED OBSERVATIONS

- IPMet's S-band Doppler Radars (EEC WSR-88S), Bauru (BRU) and Presidente Prudente (PPR), S.P.;
- Operated 24h for precipitation surveillance and severe storms alerts (nowcasting);
- Beam width 2°, resolution 250 m radially, 1° in azimuth;
- Surveillance scans (0° PPI, 450 km range) every 30 min;
- Volume scans (16 scans from 0.3° to 45°, 240 km) every 7,5 min when rain occurs <240 km range.



IPMet's radars in Bauru (BRU) and Presidente Prudente (PPR), also showing the town of Ourinhos, where the mobile Lidar was located during August 2010.

IPMet's Radar Software:

- IRIS (Interactive Radar Information System) is the Sigmet Proprietary Software, which manages the data acquisition, storage and visualization in real time, but also has many products for post analysis;
- TITAN (Thunderstorm, Identification, Tracking, Analysis and Nowcasting; Dixon and Wiener, 1993) identifies and tracks thunderstorm cells, as well as providing structural details on intensity and severity - this program will be deployed later for quantification.

METHOD FOR CAMPARISON

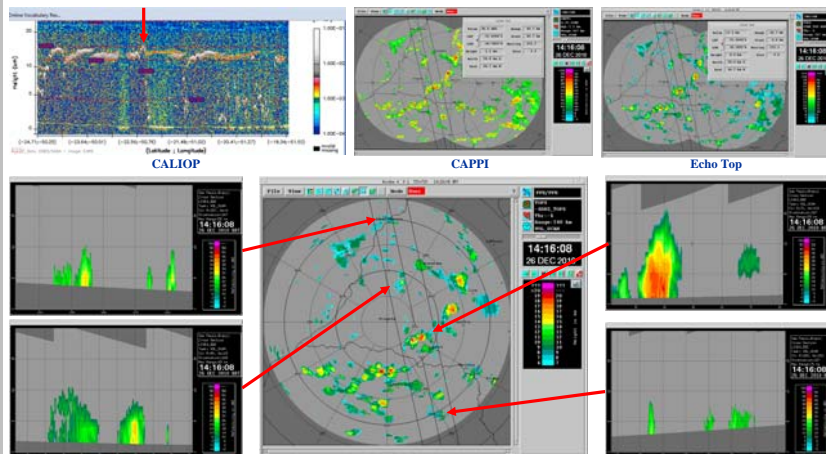
1. Identification of CALIPSO Track

- CALIPSO track coordinates, traversing the quantitative ranges of IPMet's radars (240 km radius each) were selected first;
- This yielded 18 cases from 03/12/2010 to 25/02/2011;
- Then, this track, together with the 64 km wide strip of the Imaging Infrared Radiometer (IIR) was plotted on Google Maps;
- This overlay was subsequently transferred to the IRIS Software, which generates CAPPIS (Constant Altitude PPIs), ECHO TOP, vertical cross-sections and spot measurements of the radar reflectivity and echo-top height.

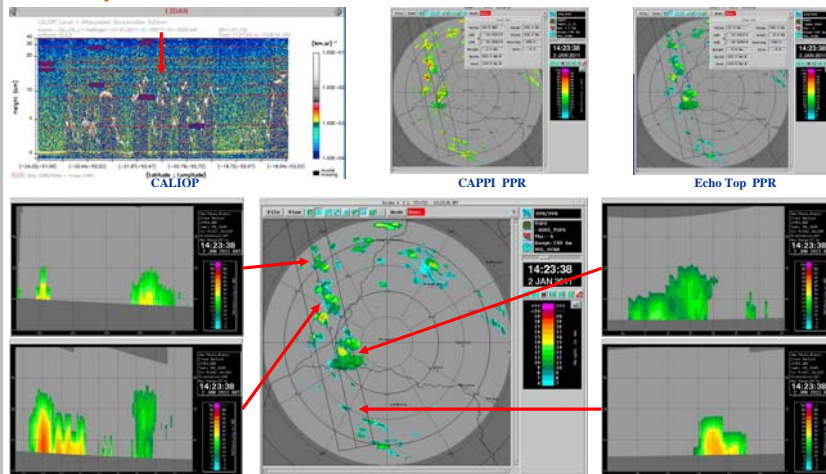
2. Radar Analysis (IRIS Software)

- Since it takes 7,5 min to generate a Volume Scan, the nearest one to the overpass time of CALIPSO was selected for the comparison;
- An integrated CAPPI at 3,5 km amsl was first generated, setting the reflectivity threshold to -6 dBZ;
- The Echo Tops were plotted for a reflectivity threshold of -6 dBZ, with the height scale starting at 6 km amsl and incrementing at 1 km steps up to 20 km amsl;
- Spot measurements can determine the exact reflectivity value, height and coordinates of each pixel (inserted panel);
- Vertical cross-sections along the exact CALIOP path were generated from the closest radar for the most intense cells, in order to determine the structure of the radar tops in space and relative to the echo core.

26 December 2010 – 17:20:42-17:22:12 UT / Radar VOL 17:16-17:23 UT



02 January 2011 – 17:27:04-17:28:34 UT / Radar VOL 17:23-17:30 UT



ACKNOWLEDGEMENTS

LMD/CNRS is thanked for financial support of the first author through the EECLAT Research Project to participate in this ESA CALIPSO, CLoudSat, EarthCARE Joint Workshop.

gerhard@ipmet.unesp.br

CONCLUSIONS

- A method for comparing radar-observed thunderstorm echo tops with cloud tops measured by CALIOP has been successfully tested;
- Preliminary results from 12 cases showed good agreement, based on CALIOP images and echo top spot measurements, as well as vertical sections, while 6 were without storms beneath the CALIPSO track;
- However, as a next step, digital CALIOP data now need to be evaluated for a quantitative comparison;
- It is expected, to also extend the comparison to the next TRO-Pico IOP Campaign at the beginning of 2013.

Comparação dos topos dos ecos de radar no Estado de São Paulo com topos de nuvens observados por CALIOP a bordo do satélite CALIPSO

Thiago Ramires¹, Gerhard Held², Ana Maria Gomes², Jonas Teixeira Nery¹

¹ Campus Experimental de Ourinhos – Geografia – UNESP Ourinhos, SP

² Instituto de Pesquisas Meteorológicas, UNESP, Bauru, SP

thiramires@gmail.com

Palavras chaves: radar, CALIPSO, sensoriamento remoto.

Introdução

As nuvens desempenham um papel muito importante na constituição da vida do nosso planeta, através dos processos climáticos e suas contribuições diretas e indiretas no balanço radiativo da Terra. O estudo sobre a formação e dispersão das nuvens, é de extrema importância para a previsão do tempo. Esta importância recai sobre questões econômicas, gerenciamento de energia e produção agrícola, fatores que são influenciados pelo clima.

Objetivos

O objetivo deste estudo é comparar as medidas de topos de nuvens identificados pelo sistema CALIOP¹ a bordo do satélite CALIPSO¹ com os topos de ecos detectados pelos radares meteorológicos *Doppler* do Instituto de Pesquisas Meteorológicas (IPMet).

Esses resultados permitirão fazer uma estimativa da quantidade de vapor de água entrando na baixa estratosfera (*overshooting*).

Material e Métodos

- Dados dos radares *Doppler* de Bauru e Presidente Prudente, do IPMet;
- Imagens de Lidar CALIOP, a bordo do satélite CALIPSO.

Para tratar e analisar as imagens dos radares foram usados os softwares IRIS (*Interactive Radar Information System*) de propriedade do SIGMET Inc, que controla a coleta, geração e armazenamento dos dados dos radares, e TITAN² (*Thunderstorm Identification, Tracking, Analysis and Nowcasting*) que é um sistema que permite identificar, rastrear células de tempestades e realizar uma previsão imediata sobre o deslocamento dessas tempestades.

Resultados e Discussão

Após obter as imagens de satélite, e identificar através das coordenadas, a trajetória, dia e hora exata em que a órbita atravessa as áreas de alcance dos radares (raio de 240 km cada), foram gerados CAPPis (*Constant Altitude Plan Position Indicator*) com intervalos de 7,5 minutos e limiares de refletividade de -6 dBz à 54 dBz e imagens de topo até 20 km de altitude.

A comparação é feita através das imagens de radar e do satélite, utilizando alguns parâmetros: topos (altitude), refletividade e temperatura. Estes

parâmetros são importantes, pois através deles, é possível definir a formação, o desenvolvimento e a penetração na tropopausa pela nuvem (*overshooting*) na região da baixa estratosfera. A análise nesta primeira fase é empírica, ou seja, é feita uma comparação visual entre as imagens.

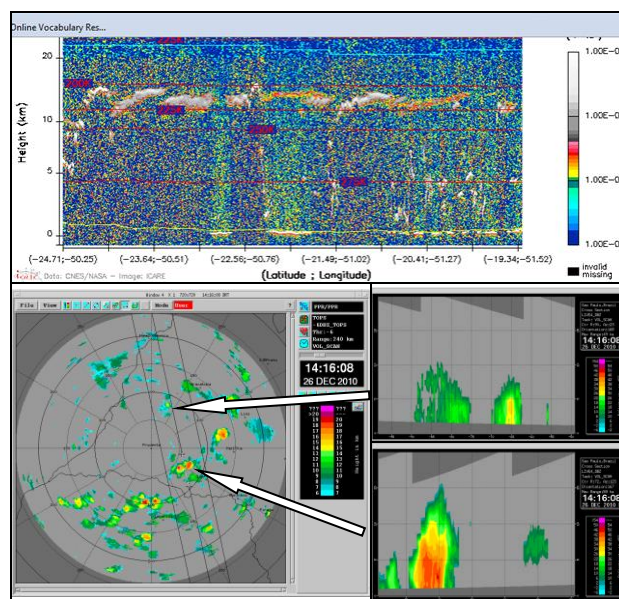


Figura 1: Imagem do CALIOP (acima) e imagem do Radar (topos dos ecos) Pres. Prudente e cortes verticais.

Conclusões

Os resultados preliminares apresentaram boa concordância entre as imagens CALIOP e topos dos ecos corroborados pelas seções verticais.

Como próximo passo deverá se obter os dados digitais do CALIOP para uma comparação quantitativa desses dados.

Agradecimentos

Ao Hermes A. de G. França, técnico do IPMet, pela geração de imagens do radar.

¹ Disponível em http://www.nasa.gov/mission_pages/calipso/main/index.html, acessado em 25 de julho de 2013.

² Dixon, M. e Wiener, G. TITAN: Thunderstorm Identification, Tracking, Analysis & Nowcasting - A radar-based methodology, *J. Atmos. Oceanic Technol.* **1993**, *10*, 785-797.