Previsão Imediata de Tempestades Intensas e Entendimento dos Processos Físicos no Interior das Nuvens

O SOS- CHUVA
(Sistema de Observação e Previsão de Tempo Severo)

Proponente: Luiz Augusto Toledo Machado
(INPE/CPTEC)

Projeto Temático de Pesquisa
Submetido a FAPESP em Junho de 2015

CONTENTS

RESUMO	**3**
ABSTRACT	**4**
1) ENUNCIADO DO PROBLEMA	**5**
2) INTRODUÇÃO	**5**
3) ASPECTOS CIENTÍFICOS E OBJETIVOS	**9**
4) O PROJETO NO CONTEXTO DE PESQUISA INTERNACIONAL	**11**
5) DESCRIÇÃO DO EXPERIMENTO	**12**
6) DESCRIÇÃO DA METODOLOGIA DE PESQUISA	**13**
7) RESULTADOS ESPERADOS	**32**
8) CRONOGRAMA	**32**
9) OUTROS APOIOS E PARCERIAS PREVISTAS	**33**
10) DIFUSÃO DO CONHECIMENTO	**33**
11) LISTA DE PARTICIPANTES	**34**
12) REFERÊNCIAS	**36**
13) JUSTIFICATIVA DO ORÇAMENTO	**40**

RESUMO

Este projeto visa aproveitar a oportunidade de compra final do “leasing” do radar de dupla polarização para desenvolver pesquisa em previsão imediata de tempestades com base no conhecimento adquirido sobre as propriedades físicas das nuvens no projeto temático CHUVA. A base desta pesquisa é o radar de dupla polarização operando em Campinas, por 24 meses (duas estações chuvosas) para capturar eventos intensos de precipitação que forneçam as bases para o estudo dos processos físicos no interior das nuvens visando aprimorar a previsibilidade em curto prazo, a detecção de severidade e a estimativa de precipitação com radar e satélite em alta resolução temporal e espacial. De forma inédita esse projeto irá instalar detectores de granizo para criar uma base de dados que forneça informações não somente sobre a ocorrência de granizo, mas também do seu tamanho. Além das diversas componentes de estudo, sejam elas ligadas a eletrificação, propagação, crescimento do volume de alguns hidrometeoros, como as taxas de crescimento do topo e dos processos microfísicos, este estudo visa desenvolver o SIGMA-SOS. O SIGMA SOS é um sistema de informações geográficas que integra os dados medidos bem como as previsões em curto prazo e os avisos meteorológicos. O Brasil comprou e está ainda ampliando a rede de radares de dupla polarização para monitorar eventos extremos de tempo. Contudo, o conhecimento sobre esse sistema é ainda incipiente e este projeto irá realizar pesquisa empregando esse tipo de instrumento, formar alunos nessa área e desenvolver ferramentas inéditas para uso deste instrumento. A interface com a componente agrícola abre uma nova perspectiva de uso destes sistemas em uma área de grande importância para o Brasil.

ABSTRACT

This project aims to take advantage of the opportunity to buy out the dual polarization radar in a very low price based in the already paid leasing to develop research in nowcasting of severe thunderstorms based on knowledge acquired about the physical properties of clouds in the CHUVA thematic project. The basis of this research is the dual polarization radar operating in Campinas, for 24 months (two wet seasons) to capture intense events that provide the base for the study of the physical processes inside of thunderstorms aiming at improving predictability in the short term and the detection of severity. This project will install hail pads to create a database to provide information not only on the occurrence of hail, but also its size. In addition to the various studies components, as precipitation estimation using radar and satellite, electrification, cloud propagation, time rate of the volume of some hidrometeoros, cloud top growing rates and microphysical processes, this study aims to develop the SIGMA-SOS. The SIGMA SOS is a geographic information system that integrates the measured data as well as short-term forecasts and warnings. The Brazil bought several dual pol radars and is still expanding its network of radars to monitor extreme events. However, there is a lack of knowledge about the microphysical process and the interaction of dual pol radar with the hydrometeor inside the clouds, and this project intend to contribute improving this knowledge and forming students in this area. The interface with agriculture open a new perspective of applications in an important subject in Brazil.

1. Enunciado do Problema

As mudanças climáticas tem aumentado a frequência de eventos extremos no globo (IPCC, 2012). O número de vítimas e o prejuízo destes eventos são altíssimos. Os eventos extremos climáticos podem ser relacionados com a seca ou excesso de chuva. Este projeto irá tratar deste segundo tipo de evento, os extremos de precipitação. O enunciado do problema é básico e simples: como prever eventos extremos a curtíssimo prazo (poucas horas), como fazer essa informação chegar ao usuário de forma adequada e como reduzir perdas de vida e bens materiais em riscos de escorregamentos de terra e inundações. Apesar de o enunciado ser simples a resolução do problema é bastante complexa. A previsão em curto prazo é uma ciência relativamente nova, pouco se sabe sobre os processos no interior das nuvens que definem a severidade do sistema, não existem medidas diretas destes parâmetros. Além disso, os modelos numéricos não tem destreza para prever em curto prazo, a previsão em alta resolução, sem a parametrização da convecção as nuvens são resolvidas de forma explícita e este assunto ainda é um grande desafio das ciências atmosféricas.

Esse projeto visa, em face de todo esse desafio, prover um sistema que reduza a vulnerabilidade da população a eventos extremos de chuva. Para tanto, o projeto visa desenvolver e expandir um sistema web que informe os tomadores de decisão e a população sobre o risco de eventos extremos, entender os processo físicos de tempestades intensas e severas e prever em curto prazo o desenvolvimento e monitoramento das mesmas. Os conhecimentos a serem adquiridos neste projeto serão importantes para o entendimento da microfísica de nuvem, dos modelos de previsão imediata, da modelagem numérica em alta resolução, na estimativa de precipitação por satélite e radar, na avaliação da severidade de sistemas de nuvens, no desenvolvimento-aprimoramento de um sistema de informação e divulgação dos eventos e na previsão em curto prazo.

2. Introdução – O estado da Arte da Previsão Imediata e o Brasil

O Brasil é um país que raramente tem desastres naturais de grande amplitude relacionado a atmosfera como furacões e tornados de grande intensidade. Contudo, o Brasil é um país com um grande número de eventos intensos e extremos que impactam fortemente a sociedade e a economia. Esses eventos são ainda mais amplificados pela grande vulnerabilidade dos grandes centros urbanos e pela falta de instrumentos de monitoramento e previsão imediata dos eventos severos. A Figura 2.1, obtida do relatório Perfil dos Municípios Brasileiros – 2013 (IBGE, 2013), mostra claramente a enorme quantidade de municípios que apresentaram inundações e escorregamentos, ambos forçados por sistemas atmosféricos intensos. Nota-se também que cidades com

população maior que 500.000 habitantes são as cidades que apresentam, em praticamente todo o Brasil, os maiores números de eventos extremos associados a escorregamentos e deslizamentos. Por outro lado, os municípios não apresentam uma estrutura de gerenciamento de risco, em torno de 70% dos municípios não apresenta nenhum instrumento de gerenciamento e apenas 5% dos municípios apresentam algum sistema de alerta de desastres.

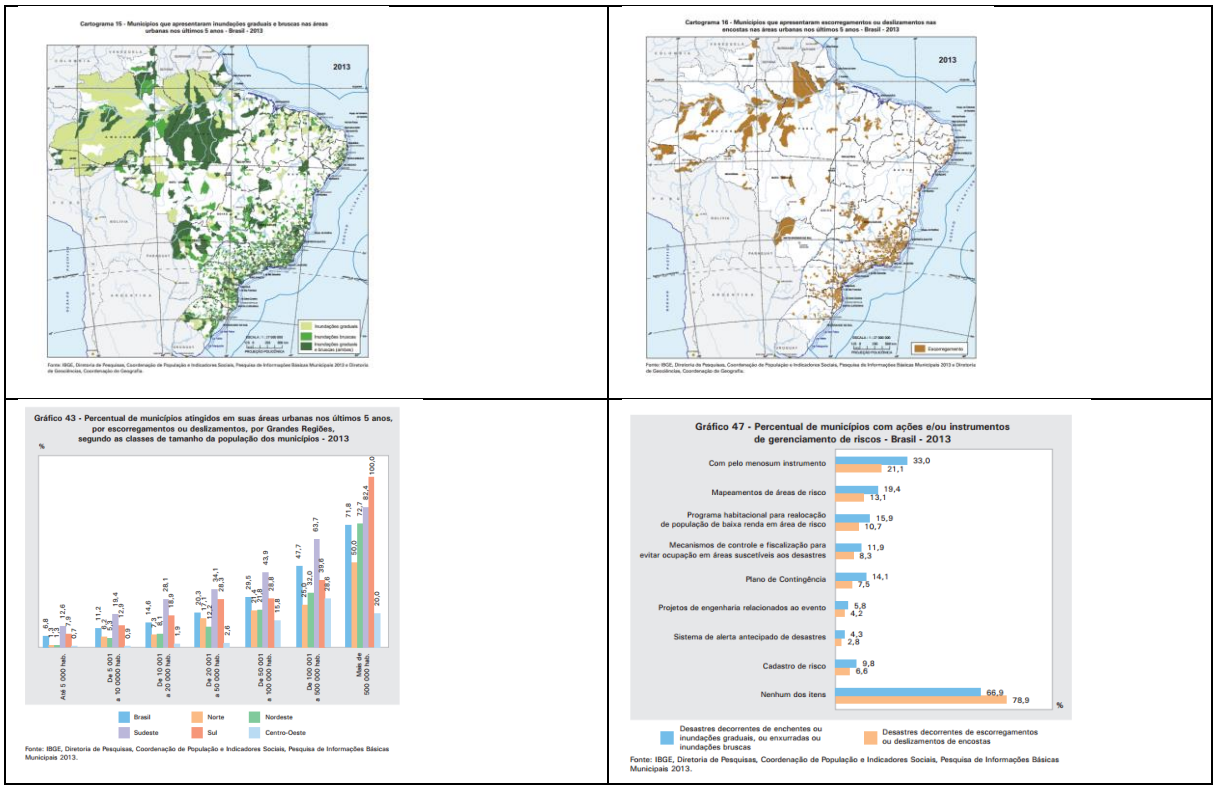

Figura 2.1; Dados coletados no relatório do IBGE – Perfis dos Municípios Brasileiros 2013.

Assim o desenvolvimento de instrumentos de monitoramento e previsão imediata e a expansão destes sistemas são fundamentais para reduzir o número crescente de desastres naturais no Brasil.

Este projeto visa desenvolver pesquisa tanto na área de previsão imediata e monitoramento como em um sistema de informações geográficas que forneça a informação da severidade e risco (no caso de integrados de precipitação) à população e aos tomadores de decisão e o uso aplicado da informação quantificada da precipitação. Essa linha de pesquisa é atual no mundo, pouco se conhece sobre as estruturas no interior das nuvens e seu desenvolvimento, desta forma este projeto apresenta uma grande componente de inovação do ponto de vista científico, bem como de aplicação à sociedade.

Este trabalho está relacionado com a previsão imediata de tempo, ou *nowcasting*, que consiste na previsão de tempo para período de 0 a 3 horas, escala espacial de alguns quilômetros e a utilização de dados com frequência menor que 1 hora. A previsão imediata utiliza principalmente dados de radar meteorológico para discriminar tridimensionalmente eventos precipitantes em alta resolução espacial e temporal.

O Serviço Meteorológico Americano utiliza como definição de eventos severos a ocorrência de um ou mais dos seguintes fenômenos: tornados, ventos destrutivos ou rajadas iguais ou maiores que 92,6 km/h (50 nós) e granizo com diâmetro igual ou maior que 1,9 cm (Moller, 2001). No nosso caso o evento severo é raro, mas temos eventos intensos que são os principais causadores de desastres no Brasil. Esses eventos são definidos neste trabalho como aqueles com alta intensidade de precipitação (>60 mm/hr) e/ou com ocorrência de granizo e/ou de vendaval e/ou grande frequência de descargas elétricas e/ou acumulados de precipitação maiores que 100 mm em três dias. Para o monitoramento e previsão imediata as duas principais ferramentas são: o radar e o satélite. As técnicas são concentradas nos seguintes tópicos: iniciação da convecção, previsão de intensificação da convecção na fase madura, quantificação da precipitação, técnicas de rastreamento para acompanhamento e previsão do tempo e sistemas de integração da informação.

As técnicas de iniciação da convecção utilizam dados de radar para observação de convergência em baixos níveis através de linhas de convergência, cuja presença ou intersecção com rolos convectivos ou entre linhas são essenciais para a formação de convecção (Wilson et al., 1998). No experimento CHUVA Vale do Paraíba foram observados estes tipos de rolos convectivos engatilhando a convecção. A Figura 2.2 mostra um exemplo desta complexa interação entre a penetração da Brisa Marítima e a interação com frentes de rajadas associados às células convectivas já existentes e a consequente formação de tempestade intensa.

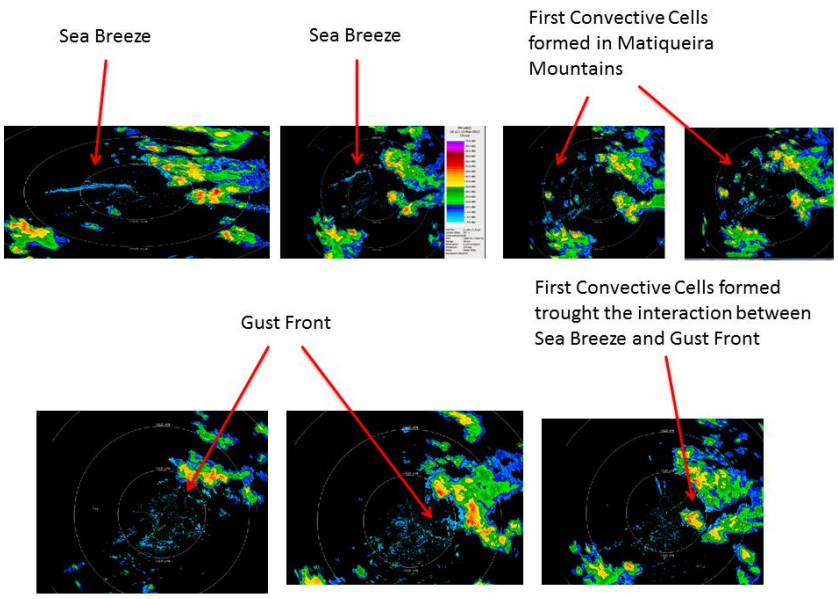

Figura 2.2. Imagens do radar banda X do projeto CHUVA no Experimento Vale do Paraíba.

Esse tipo de análise de iniciação depende da observação e a complexidade não permite o desenvolvimento de um sistema inteligente que realize previsão de iniciação convectiva de forma automática. Contudo, existem alguns sistemas como o Generating Advanced Nowcasts for Deployment in Operational Land Surface Flood Forecasting (GANDOLF) do U.K. Met. Office (Pierce et all, 2000) e o Auto-Nowcaster da NCAR (Roberts, 2006). O GANDOLF, proposto por Pierce, utiliza dados de radar, satélite e modelo numérico de mesoescala para análise do movimento e desenvolvimento subsequente da convecção baseado em um modelo conceitual do ciclo de vida. O Auto-nowcaster utiliza radar, satélite e observações de superfície. Este sistema possui regras de iniciação através das linhas de convergência detectadas pelo sistema, além de regras de decaimento, como por exemplo, considerar em dissipação células menores que um limiar e longe da linha de convergência (Wilson et al., 1998). Neste trabalho propomos alguns estudos novos sobre o crescimento da altura do sistema, da expansão da área e do crescimento do volume de hidrometeoros específicos.

Diversos métodos de rastreamento de células e previsão de deslocamento por extrapolação baseada no passado recente da célula foram desenvolvidos, alguns mais robustos que realizam a previsão modificando a forma e o tamanho das células como o Forecast and Tracking of Convective Clouds (Fortracc) desenvolvido por Vila et al., (2008). O Fortracc foi desenvolvido para satélites e será avaliado, adaptado e aperfeiçoado para radar.

O uso de radar para nowcasting utiliza algumas variáveis que fornecem informações importantes para o monitoramento da severidade, como por exemplo, o VIL, conteúdo de

água líquida integrada verticalmente, pode ser empregado como um avaliador de tempestades severas, além de ser possível realizar previsão quantitativa de precipitação (Boudevillain e Andrieu, 2003). Outro parâmetro é o DVIL é a densidade do VIL e consiste no quociente entre o VIL e o echo-top (Amburn e Wolf, 1997), que aplica uma "normalização" do VIL e discrimina melhor tempestades que produzem granizo de forma independente da sazonalidade, tipo de massas de ar ou região. O emprego de técnicas utilizando radares de dupla polarização pode contribuir fortemente ao nowcasting embora poucos estudos existam sobre seu emprego nesta área. As informações adicionais em relação à radares de polarização simples, como refletividade diferencial (ZDR), diferença de fase (ΦDP), diferencial de fase específica (KDP) e correlação co-polar (ρhv) acrescentam muito na informação tridimensional do radar. Alguns trabalhos tem descrito em detalhes o emprego de radares de dupla polarização, mas principalmente para análise de descargas elétricas como os trabalhos de Mattos et al. (2015), Bain et al (2013), Woodard et al. (2012). Esses trabalhos apresentam estimativas de valores das variáveis polarimétricas que serão úteis para as definições de volumes com hidrometeoros específicos e as análises de tendências. Dotzek e Friedrich (2009) empregando classificação de hidrometeros em radares de dupla polarização notou que a ocorrência de downburst estava ligada a regiões de granizo que não alcançavam o solo. Bechini et al. (2013), empregando radar de dupla polarização, classificou eventos convectivos e estratiformes e observou que altos valores de KDP e ZDR em torno de -15^{o}C são relacionados com a intensificação da precipitação estratiforme. Figueras et al. (2013) descreve a assinatura polarimétrica de uma tempestade de granizo. Esses serão alguns dos trabalhos que servirão de base para avançar no conhecimento da estrutura microfísica das nuvens com o objetivo de realizar nowcating.

3. Aspectos Científicos e Objetivos.

O emprego de radares de dupla polarização é uma realidade no Brasil. O CEMADEN adquiriu nove radares que estão sendo instalados e tem plano de expandir essa rede. O SIMEPAR e o EPAGRI acabam de colocar em operação dois radares de dupla polarização. O conhecimento a cerca do emprego deste tipo de radar no Brasil é reduzido e há uma clara necessidade de expandir o conhecimento visando pesquisa aplicada, de forma que esse grande investimento que o Brasil está realizando seja de fato útil à sociedade. Nesta linha este projeto visa empregar esse tipo de radar para desenvolver conhecimento na área de previsão imediata e estimativa de precipitação por radar e satélite para reduzir o impacto na sociedade dos desastres climáticos associados à ocorrência de eventos extremos. Desta forma pretende-se conhecer as assinaturas polarimétricas associadas a fenômenos intensos a quantificação da precipitação e a previsão imediata destes eventos extremos. De fato há mudanças específicas na microfísica das nuvens que evoluem formando

granizo, grandes quantidades de gotas de chuva, formando correntes descendentes de alta intensidade que posteriormente resultam em eventos intensos e severos. Essas variações na microfísica de nuvens podem ser observadas pelas variáveis medidas pelo radar de dupla polarização (refletividade, refletividade diferencial, correlação e fase diferencial específica). Além das variáveis polarimétricas existem as velocidades radiais que fornecem uma informação sobre a circulação na escala do evento fornecendo dados para a interpretação dinâmica do mesmo. Essa é uma área de vanguarda na ciência atmosférica que consiste em realizar previsão imediata do tempo, cada vez mais importante para a sociedade. Os objetivos gerais e específicos são:

Entender a evolução da microfísica das nuvens ao se modificarem para se tornarem eventos intensos de precipitação e prever essas mudanças com base em modelos conceituais desenvolvendo um sistema de alerta de tempestades intensas e estimativas de intensificação da precipitação com aplicações diretas a sociedade, com ênfase na Defesa Civil, tráfego aéreo, agricultura, geração de energia e abastecimento de água.

Objetivos Específicos:

a) Desenvolver um modelo conceitual da evolução de tempestades em função das variáveis polarimétricas do radar.
b) Desenvolver um modelo de detecção e previsão imediata de granizo e de tamanho do granizo.
c) Desenvolver uma estimativa de precipitação pelo radar testando as diferentes metodologias e ajustando as relações Z-R e Z-KDP e aplica-las a um modelo de produtividade agricola.
d) Desenvolver um modelo de propagação da convecção visando prever seu deslocamento.
e) Desenvolver ferramentas de previsão imediata visando determinar o início da convecção profunda.
f) Desenvolver ferramentas de previsão imediata visando determinar a evolução de sistemas já maduros.
g) Adaptar e aperfeiçoar a ferramenta ForTracc para previsão utilizando radar de dupla polarização.
h) Estudar a ocorrência de descargas elétricas e sua previsibilidade.
i) Entender a formação da eletrificação das nuvens visando sua parametrização
j) Aprimorar modelos numéricos visando o uso de campos atmosféricos na detecção da iniciação da convecção e na previsão de eventos severos.

k) Avaliar os dados do novo satélite GPM com as medidas na superfície e desenvolver ferramentas de previsão imediata baseado no GPM (que cobre todo o país).
l) Integrar todo o sistema em um sistema de informações geográficas acessível a população e tomadores de decisões.
m) Desenvolver parcerias com os setores: hídrico, aeronáutico e defesa civil para testar e avaliar o sistema.
n) Desenvolver novos conhecimentos que visem aprimorar a modelagem em alta resolução, principalmente na estimativa de hidrometeoros e distribuições de tamanho das gotas de chuva e granizo.

4. O Projeto no Contexto de Pesquisa Internacional

O projeto está no contexto de vários esforços internacionais que cito a seguir:
O Relâmpago (Remote sensing of Electrification, Lightning, And Meso-scale/micro-scale Processes with Adaptive Ground Observations). O Relâmpago está sendo organizado pelos Americanos, Argentinos e Brasileiros, sendo liderado por Steve Nesbiit (Universidade de Illionois). O projeto visa estudar os sistemas intensos de precipitação no sul da América do sul que é considerada a região do globo com as tempestades mais intensas (Zipser et al., 2006). O projeto deve ser apresentado a National Science Foundation para ser realizado em 2016. Esse projeto contribuirá para auxiliar a montagem da campanha e no entendimento das tempestades severas observadas por radar polarimétrico.
O GPM (Global Precipitation Measurement) é um projeto internacional que visa medir a precipitação por satélite em toda a Terra. O satélite principal, a nave mãe do GPM, foi lançado em fevereiro de 2014. Este satélite conta com dois radares e sensores de micro-ondas. As passagens do satélite serão coordenadas com varreduras específicas do radar para aprimorar as medidas, os produtos calculados e os três algoritmos de estimativa empregado no GPM, o algoritmo baseado somente em micro-ondas, o outro baseado somente no radar e o terceiro na combinação dos dois sistemas (veja 6th International Workshop for GPM Ground Validation). Para um dado período, varreduras específicas serão combinadas para a validação do GPM e os produtos estimados pelo GPM serão comparados com aqueles medidos pelo radar banda X e pelos disdrômetros e pluviômetros. Este projeto será apresentado para o GPM como um site oficial de validação do GPM. Este site será montado para dar uma sólida estimaitva de precipitação em uma área de 0.5 x 0.5 graus para o DPR (dual radares KA e KU) como para os produtos nível II do GMI (a estimativa com o micro-ondas passivo).

O GOES-R será o satélite de maior uso pelo Brasil no ano de 2016. Esse satélite irá cobrir a América do Sul e fornecerá imagens em intervalos de até 5 minutos. O GOES-R terá um sensor de medidas de descargas elétricas e uma grande gama de canais. Já há uma colaboração estabelecida com o GOES-R Science Team que foi concretizada com o projeto

CHUVA e que será continuada com este projeto. Medidas do radar combinada com as medidas de descargas elétricas da rede Brasildat permitirão desenvolver modelos conceituais, entender a formação das descargas elétricas e a previsão de tempestades baseado nos dados de descargas como Lightning Jump descrito no trabalho de Schultz et al (2009).

Outro esforço relacionado com este projeto é o SCOPE-NW (Sustained Coordinated Processing of Environmental Satellite Records for Nowcasting) organizado pela Organização Meteorológica Mundial (WMO). Este projeto dará suporte a participação brasileira no SCOPE-NW através do aprimoramento do Fortracc e da estimativa de precipitação e do sistema Sigma. O conhecimento obtido neste projeto fornecerá a base de desenvolvimento da participação brasileira.

5. Descrição do Experimento

Este sistema de medidas empregará uma estratégia que vise fornecer dados científicos para o desenvolvimento das pesquisas, mas também com uma estratégia de medidas do radar que permita a avaliação e o futuro emprego em um sistema operacional de previsão imediata do tempo.
O radar banda X de dupla polarização (veja o link para a especificação do radar - http://www.gematronik.com/fileadmin/media/pdf/product-information/Datenblatt.60DX.13.engl.pdf) será instalado em Campinas. O radar será instalado em parceria com o CEPAGRI na UNICAMP. Esse radar fará varreduras volumétricas a cada 10 minutos de uma forma regular denominado – processo em simulação de operação. Essa varredura incluirá varredura vertical para correção do offset do ZDR, zero checking e RHI (Range-Height Indicator) específicos nas direções perpendiculares e transversais da direção preferencial de propagação da convecção na região. No caso de eventos especiais o radar será operado realizando RHIs sistemáticos de um sistema em desenvolvimento para estudo da evolução da microfísica em alta resolução. Uma terceira varredura será a varredura GPM que em alguns casos será realizado uma varredura de RHI na direção perpendicular a passagem do satélite.

Os dados de refletividade do radar, originalmente dispostos em coordenada polar, serão convertidos para coordenadas cartesianas. A seguir, será realizada a correção da atenuação na refletividade e na refletividade diferencial ZDR. Na correção da atenuação da refletividade, será utilizado o algoritmo ZPHI (Testud et al., 2000). Para a correção do ZDR, será utilizado o método ΦDP linear que considera que a atenuação do ZDR é linearmente proporcional ao ΦDP (Bringi et al., 2007). Para a determinação do viés do

ZDR, serão utilizadas as correções calculadas pelo offset conforme descritas por Sakuragi e Biscaro (2012) para a campanha CHUVA. Para os casos de radôme molhado por chuva será empregada a técnica descrita por Bechini et al. (2010) que tem como base a uma correção linear da refletividade Zh com a taxa de precipitação.

Três disdrômetros serão instalados no entorno do radar, um na proximidade, outro a 10 km e outro a 40 km (na ESALQ). Esses disdrômetros são dois Parsivels e um Joss. Os disdrômetros são utilizados para conhecer a distribuição de gotas na superfície.

10 Pluviômetros serão instalados na região do radar para os ajustes e calibrações das estimativas de precipitação. A ESALQ, em Piracicaba será o site principal do experimento.

Um conjunto de Hail Pad (veja a descrição no capítulo seguinte) será desenvolvido e instalado nos arredores do radar, em um número aproximado de 20. O Hail Pad permite saber a ocorrência de granizo e determinar o tamanho do particulado.

Medidas de descargas elétricas, polaridade e intensidade serão obtidas pela rede Brasildat. Um campo com 6 field mills será instalado na ESALQ e permitirá relacionar a eletrificação com a microfísica das nuvens.

Serão instaladas, na ESALQ, estações de superfície para adicionar informações aos modelos agrícolas e também para utilização em ferramentas de previsão a curto prazo.

Finalmente serão instalados 3 sensores GPS para medida indireta do conteúdo integrado de vapor d´água visando estudar os aumentos do conteúdo integrado antes dos eventos extremos que estão associados e penetração de linhas de convergência de umidade.

Do ponto de vista da modelagem, o modelo BRAMS e WRF serão rodados no IAG de forma operacional (dia a dia) em alta resolução para avaliar a capacidade do modelo em descrever eventos severos/intensos. Além disso, simulações específicas de casos selecionados serão avaliadas e comparadas aos campos observados pelo radar e pela instrumentação na superfície.

6. Descrição da Metodologia a ser empregada

Através de registros meteorológicos como o METAR, informações na imprensa e pelas medidas de granizo e da intensidade e da quantidade de precipitação será desenvolvido um banco de dados de eventos intensos e severos. Com base neste catálogo de eventos serão aplicadas diversas técnicas (descritas nos itens abaixo) e desenvolvido rotinas para prever e detectar esses eventos.

6.1 – Iniciação convectiva

Para iniciação convectiva serão utilizados dois procedimentos, um relacionado com radar e outro com satélites. Para radar será estudado a variação da altura do topo das células

convectivas considerando um sistema Lagrangiano. Para descrever as variações de topo de nuvem observada com o radar em um referencial lagrangiano é necessário seguir as tempestades. Para isso utilizaremos a técnica FORTRACC (Vila et al., 2008) em um CAPPI (Constant Altitude Plan Position Indicator) que permite seguir as estruturas de chuva ao longo de seu ciclo de vida. A altura média, ou a máxima altura alcançada por um dado liminar de refletividade do sistema pode ser definido em um dado instante. A variação dessa altura com o tempo apresenta uma ideia do movimento vertical no interior da nuvem. Essa derivada temporal da altura do sistema fornece uma ideia da dinâmica no interior podendo estar relacionada com o fluxo de massa e a taxa de condensação (quando positivo). Variações com alta magnitude podem indicar que o sistema apresenta uma forte dinâmica e terá um forte potencial de se transformar em tempestades severas.
Machado e Laurent (2004) deduzem a seguinte equação:

$$\frac{\partial Ql}{\partial t} = \rho_l . A \frac{\partial H}{\partial t} + \rho_l . H \frac{\partial A(cond)}{\partial t} \quad (1)$$

Onde ***Ql*** é a água líquida, H a altura do topo da nuvem, ***A*** a área da nuvem e ***ρl*** a densidade da água

Essa equação mostra que o crescimento de água líquida na nuvem está relacionado com o aumento da área por condensação e pela taxa de crescimento vertical da nuvem.
Monitorar estes parâmetros permite avaliar precocemente as nuvens que terão potencial para desenvolvimento intenso. Além do alerta para determinar uma nuvem com potencial de tempestade será avaliado como essa variação na altura ou expansão da área de chuva pode auxiliar na previsão da modificação do VPR (vertical profile reflectivity) nos próximos passos de tempo. Supõe-se também que essa variação na altura do topo e na expansão possa determinar a fase do ciclo de vida da nuvem. Esses parâmetros serão analisados e testados com os dados coletados e com a comparação com a base de dados de eventos severos que serão catalogados.
Do ponto de vista de satélites será testada a técnica de Rosenfeld e Lerner (2003) que se baseia na estrutura microfísica da nuvem. Utilizando o canal de 3.9 μm para definir o raio efetivo da nuvem e o canal infravermelho de janela atmosférica, para definir a altura, é possível avaliar a intensidade da corrente ascendente no interior das nuvens. Nuvens que apresentam um forte crescimento do tamanho do gelo com altura apresentam um fraco movimento vertical, já nuvens com pequena variação do tamanho dos cristais com a altura indicam eventos com fortes movimentos verticais, pois, não tiveram tempo suficiente para o crescimento das partículas de gelo. A Figura abaixo apresenta uma

descrição e classificação destes perfis. Segundo Rosenfeld (2008) é possível determinar tempestades severas com até duas horas de antecedência.

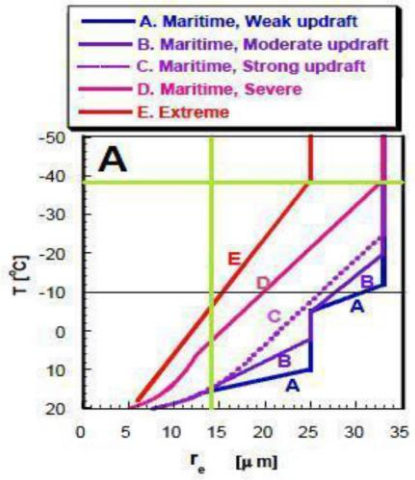

Figura 6.1.1: variação do raio efetivo com a altura para diferentes tipos de tempestades (Rosenfeld, 2008).

Esta técnica será testada e comparada com os dados de radar para verificar como a distribuição de hidrometeoros se organiza em função desses diferentes sinais observados no topo das nuvens por satélites.

6.2 – Sistemas Maduros

Uma análise importante que pretendemos desenvolver é estimar a conversão/formação de hidrometeoros em um sistema de nuvem e verificar como essa conversão está associada ao desenvolvimento da nuvem e a consequente formação de granizo e descargas elétricas. Através do sistema lagrangiano descrito acima é possível seguir o campo tridimensional da nuvem (o volume da nuvem). Com o sistema de classificação de hidrometeoros discutido por Schneebeli (2012), Park (2009) ou as diversas opções do ECLASS software que equipa o Rainbown (sistema de produtos do radar Selex) é possível classificar os hidrometeoros em diversas famílias de cristais. Em cada passo de tempo no sistema lagrangiano é possível calcular o volume da nuvem com hidrometeoros e calcular a derivada temporal das espécies de particulado. Com essas medidas pode-se avaliar as conversões e formação e os “jumps” em determinados tipos de cristais como graupel e granizo indicando o início da severidade. A equação abaixo apresenta de forma simplificada o problema apresentado.

$$taxa - condensação = \rho_l \frac{\partial(VQ_l)}{\partial t} = \rho_l \frac{\partial(VQdroplet)}{\partial t} + \rho_g \frac{\partial(VQgraupel)}{\partial t} + \rho_{hail} \frac{\partial(VQhail)}{\partial t} + \rho_s \frac{\partial(VQsnow)}{\partial t} + .. \quad (2)$$

Onde ρl, ρg, ρhail ε ρs são as densidades da água líquida, graupel, granizo e neve. VQ é o volume de uma dada espécie.

A Figura 6.2.1 (Baley et al., 2009) apresenta um exemplo do grande número de tipos de cristais que são encontrados nas nuvens. Não são todos estes tipos classificados e o classificador pode integrar espécies, normalmente são classificados – gotas de chuva, garoa, graupel, granizo, neve seca e neve úmida. Essas taxas descritas acima podem ajudar a entender os processos físicos nas nuvens e auxiliar na parametrização dos hidrometeoros e a previsão imediata.

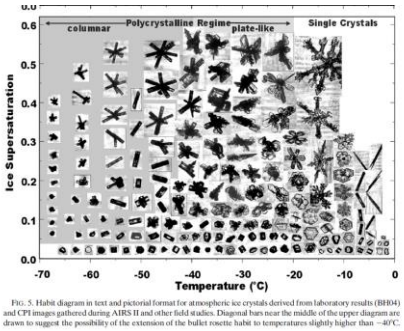

FIG. 5. Habit diagram in text and pictorial format for atmospheric ice crystals derived from laboratory results (BH04) and CPI images gathered during AIRS II and other field studies. Diagonal bars near the middle of the upper diagram are drawn to suggest the possibility of the extension of the bullet rosette habit to temperatures slightly higher than −40°C.

Figura 6.2.1 Tipos de cristais em função da supersaturação e temperatura. (Baley et al., 2009)

De uma forma mais precisa, iremos testar a evolução volumétrica das variáveis polarimétricas e aquelas provenientes da classificação de hidrometeros. Um exemplo de valores das variáveis polarimétricas para radar Banda X e a respectiva classificação de hidrometeoros é apresentado na Tabela 6.2.1 (Dolan e Rutledge, 2009). A análise quantitativa destas variáveis é importante para análise de severidade. Entre as características observáveis, destacam-se o graupel precursor de granizo e alta eletrificação da nuvem, água líquida super-resfriada importante para o processo de crescimento por *riming* originando granizo, além da presença do próprio granizo.

Tabela 6.2.1 – Intervalo de valores de variáveis polarimétricas em função dos hidrometeoros para radares banda X.

	Z_h	Z_{DR}	K_{DP}	ρ_{hv}
Chuva	25 a 59	0.07 a 3.6	0.004 a 25.5	0.983 a 1.0
Garoa	-27 a 31	0 a 0.9	0 a 0.06	0.993 a 1.0
Agregados	-0.3 a 33	0 a 1.3	0 a 0.3	0.9979 a 1.0

Cristais de gelo	-25 a 19	0.6 a 5.8	0 a 0.3	0.9635 a 0.9998
Graupel com baixa densidade	14 a 44	-0.7 a 1.3	-1.4 a 2.8	0.999 a 1.0
Graupel com alta densidade	31 a 55	-1.3 a 3.7	-2.5 a 7.6	0.992 a 1.0
Gelo alinhado verticalmente	-25 a 17	-2.1 a -0.3	-0.1 a 0	0.9518 a 0.9983

Fonte: Dolan e Rutledge, 2009.

6.3 - Ocorrências de Granizo

Este projeto irá desenvolver um sistema de medição de granizo que permite determinar a ocorrência e avaliar o tamanho do granizo. Long et al. (1980) foi um dos primeiros idealizadores de um sistema que permitia detectar a ocorrência de granizo. Palencia et al. (2011) desenvolveu o sistema para fazer medidas de tamanho do granizo. A ideia é desenvolver todo o sistema de detecção, desde a calibração até o software que mede a distribuição de tamanhos do evento de granizo. Para tanto serão utilizados placas de floormate como base, pintá-la de branco e testar a distribuição de tamanho com gelos de diferentes densidades. Após o registro do gelo na placa aplica-se tinta de silkscreen e imprime bases de papeis que serão digitalizados e processados por uma rotina que calcula a distribuição de tamanho. Essa rotina será oriunda da versão do ForTracc que permitirá calcular a distribuição de tamanhos. Pretende-se anexar um sensor binário de chuva e um de som para definir o momento do evento. Desenvolvido o sistema o detector de granizo será instalado em residências voluntárias para fazer um registo amostral da ocorrência na região de atuação do radar. (um sistema similar desenvolvido na Itália encontra-se na figura 6.3.1). A estratégia descrita será adaptada daquela utilizada por Manzato (2013) em uma climatologia de eventos na Itália.

Os dados coletados permitirão identificar os casos de granizo e serem tratados em específico visando associar o tamanho e a ocorrência com as variáveis polarimétricas e as técnicas de nowcasting que serão desenvolvidas nos outros itens.

Figura 6.3.1: Ilustrações de um Hail Pad. O sensor, a medida já com silkscreem para análise, o material a ser empregado e o arquivo de Hail Pads. (fornecido por Agostino Manzato – serviço meteorológico da regional da Itália).

6.4 – Descargas Elétricas

O Brasil possui uma das maiores incidências de raios do mundo, com cerca de 50 milhões de raios por ano. Anualmente 132 pessoas morrem em média pelo efeito direto e indireto dos relâmpagos no Brasil (Cardoso et al. 2014), além disso, o setor de distribuição de energia elétrica é um dos mais afetados tendo grandes prejuízos. Para monitorar e prever estas intensas tempestades, é preciso compreender como as propriedades microfísicas evoluem até o momento do inicio da eletrificação. Atualmente os radares de dupla polarização são as ferramentas mais eficazes para avaliar as propriedades dos hidrometeoros. Em contrapartida, o monitoramento de relâmpagos tem sido realizado ao longo das últimas décadas por redes atuando na frequência de LF/VLF, capazes de identificar relâmpagos nuvem-solo (NS) e intra-nuvem (IN). Estudos utilizando radar banda S e C tem indicado a ocorrência de relâmpago IN associado com a formação de *graupel* e *granizo* no topo de fortes updfrafs, enquanto relâmpagos NS são observados próximos a região de *graupel* e *granizo* em fortes downdrafts (Goodman et al. 1989; Carey and Rutledge 1996). Goodman et al. (1989) documentaram a ocorrência do primeiro relâmpago NS oito minutos após o congelamento da água no topo da coluna de água líquida super resfriada e o aparecimento do primeiro *graupel*. Recentemente, Ventura et al. (2013) reportou uma diminuição na refletividade diferencial (pico de -0.35 ^{o} km^{-1}) no tempo da máxima taxa de relâmpago NS negativo, 10 min antes da observação de granizo em solo. Mattos et al. (2014) encontraram um rápido decréscimo no valor de Z_{dr} e K_{dp} e um aumento na área da tempestade com concentração de gelo alinhados verticalmente antes do primeiro relâmpago NS em tempestades isoladas em São José dos Campos (Fig. 6.4.1). Apesar do grande avanço na área de eletrificação de nuvens, os estudos resumem-se a estudos de casos, e ainda há uma carência de ferramentas de previsão de relâmpagos usando radares polarimétricos. A principal motivação é avaliar o comportamento das variáveis polarimetricas antes da intensa ocorrência de relâmpagos IN e NS, para uma larga base de dados (período de 19 meses), e tipos de tempestades.

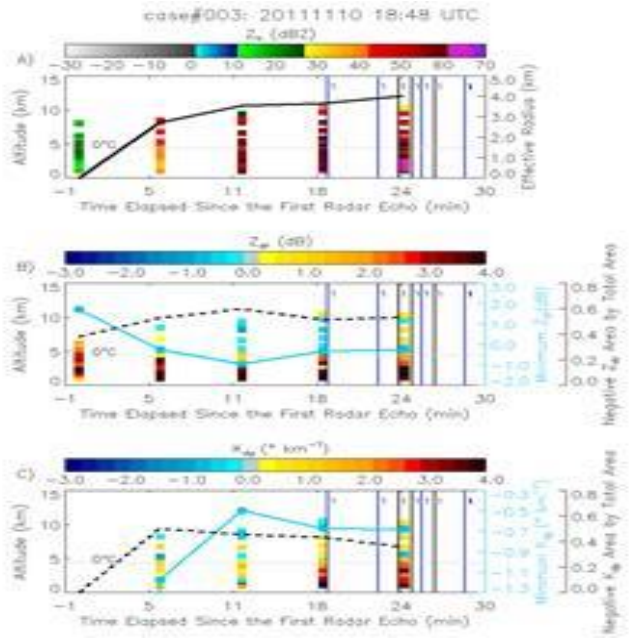

Figura 6.4.1 - Time-height plot de uma tempestade isolada do CHUVA-Vale em 10 de Novembro do 2011 às 18:48 UTC. (a) refletividade (Z_h, dBZ), (b) refletividade diferencial (Z_{dr}, dB) e fase diferencial específica (K_{dp}, $^{o}km^{-1}$). Linha preta em (a) é o raio efetivo em 6 km de altitude para região com mais de 20 dBZ. Na Fig. 1b e 1c a linha tracejada preta representa a área com Z_{dr} and K_{dp} negativos dividido pela área total, enquanto a linha azul é mínimo Z_{dr} e $K_{dp,}$ respectivamente. As linhas verticais pretas e azuis denotam relâmpagos IN e NS, os números são a multiplicidade dos relâmpagos. Fonte: Mattos et al. (2014).

A rede Brasildat será a base de dados para continuar esse tipo de estudo com varreduras especiais para esse fim.

6.5 - Rede de Sensores de Campo Eletrostático Atmosférico

Diferentemente das redes de sensores de detecção de descargas atmosféricas, as quais respondem aos rápidos transientes no campo eletromagnético gerados por relâmpagos, os sensores de campo eletrostático (ou, em inglês, electric field-mill - EFM), como o próprio nome diz, detectam a componente eletrostática e variações relativamente lentas do campo elétrico gerado pelas descargas atmosféricas. Eles detectam a presença da separação de cargas e a carga elétrica líquida de uma nuvem de tempestade que esteja diretamente acima do sensor ou nas vizinhanças imediatas do mesmo. Dependendo do valor da carga e de onde está localizada, a faixa de detecção efetiva de um EFM varia de uns poucos km a cerca de 20 km. Variações no campo elétrico da ordem de uma fração de

segundo são devidas ao rearranjo geral da distribuição de cargas dentro da nuvem de tempestade em função da ocorrência de um relâmpago; já as variações mais lentas do campo elétrico são devidas ao processo de eletrificação da nuvem bem como ao rearranjo das cargas espaciais na atmosfera. Todo essa organização na nuvem pode ser detectada pelo radar de dupla polarização.

A principal vantagem do EFM é a possibilidade de se prever a ocorrência da primeira descarga atmosférica no ponto de interesse antes que ela efetivamente aconteça. No entanto, suas principais desvantagens são o curto tempo de antecedência dos alertas (usualmente abaixo de 10 minutos, em média) e o significativo erro no cálculo da distância da nuvem de tempestade, a menos que seja empregada uma rede de EFMs (Naccarato et al. 2008; Ferro et. al. 2010). Durante uma tempestade, os EFMs detectam mudanças de campo relativamente lentas (escalas de tempo de dezenas de segundos a minutos) devido aos processos de separação de cargas na nuvem além da evolução e dissipação das regiões de carga líquida à medida que a tempestade decai. Além disso, eles também detectam mudanças rápidas (escala de tempo < 1 segundo) devido ao rearranjo de cargas causado pelas descargas atmosféricas. Variações de campo causadas pelos relâmpagos podem fazer o campo aumentar muito bruscamente ultrapassando assim um nível de disparo de alertas. Por essa razão, séries temporais obtidas a partir das informações do campo devem ser suavizadas para reduzir os efeitos dessas variações rápidas. A Figura 6.5.1 apresenta um exemplo de uma série temporal de medidas EFM com os alisamentos de 10 e 60 segundos.

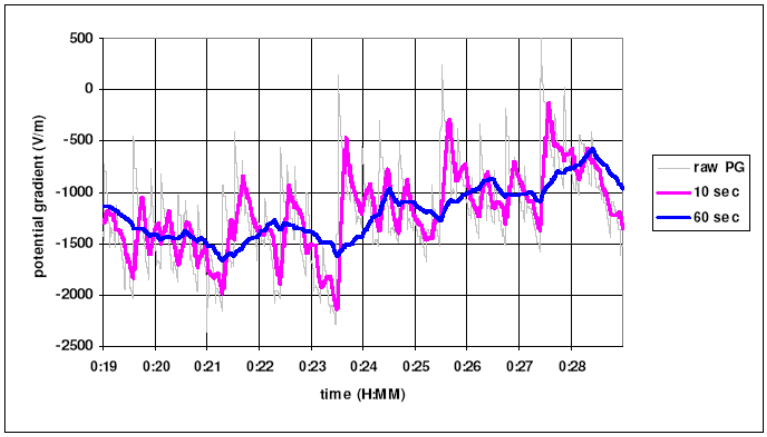

Figura 6.5.1 - Série temporal do campo elétrico de uma tempestade durante um período de 10 min., juntamente com os valores suavizados utilizando média para intervalos (ou janelas) de 10 seg. e de 60 seg.

O principal propósito da implementação de uma rede de EFMs é estudar como gerar alertas de ocorrência de descargas atmosféricas a partir da informação da intensidade do

campo elétrico atmosférico detectado pela rede. Essas informações serão comparadas com os dados da Rede Brasileira de Detecção de Descargas Atmosféricas (BrasilDAT) para avaliação de algoritmos que serão desenvolvidos. Conforme discutido anteriormente, os dados de campo elétrico necessários para esse estudo requerem a instalação de uma rede de EFMs com, ao menos, 06 sensores, distantes não mais que 20km uns dos outros. As informações de campo serão continuamente digitalizadas a uma taxa de amostragem de 1 Hz (1 amostra por segundo). Enquanto o campo elétrico não atinge o valor crítico de referência, os EFMs armazenarão o valor médio do campo para cada intervalo de 1 minuto. Quando o valor crítico é atingido, o sensor passará a armazenar, além da média de um minuto, os valores medidos a cada segundo (1 Hz).

A partir dos valores de campo elétrico atmosférico medido por cada um dos EFMs, serão calculados os valores de campo para pontos distribuídos por toda a área de cobertura da rede. Para esse cálculo foi escolhido um método de interpolação de múltiplas passagens, proposto por Barnes (Barnes, 1964). O método faz a interpolação de dados, a partir de um conjunto de medidas de uma função desconhecida f(x), em uma função analítica g(x). A modulação do campo será comparada com a classificação de hidrometeoros do radar e com as descargas registradas pela Brasildat. Desta forma, será possível analisar como o campo elétrico atmosférico varia à medida que a nuvem de tempestade evolui e também quando ocorrem as descargas IN ou NS. O estudo proposto poderá conduzir à identificação de um padrão de comportamento do campo elétrico atmosférico e um intervalo médio de tempo que antecede a ocorrência de uma descarga NS.

6.6 - Distribuição de Tamanho de Hidrometeoros e a Modelagem em Alta resolução

O conhecimento das propriedades microfísicas das nuvens é fundamental para a sua observação através de sensoriamento remoto e descrição em modelos computacionais. Uma característica importante das nuvens são as suas distribuições de tamanho de partículas (PSD), sendo gotas líquidas ou diferentes tipos de cristais de gelo. Dado a dificuldade em se medir diretamente as PSDs (Particle Size Distribution) dos hidrometeoros, usualmente essas são parametrizadas a partir das observações disponíveis. Tokay e Short (1996) mostram uma metodologia para atribuir uma distribuição Gama a uma distribuição de tamanho de gotas (DSD) de chuva. Já Heymsfield et al. (2013) e Heymsfield et al. (2002) utilizaram conceitos semelhantes para ajustar curvas Gama em PSDs de partículas de gelo nas nuvens. Estes ajustes consistem em aproximar as observações por uma equação do tipo:

$$N(D) = N_0 D^{\mu} exp(-\Lambda D) \qquad (6.5.1)$$

Onde *N(D)* ($m^{-3}mm^{-1}$) é a PSD em concentração de gotas/partículas de gelo por unidade de volume e intervalo de diâmetro, D é o diâmetro em mm, N_0 é o intercepto da PSD em $m^{-3}mm^{-1-\mu}$, μ é o parâmetro de forma (adimensional) e Λ é o parâmetro de curvatura dado em mm^{-1}. Embora este ajuste represente bem as observações de DSDs (Droplet Size DIstribution) (Islam et al. 2012), sua aplicação em sensoriamento remoto e modelagem é complexa uma vez que é necessário conhecer as variações típicas dos três parâmetros que definem a curva (N_0 - intercepto , μ – forma e Λ - curvatura) em função do tipo de sistema precipitante e estágio do ciclo de vida da nuvem, entre outros fatores. Em modelagem é popular o uso de modelos numéricos que prognosticam dois momentos das PSDs, como a concentração numérica de gotas/partículas e suas massas específicas. Nestes modelos apenas dois parâmetros do ajuste Gama são prognosticados enquanto o terceiro é mantido constante para cada espécie de hidrometeoro. Isto limita a representatividade das PSDs modeladas, podendo acarretar em erros. Estudando os sistemas convectivos na Amazônia, Gonçalves et al. (2008) notaram uma melhora nos resultados do modelo RAMS quando o parâmetro de forma da DSD é variado de forma a se adequar aos sistemas da região. Milbrandt e Yau (2005a, 2005b), mostram algumas vantagens de se permitir variações nesse parâmetro para melhor representação do crescimento dos hidrometeoros e a sua sedimentação. Esses autores mostraram duas metodologias para variar o parâmetro de forma das PSD, uma de forma diagnóstica e outra de forma prognóstica ao calcular um terceiro momento da PSD, a refletividade. Como mostrado por Cecchini et al. (2014), os parâmetros do ajuste Gama coletados no Vale do Paraíba – SP apresentaram variação característica de forma a definirem uma superfície tridimensional no subespaço definido por eles. A evolução natural desse estudo é a ampliação da análise para diversas localidades/períodos de medidas, usufruindo das campanhas do projeto CHUVA, para aprofundar o conhecimento das características da parametrização Gamma. Um dos principais resultados almejados é a derivação de relação analítica que relacione um parâmetro aos outros dois, efetivamente reduzindo o grau de liberdade de 3 para 2 no uso das curvas Gama, podendo contribuir significativamente para a modelagem de microfísica de nuvens de dois momentos sem acrescentar demasiada complexidade a esses modelos. A Figura 6.5.1, por exemplo, mostra os três parâmetros, em círculos, do ajuste Gama obtidos em todas as campanhas do CHUVA, com exceção da de Fortaleza devido à ausência de disdrômetro do tipo Joss-Waldvogel RD-80. A superfície mostrada foi obtida ao efetuar ajuste polinomial de quarto grau nas medidas a fim de obter uma equação que relacione Λ com N_0 e μ. As cores mostram as variações do parâmetro Λ tanto das parametrizações quanto da superfície. Nota-se o alto valor de R^2 e relativamente baixo de RMSE (raiz do erro quadrático médio), mostrando que a superfície se ajustou bem às observações. Neste estudo pretendemos testar esses ajustes em modelos em alta resolução (BRAMS).

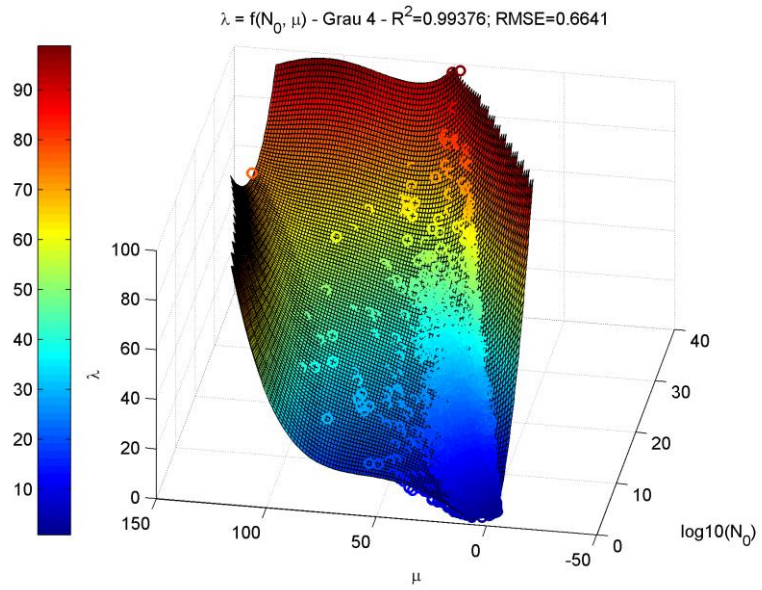

Figura 6.6.1: parâmetros gamma das DSDs obtidas nas campanhas do CHUVA (com exceção de Fortaleza) e superfície paramétrica utilizada para estimar Λ.

6.7 – Propagação de sistemas

O estudo sobre a propagação de sistemas observados por satélite e radar é potencialmente importante para a previsão de curto prazo, uma vez que sistemas de nuvens e precipitantes podem evoluir de forma desacoplada (Rickenbach, 1999, Laurent et al., 2002). Estudos observacionais da década de 40 verificaram que o vento em um determinado nível da atmosfera atuava de forma significativa no movimento desses sistemas, esse nível foi denominado “steering level” e significa nível guia. No entanto, a hipótese do steering level não é sempre verdadeira e desvios com relação ao vento ocorrem porque o sistema evolui e decai (Hagen et al., 1999). Características como ciclo de vida, organização bem como o movimento apresentados por tempestades são dependentes das condições ambientais, e os fatores que afetam a sua propagação são modulados por uma complexa relação entre as propriedades do próprio sistema e do ambiente adjacente (Kirkpatrick et al., 2007). A interação do sistema de nuvens com o ambiente adjacente se apresenta como um mecanismo importante para a propagação do próprio sistema. Isso se deve a interação do fluxo de ar frio em superfície (frente de rajada), produzido pela precipitação, que se espalha para todas as direções e intensifica as correntes ascendentes promovendo o desenvolvimento de novas células convectivas por meio da convergência de umidade e da instabilidade do ar ao longo da borda do fluxo. Este mecanismo de propagação depende da disponibilidade de umidade e do grau de instabilidade durante o avanço da frente de rajada (Zeitler and Bunkers, 2005). Deste modo, a propagação mostra-se fortemente influenciada por regiões com elevados valores

de CAPE (Convective Available Potential Energy) e de temperatura potencial equivalente (θe), de modo que as tempestades tendem a se propagar para estas regiões. Teixeira (2010), também verificou que o campo de instabilidade, mais especificamente o gradiente médio de CAPE, pode exercer significativa influencia na propagação de tempestades observadas na região sul do Brasil. Por isso, tais características se apresentam como boas preditoras da propagação apresentada por sistemas precipitantes. Como exemplo da influencia do ambiente na propagação de células de chuva, pode-se citar os casos observados durante as campanhas do projeto CHUVA, onde as células detectadas pelo radar apresentam um comportamento médio de deslocamento consistente com o padrão de circulação observado (Fig. 6.7.1).

Assim, pretende-se realizar uma compilação de dados para estabelecer um modelo conceitual teórico que descreva o papel do ambiente e que acrescente conhecimento aos modelos de propagação de tempestades já existentes objetivando promover uma potencial contribuição a mitigação dos danos associados à ocorrência de eventos extremos.

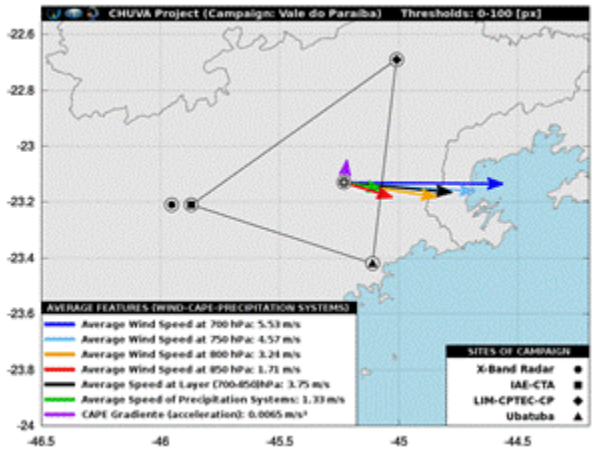

Figura 6.7.1. Velocidade e direção de propagação média dos Sistemas Precipitantes e o gradiente médio de CAPE e a velocidade e direção do vento médio nos níveis de 700hPa, 750hPa, 800hPa e 850hPa obtidos entre as estações de radiossondagem do IAE-CTA (em São José dos Campos – SP), LIM-CPTEC (em Cachoeira Paulista - SP) e Ubatuba - SP, durante o Projeto CHUVA na campanha do Vale do Paraíba – SP.

6.8 – Estimativa de precipitação com radar e o GPM.

O fator de refletividade (Z) obtido pelo radar é uma medida de retorno do espalhamento médio das partículas em função do D^6 (diâmetro das gotas a sexta potencia). Para estimar a taxa de precipitação a partir da refletividade relações empíricas precisam ser construídas, essas relações que são da forma $Z=AR^b$, em que A e b são coeficientes que dependem, fundamentalmente, do tamanho e distribuição do espectro de gotas nas nuvens e são determinados por meio de métodos estatísticos que consistem basicamente

de duas formas. A primeira é usando dados de radar combinados com taxas de precipitação obtidas a partir de uma rede de pluviômetros, e a segunda através de instrumentos que medem diretamente o espectro de gotas, como é caso do disdrômetro. Sendo a segunda a forma mais precisa, uma vez que com a distribuição do tamanho de gotas é possível calcular a refletividade e a taxa de precipitação de forma independente. Além da estimativa de precipitação, utilizando apenas a refletividade horizontal, com radares de dupla polarização é possível estimar a precipitação também utilizando o KDP (Fase Diferencial Específica), a qual se baseia na diferença de fase entre as ondas eletromagnéticas nas polarizações horizontal e vertical. Segundo Straka et al. (2000) as vantagens da utilização do KDP para estimar as taxas de precipitação incluem: 1) independe de calibração do receptor/transmissor, 2) independe da atenuação, 3) menos sensível do que Zh (refletividade na horizontal) ou Zv (refletividade na vertical) que representam as variações de distribuições de tamanho, 4) imune ao bloqueio parcial do feixe, e 5) não influenciado pela presença de hidrometeoros estatisticamente isotrópicos, tais como granizo orientados aleatoriamente. Porém para pequenas partículas esféricas de nuvens o KDP é ruidoso.

Similar ao TRMM (*Tropical Rainfall Measuring Mission*) o GPM (Global Precipitation Measurement), lançado recentemente, possui um radar a bordo, porém com dupla frequência nas bandas Ku (13.6 GHz) e Ka (35.5GHz), que realizam medidas de precipitação com uma maior resolução, precisão e sensibilidade (Iguchi, 2000). Varreduras especiais específicas do radar serão realizadas durante a passagem do GPM para verificar a qualidade dos produtos estimados pelo satélite, em colaboração com o GPM Science Team.

6.9 - GPS e o " Precipitable Water Jump"

As medidas da água precipitável (*Precipitable water*) - PW usando receptores GNSS (*Global Navigation Satellite System*) têm como principal característica a razoável qualidade e altíssima resolução temporal podendo gerar valores a cada 1 minuto (Bevis et al. 1992). Trabalhos iniciais visando investigar o potencial de tais medidas para aplicações de *nowcasting* têm sido apresentados na literatura, mas sem obter resultados conclusivos (Sapucci et al. 2005). A ideia básica por trás deste tópico de pesquisa é caracterizar os sinais da variabilidade temporal em períodos de fortes atividades convectivas. As variações nas escalas de tempo menor que um dia são pouco previsíveis e estão normalmente associados aos processos convectivos que geram ondas de gravidade em altas altitudes, o que influenciam fortemente a variabilidade dos parâmetros meteorológicos (Davis, 1994;). Resultados preliminares indicam claramente a existência de um salto de PW antes da ocorrência da precipitação o que temos denominado como "PW *jump*". Os dados de precipitação por radar serão uteis para esse estudo, pois ao

contrário dos pluviômetros, eles permitem avaliar tanto a extensão como a intensidade das precipitações em todo o cone de observação em torno dos receptores GNSS. O uso de dados de RADAR nessa linha de pesquisa tem apresentado resultados promissores permitindo melhor caracterizar os padrões de PW-GNSS antes, durante e depois dos eventos de precipitação. A figura 6.8.1 mostra um típico caso do *PW jump* momentos antes da precipitação registrada na campanha CHUVA-Vale do Paraíba no dia 342 na estação denominada ICAR localizada dentro do INPE. Suspeita-se que esse jump ocorra por convergência de umidade de regiões vizinhas e seu rápido decaimento minutos antes do início da precipitação é devido a conversão de vapor em água líquida e gelo. Um estudo estatístico para caracterizar esse padrão será realizado usando a base de dados proposta no projeto.

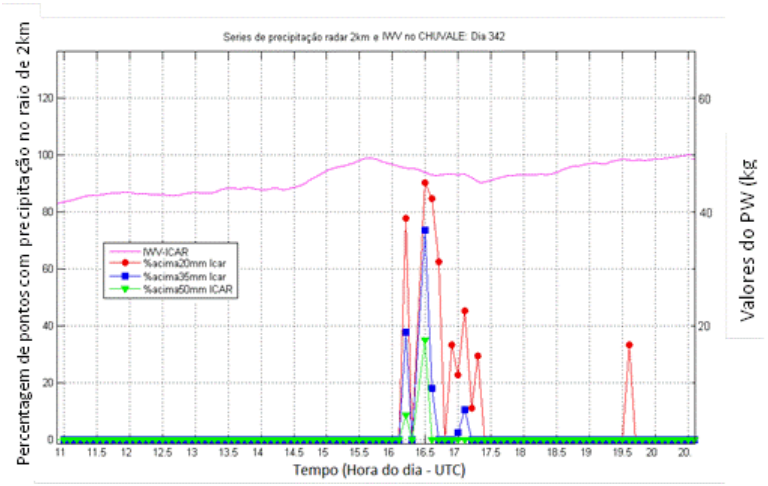

Figura 6.9.1. Caso típico do PW Jump ocorrido no dia 342 de 2011 durante a campanha CHUVA-VALE, momento antes de uma forte precipitação. Observe que os máximos apresentam um lag no tempo, o qual nesse caso foi de 40 minutos.

6.10 – Emprego do Radar na Agricultura

Em todo o mundo, a agricultura certamente é a atividade econômica mais dependente e influenciada pelas condições de clima e tempo. Eventos meteorológicos extremos como granizo, precipitações intensas e longas estiagens são as principais causas de insucesso, trazendo incertezas à economia e segurança alimentar. Para o Brasil, com quase 70 milhões de hectares produzindo grãos (83,2%), café (2,9%), cana-de-açúcar (13,2%) e laranja (0,7%) (Conab, 2015), dados oficiais apontam que mais de 80% da variabilidade produtiva se deve as condições meteorológicas. A disponibilidade hídrica, naturalmente variável devido à distribuição irregular da precipitação, é o fator mais restritivo.

Sobre as áreas agrícolas, é do conhecimento técnico que numa mesma unidade de produção é possível encontrar subáreas com diferentes níveis de qualidade e, portanto, com diferentes potenciais produtivos, embora as práticas de manejo adotadas sejam aplicadas uniformemente (Amado et al., 2005). Tal como a variabilidade espacial e temporal da física e química do solo, que introduzem variabilidade produtiva, todos os elementos meteorológicos, interagindo com a vegetação, também apresentam variabilidade espaço-temporal, decisivamente interferindo no crescimento, desenvolvimento e produtividade da cultura agrícola.

Em geral, a distribuição da chuva ou precipitação pluvial depende da topografia local e do tipo de chuva (Mellart, 1999). O autor alerta para importantes diferenças na variabilidade espacial das chuvas para distâncias relativamente pequenas (1 km). A mesma pesquisa ressalta que o grau de variabilidade muda de ano para ano e de região para região, recomendando monitoramento regional constante para obtenção de elementos mais significativos para a variabilidade espacial. Recentemente Eggert et al. (2015) utilizando radar quantificou eventos severos convectivos e estratiformes em função da escala espacial e temporal.

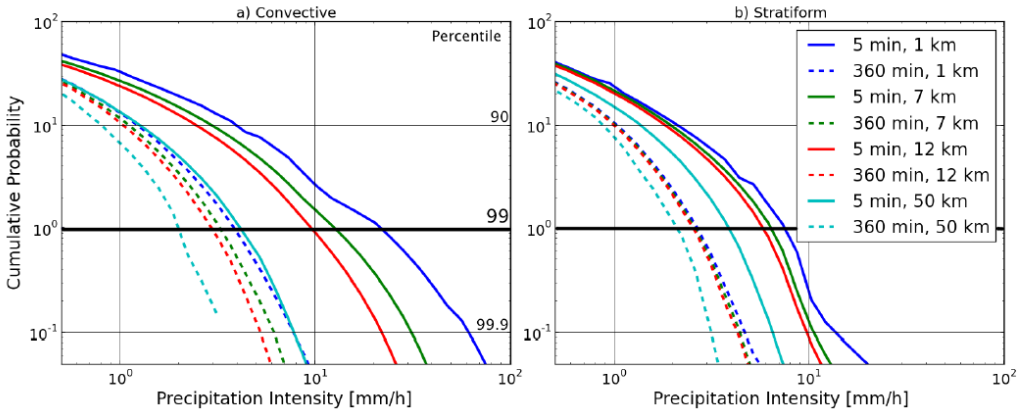

Figura 6.10.1 – Probabilidade cumulativa de intensidade de precipitação em diferentes escalas espaço-temporal (Eggert et al. (2015)

Conforme Stol (1972) e Bega et al. (2005), a variabilidade espacial das chuvas se acentua com predomínio de chuvas convectivas. Distribuição espacial mais uniforme ocorre para chuvas frontais, até mesmo para longas distâncias (Stol, 1972). Em contraponto, Reichardt et al. (1995), concluíram que os dados de chuva não estão correlacionados com a distância entre os pontos de observação e também que a variabilidade independe do tipo de chuva. Isso ao analisarem a variabilidade diária de chuva em uma escala local (1.000 ha), em Piracicaba, ao longo de um ano. Delahaye et al. (2015) mostra a variabilidade espacial da precipitação utilizando a técnica do variograma. Os autores utilizaram diversos indicadores climáticos para comparar cada estação de pluviometria com seus vizinhos. Os

autores acharam uma grande variabilidade espacial, mas que quando a precipitação é integrada durante um dia a correlação espacial aumenta consideravelmente embora ainda apresente um variograma com pequena correlação espacial.

Para o estado de São Paulo, a partir dos dados diários de precipitação pluvial de 19 estações meteorológicas, Camargo et al. (2001) mostram que há grande variabilidade espacial nas precipitações, especialmente a partir de 20 quilômetros e nos meses de verão, quando há predomínio de chuvas convectivas. Os autores ainda sugerem a distância de 10 quilômetros como limite máximo de espaçamento entre os postos pluviométricos, condição de medida rara ou ausente, mesmo no território paulista.

Conforme ressaltado por Mellaart (1999), sobre o grau de variabilidade anual das chuvas, nos últimos dois anos a Região Sudeste, em especial o estado de São Paulo, tem convivido com uma condição adversa de tempo. Volumes precipitados aquém aos esperados tem causado redução dos mananciais, pondo em risco o abastecimento de água para a população, prejuízos à geração de energia elétrica e expressivas perdas na produção agrícola.

O conhecimento e monitoramento das condições do tempo são as maiores dificuldades dos tomadores de decisões. A respeito da elevada taxa de sinistralidade na agricultura brasileira, na maioria devido a causas de natureza climática, sendo a principal delas a seca ou o excesso de precipitação, levou o Ministério da Agricultura a criar, em 1995, o Programa de Zoneamento Agrícola de Riscos Climáticos (Cunha & Assad, 2001). Dado que a precipitação é a variável meteorológica mais importante para a produção agrícola em regiões tropicais, um dos maiores desafios que o Zoneamento continua enfrentando, desde sua implantação, é acompanhar a distribuição espacial da precipitação em pequenas áreas.

Considerando-se a insuficiente rede de estações meteorológicas e a alta variabilidade espacial da precipitação, justifica-se o uso de dados de radar para a estimativa de precipitação, agregando entendimento a respeito da variabilidade espacial produtiva em áreas agrícolas em função majoritariamente da variabilidade da precipitação pluvial, uma vez que o uso dessa ferramenta pode ser adequado à identificação de áreas com alto risco agrícola, ao monitoramento e estimativa de quebra de safras.

O Objetivo desta componente é expandir o conhecimento a cerca do emprego de radar no Brasil, colaborando com todos os esforços e investimentos que o país vem realizando, para que seja útil à sociedade, propõe-se ajustar e calibrar a precipitação pluvial estimada por radar meteorológico para que a técnica possa atender também o setor agrícola brasileiro e trabalhar em proximidade com os alertas visando reduzir perdas.

Em específico pretende-se realizar uma comparação de medições pluviométricas de superfície com dados estimados pelo radar meteorológico. Utilizar a precipitação obtida pelo radar como parâmetro de entrada em modelos de balanço hídrico e estimativa de

rendimento, visando monitorar as condições agrícolas dentro da área de cobertura do radar. Relacionar dados do radar meteorológico com imagens multiespectrais para fins de monitoramento agrícola.

Na área experimental da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – Universidade de São Paulo, Piracicaba-SP (Figura 6.10.2), serão instaladas 10 estações pluviométricas, distribuídas quadricularmente, formando uma grade de amostragem de 200m x 200m (resolução do radar). Além dessa rede, será instalado na área os field mills e uma estação completa de fluxo radiativo e de superfície (dados de entrada no modelo). Essa estação já existe e será deslocada para essa área.

A partir de análises comparativas dos dados de precipitação medidos pelas estações meteorológicas e inferidos pelo radar meteorológico serão realizados os ajustes e calibrações necessárias. Para a quantificação experimental da correlação entre a variabilidade da precipitação e rendimento produtivo de cultivos agrícolas será realizado um balanço hídrico para cultura agrícola, além de simulações com os modelos da plataforma DSSAT.

Figura 6.10.1. Área experimental da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – Universidade de São Paulo (Fazenda Areão).

Os danos na lavoura relacionados com eventos extremos serão levantados na área experimental da ESALQ (2,0ha) com relação a plantação de cana de açúcar.

6.11 – A Modelagem de eventos extremos em curtíssimo prazo

A aplicação de modelos numéricos em previsões de médio e longo prazo é prática rotineira nos grandes centros de previsão meteorológica, como o CPTEC-INPE e o INMET, e tem sido de grande utilidade para diversas atividades que dependam das condições do tempo. Para tal aplicação, modelos como o ETA (Chou et al., 2000), o MBAR (INMET, 2015), BRAMS (Freitas et al., 2009b) e WRF (Skamarock et al., 2008), têm apresentado

resultados satisfatórios. Entretanto, para aplicações em curtíssimo prazo, a previsão de eventos extremos tem sido um grande desafio, uma vez que sistemas de maior intensidade, tais como super-células e linhas de instabilidade, envolvem fenômenos de diferentes escalas de tempo e espaço e dependem, entre outros aspectos, da forte interação entre as condições do ambiente (por exemplo, cisalhamento e instabilidade) e a superfície local (topografia, uso do solo, tipo de vegetação, umidade do solo). A superfície local muitas vezes é responsável pelo disparo de eventos convectivos severos, uma vez que o contraste entre as propriedades de diferentes superfícies pode induzir circulações ou movimentos verticais significativos, favorecendo o levantamento de parcelas de ar até níveis favoráveis em regiões que concentram alto potencial convectivo, contribuindo para o estabelecimento de sistemas mais vigorosos. Como um exemplo, Cotton and Pielke (1995) verificaram que um fator que contribui para a formação das tempestades é o efeito da ilha de calor urbana, que geralmente se soma aos efeitos dos sistemas de tempo causadores de tempestades, através do seu forte efeito instabilizador sobre a atmosfera, causando a essas tempestades um maior grau de severidade. Silva Dias et al. (2013), em estudo realizado sobre a Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), também sugerem como o crescimento da ilha de calor urbana e o papel da poluição do ar precisam ser considerados para explicar as tendências nos padrões de precipitação observadas ao longo das quase oito décadas analisadas em seu estudo. Outro estudo feito em São Paulo, envolvendo os efeitos de ilha de calor, mostrou que a área urbana atua formando uma forte zona de convergência em grande parte da RMSP, acelerando a propagação das frentes de brisa marítima em direção ao centro da cidade e contribuindo para o levantamento de parcelas de ar (Freitas et al., 2007). Freitas et al. (2009a), num estudo de caso realizado para uma tempestade ocorrida em 1º fevereiro de 2003, também sugerem que além da interação entre a brisa marítima e a ilha de calor, outros tipos de circulações locais, tais como aquelas geradas pela topografia da região, podem ter alguma contribuição na formação de tempestades. Portanto, a identificação de condições favoráveis ao desenvolvimento de tempestades severas, através do uso de modelos numéricos, deve considerar diversos aspectos locais, exigindo uma cobertura espacial que contemple as diferentes características da superfície terrestre.

Através do uso de sondagens atmosféricas, estudos observacionais como os de Beneti & Silva Dias (1986) e Fogaccia & Pereira Filho (2000), utilizaram alguns parâmetros, tais como índices de estabilidade, energia potencial convectiva disponível (CAPE), índice de instabilidade por levantamento (lifted index; LI), para identificar situações favoráveis a micro explosões. Nascimento & Calvetti (2004) utilizaram radiossondagens para verificar a destreza de alguns parâmetros convectivos na indicação de condições conducentes ao desenvolvimento de tempestades severas (chamadas de sondagens de proximidade, Brooks et al., 1994). Os resultados obtidos nesse trabalho sugerem uma utilidade

promissora para alguns desses parâmetros convectivos, utilizados geralmente em latitudes médias, na identificação de condições favoráveis à ocorrência de tempo severo para a região sul do país. Nascimento (2004) também utiliza alguns parâmetros de tempo severo, originalmente concebidos para latitudes médias do Hemisfério Norte (HN), e explora a possibilidade de serem úteis para a previsão de sistemas convectivos para a região sul do Brasil e para servir de base conceitual para a elaboração de índices mais adequados para as regiões tropicais.

Buscando aplicar os resultados de modelos numéricos para a obtenção de índices de tempo severo, Bender (2012) obteve perfis verticais de variáveis atmosféricas, gerados por simulações numéricas, e concluiu que os índices utilizados podem ser considerados bons indicadores de tempo severo na presença de sistemas de origem baroclínica, apresentando valores similares aos encontrados para o HN. Porém, em tempestades onde o efeito termodinâmico é o fator mais importante, como nas tempestades isoladas ou na presença de ZCAS, os índices cinemáticos nem sempre são bons preditores de tempo severo, sendo necessária a obtenção de informações relativas à essas tempestades, como a ocorrência de supercélulas, granizo, além de outros para a interpretação dos índices utilizados e o estabelecimento de valores críticos mais adequados. Verificou também que é possível fazer uso de parâmetros derivados das informações fornecidas pelos modelos meteorológicos para cobrir com certa qualidade as áreas em que não existem informações em superfície e ar superior. Thompson et al. (2003) também fizeram uso de um modelo atmosférico para obtenção de sondagens de proximidade para o cálculo de parâmetros conducentes a tempo severo e concluíram que seus resultados, baseados no modelo Rapid Update Cycle (RUC-2), aparentam ser também aplicáveis em modelos operacionais.

Apesar de esforços anteriores para compreender as situações atmosféricas que conduzem ao desenvolvimento de tempo severo sobre o estado de São Paulo, algumas questões ainda não estão bem documentadas.

Motivados pela busca de uma melhor representação das condições atmosféricas emmodelos numéricos de mesoescala, associadas a tempestades severas no estado de São Paulo, o objetivo deste subprojeto é identificar ambientes favoráveis à formação e ao desenvolvimento de eventos de tempo severo, com destaque para as áreas mais urbanizadas como as Regiões Metropolitanas de São Paulo e Campinas, por exemplo, e utilizar os dados coletados em outros módulos do projeto para um melhor entendimento dos processos fisicos associados e melhor ajuste dos modelos numéricos utilizados.

Inicialmente, será estabelecido um sistema operacional de previsão de tempo, cobrindo todo o estado de São Paulo (Figura 6.11.1), que funcionará durante toda a execução do projeto de pesquisa. Tais previsões serão realizadas no Laboratório de Meteorologia Aplicada a Sistemas de Tempo Regionais (MASTER) do IAG-USP (www.master.iag.usp.br) e ficarão disponíveis em página web específica deste Projeto Temático (SOS-CHUVA). As

previsões serão realizadas para períodos de 72 horas através do uso de dois modelos de Mesoescala, o modelo BRAMS (Freitas et al., 2009) e o modelo WRF (Skamarock et al., 2008). Com as variáveis fornecidas pelo modelo serão calculados os índices de tempo severo, que servirão para identificar regiões favoráveis ao desenvolvimento de sistemas, servindo de alerta para as atividades realizadas nos outros módulos deste Projeto Temático. Todas as previsões, juntamente com os dados de condição inicial, serão armazenadas para posterior análise e verificação das condições atmosféricas associadas aos eventos severos que ocorrerem sobre o estado de São Paulo.

Os dados coletados e armazenados pelo Projeto, bem como as imagens de satélite, os dados de superfície, radar e radiossondagens, tanto os coletados especificamente pelo Projeto ou disponíveis por fontes complementares serão utilizados seja para estudo de casos intensos, principalmente aqueles detectados pelos Hails Pads, seja para uma análise estatística mais ampla.

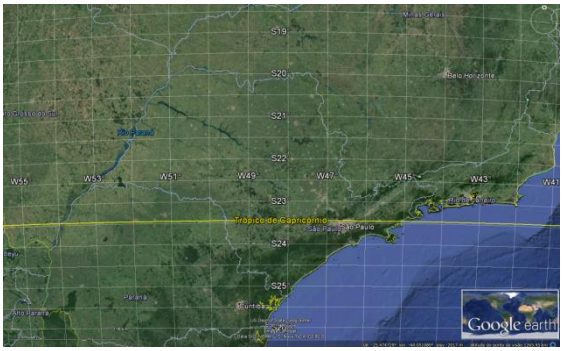

Figura 6.11.1: Área de cobertura nas simulações numéricas realizadas com os modelos BRAMS e WRF.

Após essa etapa será avaliada a aplicação de índices de tempo severo sobre campos atmosféricos obtidos das simulações com o BRAMS e com o WRF para eventos de tempo severo ocorridos no estado de São Paulo. Esses índices serão implantados no pós-processamento dos dois modelos e fornecidos como produto na página do Projeto Temático.

Os índices de tempo severo utilizados serão: CAPE, Índice de Levantamento, Denominador do Número de Richardson Volumétrico, Helicidade relativa à tempestade integrada nos primeiros 3 km da atmosfera, Índice de Energia-helicidade e Parâmetro de Supercélula.

Para cada caso de tempo severo observado, será verificada a adequação dos índices sobre a região de estudo e, se necessário, o estabelecimento de novos limiares.

Para os estudos de caso serão realizadas simulações em diferentes escalas para comparação com as estruturas tridimensionais observadas pelo radar de dupla polarização.

Estudos com o modelo BRAMS serão realizados considerando duas vertentes. Uma com relação ao papel da acurácia do núcleo dinâmico na simulação explícita de sistemas

convectivos severos. Nesta vertente, um novo núcleo dinâmico para o BRAMS está sendo desenhado e será implementado no prazo de 1 ano e terá ao menos acurácia de segunda ordem usando esquema de integração temporal de até 3a ordem e operador de advecção de até quinta ordem. Outra vertente será o papel da condição inicial através da assimilação de dados de radar através do uso de nova parametrização de microfísica de nuvens recentemente implementada no modelo. Esta parametrização é de dois momentos com prognósticos de 5 espécies de água (nuvem, gelo, graupel, chuva e neve) em massa (razão de mistura) e 3 concentrações em número (nuvem, gelo e chuva). Para esta atividade será convidado o pesquisador Mariusz Pagowski da NOAA/ESRL em Boulder o qual fará a implementação inicial do módulo de assimilação de dados de radar no BRAMS.

6.12 O SIGMA-CHUVA

O SIGMA (Sistema de Informações Geográficas para o Meio Ambiente) é um software de integração, visualização e análise de dados/imagens que utiliza tecnologias de GIS (Geographic Information System) em ambiente Web (Figura 6.12.1). A ferramenta é desenvolvida utilizando Softwares Livres, como Java, Tomcat e o GeoServer que é uma plataforma para publicação de dados espaciais, vetoriais e mapas de aplicações dinâmicas na Web. Nessa solução são utilizadas também bibliotecas como OpenLayers (Biblioteca Javascript para Mapas) e GoogleAPI, que são bibliotecas que permitem trabalhar com mapas dinâmicos. Através desse ambiente é possível combinar uma grande quantidade de informações e visualizar o resultado em forma de camadas, com diferentes tipos de dados e ainda permitindo a integração de dados, que é uma das principais funcionalidades do SIGMA-SOS-CHUVA.

Além do "front-end" extremamente amigável para o usuário final, o SIGMA também permite o acesso às fontes de dados diversas como banco de dados geográficos, imagens georeferenciadas, arquivos KML/KMZ (Google) e também fontes externas como os WS (Web Services), WMS (Web Map Services) e os WFS (Web Feature Services). Esses recursos permitem ampliar as possibilidades de integração e análise dos dados ambientais.

Figura 6.12.1 Estrutura de Camadas do SIGMA SOS-CHUVA

O Museu Exploratório de Ciências – UNICAMP, tem reservado espaço, entre seus itens expositivos e planejamento de atividades, para questões climáticas, seus conceitos e percepção. Com estas atividades espera-se estimular um pensamento crítico sobre os atuais debates em torno deste tema, que abrange não apenas suas questões físicas e, com também com grande importância, seus desdobramentos e aspectos sociais e econômicos. Citamos três itens:

1) Praça Tempo Espaço: a Praça desdobra conceitos fundamentais associados às medidas da passagem do tempo, de localização geográfica, de objetos próximos ou distantes, e à contemplação de cenas e objetos mais afastados. Os itens expositivos são pêndulos, relógios, piscina de ondas, praxinoscópio e o globo terra, lunetas, teodolitos, gnomon, analemas, mesa de bússolas e um painel solar
2) Pátio Tempo Clima: é uma exposição localizada em um dos corredores que circunda a Praça Espaço-Tempo e é composta por 9 objetos expositivos: Painel do Tempo, Painel da Chuva, Pluviômetro, Termômetro de Galileu, Manômetro, Objetos Populares, Heliógrafo, Anemômetro Musical. O objetivo da exposição é evidenciar conceitos importantes para a compreensão do clima e do tempo. Inclusive, evidenciar a diferença entre esses dois conceitos também faz parte dos objetivos.
3) Programa Meteorologista Cidadão: é uma atividade do Museu que tem como principal objetivo enfocar as questões climáticas locais, buscando engajar cidadãos comuns na coleta de dados meteorológicos primários em diversos pontos, subsidiando a visualização e o estudo de variações climáticas em micro-regiões a partir de suas colaborações. Programas similares, como o “Citizen Weather Observer Program” e “Cooperative Observer Program” são mantidos por agências de pesquisa e meteorologia internacionais, pois além dos aspectos relacionados a educação e cidadania, são importantes fontes de dados primários.
O Museu realiza um papel importante em relação à educação e conscientização da população local e estudantes sobre a importância do clima e sua inter-relação com diversas áreas da ciência, como física, química, matemática e estatística.

O radar do projeto será instalado próximo as dependências do Museu Exploratório de Ciências – UNICAMP. O radar fornece medidas contínuas, espacial e temporalmente que permitem o desenvolvimento de um grande número de aplicações que são ingredientes da pauta climática que podem ser devidamente adaptados para ser incluído no Programa Meteorologista Cidadão.

A participação do Museu no SOS-CHUVA se dará em dois eixos:

1) Os dados do radar serão ser incluídos na interface do Meteorologista Cidadão para permitir comparações, correlações e análises pelos usuários.

2) Incluir como item expositivo do Museu, um pequeno ambiente que mostre em tempo real os dados que estão sendo coletados (O SIGMA SOS CHUVA) e outras informações, como evolução temporal das medidas e correlações com eventos meteorológicos da região. Isso será implementado com grandes monitores tipo LCD, atualmente de fácil acesso comercial, e itens expográficos como banners e infográficos explicativos

Vislumbramos um grande número de benefícios desta parceria. O Programa Meteorologista Cidadão ganharia um salto inegável de qualidade com claros impactos na formação científica formal e informal da população local, visitantes do Museu e usuários do Programa. Os pesquisadores teriam acesso às informações capilares sobre o micro-clima da região, os órgãos de proteção civil e de benefício da agricultura podem ter suas ações divulgadas de forma efetiva e atrativa através de atividades no Museu.

7. Resultados Esperados.

Espera-se através desta pesquisa avançar no conhecimento desta nova área da meteorologia (previsão imediata) e realizar publicações, principalmente nas revistas Weather and Forecasting e Journal of Applied Meteorology and Climatology. Essas publicações serão sobre a propagação dos sistemas, o potencial de previsão imediata utilizando propriedades polarimétricas, sobre a previsão de descargas elétricas e sobre a parametrização das distribuições de gotas e a formação e conversão de hidrometeoros e na estimativa de precipitação com radar e o GPM.
Com base nesses resultados científicos pretende-se construir um sistema experimental de nowcasting denominado SIGMA-SOS-CHUVA que através de um serviço on line atenderá a população e os tomadores decisões como a Defesa Civil, o setor aeronáutico e hidrológico. Esse sistema irá agregar informações geográficas e ambientais e auxiliará o planejamento e tomada de decisão, visando reduzir a vulnerabilidade da população e os prejuízos decorrentes de eventos extremos. A componente com o Museu poderá dar um impacto importante e ensinar o uso dessas novas ferramentas pela população.
Espera-se que o intercâmbio com a componente de agricultura estimule e prove conceitos da importância de uma gestão mais detalhada da distribuição espacial e temporal da precipitação e do conhecimento antecipado de eventos extremos.

Após o projeto este sistema estará disponível para ser implementado em qualquer região e setor público ou privado.

8. Cronograma.

O projeto está organizado para quatro anos, sendo 24 meses de coleta de dados. As tarefas específicas são apresentadas no cronograma abaixo:

TAREFAS	***1 semestre***	***2 semestre***	***3 semestre***	***4 semestre***	***5 semestre***	***6 semestre***	***7 semestre***	***8 semestre***
A	**X**							
B	**X**							
C	**X**							
D	**1S (Set.)**	**2S**	**3S**	**4S (Ago.)**				
E		**6.1** **6.2** **6.3** **6.4** **6.5** **6.6** **6.7** **6.8** **6.9** **6.10** **6.11** **6.12**	**6.1** **6.2** **6.3** **6.4** **6.5** **6.6** **6.7** **6.8** **6.9** **6.10** **6.11** **6.12**	**6.1** **6.2** **6.3** **6.4** **6.5** **6.6** **6.7** **6.8** **6.9** **6.10** **6.11** **6.12**	**6.1** **6.2** **6.3** **6.4** **6.5** **6.6** **6.7** **6.8** **6.9** **6.10** **6.11** **6.12**	**6.1** **6.2** **6.3** **6.4** **6.5** **6.6** **6.7** **6.8** **6.9** **6.10** **6.11** **6.12**	**6.1** **6.2** **6.3** **6.4** **6.5** **6.6** **6.7** **6.8** **6.9** **6.10** **6.11** **6.12**	
F	X	X	X	X				
G							**X**	**X**

A. – Instalação do radar, disdrômetros e pluviômetros.
B. – Desenvolvimento e instalação dos Hail Pad.
C. – Implementação do Sistema preliminar SIGMA-CHUVA
D – Coleta de dados
E - Desenvolvimento dos estudos descritos no item. Os itens são colocados na planilha com o número associado: 6.1 – Iniciação convectiva, 6.2 – Sistemas maduros, 6.3 – Ocorrência de granizo, 6.4 – Descargas elétricas, 6.5 Rede de Sensores de Campo Eletrostático Atmosférico 6.6 - Distribuição de tamanho de hidrometeoros e a modelagem, 6.7 – Propagação de sistemas, 6.8 estimativa de precipitação, 6.9 GPS-jumping, 6.10 O emprego do radar na Agricultura, 6.11 A modelagem em alta resolução e 6.12 O SIGMA-CHUVA
F – Interação com a Defesa Civil, Setores Aeronáuticos e de hidrologia.
G – Compilação dos resultados.

9. Outros Apoios e Parcerias Previstas

Este projeto terá a parceira com a UNICAMP e a ESALQ para a instalação do radar em seu Campus e a área do Projeto Piloto. A ESALQ irá coletar dados de superfície tais como os de granizo, field mil e pluviometria. A Defesa Civil e os Gestores do sistema Cantareira são também potenciais interessados nos produtos que serão desenvolvidos. Essas parcerias somente serão estabelecidas quando o projeto já tiver desenvolvido o primeiro protótipo do SIGMA-CHUVA.

10. Difusão do Conhecimento.

O projeto envolverá vários alunos da Pós Graduação do INPE, CEPAGRI e da USP, será ministrado curso de Previsão Imediata na pós-graduação e os dados colhidos servirão de laboratório para o curso. Também será realizado um curso de previsão imediata a um grupo mais amplo de pessoas envolvidas com a operação e o atributo de realizar nowcasting. O museu da UNICAMP será um ativo participante nessa componente.

11. Lista de Participantes.

Pesquisadores
Dr. Luiz A. T. Machado (INPE-CPTEC) – coordenador

Dr. Ana Maria Heuminski de Avila (CEPAGRI) PP
Dr. Daniel A. Vila (INPE-CPTEC) PP

Dr. Edmilson Freitas (USP-IAG) PP
Dr. Felipe Gustavo Pilau (USP-ESALQ) PP
Dr. Rachel Albrecht (USP-IAG) PP

Dr. Alan James P. Calheiros (INPE-CPTEC) PA
Dr. Carlos Angelis (CEMADEN) PA
Dr. Fábio Ricardo Marin (ESALQ/USP)
Dr. José Paulo Molin (ESALQ/USP)
Dr. Jurandir Zullo (CEPAGRI) PA
Dr. Kleber Naccarato (INPE-ELAT) PA
Dr. Luiz F. Sapucci (INPE) PA
Dr. Maria Assunção (IAG/USP) PA
Priscila Pereira Coltri (UNICAMP)
Renata Ribeiro do Valle Gonçalves (UNICAMP)
Ernesto Kemp (UNICAMP)
Hilton Silveira Pinto (UNICAMP)
Dr. Osmar Pinto (INPE-ELAT) PA
Dr. Saulo Freitas (INPE_CPTEC) PA
Dr. Wagner Araújo Lima (INPE-CPTEC) (Bolsista)

Apoio ao Desenvolvimento
Mário Figueiredo (INPE-CPTEC)
Jorge Mello (INPE-LIM)
Jorge Marton (INPE-LIM)
Flávio Magina (INPE-ELAT)
Jean Rafael Romão Peres (USP-IAG)
Enzo Todesco (USP-IAG)
Bruno Biazeto (USP-IAG)
Arthur Melo de Siqueira (INPE-ELAT)
Luiz Henrique Pedroso Alonso (INPE-ELAT)
Edilene Carneiro da Silva (UNICAMP)
Claudir Cruz (UNICAMP)
Solange Kahi (UNICAMP)
Maria Angélica Ferlin Alexandre (UNICAMP)
Gustavo Coral (UNICAMP)
Bruno Veloso (UNICAMP)

Colaboradores de outros Estados
Dr. Ernani Nascimento (UFSM)

Colaboradores Estrangeiros

Courtney Schummacher (Univ. Texas)
Dra Paola Salio (Univerisidade de Buenos Aires)
Earle Williams (MIT-USA)
Marielle Gosset (IRD-França)
Matia ALCOBA (IRD-França)
Walt Petersen (NASA-GPM)
Mariusz Pagowski (NOAA/ESRL)

Alunos

Bruno Medina (aplicação para Alabama University)
Carlos Denylson Azevedo (Mestrado - INPE)
Cristiano Eichholz (Doutorado - INPE)
Izabelly Carvalho da Costa (Doutorado - INPE)
Lia Amaral (Doutorado - INPE)
Micael Cecchini (Doutorado - INPE)
Ramon Braga (Doutorado - INPE)
Rômulo Oliveira (Doutorado - INPE)
Thiago S. Biscaro (Doutorado - INPE)
Vinicius Sperling (Doutorado - INPE)
Raidiel Puig Beltrán (Mestrado – USP-IAG)
Camila Lopes da Cunha (Iniciação Científica – USP-IAG)
Ana Claudia Thomé Sena (mestrado – USP-IAG)
Andréia Bender (Doutorado – USP-IAG)
Andreia Bender (USP/IAG)
Vania Rosa Pereira (UNICAMP)

12) Referências:

AMADO, T.J.C.; NICOLOSO, R.; LANZANOVA, M.; SANTI, A.L.; LOVATO, T. A compactação pode comprometer os rendimentos de áreas sob plantio direto. Revista Plantio Direto, n.89, p.34-42, 2005.

Amburn, S. A.; Wolf, P. L. VIL density as a hail indicator. Weather and Forecasting, v. 12, n. 3, p. 473-478, 1997.

Bailey, Matthew P., John Hallett, 2009: A Comprehensive Habit Diagram for Atmospheric Ice Crystals: Confirmation from the Laboratory, AIRS II, and Other Field Studies. J. Atmos. Sci., 66, 2888–2899.

Bain Anthony L., Retha Matthee, and Lawrence D. Carey. POLARIMETRIC RADAR AND ELECTRICAL OBSERVATIONS OF DMC ACROSS NORTHERN ALABAMA DURING THE DC3 EXPERIMENT, 2013.

Barnes, S. L. "A technique for maximizing detail in numerical weather maps analysis". Journal of Applied Meteorology, 3(4), p.396-400, 1964.

Bechini, R.; Baldini, L.; Chandrasekar, V. Polarimetric Radar Observations in the Ice Region of Precipitating Clouds at C-Band and X-Band Radar Frequencies. Journal of Applied Meteorology & Climatology, v. 52, n. 5, p. 1147-1169, 2013.

Bechini, R.; Baldini, L.; Chandrasekar, V. Polarimetric Radar Observations in the Ice Region of Precipitating Clouds at C-Band and X-Band Radar Frequencies. Journal of Applied Meteorology & Climatology, v. 52, n. 5, p. 1147-1169, 2013.

Bechini, R.; Chandrasekar, V.; Cremonini, R.; Lim, S. Radome attenuation at X-band radar operations. In:Proc. Sixth European Conf. on Radar in Meteorology and Hydrology. 2010.

Bender, A. Eventos de tempo severo associados às linhas de instabilidade sobre o estado de São Paulo. 105 p. Dissertação – Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

Beneti, C. A. & Silva Dias, M. A. Análise da Performance de Índices de Instabilidade como Previsores de Tempestades na Região de São Paulo. In: Anais do IV Congresso Brasileiro de Meteorologia, Brasília-DF, v.2, 65-70, 1986.

BEGA, R. M.; VIEIRA, S. R.; GREGO, C. R. Variabilidade espacial das precipitações pluviais diárias em uma estação experimental, em Pindorama, SP. Bragantia, v.64, n.1, p. 149-156, 2005.

Bevis, M.; Businger, S.; Herring, T. A.; Rocken, C.; Anthes, R. A.; Ware, R. H. GPS Meteorology: Remote of Atmospheric Water Vapor Using the Global Positioning System. Journal of Geophysical Research. v. 97, p.15.787-15.801, October. 1992.

Boudevillain, B. e Andrieu, H. Assessment of vertically integrated liquid (VIL) water content radar measurement. Journal of Atmospheric and Oceanic Technology, v. 20, n. 6, p. 807-819, 2003.

Bringi, V. N.; Thurai, M.; Hannesen, R. Correcting the measured ZDR for differential attenuation due to rain. Dual-polarization weather radar handbook, 2nd Edition, Selex-Gematronik. p. 51-56, 2007.

Brooks H. E., Doswell, C. A., Copper, J. On the Environments of Tornadic and Nontornadic Mesocyclones. Weather and Forecasting, 9, 606-618, 1994.

CAMARGO, M.B.P.; BRUNINI, O.; PEDRO JÚNIOR, M.J.; BARDIN, L. Variabilidade espacial e temporal de dados termopluviométricos diários da rede de estações meteorológicas do Instituto Agronômico. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 12., 2001, Fortaleza. Anais... Fortaleza: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 2001. volume I, p.207-208.

Chou, S. C., Nunes, A. M. B., and Cavalcanti, I. F. A.: Extended range forecasts over South America using the regional eta model, Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 105, 10147-10160, doi:10.1029/1999JD901137, 2000.

CONAB. Pesquisa de Safras e Informações Geográficas da Agricultura Brasileira. 2015. Disponível em: http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1534&t=2

Cotton, W. R. and Anthes, R. A. Storm and Cloud Dynamics. Academic Press, 883 pp., 1989.

Cotton, W. R. and Pielke, R. A.: Human Impacts on Weather and Climate, Cambridge University Press, 1995.

CUNHA, G. R.; ASSAD, E. D. Uma visão geral do número especial da RBA sobre zoneamento agrícola no Brasil. Revista Brasileira de Agrometeorologia, v.9, n.3 (No Especial: Zoneamento Agrícola), p.377-385, 2001.

Cardoso, I., O. Pinto Jr, O.; Pinto, I. R. C. A.; Holle, R. CARDOSO, I.; PINTO JR, O.; PINTO, I. R. C. A.; HOLLE, R. Lightning casualty demographics in Brazil and its implications to safety rules, Atmospheric Research, v. 135-136, 374-379, 2014.

Carey, L. D.; Rutledge, S. A. A multiparameter radar case study of the microphysical and kinematic evolution of a lightning producing storm. Meteorol. Atmos. Phys., v.59, p.33-64, 1996.

Davis, C.A. Observations and modeling of a mesoscale cold surge during WISPIT. In: VI CONFERENCE ON MESOSCALE PROCESSES, July 18-22, 1994, Portland, Oregon. Anais.Boston: AMS, 1994 p.328-331.

Delahaye, F., Pierre-Emmanuel Kirstetter, Vincent Dubreuil, Luiz A.T. Machado, Daniel A. Vila, Robert Clark. A consistent gauge database for daily rainfall analysis over the Legal Brazilian Amazon. (2015) In press Journal of Hydrology. (http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.04.012)

Dolan, B.; Rutledge, S. A. A theory-based hydrometeor identification algorithm for X-band polarimetric radars. Journal of Atmospheric & Oceanic Technology, v. 26, n. 10, p. 2071-2088, 2009.

Dotzek, N.; Friedrich, K. Downburst-producing thunderstorms in southern Germany: Radar analysis and predictability. Atmospheric Research, v. 93, n.1, p. 457-473, 2009.

Eggert, B., P. Berg, J. O. Haerter, D. Jacob, and C. Moseley. Temporal and spatial scaling impacts on extreme precipitation. Atmos. Chem. Phys., 15, 5957–5971, 2015

Ferro, M. A. S.; Saba, M. M. F.; Naccarato, K. P.; Yamasaki, J.; Pimentel, D. R. M. "Cloud-to-ground lightning warnings based on electric field-mill measurements in Brazil". Proceedings of the 30th International Conference on Lightning Protection (ICLP), CD-ROM, Cagliari, 2010

Figueras I Ventura, Jordi, Françoise Honoré, Pierre Tabary, 2013: X-Band Polarimetric Weather Radar Observations of a Hailstorm. J. Atmos. Oceanic Technol., 30, 2143–2151.

Fisch, G.; Tota, J.; Machado, L. A. T.; Silva Dias, M. A. F.; Lyra, R. F. da F.; Nobre, C. A.; Dolman, A. J.; Gash, J. H. C. 2004. The convective boundary layer over pasture and forest in Amazonia. Theoretical and Applied Climatology, v. 78, n. 1-3, p. 47-59, 2004. (doi 10.1007/s00704-004-0043-x).

Fogaccia, C. V. C. & Pereira Filho, A. J. Turbulência e Cisalhamento do Vento na Área do Aeroporto Internacional de São Paulo/Guarulhos. In: Anais do XI Congresso Brasileiro de Meteorologia, Rio de Janeiro-RJ (CDROM), 2000.

Freitas, E. D., Rozoff, C. M., Cotton, W. R., and Dias, P. L. S.: Interactions of an urban heat island and sea-breeze circulations during winter over the metropolitan area of Sao Paulo, Brazil, Boundary-Layer Meteorology, 122, 43-65, doi:10.1007/s10546-006-9091-3, 2007.

Freitas, E. D., Silva Dias, P. L., Carvalho, V. S. B., Mazzoli, C. R., Martins, L. D., Martins, J. A., and Andrade, M. F.: Factors involved in the formation and development of severe weather conditions over the Megacity of São Paulo, Conference Factors involved in the formation and development of severe weather conditions over the Megacity of São Paulo, Phoenix, AZ2009a, 2006.

Freitas, S. R., Longo, K. M., Silva Dias, M. A. F., Chatfield, R., Silva Dias, P., Artaxo, P., Andreae, M. O., Grell, G., Rodrigues, L. F., Fazenda, A., and Panetta, J.: The coupled aerosol and tracer transport model to the Brazilian developments on the regional atmospheric modeling system (CATT-BRAMS) Part 1: model

description and evaluation, Atmospheric Chemistry and Physics, 9, 2843-2861, doi:10.5194/acp-9-2843-2009, 2009b.

Goodman, S. J.; Buechler, D. E.; Wright, P. D.; Rust, W. D.; Nielsen, K. E. Polarization radar and electrical observations of microburst producing storms during COHMEX. Proceedings, 24th Conference on Radar Meteorology, Tallahassee, FL, Am. Meteorol. Soc., 109-112, 1989.

Hagen, M.; Bartenschlager, B.; Finke, U. Motion characteristics of thunderstorms in southern Germany. Met. Apps, 6: 227–239. 1999. doi: 10.1017/S1350482799001164.

IBGE. Perfil dos municípios Brasileiros 2013. (ftp://ftp.ibge.gov.br/Perfil_Municipios/2013/munic2013.pdf)

Iguchi, T., 2000: Rain-profiling algorithm for the TRMM precipitation radar. J. Appl. Meteor., 39, 2038-2052.

IPCC, 2012: Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Field, C.B., V. Barros, T.F. Stocker, D. Qin, D.J. Dokken, K.L. Ebi, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, G.-K. Plattner, S.K. Allen, M. Tignor, and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, NY, USA, 582 pp.

INMET (Instituto Nacional de Meteorologia). Modelo Brasileiro de Alta Resolução – MBAR. Brasília 2015. Disponível em <http://www.inmet.gov.br/html/prev_clima_tempo/modelo/mbar/>. Último acesso em 11 de junho de 2015.

Nascimento, E. L. Previsão de Tempestades Severas utilizando-se Parâmetros Convectivos e Modelos de Mesoescala: Uma Estratégia Operacional Adotável no Brasil? Revista Brasileira de Meteorologia, 2004.

Nascimento, E. L. & Calvetti, L. Identificação de condições precursoras de tempestades severas no sul do Brasil utilizando-se radiossondagens e parâmetros convectivos. In: Anais do XIII Congresso Brasileiro de Meteorologia, Fortaleza, CE (CDROM), 2004.

Kirpatrick, J. Cody, Eugene W. Mccaul, C. Cohen. The Motion of Simulated Convective Storms as a Function of Basic Environmental Parameters. Mon. Wea. Rev., 135, 3033–3051, 2007.

Laurent, H., L. A. T. Machado, C. A. Morales, AND L. Durieux, Characteristics of the Amazonian mesoscale convective systems observed from satellite and radar during the WETAMC/LBA experiment, J. Geophys. Res., 107(D20), 8054, doi:10.1029/2001JD000337, 2002.

Long, Alexis B., Richard J. Matson, Edwin L. Crow, 1980: The Hailpad: Materials, Data Reduction and Calibration. J. Appl. Meteor., 19, 1300–1313.

Machado, L. A. T., Laurent, H. The convective system area expansion over amazonia and its relationships with convective system life duration and high-level wind divergence. MONTHLY WEATHER REVIEW. , v.132, p.714 - 725, 2004.

Manzato, A., 2013: Hail in NE Italy: A neural network ensemble forecast using sounding–derived indices, Weather and Forecasting, 28, 3–28.

Mattos E, LAT Machado and E. Williams. Polarimetric signatures of thunderstorms associated ro frequency activity. Submetido ao Journal of Applied Met. Clim., 2015.

Mattos, E. V.; Machado, L. A. T.; Williams, E. R. Lightning and Microphysics Characteristics of Incipient Local/Isolated Storms. Proceedings, XV International Conference on Atmospheric Electricity, Norman, Oklahoma, ICAE, 1-4, 2014.

MELLAART, E.A.R. Small-scale spatial rain distribution: the effect of temporal and spatial rain distribution on drought and crop yield at village level. Nelspruit: Institute for Soil, Climate and Water, 1999. 18p.

Moller, A. R. Severe local storms forecasting. Meteorological Monographs, v. 28, n. 50, p. 433-480, 2001.

Naccarato, K. P.; Pinto Jr., O.; Ferreira Jr., H. H. "Cloud-to-ground lightning forecast based on lightning location system information and electric field-mill data". Proceedings of the International Conference on Grounding and Earthing (GROUND´2008) & 3th International Conference on Lightning Physics and Effects (LPE). CD-ROM, Florianópolis, 2008.

Palencia C., Amaya Castro, Dario Giaiotti, Fulvio Stel, Roberto Fraile. Dent Overlap in Hailpads: Error Estimation and Measurement Correction Journal of Applied Meteorology and Climatology. Volume 50, Issue 5 (May 2011) pp. 1073-1087

Park, Hyang Suk, A. V. Ryzhkov, D. S. Zrnić, Kyung-Eak Kim, 2009: The Hydrometeor Classification Algorithm for the Polarimetric WSR-88D: Description and Application to an MCS. Wea. Forecasting, 24, 730–748.

Pierce, C. E. et al. GANDOLF: a system for generating automated nowcasts of convective precipitation. Meteorological Applications, v. 7, n. 4, p. 341-360, 2000.

REICHARDT, K.; ANGELOCCI, L.R.; BACCHI, O.O.S.; PILOTTO, J.E. Daily rainfall variability at a scale (1.000 ha), in Piracicaba, SP, Brazil, and its implications on soil water recharge. Scientia Agricola, v.52, n.1, p. 43-49, 1995.

Rickenbach, Thomas M., 1999: Cloud-Top Evolution of Tropical Oceanic Squall Lines from Radar Reflectivity and Infrared Satellite Data. Mon. Wea. Rev., 127, 2951–2976. doi: 10.1175/1520-0493(1999)127<2951:CTEOTO>2.0.CO;2

Roberts, R. D.; Burgess, D.; Meister, M. Developing tools for nowcasting storm severity. Weather and Forecasting, v. 21, n. 4, p. 540-558, 2006.

Rosemfeld, D.; Lerner, A. Satellite multispectral identification of severe storms and their nowcasting by the microstructure of the pre-storm clouds. In: 2003 EUMETSAT Meteorological Satellite Conference. 2003.

Rosenfeld, Daniel et al. Satellite detection of severe convective storms by their retrieved vertical profiles of cloud particle effective radius and thermodynamic phase. Journal of Geophysical Research: Atmospheres (1984–2012), v. 113, n. D4, 2008.

Sakuragi, J.; Biscaro, T. Determinação do viés do ZDR e seu impacto na classificação de hidrometeoros. XVII Congresso Brasileiro de Meteorologia, Gramado, Brasil, 2012.

Sapucci, L. F. Estimativas do IWV Utilizando Receptores GPS em Bases Terrestres no Brasil: Sinergia entre a Geodésia e a Meteorologia. Tese de doutorado em Ciências Cartográficas. Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, UNESP, São Paulo, Brasil. 2005. Orientadores. João Francisco Galera Monico e Luiz Augusto Toledo Machado.

Schneebeli, M., J. Sakuragi, T, Biscaro, C. F. de Angelis, I. Carvalho da Costa, C. A. Morales, L. Baldini, and Machado, L. A. T, 2012.: Observations of tropical rain with a polarimetric X-band radar: first results from the CHUVA campaign, Atmos. Meas. Tech. Discuss., 5, 1717-1761

Schultz, Christopher J., Walter A. Petersen, Lawrence D. Carey, 2009: Preliminary Development and Evaluation of Lightning Jump Algorithms for the Real-Time Detection of Severe Weather. J. Appl. Meteor. Climatol., 48, 2543–2563.

Straka, J. M., Zrnic, D. S. and Ryzhkov, A. V. 2000: Bulk Hydrometeor Classification and Quantification Using Polarimetric Radar Data: Synthesis of Relations. American Meteorological Society, 39, 1341-1372.

Silva Dias, M. A. F., Dias, J., Carvalho, L. M. V., Freitas, E. D., and Silva Dias, P. L.: Changes in extreme daily rainfall for São Paulo, Brazil, Climatic Change, 116, 705-722, doi:10.1007/s10584-012-0504-7, 2013.

Skamarock, W. C., Klemp, J. B., Dudhia, J., Gill, D. O., Barker, D. M., Duda, M. G., Huang, X., Wang, W., and Powers, J. G.: A description of the Advanced Research WRF Version 3, 2008.

STOL, Ph.Th,. The relative efficiency of the density of raingauge networks. Journal of Hydrology, v.15, n.3, p.193, 1972.

Teixeira, M. A. B. Análise da trajetória e da circulação de sistemas precipitantes. Dissertação (Mestrado em Meteorologia – orientada por L. A. T. Machado) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2010.

Testud, J. et al. The rain profiling algorithm applied to polarimetric weather radar. Journal of Atmospheric and Oceanic Technology, v. 17, n. 3, p. 332-356, 2000.

Thompson, R. L., Edwards, R., Hart, J. A., Elmore, K. L., Markowski, P. Close Proximity Soundings Within Supercell Environments Obtained from the Rapid Update Cycle. Weather and Forecasting, v. 18, p. 1243-1261, 2003.

Ventura, J. F., Honoré, F.; Tabary, P. X-band polarimetric weather radar observations of a hailstorm. J. Atmos. Oceanic Technol., v.30, p2143-2151, 2013.

Vila, D. A., L.A.T. Machado, H. Laurent and I Velasco. Forecast and Tracking the Evolution of Cloud Clusters (ForTraCC) using satellite infrared imagery: Methodology and validation. Weather and Forecasting, v. 23, n. 2, p. 233-245, 2008.

Wilson, J. W. et al. Nowcasting thunderstorms: A status report. Bulletin of the American Meteorological Society, v. 79, n. 10, p. 2079-2099, 1998.

Wooddard, C. J.; Carey, L. D.; Petersen, W. A.; Roeder, W. P. Operational utility of dual-Polarization Variables in Lightning Initiation Forecasting. Eletronic J. Operational Meteor., v. 13, n. 6, p. 79-102, 2012.

Zeitler, J. W., and M. J. Bunkers, 2005: Operational forecasting of supercell motion: Review and case studies using multiple datasets. Natl. Wea. Digest, http://www.crh.noaa.gov/images/unr/soo/scm/ZB06.pdf36th_Conference_Radar_Met.

Zipser, E. J., Chuntao Liu, Daniel J. Cecil, Stephen W. Nesbitt, David P. Yorty, 2006: WHERE ARE THE MOST INTENSE THUNDERSTORMS ON EARTH?. Bull. Amer. Meteor. Soc., 87, 1057–1071. doi: http://dx.doi.org/10.1175/BAMS-87-8-1057

13) Justificativa dos Orçamentos

1) MPN

Item #1 - Sistema de processamento, arquivamento e web do SIGMA-CHUVA

Compra de dois sistemas de processamento- armazenamento-web dedicado ao desenvolvimento do protótipo e operação. Os dados coletados pelo radar serão colocados a disposição de todos em tempo real, bem como os dados históricos já processados. Para tanto teremos um sistema rodando como modelo conceitual operacional na UNICAMP e outro similar para desenvolvimento e implementação no INPE. Os dois sistemas similares em termos de hardware são importantes para manter um rodando o SIGMACast e os produtos desenvolvidos e o outro rodando no INPE para o aprimoramento , desenvolvimento, processamento de novos algoritmos. O sistema irá fornecer acesso em tempo real na web incluindo os dados do radar e produtos de previsão imediata que serão desenvolvidos com base nas pesquisas realizadas. Esse sistema tem capacidade de processamento para gerar na menor latência possível o resultado da aplicação que consistirá de utilizar o campo tridimensional do radar. Esse sistema também tem a capacidade de armazenamento dos dados e de prover o Web SIGMA em tempo real. Essa máquina consiste de 4 processadores twelve core, 16x8 Giga de Ram e 4x2 Terabytes de armazenamento.

Item #2 - Estabilizador de Eletrônico Tensão

A UNICAMP irá disponibilizar a energia necessária para o radar, contudo essa energia não é estabilizada e precisará de um estabilizador para manter o funcionamento do radar dentro das especificações.

Item #3 - Monitor de LCD

Conforme proposto no projeto, iremos colocar o SIGMACAST rodando no Museu Exploratório de Ciências – UNICAMP. O projeto apresenta a componente de educação do cidadão no uso de informações meteorológicas para reduzir a vulnerabilidade. O Programa Meteorologista Cidadão, bem como Praça Tempo Espaço e Praça Tempo e Clima irão incorporar o SIGMACast (utilizando o Monitor LCD) para avaliar o aprendizado do cidadão nas novas tecnologias.

Item #4 – 10 Pluviômetros

Na ESALQ, na área de análise intensiva, serão instalados 10 pluviômetro, cada um representando uma área de 200mx200m (resolução do radar) para análise da

pluviometria, calibração do radar, uso no modelos de produtividade e em sinergia com os outros instrumentos (field mill, disdrômetros e estação de fluxo de superfície).

2) MPI

Item #1 - Sistema de processamento, arquivamento e web do SIGMA-CHUVA

O projeto fará rodadas diárias do modelo BRAMS em alta resolução para a geração de campos dinâmicos e termodinâmicos que serão estudados como variáveis preditoras de início de tempestades severas. Também serão realizadas rodadas pretéritas especiais de casos intensos para estudo detalhando da formação com vistas ao aprimoramento do modelo e dos processos de nowcasting. Essas tarefas adicionais ao sistema necessita deste upgrade do sistema computacional do MASTER.

Item #2 - Field Mill (moinho de campo) três unidades integradas

A principal vantagem de um moinho de campo é a possibilidade de se prever (e eventualmente alertar) a ocorrência da primeira descarga atmosférica no ponto de interesse antes que ela efetivamente aconteça ("*nowcasting*" de descargas atmosféricas). No entanto, trabalhando isoladamente, o tempo de antecedência de eventuais alertas é usualmente muito pequeno e há um significativo erro no cálculo da distância da nuvem de tempestade. Neste caso então, como um importante objetivo do projeto é avaliar eventuais alertas de ocorrência de descargas atmosféricas ("*nowcasting*") a partir da informação da intensidade do campo elétrico atmosférico, para esse estudo, requer-se a instalação de uma rede de filed mills com, ao menos, 06 (seis) sensores, distantes não mais que 20km uns dos outros. A partir medidas individuais de cada um dos EFMs, calculam-se então os valores de campo para pontos distribuídos por toda a área de cobertura da rede utilizando o método de interpolação. Dessa forma, o projeto adquirirá 03 (três) sensores enquanto os outros 03 (três) sensores necessários para compor a rede serão fornecidos pelo INPE.

Item #3 – Parsivel

O disdrômetro é um instrumento muito importante quando se utiliza radares. O disdrômetro fornece a precipitação descriminada pelo tamanho das gotas de chuva. Como a função de refletividade do radar depende do diâmetro a sexta potencia do tamanho da gota é fundamental ter uma amostragem para poder calibrar o radar. No experimento serão utilizados 4 disdrômetros Parsivel, dois já existem no INPE e serão instalados próximos ao radar, os dois novos serão instalados na área piloto de estudos na ESALQ, outro próximo ao radar.

3) MCN

Item #1,2 e 3 – Hail Pad – detector de granizo

O Hail pad será importante para poder reportar a ocorrência de granizo na área de cobertura do radar. Creio esse sensor ainda não foi utilizado no Brasil e permitirá, por amostragem, saber os momentos e eventos em que houve tempestades intensas com granizo e com a informação do tamanho do granizo. Conforme o número de casos reportados e a distribuição de tamanhos será possível relacionar as propriedades físicas das nuvens com o tamanho do granizo. Para a região estima-se entre 20 a 30 hail pads para serem distribuídos na área de visada do radar em Piracicaba, Itatiba e região de Campinas. O sistema será desenvolvido e necessitará a compra de floormate, tinta de silkscreen, digitalização e desenvolvimento de software.

Item #4 – Fibra ótica.

O radar ficará instalado próximo ao Museu e irá utilizar o acesso internet provido pelo MUSEU, desta forma a fibra ótica será utilizada para conectar a torre ao Museu de forma a fornecer internet de qualidade para trafegar os dados colhidos pelo radar.

4) STB

Item #1 – Construção da Torre.

O radar será instalado em uma torre de 8 metros que suportará 3 toneladas e terá para raios e estrutura sólida para não oscilar em condições de ventos intenso. Além disso, a torre deve ter escada seguras para acesso e plataforma para trabalhar no radar. A Unicamp já autorizou a construção da torre em seu Campus ao lado do Museu na parte mais alta da UNICAMP (autorização em anexo).

Item #2 –Transporte do Radar de Cachoeira Paulista para Campinas e Cachoeira Paulista.

O radar se encontra em Cachoeira Paulista e necessita de um caminhão com carroceria especial para transporte a Campinas e retorno após 2 anos. O radar tem 4,5 metros de altura e necessita de transporte especial.

Item #3 – Instalação elétrica e da fibra ótica.

Para a instalação elétrica e da fibra ótica será contratado um serviço profissional haja visto a dificuldade de trabalho com alta tensão e com fibra ótica.

Item #4 – Manutenção da rede de dados de Descargas Elétricas da BrasilDat (24 meses).
A Brasildat tem dados tridimensionais das descargas elétricas e serão fundamentais para
O projeto. Esses dados são de suma importância para o nowcasting e poderão ser usados como dados base para a calibração e ajustes da nova geração do GOES que irá ser lançado em 2016. Esses dados serão fornecidos em tempo real e serão utilizados tanto no SIGMACAST como nos estudos científicos.

4) STI

Item #1 – Leasing , garantia e revisão geral (pagamento da parte que resta do leasing - buy out option)
O Radar Banda X de dupla polarização da Selex, o R50DX foi contratado por leasing desde Março de 2011. Foi realizado um contrato inicial de leasing por 24 meses no valor de 171.000,00 euros e posteriormente o contrato foi estendido para mais 21 meses, incluindo a extensão da garantia e manutenção preventiva no valor de 160.000,00 euros. Para a compra definitiva do radar é necessário o desembolso de 374.999,00 euros (veja orçamento). O orçamento contempla também o leasing mensal do equipamento, mas a opção de compra definitiva é a mais adequada uma vez que o radar após o uso nesse experimento de dois anos ficará a disposição para pesquisa. Já há uma intensão de uso no experimento internacional RELAMPAGO no final de 2017. O radar ficará a disposição de experimentos científicos da comunidade de pesquisadores em ciências atmosféricas. Adiciona-se a esse valor a extensão da garantia de 24 meses do radar e duas manutenções preventivas para manutenção do radar com medidas de qualidade.

5) TRAN

Item #1 – Passagens
O projeto envolve pesquisadores de outras regiões e que participarão de períodos intensivos, além disso, haverá um Workshop sobre o tema de nowcasting e tentativamente períodos intensivos no verão. Para tanto, 8 passagens para a missão de campo e Workshop.

6) DIP

Item #1 – Diárias no país para Workshop, períodos intensivos e coleta de dados.
O projeto contará com três ações que necessitam de diárias, a) workshops e períodos intensivos, b) instalação e c) coleta sistemática de dados. O dois Workshops do projeto

serão realizados na UNICAMP e INPE e haverá um período intensivo no verão. A instalação dos equipamentos necessitará de equipes diversas, seja do radar, dos instrumentos e nos field mills. Já a coleta de dados, será realizada pelas equipes da ESALQ e UNICAMP, mas serão necessárias visitas mensais de técnicos mais especializados para uma manutenção nos equipamentos. Estamos prevendo, 3 técnicos mensais e 4 pessoas , um mês, para a preparação e montagem de todos os equipamentos.

7) Bolsas TT

Item #1 –Bolsa TT-4A.
24 meses de bolsa TT-4 destinada a manutenção da operação do radar, tratamento dos dados, calibração, acompanhamento da operação e na manutenção do sítio web e na operacionalização dos produtos que forem desenvolvidos pelo projeto. (INPE)

Item #1 –Bolsa TT-2.
24 meses de bolsa TT-2 destina-se a coleta e pré-processamento dos dados no sítio principal, bem como na preparação dos coletores de granizo. Essa pessoa ficará na ESALQ.

8) Bolsas Pos – Doc e IC

Item #1 – Bolsa Pos-Doc
Dois anos de Bolsa Pos-Doc para a realização da pesquisa relacionando dados do radar combinando com modelo e descargas elétricas. (INPE)

Item #2 – Bolsa IC
Dois anos de bolsa para estudos de nowcasting (USP)

Item #3 – Bolsa IC
Dois anos de bolsa para estudos de precipitação e modelos agrícolas (ESALQ e UNICAMP)