



## **PROJETO SOS- CHUVA**

**(Sistema de Observação e Previsão de Tempo Severo)**

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

**Pesquisador Responsável: Luiz Augusto Toledo Machado - CPTEC/INPE**

**Pesquisador Principal: Edmilson Freitas - IAG/USP**

**Pesquisadores Associados Principais:**

**Ana Maria Heuminski de Avila - CEPAGRI/UNICAMP**

**Felipe Gustavo Pilau - ESALQ/USP**

**Rachel Albrecht - USP/IAG**

**Daniel Vila – CPTEC/INPE**

**Eder Vendrasco – CPTEC/INPE**

**Kleber Naccarato – CST/INPE**

**Projeto Temático FAPESP - 2015/14497-0**

**Relatório Parcial #1 - Janeiro 2016-2017**



## Resumo do Projeto

Este projeto propõe utilizar radares e modelagem numérica 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 são os diversos radares operando no Estado de São Paulo e o radar de dupla polarização operando em Campinas, por 24 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, a propagação das células de chuva, ao crescimento do volume de tipos específicos de hidrometeoros, as taxas de crescimento do topo e os 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.

## Conteúdo

Resumo do Projeto	<b>3</b>
<b>1) O Projeto SOS-CHUVA no ano 2015-2016</b>	<b>4</b>
<b>1.1) Descrição das Atividades</b>	<b>4</b>
<b>1.2) Descrição e Avaliação dos Apoios Institucionais</b>	<b>8</b>
<b>2) Discussão sobre as Atividades 2017-2020.</b>	<b>10</b>
<b>3) Descrição dos trabalhos de Pesquisa em Andamento</b>	<b>11</b>
a) <i>Um modelo de Previsão imediata utilizando radar de dupla polarização</i>	<b>11</b>
b) <i>Estudo da eletrificação de nuvens</i>	<b>12</b>
c) <i>Uso do GPS para previsão de tempestades</i>	<b>15</b>
d) <i>Previsão da Trajetória de sistemas convectivos</i>	<b>16</b>
e) <i>Modelagem em alta resolução e microfísica de nuvens</i>	<b>18</b>
f) <i>O Uso de campos eletrostáticos para a previsão imediata de Tempestades</i>	<b>28</b>
g) <i>Uso de satélites Meteorológicos</i>	<b>31</b>
h) <i>Aplicações na Agricultura</i>	<b>32</b>
<b>4) Trabalhos Apresentados, Publicados e Alunos envolvidos no Projeto.</b>	<b>34</b>
<b>5) Descrição da Aplicação dos Recursos de Res. Técnica e Ben. Complementares</b>	<b>43</b>
<b>6) Relatório de Bolsas TT</b>	<b>45</b>
Referências	<b>46</b>

### ANEXOS:

- ANEXO 1 Relatório fotográfico de construção e entrega da torre.
- ANEXO 2 Relatório de implantação e manuais dos instrumentos.
- ANEXO 3 Relatório sobre a implantação da rede de moinhos de campo e manuais.
- ANEXO 4 Relatório de desenvolvimento dos detectores de granizo e manuais.
- ANEXO 5 O Aplicativo SOS CHUVA para Androide e IOS.
- ANEXO 6 A Previsão Imediata do Tempo – Publicação interna do INPE.
- ANEXO 7 Reuniões de Preparação do Projeto
- ANEXO 8 Programa do Seminário de lançamento do aplicativo SOS CHUVA
- ANEXO 9 Programa da segunda reunião científica do projeto CHUVA
- ANEXO 10 Reportagens sobre o aplicativo SOS CHUVA
- ANEXO 11 Resumos das propostas científicas de desenvolvimento do Projeto.
- ANEXO 12 Artigo submetido ao Journal of Natural Hazard
- ANEXO 13 Artigo submetido ao Journal Geophysical Research
- ANEXO 14 Descritivo do aplicativo desenvolvido para prever descargas elétricas.
- ANEXO 15 Resultados preliminares sobre a modelagem de descargas elétricas.
- ANEXO 16 Descrição dos prejuízos causados pelo evento de 5/6/16 em Campinas.
- ANEXO 17 Artigo submetido a Journal Atmospheric Measurement Technique
- ANEXO 18 Artigo em preparação para submissão ao Weather and Forecasting
- ANEXO 19 Estudo de caso utilizando o BRAM 5.2
- ANEXO 20 Projeto de participação no GPM
- ANEXO 21 Treinamento Geonetcast&Nowcasting
- ANEXO 22 Relatório bolsa TT4A
- ANEXO 23 Relatório Bolsa TT2



# 1) O Projeto SOS-CHUVA no ano 2015-2016.

## 1.1) Descrição das Atividades

Este projeto apresenta uma característica diferente do projeto anterior, o Projeto CHUVA, que realizou experimentos em 7 regiões do Brasil. O SOS-CHUVA apresenta uma característica de medidas permanentes com infraestrutura permanente, com sistema de coleta contínuo, com um sistema menos assistido por não contar com pessoas 100% do tempo e com serviços associados. Desta forma, trata-se de uma atividade operacional por 2 anos de medidas intensivas e serviço, o que apresenta uma complexidade muito maior. Este ano foi dedicado principalmente a instalação dos equipamentos, a montagem da infraestrutura de dados, Web-Page, Aplicativo para celular, estabelecimento dos processos de previsão imediata, estabelecimentos do processo de modelagem numérica e Inter comparação radar-satélite-modelo numérico, organização dos grupos de pesquisa, preparação de planos de Teses de alunos, contratação das bolsas TT e Pos-Doc e a agregação de novos grupos de pesquisadores e novos dados (radares). Desta forma, descrevo a seguir cada uma destas componentes em detalhes.

**A Instalação dos equipamentos e desenvolvimento de instrumentos** foi bastante complexa e demandou um grande tempo e número de missões. O instrumento principal, o radar banda X de dupla polarização necessitou da preparação da torre e infraestrutura física, elétrica e transmissão de dados, além da revisão completa do radar. Inicialmente foi selecionado o local e obtido todas as licenças e aprovações junto a UNICAMP. Posteriormente, foi feito um plano de instalação elétrico, transmissão de dados, físico da torre, levantamento de empresas, preparação do plano de construção para a “licitação” e acompanhamento das obras. Todas essas etapas foram concluídas o **anexo1** apresenta um descritivo de todo esse processo e a instalação final do radar na torre nos últimos meses de 2016. Para a comunicação dos dados em tempo real foi instalada uma fibra-ótica conectando o radar ao container a rede da UNICAMP. Além disso foi levado energia elétrica até o local e implantado os transformadores e estabilizadores, que são necessários ao correto funcionamento do radar. Após a instalação do radar a equipe da Selex realizou uma manutenção preventiva e o radar iniciou a operação, infelizmente, no final de dezembro uma placa eletrônica do radar queimou e estamos tentando liberar na alfandega a nova placa para reiniciar uma operação contínua. O projeto contratou 3 anos de garantia do equipamento.

Além da instalação do radar foram instaladas 3 redes de dados básicos microfísicos e atmosféricos. Uma junto ao radar na UNICAMP, outra na Embrapa Jaguariúna e outra na ESALQ, em Piracicaba. O **anexo2** apresenta a lista de todos os equipamentos instalados, a organização da base de dados e um manual de operação de cada instrumento. Basicamente, foram instaladas duas redes de pluviômetros, uma a 20 km, na Embrapa e outra a 60 km na ESALQ. Ainda estamos organizando a forma de coleta para evitar o deslocamento contínuo das equipes de Cachoeira Paulista, a 300 km de Campinas. Desta forma, preparamos o material e estamos treinando operadores da UNICAMP e ESALQ. Esses equipamentos serão importantes para fornecer e calibrar



campos de precipitação em alta resolução para aplicações agrícolas e validação de estimativas de satélite.

Além destes equipamentos foi instalada uma rede de field-mills (moinhos de campo ou sensores de campo elétrico) com dados em tempo real, utilizando tecnologia de rede de celulares. A Rede de sensores de campo elétrico atmosférico foi instalada no entorno da região de Campinas nas cidades de Campinas, Americana, Eng. Coelho, Indaiatuba, Itatiba, Tuiti e da Santo Antônio da Posse. A descrição da rede, os locais de instalação, o manual de operação e dados e um informativo sobre o que o sensor mede é apresentado no **anexo3**. Essa rede é inédita e será fundamental para estudar a eletrificação das nuvens e testar desenvolver ferramentas para em tempo real prever a ocorrências de descargas elétricas. Essa rede será utilizada para diversos estudos, sejam eles de modelagem ou conceituais.

Outro conjunto de sensores inéditos são os detectores de granizo denominados de hail-Pads. Está etapa está ainda um pouco atrasada uma vez que enfrentamos problemas com os pássaros que destruíam a cobertura de papel alumínio e na seleção de voluntários. Inicialmente foi necessário desenvolver toda base científica do instrumento, para isso foram testados diversos matérias, realizados testes com esferas de aço e levantamento de curvas de calibração entre o tamanho do granizo e o da marca na placa. A descrição científica destas etapas está no **anexo 4**. Este anexo também contempla dois manuais, o manual de instalação e o do voluntário. Os hail-pads estão sendo instalados em localidades nos entornos de Campinas, na área de abrangência do radar de Campinas. Uma proposta de Tese foi preparada visando explorar esses equipamentos (Veja figura 1.1a)

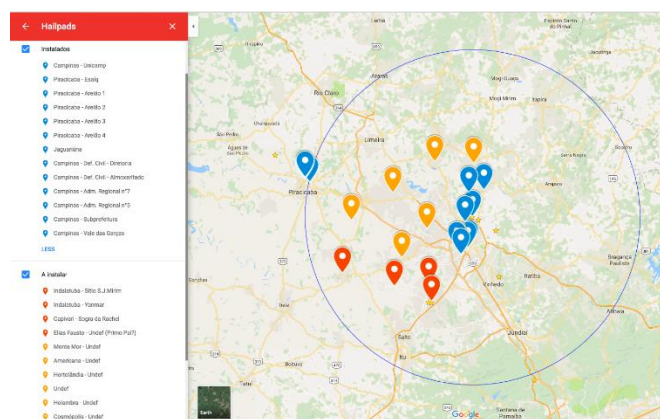


Figura 1.1a- Hail Pads instalados até o momento

Durante o processo de instalação houveram alguns equipamentos que apresentaram problemas e que estão sendo consertados, como o MRR e o MP3000. Espera-se que no fim de janeiro teremos toda a estrutura operacional.

Outro processo de implantação do projeto foi **a construção da página web, do Sigma-SOS e do aplicativo SOS-CHUVA**. A página tem a função de colocar disponível todas as informações e dados coletados pelo projeto para a comunidade de pesquisadores. A página ainda está em implantação, embora já conte com diversas informações. O

endereço da página é <http://soschuva.cptec.inpe.br/soschuva/>. Um importante link para a página é o serviço SIGMA-SOS (<http://sigma-soschuva.cptec.inpe.br/>). O Sigma SOS é uma plataforma desenvolvida com geotecnologia com uma grande quantidade de produtos para a previsão imediata utilizando radar, satélite e modelagem. A ideia do SIGMA SOS é a preparação da base para a implantação da previsão imediata no Estado de São Paulo com a Defesa Civil e os diversos atores como o CPTec, INMET, USP, UNICAMP e UNESP. Está é a plataforma que materializa os resultados da pesquisa, ela já conta com diversos produtos como precipitação acumulada em 1,2 e 3 dias, VIL e DVIL (Vertical Integrated Liquid water e densidade de VIL), altura do topo entre outros produtos de radar. Já estamos realizando previsões de 20 e 30 minutos e previsão de sistemas severos e ocorrência de descargas elétricas. O objetivo do SIGMA SOS é criar uma plataforma que permita implementar rapidamente o desenvolvimento de novas tecnologias de previsão imediata, de prover uma plataforma para previsão imediata operacional e de fomentar o uso dessas novas tecnologias e validar os novos desenvolvimentos. O passo mais ousado dado neste projeto foi o aplicativo para celulares o SOS-CHUVA. O objetivo do aplicativo é desenvolver um sistema que reduza a vulnerabilidade da população através do acesso a informação em tempo real. Logicamente, para isso são necessárias as informações de chuva e raios em tempo real cheguem ao usuário, mas principalmente ao entendimento das informações apresentadas. O aplicativo SOS CHUVA é único e fornece dados de radares em tempo real e apresenta uma previsão de mudanças para os próximos 20 minutos, imagens de satélite e descargas elétricas. Entendendo as informações do aplicativo o usuário pode tomar a melhor decisão para não se expor perigos das tempestades e aos transtornos causados por ela. Contudo, entre esse fim e o aplicativo existem diversas etapas e desenvolvimentos, tais como estudos de comportamento do usuário, linguagem e tutoriais. O aplicativo até o momento foi baixado por 12000 celulares e é ativo em 5000 (consulta sistemática). Um descritivo do aplicativo, suas tecnologias e funções é apresentado no **anexo5**. O projeto apresenta uma constante atualização do aplicativo (estamos na quarta atualização), vídeos explicativos e novas funções. Houveram reuniões com grupos de cientistas sociais e de comunicação para discutir procedimentos para que a linguagem do desastre seja realizada de forma efetiva e que um entendimento ocorra entre a sociedade-academia-tomadores de decisão. Neste ano houveram diversas reuniões com esses três atores para avançar neste tópico. Finalmente, neste tópico criamos um blog para colocar as descrições dos estudos de casos selecionados e gerar uma plataforma rápida de discussão entre os diferentes grupos de pesquisa. O endereço do blog é (<https://topicssoschuva.blogspot.com.br/>).

Um grande esforço foi empreendido no **estabelecimento dos processos de previsão imediata**. No Brasil, de uma forma geral, os centros de meteorologia realizam previsões de tempo e previsão sazonal, i.e., a previsão de escala sinótica, entre 1 dia a 11 dias e a tendência do clima para o próximo mês ou próxima estação respectivamente. A Previsão imediata, que é o processo de monitoramento e previsão para as próximas 6 horas, é raramente realizado, não existem técnicas operacionais, procedimentos e protocolos a serem seguidos. Os cursos de Bacharelado em meteorologia não apresentam a matéria – previsão imediata em seus currículos. A previsão imediata é um assunto novo que precisa ser implementado, pesquisado e definido seus protocolos operacionais, avisos, a comunicação com a sociedade e a Defesa Civil. A necessidade do estabelecimento





deste serviço surge com o aumento das tempestades severas e seus efeitos na sociedade que o ocupa em ritmo acelerado as áreas de risco. Se por um lado, há a necessidade do serviço ser implementado operacionalmente, por outro lado existem uma série de barreiras científicas, como por exemplo os problemas de spin up (inicialização da convecção no modelo), o baixo skill do modelo nas primeiras 6 horas, na previsão da precipitação intensa, na operacionalização e validação dos modelos cloud resolving models e nos problemas de assimilação de dados. Além disso, hoje o emprego dos dados de satélite e radar são subjetivos e técnicas quantitativas utilizando as variáveis polarimétricas são fundamentais no período entre 0 e 3 horas. Assim, o projeto tem como objetivo organizar os protocolos, ferramentas e avisos da previsão imediata e quiçá a composição regional para o estabelecimento deste serviço. O primeiro passo neste sentido foi a criação de um grupo de nowcasting dentro do CPTEC para iniciar, testar e desenvolver a previsão imediata. Para tanto desenvolvemos a publicação interna (**anexo6**) que apresenta as diferentes técnicas, o protocolo e etapas da previsão imediata. Esse documento será a ferramenta básica, junto ao SIGMA SOS para a implantação da previsão imediata no Estado de São Paulo. Como sequência deste esforço, realizamos reuniões com a Defesa Civil Estadual que irá realizar no começo de 2017 reuniões com os grupos de meteorologia para a criação do Sistema Paulista de Meteorologia que terá a função de realizar Previsão imediata no Estado de São Paulo.

Um ponto importante do projeto de pesquisa é a melhoria da modelagem numérica no intervalo de tempo de 0 a 6 horas e no skill da estimativa de precipitação intensa. Para tanto, **estabelecemos alguns processos de modelagem numérica e Inter comparação radar-satélite-modelo numérico**. Essa componente apresenta um grande desafio e diversos tópicos de pesquisa estão sendo estabelecidos. Contudo, a preparação para a base de estudos passa por um conjunto de ações e procedimentos que foram necessários serem estabelecidos. O conjunto de ações de operação e pesquisa descritos a seguir foram definidos e estão sendo implementado: Criar um blog, uma agenda (google) e um grupo de discussão do google para a equipe de modelagem. As comparações entre modelo e campo de precipitação do radar banda X será na resolução de 1 km<sup>2</sup> a cada 30 minutos. Os modelos a serem empregados inicialmente são – BRAMS 5.2 (rodado na USP), WRF 3.8.1 (USP), WRF 3.8.1 com assimilação de radar (INPE), WRF 3.8.1 com assimilação de radar e Análise modificada). Os modelos terão três grades aninhadas, 1k, 4k, e 16 km. A inicialização dos modelos será com o GFS 25. O conjunto final da grade de 1km foi definido com resolução de 225 pontos. Os modelos terão saídas dos índices de instabilidade (8 índices) que serão disponibilizados para a DOP via ftp (6,12,18,24 horas). Inicialmente no Apps SOS CHUVA será disponibilizado o campo de precipitação do BRAMS 5.2, iniciado 12 horas antes, para as próximas 6,12,18 e 24 horas. No sistema WEB SOS CHUVA serão disponibilizados outros dados adicionais que serão definidos, bem como as simulações com os outros modelos. Para os estudos de casos serão realizadas operações especiais de análise de dados, essas análises serão realizadas com apoio da classificação de hidrometeoros do radar e do simulador de radar das saídas do modelo. Os estudos de casos serão definidos a partir de algum desses procedimentos. a) o grupo discute e decide que este é um caso interessante, b) A DOP deu uma alerta de tempestade severa, c) uma célula de chuva alcançou valor superior a 60 dBZ, d) uma região teve grande concentração de raios. Para cada estudo de caso haverá uma descrição no blog do evento, imagens de satélite, radar, etc. Após a

implementação dos processos será definido os tópicos específicos de pesquisa e possível uso de Kalman Filter e ensembles.

**Outra questão importante neste primeiro ano de projeto foi a organização dos grupos de pesquisa, a preparação de planos de Teses de alunos, a contratação das bolsas TT e do Pos-Doc.** Basicamente o projeto apresenta um grupo de pesquisa em modelagem numérica coordenado pelo Edmilson Freitas e Eder Vendrasco, um grupo de técnicas de previsão imediata e microfísica das nuvens, coordenador pelo Luiz Machado, um grupo de eletricidade atmosférica, coordenado pela Rachel Albrecht e Kleber Naccarato, um grupo de pesquisa em aplicações agrícolas coordenado pelo Felipe Pilau e Ana Avila e um de estimativa de precipitação coordenado pelo Daniel Vila. Em dezembro foi realizado um workshop científico do projeto que será apresentado no capítulo 2 que irá descrever as propostas científicas do projeto. Também vários planos de Tese foram elaborados, os detalhes das Teses, Dissertações e Iniciação Científica são descritos no capítulo 4. Também foram implementadas duas bolsas TT, uma em Piracicaba para tratamento dos dados, outra TT no CPTEC para preparação da base de dados, treinamento em previsão imediata e apoio a modelagem numérica. Finalmente, foi implementado uma bolsa Pos-Doc, após ampla seleção internacional, o selecionado foi o Doutor Jean-François Ribaud, francês, que já se encontra trabalhando em Cachoeira Paulista nos dados do radar.

Outra atividade do projeto foi a **agregação de novos grupos de pesquisadores e novos dados (radares)**. Foram realizadas visitas e discussões com diversos pesquisadores e entidades. Por exemplo, o projeto agregou pesquisadores da UNESP responsáveis pelos radares de Bauru e Presidente Prudente, pesquisadores da UNICAMP na área de engenharia civil, para estudar o efeito dos ventos de tempestades nas estruturas, hidrólogos da FEPAGRI e Limeira, para emprego do radar em modelos hidrológicos. Também realizamos reuniões como comitê de bacias, com a defesa civil de Campinas e Estadual, com a região metropolitana de Campinas. Para a agregar pesquisadores e difundir o uso da previsão imediata o projeto realizou reuniões e seminários. Houveram reuniões preparatórias com cada grupo ou reuniões gerais na qual foi denominado o primeiro workshop do SOS CHUVA (veja no **anexo7** as atas e na página as apresentações do primeiro seminário preparatório). Também foi realizado um seminário para lançamento do Aplicativo SOS CHUVA (veja a programação no **anexo8** e o vídeo no link <https://www.youtube.com/watch?v=j8Z327TwZuE&list=PLzU9lqk8MaUvoJOnsNaYngOqbeLpuLSpu>).

Finalmente, o projeto trabalhou na publicidade do aplicativo para que a população tome conhecimento, utilize, interaja, critique de forma que o aplicativo SOS CHUVA cumpra com seus objetivos de reduzir a vulnerabilidade da população. Certamente temos ainda um longo caminho para torna-lo útil a população e compreensível. O **anexo9** apresenta o “outreach” para alcançar esses objetivos de divulgação, foram inúmeras matérias em jornais e revistas que resultaram, até o momento, no número de 12000 downloads do sistema.



## 1.2) Descrição e avaliação do apoio institucional

O INPE como Instituição sede, bem como a UNICAMP, onde está instalado o radar, a ESALQ/USP, onde estão instalados diversos equipamentos e o IAG/USP, onde está sendo rodado o modelo numérico, apoiaram de forma efetiva a preparação e a realização das atividades do Projeto. Esse apoio se concretizou através do uso da infraestrutura dos Laboratórios, principalmente o LIM (Laboratório de Instrumentação Meteorológica do INPE), do uso dos meios de transportes, mas fundamentalmente pelos recursos humanos que participaram de todas as etapas do projeto. Neste primeiro ano de Projeto agradecemos a todos os pesquisadores que dedicaram horas de trabalho ao Projeto, seja no campo ou em seus escritórios, em especial a Ana Ávila e Renata Gonçalves que viabilizou toda a infraestrutura de instalação do radar e o contato com diversos Pesquisadores e tomadores de decisão. Também agradecemos a Solange Kahl e Edilene C. Silva da UNICAMP que apoiaram as questões administrativas na instalação dos equipamentos e na construção da torre do radar. Agradecemos o apoio administrativo da Sra. Juliana Marton que cuidou da parte administrativa do Projeto, a participação ativa dos engenheiros e técnicos Jorge Mello, Jorge Marton, Paulo Arlino e Flávio Magina pela dedicação na preparação, montagem, coleta de dados. Ao Thiago Biscaro, responsável pelo radar, que acompanhou toda a movimentação, instalação e montagem e operacionalização dos processos. Ao Mário Figueiredo e Denis Silva pela preparação e manutenção da página Web e o desenvolvimento do SIGMA SOS permitindo o acompanhamento em tempo real do experimento e a preparação da base de dados. Ao Luiz Guarino e Bruno Dias Rodrigues pela elaboração do aplicativo SOS CHUVA. A Izabelly Carvalho, Alan Calheiros e Diego Pereira Enore pela implantação da previsão imediata no CPTEC e o apoio do Gilvan Sampaio chefe da Divisão de operação.

## 2) Discussão sobre as atividades 2017-2020.

A estrutura montada no projeto irá permitir gerar material para diversos estudos científicos. Recente artigo na Nature (Schneider et al, 2017) fala da dificuldade com as simulações climáticas em função das incertezas existentes na definição das nuvens e recomenda estudos com cloud resolving models para estudar a turbulência e os processos físicos no interior das nuvens. Estes são os pontos específicos que este projeto pretende estudar e aprimorar o conhecimento. Para organizar a componente científica do projeto realizamos no dia 6 de dezembro, no IAG/USP, o segundo seminário do projeto SOS-CHUVA. Nesta reunião foram apresentados 25 trabalhos orais (Veja o programa no **anexo10** e as apresentações (ppt) no link <http://sigma-soschuva.cptec.inpe.br/workshopusp/>). A reunião discutiu as pesquisas na área de eletrificação atmosférica, incluindo discussões sobre a propriedade microfísica das nuvens com raios ascendentes, o uso de sensores da rede de moinho de campo para prever a ocorrência de descargas elétricas, os processos físicos e dinâmicos associados a eletrificação de tempestades e a modelagem de descargas elétricas utilizando cloud resolving models. Após cada tópico houveram discussões visando integrar os diferentes tópicos e as medidas auxiliares e dados complementares necessários. Após a eletrificação atmosférica a temática foi a previsão imediata de tempestades. Nesse tópico foram discutidos os seguintes assuntos: previsão da ocorrência de granizo e o uso da rede de detecção, o estudo do ciclo de vida das tempestades, a classificação de hidrometeoros para estudos de derivadas lagrangianas do volume de espécies de gelo, regionalização das características de severidade de tempestades utilizando inteligência artificial, pesquisa relacionada ao GPM, o uso do satélite GOES-R para previsão imediata, análise da variabilidade espaço-temporal da precipitação, o uso de GPS para emprego em previsão imediata e um sistema de previsão imediata para o Estado de São Paulo. O terceiro tópico discutido na reunião foram relacionadas as aplicações dos dados coletados nas áreas de agricultura, hidrologia e engenharia civil. Temas de pesquisa em simulação de eventos extremos utilizando radar para bacias com diferentes ocupações e uso, a modelagem hidrológica utilizando dados de radar, balanço hídrico especializado para monitoramento da produção agrícola, variabilidade da chuva e umidade do solo, estatística do vento com foco no design de projeto estruturais. O último tópico discutido foi o de modelagem numérica. Neste assunto discutimos estratégias para redução do spin up de modelos para aplicação em nowcasting, assimilação de dados de radar, estudo de eventos severos utilizando modelagem em alta resolução, proposta de análise e parametrização da microfísica utilizando modelos coluna e o espaço de fases e análise da evolução da distribuição de tamanho de gotas para prever tempestades.

Todos esses estudos abrem uma grande perspectiva de pesquisa científica para os próximos anos. Espera-se terminar a fase de implantação, aumentar o número de estudo de casos (atualmente temos sete) e avançar no conhecimento de forma a melhorar a qualidade da previsão imediata. O **anexo11** apresenta uma compilação de todos os resumos apresentados na reunião.

### 3) Descrição dos trabalhos de Pesquisa em Andamento

O projeto segue, de certa forma, como uma continuação de certos tópicos de pesquisa do projeto CHUVA que foi encerrado em 2015. Assim, muitas das pesquisas realizadas em 2016 foram ainda com dados do projeto CHUVA, principalmente da campanha Vale do Paraíba que foi focado mais na temática de previsão imediata. Também se iniciou estudos com os casos selecionados, embora esses estudos ainda estejam em uma forma ainda bastante preliminar. A seguir descrevemos alguns destes tópicos em maiores detalhes.

#### *a) Um modelo de Previsão imediata utilizando radar de dupla polarização*

Este assunto está relacionado com a previsão imediata de tempo, ou nowcasting, que consiste na previsão de tempo para período de 0 a 6 horas, escala espacial de poucos 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 objetivo desse trabalho é desenvolver uma ferramenta de nowcasting a partir das informações coletadas pelo radar de dupla polarização banda X do Projeto CHUVA. Na primeira etapa o aluno de Mestrado Bruno Medina desenvolveu um protótipo utilizando dados do mesmo radar, mas para a campanha CHUVA VALE. Foram selecionados eventos de granizo e um conjunto de eventos convectivos intensos e não-intensos. Com esses dados, o ForTraCC-Radar foi utilizado para o rastreamento das células convectivas para avaliação das derivadas lagrangianas no tempo, incluindo variáveis polarimétricas e parâmetros integrados verticalmente. Essas ferramentas foram obtidas a partir dos eventos de granizo, cujas assinaturas de severidade ocorreram antes do horário do fenômeno. Posteriormente, esses parâmetros foram aplicados ao conjunto de eventos intensos e não-intensos e avaliados sua capacidade de previsibilidade. Através de filtro estatístico e correlação entre parâmetros, obteve-se um número reduzido de parâmetros que, conjuntamente, consistiram em um modelo probabilístico de previsão imediata de tempo. As características físicas dos parâmetros que constituem o modelo são: formação e colapso de diferentes hidrometeoros em coexistência acima da isoterma de  $-40^{\circ}\text{C}$ , presença de alvos verticalmente orientados acima da isoterma de  $-20^{\circ}\text{C}$ , ocorrência de alvos verticais e alta refletividade  $Z_h$  na camada de fase mista e elevada intensidade da refletividade  $Z_h$  em relação à totalidade da célula convectiva. A Figura a1 apresenta um exemplo da evolução desses parâmetros antecedendo o evento ( $t=0$ ). Um artigo com base nesses resultados foi submetido ao Journal of Natural Hazard e encontra-se em processo de revisão (veja **anexo12**).

A base é o uso de diferentes parâmetros polarimétricos do radar calculados, em sua maior parte, como derivadas lagrangianas. O detalhamento do método é encontra-se descrito no anexo12. A hipótese provada nesse artigo, é que são necessários vários parâmetros preditores, onde o tempo de ocorrência de seu valor máximo varia de caso a caso. Logo, uma análise estatística, na qual a probabilidade aumenta à medida que se aproxima do tempo na qual a nuvem se transforma em um evento severo. O uso

combinado desses parâmetros e a definição de um padrão de crescimento da probabilidade permitem definir as nuvens que estão evoluindo para a severidade. A Figura a2, mostra um exemplo de como seria a apresentação destes resultados em uma sala de situação. São apresentadas todas as nuvens

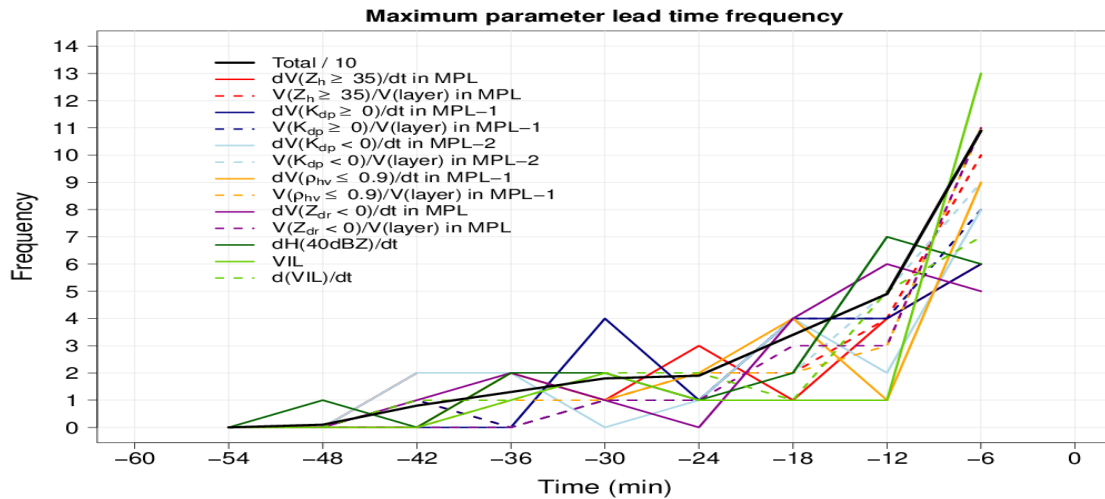


Figura a1 – Variação dos diferentes preditores em função do tempo que antecede o evento de tempo severo, neste caso a refletividade de 60 dBZ..

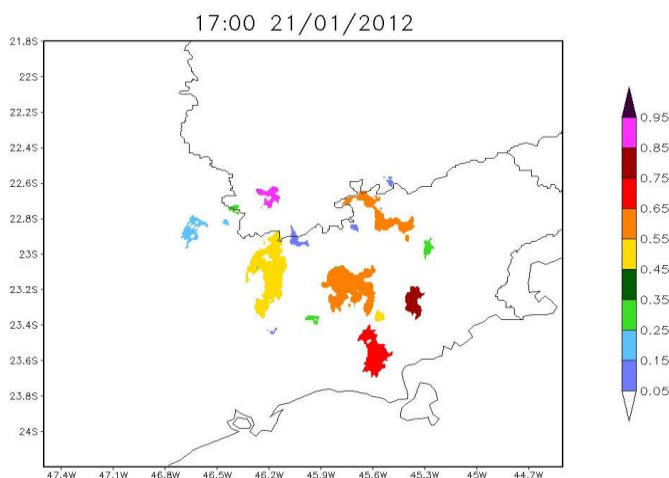


Figura a2. Probabilidade da nuvem se transformar em evento severo.

### b) Estudo da eletrificação de nuvens

Com base em dois artigos, um publicado como capa da JGR em dezembro 2016 – DOI: 10.1002/2016JD025142 e outro em fase de revisão (**anexo13**) desenvolvemos uma ferramenta para prever a curtíssimo prazo as nuvens observadas pelo radar polarimétrico que irão se desenvolver para gerar tempestades elétricas e severas. A

descrição detalhada do algoritmo desenvolvido encontra-se no **anexo14**. Esse produto será implementado no SigmaSOSCHUVA e no aplicativo SOS CHUVA e futuramente evoluirá para um artigo científico na revista AMT (Atmospheric Measurement Technique).

Outra atividade sendo desenvolvida no projeto é a Tese de Doutorado do Aluno Morais sobre a modelagem das descargas elétricas utilizando o modelo não hidrostático Meso-NH. Uma descrição dos resultados já obtidos estão descritos no **anexo 15**. Outros desenvolvimentos estão sendo pesquisados, a seguir discutimos uma outra aplicação de nowcasting que está sendo analisada para o evento ocorrido em Campinas no dia 5 de Junho de 2016.

Eventos de tempo severo (rajadas de vento, microexplosões, granizo, tornados) têm sido associados ao rápido aumento da atividade elétrica no interior das tempestades, conhecido como "*lightning jump*", em inglês (Goodman et al., 1988; Williams et al., 1989; Goodman et al., 2005; Gatlin 2006; Schultz et al., 2009; Gatlin and Goodman, 2010; Schultz et al., 2011). O *lightning jump* foi detectado por esses autores através de estudos de casos de tempestades que apresentaram um súbito aumento do número de raios totais (intra-nuvem e nuvem-solo) antecedendo ocorrências de granizo, tornados, rajadas de vento e micro-explosões. Essa relação entre a atividade elétrica e tempo severo pode ser explicada através da relação entre a dinâmica e microfísica no processo de eletrificação das nuvens. Os processos de formação de raios nas nuvens são fortemente controlados pela atividade das correntes ascendentes e formação da precipitação. A transferência de cargas elétricas ocorre durante as colisões entre cristais de gelo e granizo (e/ou graupel) na presença de água líquida superesfriada (chamado de processo não-indutivo de carregamento), e a combinação entre as correntes ascendentes e força gravitacional promovem a distribuição dos hidrometeoros por tamanho (e cargas) no interior da nuvem (Deierling et al., 2008), formando centros de cargas e criando campo elétrico. O campo elétrico é intensificado pela contínua separação de cargas até haver a quebra dielétrica e a ocorrência de um raio.

Entre 04 e 07 de junho de 2016, o estado de São Paulo teve uma série de eventos severos que ocasionaram rajadas de vento, granizo, microexplosão e até tornados. Os casos mais severos foram (i) uma microexplosão em Campinas no dia 05 de junho de 2016 às 0330 UTC e dois tornados que atingiram as cidades de (ii) Jarinú no dia 06 de junho de 2016 às 0045 UTC e (iii) São Roque no dia 07 de junho de 2016 aproximadamente às 2000 UTC (veja **anexo16** para o relato dos prejuízos causados e a área de atuação). Todos os três eventos apresentaram um brusco salto na frequência de raios geradas pelas tempestades, ou seja, um típico *lightning-jump*, como mostra a Figura b1. No evento de Campinas, a taxa de raios saltou de 7 raios/min às 0300 UTC para 59 raios/min às 0320 UTC, ou seja, um aumento de 843% em apenas 20 minutos, com a ocorrência do evento severo cerca de 10 minutos após a o *lightning-jump*. Já no evento de Jarinú, a taxa de raios saltou de 5 raios/min às 2340 UTC para 39 raios/min às 0030 UTC (aumento de 780%), com a ocorrência do tempo severo (neste caso tornado) apenas alguns poucos minutos (1 a 5 min) após o *lightning-jump*. A diferença da intensidade do *lightning-jump* nestes dois casos sugere diferenças na intensidade da corrente ascendente e na microfísica da precipitação. Uma hipótese é que o caso de Campinas tem uma enorme quantidade de gelo, porém provavelmente de tamanho



menor e menor densidade, como graupel, levando à um número maior de colisões e transferência de carga. Ao precipitar no interior da nuvem pela desintensificação da corrente ascendente ou ao sofrer entranhamento de ar mais seco, partículas de gelo menores e menos densas evaporam facilmente resfriando o ar rapidamente e formando uma enorme piscina de ar frio que desce em forma de microexplosão. Em uma análise preliminar com dados de radar, foi observado grande quantidade de gelo e intensa corrente ascendente se assemelhando a um “*bow-echo*” (eco em forma de gancho), porém com muita precipitação dentro e acima da corrente ascendente (Figura b2). O caso de Jarinú, entretanto, mostra um clássico “*bow-echo*” tanto na sua estrutura horizontal quanto vertical, confirmando a ocorrência de um tornado (Figura b3). Esses dois eventos serão estudados mais detalhadamente e serão objeto de pesquisa de mestrado de uma aluna de mestrado recém ingressado no programa de pós-graduação em meteorologia da USP.

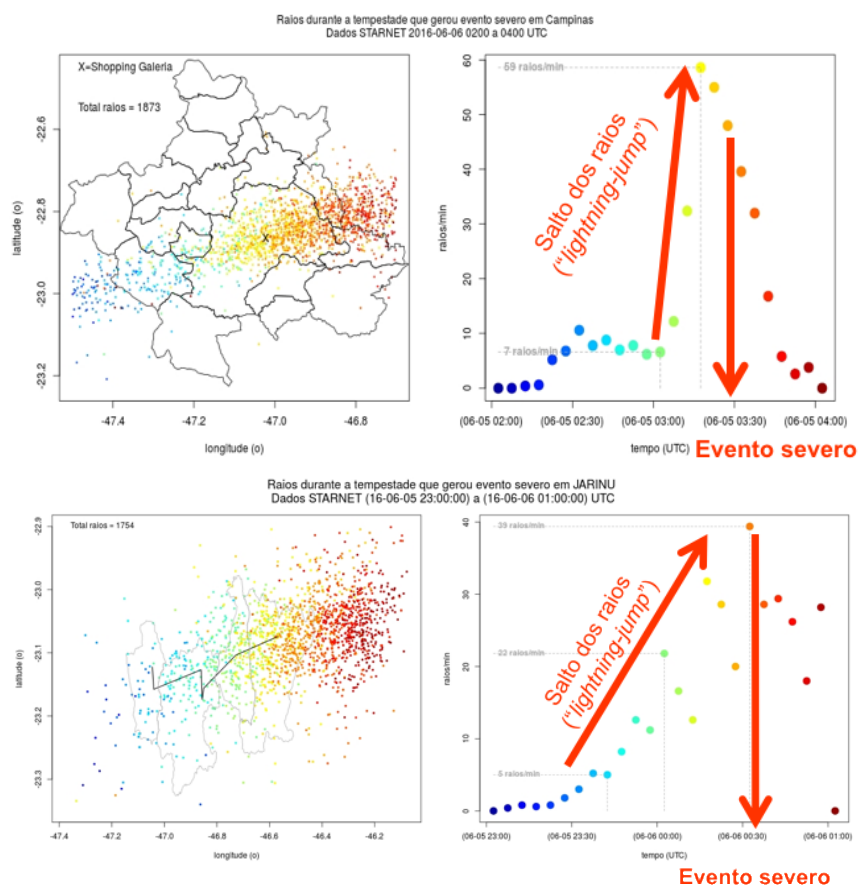


Figura b1 – (esquerda) Distribuição espacial dos raios detectados pela rede STARNET e (direita) taxa de raios (raios/min) integrada em intervalos de 5 minutos sobre a célula convectiva durante os eventos severos (topo) na cidade de Campinas no dia 05 de junho de 2016 às 0330 UTC, e (inferior) na cidade de Jarinú no dia 06 de junho de 2016 às 0030 UTC. As cores indicam o tempo de acordo com a escala temporal da taxa de raios (figuras à direita).



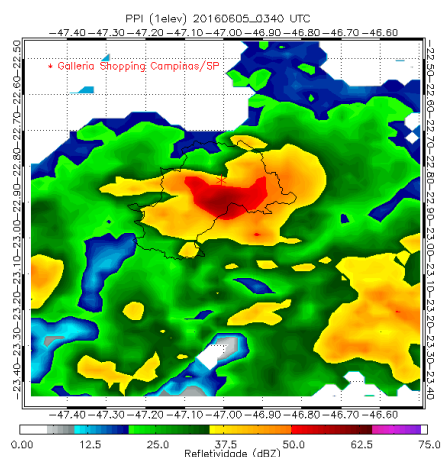


Figura b2 – Refletividade do radar (dBZ) de São Roque as 0340 UTC do dia 05 de junho de 2016, mostrando o “bow-echo” (echo em forma de gancho) da célula convectiva que gerou o evento severo em Campinas.

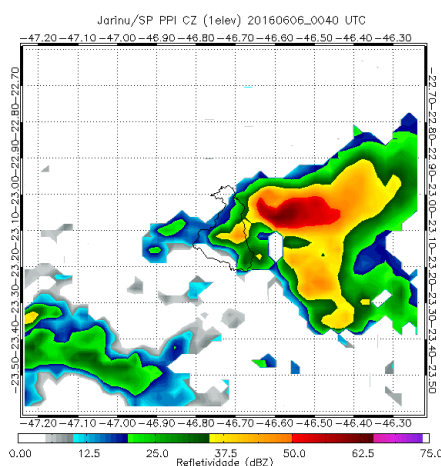


Figura b3 - Refletividade do radar (dBZ) de São Roque às 0040 UTC do dia 06 de junho de 2016, mostrando o “bow-echo” (echo em forma de gancho) da célula convectiva que gerou o evento severo em Jarinú.

### c) *Uso do GPS para previsão de tempestades*

As medidas da água precipitável integrada na coluna atmosférica (*Integrated Precipitable Water*) - IPW usando receptores GNSS (*Global Navigation Satellite System*) tem como principal característica a razoável qualidade e altíssima resolução temporal. O estudo realizado (*anexo17*) e submetido a revista AMT (atualmente em fase de discussão - doi:10.5194/amt-2016-378) descreve o potencial destas medidas para aplicações de *nowcasting*.

A magnitude do atraso no sinal do GNSS é associada a densidade atmosférica, o que permite estimar o IPW (Bevis et al. 1992, 1994). O erro associado a medida é de aproximadamente 5% (Wolfe and Gutman 2000 e Sapucci et al. 2007, 2014). O GNSS-IPW mostrou ser útil no acompanhamento da advecção e convergência de vapor d'água na camada limite, na propagação de tempestades, na análise do ciclo diurno (Adams et al. 2011, 2103, 2015, Sato and Kimura 2005; Kursinski et al. 2008; Serra et al. 2016) e na

previsão imediata (Jerrett and Nash, 2001). Além disso, a assimilação do IPW em modelos numéricos apresenta um impacto positivo na previsão a curto prazo. (Cucurull et al. 2004; Bennitt and Jupp 2012). As séries temporais do IPW-GNSS apresentam padrões que sinalizam antecipadamente a ocorrência de eventos severos de precipitação. Este estudo denomina “IPW jump” como um forte aumento do IPW antes de ventos severos. Fisicamente, esse aumento representa a intensificação da convergência de umidade que antecede eventos de chuvas e fortes derivadas temporais correspondem a fortes eventos de chuva. A Figura c1 apresenta um exemplo do IPW jump em um caso de evento de chuva intensa.

Como sequência deste estudo prevê-se o desenvolvimento de uma ferramenta de previsão baseado nessas ideias e o aprimoramento dos modelos numéricos analisando o impacto da assimilação de dados do IPW-GNSS na melhoria das previsões de precipitação em modelos de alta resolução espacial usando redes densas de receptores. Com a assimilação de dados do IPW-GNSS procura-se identificar os impactos positivos na melhoria da qualidade da análise dos campos de umidade nas previsões da precipitação geradas pelo modelo em regiões tropicais.

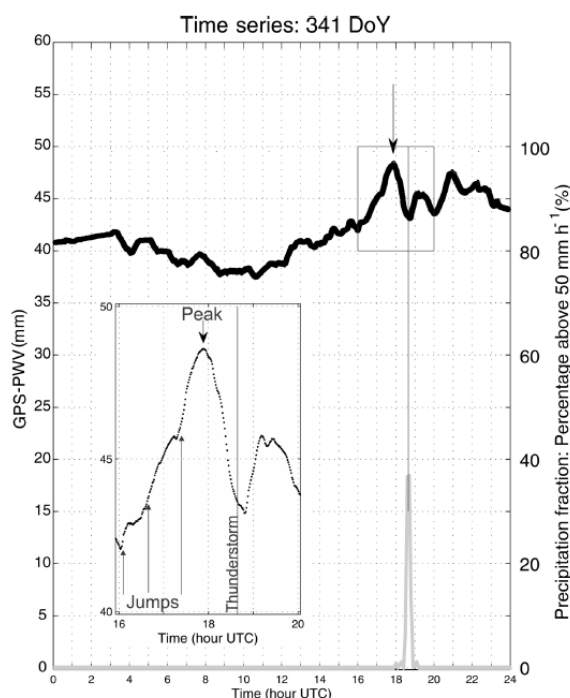


Figura c1. Série Temporal do IPW e evento de chuva intensa.

#### d) Previsão da Trajetória de sistemas convectivos

Brooks (1946) e Byers e Braham (1949), apresentaram os primeiros estudos sobre o movimento de nuvens, onde associaram o movimento de tempestades ao “steering level”, nível de altura na qual o movimento das nuvens é similar ao campo de vento.

Características como o vento no steering level, CAPE (Convective Available Potential Energy) e o cisalhamento vertical do vento na camada de nuvens foram utilizadas por Moncrieff (1978) e Moncrieff e Miller (1976) para determinar o movimento de linhas de instabilidade (LI) em latitudes médias e regiões tropicais. Rotunno et al. (1988) apresentaram o conceito conhecido como teoria RKW (Rotunno-Klemp-Weisman), que aborda a importância do cisalhamento vertical do vento e de sua interação com o cold-pool no desenvolvimento de correntes ascendentes mais profundas, tornando mais efetivo o desenvolvimento de processos convectivos, contribuindo assim para a formação e a manutenção de LI. Uma revisão da teoria RKW apresentada por Weisman e Rotunno (2004) e também discutida por outros autores (Bryan et. al., 2006; Coniglio et. al., 2012), reforça a importância do cisalhamento vertical do vento e cold-pool no desenvolvimento e na manutenção dos sistemas. Segundo Kirkpatrick et. al. (2007), ambientes com elevados valores de CAPE contribuem para a variabilidade do movimento de tempestades devido a maior susceptibilidade de ocorrer divisões das tempestades, resultante da interação entre updrafts e cisalhamento vertical do vento.

Este estudo discute a propagação das células de chuva observadas em diferentes regiões do Brasil com características ambientais distintas, uma tropical costeira, outra em floresta tropical continental e uma terceira na região subtropical. Este trabalho está sendo submetido ao Weather and Forecasting (veja **anexo18**) e será testado, ajustado e qualificado no SOS CHUVA. A propagação das rain cells (células de chuva observadas pelo) foi realizada utilizando dados de radar e a técnica ForTraCC (Vila et al. 2008). Triângulos de radiossondagem em mesoescala forneceram as características ambientais como vento, gradiente de CAPE e cisalhamento vertical do vento, que permitiram avaliar o impacto dessas variáveis sobre o movimento das células de chuva (veja Figura d1). Os resultados indicaram que o vento no nível de 700 hPa pode ser utilizado como uma primeira aproximação do movimento do campo de precipitação. De forma geral, células de chuva apresentaram velocidade de deslocamento inferiores a velocidade do vento do nível de 700 hPa. Um ajuste com o cisalhamento do vento da camada 0 – 6 km melhora consideravelmente a estimativa do deslocamento das células pelo vento. O gradiente de CAPE se mostrou associado a direção do movimento aparente (diferença entre a propagação e steering level) das células de chuva, geralmente devido a formação de novas células de chuva. Um modelo de propagação considerando o steering level ajustado pelo bulk shear e o gradiente de CAPE apresentou os melhores resultados na previsão de 20 minutos. Uma comparação com outros modelos mostrou que o melhor desempenho na estimativa do movimento de células de chuva foi obtido com o modelo proposto (veja figura d2).

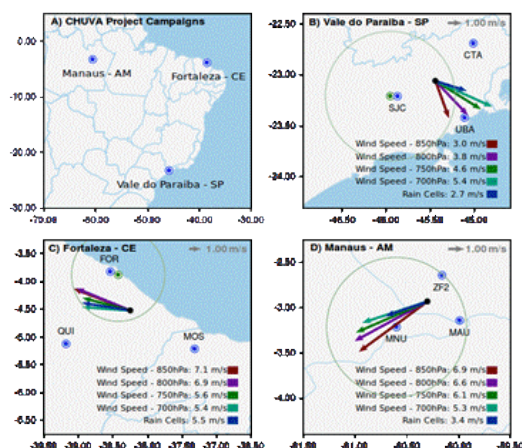


Figura d1. Regiões que foram realizadas as campanhas do Projeto CHUVA (A); Localização dos locais em que foram realizadas as radiossondagens no Vale do Paraíba (B), Fortaleza (C) e Manaus (D)

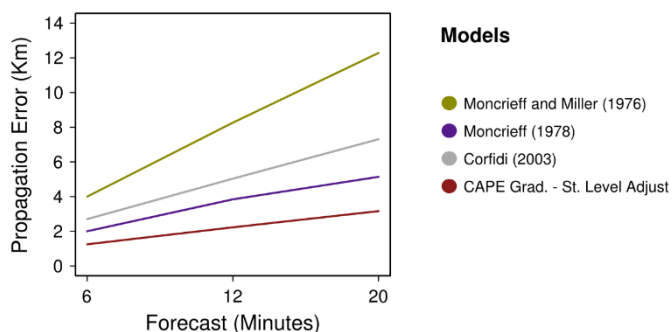


Figura d2. Skill dos modelos de propagação das células de chuva para os modelos: gradiente de cape-steering level ajustado, Moncrieff and Miller (1976), Moncrieff (1978) and Corfidi (2003) para previsões de 6, 12 e 20 minutos.

## e) Modelagem em alta resolução e microfísica de nuvens

### e.1) Assimilação de dados de Radar

As etapas de assimilação de dados de radar estão se iniciando. A seguir apresentamos uma breve descrição do teste realizado com o primeiro estudo de caso selecionado no projeto.

Os modelos numéricos de previsão de tempo iniciam suas integrações no tempo a partir de uma dada condição inicial da atmosfera. Esta condição inicial busca fornecer o estado da atmosfera no instante do início da integração e quanto mais próximos os valores estiverem do verdadeiro estado da atmosfera, maior a probabilidade de resultar em uma previsão certa. A assimilação de dados (AD) busca, através de técnicas matemáticas, leis físicas e observações, construir a melhor condição inicial possível. As observações meteorológicas são geralmente irregularmente distribuídas no espaço e no tempo e, com o uso da AD, é possível reunir esta informação combinando com dados de modelo, dando a cada um determinado peso de acordo com suas características e confiabilidade (menor erro).

Dentre as observações meteorológicas estão as medidas coletadas com radar Doppler. Este instrumento tem a capacidade de medir grandes volumes da atmosfera com alta resolução, fornecendo observações de velocidade radial e refletividade que contribuem para melhorar a condição inicial do modelo de previsão de tempo através da assimilação de dados. Contudo, uma dificuldade em utilizar dados de radares meteorológicos para melhorar a condição inicial é a ausência de observações diretamente relacionadas com as variáveis do modelo. Desta forma, é necessário fazer uma relação entre as observações do radar e as variáveis do modelo, o que é conhecido como o Operador Observação.

A relação refletividade-razão de mistura de água de chuva ( $Z-q_r$ ) é atualmente reconhecida como uma boa relação para melhorar a umidade do modelo no instante inicial através da observação de refletividade (Wang et al., 2013). Durante o experimento CHUVA-VALE, foi derivada uma relação  $Z-q_r$  utilizando dados de radar e disdrômetros, figura e1. O mesmo procedimento deve ser aplicado ao SOS-CHUVA, uma vez que esta relação é empírica e pode variar de acordo com o local e sistema estudado. Contudo, a relação desenvolvida no experimento CHUVA-VALE é um bom ponto de partida para os testes iniciais da assimilação de dados de radar.

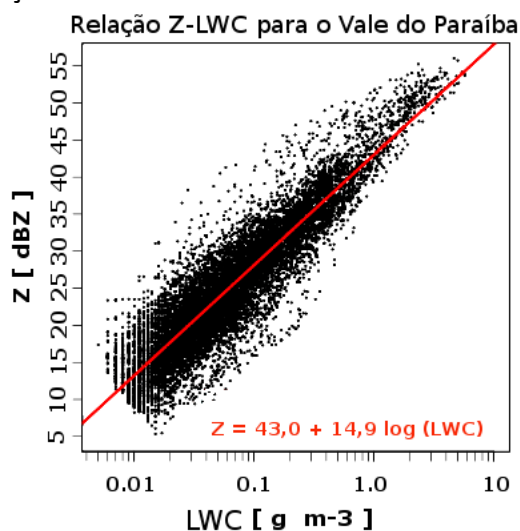


Figura e1: Relação entre a refletividade e o conteúdo de água líquida (LWC) obtido com disdrômetro.

No período o que se refere esse relatório foi desenvolvido um sistema operacional de assimilação de dados de radar que roda 4 vezes ao dia e fornece previsão meteorológica de 48 horas. Este sistema tem 2 objetivos principais: 1) fornecer previsão operacional para auxiliar no desenvolvimento do projeto; e 2) servir de laboratório para implementar os resultados de pesquisas que estiverem sendo desenvolvidas, assim como auxiliar na escolha de eventos a serem estudados em mais detalhes tanto na assimilação de dados de radar como em temas relacionados dentro do escopo do projeto. Neste sistema serão testadas diferentes formas de assimilação de dados de radar e descargas elétricas. A classificação de hidrometeoros relacionando com a razão de mistura de espécies de gelo, descargas elétricas relacionando com razão de mistura de graupel serão algumas das diferentes assimilações que serão testadas. Esse esforço será realizado utilizando a ferramenta Cloud Resolving Model Radar Simulator (CR-SIM) (Tatarevic and Kollias,



2015). Como exemplo de aplicação apresentamos a seguir a simulação para o primeiro estudo de caso do dia 3 de dezembro de 2016.

Na figura e2a é mostrado um exemplo da inicialização do campo de razão de mistura de água de chuva com auxílio da assimilação de dados de radar. Observe que a assimilação de refletividade foi capaz de representar bem as regiões com água de chuva observadas no radar, figura e2b. Este exemplo mostra a capacidade de melhoria nos campos iniciais de umidade do modelo que pode ser alcançada com a assimilação de dados de radar, motivando a pesquisa que vem sendo desenvolvida neste tema no escopo do projeto SOS-CHUVA. Vale ressaltar também que o exemplo mostrado é fruto do desenvolvimento realizado nesta primeira parte do projeto, onde foi montada uma estrutura que permita avançar na pesquisa relacionada a assimilação de dados de radar no próximo período. A Figura e2c apresenta o número de descargas elétricas ocorridas neste evento e a Figura e2d a imagem de satélite, ilustrando o evento em maior escala.

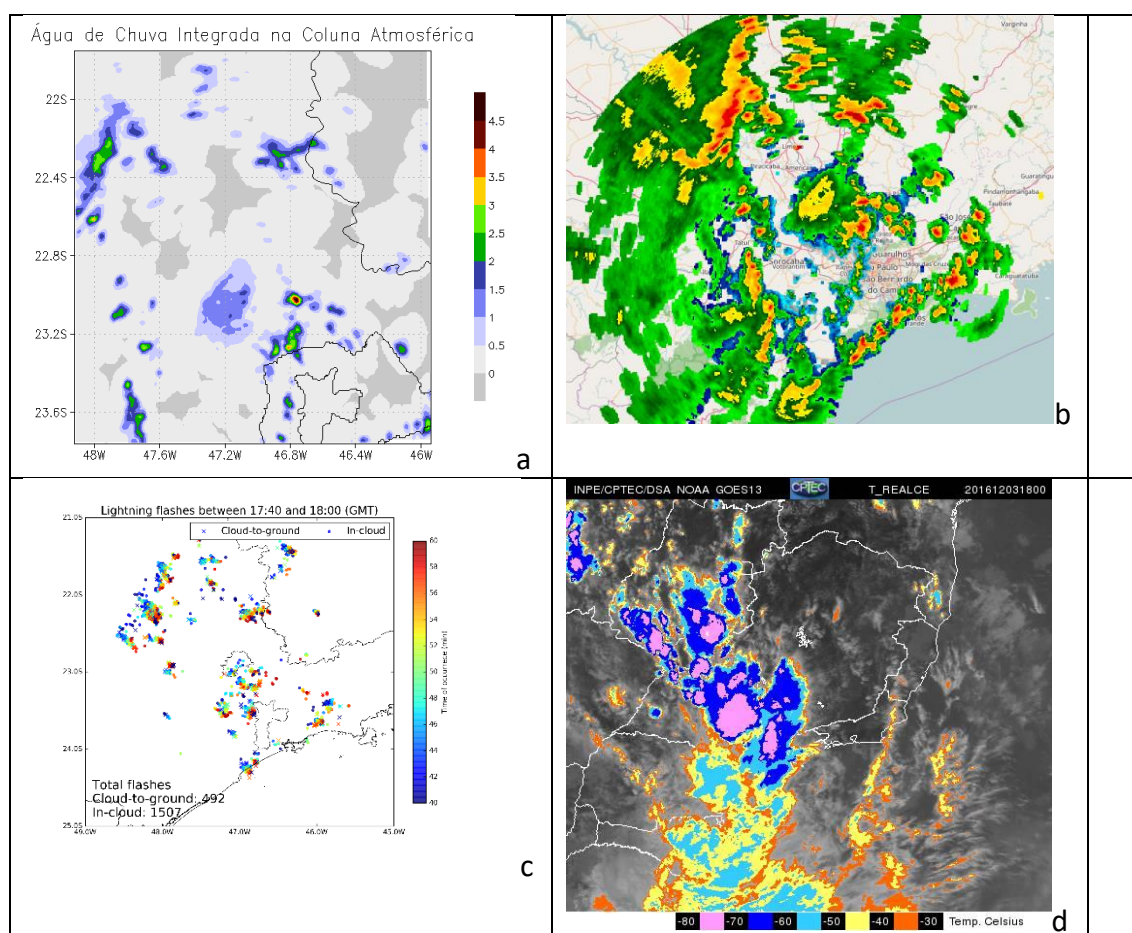


Figura e2: (a) Água líquida integrada na coluna atmosférica em  $[kg\ m^{-2}]$  obtida pelo modelo atmosférico WRF utilizando uma análise com assimilação de dados de radar; (b) CAPPI de refletividade de 3km de altura do radar de São Roque. Data: dia 03 de dezembro de 2016 às 18 UTC, c) descargas elétricas entre 17:40 e 18:00 e d) imagem realçada do GOES-13 as 18:00.



## e2) Estudos da microfísica

Esta componente está sendo realizada como pesquisa de Doutorado (Projeto submetido a FAPESP) e tem como objetivo combinar informações de radar, satélite e modelagem numérica para aprimorar a previsão de tempestades severas através de modificações na parametrização de microfísica de nuvens uma vez que os processos microfísicos intervêm fortemente na evolução dos principais campos meteorológicos. Em particular, o objetivo desta pesquisa é avaliar a habilidade de diferentes esquemas de microfísica em reproduzir as características das nuvens e adicionar novas potencialidades aos esquemas de microfísica para melhorar a previsão numérica do estado da atmosfera no período de 0 a 6 horas – o nowcasting.

Para esse fim será utilizado o espaço de fase (espaço Gamma) e verificar como a DSD (Droplet Size Distribution) evolui e sua sensibilidade a diferentes parametrizações e o nível de concordância entre as diferentes simulações e as observações realizadas pelo radar, pela classificação de hidrometeoros, disdrometros e as parametrizações da DSD através das propriedades polarimétricas do radar. Por exemplo, a Figura e3 apresentada a simulação de uma nuvem quente feita com uma parametrização do tipo bin (Feingold Tzivion and Levin, 1988) utilizando o modelo coluna KiD. O modelo empregado nesse exemplo é o Kinematic Driver (KiD), uma ferramenta desenhada para a Inter comparação entre esquemas de microfísica usando uma componente de advecção comum (Shipway and Hill, 2012). Vários testes foram efetuados variando a concentração de aerossóis e mantendo os perfis iniciais de temperatura e umidade. A evolução da microfísica de nuvens é representada no espaço formado pelos parâmetros da função Gamma correspondente, obtida pelo método dos momentos. Nessa Figura é possível perceber que a assinatura da evolução da DSD, sofrendo uma translação gradual em função do aumento da quantidade de aerossóis,

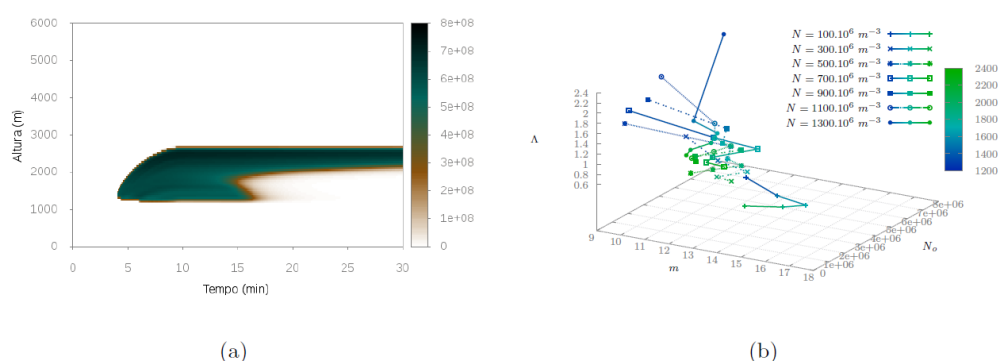


Figura e3: Simulação de uma nuvem quente no modelo KiD: a) Evolução do perfil da concentração de gotas ( $m^{-3}$ ) considerando a concentração de aerossóis como  $500.10^6 m^{-3}$ , e b) Parâmetros do espaço Gamma obtidos para as médias temporais das distribuições de tamanhos em cada camada ao variar a concentração de aerossóis. A escala de cores representa a altura da camada.

As comparações das simulações do WRF e BRAMS com os dados de radar permitirão avaliar aspectos como a representação da camada de mistura, das fases sólida e líquida, diferentes parametrizações para entender as deficiências nas parametrizações e sugerir ajustes ou novas equações.

### ***e3) Modelagem BRAM 5.2***

#### ***O sistema operacional de previsão em curtíssimo prazo***

Está componente do projeto, coordenada pelo Dr. Freitas, é realizada com os recursos computacionais adquiridos pelo projeto e processados no IAG-USP. Essa máquina está também sendo utilizada para a simulação dos estudos de casos com o caso apresentado no **anexo19**. A seguir uma descrição dos principais focos de pesquisa nesta área de atuação do projeto.

Um dos objetivos do Projeto de Pesquisa é fornecer previsões em curtíssimo prazo sobre a região de abrangência do Radar Meteorológico. A proposta é criar ciclos operacionais com os modelos BRAMS e WRF. Durante o primeiro ano de execução do projeto foi dada prioridade para a instalação e operacionalização da versão 5.2 do modelo BRAMS, sendo esta a versão mais recente do modelo. Os desenvolvimentos do código foram colocados em uma publicação na revista “Geoscientific Model Development”, divulgada no final de 2016 e que foi finalmente publicada em 2017 (Freitas S. R. et al, 2017). Embora tenham ocorrido muitos desenvolvimentos importantes nesta versão, existe uma limitação em relação ao aninhamento de grades, não sendo possível a interação de dois sentidos (two-way interaction), ou seja, apenas a informação das grades de menor resolução é passada para as grades de maior resolução, sem que haja feedback para as grades maiores sobre os processos de menor escala resolvidos pelo modelo. Apesar disso, o sistema tem-se mostrado satisfatório na identificação de sistemas convectivos intensos, como será apresentado em seções posteriores neste relatório. O ciclo operacional criado é executado no cluster adquirido com recursos do projeto de pesquisa e é realizado com a utilização de três grades aninhadas. A primeira grade, cobrindo parte das regiões sul e sudeste possui espaçamento horizontal de 16 km. A segunda grade cobre parte do estado de São Paulo, centrada em Campinas, e possui espaçamento de 4 km. Finalmente, a terceira grade do modelo cobre a região de abrangência do Radar instalado na UNICAMP-Campinas e é centrada nesta localidade, com espaçamento de grade horizontal de 1 km.

A figura e4 apresenta o domínio de abrangência de cada uma dessas grades.

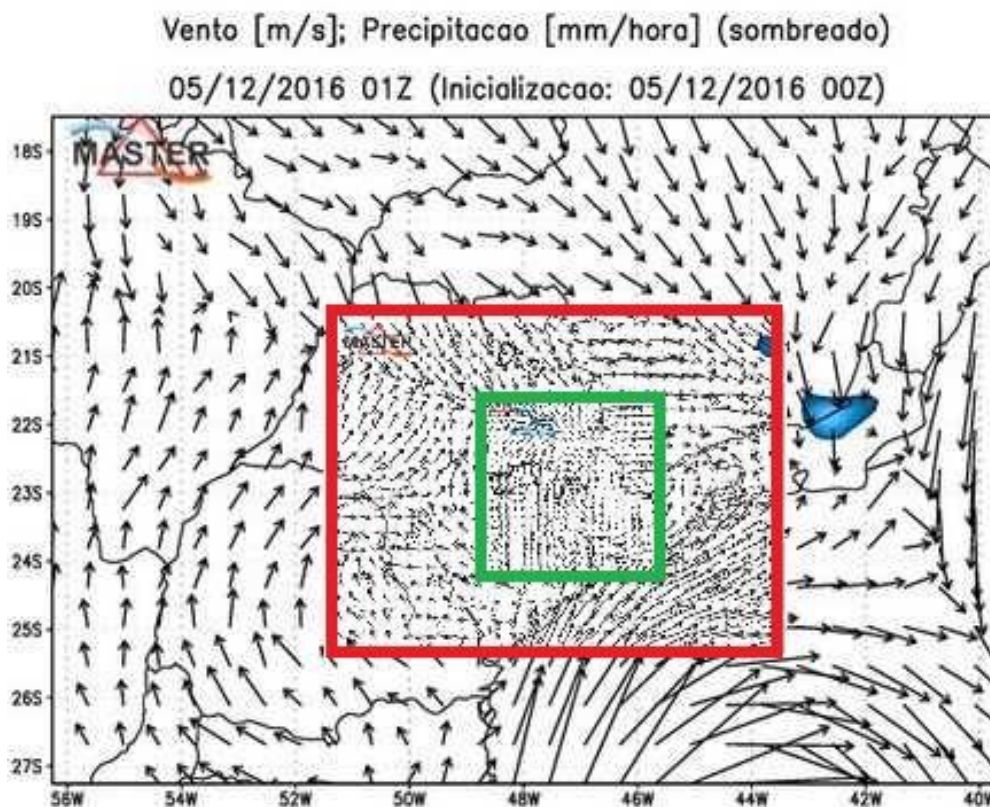


Figura e4: Domínio das 3 grades utilizadas no ciclo operacional executado no laboratório Master. A área definida pelo retângulo vermelho é relativa à grade com 4 km de espaçamento horizontal e a área definida pelo retângulo verde à grade de 1 km.

Os resultados do ciclo operacional são diariamente disponibilizados em página da internet. Num primeiro momento os resultados estão sendo divulgados na página do Laboratório MASTER do IAG-USP (<http://www.master.iag.usp.br/num/modelos/regional/>), através de um menu onde o usuário pode escolher os resultados relativos a cada uma das grades mencionadas anteriormente. Por enquanto, os resultados são relativos apenas aos campos de vento próximo à superfície (m/s) e taxa de precipitação (mm/h). Nas próximas etapas de desenvolvimento do projeto serão também disponibilizados os campos relativos a índices de tempo severo, descritos a seguir, frequentemente utilizados na previsão de eventos severos em latitudes médias. O objetivo é fornecer indicativos de ocorrência de tempo severo, mesmo quando os campos de precipitação gerados pelo ciclo de previsão não forneçam indicativos adequados. Como parte dos objetivos do projeto de Doutorado de uma das estudantes envolvidas no Projeto Temático (Andréia Bender), tentaremos obter um índice conjunto com o intuito de facilitar a identificação de regiões em que há grande probabilidade de ocorrência de eventos severos, tanto por previsores

de tempo quanto para o público em geral, incluindo os órgãos de defesa civil. Os índices utilizados são: CAPE, IL, DNRV, HRT3, IEH e SUP, descritos a seguir.

### 1) CAPE.

CAPE é a Energia Potencial Convectiva Disponível (*Convective Available Potential Energy*), sendo calculada como:

$$CAPE = g \int_{z_{NCE}}^{z_{NPE}} \left( \frac{T_{vp} - T_{va}}{T_{va}} \right) dz \text{ (J kg}^{-1}\text{)}, \quad (1)$$

em que  $T_{vp}$  é a temperatura virtual da parcela,  $T_{va}$  é a temperatura virtual do ambiente,  $z_{NCE}$  é o nível de convecção espontânea,  $z_{NPE}$  é a altura do nível de perda de empuxo (ou nível de equilíbrio) e  $g$  é a aceleração devida à gravidade.

O CAPE representa a quantidade de energia associada ao empuxo, disponível para acelerar uma parcela na vertical, ou a quantidade de trabalho que uma parcela realiza sobre o ambiente. Tempestades severas estão associadas a altos valores de CAPE. Quanto maior o seu valor, mais energia fica disponível para promover o crescimento de uma nuvem de tempestade e mais severa ela pode ser. Este índice é especialmente importante quando há condições suficientes para que parcelas de ar em superfície sejam capazes de alcançar o nível de convecção espontânea (NCE), seja por forçamento mecânico (topografia, por exemplo) ou por forçamento térmico (aquecimento anômalo gerado em cidades, por exemplo).

### 2) IL

O IL é o Índice de instabilidade por Levantamento (*Lifted Index*), obtido por:

$$IL = T_a - T_p \text{ (}^\circ\text{C)}, \quad (2)$$

sendo  $T_a$  a temperatura do ambiente no nível de 500 hPa e  $T_p$  a temperatura da parcela no mesmo nível.

Este é um índice usado para medir o empuxo de uma parcela de ar em níveis médios através da diferença entre a temperatura da parcela (obtida a partir da superfície) e do ambiente no nível de 500 hPa. Quanto menor o índice (mais negativo), mais empuxo haverá em níveis médios, podendo indicar fortes correntes ascendentes em níveis médios e, conseqüentemente, maior potencial para formação de tempestades.

### 3) DNRV

O DNRV é o Denominador do Número de Richardson Volumétrico obtido por:



$$DNRV = 0,5 \times (\bar{u}^2 + \bar{v}^2) \text{ (m}^2 \text{ s}^{-2}\text{)}, \quad (3)$$

sendo  $\bar{u}$  e  $\bar{v}$  as componentes zonal e meridional, respectivamente, do vetor diferença do vento nos primeiros 6000 m e primeiros 500 m acima do solo.

Basicamente, representa uma medida do cisalhamento vertical até os primeiros 6 km da atmosfera, podendo ter utilidade na diferenciação entre diferentes modos de convecção severa. Também pode ser visto como uma medida de energia cinética de influxo disponível para a tempestade, pelo cisalhamento vertical do vento (WEISMAN & KLEMP, 1982).

#### 4) HRT3

O HRT3 é a Helicidade Relativa à Tempestade nos primeiros 3 km a partir do solo, e é obtido através de:

$$HRT3 = - \int_0^{3km} \hat{k} \cdot (\vec{V} - \vec{c}) \times \frac{\partial \vec{V}}{\partial z} dz \text{ (m}^2 \text{ s}^{-2}\text{)}, \quad (4)$$

sendo  $\vec{V}$  o vetor vento,  $\vec{c}$  é o vetor deslocamento do sistema e  $\hat{k}$  é o vetor unitário na vertical.

Este parâmetro indica a tendência da parcela de ar ascender em forma de espiral após um processo de inclinação de vórtices. É também proporcional ao cisalhamento vertical do vento e a quantidade de vorticidade associada ao fluxo.

#### 5) IEH

O IEH é o Índice de Energia-Helicidade, adimensional, e é obtido a partir da equação:

$$IEH = \frac{CAPE \times HRT3}{1,6 \cdot 10^5}, \quad (5)$$

sendo que a constante do denominador possui unidade implícita de  $\text{m}^4 \text{ s}^{-4}$ .

É um índice composto por CAPE e HRT3. Associa quantidades cinemáticas, relacionadas com cisalhamento vertical do vento ou HRT3, com quantidades termodinâmicas, relacionadas ao empuxo (CAPE), fatores de extrema importância para os processo de formação e manutenção de sistemas convectivos vigorosos.

#### 6) SUP

O SUP é o Parâmetro de Supercélula (do inglês *supercell composite parameter*; THOMPSON et al., 2003). É calculado através de:

$$SUP = \left( \frac{CAPE_{MI}}{\lim_{cape}} \right) \cdot \left( \frac{HRT3}{\lim_{hrt3}} \right) \cdot \left( \frac{DNRV}{\lim_{dnrv}} \right), \quad (6)$$

É um índice adimensional, combinando os valores de CAPE, HRT3 e DNRV, normalizados por limiares subjetivos que costumam destacar ambientes propícios ao desenvolvimento de tempestades severas (supercélulas). Num primeiro momento, estes limiares serão os mesmos utilizados para o Hemisfério Norte, sendo  $\text{lim\_cape} = 1000 \text{ J kg}^{-1}$ ,  $\text{lim\_hrt3} = 150 \text{ m s}^{-2}$  e  $\text{lim\_dnrv} = 40 \text{ m s}^{-2}$ . Posteriormente, pretende-se verificar quais limiares são mais adequados para a região de estudo.

Numa tentativa de obter um índice mais simples de ser interpretado, Bender (2012) propôs um único índice combinando todos os anteriores, com base nos limiares indicativos de tempo severo para cada um deles. O índice varia de 0 a 6, sendo o valor mínimo indicativo de uma condição sem qualquer possibilidade de ocorrência de tempo severo e o valor máximo associado a ocorrência de eventos de grande severidade, inclusive com a possibilidade de ocorrência de tornados. A tabela 1 apresenta os limiares utilizados para o cálculo do índice combinado.

Tabela 1: Limiares indicativos da ocorrência de tempo severo utilizados para o cálculo do índice combinado.

Parâmetro de tempo severo	Condição
CAPE	$> 2000 \text{ J kg}^{-1}$
IL	$< -2 \text{ }^{\circ}\text{C}$
DNRV	$> 20 \text{ m}^2 \text{ s}^{-2}$
HRT3	$< -150 \text{ m}^2 \text{ s}^{-2}$
IEH	$< -2$
SUP	$< -1$

Nas próximas etapas de desenvolvimento do projeto de pesquisa, serão incluídas nas páginas de divulgação dos resultados os campos relativos aos índices, além dos resultados relativos às previsões com o modelo WRF.

### ***Um estudo sobre a redução do “spin up” em modelos***

Um dos grandes desafios da modelagem numérica e, conseqüentemente, da previsão numérica de tempo tem origem no que a comunidade científica chama de “spin up”. O spin up deve-se ao “Desequilíbrio” verificado em modelos numéricos em função de disparidades entre a grade utilizada e informações originais necessárias para as integrações, tanto para suprir as condições iniciais (CI) quanto as condições de fronteira



(CF) do modelo. O fato de modelos regionais utilizarem como CI e CF as previsões ou análises fornecidas por modelos globais (baixa resolução) é um dos motivos para o “spin up”. O resultado de tal desequilíbrio é que, em geral, as primeiras horas de integração (podendo atingir até 12 horas), geralmente apresentam baixa acurácia (skill), sendo comumente eliminadas ou desprezadas na geração de previsões de tempo. Para a previsão de curtíssimo prazo, ou *nowcasting*, (até 6 horas), tal fato constitui uma grande limitação, pois a previsão é praticamente inútil no momento em que mais se precisa. Assim, um dos objetivos do Projeto Temático é aplicar procedimentos que visem a diminuição do tempo de spin up possibilitando o seu uso em *nowcasting*. Duas abordagens serão aplicadas. A primeira visa basicamente a melhoria na condição inicial dos modelos através do uso de informações fornecidas por radares meteorológicos, de tal forma a, sempre que existente, permitir a representação de células convectivas pelo modelo mesmo que estas sejam formadas em instantes anteriores ao início da integração. A segunda abordagem visa a aplicação de procedimentos estatísticos para melhoria da condição inicial. Basicamente, serão realizados diversos ciclos de integração, de tal forma a fornecer uma CI mais equilibrada, dentro do período de 6 horas. Neste procedimento, o modelo é integrado na grade de menor resolução utilizando os campos fornecidos pelos modelos globais a cada 6 ou 12 horas. Os campos resultantes dessa integração fornecerão condições iniciais e de fronteira para as grades de maior resolução a cada hora. As grades de maior resolução (4 e 1 km) serão então integradas a cada hora, por um período total de 6 horas. Ao final de 6 integrações iniciadas com intervalos de uma hora é obtido um valor médio para um determinado horário, sendo a previsão para esse horário obtida através da média das 6 simulações realizadas. O procedimento se repetirá durante todo o dia. A figura e5 apresenta um esquema de tal procedimento.

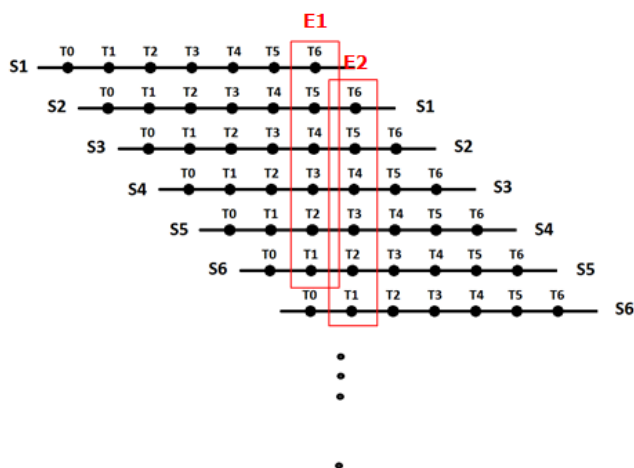


Figura e5: Esquema utilizado para redução do “spin up” durante as simulações dedicadas ao “nowcasting”.

Nessa figura, cada linha representa uma integração para um período total de 6 horas. A cada conjunto de 6 integrações tem-se um ensemble de previsões para um determinado horário, indicados na figura por E1, E2, .... O ciclo se repete continuamente, gerando uma previsão mais acurada em função da redução do “spin up”. Esse procedimento será testado durante as próximas etapas do projeto Temático e será mantido se for constatado ser um procedimento eficiente.

#### **f) O Uso de campos eletrostáticos para a previsão imediata de Tempestades.**

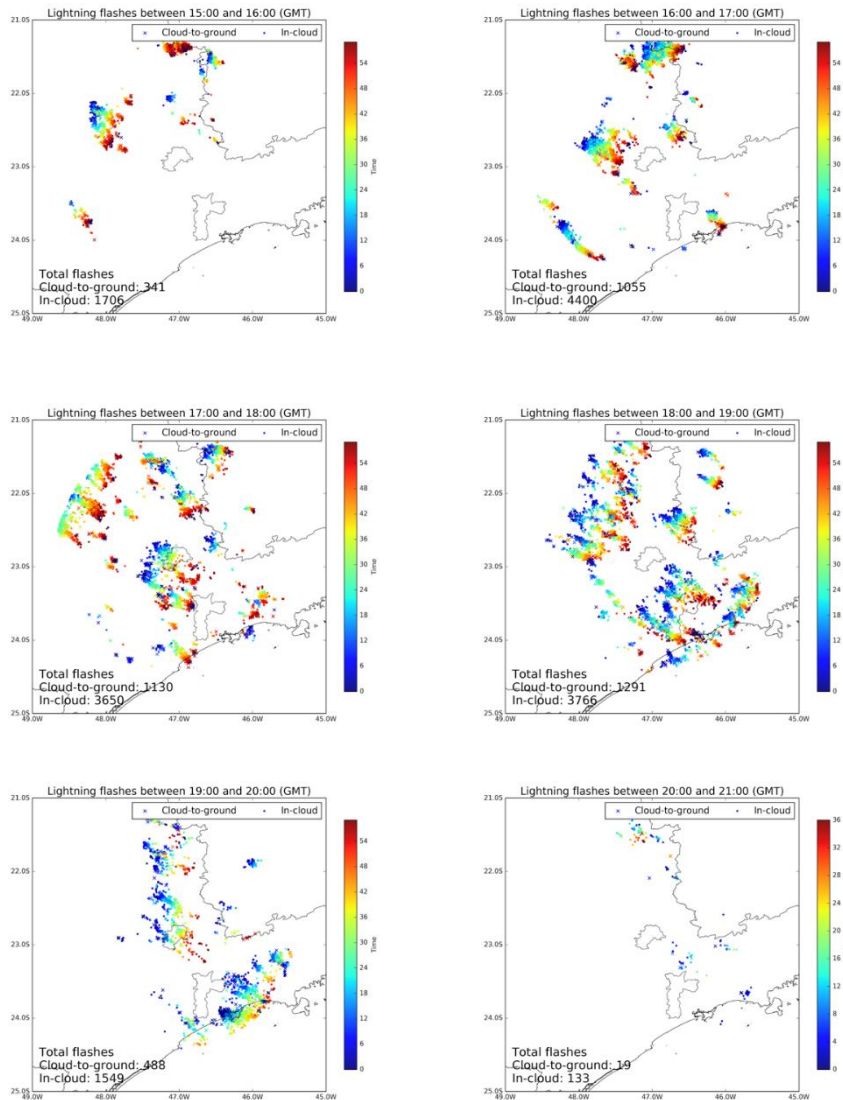
Diferentemente das redes de sensores de detecção de descargas atmosféricas, as quais respondem aos rápidos transientes no campo eletromagnético gerados por relâmpagos, os sensores de campo eletrostático (ou, em inglês, *electric field-mill* - EFM), como o próprio nome diz, detectam a componente eletrostática 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.

O principal propósito da implementação de uma rede de EFMs é gerar alertas de ocorrência de descargas atmosféricas (“*nowcasting*”) a partir da informação da intensidade do campo elétrico atmosférico interpolada e comparar com os dados das Rede Brasileira de Detecção de Descargas Atmosféricas (BrasilDAT) para verificar quais os eventos que efetivamente ocorreram num intervalo de tempo pré-definido após a emissão do alerta. Com isso, um alerta é classificado como “bem sucedido” se, no máximo, 30min após sua emissão, tenha sido detectado uma ou mais descargas NS no local de interesse. Dessa forma será possível avaliar o desempenho de um sistema de monitoramento utilizando dados do campo elétrico atmosférico no apoio ao “*nowcasting*” de tempestades.

Segundo resultados recentes publicados por Magina (2016), os índices de efetividade de alertas obtidos a partir das medições interpoladas de campo elétrico são melhores do que aqueles que utilizaram medições pontuais de EFM. Um dos motivos para o incremento na efetividade dos alertas pode ser atribuído as medições interpoladas que, tendem a suavizar os picos de mínimo e máximo e minimizar as falhas de medições de sensores pontuais que são fortemente dependentes da localização destes sensores. Outro motivo é que a medição interpolada pode ser extraída em qualquer ponto da área coberta pelos sensores da rede. Dessa forma existirá sempre uma medida de campo elétrico mais próxima do centro de carga de uma nuvem de tempestade situada em um ponto distante dos sensores EFM da rede e, capaz de deflagrar alertas mais eficientes do que as medições pontuais de sensores distantes da tempestade.

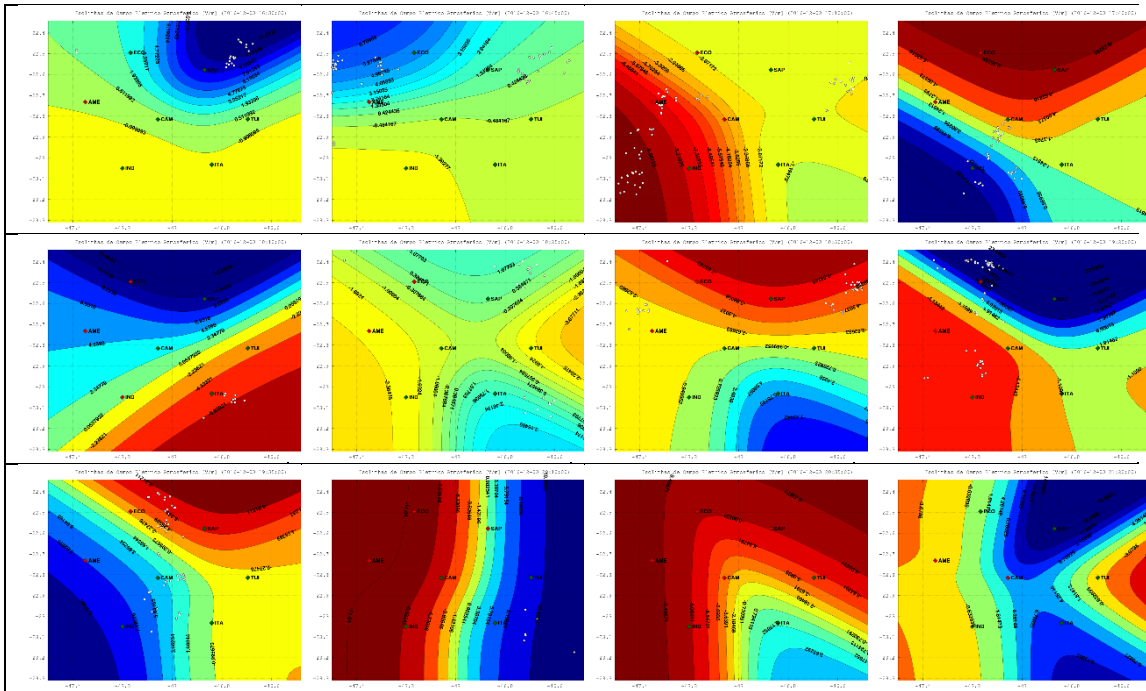
A rede EFM está em operação na região de Campinas, composta por 07 sensores, em operação desde Outubro/2016. (veja **anexo 3**). Um exemplo de aplicação destes dados é apresentado para o evento do dia 3 de dezembro, o primeiro estudo de caso, que também foi apresentado acima para o caso de assimilação de dados.

A Figura f1 mostra a ocorrência de tempestades intensas na região de Campinas no dia 03/12/2015 a partir das 13h, horário local (15h GMT). A figura mostra as descargas atmosféricas nuvem-solo (NS) e intra-nuvem (IN) registradas pela rede BrasilDAT em intervalos de 1 hora. As cores indicam a evolução temporal ao longo desse intervalo.



*Figura f1 – Registro de descargas atmosféricas na região de Campinas (área de abrangência de 180km ao redor do local de instalação do radar polarimétrico). Os horários estão em GMT. Os dados são mostrados em intervalos de 1h, com a gradação de cor que indica sua evolução temporal. Descargas NS e IN são mostradas com símbolos diferentes.*

A Figura f2 mostra a evolução do campo eletrostático atmosférico interpolado a partir dos dados da rede de 7 EFMs para diferentes horários. Os dados de descargas atmosféricas (NS e IN) estão sobrepostos. Vale notar que a rede está instalada na Região Metropolitana de Campinas e tem um alcance máximo de 60km a partir das coordenadas do radar polarimétrico, instalado na UNICAMP.



*Figura f2 – Campo eletrostático atmosférico interpolado obtido pelos 7 sensores da rede EFM instalada na Região Metropolitana de Campinas, indicados por losangos no mapa: AME, ITA, IND, TUI, CAM, SAP e ECO. A escala de cores quentes (amarelo a vermelho) indicam campos negativos. Cores frias (verde até azul escuro) indicam campos positivos. Os pontos brancos são das descargas atmosféricas da rede BrasilDAT (sem diferenciação de NS e IN). Os horários indicados nas figuras são locais.*

Embora ainda preliminar, a análise das figuras mostra que a atividade elétrica oscila muito ao longo da evolução da tempestade, tanto no que se refere a distribuição espacial do campo eletrostático quando da ocorrência de descargas atmosféricas. Em vários momentos, as descargas estão associadas a campos negativos (cores quentes); em outros momentos, estão associadas a campos positivos (cores frias). Isso é devido à dinâmica dos centros de carga dentro da nuvem, relativo a regiões convectivas (cargas negativas e, portanto, campos negativos) ou regiões estratiformes (cargas positivas e, portanto, campos positivos). Contudo, observa-se que as descargas se encontram preferencialmente nas regiões de forte gradiente de EFM.

A comparação dessas distribuições com os dados do radar polarimétrico, descargas atmosféricas e os resultados do modelo de eletrificação de nuvem e geração de relâmpagos (meso-NH) permitiram ampliar o conhecimento de toda a dinâmica elétrica da tempestade do ponto de vista da sua microfísica bem como dos processos de eletrificação.

#### **g) Uso de satélites Meteorológicos.**

Dois satélites são fundamentais no projeto o GPM – Global Precipitation Measurement e o GOES-R, após o lançamento denominado GOES-16. Com relação ao GPM, lançado em fevereiro de 2014, estamos finalizando um projeto de cooperação internacional na

qual o SOS CHUVA passa a ser um site de validação e teste de aplicativos. Além da estimativa por precipitação o GPM conta com sensores com grande potencial de uso em nowcasting como o canal de 37 e 85 GHz. Também a medida do radar de dupla frequência será testada, no futuro, para assimilação de dados em modelos numéricos. O **Anexo20** apresenta o projeto que está sendo submetido a NASA para fazer parte do PMM (Precipitation Measuring Mission).

Com relação ao GOES-16, estamos desenvolvendo aplicativos baseados na pesquisa de Mestrado da aluna Lina Zea e do aluno Joao Chinchay, ambos da Pós-graduação do INPE. O GOES-16 será importante tanto do ponto de vista do sensor ABI (Advance Baseline Imager) que apresenta alta resolução e 16 canais, como o novo sensor de descargas elétricas. No momento estamos trabalho no termo de cooperação, com a NOAA, para que o SOS CHUVA seja um site de validação do GOES-16. Em maio, quando os dados estarão disponíveis em tempo real, passaremos a utilizar em pesquisa e nos produtos de nowcasting.

#### ***h) Aplicações Agrícolas***

Está componente do projeto é sob a responsabilidade do Dr. Felipe Pilau da ESALQ. Uma bolsa TT2 está sendo realizada na ESALQ para gerenciar os dados coletados pelas redes de observação do SOS CHUVA visando o desenvolvimento de estudos utilizando dados do radar em aplicações agrícolas. A seguir apresentamos um breve resumo das atividades sendo desenvolvidas nessa área.

O aumento da demanda mundial por alimentos traz à agricultura um desafio. Como produzir mais sem expandir a área? Por isso o agricultor deve investir em planejamento, tecnologia, e monitoramento agrometeorológico.

Áreas agrícolas exibem variabilidade produtiva devido às características físicas e químicas do solo e, sobretudo, causas meteorológicas. Nesse caso, a variabilidade espaço-temporal da precipitação pluvial é razão principal dos sucessos ou fracassos produtivos em regiões tropicais.

O monitoramento agrometeorológico clássico usa dados das estações de superfície, gera produtos e especializa seus resultados, carregando consigo incertezas sobre a veracidade da informação. Isso é fruto das acentuadas distâncias entre as estações e da real noção de variabilidade espaço-temporal dos elementos meteorológicos. O aprimoramento das informações agrometeorológicas, portanto, está ligada a resolução espacial das medições, surgindo como alternativas os satélites e radares meteorológicos.

A fim de programar um trabalho nessa linha, em uma área experimental da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba-SP, foi instalada uma malha de coleta pluviométrica. Ao todo são nove pluviômetros “tipping bucket”, distante 200m





entre si, formando um grid de amostragem com 36 ha de área total. Os dados são coletados semanalmente.

As mensurações estão sendo empregadas na calibração de um radar meteorológico, e na análise da variabilidade espaço-temporal da precipitação e, por conseguinte, da umidade do solo. Tais informações ainda serão usadas para calibração e validar propostas de balanço hídrico em solo desnudo, fundamentais aos sistemas de monitoramento agrometeorológico.

Portanto, a fim de 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:

- a. Comparar as medições pluviométricas de superfície com dados estimados pelo radar meteorológico;
- b. Utilizar a precipitação obtida pelo radar (previamente validada – item “a”) como parâmetro de entrada para análise e validação de modelos de balanço hídrico do solo.

Detalhamento do Área Experimental - Na área experimental da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – Universidade de São Paulo, Piracicaba-SP (Figura h1), estão os nove pluviômetros, distribuídas quadricularmente, formando uma grade de amostragem de 200m x 200m, com área total de 360.000 m<sup>2</sup> (Figura h1).



Figura h1. Imagem aérea da Fazenda Areão – área experimental da ESALQ/USP, com detalhe do posicionamento do grid de pluviômetros (marcadores vermelhos).



A coleta dos dados de chuva é realizada semanalmente. Sempre que necessário os pluviômetros serão desmontados e limpos, evitando que o acúmulo de sujeira impeça a perfeita coleta da chuva. A medição em solo é fundamental para aferir e validar a mensuração do radar meteorológico, evidenciando ajustes e calibrações necessárias. Tais procedimentos serão realizados em conjunto com a equipe responsável pelos dados do radar.

Nos pontos de coleta de chuva (Figura h1) foram instalados, no mês de novembro de 2016, tubos de acesso no solo, com profundidade de 1,0m, para uso da sonda Diviner. O equipamento permitirá mensurar a umidade de solo, estratificada em camadas de 10 cm. Adicionalmente será utilizado e calibrado o medidor eletrônico de umidade do solo - Hidrofarm, com sensor de 20 cm. As coletadas iniciarão no mês de fevereiro de 2017, cumprindo com o período recomendado entre introdução dos canos no solo e tempo suficiente para acomodação da terra ao seu redor.

Um levantamento preliminar do solo da área interna ao grid de pluviômetros indicará a necessidade de coleta de solo para análise física do mesmo. A partir da curva de retenção serão gerados os pontos referenciais de umidade: Capacidade de Campo ( $\theta_{cc}$ ) e Ponto de Murcha Permanente ( $\theta_{pmp}$ ) e a capacidade máxima de armazenamento de água do solo (CAD).

Para medida dos elementos Temperatura do Ar ( $T_{ar}$ ), Umidade do Ar (UR%), Radiação Solar Global (Qg) e Velocidade e Direção do Vento, foi instalada uma estação meteorológica junto ao ponto central de coleta da chuva.

Utilizando os dados meteorológicos coletados pelas estações e radar meteorológicos, serão gerados os balanços hídricos a partir da metodologia proposta por Thornthwaite e Mather (1955) e do módulo de balanço hídrico do DSSAT - Decision Support System for Agrotechnology Transfer (Jones et al, 2003; Hoogenboom et al, 2012), um software que contempla modelos de simulações de plantas para mais de 42 espécies. Os resultados dos modelos de BH serão confrontados com as medições de umidade do solo.

Assim que a primeira etapa for concluída, serão gerados e validados os balanços hídricos. Para tanto, seus resultados serão comparados com as amostragens de umidade do solo. Para avaliar os resultados da calibração e teste dos BHs serão utilizados alguns índices estatísticos: coeficiente de determinação ( $r^2$ ), a mensuração do erro médio (EM) e do erro médio absoluto (EMA).

## 4) Lista trabalhos apresentados, publicados ou em preparação e de alunos envolvidos com o Projeto.

### 4.1) Trabalhos Publicados e Submetidos em Periódicos indexados:

Albrecht, Rachel I., Steven J. Goodman, Dennis E. Buechler, Richard J. Blakeslee, Hugh J. Christian: Where are the lightning hotspots on Earth? *Bulletin of the American Meteorological Society*, 97, 11, 2051–2068, doi: 10.1175/BAMS-D-14-00193.1. Fator de Impacto(2015 JCR): 5,84.

Costa, Simone M. S., Nelson J. Ferreira, Timothy J. Schmit, Renato G. Negri, Nelson Arai, Wagner Flauber, Juan Ceballos, Daniel Vila, Jurandir Rodrigues, Luiz A. Machado, Sérgio Pereira: Dedicated Geostationary Operational Environmental Satellites- GOES -10/12 Supporting South America: A Successful Practical Experience under the Global Earth Observation System of Systems Project. *Submitted to BAMS, 2016*.

Eichholz, Cristiano Wickboldt and Luiz Augusto Toledo Machado . Rain Cells Propagations: An evaluation of different propagation models. In *submission process to Weather and Forecast, 2017*.

Mattos, Enrique V., Luiz. A. T. Machado, Earle R. Williams, Steven J. Goodman, Richard J. Blakeslee, Jeffrey Bailey. Electrification Life Cycle of Incipient Thunderstorms. *In revision Journal Geop. Res., 2016*.

Mattos, Enrique V.; MACHADO, LUIZ. A. T.; WILLIAMS, EARLE R.; ALBRECHT, RACHEL I. Polarimetric Radar Characteristics of Storms With and Without Lightning Activity. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres.* , p.14201 - 14220, 2016.(capa da revista JGR)

Medina Bruno L. and Luiz A. T. Machado. DUAL POLARIZATION RADAR LAGRANGIAN PARAMETERS: A STATISTICS-BASED PROBABILISTIC NOWCASTING MODEL. *Submitted to Journal of Natural Hazard, 2016*.

PEREIRA, R. F. O.; ALBRECHT, R. I... EVOLUÇÃO TEMPORAL DA PRECIPITAÇÃO E ATIVIDADE ELÉTRICA DE UMA TEMPESTADE COM OCORRÊNCIA DE TEMPO SEVERO. *Ciência e Natura.* , v.38, p.532 - , 2016.

Sapucci, Luiz F., Luiz A. T. Machado, Eniuce Menezes de Souza, Thamiris B. Campos. GPS-PWV jumps before intense rain events. *Atmos. Meas. Tech. Discuss.*, doi:10.5194/amt-2016-378, 2016

WILLIAMS, EARLE R.; Mattos, Enrique V.; MACHADO, LUIZ. A. T. Stroke Multiplicity and Horizontal Scale of Negative Charge Regions in Thunderclouds. *Geophysical Research Letters.*, v.43, p.1 - 6, 2016.

### **Artigos Associados Publicados/Submetidos/Em submissão em 2016/2017**

Braga, Ramon, Daniel Rosenfeld, Ralf Weigel, Tina Jurkat, Meinrat Andreae, Manfred Wendisch, Ulrich Pöschl, Christiane Voigt, Christoph Mahnke, Stephan Borrmann, Rachel Albrecht, Sergej Moleker, Daniel Vila, Luiz Machado, and Lucas Grulich. Aerosol concentrations determine the height of warm rain and ice initiation in convective clouds over the Amazon basin. Under revision in *Atmospheric Chemistry and Physics*.

Braga, Ramon, Daniel Rosenfeld, Ralf Weigel, Tina Jurkat, Meinrat O. Andreae, Manfred Wendisch, Mira L. Pöhlker, Thomas Klimach, Ulrich Pöschl, Christopher Pöhlker, Christiane Voigt, Christoph Mahnke, Stephan Borrmann, Rachel I. Albrecht, Sergej Molleker, Daniel A. Vila, Luiz A. T. Machado, and Paulo Artaxo. Comparing calculated microphysical properties of tropical convective clouds at cloud base with measurements during the ACRIDICON-CHUVA campaign. Under revision in *Atmospheric Chemistry and Physics*.

BURLEYSON, CASEY D.; FENG, ZHE; HAGOS, SAMSON M.; FAST, JEROME; MACHADO, Luiz A. T.; MARTIN, SCOT T. Spatial Variability of the Background Diurnal Cycle of Deep Convection around the GoAmazon2014/5 Field Campaign Sites. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*. Fator de Impacto(2015 JCR): 2,4630, p.JAMC-D-15-0229.1 - 1579, 2016.

Cecchini M. A., Luiz A. T. Machado, Manfred Wendisch, Anja Costa, Martina Krämer, Meinrat O. Andreae, Rachel I. Albrecht, Paulo Artaxo, Stephan Borrmann, Daniel Fütterer, Evelyn Jäkel, Christoph Mahnke, Scot T. Martin, Andreas Minikin, Sergej Molleker, Lianet H. Pardo, Ulrich Pöschl, Daniel Rosenfeld, Bernadett Weinzierl. Amazonian cloud microphysics as seen in the Gamma phase-space: introduction and potential applications. In submission phase to *Atmos. Chem. Phys.(ACP)*.

Cecchini M. A., Luiz A. T. Machado, Meinrat O. Andreae, Scot T. Martin, Rachel I. Albrecht, Paulo Artaxo, Henrique M. J. Barbosa, Stephan Borrmann, Daniel Fütterer, Tina Jurkat, Christoph Mahnke, Andreas Minikin, Sergej Molleker, Mira L. Pöhlker, Ulrich Pöschl, Daniel Rosenfeld, Christiane Voigt, Bernadett Weinzierl, Manfred Wendisch

CECCHINI, MICAEL A.; MACHADO, Luiz A. T.; COMSTOCK, JENNIFER M.; MEI, FAN; WANG, JIAN; FAN, JIWEN; TOMLINSON, JASON M.; SCHMID, BEAT; ALBRECHT, RACHEL; MARTIN, SCOT T.; ARTAXO, PAULO. Impacts of the Manaus pollution plume on the microphysical properties of Amazonian warm-phase clouds in the wet season. *Atmospheric Chemistry and Physics (Online)*. Fator de Impacto(2015 JCR): 5,1140, v.16, p.7029 - 7041, 2016.

Evelyn Jäkel, Manfred Wendisch, Trismono Krisna, Florian Ewald, Tobias Kölling, Tina Jurkat, Christiane Voigt, Micael Cecchini, Luiz Machado, Armin Afchine, Anja Costa, Martina Krämer, Meinrat Andreae, Ulrich Pöschl, Daniel Rosenfeld, and Tianle Yuan. Vertical distribution of the phase state of particles in tropical deep-convective clouds as derived from cloud-side reflected solar radiation measurements. Submitted to *Atmos. Chem. Phys.(ACP)*.

Freitas, S. R., Panetta, J., Longo, K. M., Rodrigues, L. F., Moreira, D. S., Rosário, N. E., Silva Dias, P. L., Silva Dias, M. A. F., Souza, E. P., Freitas, E. D., Longo, M., Frasson, A., Fazenda, A. L., Santos e Silva, C. M., Pavani, C. A. B., Eiras, D., França, D. A., Massaru, D., Silva, F. B., Santos, F. C., Pereira, G., Camponogara, G., Ferrada, G. A., Campos Velho, H. F., Menezes, I., Freire, J. L., Alonso, M. F., Gácita, M. S., Zarzur, M., Fonseca, R. M., Lima, R. S., Siqueira, R. A., Braz, R., Tomita, S., Oliveira, V., and Martins, L. D.: The Brazilian developments on the Regional Atmospheric Modeling System (BRAMS 5.2): an integrated environmental model tuned for tropical areas, *Geosci. Model Dev.*, 10, 189-222, doi:10.5194/gmd-10-189-2017, 2017.

GERKEN, TOBIAS; WEI, DANDAN; CHASE, RANDY J.; FUENTES, JOSE D.; SCHUMACHER, COURTNEY; Machado, Luiz A.T.; ANDREOLI, RITA V.; CHAMECKI, MARCELO; FERREIRA DE SOUZA, RODRIGO A.; FREIRE, LIVIA S.; JARDINE, ANGELA B.; MANZI, ANTONIO O.; NASCIMENTO DOS SANTOS, ROSA M.; VON RANDOW, CELSO; DOS SANTOS COSTA, PATRÍCIA; STOY, PAUL C.; TÓTA, JULIO; TROWBRIDGE, AMY M. Downward transport of ozone rich air and implications for atmospheric chemistry in the Amazon rainforest. *Atmospheric Environment* (1994). Fator de Impacto(2015 JCR): 3,4590, v.124, p.64 - 76, 2016.



MARTIN, S. T.; ARTAXO, P.; MACHADO, L. A. T.; MANZI, A. O.; SOUZA, R. A. F.; SCHUMACHER, C.; WANG, J.; ANDREAE, M. O.; BARBOSA, H. M. J.; FAN, J.; FISCH, G.; GOLDSTEIN, A. H.; GUENTHER, A.; JIMENEZ, J. L.; PÖSCHL, U.; SILVA DIAS, M.A.F.; SMITH, J. N.; WENDISCH, M. Introduction: Observations and Modeling of the Green Ocean Amazon (GoAmazon2014/5). Atmospheric Chemistry and Physics (Online). Fator de Impacto(2015 JCR): 5,1140, v.16, p.4785 - 4797, 2016.

Martins, J. A.; Brand, Veronika S.; Capucim, Mauricio N.; Felix, Rafael R.; Martins, Leila D.; Freitas, E. D.; Gonçalves, Fabio L.T.; Hallak, Ricardo; Silva Dias, Maria A. F.; Cecil, Daniel J. Climatology of destructive hailstorms in Brazil. Atmospheric Research (Print), v. 184, p. 126-138, 2017.

Morais, M. V. B.; Freitas, E. D.; Urbina G., V. V.; Martins, L. D. A modeling analysis of urban canopy parameterization representing the vegetation effects in the Megacity of São Paulo. Urban Climate, v. 17, p. 102-115, 2016.

Sánchez Gácita, M., Longo, K. M., Freire, J. L. M., Freitas, S. R., and Martin, S. T.: Impact of mixing state and hygroscopicity on CCN activity of biomass burning aerosol in Amazonia, Atmos. Chem. Phys. Discuss., doi:10.5194/acp-2016-248, 2016. A revision of this discussion paper was accepted for the journal Atmospheric Chemistry and Physics (ACP).

WANG, JIAN; KREJCI, RADOVAN; GIANGRANDE, SCOTT; KUANG, CHONGAI; BARBOSA, HENRIQUE M. J.; BRITO, JOEL; CARBONE, SAMARA; CHI, XUGUANG; COMSTOCK, JENNIFER; DITAS, FLORIAN; LAVRIC, JOST; MANNINEN, HANNA E.; MEI, FAN; MORAN-ZULOAGA, DANIEL; PÖHLKER, CHRISTOPHER; PÖHLKER, MIRA L.; SATURNO, JORGE; SCHMID, BEAT; SOUZA, RODRIGO A. F.; SPRINGSTON, STEPHEN R.; TOMLINSON, JASON M.; TOTO, TAMI; WALTER, DAVID; WIMMER, DANIELA; SMITH, JAMES N.; KULMALA, MARKKU; MACHADO, LUIZ A. T.; ARTAXO, PAULO; ANDREAE, MEINRAT O.; PETÄJÄ, TUUKKA; MARTIN, SCOT T. Amazon boundary layer aerosol concentration sustained by vertical transport during rainfall. Nature (London). Fator de Impacto(2015 JCR): 38,1380, v.539, p.416 - 419, 2016.

#### **4.3) Congressos, Workshop, reuniões Científicas**

ALBRECHT, R. I.; LOPES, C. C.; SOUZA, J. C. S.; PUIG, R.; STENICO, J.; MATTOS, E.; MACHADO, L. A. T.; AVILA, A. Processos físicos e dinâmicos associados à eletrificação e severidade das tempestades na Região Metropolitana de Campinas In: 2a Reunião Científica do Projeto SOS-CHUVA, 2016, São Paulo, SP. 2a Reunião Científica do Projeto SOS-CHUVA. , 2016.

ALBRECHT, R. I.; MORALES, CARLOS; AVILA, A.; MACHADO, LUIZ A. T.; SPERLING, V. B.; PUIG, R.; FREITAS, E.; LOPES, C. C.; SOUZA, J. C. S. Desafios da Meteorologia frente aos eventos severos: os eventos de Campinas e Jarínú em Junho/2016 In: Workshop sobre o início da operação do radar meteorológico na Unicamp e o Projeto SOS CHUVA, 2016, Campinas, SP. Workshop sobre o início da operação do radar meteorológico na Unicamp e o Projeto SOS CHUVA. , 2016.

ALBRECHT, R.; BRAGA, RAMON; MORALES, CARLOS; MACHADO, LUIZ A. T.; CECCHINI, MICAEL A.; ANDREAE, MEINRAT O.; ROSENFELD, DANIEL; HOLLER, H.; WENDISCH, MANFRED Microphysical differences between thunderstorm and non-thunderstorm clouds during early stages of cloud development. In: ACRIDICON-CHUVA Meeting in Mainz, 2016, Mainz, Alemanhas. ACRIDICON-CHUVA Meeting in Mainz. , 2016.

ALBRECHT, R.; BRAGA, R. C.; MORALES, CARLOS; HOLLER, H.; MACHADO, LUIZ A. T.; ROSENFELD, DANIEL; WENDISCH, M.; ANDREAE, M.; POSCHL, U.; NEVES, J.; BISCARO, T.; LIMA, W. F. A.; EICHHOLZ, C. W.; OLIVEIRA, R.; SPERLING, V. B.; COSTA, I.; CALHEIROS, ALAN J. P.; AMARAL, L.; CECCHINI, MICAEL AMORE; SARAIVA, J.; SARAIVA, I.; SCHUMACHER, C.; FUNK, A. Thunderstorms



characteristics during ACRIDICON-CHUVA and GoAmazon field campaigns In: Workshop on Aerosol-cloud-precipitation Interaction in Amazonia during ACRIDICON-CHUVA campaign, 2016, Ilhabela, SP. Workshop on Aerosol-cloud-precipitation Interaction in Amazonia during ACRIDICON-CHUVA campaign. , 2016.

Albrecht, Rachel I.; BRAGA, R. C.; MORALES, C. A.; MACHADO, LUIZ A. T.; ANDREAE, MEINRAT O.; ROSENFELD, D.; HOLLER, H.; WENDISCH, MANFRED Cloud-aerosol-precipitation interactions in cloud electrification over the Amazon In: 17th International Conference on Clouds & Precipitation, 2016, Manchester, UK. 17th International Conference on Clouds & Precipitation. , 2016.

Amaral L., Giulia Panegrossi, Daniele Casella, Anna Cinzia Marra, Paolo Sanò, Stefano Dietrich, and Daniel Vila Investigation on CDRD and GPROF performance over central Amazon region during GoAmazon/CHUVA campaigns - - International Precipitation Working Group Meeting, Bologna, Outubro 2016

ANDREAE, MEINRAT O.; AFCHINE, ARMIN; ALBRECHT, R. I.; ARTAXO, P.; BORRMANN, STEPHAN; CECCHINI, MICAEL AMORE; COSTA, ANJA; DOLLNER, MAXIMILIAN; FÜTTERER, DANIEL; JÄRVINEN, EMMA; KLIMACH, THOMAS; KONEMANN, T.; KRÄMER, MARTINA; KRÜGER, MIRA; MACHADO, LUIZ A. T.; MERTES, STEPHAN; PÖHLKER, CHRISTOPHER; POSCHL, U.; SAUER, DANIEL; SCHNAITER, MARTIN; SCHNEIDER, JOHANNES; SCHULZ, CHRISTIANE; SPANU, ANTONIO; WALSER, ADRIAN; WEINZIERL, BERNADETT; WENDISCH, MANFRED

ANDREAE, MEINRAT O.; AFCHINE, ARMIN; Albrecht, Rachel I.; ARTAXO, PAULO; BORRMANN, STEPHAN; CECCHINI, MICAEL A.; COSTA, ANJA; FÜTTERER, DANIEL; JÄRVINEN, EMMA; KLIMACH, THOMAS; KONEMANN, T.; KRÄMER, MARTINA; MACHADO, LUIZ A. T.; MERTES, STEPHAN; PÖHLKER, CHRISTOPHER; POHLKER, M. L.; PÖSCHL, ULRICH; SAUER, DANIEL; SCHNAITER, MARTIN; SCHNEIDER, JOHANNES; SCHULZ, CHRISTIANE; SPANU, ANTONIO; WALSER, ADRIAN; WANG, JIAN; WEINZIERL, BERNADETT; WENDISCH, MANFRED

ANDREAE, MEINRAT O.; AFCHINE, ARMIN; ALBRECHT, RACHEL; ARTAXO, PAULO; BORRMANN, STEPHAN; CECCHINI, MICAEL A.; COSTA, ANJA; DOLLNER, MAXIMILIAN; FÜTTERER, DANIEL; JÄRVINEN, EMMA; KLIMACH, THOMAS; KONEMANN, T.; KRÄMER, MARTINA; MACHADO, LUIZ A. T.; MERTES, STEPHAN; PÖHLKER, CHRISTOPHER; POHLKER, M. L.; PÖSCHL, U.; SAUER, DANIEL; SCHNAITER, MARTIN; SCHNEIDER, JOHANNES; SCHULZ, CHRISTIANE; SPANU, ANTONIO; WALSER, ADRIAN; WEINZIERL, BERNADETT; WANG, JIAN; WENDISCH, MANFRED. Aerosol Production and Growth in the Upper Troposphere over the Amazon Forest In: ACRIDICON-CHUVA Meeting in Mainz, 2016, Mainz, Alemanha. ACRIDICON-CHUVA Meeting in Mainz. , 2016.

Avila A M H Considerações sobre Tempestades Severas na RMC e Projeto SOS Chuva; 173ª Reunião dos Membros do Conselho de Desenvolvimento da RMC (CD-RMC), Jaguariuna-SP

Avila A M H de Previsão de Tempestades Intensas e Entendimento dos Processos Físicos no Interior das Nuvens, 14 de junho de 2016, Defesa Civil, Campinas.

Avila A M H de Previsão Imediata de Tempestades Intensas e Entendimento dos Processos Físicos no Interior das Nuvens, 29 de junho de 2016, Defesa Civil, Arthur Nogueira-SP.

Avila A M H de Sistema de Observação e Previsão de Tempo Severo SOS - Chuva, 23 de agosto de 2016. Prefeitura de Campinas.

Avila A M H de; do Valle Gonçalves R R. Monitoramento de chuvas por satélite e radar e aplicação em agricultura. 6 de dezembro de 2016, 2ª Reunião Científica do Projeto SOS-CHUVA IAG/USP .



BRAGA, R. C.; ROSENFELD, DANIEL; ALBRECHT, R. I.; VILA, DANIEL What determines the height for warm rain initiation and cloud glaciation in convective clouds over the Amazon? In: XIX Congresso Brasileiro de Meteorologia, 2016, João Pessoa, PB. XIX Congresso Brasileiro de Meteorologia. , 2016.

BRAGA, RAMON; ROSENFELD, DANIEL; WEIGEL, RALF; JURKAT, TINA; ANDREAE, M.; WENDISCH, MANFRED; POHLKER, M. L.; KLIMACH, THOMAS; PÖSCHL, U.; PÖHLKER, C.; VOIGT, CHRISTIANE; MAHNKE, CHRISTOPH; BORRMANN, STEPHAN; ALBRECHT, R. I.; MOLLEKER, SERGEJ; VILA, DANIEL; MACHADO, LUIZ. A. T.; ARTAXO, PAULO. Comparison of calculations of convective cloud properties with aircraft measurements collected during the ACRIDICON-CHUVA campaign In: ACRIDICON-CHUVA Meeting in Mainz, 2016, Mainz, Alemanha. ACRIDICON-CHUVA Meeting in Mainz. , 2016.

BRAGA, RAMON; ROSENFELD, DANIEL; WEIGEL, RALF; JURKAT, TINA; ANDREAE, M.; WENDISCH, MANFRED; PÖSCHL, U.; VOIGT, CHRISTIANE; MAHNKE, CHRISTOPH; BORRMANN, STEPHAN; ALBRECHT, R. I.; MOLLEKER, SERGEJ; VILA, DANIEL; MACHADO, LUIZ. A. T.; KRÄMER, MARTINA What determines the height for warm rain initiation and cloud glaciation? In: ACRIDICON-CHUVA Meeting in Mainz, 2016, Mainz, Alemanha. ACRIDICON-CHUVA Meeting in Mainz. , 2016.

CECCHINI, MICAEL AMORE; MACHADO, LUIZ A. T.; WENDISCH, M.; ALBRECHT, R. I.; ANDREAE, M. O.; BRAGA, R. C.; COSTA, ANJA; KRÄMER, MARTINA; POSCHL, U.; ROSENFELD, D. Amazonian Clouds microphysical profiles measured by HALO In: Workshop on Aerosol-cloud-precipitation Interaction in Amazonia during ACRIDICON-CHUVA campaign, 2016, Ilhabela, SP. Workshop on Aerosol-cloud-precipitation Interaction in Amazonia during ACRIDICON-CHUVA campaign. , 2016.

Freitas, E. D.; Morais, M. V. B.; Urbina G., V. V.; Bender, A.; Homann, C. T.; Macedo, L. R.; Hoyos, M. E. R.; Siqueira, I. C.; Carvalho, V. S. B.; Andrade, M. F.; Martins, L. D.; Martins, J. A. Aspects of urban occupation and its effects on atmospheric conditions in the Metropolitan Area of São Paulo. In: XIX Congresso Brasileiro de Meteorologia, 2016, João Pessoa - PB. Anais do XIX Congresso Brasileiro de Meteorologia. Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Meteorologia, 2016.

FREITAS, E.; MACHADO, LUIZ. A. T.; ALBRECHT, R. I.; VENDRASCO, E.; SANCHEZ, M.; HERNANDEZ, L.; CECCHINI, MICAEL A.; BENDER, A.; SIQUEIRA, I.; PERES, J.; TODESCO, E. Estratégias para redução de spin-up em modelos de mesoescala para a aplicação em nowcasting In: 2a Reunião Científica do Projeto SOS-CHUVA, 2016, São Paulo, SP. 2a Reunião Científica do Projeto SOS-CHUVA. , 2016.

Freitas, E.; Machado, Luiz. A. T.; Albrecht, R. I.; Vendrasco, E.; Sanchez, M.; Hernandez, L.; Cecchini, Micael A.; Bender, A.; Siqueira, I.; Peres, J.; Todesco, E. Estratégias para redução de spin-up em modelos de mesoescala para a aplicação em nowcasting In: 2a Reunião Científica do Projeto SOS-CHUVA, 2016, São Paulo, SP. 2a Reunião Científica do Projeto SOS-CHUVA. , 2016.

HOLLER, H.; HUNTRIESER, H.; GREWE, V.; STUHLMAN, R.; BETZ, H.-D.; ALBRECHT, R.; MORALES, CARLOS; BAILEY, JEFFREY; MACH, D.; Blakeslee, Richard J.; GOODMAN, STEVEN J. Climate aspects of lightning In: 2016 Conference on Climate Change, 2016, Cologne, Alemanha. 2016 Conference on Climate Change. , 2016.

MACHADO, LUIZ A. T.; WENDISCH, MANFRED; LIMA, WAGNER F. A.; CALHEIROS, ALAN J. P.; ALBRECHT, R.; ANDREAE, MEINRAT O.; ARTAXO, P.; BISCARO, T.; CECCHINI, MICAEL AMORE; MEI, F.; GIANGRANDE, S.; MARTIN, S.; POSCHL, U.; ROSENFELD, DANIEL; SCHUMACHER, C. Sensitivity of Cloud and Precipitation to Aerosol, Surface and Thermodynamics in Amazonas In: Workshop





on Aerosol-cloud-precipitation Interaction in Amazonia during ACRIDICON-CHUVA campaign, 2016, Ilhabela, SP. Workshop on Aerosol-cloud-precipitation Interaction in Amazonia during ACRIDICON-CHUVA campaign. , 2016.

MAGINA, F. C., JUNIOR, O. P., & NACCARATO, K. P. Atmospheric Electric Field Sensors Network Integration in Brazil. IEEE Latin America Transactions, 14(7), 3056-3064, 2016

Michot V., J.Ronchail, V.Dubreuil, D.Vila, B.Funatsu How TRMM 3b42 v7 product reproduces the seasonal cycles of precipitation in the different regions of the Amazon Basin? - International Precipitation Working Group Meeting, Bologna, Outubro 2016

Morales, Carlos A.; ALBRECHT, R. I.; ANSELMO, E.; NEVES, J. R.; GOMES, E. F.; OLIVEIRA, D.; LACERDA, M. Describing the electrical nature of the Amazon thunderstorms during the 2nd GO-Amazon IOP and ACRIDICON-CHUVA Field Campaign In: Workshop on Aerosol-cloud-precipitation Interaction in Amazonia during ACRIDICON-CHUVA campaign, 2016, Ilhabela, SP. Workshop on Aerosol-cloud-precipitation Interaction in Amazonia during ACRIDICON-CHUVA campaign. , 2016.

Morales, Carlos A.; Albrecht, Rachel I.; LACERDA, M. Diagnosing the development of a severe thunderstorm in the Amazon Region during the 2014 CHUVA/GO-Amazon 2nd IOP Field Campaign In: 17th International Conference on Clouds & Precipitation, 2016, Manchester, UK. 17th International Conference on Clouds & Precipitation. , 2016.

Siqueira, I. C.; Freitas, E. D. Modelagem de Eventos Severos Sobre a Região Metropolitana de São Paulo. In: XIX Congresso Brasileiro de Meteorologia, 2016, João Pessoa - PB. Anais do XIX Congresso Brasileiro de Meteorologia. Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Meteorologia, 2016.

SOUZA, J. C. S.; ALBRECHT, R. I. Propriedades microfísicas da precipitação em tempestades com raios ascendentes In: 2a Reunião Científica do Projeto SOS-CHUVA, 2016, São Paulo, SP. 2a Reunião Científica do Projeto SOS-CHUVA. , 2016.

SOUZA, J. C. S.; SABA, M. M. F.; ALBRECHT, R. I. ESTUDO DAS TEMPESTADES QUE GERAM RAIOS ASCENDENTES In: XIX Congresso Brasileiro de Meteorologia, 2016, João Pessoa, PB. XIX Congresso Brasileiro de Meteorologia. , 2016.

STENICO, J.; ALBRECHT, R. I. ELECTRIFICATION OF SEVERE STORMS IN SÃO PAULO METROPOLITAN AREA DURING THE CHUVA-GLM VALE DO PARAÍBA EXPERIMENT In: XIX Congresso Brasileiro de Meteorologia, 2016, João Pessoa, PB. XIX Congresso Brasileiro de Meteorologia. , 2016.

Vila D., Marielle Gosset, Rodrigo Paiva, Adrien Paris, Stephane Calmant Hydrological Risk Assessment combining GPM and SWOT missions: a proof of concept research project over tropical basins in Brazil and West/Central Africa - - International Precipitation Working Group Meeting, Bologna, Outubro 2016

Vila D.. Validation Activities over South America: Performance of GPM-GSMaP on daily scale and possible nowcasting applications., PMM/GCOM/EarthCARE PI workshop. Tokio, Janeiro 2017

#### **4.4) Orientações**

**Dissertação de Mestrado concluída:**



Flavio Augusto Farias D'Oliveira. Análise observacional e numérica de linhas de instabilidade em Manaus. 2016. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – IAG-USP. Orientador: Edmilson Dias de Freitas

#### **Iniciação Científica concluída:**

Camila da Cunha Lopes. Características das tempestades de verão na Região Metropolitana de São Paulo durante o experimento CHUVA-GLM Vale do Paraíba. IAG-USP, Orientador: Rachel I. Albrecht.

Jessé Stenico. Eletrificação de tempestades severas na Região Metropolitana de São Paulo durante o experimento CHUVA-GLM Vale do Paraíba. IAG-USP, Orientador: Rachel I. Albrecht.

#### **Iniciação Científica em andamento:**

Jessica Cristina dos Santos Souza. Propriedades microfísicas da precipitação em tempestades com Raios Ascendentes. IAG-USP, Orientador: Rachel I. Albrecht.

Danilo Lima. Simulação Estocástica de Sistemas Estruturais submetidos a eventos extremos. UNICAMP-Eng. Cível. Orientador Luiz Vieira.

Isabela Siqueira. Modelagem de Eventos Severos na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP). IAG-USP, Orientador: Edmilson Dias de Freitas.

Gustavo Felipe Onisto Ignez. Emprego de radar meteorológico na agricultura: análise da variabilidade espaço-temporal da chuva e da umidade do solo. ESALQ. Orientador Felipe Pilau

Tiago Ifanger. Eventos Meteorológicos extremos? O Brasil está preparado? Geografia do Instituto de Geociências da Unicamp; Orientadora Ana Avila.

#### **Dissertações de mestrado em andamento:**

Lina E. Rivelli Zea. THUNDERSTORMS LIFE CYCLE OBSERVATION FROM RADAR AND SATELLITE: A CONCEPTUAL MODEL FOR WARNING SYSTEM. INPE/CPTEC. Orientador Luiz A. T. Machado.

João Henry. Evolução das características microfísicas e dinâmicas das tempestades. CPTEC/INPE. Orientador Luiz A T Machado

Raidiel Puig Beltrán. Características da precipitação e atividade elétrica de tempestades severas da Região Metropolitana de São Paulo. IAG-USP, Orientador: Rachel I. Albrecht (defesa prevista em Abril de 2017)

Rebeca Fonseca de Oliveira Pereira. Impactos da atividade antropogênica na atividade elétrica dos sistemas precipitantes da Amazônia. IAG-USP, Orientador: Rachel I. Albrecht (defesa prevista em Março de 2018).

Camila da Cunha Lopes. Relações entre a atividade elétrica e a produção de massa de gelo em tempestades severas: Um estudo observacional e numérico com parametrização de eletrificação de nuvens. IAG-USP, Orientador: Rachel I. Albrecht (defesa prevista em Março de 2019).

André Luiz dos Reis. Avaliação da representação de processo turbulentos em modelos de Mesoescala. IAG-USP, Orientador: Edmilson Dias de Freitas

#### **Teses de doutorado em andamento**



Thiago Biscaro. Tese- RELAÇÕES ENTRE A DINÂMICA E A MICROFÍSICA DE NUVENS NA REGIÃO TROPICAL. INPE/CPTEC – Orientador Luiz A. T. Machado.

Lianet H. Pardo. COMBINANDO OBSERVAÇÃO E MODELAGEM NUMÉRICA PARA MELHORAR A DESCRIÇÃO DOS PROCESSOS MICROFÍSICOS DAS TEMPESTADES. CPTEC/INPE. Orientador Luiz A T Machado.

Lia Amaral, Desenvolvimento de uma base de dados de propriedades dinâmicas e radiativas de nuvens para estimativa de precipitação por satélite sobre o Brasil – INPE. Orientador Daniel Vila.

Romulo Oliveira, Características e modelagem estatística do erro nas estimativas de precipitação por satélite da constelação GPM sobre distintas regiões do Brasil. Orientador Daniel Vila.

Victor H. P. Meirelles. FORMAÇÃO DE GRANIZO EM NUVENS DE TEMPESTADE E DESENVOLVIMENTO DE UM MODELO DE DETECÇÃO E PREVISÃO IMEDIATA DE TAMANHO DO GRANIZO A PARTIR DO RADAR DE DUPLA POLARIZAÇÃO BANDA X. CPTEC/INPE Orientador Luiz A T Machado.

Izabelly Carvalho. Estimativa de Precipitação para Nuvens Quentes utilizando Sensores Remotos. INPE/CPTEC. Orientador Luiz A. T. Machado

Micael Cecchini. Processos de formação da precipitação: Um estudo sobre a microfísica, a interação com aerossóis e o ciclo de vida da nuvem a partir de medidas em solo e aéreas. CPTEC/INPE. Orientador Luiz A T Machado.

Ramon Campos Braga. Influências dos aerossóis na altura de iniciação de chuva e gelo em nuvens convectivas da Amazônia. CPTEC-INPE, Orientadores: Daniel A. Vila e Rachel I. Albrecht

Vinicius Banda Sperling. Processos cinemáticos, microfísicos e elétricos do desenvolvimento de tempestades severas na região Sul do Brasil. CPTEC-INPE, Orientadores: Daniel A. Vila e Rachel I. Albrecht

André Arruda Rodrigues de Moraes – “Sobre a microfísica, eletrificação e geração de relâmpagos em uma nuvem de tempestade.” DGE / CEA / INPE – Orientadores: Kleber Pinheiro Naccarato / Osmar Pinto Jr..

Andréia Bender. Condições atmosféricas conducentes a tempestades severas e sua relação com a urbanização na RMSP. IAG-USP, Orientador Edmilson Dias de Freitas.

Camila Lazarin Mineração de dados aplicado aos eventos meteorológicos extremos. UNICAMP. Stanley Robson Oliveira e Ana M H de Avila

#### **4.5) Cursos e Reuniões organizados**

Treinamento SigmaCast e Nowcasting para Centros Regionais – Junho/2016 - Cachoeira Paulista – Participação de 23 centros regionais. Objetivo introduzir o sigmacast e iniciar discussão sobre previsão imediata nos núcleos regionais de meteorologia. Veja **anexo21**

Organização de uma Mesa Redonda no XIX Congresso Brasileiro de Meteorologia - GeonetCast, SigmaCast e **SOS-CHUVA**: Uma Proposta para os Núcleos/Serviços Regionais e Universidades. João Pessoa-2016.



Workshop sobre o início da operação do radar meteorológico na Unicamp e o Projeto SOS CHUVA, 2016, Campinas, SP.

Workshop Científico do SOS CHUVA Dezembro, IAG>

Tradução do Inglês para o Português do material de treinamento do satélite GOES-R do COMET MetEd:

- *GOES-R ABI: A Nova Geração das Imagens de Satélite*  
[https://www.meted.ucar.edu/training\\_module.php?id=1174](https://www.meted.ucar.edu/training_module.php?id=1174)
- *GOES-R: Benefícios da Próxima Geração de Monitoramento Ambiental*  
[https://www.meted.ucar.edu/training\\_module.php?id=1176](https://www.meted.ucar.edu/training_module.php?id=1176)
- *GOES-R GLM: Introdução ao Mapeador Geoestacionário de Raios*  
[https://www.meted.ucar.edu/training\\_module.php?id=1175](https://www.meted.ucar.edu/training_module.php?id=1175)

## **5) Descrição da aplicação dos recursos de Reserva Técnica e Benefícios Complementares**

### **5.1) Reserva Técnica:**

#### **5.1.1) Material Permanente:**

26/04/2016 - Computador - NF: 1084533 - Valor: 5.120,00

Necessário para processamento dos dados do radar em tempo real e o SOS CHUVA aplicativo.

06/10/2016 - Construção de uma torre 8 metros para instalação do radar - NF: 500 - Valor: 12.384,40

14/10/2016 - Construção de uma torre 8 metros para instalação do radar - NF: 679 - Valor: 4.950,00

Complementos do custo da construção da torre para adequação das necessidades exigidas pela UNICAMP.

#### **5.1.2) Despesas com transporte**

Não houveram

#### **5.1.3) Serviços de terceiros**

30/08/2016 - Reparo e Manutenção Munck e Instalação de Reboque - NF: 317 - Valor: 3.700,00. Necessária a adequação do radar e caminhão para rebocar o trailer.

14/10/2016 - Instalação de Rearme Automático em Estabilizador - NF: 708 - Valor: 700,00. Necessário para retorno da energia após a queda.

04/11/2016 - Manutenção do gerador - NF: 290 - Valor: 100,00. Conserto de pequeno gerador para uso nas instalações dos equipamentos.

29/11/2016 - Manutenção em aparelho condicionador de ar (capacitor e higienização) - NF: 787 - Valor: 260,00. Necessário para o trailer que controla os instrumentos.

05/12/2016 - Manutenção em aparelho condicionador de ar, com troca de peça (termostato)- NF: 794 - Valor: 90,00. Mesmo problema acima, agora resolvido.

#### **5.1.3) Despesas com Importação**

8.382,72 - Flexibilização da Reserva para despesas de importação e exportação para o conserto do MRR.

18.000,00 – Flexibilização da Reserva para despesas de importação e exportação do conserto do Micro Rain Radar (MRR) da METEK.

Esses foram valores solicitados pela importação, contudo, os valores despendidos foram muito menores. O conserto custou apenas 300 euros



## **5.2) Benefícios Complementares:**

06/12/2016 - Edmilson Dias (pagamento de 6,5 diárias para João Pessoa de 06/11-12/11) - Valor: 2.210,00. Participação no Congresso Brasileiro de Meteorologia.





## 6) Relatório de Bolsas TT

### 6.1) Bolsa TT4a: iniciada em 01 de setembro de 2016

A Bolsa TT4a foi implementada no final do ano para a Dra. Madeleine Sanchez Gacita. Apesar do curto período uma série de atividades foram realizadas, conforme previstas no plano de atividades. O relatório encontra-se no **anexo 22**.

### 6.2) Bolsa TT2: Iniciada em 01 de novembro de 2016

A Bolsa TT2 foi implementada no bem no final do ano para a Sr. Gustavo Felipe Onisto Ignez. Apesar dele estar desobrigado de apresentação de relatório este ano, um resumo de suas atividades está descrito no **anexo 23**.

## References

- Adams D. K., R. Fernandes, K. Holub, S. Gutman, H. Barbosa, L. Machado, R. Bennett, R. Kursinski, L. Sapucci, C. DeMets, G. Chagas, A. Arellano, N. Filizola, A. Amorim, R. Araujo, L. Assunção, A. Calheiros, G. Cirino, T. Pauliquevis, B. Portela, A. Sa, J. Sousa, and L. Tanaka, 2015: The Amazon Dense GNSS Meteorological Network: A New Approach for Examining Water Vapor and Deep Convection Interactions in the Tropics. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, doi: 10.1175/bams-d-13-00171.1.
- Adams, D. K., R. M. S. Fernandes, E. R. Kursinski, J. M. Maia, L. F. Sapucci, L. A. T. Machado, I. Vitorello, J. F. G. Monico, K. L. Holub, S. I. Gutman, N. Filizola, and R. A. Bennett, 2011: A dense GNSS meteorological network for observing deep convection in the Amazon. *Atmosph. Sci. Lett.*, 12, 207–212, doi:10.1002/asl.312.
- Adams, D. K., S. I. Gutman, K. L. Holub, and D. S. Pereira, 2013: GNSS Observations of Deep Convective Time scales in the Amazon, *Geophys. Res. Lett.*, 40, doi:10.1002/grl.50573.
- Bennett, G., and A. Jupp, 2012: Operational Assimilation of GPS Zenith Total Delay Observations into the Met Office Numerical Weather Prediction Models. *Mon. Wea. Rev.*, 140, 2706–2719, doi:10.1175/MWR-D-11-00156.1.
- Bevis, M. G., S. Susinger, T. Herring, C. Rocken, R. A. Anthes, and R. Ware, 1992: GPS Meteorology: Remote of Atmospheric Water Vapor Using the Global Positioning System. *J. Geophys. Res.*, 97, D14, 15787-15801, doi: 10.1029/92JD01517.
- Bevis, M., G. Chiswell, T. A. Herring, R. Anthes, C. Rocken, and E. R. H. Ware, 1994: GPS Meteorology: Mapping zenith wet delays into precipitable water. *J. Appl. Meteor.*, 33, 379-386.
- Brooks, H. B., 1946: A summary of some radar thunderstorm observations. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 27, 557–563.
- Bryan, G. H., J. C. Knivel, and M. D. Parker, 2006: A Multimodel Assessment of RKW Theory's Relevance to Squall-Line Characteristics. *Mon. Weather Rev.*, 134, 2772–2792, doi:10.1175/MWR3226.1.
- Byers, H. R., and R. R. Braham, 1949: *The Thunderstorm*. U.S. Government Printing Office, 287 pp.
- Coniglio, M. C., S. F. Corfidi, and J. S. Kain, 2012: Views on Applying RKW Theory: An Illustration Using the 8 May 2009 Derecho-Producing Convective System. *Mon. Weather Rev.*, 140, 1023–1043, doi:10.1175/MWR-D-11-00026.1.
- Corfidi, S. F., J. H. Meritt, and J. M. Fritsch, 1996: Predicting the Movement of Mesoscale Convective Complexes. *Weather Forecast.*, 11, 41–46, doi:10.1175/1520-0434(1996)011<0041:PTMOMC>2.0.CO;2.
- Corfidi, S. F., S. J. Corfidi, D. A. Imy, and A. L. Logan, 2006: A Preliminary Study of Severe Wind-Producing MCSs in Environments of Limited Moisture. *Weather Forecast.*, 21, 715–734, doi:10.1175/WAF947.1.
- Corfidi, S. F., 2003: Cold Pools and MCS Propagation: Forecasting the Motion of Downwind-Developing MCSs. *Weather Forecast.*, 18, 997–1017, doi:10.1175/1520-0434(2003)018<0997:CPAMPF>2.0.CO;2.
- Cucurull, L., F. Vandenberghe, D. Barker, E. Vilaclara, and A. Rius, 2004: Three-Dimensional Variational Data Assimilation of Ground-Based GPS ZTD and Meteorological Observations during the 14 December 2001 Storm Event over the Western Mediterranean Sea. *Mon. Wea. Rev.*, 132, 749–763.
- Deierling, W., W. A. Petersen, J. Latham, S. Ellis, and H. J. Christian (2008), The relationship between lightning activity and ice fluxes in thunderstorms, *J. Geophys. Res.*, 113, D15210, doi:10.1029/2007JD009700.
- FEINGOLD, G.; TZIVION, S.; LEVIN, Z. The evolution of raindrop spectra with altitude 1: Solution to the stochastic collection/breakup equation using the method of moments. *Journal of the Atmospheric Sciences*, v. 45, p. 3387{3399, 1988.



- Jerrett, D., and J. Nash, 2001: Potential Uses of Surface Based GPS Water Vapour Measurements for Meteorological Purposes. *Phys. Chem. Earth (A)*, 26, 457-461.
- GATLIN, P. N.; GOODMAN, S. J. A total lightning trending algorithm to identify severe thunderstorms. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, v. 27, n. 1, p. 3–22, 2010.
- GOODMAN, S. J.; BUECHLER, D. E.; WRIGHT, P. D.; RUST, W. D. Lightning and precipitation history of a microburst-producing storm. *Geophysical research letters*, Wiley Online Library, v. 15, n. 11, p. 1185–1188, 1988.
- Goodman S. J., R. Blakeslee, H. Christain, W. Koshak, J. Bailey, J. Hall, E. McCaul, D. Buechler, C. Darden, J. Burks, T. Bradshaw, P. Gatlin, 2005: The North Alabama Lightning Mapping Array: Recent severe storm observations and future prospects. *Atmospheric Research*, 76, 423–437
- Hoogenboom, G., J.W. Jones, P.W. Wilkens, C.H. Porter, K.J. Boote, L.A. Hunt, U. Singh, J.L. Lizaso, J.W. White, O. Uryasev, F.S. Royce, R. Ogoshi, A.J. Gijsman, G.Y. Tsuji, and J. Koo. 2012. Decision Support System for Agrotechnology Transfer (DSSAT) Version 4.5 [CD-ROM]. University of Hawaii, Honolulu, Hawaii
- Jones, J. W. G. Hoogenboom, C. H. Porter, K. J. Boote, W. D. Batchelor, L. A. Hunt, P. W. Wilkens, U. Singh, A. J. Gijsman, and J. T. Ritchie. 2003. "The DSSAT cropping system model." *European Journal of Agronomy* 18(3-4):235-265.
- Kirkpatrick, J. C., E. W. McCaul, and C. Cohen, 2007: The Motion of Simulated Convective Storms as a Function of Basic Environmental Parameters. *Mon. Weather Rev.*, 135, 3033–3051, doi:10.1175/MWR3447.1.
- Kursinski, E. R., R. A. Bennett, D. Gochis, S. I. Gutman, K. L. Holub, R. Mastaler, C. Minjarez Sosa, I. Minjarez Sosa, and T. van Hove (2008), Water vapor and surface observations in northwestern Mexico during the 2004 NAME Enhanced Observing Period, *Geophys. Res. Lett.*, 35.
- MAGINA, F. C., JUNIOR, O. P., & NACCARATO, K. P. Atmospheric Electric Field Sensors Network Integration in Brazil. *IEEE Latin America Transactions*, 14(7), 3056-3064, 2016
- Moncrieff, M. W and J. S. a. Green, 1972: The propagation and transfer properties of steady convective overturning in shear. *Q. J. R. Meteorol. Soc.*, 98, 336–352, doi:10.1002/qj.49709841607.
- Moncrieff, M. W, 2010: The multiscale organization of moist convection and the intersection of weather and climate. *Climate Dynamics: Why Does Climate Vary*, 3–26  
http://doi.wiley.com/10.1029/2008GM000838.
- Moncrieff, M. W, and M. J. Miller, 1976: The dynamics and simulation of tropical cumulonimbus and squall lines. *Q. J. R. Meteorol. Soc.*, 102, 373–394, doi:10.1002/qj.49710243208.
- Moncrieff, M. W., 1978: The dynamical structure of two-dimensional steady convection in constant vertical shear. *Q. J. R. Meteorol. Soc.*, 104, 543–567, doi:10.1002/qj.49710444102.
- Rotunno, R., J. B. Klemp, and M. L. Weisman, 1988: A Theory for Strong, Long-Lived Squall Lines. *J. Atmos. Sci.*, 45, 463–485, doi:10.1175/1520-0469(1988)045<0463:ATFSL>2.0.CO;2.
- Sapucci, L. F., 2014: Evaluation of Modeling Water-Vapor-Weighted Mean Tropospheric Temperature for GNSS-Integrated Water Vapor Estimates in Brazil. *J. Appl. Meteor. Climatol.*, 53, 715–730, doi:http://dx.doi.org/10.1175/JAMC-D-13-048.1.
- Sapucci, L. F., L. A. T. Machado, J. F. G. Monico, and A. Plana-Fattori, 2007: Intercomparison of Integrated Water Vapor Estimative from multi-sensor in Amazonian Regions. *J. Atmos. Oceanic Technol.*, 24, 1880–1894, doi:http://dx.doi.org/10.1175/JTECH2090.1.
- Sato, T and F. Kimura, 2005: Diurnal Cycle of Convective Instability around the Central Mountains in Japan during the Warm Season. *J. Atmo. Sci.*, 62, 1626-1636.



Serra, Yolande L., David K. Adams, Carlos Minjarez-Sosa, James M. Moker, Jr., Avelino Arellano, Christopher Castro, Arturo Quintanar, Luis Carlos Alatorre, Alfredo Granados-Olivas, Enrique Vazquez, Kirk L. Holub, Charles DeMets, 2016: The North American Monsoon GPS Transect Experiment 2013. Accepted in The Bulletin of the American Meteorological Society.

SCHULTZ, C. J.; PETERSEN, W. A.; CAREY, L. D. Lightning and severe weather: A comparison between total and cloud-to-ground lightning trends. *Weather and forecasting*, v. 26, n. 5, p. 744–755, 2011.

SHIPWAY, B.; HILL, A. Diagnosis of systematic differences between multiple parametrizations of warm rain microphysics using a kinematic framework. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, v. 138, n. 669, p. 2196–2211, 2012.

Tapio Schneider, João Teixeira, Christopher S. Bretherton, Florent Brient, Kyle G. Pressel, Christoph Schär and A. Pier Siebesma. Climate goals and computing the future of clouds *NATURE CLIMATE CHANGE* | VOL 7 | JANUARY 2017.

TATAREVIC, A.; KOLLIAS, P. User's Guide CR-SIM SOFTWARE v 2.0. 2015. Disponível em: <<http://radarscience.weebly.com/radar-simulators.html>>. Acesso em: 16 Junho 2016.

Thornthwaite, C.W.; Mather, J.R. (1955). *The Water Balance - Publications in Climatology*. N. Jersey: Centeron, v. VIII, n. 1

Vila, D. A., L. A. T. Machado, H. Laurent, and I. Velasco, 2008: Forecast and Tracking the Evolution of Cloud Clusters (ForTraCC) Using Satellite Infrared Imagery: Methodology and Validation. *Weather Forecast.*, 23, 233–245, doi:10.1175/2007WAF2006121.1.

Wang, H., J. Sun, S. Fan, and X. -yu Huang, 2013: Indirect assimilation of radar reflectivity with WRF 3D-Var and its impact on prediction of four summertime convective events. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 52, 889-902, doi:10.1175/JAMC-D-12-0120.1.

Weisman, M. L., and J. B. Klemp, 1984: The Structure and Classification of Numerically Simulated Convective Storms in Directionally Varying Wind Shears. *Mon. Weather Rev.*, 112, 2479–2498, doi:10.1175/1520-0493(1984)112<2479:TSACON>2.0.CO;2.

Weisman, M. L., and R. Rotunno, 2004: “A Theory for Strong Long-Lived Squall Lines” Revisited. *J. Atmos. Sci.*, 61, 361–382, doi:10.1175/1520-0469(2004)061<0361:ATFSL>2.0.CO;2.

WILLIAMS, E. R. The tripole structure of thunderstorms. *Journal of Geophysical Research*, n. 94, p. 13.151–13.167, sep. 1989.

