



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

aa/bb/cc/dd-MAN

NOWCASTING - PLATAFORMA DE PREVISÃO IMEDIATA DO CPTEC/INPE

Diego Pereira Enoré
Izabelly Carvalho da Costa
Luiz Augusto Toledo Machado
Mário Lemes de Figueiredo Neto
Aurelienne Aparecida Souza Jorge
Dênis Pereira e Silva
Diego Gomes dos Santos

Manual técnico descritivo da
plataforma *nowcasting* do CP-
TEC/INPE.

URL do documento original:
<<http://urlib.net/xx/yy>>

INPE
São José dos Campos
2018

PUBLICADO POR:

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE

Gabinete do Diretor (GB)

Serviço de Informação e Documentação (SID)

Caixa Postal 515 - CEP 12.245-970

São José dos Campos - SP - Brasil

Tel.:(012) 3945-6923/6921

Fax: (012) 3945-6919

E-mail: pubtc@sid.inpe.br

**COMISSÃO DO CONSELHO DE EDITORAÇÃO E PRESERVAÇÃO
DA PRODUÇÃO INTELECTUAL DO INPE (DE/DIR-544):****Presidente:**

Marciana Leite Ribeiro - Serviço de Informação e Documentação (SID)

Membros:

Dr. Gerald Jean Francis Banon - Coordenação Observação da Terra (OBT)

Dr. Amauri Silva Montes - Coordenação Engenharia e Tecnologia Espaciais (ETE)

Dr. André de Castro Milone - Coordenação Ciências Espaciais e Atmosféricas
(CEA)

Dr. Joaquim José Barroso de Castro - Centro de Tecnologias Espaciais (CTE)

Dr. Manoel Alonso Gan - Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos
(CPT)

Dr^a Maria do Carmo de Andrade Nono - Conselho de Pós-Graduação

Dr. Plínio Carlos Alvalá - Centro de Ciência do Sistema Terrestre (CST)

BIBLIOTECA DIGITAL:

Dr. Gerald Jean Francis Banon - Coordenação de Observação da Terra (OBT)

Clayton Martins Pereira - Serviço de Informação e Documentação (SID)

REVISÃO E NORMALIZAÇÃO DOCUMENTÁRIA:

Simone Angélica Del Ducca Barbedo - Serviço de Informação e Documentação
(SID)

Yolanda Ribeiro da Silva Souza - Serviço de Informação e Documentação (SID)

EDITORAÇÃO ELETRÔNICA:

Marcelo de Castro Pazos - Serviço de Informação e Documentação (SID)

André Luis Dias Fernandes - Serviço de Informação e Documentação (SID)



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

aa/bb/cc/dd-MAN

NOWCASTING - PLATAFORMA DE PREVISÃO IMEDIATA DO CPTEC/INPE

Diego Pereira Enoré
Izabelly Carvalho da Costa
Luiz Augusto Toledo Machado
Mário Lemes de Figueiredo Neto
Aurelienne Aparecida Souza Jorge
Dênis Pereira e Silva
Diego Gomes dos Santos

Manual técnico descritivo da
plataforma *nowcasting* do CP-
TEC/INPE.

URL do documento original:
<<http://urlib.net/xx/yy>>

INPE
São José dos Campos
2018

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Enoré, Diego Pereira.

Cutter NOWCASTING - PLATAFORMA DE PREVISÃO IMEDI-
ATA DO CPTEC/INPE / Diego Pereira Enoré; Izabelly Carva-
lho da Costa; Luiz Augusto Toledo Machado; Mário Lemes de
Figueiredo Neto; Aurelienne Aparecida Souza Jorge. – São José
dos Campos : INPE, 2018.

xvii + 19 p. ; (aa/bb/cc/dd-MAN)

Manual Técnico () – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais,
São José dos Campos, 2018.

: .

1. Nowcasting. 2. Satélite 3. Radar. 4. Previ-
são Numérica de Tempo. 5. Instabilidade atmosférica
I. NOWCASTING - Plataforma de Previsão Imediata do CPTEC/INPE..

CDU 000.000



Esta obra foi licenciada sob uma Licença [Creative Commons Atribuição-NãoComercial 3.0 Não Adaptada](#).

This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 3.0 Unported License](#).

Informar aqui sobre marca registrada (a modificação desta linha deve ser feita no arquivo publica-cao.tex).

ATENÇÃO! A FOLHA DE
APROVAÇÃO SERÁ IN-
CLUIDA POSTERIORMENTE.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o trabalho realizado pela equipe de desenvolvimento da Divisão de Satélites e Serviços Ambientais (DSA) do CPTEC/INPE e a equipe de informática da Divisão de Operações (DOP) pela disponibilização da infraestrutura necessária para o desenvolvimento da plataforma. Agradecemos a NOAA pelo fornecimento dos dados do GOES-16 e a toda equipe do CPTEC/INPE que contribuiu ao longo das últimas décadas no desenvolvimento dos diversos produtos que encontram-se aplicados na plataforma nowcasting. Os autores agradecem ao projeto SOS-Chuva financiado pela FAPESP processo número 15/14497-0 pelo fornecimento e processamento dos dados da pesquisa.

RESUMO

Nowcasting é definido como previsão imediata de tempo considerando um período de até 6 horas. Por ser uma ciência relativamente nova, requer muita fundamentação teórica e, por isso, possui diversos desafios para sua implementação operacional. O Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (CPTEC/INPE) criou um grupo com o objetivo de desenvolver e implementar ferramentas de *nowcasting* nos centros regionais. Este grupo desenvolveu metodologias e procedimentos de previsão imediata como sistema básico a ser implementado em qualquer centro regional. O sistema de *nowcasting* do CPTEC/INPE é composto por quatro etapas: (I) pré-convectiva; (II) iniciação convectiva; (III) fase madura e (IV) previsão. Nesse sistema, informações de radiossondagens, satélites e modelo regional de previsão são utilizados para mapear regiões que indiquem instabilidade atmosférica. Produtos derivados de radar e satélite são utilizados para determinar as características morfológicas, radiativas e de intensificação bem como a propagação e severidade dos sistemas convectivos. Os produtos desenvolvidos e implementados são compilados em um website desenvolvido especificamente para expor as ferramentas, com o intuito de auxiliar meteorologistas em ambientes operacionais.

Palavras-chave: *Nowcasting*. Satélite. Radar Meteorológico. Previsão Numérica de Tempo.

NOWCASTING – IMMEDIATE FORECASTING TOOLS OF CPTEC/INPE

ABSTRACT

Nowcasting is defined as a very short weather forecasting (0 - 6 hours). As a new science, it requires a lot of theoretical foundation and has several challenges for his operational implementation. The Center for Weather Forecasting and Climate Studies of the National Institute for Space Research (CPTEC/INPE) created a working group to develop and implement nowcasting tools for regional weather centers. The working group is applying nowcasting methodologies and procedures to share with any regional center. The CPTEC/INPE nowcasting system is composed of four stages: (I) pre-convective; (II) convective initiation; (III) mature phase and (IV) prediction. The radiosondes, satellites, weather radars and regional forecast model data provide information to monitoring and predicting the atmospheric instability condition. Products based on radar and satellite retrievals are used to determine the morphological, radiative and convective intensification process characteristics as well as the propagation and severity of the weather systems. The products developed and implemented are compiled in a website specifically designed to expose the tools in order to assist meteorologists in policymakers.

Keywords: Nowcasting. Satellite. Weather Radar. NWP.

LISTA DE FIGURAS

	<u>Pág.</u>
1.1 Ocorrências de desastres naturais.	2
1.2 Pessoas afetadas por tipos de desastres naturais.	2
1.3 Previsão da precipitação.	4
2.1 Fontes e técnicas utilizadas na plataforma <i>nowcasting</i> agrupadas nas fases.	8
3.1 Plataforma <i>Nowcasting</i>	10
3.2 Gráfico CapexShear - São Paulo	11
3.3 Gráfico <i>Skew-T</i> - Curitiba	12
3.4 Gráfico CapexShear - estações radiossonda.	12
3.5 Exemplo de sobreposição de camadas.	13
3.6 Ferramentas da função desenho e relatórios.	14

LISTA DE TABELAS

	<u>Pág.</u>
2.1 Informações geográficas de todas as radiossondagens utilizadas.	8

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CPTEC	–	Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos
INPE	–	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
NWP	–	Numerical Weather Prediction
DSA	–	Divisão de Satélites e Serviços Ambientais
DOP	–	Divisão de Operações
NOAA	–	National Oceanic and Atmospheric Administration
GOES	–	Geostationary Operational Environmental Satellite
SOS	–	Sistema de Observação e Previsão de Tempo Severo
GPM	–	Global Precipitation Measurements
FAPESP	–	Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo
ENMET	–	Encontro Nacional de Meteorologia
VIL	–	Vertically Integrated Liquid
SEDS	–	Symmetric Extreme Dependency Score
HRRR	–	High-Resolution Rapid Refresh
CIWS	–	Corridor Integrated Weather System
SIGMA	–	Geographic Information System Applied to the Environmental
FORTRACC	–	Forecasting and Tracking Cloud Cluster
CAPPI	–	Constant Altitude Plan Position Indicator
GII	–	Global Instability Index
MSG	–	Meteosat Second Generation
ABI	–	Advanced Baseline Imager
DECEA	–	Departamento de Controle do Espaço Aéreo
REDEMET	–	Rede de Meteorologia do Comando da Aeronáutica
BRN	–	Bulk Richardson Number
CAPE	–	Convective Available Potential Energy
GLM	–	Geostationary Lightning Mapper
SCOPE	–	Co-Ordinated Processing of Environmental Satellite Data for Nowcasting
STARNET	–	Sferics Timing and Ranging Network
WMO	–	World Meteorological Organization
LPA	–	Lightning Prediction Algorithm
WDT	–	Weather Decision Technologies Inc.
ATLAS	–	Airport Thunderstorm and Lightning Alerting System
THESPA	–	Thunderstorm Environmental Strike Probability Algorithm

SUMÁRIO

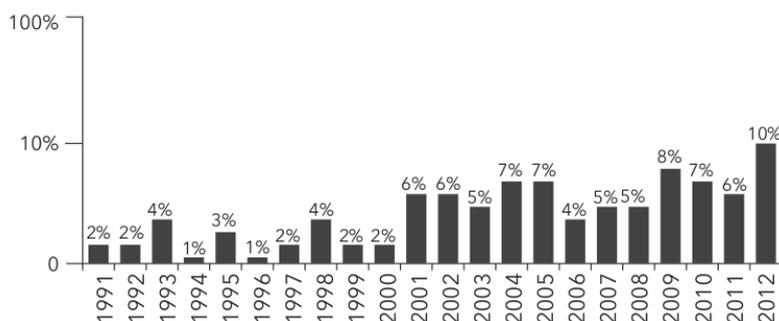
	<u>Pág.</u>
1 INTRODUÇÃO	1
2 FONTES DE DADOS	7
3 A PLATAFORMA <i>NOWCASTING</i>	9
4 DISCUSSÃO E COMENTÁRIOS FINAIS	15
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	17

1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, eventos atmosféricos considerados severos (quando há risco a vida e/ou propriedade) tem recebido grande atenção pela comunidade científica e governantes. Casos como os tornados nas cidades de Passos Maia, Ponte Serrada e Xanxerê no estado de Santa Catarina em 2015 e Marechal Cândido Rondon no estado do Paraná em 2017, microexplosão (corrente descendente de vento muito intensa) em Campinas e tornado em Jarinu, no estado de São Paulo, no ano de 2016 e os diversos outros casos de granizo veiculados com cada vez mais frequência na mídia. Uma vez que eventos como estes podem causar grande impacto nos diversos setores da sociedade, devem ser estudados e, como apontado por Nascimento (2005), a ocorrência de tempestades severas em nosso país podem acontecer com mais frequência do que se imaginava. Diante destes fatos, algumas instituições, no Brasil, foram criadas para coletar e analisar dados e desenvolver sistemas capazes de prever com um determinado tempo de antecedência a ocorrência de desastres naturais em nosso país, como exemplo, o Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN) que tem como missão “Realizar o monitoramento das ameaças naturais em áreas de riscos em municípios brasileiros suscetíveis à ocorrência de desastres naturais e com o objetivo final de reduzir o número de vítimas fatais e prejuízos materiais em todo o país”. Além disso, meteorologistas de todo o Brasil tem se reunido em eventos científicos com o objetivo de discutir especificamente caminhos para viabilizar a previsão de curtíssimo prazo de tempo como o evento ocorrido em Santa Catarina em 2017 intitulado I Encontro de Meteorologia do Estado de Santa Catarina (I ENMET SC) e IV Encontro de Meteorologia do Estado do Rio de Janeiro em 2016 (IV INMET RJ).

Em 2013 foi publicado o Atlas Brasileiro de Desastres Naturais com o objetivo de produzir e disponibilizar informações sobre os registros de desastres naturais ocorridos no território nacional entre os anos de 1991 e 2012 (BRASIL, 2013). Este estudo documentou um aumento no número de registros de desastres na década de 2000 e nos anos 2010, 2011 e 2013, como ilustra a Figura 1.1. Esta figura ilustra a quantidade de ocorrências (em porcentagem) de desastres naturais (movimentos de massa, erosão, inundações, enxurradas, alagamentos, ciclones/vendavais, granizo, estiagem/seca, tornados, geadas, incêndio florestal) referente ao total de registros (38.996) entre os anos de 1991 e 2012.

Figura 1.1 - Ocorrências de desastres naturais.

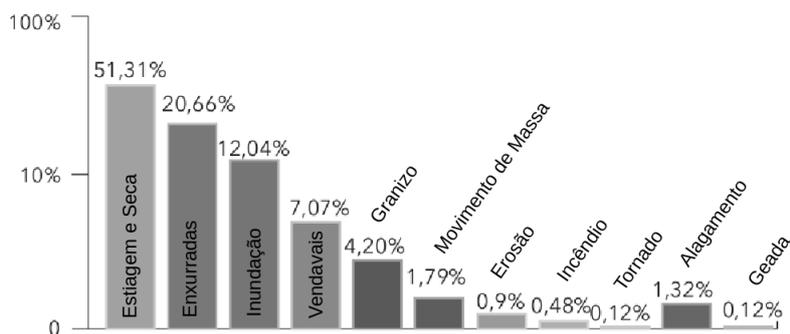


Quantidade de ocorrências (em porcentagem) de desastres naturais (movimentos de massa, erosão, inundações, enxurradas, alagamentos, ciclones/vendavais, granizo, estiagem/seca, tornados, geadas, incêndio florestal) por ano referente a quantidade total de registros (38.996) entre os anos de 1991 e 2012.

Fonte: adaptado de Brasil (2013).

Além disso, na Figura 1.2, do total de pessoas afetadas (aproximadamente 126 milhões de pessoas), a estiagem e seca representa o desastre que mais afeta a população brasileira, por ser mais recorrente, com 51% do total de registros, seguido de enxurrada, com 21% e inundação com 12% (BRASIL, 2013).

Figura 1.2 - Pessoas afetadas por tipos de desastres naturais.



Porcentagem de pessoas afetadas referente ao total (126.926.656 pessoas) por tipo de desastre natural.

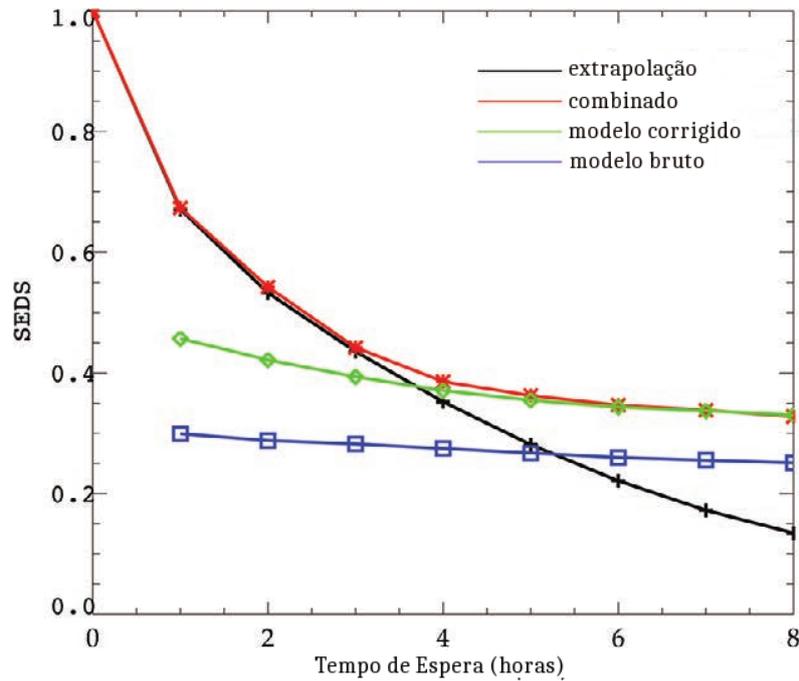
Fonte: adaptado de Brasil (2013).

Segundo [JOHNS e DOSWELL \(1992\)](#), são considerados eventos severos casos em que há ocorrência de: (a) tornados, (b) ventos fortes ou rajadas ≥ 26 m s⁻¹ e (c) granizo maiores que 1,9 cm. Os limiares para tamanho de granizo e velocidade do vento indicados na definição de [\(JOHNS; DOSWELL, 1992\)](#) são um tanto quanto arbitrários e baseados em relatos de condições de tempo na América do Norte (em latitudes médias) [\(NASCIMENTO, 2005\)](#). Segundo [Nascimento \(2005\)](#), o acompanhamento e previsão de tempestade severa no Brasil deve seguir três etapas principais: 1) reconhecimento de padrões atmosféricos com 5 a 2 dias de antecedência; 2) análise de parâmetros de tempo severo com antecedência de 1 dia a poucas horas antes do evento; e 3) *nowcasting* convectivo com poucas horas antes do evento a durante o evento. Denomina-se *nowcasting* ou previsão imediata de tempo [\(BROWNING, 1980\)](#), um conjunto de técnicas aplicadas para previsão de tempo para um período de até 6 horas e que sejam baseadas na utilização de técnicas de estimativas do estado do tempo futuro a partir de diferentes fontes de dados, como por exemplo, satélite e radar. A evolução das técnicas de *nowcasting* possuem grande relação com o avanço tecnológico de sensores a bordo de satélites, radares, computação e a transmissão de dados após a Segunda Guerra Mundial [\(CALHEIROS et al., 2017\)](#).

Dentre as técnicas utilizadas para a previsão do tempo de até 6 horas estão os modelos numéricos de mesoescala e escala sinótica, técnicas de extrapolação que utilizam dados de satélites ou radares meteorológicos e uma combinação entre as duas. Porém, cada uma das técnicas apresenta limitações associadas a acurácia e ao tempo de previsibilidade ([Figura 1.3](#)). As técnicas de extrapolação são melhores para as primeiras horas de previsão, mas o *skill* decresce rapidamente com o aumento do tempo de previsão. Os modelos numéricos, por outro lado, apresentam um melhor *skill*, em comparação com a extrapolação, a partir da quarta hora de previsão ([SUN et al. \(2014\)](#)).

Apesar da constante evolução observada nos modelos regionais, apresentando resoluções espaciais entre 5-10 km, e nos modelos de escala convectiva, entre 1-4 km, muito ainda precisa ser melhorado, uma vez que a implementação dessas ferramentas requerem uma estrutura organizada de dados de superfície, rede de radares e computadores hábeis no processamento de produtos oriundos de diversas fontes de informação.

Figura 1.3 - Previsão da precipitação.



Previsão da precipitação do conteúdo de água líquida integrada (VIL; do inglês, Vertical Integrated Liquid) com o limiar de de $1,5 \text{ km m}^{-2}$ (correspondendo a 25 dBz) como medida pela contagem de dependência extrema simétrica (SEDS; do inglês symmetric extreme dependency score; Hogan et al., 2009 apud SUN et al. (2014)). As linhas azul, verde, preto e vermelho mostram a precisão do HRRR, HRRR corrigido, CIWS e o combinado dos dois últimos, respectivamente, para os meses de Julho de 2012 para um domínio parcial dos E.U.A. a leste de 105° de longitude oeste.

Fonte: adaptado de SUN et al. (2014).

A combinação de diferentes produtos e ferramentas sobre uma determinada área, contemplando informações desde o potencial de desenvolvimento de uma tempestade até a sua previsão são fundamentais para auxiliar os previsores e órgãos tomadores de decisão na mitigação de desastres, podendo evitar perdas de vida e propriedades.

Tomando como base o ciclo de vida dos sistemas convectivos os processos de monitoramento do *nowcasting* podem ser divididos em 4 fases: pré-convectiva, iniciação convectiva, sistema maduro e sistema de previsão; os quais já foram bem apresentados em Calheiros et al. (2017). Dessa forma, o objetivo deste trabalho é apresentar a comunidade científica e operacional a plataforma de ferramentas de *nowcasting* desenvolvida pelo grupo de previsão imediata do CPTEC/INPE. O grupo, criado

em fevereiro de 2016, tem a finalidade de desenvolver e implementar técnicas que auxiliem a previsão de tempestades severas em todo o Brasil e uma plataforma *user-friendly* que possa ser utilizada em centros regionais de meteorologia. Este trabalho não tem o objetivo de descrever a física das técnicas utilizadas, contudo estas informações foram resumidas em um manual técnico encontrado em [Calheiros et al. \(2017\)](#) de autoria do mesmo grupo. O grupo de *nowcasting* nasceu da experiência adquirida no âmbito do projeto CHUVA (Cloud processes of the main precipitation systems in Brazil: A contribution to cloud resolving modeling and to the GPM (Global Precipitation Measurements)), que consistiu em estudar os regimes de precipitação e a física associada em diversos locais do Brasil utilizando o mais variados conjunto de instrumentos tais como radar de dupla polarização (banda X), disdômetros, pluviômetros, LIDAR, radiômetro de dupla polarização entre outros ([MACHADO et al., 2014](#)). A plataforma *nowcasting* nasceu da experiência de outra ferramenta operacional que visava realizar previsões de tempestades severas utilizando informações de radar e satélite. Desenvolvido no CPTEC/INPE servia como um sistema de alerta e era denominado SIGMA (Geographic Information System) ([MACHADO et al., 2009](#)). A ferramenta era composta basicamente pelos: ForTracc (Forecasting and Tracking Cloud Cluster), Probabilidade de Raios e Hidroestimador que utilizavam informações de satélite e o CAPPI (Constant Altitude Plan Position Indicator) e VIL (Vertically Integrated Liquid) que utilizavam informações de radar.

2 FONTES DE DADOS

A plataforma *nowcasting* compreende uma grande quantidade de ferramentas provenientes das mais diversas fontes (Figura 2.1). Ao todo são utilizadas informações de modelo numérico, radiossondas, satélites e radares meteorológicos. Na fase de pré-convectiva, o modelo de previsão numérica do tempo utilizado é o modelo regional ETA em alta resolução espacial, 5 km, resolução temporal de 1 hora para as saídas de 00 Z e 12 Z e 22 níveis verticais. O modelo abrange toda região da América do Sul limitada em 14°8'N, 51°S, 81°06'W, 26°03'W. São utilizados dados de radiossondagens proveniente dos mais diversos locais de lançamento sobre o Brasil (Tabela 2.1) para gerar índices de instabilidade, gráficos *Skew-T* e hodógrafas para os horários de 00 Z e 12Z, quando disponíveis. Nessa fase também utilizamos informações de índices de instabilidade provenientes do produto Global Instability Index (GII; KOENING e CONING (2009)) obtidos a partir das combinações de canais do satélite Meteosat Second Generation (MSG) apenas para situações de céu claro. O produto em si possui resolução espacial e temporal de 3 x 3 km² e 15 minutos, respectivamente. Para avaliar a velocidade e direção do vento em diversos níveis da atmosfera a plataforma *nowcasting* utiliza o produto desenvolvido por NEGRI et al. (2014) e que se baseia no deslocamento de nuvens. Este produto utiliza informações dos canais infravermelho (10,8 μm) e vapor de água (6,7 μm) do sensor Advanced Baseline Imager (ABI) a bordo do satélite GOES-16. Estes e outros canais do ABI são utilizados em outras fases do *nowcasting* para determinar diversos parâmetros físicos e morfológicos das nuvens, bem como a possibilidade de rastreamento e previsão das mesmas por meio de extrapolação do vetor deslocamento. Até o momento, a plataforma *nowcasting* do CPTEC/INPE disponibiliza informações provenientes de 6 radares banda S, pertencentes ao Departamento de Controle do Espaço Aéreo/Rede de Meteorologia do Comando da Aeronáutica (DECEA/REDEMET), instalados nos municípios de Gama - DF, Canguçu - RS, Morro da Igreja - SC, Santiago - RS, Pico do Couto - RJ e São Roque - SP e um radar banda X polarimétrico do projeto SOS-CHUVA, atualmente instalado no município de Campinas - SP.

Figura 2.1 - Fontes e técnicas utilizadas na plataforma *nowcasting* agrupadas nas fases.

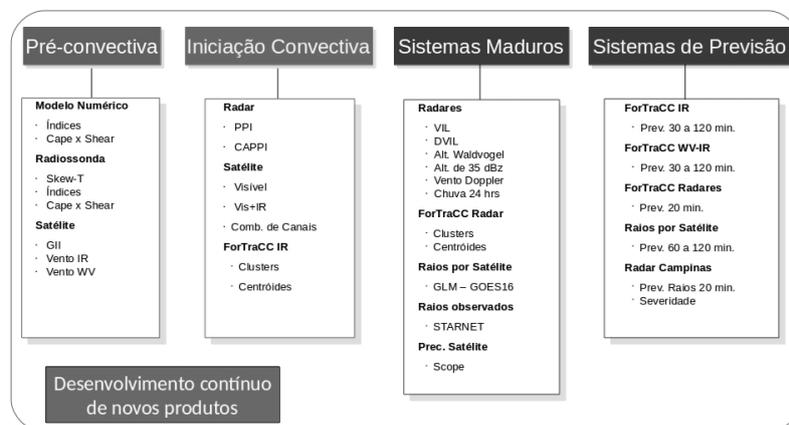


Tabela 2.1 - Informações geográficas de todas as radiossondagens utilizadas.

ID	Local	Latitude	Longitude
83971	Porto Alegre	-30.00	-51.18
83827	Foz do Iguaçu	-25.51	-54.58
83768	Londrina	-23.33	-51.13
83779	Campo de Marte	-23.52	-46.63
83746	Galeão	-22.81	-43.25
83612	Campo Grande	-20.46	-54.66
83566	Confins	-19.62	-43.57
83362	Cuiabá	-15.65	-56.10
83378	Brasília	-15.86	-47.93
83208	Vilhena	-12.70	-60.10
82705	Cruzeiro do Sul	-07.62	-72.67
82824	Porto Velho	-08.76	-63.91
82965	Alta Floresta	-09.86	-56.10
82397	Fortaleza	-03.77	-38.50
82599	Natal	-05.91	-35.25
82400	Fernando de Noronha	-03.85	-32.41
83840	Curitiba	-25.51	-49.16

3 A PLATAFORMA *NOWCASTING*

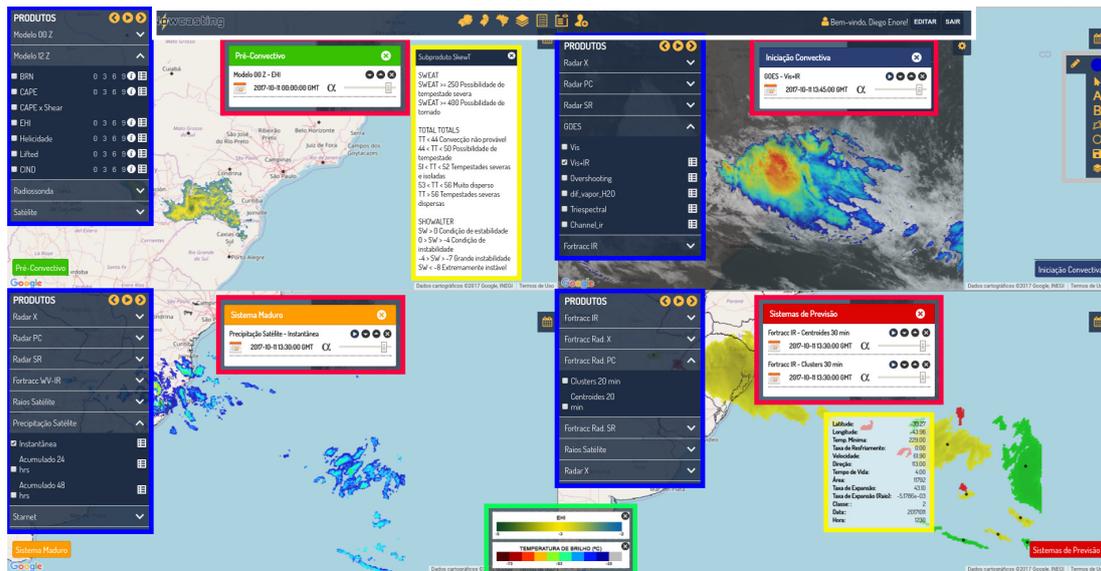
De modo geral, a plataforma *nowcasting* corresponde a um conjunto de produtos das mais diversas fontes de dados compilados no *website*: nowcasting.cptec.inpe.br (Figura 3.1). Esta página contém diversas ferramentas que auxiliam a identificação de tempestades severas nos mais diversos estágios de maturação. A ferramenta possui as seguintes funcionalidades:

- Divisão da tela em quatro partes correspondes as quatro fases do *nowcasting* bem como a possibilidade de exibição de apenas uma destas fases.
- Ferramentas de animação dos produtos com um *loop* de até 10 imagens.
- Exibe janela com informações temporais dos produtos e pode aplicar transparência aos mesmos.
- Na fase pré-convectiva, pode exibir informações de limiares para os índices de instabilidade tanto para radiossondagens quanto para modelos.
- Exibe a barra de cores para os produtos, quando disponível.
- Ferramenta de desenho para delimitar áreas com possibilidade de tempestade severa (disponível apenas para ambientes operacionais).
- Gerar relatório com imagens (disponível apenas para ambientes operacionais).

Na figura destacamos algumas características já comentadas acima. Os quadros em azul correspondem aos menus de cada fase. Lembrando que é possível selecionar apenas uma fase por vez e existe a possibilidade de maximizar um das fases. Os quadros destacados em vermelho correspondem a informações das datas e horários de cada produto e controle de transparência, uma vez que, é possível selecionar mais de uma camada nas fases. Estas informações são exibidas ao selecionar o ícone de calendário presente no canto superior direito em cada fase. Os quadros amarelos se referem a informações específicas de alguns produtos. Por exemplo, na fase pré-convectiva, são exibidos informações de limiares que indicam o tipo de instabilidade atmosférica e na fase de sistema de previsão, são exibidos informações dos centróides (coordenadas geográficas, temperatura mínima, taxa de resfriamento, velocidade de propagação, duração, etc) determinados pelo sistema ForTracc (CALHEIROS et al., 2017). O quadro destacado em verde são as tabelas de cores dos campos espacialmente representados. O quadro destacado em branco tem funções de centralizar

o mapa em algumas regiões específicas, selecionar idioma e usuário corrente. Por fim, o quadro cinza representa o menu de desenho, o qual é utilizado em ambiente operacional.

Figura 3.1 - Plataforma *Nowcasting*

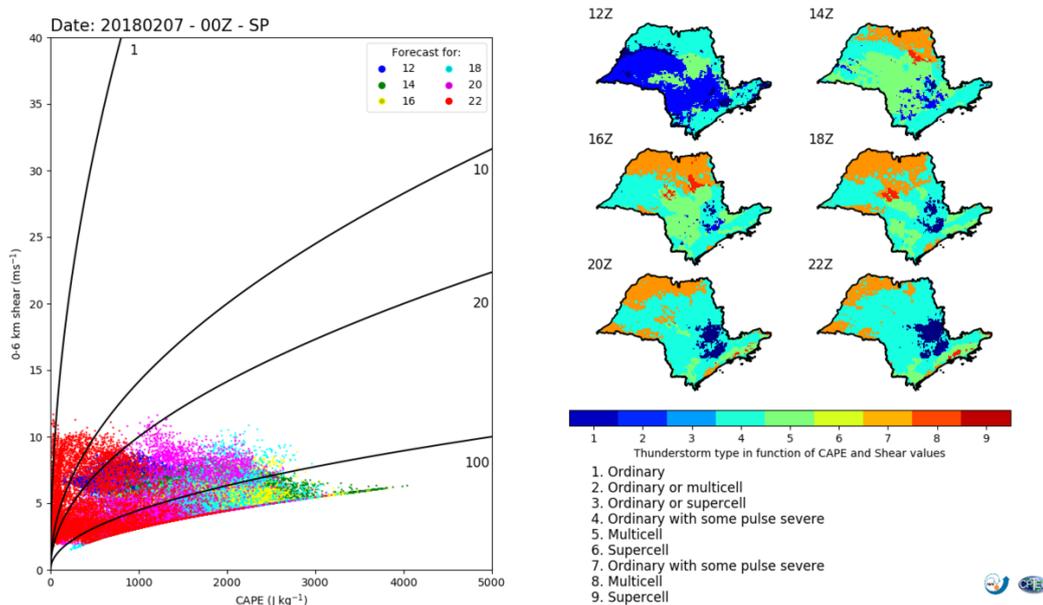


Visão geral da plataforma *nowcasting*. São indicados menus em cada fase que dão acesso aos produtos, bem como suas camadas. É possível observar a presença das barras de cores (na parte inferior da figura), pop-ups com informações de tempo, limiares dos índices de instabilidade (na fase pré-convectiva) e informações do ForTracc (na fase de previsão).

Nos menus são exibidos controles que possibilitam animar as 8 últimas imagens. Na fase pré-convectiva, os produtos de CAPE_{ExShear} e os perfis *Skew-T* exibem, quando selecionados, primeiramente pontos dos locais onde estão disponíveis informações. Para as radiossondagens, os pontos são referentes aos locais de lançamento do mesmos (conforme Tabela 2.1) e para os modelos, as informações são para cada estado do País. Após selecionar algum dos pontos, os produtos são exibidos, em forma de *pop-up*. O gráfico CAPE_{ExShear} proveniente do modelo regional ETA é dividido em duas partes (Figura 3.2). A primeira refere-se aos pontos de grade de CAPE e cisalhamento do vento que estão relacionados entre si e ainda informações das isolinhas de BRN variando entre 1 e 100. O CAPE e o cisalhamento do vento são importantes indicadores de ocorrência de Tempestades (CARBONE et al., 1990). Estes índices tem importância fundamental na determinação de regiões com forte cisalhamento

do vento que, por sua vez, tende a favorecer o crescimento e duração de sistemas convectivos (CALHEIROS et al., 2017). A segunda parte indica o tipo de tempestade (ordinária, ordinária ou multicélula, ordinária com pulso severo, multicélula ou supercélula) para cada ponto de grade do modelo com base em limiares de CAPE e cisalhamento do vento conforme sugerido por (JOE et al., 2012).

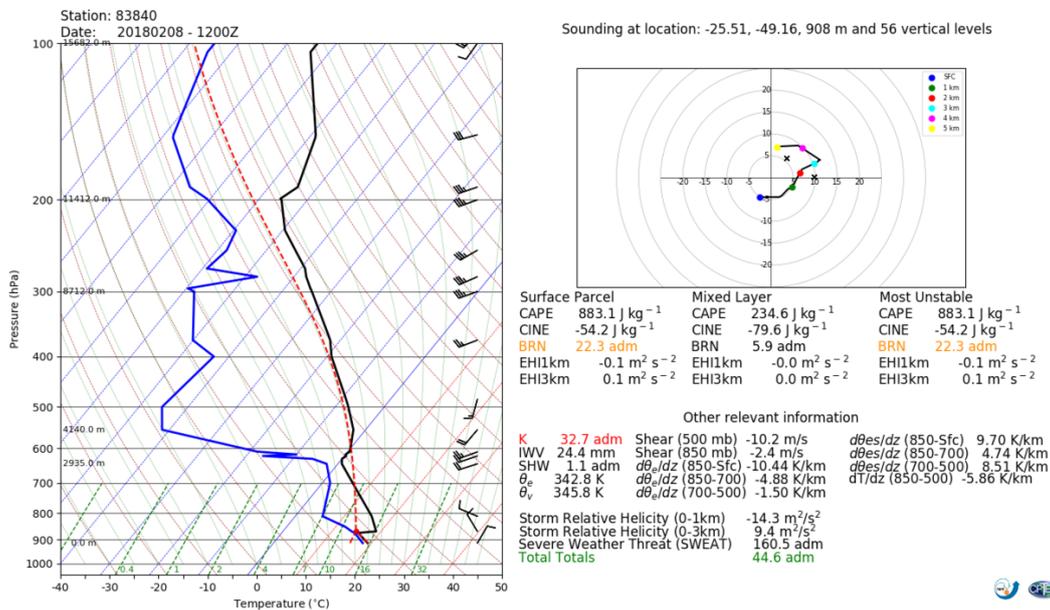
Figura 3.2 - Gráfico CapexShear - São Paulo



Informações exibidas em forma de *pop-up* na plataforma *nowcasting*. Neste exemplo são exibidos informações de CAPEExShear com o tipo de tempestade para o estado de São Paulo.

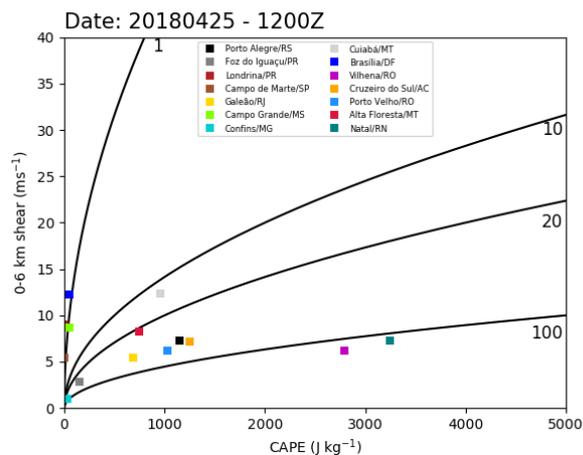
O gráfico *Skew-T* (Figura 3.3), proveniente de radiossondagens, ilustra informações dos mais diversos índices de instabilidade bem como uma hodógrafa com dados da relação entre ventos zonais e meridionais. Neste gráfico, alguns índices recebem cores de acordo com os limiares alcançados: a cor verde representa o primeiro limiar alcançado; a cor laranja são os limiares intermediários; e a cor vermelha quando os limiares mais altos são ultrapassados. Isto ocorre para alertar os operadores de que naquela região há uma grande possibilidade de ocorrência de tempestade severa. Usando as mesmas informações das radiossondagens, são gerados para os horários de 00 e 12Z, quando disponíveis, os gráficos de CAPEExShear (Figura 3.4) similares aos do modelo.

Figura 3.3 - Gráfico *Skew-T* - Curitiba



Informações exibidas em forma de *pop-up* na plataforma *nowcasting*. Neste exemplo, são exibidas informações em um gráfico *Skew-T*, índices de instabilidade e uma hodógrafa para a estação de Curitiba/PR.

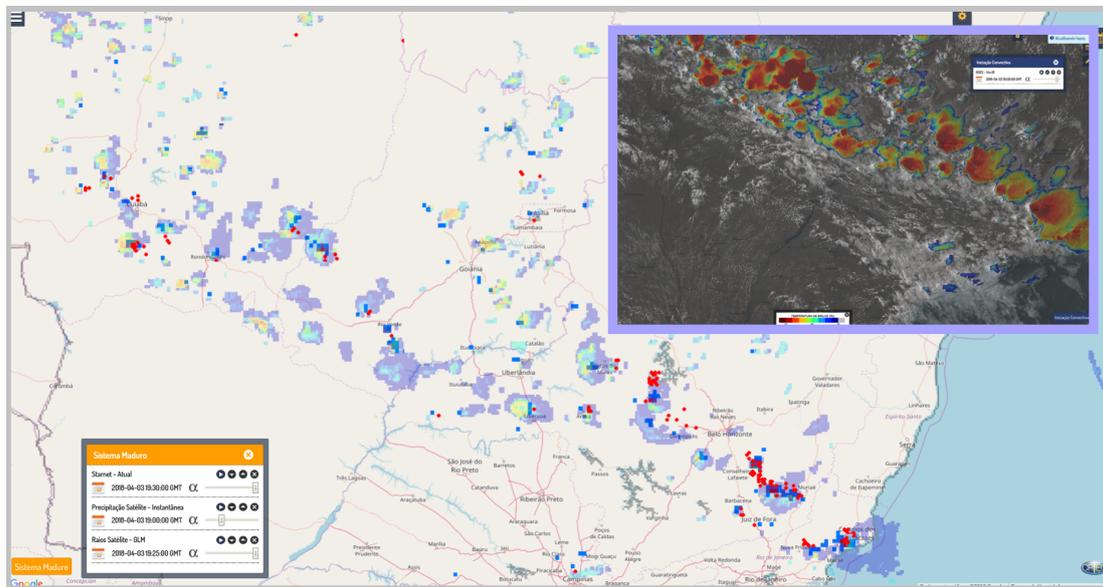
Figura 3.4 - Gráfico CapexShear - estações radiossonda.



Representação do CAPE_{Ex}Shear para todos os pontos correspondentes aos locais de lançamento de radiossondagem.

Por fim, a Figura 3.5 ilustra uma das características da plataforma que é a de sobreposição de camadas e definição de transparência. Nesta imagem, foram sobrepostas as camadas de raios da rede Starnet, densidade de raios totais do sensor GLM e precipitação instantânea do SCOPE da fase sistema maduro. Para auxiliar a análise da figura, foi incluído o campo VIS+IR da fase de iniciação convectiva (destacado no quadro lilás). É possível observar algumas diferenças entre as duas fontes que, por sua vez, está relacionada a forma como os dados são processados (instantâneo para os raios observados pela rede STARNET e densidade de raios a cada cinco minutos pelas observações do GLM). Na imagem, foi aplicado

Figura 3.5 - Exemplo de sobreposição de camadas.



Exemplo de sobreposição de camadas na fase de sistema maduro. São exibidas informações de densidade de raios do sensor GLM, informações instantâneas da rede STARNET, precipitação instantânea (da fase de sistema maduro) e VIS+IR (fase iniciação convectiva, quadro lilás).

A ferramenta desenho e relatórios é uma funcionalidade da plataforma disponível apenas para ambientes operacionais. Ela tem o objetivo de gerar relatórios resumidos com informações necessárias a serem enviadas para os tomadores de decisão. A ferramenta está localizado no quadro cinza referente a fase de iniciação convectiva, conforme Figura 3.1.

A Figura 3.6 ilustra as funções disponíveis na ferramenta desenho, sendo elas:

- (a) Exibe as funções da ferramenta desenho.
- (b) Exibe paleta de cores.
- (c) Cancela seleção.
- (d) Indica região de alta pressão quando selecionado no mapa pelo operador.
- (e) Indica região de baixa pressão quando selecionado no mapa pelo operador.
- (f) Permite que o operador desenhe um polígono na região desejada.
- (g) Permite que o operador desenhe um círculo na região desejada.
- (h) Permite que o operador faça anotações e as salve de forma pública ou restrita.
- (i) Permite acesso as anotações cadastradas.

As ferramentas de desenho, círculo e polígono, permitem que sejam alteradas as cores de acordo com a paleta de cores. O polígono é fechado somente ao selecionar o ponto inicial do desenho.

Figura 3.6 - Ferramentas da função desenho e relatórios.



Ferramentas necessárias para desenhar e gerar relatórios resumidos da plataforma *now-casting*. Os itens correspondem a: (a) mostrar ferramentas, (b) seleção de cor, (c) cancelar seleção, (d) alta pressão, (e) baixa pressão, (f) desenhar polígono, (g) desenhar círculo, (h) salvar anotação e (i) anotações cadastradas.

4 DISCUSSÃO E COMENTÁRIOS FINAIS

Neste trabalho conduziu-se a apresentação e divulgação da plataforma operacional voltada a previsão imediata de tempo de tempestades severas (*nowcasting*) do CP-TEC/INPE, que poderá ser aplicada em diversos centros meteorológicos no Brasil. Apesar de ser voltada a ambientes operacionais a plataforma vem sendo utilizada para fins didáticos a fim de promover a difusão do conhecimento para alunos graduação e pós-graduação de universidades com diversas ferramentas que propiciam identificar regiões de instabilidade, fase de maturação da nuvem, deslocamento e previsão da propagação de eventos extremos.

Desde o início do desenvolvimentos surgiram alguns questionamentos naturais principalmente com relação aos limiares utilizados para diferenciar tempestades ou regiões com grande possibilidade de formação de evento severo. Na plataforma foram considerados valores de referência americanos, uma vez que são poucos os trabalhos na literatura brasileira que fazem algum estudo específico de validade dos limiares para determinadas regiões. De qualquer forma, Nascimento (2005) ressaltou bem que não existem “números mágicos” para a previsão de eventos severos e alguns parâmetros para a previsão convectiva tipicamente possuem alto índice de falso alarme (RASMUSSEN; BLANCHARD, 1998). Nascimento (2005), ainda enfatiza que tais parâmetros são capazes de apontar condições potencialmente favoráveis à ocorrência de tempestades (severas ou não), mas não exploram a questão importante da iniciação convectiva. HALLAK e FILHO (2012), reforçam que os índices de instabilidade atmosférica fornecem uma rápida avaliação da situação termodinâmica e do cisalhamento do vento em relação às condições convectivas no momento da aquisição dos dados utilizados para cálculo e que, no entanto, os valores numéricos para cada índice são tradicionalmente associados a uma possibilidade ou probabilidade de ocorrência de eventos convectivos severos. Salientamos que a previsão de tempestade severa é regionalizada, uma vez que, em muitos casos, um conjunto de pixels em uma imagem de radar, por exemplo, com valores altos de refletividade não necessariamente indicam formação de eventos severos tais como granizo, tornado, microexplosão, etc. O uso de modelos numéricos de previsão de tempo na plataforma auxiliam a delimitação de áreas com potencial de formação de tempestade severa, sendo os mesmos deficientes no processo de formação da nuvem ou de sua microfísica. Dessa forma, o *nowcasting* se utiliza da destreza do meteorologista operacional em identificar inicialmente as regiões propícias à formação de eventos severos, profundidade da convecção, tipo da convecção como células simples, multicélulas e supercélulas (QUEIROZ, 2009) fase de maturação, propagação e severidade. Esta destreza é construída com a experiência

adquirida no dia a dia do trabalho e conhecimento da região 5 em análise.

Os índices de instabilidades sejam por satélite, radiossondas ou modelos numéricos de tempo são um grande aliado como fase preliminar ao início da convecção, contudo informações de satélite e radares meteorológicos se mostram capazes de verificar com maior resolução espacial e temporal a maturação de nuvens convectivas com as características físicas das mesmas. Assim, a plataforma *nowcasting* conta com dados do novo satélite da série GOES-16 que possui 11 canais a mais que sua versão anterior além de melhor resolução espacial e temporal. Essa quantidade de canais possibilitará o desenvolvimento de mais combinações de imagens para melhorar a caracterização dos mais diversos tipos de sistemas convectivos profundos bem como a possibilidade de identificação de diversos fenômenos atmosféricos como poeira, nevoeiro, cinzas vulcânicas, correntes de jato, vortacidade potencial, fogo, neve, vegetação, fumaça, etc. Segundo o Guia para técnicas *Nowcasting* da WMO (World Meteorological Organization, 2017), granizos e tornados não podem ser identificados por qualquer tipo de combinação de canal, mas sim o sistema convectivo que possibilitam a formação destes. São muitas as possibilidades utilizando o novo sensor, mas o uso destas imagens são possíveis apenas considerando a experiência dos meteorologistas em ambientes operacionais o que torna necessário a atualização e proximidade entre instituições de ensino e ambientes operacionais bem como entre eles e os pesquisadores que desenvolvem estes produtos.

Neste mesmo satélite, informações de raios do GLM são cruciais na identificação de nuvens convectivas com grande possibilidade de formação de tempestades severas bem como antecipar a ocorrência de eventos considerados severos. Como mencionado em Calheiros et al. (2017), diversos são os sistemas que utilizam informações de raios a notar o Lightning Prediction Algorithm (LPA), desenvolvido pela Weather Decision Technologies Inc. (WDT), Airport Thunderstorm and Lightning Alerting System (ATLAS), Thunderstorm Environmental Strike Probability Algorithm (THESPA; DANCE et al. (2010)), entre outros. Da mesma, a plataforma *nowcasting* do CPTEC contempla informações de densidade de raios do GLM e o uso dessas informações com sistemas de rastreios, como o ForTracc por exemplo, já se encontram em desenvolvimento.

Futuras implementações visam a integração dos produtos de diversas fontes (estações meteorológicas, radiossondas, radares, satélites, modelos PNT, etc.) em um sistema automatizado que, além de indicar regiões com probabilidade de ocorrência de eventos severos, façam o rastreamento dos sistemas em tempo real ou quase real.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRASIL. Universidade federal de santa catarina. centro universitário de estudos e pesquisas sobre desastres. atlas brasileiro de desastres naturais 1991 a 2012: volume Sergipe. 2 ed. p. 127, 2013. 1, 2

BROWNING, K. A. Local weather forecasting. **Proceedings of the Royal Society of London**, v. 371, p. 179–211, 1980. 3

CALHEIROS, A. J. P.; ENORE, D. P.; MATTOS, E. V. d. C.; COSTA, I. C.; MACHADO, L. A. T. **Sistema de previsão imediata: descrição dos produtos**. 2017. 101 p. (sid.inpe.br/mtc-m21b/2016/11.24.10.25-MAN). Manual Técnico — Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 2017. Disponível em: <<http://urlib.net/sid.inpe.br/mtc-m18@80/2008/11.17.19.50>>. Acesso em: 12 abr. 2018. 3, 4, 5, 9, 11, 16

CARBONE, R.; FOOTE, B.; MONCRIEFF, M.; GAL-CHEN, T.; COTTON, W.; HJELMFELT, M.; ROUX, F.; HEYMSFIELD, G.; BRANDES, E. **Convective Dynamics: Report**. Atlas D. Ed: American Meteorological Society, 1990. 10

DANCE, S.; EBERT, E.; SCURRAH, D. Thunderstorm strike probability nowcasting. **Atmos. Oceanic Technol.**, v. 27, p. 79–93, 2010. 16

HALLAK, R.; FILHO, A. J. P. Análise de desempenho de índices de instabilidade atmosférica na previsão de fenômenos convectivos de mesoescala na região metropolitana de são paulo entre 28 de janeiro e 04 de fevereiro de 2004. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 27, p. 173–206, 2012. 15

JOE, P.; DANCE, S.; LAKSHMANAN, V.; HEIZENREDER, D.; JAMES, P.; LANG, P.; HENGSTEBECK, T.; FENG, Y.; LI, P. W.; YEUNG, H.-Y.; SUZUKI, O.; DOI, K.; DAI, J. “Automated processing of doppler radar data for severe weather warnings,” in **Doppler Radar Observations - Weather Radar, Wind Profiler, Ionospheric Radar, and Other Advanced Applications**. Rijeka, Croatia: InTech, 2012. 33–74 p. 11

JOHNS, R. H.; DOSWELL, C. A. Severe local storms forecasting. **Wea. Forecasting**, v. 7, p. 588–612, 1992. 3

KOENING, M.; CONING, E. The msg global instability indices product and its use as a nowcasting tool. **Weather and Forecasting**, v. 24, p. 272–285, 2009. 7

MACHADO, L. A.; DIAS, M. A. S.; MORALES, C.; FISCH, G.; VILA, D.; ALBRECHT, R.; GOODMAN, S. J.; CALHEIROS, A. J.; BISCARO, T.; KUMMEROW, C.; COHEN, J.; FITZJARRALD, D.; NASCIMENTO, E. L.; SAKAMOTO, M. S.; CUNNINGHAM, C.; CHABOUREAU, J.; PETERSEN, W. A.; ADAMS, D. K.; BALDINI, L.; ANGELIS, C. F.; SAPUCCI, L. F.; SALIO, P.; BARBOSA, H. M.; LANDULFO, E.; SOUZA, R. A.; BLAKESLEE, R. J.; BAILEY, J.; FREITAS, S.; LIMA, W. F.; TOKAY, A. The chuva project: How does convection vary across brazil? **Bull. Amer. Meteor. Soc.**, v. 95, p. 1365–1380, 2014. 5

MACHADO, L. A. T.; ANGELIS, C. F.; LIMA, W. F. A. A severe storm warning system based in radar and satellite data. **Current Problems in Atmosphere Radiation**, v. 1100, p. 400–403, 2009. 5

NASCIMENTO, E. L. Previsão de tempestades severas utilizando-se parâmetros convectivos e modelos de mesoescala: uma estratégia operacional adotável no Brasil? **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 20, p. 121–140, 2005. 1, 3, 15

NEGRI, R. G.; MACHADO, L. A. T.; BORDE, R. Inner convective system cloud-top wind estimation using multichannel infrared satellite images. **International Journal of Remote Sensing**, v. 35.2, p. 651–670, 2014. 7

QUEIROZ, A. P. d. **Monitoramento e previsão imediata de tempestades severas usando dados de radar**. 2009. 131 p. (INPE-14181-TDI/1093). Dissertação (Mestrado em Meteorologia) — Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 2009. Disponível em: <<http://urlib.net/sid.inpe.br/mtc-m18@80/2008/11.17.19.50>>. Acesso em: 12 abr. 2018. 15

RASMUSSEN, E. N.; BLANCHARD, D. O. A baseline climatology of sounding-derived supercell and tornado forecast parameters. **Weather and Forecasting**, v. 13, p. 1148–1164, 1998. 15

SUN, J.; XUE, M.; WILSON, J. W.; ZAWADZKI, I.; BALLARD, S. P.; ONVLEE-HOOIMEYER, J.; JOE, P.; BARKER, D. M.; LI, P.; GOLDING, B.; XU, M.; PINTO, J. Use of nwp for nowcasting convective precipitation: recent progress and challenges. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 95, n. 1-2, p. 409–426, 2014. 3, 4

PUBLICAÇÕES TÉCNICO-CIENTÍFICAS EDITADAS PELO INPE

Teses e Dissertações (TDI)

Teses e Dissertações apresentadas nos Cursos de Pós-Graduação do INPE.

Manuais Técnicos (MAN)

São publicações de caráter técnico que incluem normas, procedimentos, instruções e orientações.

Notas Técnico-Científicas (NTC)

Incluem resultados preliminares de pesquisa, descrição de equipamentos, descrição e ou documentação de programas de computador, descrição de sistemas e experimentos, apresentação de testes, dados, atlas, e documentação de projetos de engenharia.

Relatórios de Pesquisa (RPQ)

Reportam resultados ou progressos de pesquisas tanto de natureza técnica quanto científica, cujo nível seja compatível com o de uma publicação em periódico nacional ou internacional.

Propostas e Relatórios de Projetos (PRP)

São propostas de projetos técnico-científicos e relatórios de acompanhamento de projetos, atividades e convênios.

Publicações Didáticas (PUD)

Incluem apostilas, notas de aula e manuais didáticos.

Publicações Seriadas

São os seriados técnico-científicos: boletins, periódicos, anuários e anais de eventos (simpósios e congressos). Contam destas publicações o Internacional Standard Serial Number (ISSN), que é um código único e definitivo para identificação de títulos de seriados.

Programas de Computador (PDC)

São a seqüência de instruções ou códigos, expressos em uma linguagem de programação compilada ou interpretada, a ser executada por um computador para alcançar um determinado objetivo. Aceitam-se tanto programas fonte quanto os executáveis.

Pré-publicações (PRE)

Todos os artigos publicados em periódicos, anais e como capítulos de livros.