

Previsão numérica de tempo por conjunto





Governador do Estado

Carlos Moisés da Silva

**Secretário de Estado da Agricultura, da Pesca
e do Desenvolvimento Rural**

Ricardo de Gouvêa

Presidente da Epagri

Edilene Steinwandter

Diretores

Giovani Canola Teixeira
Administração e Finanças

Humberto Bicca Neto
Extensão Rural e Pesqueira

Célio Haverroth
Desenvolvimento Institucional

Vagner Miranda Portes
Ciência, Tecnologia e Inovação



DOCUMENTOS Nº 350

Previsão numérica de tempo por conjunto



Florianópolis

2020

Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (Epagri)
Rodovia Admar Gonzaga, 1.347, Itacorubi, Caixa Postal 502
88034-901, Florianópolis, Santa Catarina, Brasil
Fone: (48) 3665-5000, fax: (48) 3665-5010
Site: www.epagri.sc.gov.br

Editado pelo Departamento Estadual de Marketing e Comunicação (DEMC)

Revisor ad hoc: Rosandro Boligon Minuzzi – UFSC

Editoração técnica: Paulo Sergio Tagliari

Revisão textual: Laertes Rebelo

Diagramação: Victor Berretta

Foto capa: Cofaru Alexandru (<https://www.stockvault.net/photo/118147/sunset#>)

Distribuição: *On-line* (junho de 2020)

Ficha catalográfica

ARAUJO, C.E.S. **Previsão numérica de tempo por conjunto.** Florianópolis: Epagri, 2020. 20p.
(Epagri, Documentos, 350)

Previsão *on-line*; Modelo WRF; Esquemas de parametrização; Variáveis ambientais.

ISSN 2674-9521 (*On-line*)

Autor

Carlos Eduardo Salles de Araújo, Dr.

Oceanógrafo, doutor em Engenharia, pesquisador do Centro de Informações Ambientais e de Hidrometeorologia de Santa Catarina - Epagri/Ciram

Rodovia Admar Gonzaga, 1.347

88034-901 Itacorubi, Florianópolis, SC, Brasil

Fone: (48) 3665-5132, e-mail: kadu_araujo@epagri.sc.gov.br

APRESENTAÇÃO

Este documento é um manual explicativo do sistema de previsão numérica de tempo por conjunto implantado na Epagri/Ciram usando o modelo atmosférico *Weather Research and Forecasting* (WRF). A previsão numérica de tempo por conjunto realiza diferentes simulações ou previsões utilizando o mesmo modelo numérico para os mesmos período e situação de tempo, adotando diferentes parametrizações para representar os processos físicos da atmosfera.

Como resultado, obtém-se uma distribuição de probabilidades para as diversas variáveis atmosféricas no futuro. O método se baseia no princípio da incerteza de sistemas dinâmicos caóticos, como é o caso da atmosfera, em que o conhecimento do estado de um sistema caótico em sua totalidade é impraticável. A previsão por conjunto portanto permite estimar a incerteza da previsão das variáveis meteorológicas para uma determinada situação atmosférica. A avaliação destas incertezas e a utilização de valores medianos das variáveis conferem um ganho na qualidade das previsões meteorológicas e dos sistemas e informações derivadas a partir destas previsões, como o sistema de previsão de geadas da Epagri/Ciram.

A Diretoria Executiva

SUMÁRIO

1	Introdução	6
1.1	Condições iniciais x esquemas de parametrização	7
1.2	O modelo WRF (Weather Research and Forecasting Model)	9
1.3	Definição do conjunto	10
2	Metodologia adotada	12
3	Implementação operacional na Epagri/Ciram	14
3.1	Exemplo da previsão de geadas <i>on-line</i> gerada a partir das saídas da previsão por conjunto	14
4	Referências	17
	Anexo - Diretórios e rotinas do Ensemble-WRF no cluster	20

1 Introdução

A previsão numérica de tempo por conjunto se refere ao processamento de várias rodadas, geralmente utilizando o mesmo modelo numérico, para o mesmo período e a mesma situação de tempo. O método se baseia no princípio da incerteza de sistemas dinâmicos caóticos, como é o caso da atmosfera, em que o conhecimento do estado de um sistema caótico em sua totalidade é impraticável. Isto é, por mais precisas, exatas e disponíveis que sejam as informações e a representação do sistema, sempre existirão incertezas sobre o seu estado inicial e sobre a representação de seus processos físicos, as quais levarão a um conjunto de estados plausíveis da atmosfera ao serem feitas simulações para o futuro (WILKS, 2006). Previsões do tempo singulares e determinísticas, como são tipicamente realizadas nos centros meteorológicos, não permitem conhecer a incerteza da previsão para determinada situação atmosférica. A previsão por conjunto produz várias simulações de tempo para o mesmo período, fornecendo assim uma distribuição de probabilidades para as diversas variáveis atmosféricas no futuro.

O processo de previsão por conjunto tem início com a criação de diferentes campos atmosféricos com condições iniciais (análises meteorológicas) igualmente prováveis, as quais abrangem um estado inicial “verdadeiro” da atmosfera, sendo esse estado desconhecido. Este conjunto de análises meteorológicas representa uma estimativa da função densidade de probabilidade para esse estado inicial, enquanto a média desse conjunto representa a melhor estimativa do estado inicial da atmosfera. O espalhamento entre as análises individuais é uma estimativa da incerteza deste conjunto que pode ser representada pelo desvio padrão de uma determinada variável ou campo atmosférico entre as análises. Para a geração de uma previsão por conjunto, realiza-se uma simulação iniciando-se a partir de cada análise, gerando assim os diferentes membros da previsão, os quais se assume que são representativos de uma amostra aleatória da função densidade de probabilidade do estado da atmosfera para qualquer instante futuro das simulações. Considerando que o modelo seja perfeito, a média da previsão do conjunto é a melhor estimativa do verdadeiro estado da atmosfera (STENSRUD et al., 2000).

Historicamente, os estudos estatísticos das previsões numéricas de tempo através da geração do conjunto de simulações estiveram focados sobre as diferentes trajetórias reproduzidas a partir de condições iniciais próximas, mas ligeiramente perturbadas, conforme descrito de maneira sucinta no parágrafo anterior. No entanto, o foco sobre essa abordagem desconsidera a incerteza resultante das limitações na representação dos processos físicos ao considerar o uso de um único modelo numérico nas simulações. Com isso, esses estudos assumem a hipótese de que o modelo adotado é perfeito, ou seja,

simula perfeitamente a atmosfera real. No entanto, os modelos numéricos da atmosfera jamais serão perfeitos na representação de todos os processos físicos, em qualquer escala. Parte dos erros dessas simulações se origina das aproximações numéricas e da representação dos processos físicos no modelo e nas parametrizações. Stensrud et al. (2000) salientam que a consideração de apenas um modelo numérico para o conjunto desconsidera a contribuição das falhas de representatividade dos diferentes modelos numéricos sobre os processos atmosféricos nos erros das simulações e quantificam somente o conjunto de possibilidades plausíveis resultante da incerteza sobre o estado inicial da atmosfera real.

Com o recente desenvolvimento de plataformas mais “amigáveis” para a realização de estudos com modelos numéricos – como é o caso do modelo Weather Research Forecast (WRF) – e da capacidade computacional sempre em expansão, recentemente estudos têm avaliado os erros da previsão por conjunto devido à representação física dos processos atmosféricos. Esses estudos fazem uso de diferentes modelos meteorológicos (*multi-model ensembles*) ou de diferentes parametrizações para os processos físicos de subgrade, mas usando o mesmo modelo numérico nas simulações.

Os processos físicos de subgrade são os processos atmosféricos que ocorrem em escalas de tempo e espaço inferiores à escala compreendida pela grade numérica do modelo. Esses processos não são resolvidos explicitamente pelo modelo, sendo necessário o uso de parametrizações. Modelos numéricos utilizam uma variedade de parametrizações desenvolvidas em diversos estudos para diferentes aplicações, as quais se baseiam em diferentes hipóteses e aproximações que simplificam a solução desses processos atmosféricos. Dessa forma, as parametrizações permitem uma representação desses fenômenos nas simulações, ainda que de maneira incompleta e simplificada, a partir das informações das variáveis atmosféricas calculadas na grade do modelo. Portanto, apesar de fornecerem uma representação limitada dos processos de subgrade, as parametrizações são uma forma viável de resolvê-los. Uma grande variedade de trabalhos científicos aborda as deficiências na representação dos processos atmosféricos e quantifica a contribuição dessas parametrizações nos erros das simulações dos modelos (WGNE, 1988; KASS et al., 1999; PALMER, 1999; JASPER e MEIGHEN, 2000).

1.1 Condições iniciais x esquemas de parametrização

Stensrud et al. (2000) ressaltam que conjuntos compostos a partir de um único modelo e usando diferentes condições iniciais tendem a apresentar previsões altamente

correlacionadas, de forma que por vezes os erros sistemáticos do modelo usado tendem a deslocar todas as previsões para longe da evolução da atmosfera real. Considerando diferentes modelos ou parametrizações na composição da previsão por conjunto, os erros sistemáticos das previsões tendem a ser menos correlacionados. O uso de modelos de previsão menos correlacionados pode levar a um conjunto de previsões que captura de maneira mais representativa a função densidade de probabilidade da atmosfera real do que o conjunto que não considera outros modelos e parametrizações. Como todos os modelos possuem incertezas, a previsão de cada membro do conjunto se move em trajetórias que divergem entre si, mesmo assumindo a condição inicial como única. Essa divergência pode ocorrer rapidamente, mesmo em curtos períodos de tempo, em relação a certas variáveis do modelo, o que é uma característica importante para a previsão do conjunto. Modelos diferentes possuem diferentes erros sistemáticos, o que leva a uma divergência nas trajetórias dos membros, mesmo quando inicializados a partir de uma condição inicial idêntica.

Ao simular a atmosfera em escala regional, os aspectos da previsão que são mais importantes de serem representados diferem entre si. Por exemplo, na larga escala a verificação da previsão é primeiramente ligada às características gerais da escala sinótica, na qual as dinâmicas estão incluídas nas equações de movimento que formam a fundação do modelo numérico. No entanto, em escalas menores a verificação da previsão está primeiramente ligada com as características regionais da superfície (topografia, cobertura do solo) e aos parâmetros sensíveis do tempo (meteorológico) regional, como a quantidade da precipitação, o desenvolvimento diurno da camada limite, a quantidade de água precipitável na atmosfera, entre outros, os quais são frequentemente influenciados diretamente pelas aproximações assumidas nas parametrizações (ARAVÉQUIA & DE QUADRO, 2003).

Com isso, os conjuntos *multi-model* e a incorporação de representações estocásticas do erro do modelo têm provado ser de grande valor se comparados com conjuntos formados por um único modelo, sugerindo que a incerteza do modelo pode ser usada de forma vantajosa no tratamento da previsão por conjunto.

Neste texto é usada a abordagem do uso de diferentes esquemas de parametrizações para os processos físicos de subgrade na construção de várias versões do mesmo modelo numérico – no caso, o modelo WRF – na geração dos membros do conjunto, sendo todos os membros inicializados a partir da mesma condição inicial.

1.2 O modelo WRF (*Weather Research and Forecasting Model*)

O WRF foi desenvolvido por uma extensa equipe de cientistas (SKAMAROCK et al., 2008) e hoje é mantido *pelo Microscale Meteorology Division of NCAR (National Center for Atmospheric Research)*. O modelo se encontra atualmente na sua terceira versão e seu código livre encontra-se disponível no website www.mmm.ucar.edu.

Como sugere o nome, o modelo tem finalidades tanto para pesquisas quanto para a aplicação na previsão de tempo e, portanto, possui uma série de possibilidades de aplicações, como simulações idealizadas, escolha de diferentes parametrizações, opção para assimilação de dados observados, previsão de tempo, aplicação com modelos acoplados. O modelo é tridimensional e funciona tanto sob a aproximação hidrostática quanto em versão não hidrostática.

O modelo WRF parametriza sete diferentes tipos de processos físicos de subgrade: microfísica de nuvens, camada limite planetária, camada superficial, superfície terrestre, radiação de onda curta, radiação de onda longa e convecção. Cada processo de subgrade apresenta uma variedade de parametrizações de diferentes trabalhos científicos e autores que podem ser escolhidos para as simulações. A Figura 1 ilustra como os diferentes processos de subgrade usados no WRF trocam informações durante a simulação.

A escolha de diferentes combinações entre as parametrizações leva a representações distintas da atmosfera, o que possibilita a composição de membros para a previsão por conjunto.

O modelo permite também a inclusão de domínios aninhados nas simulações, o que viabiliza o incremento da resolução espacial (*downscale*) sobre uma região de maior interesse para simulações de casos reais inseridas dentro da grade principal de maior domínio.

Com isso, o WRF pode ser considerado não somente um único modelo atmosférico, mas um programa computacional que permite a configuração de diferentes modelos atmosféricos, o que possibilita o seu uso em uma grande variedade de aplicações em meteorologia. Hoje existe uma série de publicações que avaliam a aplicação de diferentes conjuntos de parametrização para o mesmo caso ou evento meteorológico a fim de identificar as diferenças entre as simulações e os processos físicos relevantes para determinados tipos de aplicação de modelagem, conhecidos como testes de sensibilidade.

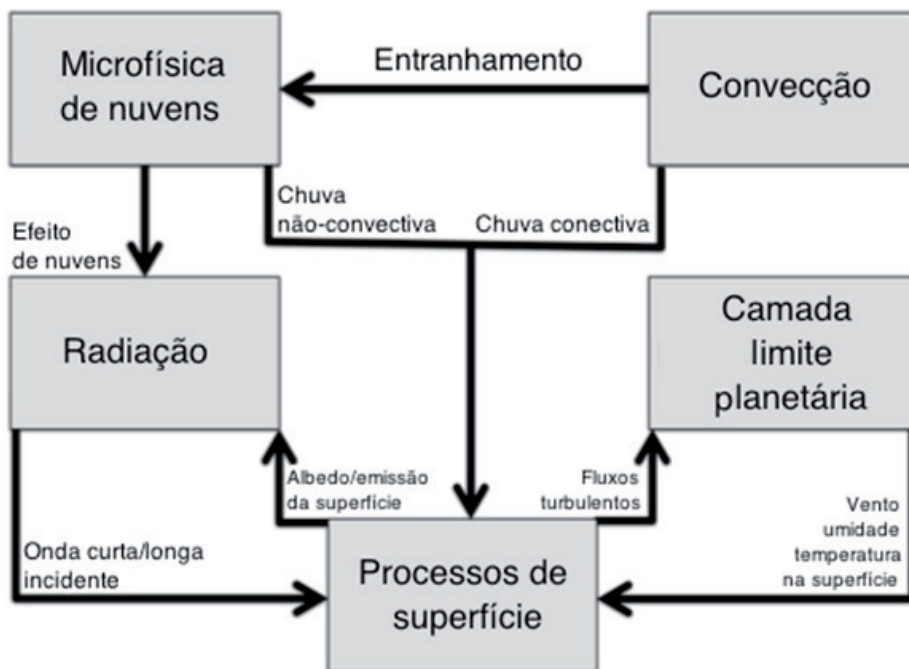


Figura 1. Interação entre os diferentes processos de subgrade considerados no WRF
Adaptado de ZITTIS et al. (2014)

1.3 Definição do conjunto

As escolhas das parametrizações físicas adotadas para cada membro da previsão por conjunto foram baseadas em estudos que avaliaram os desempenhos das distintas parametrizações do modelo WRF (FERREIRA, 2007; CALDWELL et al., 2009; HU et al., 2010; MEDEIROS, 2011; BENDER, 2012; BALZARINI et al., 2014; CALVETTI e PEREIRA FILHO, 2014; DASARI et al., 2014; DA SILVA e FISCH, 2014; OLIVEIRA, 2014; ZITTIS et al., 2014 ; MACHADO et al., 2015). Os processos de subgrade que tendem a apresentar maiores influências sobre as variáveis meteorológicas de superfície, como temperatura, umidade relativa do ar, precipitação e velocidade do vento, foram a parametrização para a camada limite atmosférica (CLA), microfísica de nuvens e convecção.

Para a parametrização da CLA Calvetti & Pereira Filho (2014) concluíram que o esquema da Universidade de Yonsei (YSU), de fechamento local, e a versão 2 do esquema *Asymmetric Convective Model*, (ACM2) – o qual usa fechamento não local para resolver

os fluxos turbulentos das correntes ascendentes e fechamento local para os fluxos em correntes descendentes na CLA - apresentaram melhores desempenhos. Por exemplo, HU et al. (2010) avaliaram a sensibilidade do WRF testando três esquemas para a camada limite: YSU, MYJ (Mellor-Yamada-Janjic) e o esquema de Pleim-Xu, também chamado na literatura de ACM2 (*Asymmetric Convective Model, versão 2*), aplicado à região do Texas, EUA. Os autores encontraram diferenças significativas nas simulações das variáveis de temperatura e umidade à superfície e observaram que os esquemas YSU e ACM2 apresentaram desempenhos semelhantes, superestimando as temperaturas e subestimando a umidade nos níveis mais baixos da atmosfera (ou seja, reproduzindo uma atmosfera mais quente e seca); porém, esses esquemas apresentaram erros menores do que o de MYJ. Os autores comentam que parte dessas diferenças pode ser explicada pelo fato de os modelos YSU e ACM2 serem modelos de turbulência não local, diferentemente do MYJ, que possui um fechamento local¹ e que, portanto, os dois primeiros tendem a promover mistura vertical mais intensa, aumentando a taxa de entranhamento no topo da CLA e tendendo a reproduzir uma atmosfera mais quente e seca no período noturno nos níveis mais próximos à superfície.

BALZARINI et al. (2014) testaram cinco diferentes esquemas de parametrização da CLA para a região do Vale Pó, Itália: três esquemas de fechamento não local YSU, ACM2 e MRF, e dois de fechamento local MYJ e UW. Os autores compararam os dados modelados com observações de diversas naturezas e encontraram resultados bastante similares, todos reproduzindo uma atmosfera mais quente e úmida em níveis mais baixos e maior intensidade do vento. No entanto, os maiores desvios foram encontrados nas simulações com os esquemas de fechamento local para a turbulência. Esses autores reportam melhoramentos na simulação da camada limite noturna utilizando-se os esquemas de fechamento local, enquanto os esquemas de fechamento não local tendem a superestimar a mistura turbulenta no período da noite.

Para a parametrização de microfísica, Calvetti & Pereira Filho (2014) sugerem o uso de três esquemas de parametrização para o conjunto: *WRF Single-Moment 6-class* (WSM6), New Thompson e o esquema de Morrison. O esquema WSM 6-class também foi bem avaliado de forma geral pelos trabalhos levantados considerando também que esse esquema foi desenvolvido para simulações em alta resolução e é o único que considera seis classes de hidrometeoros. Calvetti & Pereira Filho (2014) aplicaram uma simulação por conjunto variando as parametrizações de CLA, microfísica de nuvens e convecção

¹ Esquemas que usam o fechamento local para turbulência consideram que os fluxos turbulentos na CLA dependem unicamente do gradiente vertical das propriedades médias, enquanto os esquemas que usam esquema de fechamento não local consideram que os fluxos turbulentos são promovidos por grandes vórtices que transportam o fluido até longas distâncias, usando termos adicionais predeterminados nas equações ou resolvendo-os explicitamente.

com o WRF para a Bacia Hidrográfica do Rio Iguaçu, no Paraná, e encontraram melhores estimativas de chuva ao usar o esquema de Morrison para microfísica de nuvens.

A parametrização de processos convectivos também tem uma influência importante sobre as variáveis em toda a coluna atmosférica e os diferentes esquemas de parametrização também devem ser considerados para a previsão por conjunto.

Oliveira (2014) avaliou três diferentes esquemas de parametrização de Cumulus do WRF bastante utilizados na literatura: Betts-Miller-Janjic, Kain-Fritsch e de Grell-Devenyi. De acordo com o autor, os esquemas de Kain-Fritsch e Grell-Devenyi apresentaram melhores resultados em comparação com o desempenho de Betts-Miller-Janjic, o qual foi construído sobre considerações que tendem a simplificar o problema do fluxo convectivo (processos de entranhamento e detranhamento e correntes descendentes no interior da nuvem).

Oliveira (2014) concluiu que o esquema de Kain-Fritsch apresentou melhores resultados, além de ter menor custo computacional comparado ao o esquema de Grell-Devenyi, o qual utiliza um conjunto de submodelos termodinâmicos na estimativa de precipitação. Por isso, Calvetti & Pereira Filho (2014) recomendam a utilização do esquema de Kain-Fritsch para o conjunto.

2 Metodologia adotada

Optou-se pela implantação de dois domínios para as rodadas com o WRF, usando como condições iniciais e de contorno as análises do modelo global GFS com resolução de 0,25°. O primeiro domínio, ou grade mãe, com resolução espacial de 9km e saídas a cada 3 horas; o segundo domínio, aninhado, com resolução espacial de 3km e saídas a cada uma hora. Ambos os domínios são discretizados na vertical em 42 níveis. A Figura 2 apresenta os domínios aninhados. As parametrizações definidas para os membros do conjunto podem ser conferidas na Tabela 1.

Para o domínio aninhado optou-se por não fazer o uso de esquemas de parametrização para convecção, já que para simulações de alta resolução espacial os esquemas para microfísica de nuvens resolvem explicitamente os processos convectivos.

Para a parametrização dos demais processos físicos de subgrade no WRF, os esquemas mais comumente utilizados e melhor avaliados nesses trabalhos são considerados, sendo esses:

- Radiação de onda longa - versão mais recente do *Rapid Radiation Transfer Model*, chamada de RRTM;

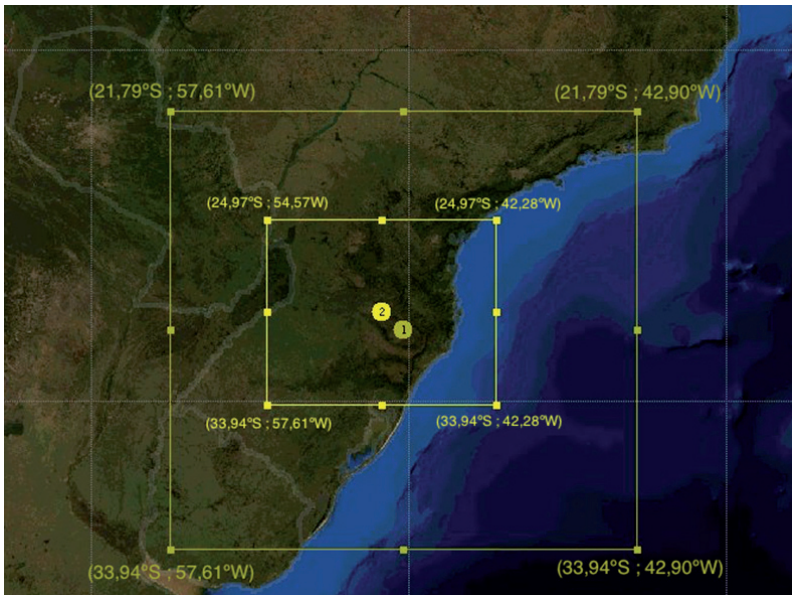


Figura 2. Os dois domínios do modelo WRF (*Weather Research Forecast*) para a previsão por conjuntos usados neste estudo

Tabela 1. Configuração dos membros do conjunto e as parametrizações adotadas para cada membro do conjunto. O número ao lado do nome do esquema se refere ao código da opção no arquivo de configuração *namelist.input* do modelo WRF

Membros/ Processos	Microfísica de Nuvens	Camada limite Planetária/superficial	Convecção (Grade mãe)	Convecção (Grade aninhada)
M1-WYK (controle)	WSM6 (6)	YSU/MM5 (1)	Kain-Fritsch (1)	Explícito (0)
M2-WYT	WSM6 (6)	YSU/MM5 (1)	Tiedtke (6)	Explícito (0)
M3-WAK	WSM6 (6)	AMC2/Pleim-Xu (7)	Kain-Fritsch (1)	Explícito (0)
M4-WAT	WSM6 (6)	AMC2/Pleim-Xu (7)	Tiedtke (6)	Explícito (0)
M5-TYK	Thompson (8)	YSU/MM5 (1)	Kain-Fritsch (1)	Explícito (0)
M6-TYT	Thompson (8)	YSU/MM5 (1)	Tiedtke (6)	Explícito (0)
M7-TAK	Thompson (8)	AMC2/Pleim-Xu (7)	Kain-Fritsch (1)	Explícito (0)
M8-TAT	Thompson (8)	AMC2/Pleim-Xu (7)	Tiedtke (6)	Explícito (0)
M9-MYK	Morrison et al. (10)	YSU/MM5 (1)	Kain-Fritsch (1)	Explícito (0)
M10-MYT	Morrison et al. (10)	YSU/MM5 (1)	Tiedtke (6)	Explícito (0)
M11-MAK	Morrison et al. (10)	AMC2/Pleim-Xu (7)	Kain-Fritsch (1)	Explícito (0)
M12-MAT	Morrison et al. (10)	AMC2/Pleim-Xu (7)	Tiedtke (6)	Explícito (0)

- Radiação de onda curta - versão RRTM para ondas curtas, o qual é análogo ao esquema para onda longa;
- Superfície terrestre - o mais comumente utilizado é o esquema de Noah, com representação de subsolo em quatro camadas para temperatura e umidade e consideração física de superfícies congelada e coberta por neve.

3 Implementação operacional na Epagri/Ciram

São realizadas diariamente previsões para 54 horas com o conjunto de modelos. Para as simulações é usada a análise das 18 horas TMG (Tempo Médio de Greenwich) do modelo Global Forecast System (GFS), da NOAA, como condições iniciais e de contorno nas simulações, com resolução espacial de 0,25°, inseridas em intervalos de 1 hora nas rodadas. As saídas das rodadas são feitas em intervalos de três horas para a grade mãe e de uma hora para a grade aninhada. A Tabela 2 descreve as variáveis de saída das rodadas dos membros que são usadas na geração de produtos meteorológicos.

3.1 Exemplo da previsão de geadas *on-line* gerada a partir das saídas da previsão por conjunto

A “Previsão de Geadas *On-line*” é uma ferramenta disponibilizada no sítio da Epagri/Ciram na forma de imagens geográficas digitais. Com este produto é possível acompanhar a probabilidade (chance) de ocorrência de geadas de radiação de diferentes intensidades em qualquer ponto do território catarinense para períodos de 24 e 48 horas. Fornece aos agricultores uma ferramenta de avaliação dos possíveis riscos das geadas para suas respectivas culturas de forma a orientar a tomada de decisão para a adoção de medidas de proteção.

Entre as principais medidas adotadas, têm-se: o ensacamento de frutos e a antecipação da colheita (banana); a aplicação de irrigação, de fumaça e de aminoácidos (fruticultura); o atraso no transplante de mudas (maracujá) e a cobertura de mudas com lonas ou palha (horticultura).

Esta ferramenta computacional é baseada no modelo matemático estatístico desenvolvido por Araújo et al. (2009), que relaciona as saídas da previsão numérica de tempo por conjunto com as probabilidades históricas de ocorrência de geadas. Utilizando

Tabela 2. Descrição das variáveis de saída dos membros do conjunto de configurações físicas do WRF

Variável	Descrição e unidade	Nível/Altitude
Velocidade do vento em níveis de pressão coordenada zonal	U (m.s ⁻¹)	4 níveis: 850,700,500,250hPa
Velocidade do vento em níveis de pressão coordenada meridional	V (m.s ⁻¹)	4 níveis: 850,700,500,250hPa
Temperatura do ar à superfície	$T2$ (°C)	2 metros
Pressão atmosférica na estação	$PSFC$ (Pa)	Superfície
Velocidade do vento próximo à superfície coordenada zonal	$U10$ (m.s ⁻¹)	10 metros
Velocidade do vento próximo à superfície coordenada meridional	$V10$ (m.s ⁻¹)	10 metros
Altura do terreno	HGT (m)	-
Precipitação da grade	$RAIN$ (mm)	Superfície
Precipitação convectiva	$RAINNC$ (mm)	Superfície
Determinação de superfície	$LANDMASK$ (água-0 / terra-1)	-
Geopotencial.	$geopt$ (m ² .s ⁻²)	4 níveis: 850,700,500,250hPa
Temperatura do ar em níveis de pressão	tc (°C)	4 níveis: 850,700,500,250hPa
Temperatura de ponto de orvalho à superfície	$td2$ (°C)	2 metros
Umidade relativa do ar à superfície	$rh2$ (%)	2 metros
Pressão atmosférica ao nível do mar	slp (hPa)	Nível médio do mar

As doze simulações simultâneas do conjunto são realizadas pelo cluster HP/Intel, adquirido pela Epagri/Ciram no âmbito dos projetos Finep/Climasul e Finep/Epagri-Oepas. Os diretórios e as rotinas usadas em toda a operacionalização no cluster são mostrados no Anexo (página 20).

modelos lineares generalizados é computado um índice de geada. Empregando-se equações de regressão, esse índice é posteriormente associado às probabilidades de ocorrência de geada de radiação para três classes distintas: “geada” implica temperaturas de relva (T.relva) menores que 0°C; “geada moderada a forte”, para T.relva menores que -2°C; e “geada forte”, para T.relva menores que -6°C.

Operacionalmente, uma rotina computacional de pré-processamento calcula os tercís dos campos de temperatura mínima do ar, usando os 12 membros das rodadas diárias da previsão por conjunto. Os índices dos membros correspondentes ao tercís central são selecionados (quatro membros) e utilizados para computar valores médios de temperatura mínima do ar, umidade relativa e intensidade do vento. Esses valores médios são empregados como entradas do modelo matemático de Araújo et al. (2009).

A Previsão de Geadas *On-line* pode ser acessada, gratuitamente, através do endereço eletrônico da Epagri/Ciram, na aba SERVIÇOS/PREVISÃO DO TEMPO/PREVISÃO DE GEADAS, ou diretamente pelo link: http://ciram.epagri.sc.gov.br/previsao_geada/. A Figura 3 apresenta um exemplo de visualização do produto, conforme apresentado na página web da Epagri/Ciram.

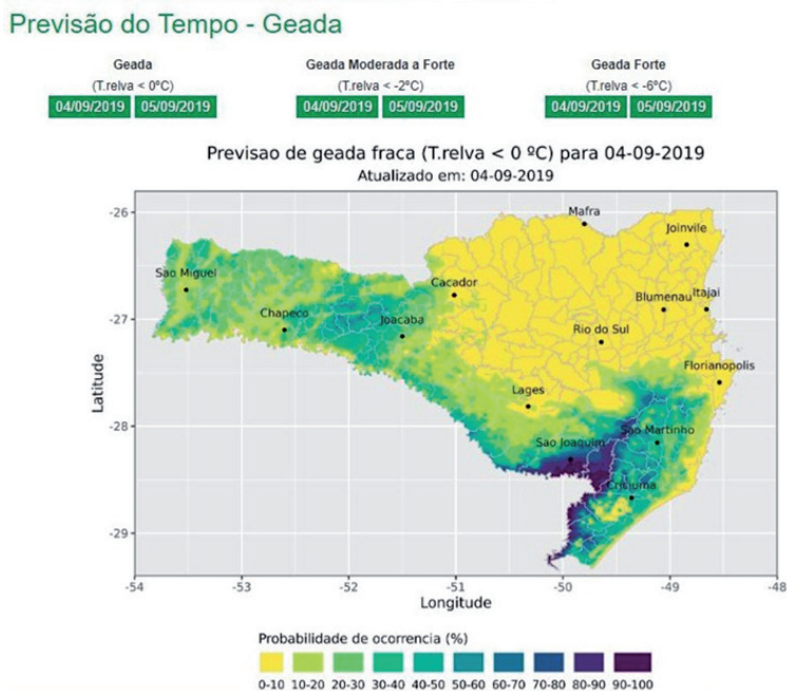


Figura 3. Exemplo da ferramenta de previsão de geadas baseada nas saídas da previsão por conjunto do modelo WRF da Epagri/Ciram

4 Referências

- ARAUJO, C.E.S., MASSIGNAM, A.M, BORGES, R.C., MINUZZI, R.B. **Previsão de geadas em Santa Catarina. Florianópolis - SC:** Epagri, 2009. 12p. (Relatório do Projeto PREVISÃO DE EVENTOS EXTREMOS NO SUL DO BRASIL – FINEP 14). Disponível em: http://www.ciram.sc.gov.br/images/documentos/finep14/Rel_Finep14_Geada.pdf Acesso em: 14 out. 2019.
- ARAVÉQUIA, J.A.; DE QUADRO, M.F.L. **Aspectos gerais da previsão numérica de tempo e clima.** Cachoeira Paulista: CPTEC, 2003. Disponível em: <http://mtcm16b.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/jeferson/2003/12.23.10.21/doc/publicacao.pdf>. Acesso em 20 mai. 2020.
- BALZARINI, A., ANGELINI, F., FERRERO, L., MOSCATELLI, M., PERRONE, M. G., PIROVANO, G., RIVA, G. M., SANGIROGI, G., TOPPETTI, A. M., GOBBI, G. P. e BOLZACCHINI, E. Sensitivity analysis of PBL schemes by comparing WRF model and experimental data. **Geosci. Model Dev. Discuss**, v.7, p.6133–6171, 2014.
- BENDER, F. D. **Verificação da previsão do tempo em São Paulo com o modelo operacional WRF.** Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo. 2012.
- CALDWELL, P., CHIN, H. N. S., BADER, D. C., BAIA, G. Evaluation of a dynamical downscaling simulation over California. **Clim. Change** , v.95. p.499-521. 2009.
- CALVETTI, L., PEREIRA FILHO, A. J. Ensemble Hydrometeorological Forecasts Using WRF Hourly QPF and Top Model for a Middle Watershed. **Adv. in Meteor.** p.1-12. v.20, 2014.
- CARDOSO, R. M., SOARES, P. M. M., MIRANDA, P. M. A. e BELO-PEREIRA, M. WRF high resolution simulation of Iberian mean and extreme precipitation climate. **Int. J. Climatol.** v.33, p.2591-2608, 2012.
- DASARI, P. D., SALGADO, R., PERDIGAO, J., CHALLA, V. S. A regional climate simulation study using WRF-ARW model over Europe and Extreme Temperature Weather Events. **Int. J. of Atmos. Sci.** 2014.
- Da SILVA, A. G., FISCH, G. Avaliação do modelo WRF para a previsão do perfil do vento no Centro de Lançamento de Alcântara. **Rev. bras. meteorol.** v. 29, p.259-270. 2014.
- DRAGAUD, I. C. A V. **A influência da temperatura da superfície do mar na simulação computacional da circulação atmosférica na região costeira do Estado do Rio de Janeiro.** Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio de Janeiro. 2014.

FERREIRA, A. P. G. F. **Sensibilidade às parametrizações físicas do WRF nas previsões à superfície em Portugal Continental**. Relatório técnico de estágio. Universidade de Aveiro. 2007. 125p.

HEIKILLA U., SANDVIK A., SORTERBERG A. Dynamical Downscaling of ERA-40 in complex terrain using WRF regional Climate model. **Clim. Dyn.** v.37, n.7-8, p.1551-1564. DOI 10.1007/s00382-010-0928-6. 2010 .

HU, X. M., NIELSEN-GAMMON, J. W. e ZHANG, F. Evaluation of Three Planetary Boundary Layer Schemes in the WRF Model. **J. of App. Meteor, and Clim.** v.49, p.1831-1844. 2010.

JASPER, J. D., MEIGHEN, P. J. Eds. Model systematic errors. Annual BMRC Modelling Workshop, 12. Melbourne, Victoria, Australia, WCRP/WGNE, BMRC Research Rep. 80, 2000. **Extended Abstracts**. 288p.

KAAS, E., GULDBERG, A., MAY, W., DEQUE, M. Using tendency errors to tune the parameterization of unresolved dynamical scale interactions in atmospheric general circulation models. **Tellus**, v.51 A, p.612-629. 1999.

MACHADO, J. P., QUADRO, M. CARDOSO, C. S., ARAUJO, C. E S. de, RODRIGUES, G. L., COSTA, N. M., RODRIGUES, T. S., ALVES, L. Avaliação das parametrizações físicas do modelo WRF para um evento de geadas para o sul do Brasil. In: CONGRESSO ARGENTINO DE METEOROLOGIA, 12, 2015. Mar del Plata: CAM – Centro Argentino de Meteorológicos. **Anais...** 2015.

MEDEIROS, J. S. N. **Avaliação do desempenho do modelo numérico WRF para a simulação do clima em Portugal**. 2011. Dissertação de Mestrado. Departamento de Engenharia Geográfica, Geofísica e Energia. Universidade de Lisboa.

OLIVEIRA, E. M. G. **Parametrizações convectivas no modelo WRF e sua relação com a precipitação durante ciclogêneses no sudeste da América do Sul**. 2014. Dissertação de Mestrado. Universidade de Santa Maria.

PALMER, T. N., 1999. **Predicting uncertainty in forecasts of weather and climate**. **ECMWF**. Tech. Memo. 294, European Centre for Medium-Range Weather Forecasts, Shinfield Park, Reading, United Kingdom, 64p.

PEREIRA, A.R.; ANGELOCCI, L.R.; SENTELHAS, P. C. 2001. **Agrometeorologia: fundamentos e aplicações práticas**. Guaíba-RS: Agropecuária Guaíba. 478p.

PHILLIPS, T.J. et al. Evaluating parameterizations in general circulation models: Climate

simulation meets weather prediction. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v.85, n.12, p.1903-1916, 2004.

PINTO, H.S.; BRUNINI, O.; ZULLO Jr., J. Zoneamento de riscos meteorológicos e climáticos para a agricultura do estado de São Paulo. In: WORKSHOP INTERNACIONAL SOBRE SEGUROS PARA O AGRONEGÓCIO, 1. Piracicaba: CEPEA/ESALQ-USP, DEAS e ANSP, 1999. **Anais...** p.333-360.

SELUCHI, M.E. & J.T. NERY. Condiciones meteorologicas asociadas a la ocurrencia de heladas en la región de Maringá, **Rev. Bras. Meteorol.**, v.7(1), p.523-534. 1992.

STENSRUD, D. J., BAO, J. W., WARNER, T. T. Using initial condition and model physical perturbations in short-range ensemble simulations of mesoscale convective systems. **Mon. Weather Rev.**, v.128, p.2077-2107. 2000.

SKAMAROCK, W. C., KLEMP, J. B., DUDHIA, J., GILL, D. O., BARKER, D. M., DUDA, M. G., HUANG, X., WANG, W., POWERS, J. G. 2008. **A description of the Advanced Research WRF version 3**. NCAR Technical Note. Mesoscale and Macroscale Division, NCAR, Bolder, Colorado, EUA. 113p.

TUBELIS, A., NASCIMENTO, F. J. L. de. **Meteorologia Descritiva: Fundamentos e Aplicações Brasileiras**. São Paulo: Nobel, 1984. 198p.

WILKS, D. S. 2006. **Statistical method in the atmospheric sciences**. Elsevier. 630p.

WGNE. Workshop on systematic errors in models of the atmosphere. CAS/JSC Working Group Rep. 12, **WMO Tech. Doc. 273**, Geneva, Switzerland, 382p. 1988.

ZITTIS, G., HADJINICOLAOU, P., LELIEVELD, J. Comparison of WRF Model Physics Parameterizations over the MENA-CORDEX Domain. **Am. J. Clim. Change**, v.3, p.490-511. 2014.

Anexo - Diretórios e rotinas do Ensemble-WRF no cluster

Diretório principal das rotinas (\$path_mod): /home/wrf/src/WRFV3/DOMAIN

Diretório do GFS (\$path_dados ou \$path_grib): /dados2/climasul/dados/gfs

Diretório que salva as saídas em NETCDF: /dados2/climasul/dados/ensemble/mN,

onde N é o membro do conjunto.

Rotinas principais do ensemble em /DOMAIN

- roda_preproc_ensemble.sh, chama as rotinas
- get_gfs.sh (no diretório get_gfs/bin./get_gfs.sh). Baixa os dados do GFS no diretório /dados2/climasul/dados/gfs
- geogrid.sh (no diretório ./geogrid)
- prep_wrf_ensemble.sh (diretório ./wpsprd)

- roda_membroN_ensemble.sh, onde N é o número do membro do conjunto. Chama os scripts
- run_wrf_ensemble_mN.sh, onde N é o número do membro do conjunto (no diretório ./wrfprd)
- pos_proc_prd_ensemble.sh (no diretório ./postprd/ARWpost).

IMPORTANTE Chama um script que está em /dados2/climasul/cron/gera_ctl_ensemble.sh. Converte os dados em NETCDF no diretório diário criado em /dados2/climasul/dados/ensemble/mN, onde N é o membro do conjunto.

-  www.epagri.sc.gov.br
-  www.youtube.com/epagritv
-  www.facebook.com/epagri
-  www.twitter.com/epagrioficial
-  www.instagram.com/epagri
-  linkedin.com/company/epagri
-  <http://publicacoes.epagri.sc.gov.br>