



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

ESTUDOS DE COMPARAÇÃO DE DUAS DINÂMICAS NO MODELO GLOBAL DO CPTEC: ESPECTRAL EVOLUÇÕES FINITOS

Número do Processo Institucional: 444327/2018-5

Número do Processo Individual: 302037/2019-5

Bolsista: Nicolas Moises Cruz Salvador

Supervisor: Jose Paulo Bonatti

Área: CPT - Centro de Previsão do Tempo

Vigência original da bolsa: 01/01/2021 a 31/12/2021

Modalidade da bolsa: PCI-DB

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

INPE
São José dos Campos
2021

RESUMO

Com este projeto se pretende implementar e avaliar uma dinâmica nova em volumes finitos no modelo global do CPTEC com colaboração do GFDL/NOAA. Para atingir este objetivo, na primeira fase trabalhamos a dinâmica espectral do modelo global do CPTEC (BAM, Figuera et al. 2016) e com a dinâmica em volumes finitos do GFDL (AM4, Zhao et al. 2018). Na segunda fase deverá realizar experimentos com estes modelos em modo de pesquisa. Estes experimentos serão realizados em escala de tempo e de clima e diferentes resoluções espaciais e verticais. Os resultados destas comparações serão de extrema utilidade para a tomada de decisões com relação a futura dinâmica do futuro modelo global unificado do CPTEC, e conseqüentemente para a modernização do sistema de previsão de tempo e clima para o Brasil.

Palavras-chave: Modelo Global. Volumes finitos. Fv3. Core Dinâmico.

ABSTRACT

This project aims to implement and evaluate new dynamics in finite volumes in the global model of CPTEC with collaboration from GFDL / NOAA. To achieve this goal, in the first phase, we worked on the spectral dynamics of the global model of CPTEC (BAM, Figueroa et al. 2016) and with the dynamics in finite volumes of the GFDL global model (AM4, Zhao, et al. 2018). In the second phase, should carry out experiments with these models in research mode. These experiments will be carried out on a time and climate scale and different spatial and vertical resolutions. The results of these comparisons will be beneficial for making decisions regarding the dynamics of the future Unified Global model of CPTEC, consequently, for the modernization of the Brazilian weather and climate forecasting system.

Keywords: Global Model. Finite Volume. Fv3. Dynamical Core.

LISTA DE FIGURAS

Pág.

Figura 4.1 Dados de entrada observados em grade regular.....	12
Figura 4.2 Grade cubada na configuração do modelo AM4	13
Figura 4.3 Domínio correspondente a grade regular da face 5 com uma resolução de 0.5° para a pressão de superfície.....	13
Figura 4.4 Comparação entre método de quarta ordem que usa FV3 com diferenças finitas centradas e espectrais com aproximação semi-langragiana.	15
Figura 4.5 Configuração de grade C e D em volumes finitos no modelo AM4.....	14
Figura 4.6 Pós-processamento de 6 faces a grade regular em coordenadas verticais de pressão.....	16
Figura 4.7 Saída do campo de vento sazonal para América do Sul, entre modelo AM4 e dados observados era-5 para uma rodada climática de 15 anos.....	17
Figura 4.8 Saída do campo de precipitação para janeiro do modelo AM4 com condições iniciais de 2013	18

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
CPTEC	Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos
BAM	Brazilian Global Atmospheric Mode
FV3	Finite-Volume Cubed-Sphere Dynamical Core
GFDL	Geophysical Fluid Dynamic Laboratory
NCEP	National Centers for Environmental Prediction
GFS	Global Forecast System
NOAA	<i>National Oceanic and Atmospheric Administration</i>
AM4	Atmospheric Model 4 FV3
GNU	Sistema operativo do projeto GNU
SVN	Suversion. Sistema de controle de versão open-source que gerencia arquivos e diretórios
ERA5	5ta geração do ECMWF atmospheric reanalysis

ECMWF European Center for Medium-Range Weather Forecasts

LISTA DE SÍMBOLOS

hPa	Hecto Pascal
°	Graus sexagesimais
km	Kilometro

SUMÁRIO

	<u>Pág.</u>
1 HISTÓRICO.....	10
2 OBJETIVO.....	11
2.1 Objetivos Específicos.....	11
3 Atividades desenvolvidas durante o período da bolsa.....	11
4 Resultados Obtidos em função do Plano de trabalho proposto.....	12
4.1 Resultados computacionais.....	12
4.2 O processos do modelo AM4.....	12
4.2.1 O Pre-processamento.....	12
4.2.2 A Dinâmica FV3 do modelo AM4.....	14
4.2.3 O Pos-Processamento.....	15
4.3 Resultados preliminares das simulações.....	15
4.4 Modificação dos andes e condições iniciais.....	16
4.5 Trabalhos futuros.....	16
5 Publicações Científicas realizadas durante o período da bolsa.....	18
6 CONCLUSÃO.....	18
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	20
8 APÊNDICE A.....	21

1 HISTÓRICO

O Modelo Global do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC), BAM (Brazilian Global Atmospheric Model), é o modelo operacional de previsão de tempo e clima, e é a componente atmosférica do modelo acoplado do centro. Este modelo necessita seu constante aprimoramento para melhorar as previsões de tempo e clima. Uma das deficiências deste modelo para previsões em altas resoluções espaciais e em regiões com complexas topografias é sua dinâmica espectral. Este tipo de dinâmica, gera oscilações espúrias denominado efeito Gibbs, que por sua vez cria precipitações espúrias em torno de topografias complexas como a Cordilheira dos Andes. Em adição, esta dinâmica reduz o efeito da barreira criada pela Cordilheira dos Andes. Este efeito barreira é responsável pela formação do jato de baixos níveis ao leste dos Andes, que transporta umidade da Amazônia para o Sul do Brasil. Por isso, e pelas limitações na escalabilidade para supercomputadores massivamente paralelos, os modelos espectrais baseados em harmônicos esféricos estão sendo abandonados pelos grandes Centros Mundiais. O CPTEC tem planos de modernizar a dinâmica de seu modelo global. Nesta perspectiva, este projeto tem como objetivo, comparar a dinâmica espectral com outra dinâmica em volumes finitos, FV3 (Finite-Volume Cubed-Sphere Dynamical Core) do GFDL (Geophysical Fluid Dynamic Laboratory). O FV3 é uma dinâmica não hidrostática e muito eficiente computacionalmente (Harris e Lin, 2013; Putman e Lin, 2007). Esta dinâmica foi selecionada pelo NCEP (National Centers for Environmental Prediction) para seu modelo operacional GFS (Global Forecast System), gerando o modelo GFS-FV3. O modelo atmosférico AM4 do GFDL que contém esta dinâmica, é usado neste projeto para testar seu desempenho sobre a América do Sul em comparação da dinâmica espectral.

2 OBJETIVO

Aprimorar a modelagem numérica global e regional do sistema integrado a atmosfera, oceano, superfície continental e aerossóis/química.

2.1 Objetivos Específicos

- a) Realização de diferentes experimentos em diferentes resoluções espaciais e verticais com o modelo espectral, em rodadas curtas (tempo) e longas (clima)

- b) Realização de diferentes experimentos em diferentes resoluções espaciais e verticais com o modelo em volumes finitos do GFDL/NOAA

- c) Avaliação da performance das duas dinâmicas (espectral e volumes finitos) sobre os Andes, Sul do Brasil, Sudeste e Amazônia.

- d) Apoiar na avaliação do modelo global do CPTEC com a nova dinâmica.

3 ATIVIDADES DESENVOLVIDAS DURANTE O PERÍODO DA BOLSA

- Familiarização com o modelo global espectral BAM, e com modelo em volumes finitos AM4.

- A implementação do AM4 no ambiente de supercomputação TUPÃ, e sua automatização do sistema de compilação (paralela com GNU), pré-processamento e pós-processamento.

- Preparação de scripts de pré-processamento com restart e geração de condições iniciais para rodadas longas.

- Modificações na topografia sobre a América do Sul, para ver os efeitos de barreira dos andes na dinâmica do modelo.

4 RESULTADOS OBTIDOS EM FUNÇÃO DO PLANO DE TRABALHO

PROPOSTO

4.1 Resultados computacionais

Foi feita a configuração dos modelos BAM e AM4/FV3 no ambiente computacional do TUPÃ. Foi desenvolvido os scripts de pré-processamento, execução e pós-processamento, e foi definido um repositório no sistema de gerenciamento de versões (SVN). Parte dos procedimentos são mostrados no Apêndice A.

4.2 O processos do modelo AM4

4.2.1 O Pre-processamento

O modelo AM4 possui um módulo, que permite incorporar dados de entrada observados ou de análises de outros modelos em grade regular, como mostrado na figura 4.1

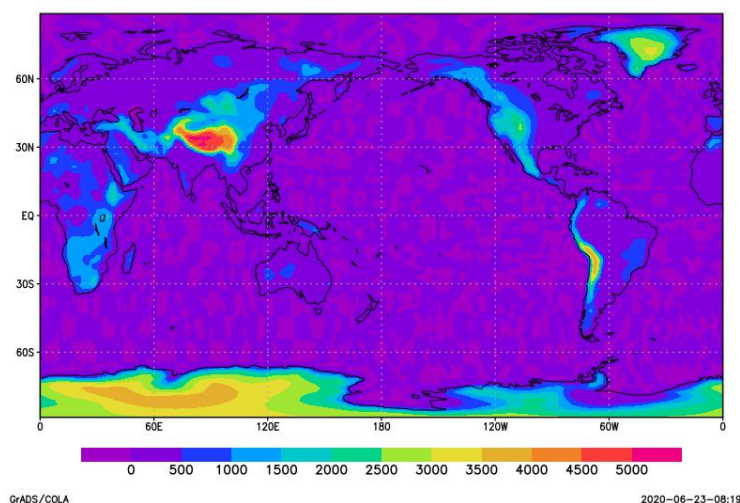


Figura4. 1 Dados de entrada observados em grade regular.

Estes dados, tem que ser transformados a um novo sistema denominado grade cubada, este novo sistema é composto de 6 faces com grade não estruturada, que trabalham como domínios do sistema independentes, ou seja eles processam numericamente todos o processos baixo uma grade estruturada. Isto facilita o processo computacional pois o sistema tem uma programação que não envolve processos muito complexos. A figura 4.2 mostra este tipo a configuração de grade cubada com as 6 faces.

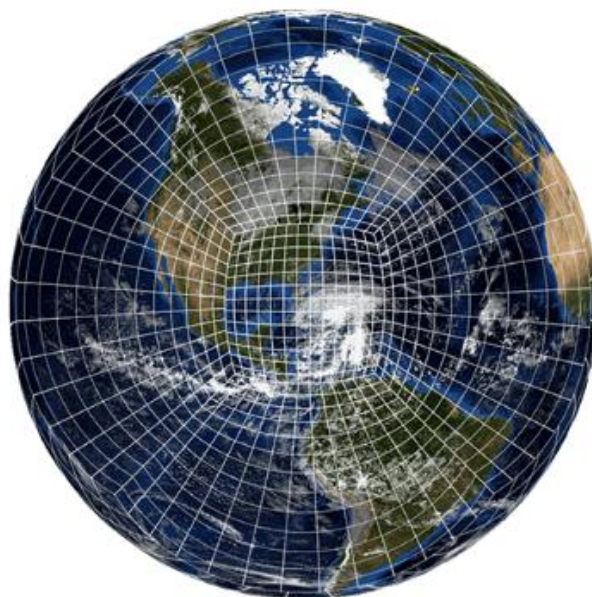


Figura 4.2 Grade cubada na configuração do modelo AM4

O modelo pode fazer a rodada com 6 subdomínios individuais como o mostrado na figura 4.3.

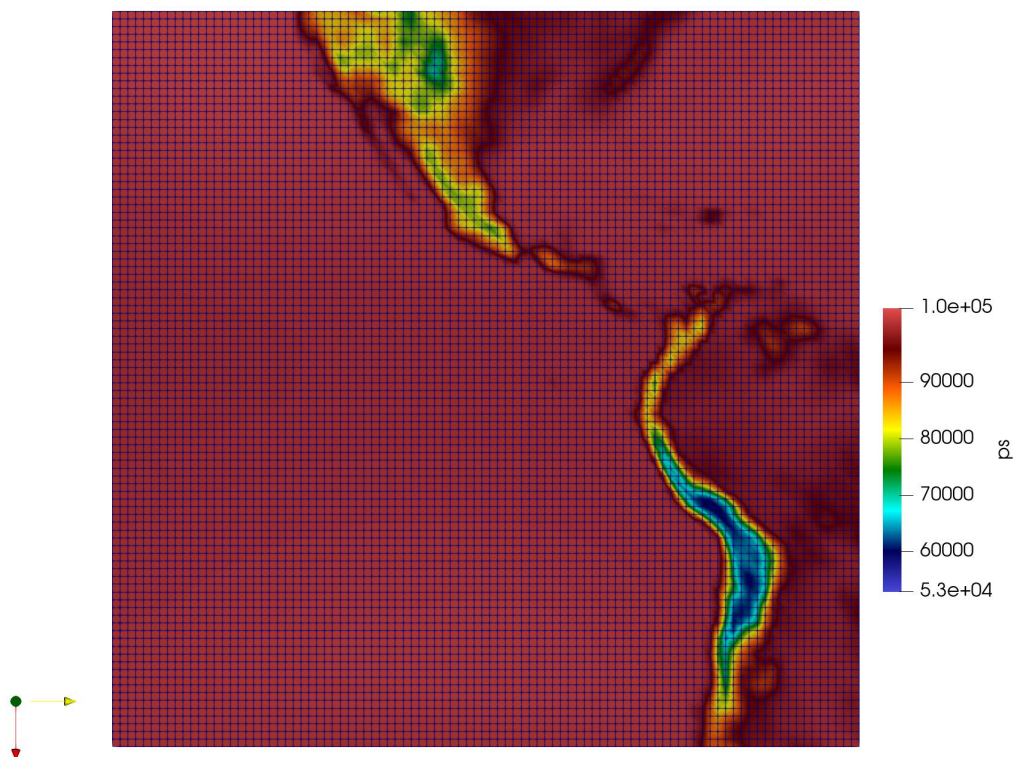


Figura 4.3 Domínio correspondente a grade regular da face 5 com uma resolução de 0.5° para a pressão de superfície.

4.2.2 A Dinâmica FV3 do modelo AM4

O modelo processa cada subdomínio de modo independente, as vantagens entre outras, também reside no método numérico que possui de alta ordem de reconstrução da função resolvida, denominado Piecewise Parabolic Method (PPM) Woodward & Colella (1984). O método é uma melhora do esquema upwind de Godunov (1959) - upwind Piecewise constant. Como se mostra na figura 4.4 se comparado ao tradicional método de diferenças finitas ou espectrais presente nos modelos atuais a reconstrução da função é mais próxima da solução direta.

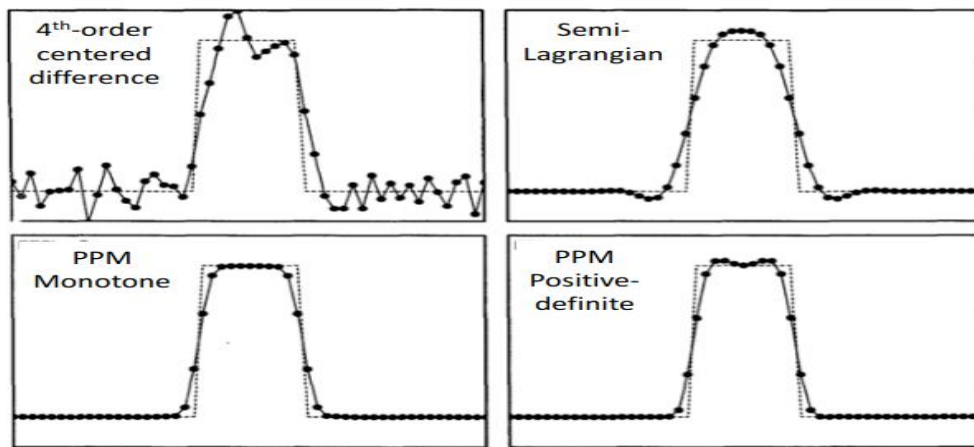


Figura 4.4 Comparação entre método de quarta ordem que usa FV3 com diferenças finitas centradas e espectrais com aproximação semi-langragiana.

Por outro lado, por ser desenvolvido em um sistema de grade regular, o modelo pode distribuir as variáveis em grades conhecidas para uma melhor solução do sistema sendo ademais não hidrostático. Estas grades são mostradas na figura 4.5

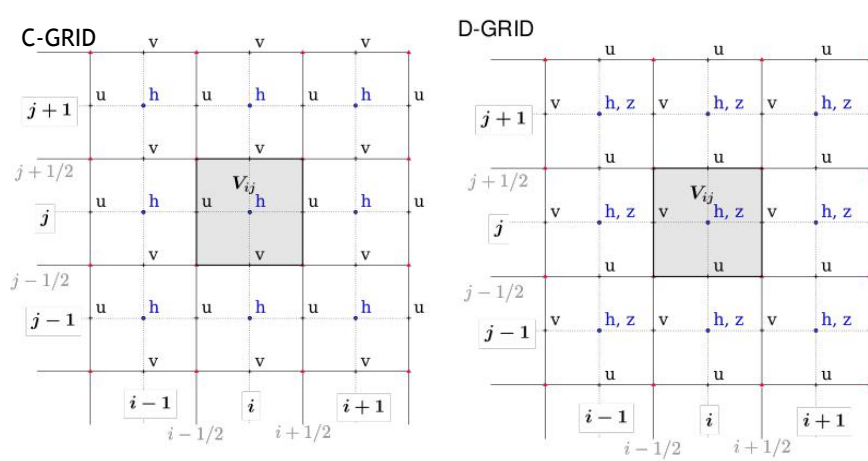


Figura 4.5 Configuração de grade C e D em volumes finitos no modelo AM4.

As coordenadas verticais no modelo AM4 são Lagrangianas, o que facilita um dos inconvenientes mais difíceis nos modelos atuais, o seguimento dos perfis de superfície como a topografia, gelo, entre outros.

4.2.3 O Pós-Processamento

Nesta etapa o modelo faz o processo inverso, passa de grade cubada para grade regular e em coordenadas verticais de pressão deixando o sistema com uma melhor configuração para sua visualização. Na figura 4.6 pode observar-se esse processo.

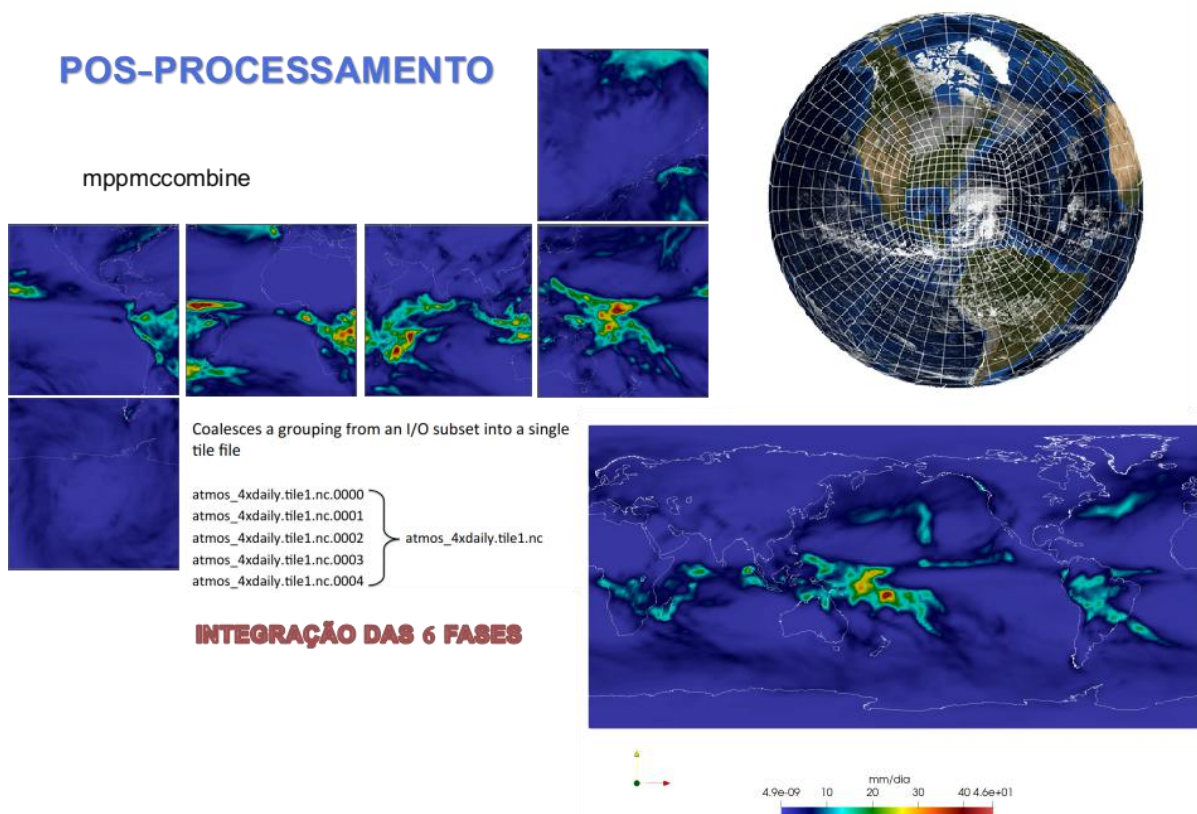


Figura 4.6 Pós-processamento de 6 faces a grade regular em coordenadas verticais de pressão

4.3 Resultados preliminares das simulações

Foram realizadas simulações com o modelo AM4/FV3 para o período 1979 – 1989 a uma resolução horizontal de 100 km e vertical 36 níveis. Na Figura 4.7 mostra-se o vento em baixos níveis (850 hPa) sobre a América do Sul para diferentes estações do ano. Em geral pode-se notar muita semelhança entre os resultados do modelo e reanálise. Exceto durante o verão e primavera, onde a intensidade do vento é mais forte que a reanálise na região das latitudes medias em torno de 50°S. Detalhes de

análise do jato em baixos níveis simulados pelos modelos AM4 e BAM estão em andamento, serão reportadas no próximo relatório.

4.4 Modificação dos andes e condições iniciais

Temos gerado condições iniciais a partir de dados do NCEP para rodadas a partir dos anos 2013, 2014 e 2015. Ainda temos dificuldades para gerar as mesmas condições para anos anteriores a 2009. Na Figura 4.8 mostra-se uma saída de precipitação para Janeiro de 2013 com dados de condições iniciais geradas em 2013.

A obtenção das condições iniciais atmosféricas necessárias para rodar o modelo é feita com a rotina denominado de pré-processamento *create/C* incluso no código do modelo AM4. Após a rodada do modelo com essas condições iniciais, pós-processamos as faces da esfera cubada, com geração dos arquivos diários e mensais 20130101.atmos daily.nc e 20130101.atmos month.nc contendo a informação da previsão das variáveis.

Na parte de modificações nas condições de contorno também, temos visto importante fazer rodadas sem os andes para poder ver sua influência na dinâmica da américa do sul. Geração de condições de contorno com topografia modificada sobre América do Sul com o fim de conhecer e testar os programas de criação das condições contorno;

4.5 Trabalhos futuros

Tendo em conta as modificações realizadas, as tarefas para o ano 2021 são enumeradas a seguir:

- 1) Geração das condições iniciais usando diferentes fontes de dados.
- 2) Geração de condições de contorno e iniciais para diferentes resoluções horizontais e verticais
- 3) Realizar testes de sensibilidade as mudanças na topografia sobre America do Sul
- 4) Estudar o impacto da dinâmica de volumes finitos na geração do jato de baixos níveis sobre America do Sul.

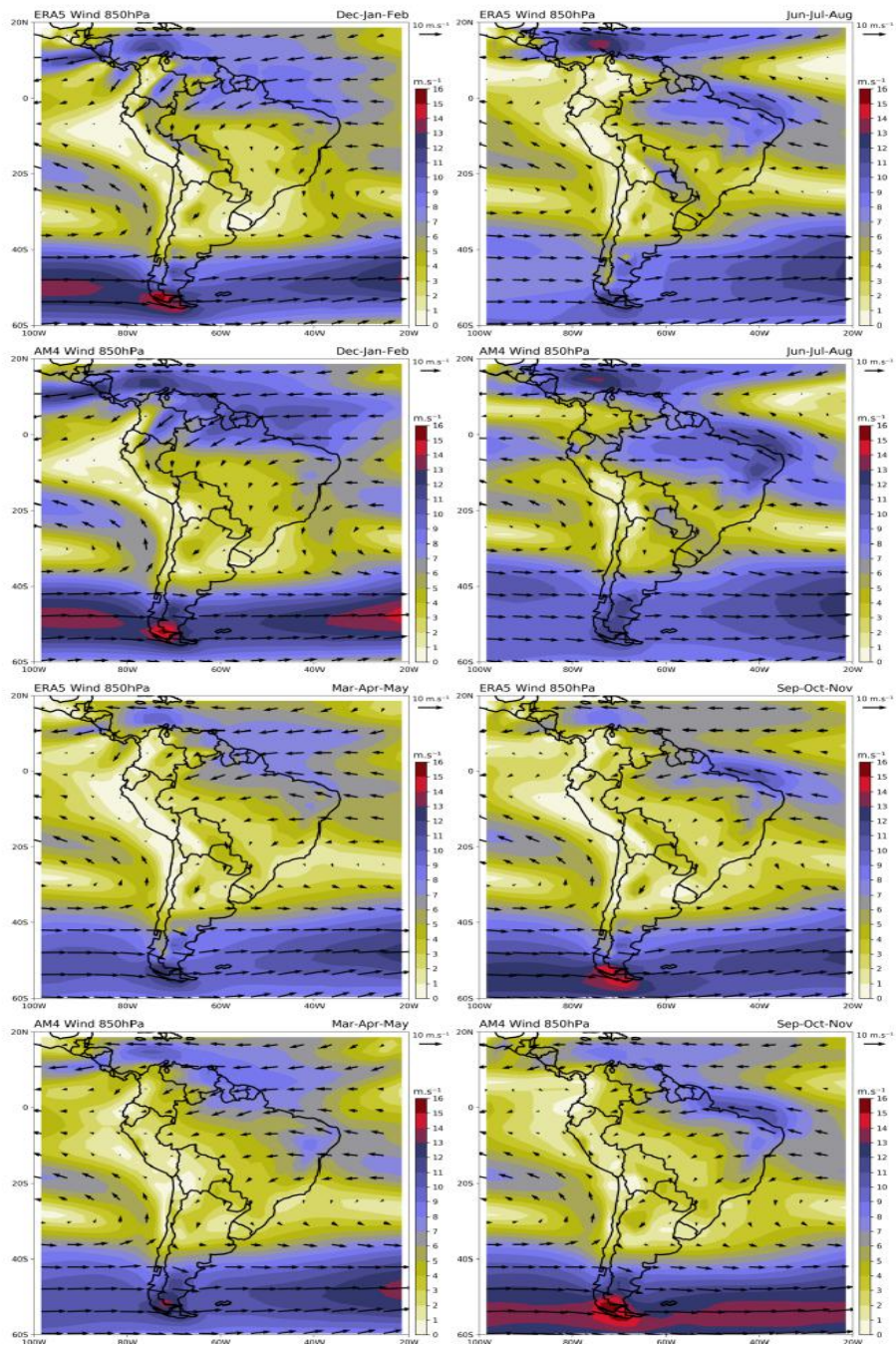


Figura 4.7 Saída do campo de vento sazonal para América do Sul, entre modelo AM4 e dados observados era-5 para uma rodada climática de 15 anos.

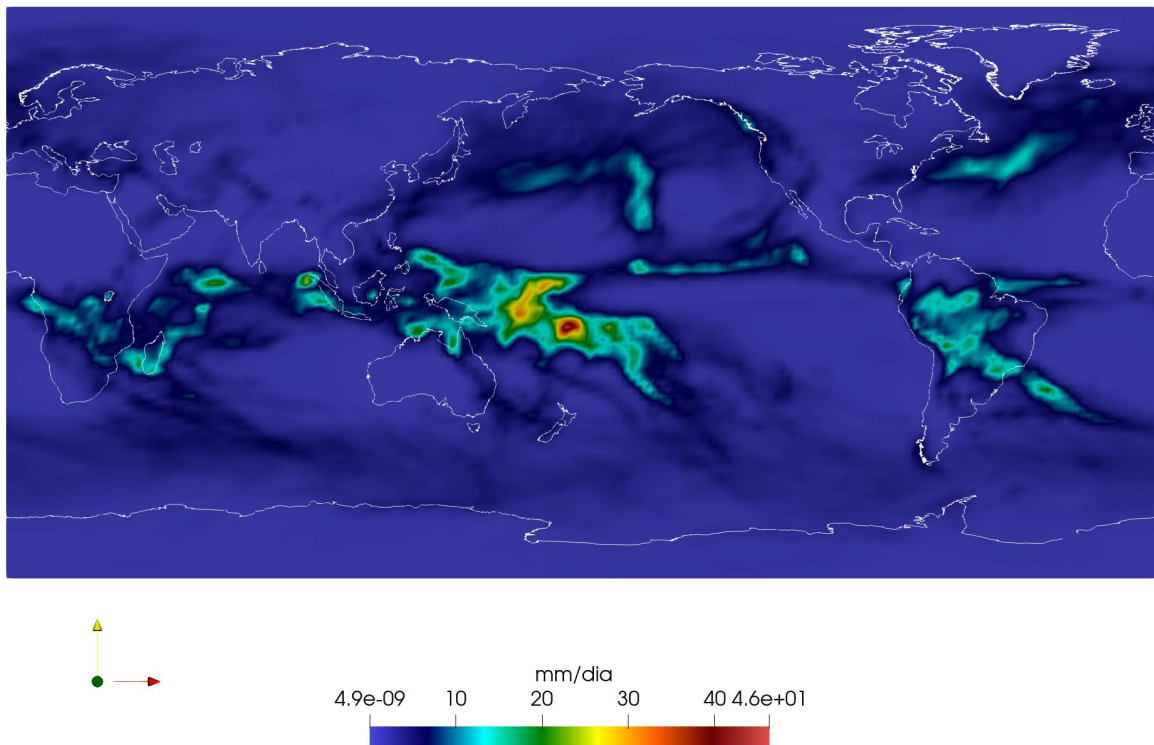


Figura 4.8 Saída do campo de precipitação para janeiro do modelo AM4 com condições iniciais de 2013 .

5 PUBLICAÇÕES CIENTÍFICAS REALIZADAS DURANTE O PERÍODO DA BOLSA

Está em andamento a publicação de uma nota técnica: Manual de implementação e uso do modelo AM4/FV3 no supercomputador do CPTEC; e em processo de construção a publicação em revista indexada.

6 CONCLUSÃO

- Foi implementado e automatizado o pré e pós-processamento do modelo BAM.
- Foi implementado o modelo atmosférico AM4 com dinâmica em volumes finitos FV3 no ambiente de supercomputação TUPÃ.
- Foi automatizado seu sistema de compilação (paralela com GNU), pré e pós-processamento.
- Foi preparado scripts de pré-processamento com restart e geração de condições iniciais para rodadas longas do AM4.

- Foram feitos experimentos preliminares de rodadas longas do AM4 para testar a estabilidade do modelo e fazer uma avaliação preliminar dos resultados, focando na circulação em baixos níveis sobre a América do Sul. Os resultados preliminares da circulação em baixos níveis para diferentes estações do ano, mostram bastante semelhança com os dados observados de reanálise do ERA5. O seguinte passo, será analisar com mais detalhe o jato de baixos níveis e transporte da umidade da Amazônia para a região Sul do Brasil usando as saídas dos modelos AM4 e BAM, com o propósito de identificar as vantagens e desvantagens de usar as dinâmicas espectral e em volumes finitos.
- Geração de condições de contorno com topografia modificada sobre América do Sul. O objetivo deste trabalho é conhecer e testar os programas de criação das condições contorno.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Figueroa SN, Bonatti JP, Kubota PY, Grell GA, Morrison H, Barros SRM, Fernandez JPR, Ramirez E, Siqueira L, Luzia G, Silva J, Silva JR, Pendaharkar J, Capistrano VB, Alvim DS, Enore DP, Diniz FLR, Satyamurti P, Cavalcanti IFA, Nobre P, Barbosa HMJ, Mendes CL, Panetta J. 2016. The Brazilian global atmospheric model (BAM): performance for tropical rainfall forecasting and sensitivity to convective scheme and horizontal resolution. *Weather Forecast.* 31: 1547–1572.

Godunov, S. K. (1959): "A difference scheme for numerical computation of discontinuous solution of hyperbolic equation", *Mat. Sbornik*, **47**: 271–306

Harris, Lucas M., and Shian-Jiann Lin, January 2013: A two-way nested global-regional dynamical core on the cubed-sphere grid. *Monthly Weather Review*, 141:1.

Phillip Colella, Paul R. Woodward: The Piecewise Parabolic Method (PPM) for gas-dynamical simulations. *Journal of Computational Physics*, Volume 54, Issue 1, April 1984, Pages 174-201.

Putman, W M., and Shian-Jiann Lin, 2007: Finite-volume transport on various cubed-sphere grids. *Journal of Computational Physics*, **227**:1, 55–78.

Zhao, M., Golaz, J.-C., Held, I. M., Guo, H., Balaji, V., Benson, R., et al. (2018). The GFDL global atmosphere and land model AM4.0/LM4.0: 1. Simulation characteristics with prescribed SSTs. *Journal of Advances in Modeling Earth Systems*. <https://doi.org/10.1002/2017MS001208>.

8 APÊNDICE A

Estrutura de arquivos e diretórios do modelo AM4/FV3 presentes no SVN no TUPÃ.

