

1

## UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ INSTITUTO DE RECURSOS NATURAIS PROGRAMA DE GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS

# PREVISÃO DE TEMPO PARA O SUL DE MINAS GERAIS: TESTES DE SENSIBILIDADE COM ESQUEMAS DE PARAMETRIZAÇÃO DE CONVECÇÃO CUMULUS

## MONOGRAFIA DE GRADUAÇÃO

Leandro Fortunato de Faria

Itajubá, MG, Brasil 2019

## PREVISÃO DE TEMPO PARA O SUL DE MINAS GERAIS: TESTES DE SENSIBILIDADE COM ESQUEMAS DE PARAMETRIZAÇÃO DE CONVECÇÃO *CUMULUS*

por

Leandro Fortunato de Faria

Monografia apresentada à comissão examinadora Programa de Graduação em Ciências Atmosféricas da Universidade Federal Itajubá (UNIFEI, MG), como requisito parcial para obtenção do grau de **Bacharel em Ciências Atmosféricas.** 

> Orientadora: Dra. Michelle Simões Reboita Coorientadora: Dra. Vanessa Silveira Barreto Carvalho

> > Itajubá, MG, Brasil 2019

## Universidade Federal de Itajubá Instituto de Recursos Naturais Programa de Graduação em Ciências Atmosféricas

A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova a Monografia

## PREVISÃO DE TEMPO PARA O SUL DE MINAS GERAIS: TESTES DE SENSIBILIDADE CIM ESQUEMAS DE PARAMETRIZAÇÃO DE CONVECÇÃO cumulus

elaborada por

Leandro Fortunato de Faria

Como requisito parcial para a obtenção do grau de

**Bacharel em Ciências Atmosféricas** 

Comissão Examinadora:

Michelle S. Kebrita

Michelle Simões Reboita, Dr<sup>a</sup>. (UNIFEI)

Vanessa Silveira Barreto Carvalho, Dr<sup>a</sup>. (UNIFEI) (coorientadora)

Benedito Cláudio da Silva, Dr. (UNIFEI)

Luiz Irrando des bantes Luiz Fernando dos Santos, MSc. (UNIFEI)

Itajubá, 25 de junho de 2019.

### AGRADECIMENTOS

Ao meu Deus e meu Rei, o qual eu anunciarei a tua grandeza e sempre serei grato por me dar força, esperança e saúde para concluir esse trabalho.

Aos meu pais, familiares, irmãos em Cristo e namorada por todo apoio, amor, paciência, oração e incentivo nessa caminhada.

A minha orientadora Michelle e minha coorientadora Vanessa por todo o aprendizado que me passaram. Por toda dedicação, apoio e confiança depositados em mim durante todo o período de realização desse trabalho.

Aos meus professores que tiveram paciência e dedicação de passar todos os conhecimentos ao longo desses anos, principalmente aos professores Benedito e Luiz que aceitaram participar da minha banca.

Aos meus amigos que estiveram presentes em todos os momentos desse ciclo me apoiando e dando forças para prosseguir.

A todos que direta ou indiretamente fizeram parte da minha formação, o meu muito obrigado, que Deus possa retribuir tudo em dobro.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) pelo financiamento dessa pesquisa e aos centros de meteorologia que disponibilizaram os dados utilizados no estudo.

Glorificado seja teu nome, Jesus!

Aos meus pais, Faria e Vera.

#### RESUMO

Monografia de Graduação Programa de Graduação em Ciências Atmosféricas Universidade Federal de Itajubá, MG, Brasil

## PREVISÃO DE TEMPO PARA O SUL DE MINAS GERAIS: TESTES DE SENSIBILIDADE COM ESQUEMAS DE PARAMETRIZAÇÃO DE CONVECÇÃO *CUMULUS*

#### AUTOR: LEANDRO FORTUNATO DE FARIA ORIENTADORA: MICHELLE SIMÕES REBOITA COORIENTADORA: VANESSA SILVEIRA BARRETO CARVALHO Local e Data da Defesa: Itajubá, 25 de junho de 2019.

Como não existem equações para resolverem os processos de convecção cumulus, são utilizadas parametrizações. Diante disso, o presente estudo tem como objetivo apresentar a performance de 5 esquemas de parametrização de convecção cumulus em prever a precipitação no sul do Estado de Minas Gerais no período de 12 a 14 de fevereiro de 2018, quando ocorreram totais elevados de precipitação na região, usando o modelo Weather Research and Forecasting (WRF). Os experimentos numéricos utilizaram os esquemas de parametrização da convecção: Kain-Fritsch (KF), Betts-Miller-Janjic (BMJ), Grell-Devenyi (Grell-3D), Tiedtke (TD) e Grell-Freitas (GF), mantendo as demais opções físicas sem modificação. Foram simuladas três grades aninhadas; a maior com 27 km, a intermediária com 9 km e a menor com 3 km de resolução horizontal. Para validar as simulações na grade menor, foram obtidos dados de diferentes variáveis atmosféricas de estações meteorológicas. Já para a grade maior, as comparações foram realizadas com a reanálise ERA-5 e análise de precipitação do Climate Prediction Center (CPC). Em geral o esquema TD teve o melhor desempenho para a grade maior e GF para a grade menor, se aproximando do observado, indicando a boa performance do GF para a região, e que TD também pode ser implementado na previsão do tempo em escala sinótica. Ressaltase a necessidade de outros experimentos para comprovar os resultados obtidos aqui.

Palavras-chave: Modelo WRF. Precipitação. Sul de Minas Gerais.

### LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Grades do Modelo. Grade 1- Região sul do Brasil, Uruguai, sul do Paraguai e Oceano Atlântico, até o Norte e Nordeste do Brasil; Grade 2 - Região Sudeste do Brasil e uma porção da costa; Grade 3 - Sul do estado de Minas Gerais, Norte do estado de São Paulo e Sul do estado do Rio de Janeiro
Figura 2. Localização das estações meteorológicas do INMET na Grade menor (3 km de resolução horizontal)
Figura 3. Cartas sinóticas de superfície do Centro de Previsão de Tempo e Clima – CPTEC. Nos horários sinóticos, para o dia 13 de fevereiro de 2018
Figura 4. Imagens do infravermelho no canal 11 do Satélite Goes-16, provindas do Centro de Previsão de Tempo e Clima – CPTEC
Figura 5. Perfil vertical da atmosfera para as 23Z do dia 12 de fevereiro de 2018, utilizando o Diagrama Skew-T Log-P para cidade de Itajubá-MG
Figura 6. Perfil vertical da atmosfera para as 23Z do dia 13 de fevereiro de 2018, utilizando o Diagrama Skew-T Log-P para cidade de Itajubá-MG
Figura 7. Diagrama de Taylor para a correlação de Pearson e erro médio quadrático da temperatura do ar entre os dados observados e simulados e o desvio padrão da série para os dias 12 a 14 de fevereiro. Grade de menor resolução (resolução de 3 km). Sendo o número 0 o observado, e 1,2,3,6 e 93 os esquemas KF, BJM, GD, TD e GF, consecutivamente
Figura 8. Diagrama de Taylor para a correlação de Pearson e erro médio quadrático da temperatura do ar entre os dados observados e simulados e o desvio padrão da série para os dias

Figura 12. Diagrama de Taylor para a correlação de Pearson e erro médio quadrático da pressão atmosférica padronizada entre os dados observados e simulados e o desvio padrão da série para os dias 12 a 14 de fevereiro. Grade de menor resolução (resolução de 3 km). Sendo o número 0

Figura 18. Rosa dos ventos dos dados observados e dos dados simulados para a cidade de Itajubá-MG, do dia 14 de fevereiro......47

Figura 22. Diferença entre a temperatura mínima simulada pelos os esquemas KF, BJM, GD e TD (°C) - WRF, e temperatura mínima simulada pelo esquema controle, ou seja, GF (°C) WRF, do dia 12 ao 14 de fevereiro. Grade de maior resolução (resolução horizontal de 27 km). .....50

Figura 25. Diferença entre a temperatura máxima simulada pelos os esquemas KF, BJM, GD e

TD (°C) - WRF, e temperatura máxima simulada pelo esquema controle, ou seja, GF (°C) WRF, do dia 12 ao 14 de fevereiro. Grade de maior resolução (resolução horizontal de 27 km)......52

Figura 28. Diferença entre a precipitação acumulada simulada pelos os esquemas KF, BJM, GD e TD (mm) - WRF, e a precipitação acumulada simulada pelo controle - GF (mm) WRF, do dia 12 ao 15 de fevereiro. Grade de maior resolução (resolução horizontal de 27 km).......55

### LISTA DE TABELAS

## LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

- AFWA Air Force Weather Agency
- BJM Betts-Miller-Janjic
- CEPreMG Centro de Estudos e previsão de tempo e Clima de Minas Gerais
- CPC Climate Prediction Center
- CU Parametrização de Cúmulo
- FAA Federal Aviation Administration
- FSL Forecast Systems Laboratory
- GF Grell-Freitas
- GFS Global Forecast System
- Grell-3D Gell-Devenyi
- KF Kain-Fritsch
- MP Microfísica
- NCAR Centro Nacional de Pesquisa Atmosférica
- NCEP Centros Nacionais de Previsão Ambiental
- PBL Camada Limite Planetária
- PNT Previsão numérica de Tempo
- RRTMG Modelo de Circulação Global do Modelo de Transferência Radiativa Rápida
- TD Tiedtke
- UNIFEI Universidade Federal de Itajubá
- WRF Weather Research and Forecasting

1. INTRODUÇÃO	
2. METODOLOGIA	27
2.1. Design dos Experimentos	27
2.2. Descrição dos esquemas <i>Cumulus</i>	
2.3. DADOS	
2.2.3 Estatísticas utilizadas	
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	
3.1 CARACTERIZAÇÃO SINÓTICA DO PERÍODO DE ESTUDO	
3. 2. Análise estatística	
3. 2. 1. Analises para a grade menor 3.3. ANÁLISES PARA ITAJUBÁ-MG	
<ul><li>3.3.1 Direção e intensidade dos ventos</li><li>3.3.2. Precipitação</li><li>3.4. GRADE MAIOR</li></ul>	
4. CONCLUSÕES	56
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	58

## SUMÁRIO

#### 1. INTRODUÇÃO

A precipitação é uma das variáveis atmosféricas de maior interesse da população nos boletins de previsão de tempo. Entretanto, essa variável é a que os modelos mais apresentam erros de previsão para todos os tipos de precipitação, devido a complexibilidade dessa variável, pois no interior das nuvens as partículas variam desde micropartículas da ordem de 10<sup>-9</sup> cm, a gotas de chuva da ordem de 10 cm. Esse erro deve-se também pelo motivo de que não existem equações de prognóstico da convecção *cumulus* e, para resolver esses processos, são utilizadas parametrizações (SPENCER; STENSRUD, 1998).

A parametrização de convecção ou parametrização de *cumulus* tem por objetivo representar os fluxos verticais resultantes de correntes ascendentes e descendentes não resolvidas pelo modelo por ocorrerem em escalas menores do espaçamento de grade aplicado a simulação. Esta parametrização corresponde ao conjunto de equações responsáveis pela formação da componente convectiva da precipitação, há dois tipos de nuvens *cumulus* que as parametrizações representam: rasas e profundas. As nuvens do tipo *cumulus* profundo produzem chuva, enquanto que as do *cumulus* raso normalmente não produzem precipitação, exceto por chuvisco. Os *cumulus* profundos normalmente se formam em ambientes de instabilidade condicional profunda e convergência na baixa troposfera (Pinto, 2018). Existem diferentes esquemas de parametrização da convecção *cumulus* que têm impacto nas variáveis termodinâmicas e, consequentemente, na precipitação.

Um modelo bastante usado para previsão numérica do tempo é o WRF (*Weather Research and Forecasting Model; (SHARMOCK, 2008*). Esse modelo foi desenvolvido no final dos anos 90, e é atualmente mantido pelo *National Center Atmospheric Research (NCAR).* Vários autores testaram o WRF com diferentes resoluções horizontais, verticais e conjuntos de combinações de parametrizações físicas, com o intuito de se obter uma configuração mais apropriada para suas regiões de estudo (Jankov et al., 2005; Case et al., 2008; Hu et al., 2010; Mass et al., 2002; Shrivastava et al., 2014). Tal metodologia permite uma melhor representação das características locais visto que, juntamente com o aumento da resolução horizontal, os resultados conduzem ao desenvolvimento das circulações de mesoescala que são essenciais para previsões de tempo mais precisas (Campos 2016).

O WRF também foi testado para análises de precipitação extrema em eventos de inundações com resolução de 15 km na região de Alberta (Canadá), onde os testes indicam que os métodos de parametrização *cumulus* de *Kain–Fritsch* e resolução explícita foram os mais

acurados nas análises; os autores também obtiveram totais de precipitação mais realistas ao aumentar a resolução horizontal para 6 km (Pennelly et al., 2014).

Como, ao longo do tempo, diferentes esquemas de parametrizações de convecção com diferentes funções de disparo convectivo e hipóteses de fechamento foram desenvolvidos e adicionados ao WRF, estudos têm sido dedicados à validação de simulações que comparam a performance desses esquemas (KRISHNAMURTI, 1980; MOLINARI; DUDEK, 1992; ROCHA, 1999; KAIN, 2004; JANKOV et al., 2005; NETO, 2010) em diferentes partes do globo. Srinivas et al. (2013) investigaram três esquemas de parametrização de *cumulus* em sete zonas na Índia que foram estabelecidas com base na quantidade média de chuvas de monção, índice de umidade e tipo de clima. Os resultados indicaram que diferentes zonas foram sensíveis a diferentes esquemas de parametrização do cumulus (SIKDER & HOSSAIN, 2016; CHAWLA et al., 2017; DEVANAND et al., 2018). No mar Mediterrâneo e no oceano Atlântico Sul tem sido mostrado melhor performance do WRF em simular os ciclones subtropicais com o esquema de Betts-Miller-Janjic (Abreu e da Rocha, 2015; Gozzo et al., 2017; Oliveira, 2019). (Campos; Carvalho; Reboita 2016) avaliou as especificações técnicas do Sistema Numérico Operacional de Previsão de Tempo do Sul de Minas Gerais (SiNOPT), implementado nas dependências do Instituto de Recursos Naturais da Universidade Federal de Itajubá e avaliou os resultados obtidos das simulações para o mês de janeiro do ano 2015, realizando também uma análise mais detalhada de eventos específicos no período proposto. Onde concluiu-se que o SiNOPT é eficiente e cumpre seu papel como ferramenta operacional para auxiliar os previsores de tempo local e também como fonte de informação meteorológica à comunidade em geral.

No Brasil, o modelo WRF é executado em modo operacional em algumas instituições como no Centro de Estudos e Previsão de Tempo e Clima de Minas Gerais (CEPreMG) da Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI) desde janeiro de 2016 (meteorologia.unifei.edu.br). São utilizadas três grades aninhadas para produzir prognósticos para ao sul de Minas Gerais. A parametrização da convecção *cumulus* utilizada é a *Grell-Freitas* (GF). Ressalta-se que foram realizados poucos testes de sensibilidade para avaliar a performance dos esquemas de parametrização de convecção *cumulus* que melhor reproduzem a chuva em tal região antes do modelo ser colocado em modo operacional. Diante disso, o objetivo do presente estudo é realizar experimentos de sensibilidade com o modelo WRF usando as mesmas configurações estabelecidas pelo CEPrEMG, porém modificando o esquema de parametrização de convecção *cumulus*. Serão avaliados os esquemas, *Kain-Fritsch* (KF), *Betts-Miller-Janjic* (BMJ), *Grell-Devenyi* (Grell-3D), *Tiedtke* (TD) e *Grell-Freitas* (GF) no período do dia 12 a 14 de fevereiro

de 2018. Esse período foi caracterizado por um caso onde ocorreram totais elevados de precipitação na cidade de Itajubá-MG, ocasionados pela passagem de uma frente fria no Sul de Minas Gerais. Os resultados obtidos aqui servirão para futura correção do WRF usado em modo operacional no CEPreMG.

#### 2. METODOLOGIA

#### 2.1. Design dos Experimentos

O WRF foi executado com três grades aninhadas (Figura 1). A grade 1 foi configurada com resolução horizontal de 27 km, compreendendo da região sul do Brasil, Uruguai, sul do Paraguai e Oceano Atlântico, até o Norte e Nordeste do Brasil. A grade 2 possui resolução horizontal de 9 km, sobre a região Sudeste do Brasil e de uma porção da costa. Por fim, a grade 3 possui uma resolução de 3 km, abrangendo do sul do estado de Minas Gerais, norte do estado de São Paulo e sul do estado Rio de Janeiro. Todas as saídas dos modelos foram configuradas com 32 níveis verticais, sendo que em níveis baixos, a concentração do espaçamento é maior, e o topo do modelo fica em 250 hPa. O período de simulação compreende de 12 a 14 de fevereiro de 2018. Nesse período ocorreu totais elevados de precipitação, observados na Figura 4.

Utilizaram-se como condições iniciais e de fronteira para as simulações com o modelo WRF, dados da análise do Global Forecast System do National (GFS-NCEP) com resolução espacial de 0,5° e frequência temporal de 6 horas.



Figura 1. Grades do Modelo. Grade 1- Região sul do Brasil, Uruguai, sul do Paraguai e Oceano Atlântico, até o Norte e Nordeste do Brasil; Grade 2 - Região Sudeste do Brasil e uma porção da costa; Grade 3 - Sul do estado de Minas Gerais, Norte do estado de São Paulo e Sul do estado do Rio de Janeiro.

A configuração dos experimentos segue a descrita em Campos et al. (2016), exceto pelo esquema de parametrização de convecção *cumulus* a ser modificado nos experimentos. Portanto, foram realizadas 5 simulações, as quais possuem características distintas, descritas na seção 2.2.2. A simulação controle, isto é, a configuração utilizada nas previsões do CEPrEMG, é a que utiliza o esquema *Grell-Freitas* (GF).

#### 2.2. Descrição dos esquemas Cumulus

*Kain-Fritsch (KF)* – O KF é uma parametrização de fluxo de massa baseada em Kain e Fritsch (1990) e Kain e Fritsch (1993). Assim como no esquema KF original, ele utiliza um modelo de nuvem simples com correntes ascendentes e correntes húmidas, incluindo os efeitos de desmoldagem, arrastamento e microfísica relativamente simples.

Difere do esquema KF original das seguintes maneiras:

• Uma taxa mínima de arrastamento é imposta para suprimir a convecção generalizada em ambientes relativamente instáveis e relativamente secos.

• Convecção superficial (não precipitante) é permitida para qualquer corrente ascendente que não atinja a profundidade mínima da nuvem para precipitação de nuvens; essa profundidade mínima varia em função da temperatura da base da nuvem.

• A taxa de arrastamento pode variar em função da convergência de baixo nível.

• Alterações de corrente de ar:

- Camada de origem é toda a camada profunda de 150 - 200 mb logo acima da base da nuvem.

- O fluxo de massa é especificado como uma fração do fluxo de massa ascendente na base da nuvem. A fracção é uma função da camada de fonte de umidade relativa, em vez de cisalhamento de vento ou outros parâmetros, isto é, relação de eficiência de precipitação antiga não utilizada.

Desentranhamento é especificado para ocorrer na camada de origem de *updraft* e abaixo.

#### **Betts-Miller-Janjic (BMJ)**

O esquema de Betts-Miller-Janjic (BMJ) (Janjic, 1994 e 2000) foi derivado do esquema de ajuste convectivo de Betts-Miller (BM) (Betts, 1986 e Betts e Miller, 1986). No entanto, o

esquema do BMJ difere do esquema de Betts-Miller em vários aspectos importantes. Os perfis de convecção profunda e o tempo de relaxamento são variáveis e dependem da eficiência da nuvem, um parâmetro não dimensional que caracteriza o regime convectivo (Janjic, 1994). A eficiência da nuvem depende da mudança de entropia, precipitação e temperatura média da nuvem. O perfil de umidade de convecção superficial é derivado da exigência de que a mudança de entropia seja pequena e não-negativa (Janjic, 1994). O esquema BMJ foi otimizado ao longo de anos de aplicação operacional no NCEP, de modo que, além das diferenças conceituais descritas, muitos detalhes e/ou valores de parâmetros diferem daqueles recomendados em Betts (1986) e Betts e Miller (1986). Recentemente, foram feitas tentativas para refinar o esquema para maiores resoluções horizontais, principalmente através de modificações do mecanismo de disparo. Em particular:

• Um valor mínimo para a mudança de entropia na nuvem é configurado abaixo do qual a convecção profunda não é acionada;

• Na busca pelo topo da nuvem, a partícula ascendente se mistura com o ambiente; e

• O trabalho da força de empuxo na partícula ascendente deve exceder um limite positivo prescrito

*Grell-Devenyi* (*Grell-3D*) – O esquema Grell-3D (Grell e Devenyi, 2002) é uma parametrização que utiliza a técnica por *ensemble*, com 144 membros de fluxo de massa, compostos por vários tipos de ativação convectiva (de convergência de umidade, de remoção de CAPE (*Convective available potential energy*), de movimento vertical ascendente etc.) e de parâmetros (taxas de entranhamento, eficiência precipitação etc.). Os fechamentos de controle dinâmicos são baseados em energia potencial convectiva disponível (CAPE ou função de trabalho em nuvem), velocidade vertical de baixo nível ou convergência de umidade. Aqueles baseados no CAPE equilibram a taxa de mudança de CAPE ou relaxam o CAPE para um valor climatológico, ou removem o CAPE em uma escala de tempo convectiva.

*Tiedtke (TD)* – O esquema *Tiedtke* (Zhang et al., 2011) é uma parametrização do tipo de fluxo de massa com escala de tempo de remoção do CAPE, do componente superficial e transporte de momento. As premissas de fechamento para determinar o fluxo de massa de nuvem a granel são: convecção intensa e convecção de nível médio são mantidas pela convergência de umidade em grande escala e convecção superficial pelo fornecimento de umidade devido à evaporação da superfície.

*Grell-Freitas (GF)* – GF é um esquema de convecção de sub-grade adequado para modelos de mesoescala de alta resolução, desenvolvido por Grell e Freitas (2013). O mesmo é utilizado para remover a suposição acima mencionada usada em esquemas de parametrização de convecção de sub-grade convencionais. Esse esquema pode ser usado para espaçamento de grade igual ou menor que alguns quilômetros para ajudar a remover a instabilidade úmida para todo o ponto da grade. Esse esquema se comporta de maneira semelhante aos esquemas convencionais quando a área de *updraft* é muito menor que o tamanho das grades. À medida que a área de *updraft* em uma caixa de grade se aproxima do tamanho da grade, a convecção de sub-grade parametrizada diminui gradualmente.

#### 2.3. Dados

Para caracterização sinótica do período em estudo utilizou-se cartas sinóticas e imagens do satélite GOES-16 do canal 11 do infravermelho, disponibilizadas pelo CPTEC (Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos). Sondagens foram plotadas através dos dados horários de temperatura do ar, temperatura do ponto de orvalho, direção e intensidade do vento, obtidos nas saídas da menor grade do modelo WRF.

A fim de validar as simulações, foram utilizados dados horários temperatura do ar (T) [C°], temperatura do ponto de orvalho (Td) [C°], intensidade (Intv) e direção do vento (Dirv) [m/s], pressão atmosférica a nível médio do mar (PNMM) [hPa], umidade relativa (UR) [%] e precipitação (P) [mm/h] de estações meteorológicas automáticas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) compreendidas na área da grade da simulação (Figura 1), exceto para a cidade de Itajubá-MG, em que os dados obtidos foram da estação meteorológica da Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI), para o período de 12 a 14 de fevereiro de 2018.

Para a grade maior, isto é, grade com 27 km de resolução horizontal, foram obtidos dados horários de reanálise ERA-5 da temperatura e análise de precipitação do *Climate Prediction Center (CPC)* com resolução de 0,5°, sendo que para a precipitação, os dados são diários.



Figura 2. Localização das estações meteorológicas do INMET na Grade menor (3 km de resolução horizontal).

#### 2.2.3 Estatísticas utilizadas

Para a grade menor as séries temporais dos dados horários obtidas em cada simulação foram avaliadas através do cálculo de índices estatísticos (Weber *et al.*,1982; De Maria 2007; Cunha, 2008) calculados em relação aos dados das estações meteorológicas do INMET. Nessa etapa utilizaram-se as variáveis temperatura do ar, pressão atmosférica e umidade relativa do ar.

Foram calculados o desvio-padrão (S), o erro quadrático médio (EQM) e o coeficiente de correlação de Pearson (R) descritos na Tabela 1. Segundo Devore (2006), a correlação pode variar de muito fraca a muito forte de acordo com os intervalos de R contidos na Tabela 2. Os resultados obtidos com as três estatísticas são apresentados num diagrama de Taylor.

Os dados de intensidade e direção do vento para a cidade de Itajubá-MG foram validados através da comparação de rosas-dos-ventos, construídas com dados horários das simulações e observações.

Para a grade de maior resolução (grade com resolução de 27 km), os dados foram interpolados para a mesma resolução horizontal do CPC (precipitação) e da ERA-5 (temperatura máxima e mínima) para o cálculo das diferenças entre simulações e observação.

Estatísticas	Equação	Descrição
8	$s = \sqrt{\frac{\sum (x_i - x_o)^2}{n - 1}}$	Indica o grau de variação entre dados observados e estimados.
EQM	$EQM = \sqrt{\frac{\sum (x_i - x_o)^2}{n}}$	Determina em que medida o modelo não se ajustou aos dados
R	$R = \frac{\sum (x_i - \ddot{\mathbf{x}}_i) \cdot (x_o - \ddot{\mathbf{x}}_o)}{\sqrt{\left[\sum (x_i - \ddot{\mathbf{x}}_i)^2\right] \cdot \left[\sum (x_o - \ddot{\mathbf{x}}_o)^2\right]}}$	Determina a intensidade da relação entre dados observados e estimados.

A precipitação acumulada do CPC é definida da seguinte forma: a precipitação do dia (i) corresponde a soma da precipitação das 12 UTC do dia (i-1) até o dia (i).

Tabela 1. Descrição das estatísticas em que Xi é o simulado, Xo é o observado, Xi é o valor médio simulado, Xo é o valor médio observado e n é número de dados.

Intervalos	Definição
0,00 a 0,19	Correlação bem fraca
0,20 a 0,39	Correlação fraca
0,40 a 0,69	Correlação moderada
0,70 a 0,89	Correlação forte
0,90 a 1,00	Correlação bem forte

Tabela 2. Coeficiente de correlação estatística ou coeficiente de correlação de Pearson (Devore, 2006).

#### **3. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

#### 3.1 Caracterização Sinótica do período de estudo

A precipitação é uma variável que possui grande variação espacial, sendo necessária uma rede densa de estações meteorológicas para sua observação e representação adequada. Na América do Sul, entretanto, a pequena densidade de estações meteorológicas de superfície e radares em algumas regiões e a quase inexistência sobre os oceanos dificulta a avaliação precisa da precipitação bem como de outras variáveis meteorológicas (DUBREUIL, 2005; PINTO et al., 2009).

O período chuvoso teve influência de um sistema de escala sinótica, com a chegada de um sistema frontal no sul da região sudeste do país. Os sistemas frontais frios são sistemas meteorológicos que modificam o tempo sobre as latitudes extratropicais e subtropicais e que, em comprimento, se classificam como sistemas de escala sinótica e, em largura, como de mesoescala (Holton, 2004). Os sistemas frontais podem causar aumento da nebulosidade, chuva, variações na direção e intensidade do vento e mudanças bruscas na temperatura. As frentes frias polares, também chamadas de clássicas, são regiões de convergência de massa. A teoria das frentes foi consolidada por Bjerknes (1919) e Bjerknes e Solberg (1922). Tais zonas frontais podem ser observadas nas cartas sinóticas (Figura 3) e nas regiões mais escuras (áreas em vermelho e preto) das nuvens na Figura 4, as quais denotam valores baixos de temperatura de brilho do topo das nuvens.



Figura 3. Cartas sinóticas de superfície do Centro de Previsão de Tempo e Clima – CPTEC. Nos horários sinóticos, para o dia 13 de fevereiro de 2018



Figura 4. Imagens do infravermelho no canal 11 do Satélite Goes-16, provindas do Centro de Previsão de Tempo e Clima – CPTEC.

A Figura 5 apresenta o perfil vertical da atmosfera para cidade de Itajubá-MG, para o horário das 23Z do dia 12 de fevereiro de 2018, horário que antecede o máximo de precipitação, e a Figura 6 apresenta o perfil vertical da atmosfera durante o máximo de precipitação, ocorrido as 23Z do dia 13 de fevereiro de 2018. Todos as duas figuras foram geradas através de dados de saída dos modelos, sendo eles: temperatura do ar, temperatura do ponto de orvalho e velocidade e direção do vento.



Figura 5. Perfil vertical da atmosfera para as 23Z do dia 12 de fevereiro de 2018, utilizando o Diagrama Skew-T Log-P para cidade de Itajubá-MG.

As linhas azuis escuras são a temperatura do ponto de orvalho (Td) e as vermelhas a temperatura do ar (T) nas diferentes camadas atmosféricas. T e Td são praticamente iguais no nível 850 hPa (Figura 5) e em 800 hPa (Figura 6) caracterizando o NCL (Nível de Condensação por Levantamento), onde parcela de ar, aquecida por baixo, ascenderá adiabaticamente até se tornar saturada, caracterizando a base de uma nuvem culiforme. Observa-se uma inversão na Td no dia 12 na camada de 800 hPa, onde Td decai até o nível de 500 hPa, onde ocorre outra inversão e Td torna a crescer. Esse decaimento ocorre em tempestades multicelulares, pois tais tempestades possuem altos ventos ascendentes e subsidentes, os ventos subsidentes "entranham" dentro das nuvens, tornando as parcelas de ar em ascensão mais secas, com isso a camada media se torna mais seca que a inferior e a superior. Para o horário o qual ocorreu os totais elevados de precipitação (Figura 6), essa inversão apresentada em no dia 12, não ocorre no dia 13, pois, a coluna atmosférica está úmida. Por esse motivo, T e Td ficam próximas em toda coluna, caracterizando a presença de nuvens verticalmente extensas. A frente fria também

é registrada no diagrama no dia 13 (Figura 6), pois há decréscimo da pressão atmosférica em superfície, juntamente com T e Td.

Observa-se que no dia 12 (Figura 5), a atmosfera apresentou altos valores do índice CAPE [J kg<sup>-1</sup>], K [°C] e Total-Totals (TT) [°C]. Segundo Dias (2008), o índice CAPE, o qual é utilizado para medir a energia disponível para a convecção, atingiu aproximadamente 1115 J kg<sup>-1</sup> e, segundo esse estudo, em geral, valores acima de 1000 J kg<sup>-1</sup> são indicadores de convecção profunda. O índice K apresentou valores próximos de 35, o que caracteriza uma atmosfera com muitas tormentas (DIAS, 2008). Assim, como o índice K, o índice TT é utilizado para identificar potenciais áreas com desenvolvimento de tormentas convectivas. Dias (2008) afirma que valores de K acima de 30 e TT acima de 50 são indicadores de alta probabilidade de ocorrência de convecção profunda. Observou-se que os valores de TT para o primeiro horário foram de 46, sendo que valores entre 44 e 50 caracteriza-se uma atmosfera com potencial de tormentas moderadas (DIAS, 2008).



Figura 6. Perfil vertical da atmosfera para as 23Z do dia 13 de fevereiro de 2018, utilizando o Diagrama Skew-T Log-P para cidade de Itajubá-MG.

A frente fria também é registrada no diagrama no dia 13 (Figura 6) pois há decréscimo da pressão atmosférica, juntamente com T e Td.

No horário de máxima precipitação (Figura 6), isto é, às 23Z do dia 13 de fevereiro de 2018, os valores de CAPE diminuem, ou seja, a energia potencial total disponível já se transformou em energia cinética. Os demais índices continuam com valores moderados, a

temperatura do ponto de orvalho e a temperatura do ar se aproximam, e uma queda na pressão atmosférica caracteriza a chegada da frente fria observada na carta sinótica (Figura 3) e nas imagens de satélite (Figura 4).

#### 3. 2. Análise estatística

#### 3. 2. 1. Analises para a grade menor

As Figuras 7 a 9 apresentam a análise estatística da temperatura do ar para as cidades inseridas na grade 3. Cada diagrama nas figuras representa uma cidade e nele constam o S, EQM e R, de todas as simulações e observações para tal cidade. As linhas azuis tracejadas representam os valores de correlação de Pearson, as quais variam entre -1 a 1, sendo que quanto mais próximo de 1, significa boa correlação e próximo de -1, significa que os dados simulados são praticamente inversos aos observados. As linhas verdes tracejadas representam os valores de erro quadrático médio, onde terá melhor desempenho, o modelo que mais se aproximar de 0. Conseguinte, os valores no eixo Y representam os valores de desvio-padrão, sendo que, quanto mais próximo de 0, melhor desempenho tem os dados em avaliação. Os pontos vermelhos (0,1,2,3,6 e 93) caracterizam o dado observado (que fica marcado sobre o eixo X) e os esquemas KF, BJM, GD, TD e GF, consecutivamente.

O valor médio de correlação da temperatura do ar foi entre 0,6 e 0,7 para todas as estações. Segundo Devore (2006), esse valor é considerado moderado. A cidade de Itajubá apresentou valores consideravelmente baixos de correlação, aproximadamente entre 0,2 e 0,4, com o erro quadrático médio entre 2 e 2,5, e desvio-padrão próximo a 2. A cidade de Maria da Fé teve o menor desvio-padrão enquanto a cidade de São Sebastião teve o menor erro quadrático. De forma geral, os esquemas KF e TD tiveram o melhor desempenho (Figura 7-9).



Figura 7. Diagrama de Taylor para a correlação de Pearson e erro médio quadrático da temperatura do ar entre os dados observados e simulados e o desvio padrão da série para os dias 12 a 14 de fevereiro. Grade de menor resolução (resolução de 3 km). Sendo o número 0 o observado, e 1,2,3,6 e 93 os esquemas KF, BJM, GD, TD e GF, consecutivamente.



Figura 8. Diagrama de Taylor para a correlação de Pearson e erro médio quadrático da temperatura do ar entre os dados observados e simulados e o desvio padrão da série para os dias 12 a 14 de fevereiro. Grade de menor resolução (resolução de 3 km). Sendo o número 0 o observado, e 1,2,3,6 e 93 os esquemas KF, BJM, GD, TD e GF, consecutivamente.



Figura 9. Diagrama de Taylor para a correlação de Pearson e erro médio quadrático da temperatura do ar entre os dados observados e simulados e o desvio padrão da série para os dias 12 a 14 de fevereiro. Grade de menor resolução (resolução de 3 km). Sendo o número 0 o observado, e 1,2,3,6 e 93 os esquemas KF, BJM, GD, TD e GF, consecutivamente.

Análogo às Figuras de 7 a 9, as Figuras de 10 a 12, apresentam a análise estatística para a variável pressão atmosférica, a qual foi padronizada, ou seja, os dados foram todos divididos pela pressão a nível médio do mar, pelo fato dos dados possuírem altos valores, e a diferença entre eles serem pequenas. Portanto observou-se que o valor médio da correlação para a pressão a nível médio do mar teve valores ótimos, segundo a classificação do Devore (2006), variando entre 0,90 e 0,95 em todos os esquemas. Os valores de erro quadrático médio e desvio-padrão foram baixos, exceto para o esquema BJM.



Figura 10. Diagrama de Taylor para a correlação de Pearson e erro médio quadrático da pressão atmosférica padronizada entre os dados observados e simulados e o desvio padrão da série para os dias 12 a 14 de fevereiro. Grade de menor resolução (resolução de 3 km). Sendo o número 0 o observado, e 1,2,3,6 e 93 os esquemas KF, BJM, GD, TD e GF, consecutivamente.



Figura 11. Diagrama de Taylor para a correlação de Pearson e erro médio quadrático da pressão atmosférica padronizada entre os dados observados e simulados e o desvio padrão da série para os dias 12 a 14 de fevereiro. Grade de menor resolução (resolução de 3 km). Sendo o número 0 o observado, e 1,2,3,6 e 93 os esquemas KF, BJM, GD, TD e GF, consecutivamente.



Figura 12. Diagrama de Taylor para a correlação de Pearson e erro médio quadrático da pressão atmosférica padronizada entre os dados observados e simulados e o desvio padrão da série para os dias 12 a 14 de fevereiro. Grade de menor resolução (resolução de 3 km). Sendo o número 0 o observado, e 1,2,3,6 e 93 os esquemas KF, BJM, GD, TD e GF, consecutivamente.

Para a umidade relativa do ar, a análise estatística é apresentada nas Figuras 13 a 15. As simulações com os diferentes esquemas de parametrização tiveram valores de correlação semelhantes, variando entre 0,2 a 0,5. As cidades de Parati (Fig. 14i), Itajubá (Fig. 15o), e Resende (Fig.14j), tiveram valores negativos de correlação, mostrando que os esquemas não representam bem o observado. Todas as cidades tiveram valores altos de desvio-padrão e erro-quadrático médio, variando entre 5 e 15, as cidades de Cachoeira Paulista e Campos do Jordão tiveram os melhores desempenhos, e os esquemas que mais se aproximaram do observado foram o GD e o GF, mesmo que os valores se apresentassem baixos.



Figura 13.Diagrama de Taylor para a correlação de Pearson e erro médio quadrático da umidade relativa do ar entre os dados observados e simulados e o desvio padrão da série para os dias 12 a 14 de fevereiro. Grade de menor resolução (resolução de 3 km). Sendo o número 0 o observado, e 1,2,3,6 e 93 os esquemas KF, BJM, GD, TD e GF, consecutivamente.



Figura 14. Diagrama de Taylor para a correlação de Pearson e erro médio quadrático da umidade relativa do ar entre os dados observados e simulados e o desvio padrão da série para os dias 12 a 14 de fevereiro.



Grade de menor resolução (resolução de 3 km). Sendo número 0 o observado, e 1,2,3,6 e 93 os esquemas KF, BJM, GD, TD e GF, consecutivamente.

Figura 15. Diagrama de Taylor para a correlação de Pearson e erro médio quadrático da umidade relativa do ar entre os dados observados e simulados e o desvio padrão da série para os dias 12 a 14 de fevereiro. Grade de menor resolução (resolução de 3 km). Sendo número 0 o observado, e 1,2,3,6 e 93 os esquemas KF, BJM, GD, TD e GF, consecutivamente.

#### 3.3. Análises para Itajubá-MG

#### 3.3.1 Direção e intensidade dos ventos

A Figura 16 apresenta a comparação entre os dados observados (Fig. 16a) e simulados (Fig. 16b - f) da direção e intensidade do vento [m/s] para a cidade de Itajubá no dia 12. Notase que os esquemas não representam bem a direção do vento observada, no entanto, os dados de intensidade do vento simulados são mais similares às observações. O esquema que mais se aproximou do observado foi o GF.



Figura 16. Rosa dos ventos dos dados observados e dos dados simulados para a cidade de Itajubá-MG, do dia 12 de fevereiro.

No dia 13 todos os esquemas (Fig. 17b - f) superestimaram a intensidade do vento observada e não representaram bem a direção do vento observada (Fig. 17a).



Figura 17. Rosa dos ventos dos dados observados e dos dados simulados para a cidade de Itajubá-MG, do dia 13 de fevereiro.

A comparação entre os dados observados (Fig. 18a) e simulados (Fig. 18b - f) da direção e intensidade do vento para a cidade de Itajubá para o dia 14 são apresentados na Figura 18.

Nota-se que semelhante ao dia 13, o dia 14 não se mostrou representativo. Subestimando a intensidade e não representando a direção do vento.



Figura 18. Rosa dos ventos dos dados observados e dos dados simulados para a cidade de Itajubá-MG, do dia 14 de fevereiro.

### 3.3.2. Precipitação

A comparação entre os dados horários observados e os simulados das series temporais de precipitação para a cidade de Itajubá-MG para todo o período são apresentados na Figura 19. O eixo X representa a precipitação acumulada [mm/h], o eixo Y as horas [h] de todo o período, e as linhas representam os esquemas, sendo a linha preta o observado e as linhas (amarela, vermelha, azul, laranja e cinza), o simulado. As simulações mostram padrão semelhante, porém com diferença na intensidade. A simulação que mais se aproximou do observado foi com o esquema GD. No entanto, as simulações não representaram temporalmente bem a precipitação, adiantando a mesma em muitas horas.



Figura 19. Perfil de precipitação acumulada [mm/h] entre observado e simulado dos 12 a 14 de fevereiro de 2018.

#### 3.4 Grade Maior

A comparação entre a temperatura mínima observada (Fig. 20a-c), e a temperatura mínima simulada para as 5 parametrizações, sendo KF (Fig. 20d-f), BJM (Fig. 20g-i), GD Fig. (20j-l), TD Fig. (20m-o) e o controle, isto é, GF (Fig. 20p-r) durante o período simulado mostra que tanto para continente quanto para o oceano, a simulação com o esquema TD é a que melhor se assemelha ao observado; nota-se também que todos os esquemas superestimam a temperatura mínima no continente em 2 a 3°C, e subestimam em 2°C no oceano.



Figura 20. Temperatura mínima observada (°C) - ERA5, temperatura mínima simulada (°C) WRF para as 5 parametrizações, do dia 12 ao 15 de fevereiro. Grade de maior resolução (resolução horizontal de 27 km).

Na diferença entre temperatura mínima do ar simulada e observada, (Fig. 21) há sobre o sul de Minas Gerais variação entre as simulações, e as temperaturas simuladas superestimaram entre 2°C a 4 °C a observação.



Figura 21. Diferenças entre a temperatura mínima simulada (°C) - WRF, e temperatura mínima observada (°C) ERA, do dia 12 ao 14 de fevereiro. Grade de maior resolução (resolução horizontal de 27 km).

Nas diferenças entre a temperatura mínima simulada pelos os esquemas KF (Fig. 22ac) e a simulada pelo controle, ou seja, GF, do dia 12 ao 15 de fevereiro, não há muita variação entre si, ou seja, variam em 1°C a temperatura. Contudo, o esquema que mais se diferencia do controle é o esquema TD (Fig. 22j-k), variando aproximadamente entre -3°C e +3°C de temperatura.



Figura 22. Diferença entre a temperatura mínima simulada pelos os esquemas KF, BJM, GD e TD (°C) - WRF, e temperatura mínima simulada pelo esquema controle, ou seja, GF (°C) WRF, do dia 12 ao 14 de fevereiro. Grade de maior resolução (resolução horizontal de 27 km).

Na comparação entre a temperatura máxima observada e simulada com as 5 parametrizações, tem-se que os esquemas BJM (Fig. 23g-i) e TD (Fig. 23m-o) são os que melhor se assemelham ao observado (Fig. 23a-c), no entanto o pior esquema é o KF (Fig. 23d-e).

Análogo à Figura 21, a Figura 24 apresenta a diferença entre a temperatura máxima do ar simulada e observada. Nota-se que as temperaturas máximas simuladas pelos esquemas BJM (Fig. 24d-e), e TD (Fig. 24j-l) foram as que mais aproximaram-se do observado. No geral, os esquemas superestimaram em média 3°C no continente, subestimaram em -6°C a costa Brasileira e em média -2°C o oceano.



Figura 23. Temperatura máxima observada (°C) - ERA5, temperatura máxima simulada (°C) WRF para as 5 parametrizações, do dia 12 ao 15 de fevereiro. Grade de maior resolução (resolução horizontal de 27 km).



Figura 24. Diferenças entre a temperatura máxima simulada (°C) - WRF, e temperatura máxima observada (°C) ERA, do dia 12 ao 14 de fevereiro. Grade de maior resolução (resolução horizontal de 27 km).

As diferenças entre a temperatura máxima simulada pelos os esquemas KF (Fig. 25a-c), BJM (Fig. 25d-f), GD (Fig. 25g-i) e TD (Fig. 25j-l) e a temperatura máxima simulada pelo controle, do dia 12 ao 15 de fevereiro, indicam que KF e GD variam em até 2°C a temperatura.



No entanto, os esquemas TD e BJM mostraram-se relativamente inversos à GF, variando a temperatura em até 4°C.

Figura 25. Diferença entre a temperatura máxima simulada pelos os esquemas KF, BJM, GD e TD (°C) - WRF, e temperatura máxima simulada pelo esquema controle, ou seja, GF (°C) WRF, do dia 12 ao 14 de fevereiro. Grade de maior resolução (resolução horizontal de 27 km).

Para a variável precipitação, observa-se que os esquemas que mais se assemelham ao observado são os esquemas BJM e TD, se aproximando mais nas regiões onde ocorreram os máximos e mínimos de precipitação apresentados na Figura 26, sendo (Fig. 26a-c) a precipitação acumulada observada e KF (Fig. 26d-f), BJM (26g-i), GD (26j-l), TD (26m-o) e controle GF (26p-r), a precipitação acumulada simulada para as 5 parametrizações. O mesmo acontece com os esquemas BJM e TD em comparação com as imagens de satélite da Figura 4. Através da posição do máximo de precipitação, é possível observar também a posição do sistema frontal.



Figura 26. Precipitação acumulada observada (mm) - CPC, precipitação acumulada simulada (mm) WRF para as 5 parametrizações, do dia 12 ao 15 de fevereiro. Grade de maior resolução (resolução horizontal de 27 km).

A diferença entre a precipitação acumulada simulada e observada, do dia 12 ao 14 de fevereiro é apresentada na Figura 27. Nota-se que todos os esquemas superestimaram em média de 25 mm o observado, no entanto os esquemas que representaram melhor essa variável foram novamente os esquemas BJM e TD, superestimando em poucas regiões, com a simulação do esquema TD sendo a mais representativa. Já os esquemas KF, GD e GF superestimaram os valores observados de precipitação.



Figura 27. Diferenças entre a precipitação acumulada simulada (mm) - WRF, e a precipitação acumulada observada (mm) CPC, do dia 12 ao 14 de fevereiro. Grade de maior resolução (resolução horizontal de 27 km).

Nas diferenças entre a precipitação acumulada simulada pelos esquemas KF (Fig. 28ac), BJM (Fig. 28d-f), GD (Fig. 28g-i) e TD (Fig. 28j-l), e a precipitação acumulada simulada pelo controle, ou seja, GF, do dia 12 a 15 de fevereiro, tem-se que o esquema KF subestima a precipitação em aproximadamente 20 mm em pontos isolados da Figura 28, o esquema GD assemelha-se à GF, com uma variação de aproximadamente de 10 mm, no entanto os esquemas BJM e TD mais uma vez são relativamente inversos à GF. Isto é, os valores de acumulado de precipitação mostram-se maiores do que 25 mm de diferença.



Figura 28. Diferença entre a precipitação acumulada simulada pelos os esquemas KF, BJM, GD e TD (mm) - WRF, e a precipitação acumulada simulada pelo controle - GF (mm) WRF, do dia 12 ao 15 de fevereiro. Grade de maior resolução (resolução horizontal de 27 km).

#### 4. CONCLUSÕES

Esse estudo analisou cinco simulações com modelo WRF em que foram utilizados diferentes esquemas de parametrização *cumulus* a fim de identificar o esquema convectivo que tem o melhor desempenho para simular as variáveis atmosféricas no Sul de Minas Gerais. O período estudado foi caracterizado pela passagem de uma frente fria que causou precipitação. Para a grade menor, os dados de temperatura do ar em cidades específicas, tiveram uma correlação média de 0,65 e valores de 2 a 3 de erro médio quadrático e desvio-padrão, sendo TD e KF como os melhores esquemas. Para os dados de pressão a nível médio do mar, teve-se valores estatísticos ótimos, com correlação de 0,9, erro médio quadrático de 0,001 e desvio padrão de 0,01, os esquemas GD e GF foram os que mais se aproximaram do observado. Já para os dados de umidade relativa, os resultados foram consideravelmente ruins, algumas cidades tiveram valores negativos de correlação, e altos valores de EQM e desvio-padrão. Os esquemas que tiveram melhores desempenhos foram o GD e GF. Em geral, os todos as simulações tiveram valores estatísticos consideravelmente próximos, porém os esquemas que mais se aproximaram do observado foram o GD e GF, sendo os melhores esquemas para a grade menor.

Para a grade maior, as simulações, em geral, superestimaram a temperatura mínima 3°C na média, para a temperatura máxima, as simulações subestimaram a temperatura máxima entre -2°C a -6°C em regiões mais úmidas, isto é, no oceano e na costa Brasileira, no entanto, em regiões continentais, superestimaram a temperatura máxima. Os esquemas BJM e TD tiveram melhores desempenhos, sendo TD como o melhor. Para a precipitação, os esquemas subestimaram em cerca de 25 mm essa variável no dia 12 e superestimaram em 25 mm no dia 13 e 14, sendo BJM e TD os melhores esquemas. O esquema controle não teve bom aproveitamento nesta variável. Portanto, é possível concluir que os melhores esquemas para a grade maior são BJM e TD.

As analises para a direção e intensidade do vento para a cidade de Itajubá, mostraram que os esquemas *cumulus* não representam bem o observado. Os esquemas superestimaram a intensidade e não representaram bem a direção observada do vento. No que se diz respeito ao perfil de precipitação, concluiu-se que os esquemas adiantaram o início da precipitação e subestimaram os totais de precipitação.

Em geral, os esquemas TD e GF tiveram os melhores resultados, sendo TD pata a grade maior e GF para a grade menor, os quais melhor se aproximaram do observado, provando que GF é uma boa parametrização para a região do Sul de Minas e que TD também pode ser implementado na previsão do tempo em escala sinótica para o CEPreMG.

Para trabalhos futuros, sugere-se testes de sensibilidade com parametrizações de superfície (*sf\_surface\_phsics* ou *sf\_urban\_phsics*), os utilizam informações provenientes dos esquemas de camada superficial tais como: forçantes radiativas vindas dos esquemas de radiação; forçantes de precipitação provenientes dos esquemas de microfísica e convectivos, ou seja, fluxos que fornecem as condições para o transporte vertical na baixa atmosfera. Visando observar se tais parametrizações podem responder melhor ao observado, do que a parametrização *cumulus*. Sugere-se esquemas compostos, isto é, testando variações com parametrizações *sf\_surface\_phsics* ou *sf\_urban\_phsics* juntamente com a *cumulus*, ou esquemas simples, as quais variam somente as parametrizações de superfície. Pode-se também analisar outro caso com totais elevados de precipitação sem que haja influencia em escala sinótica, focando em possíveis fatores de convecção local.

### **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

\_\_\_\_. The *Kain-Fritsch* convective parameterization: An update. **J. Appl. Meteor.**, v.43, n. 1, p. 170-181, 2004.

ARAKAWA, R. A. A*cumulus* parameterization problem: Past, present, and future. J. Climate, v. 17, p. 2493-2525, 2004.

BALDWIN, M. E.; KAIN, J. S.; KAY, M. P. Properties of the convection scheme in ncep's eta mdel that affect forecasts sounding interpretation. **Weather and forecasting**, v. 17, n. 5, p. 1063-1079, 2002.

CAMPOS, B., CARVALHO, V. S. B., REBOITA, M. S., Sistema numérico-operacional de previsão de tempo para a região Sul de Minas Gerais: comparação com dados observados. **Revista Brasileira de Geografia Física,** V. 09, n. 04, p. 1017-1029, 2016.

CASE, J. L., CROSSON, W. L., KUMAR, S. V., LAPENTA, W. M., PETERS-LIDARD, C. D., 2008. Impacts of High-Resolution Land Surface Initialization on a) b) c) d) **Revista Brasileira de Geografia Física** V. 09 N. 04 (2016) 1017-1029. 1029

DIAS, V. S., Análise dos índices de instabilidade para previsão de formações convectivas severas para a região do aeródromo do Galeão, Aeroporto Tom Jobim. **Instituto De Controle Do Espaço Aéreo Divisão De Ensino.** MET-001/2008.Disponível em: https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2013EGUGA..15.5746G.

GRELL; GEORG, B., JIAN-WEN. Experimenting with a Convective Parameterization Scheme Suitable for High-Resolution Mesoscale Models in Tropical Cyclone Simulations. EGU General Assembly Conference Abstracts. V. 15., apr., 2013.

HU, X-M., NIELSEN-GAMMON, J. W., ZHANG, F., 2010. Evaluation of Three Planetary Boundary Layer Schemes in the WRF Model. **Journal of Applied Meteorology and Climatology** 49, 1831–1844

JANKOV, I., GALLUS JR., W. A., SEGAL, M., SHAW, B., KOCH, S. E., 2005. The Impact of Different WRF Model Physical Parameterizations and Their Interactions on Warm Season MCS Rainfall. **Weather Forecasting** 20, 1048–1060.

JANKOV, I.; JR, W. A. G.; SEGAL, M.; SHAW, B.; KOCH, S. E. The impact of different wrf model physical parameterizations and their interactions on warm season mcs rainfall. **Weather and forecasting**, v. 20, n. 6, p. 1048-1060, 2005.

JUNIOR, R. A. M. et al.; Análise da sensibilidade das Parametrizações no modelo WRF para o Estado do Rio Grande do Sul durante o Inverno de 2014. **Revista brasileira de geografia**, v. 9, n. 2, p. 368-383, 2016.

KRAJEWSKI, W. F., CEYNAR, D., DEMIR, I., GOSKA, R., KRUGER, A., LANGEL, C., MANTILLA, R., NIEMEIER, J., QUINTERO, F., SEO, B.-C., SMALL, S. J., WEBER, L. J., & YOUNG, N. C. Real-Time Flood Forecasting and Information System for the State of Iowa. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 98, p. 539–554, 2017. **doi: 10.1175/BAMS-D-15-00243.1.**  KRISHNA, K. O. Customization of wrf-arw model with physical parameterization schemes for the simulation of tropical cyclones over north indian ocean. **Natural Hazard**, v. 63, p. 1337-1359, 2012.

KRISHNAMURTI, T. N. *Cumulus* parameterization and rainfall rates i. **Mon. Wea. Rev.**, V. 108, P. 465-472, 1980.

LIN, C., VASIĆ, S., KILAMBI, A., TURNER, B., & ZAWADZKI, I. Precipitation forecast skill of numerical weather prediction models and radar nowcasts. **Geophysical Research Letters**, v. 32, p. 1–4, 2005. doi: 10.1029/2005GL023451.

MASS, C. F., OVENS, D., WESTRICK, K., COLLE, B. A., 2002. Does Increasing Horizontal Resolution Produce More Skillful Forecasts? **Bulletin of the American Meteorological Society** 83, 407–430

MOLINARI, J.; DUDEK, M. Parameterization of convective precipitation in mesoscale numerical models: Acritical review. **Monthly Weather Review**, v. 120, n. 2, p. 326-344, 1992.

NETO, A. V. P. **Avaliação e ajustes da parametrização de** *Kain-Fritsch* **sobre a região do Centro de Lançamento de Alcântra.** 2010. 117 p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2010.

PENNELLY, C., REUTER, G., FLESCH, T., 2014. Verification of the WRF model for simulating heavy precipitation in Alberta. **Atmospheric Research** 135–136, 172-192

ROCHA, R. P. da. **Impacto de Parametrização de convecção em Ciclogênese sobre o Oceano**. 1999. Tese (Doutorado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1999.

RONDA, R. J., STEENEVELD, G. J., HEUSINKVELD, B. G., ATTEMA, J. J., & HOLTSLAG, A. A. Urban finescale forecasting reveals weather conditions with unprecedented detail. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 98, p. 2675–2688, 2017. doi: 10.1175/BAMS-D-16-0297.1

SELUCHI, M.; CHOU, S. Ajuste del esquema convectivo de betts-miller en el modelo eta/cptec. comm. In: **11th Brazilian Conference of Meteorology, Proceedings of the 11th Brazilian Conference of Meteorology, Rio de Janeiro, Brazil.** [S.I.: s.n.], 2000.

SHRIVASTAVA, R., DASH, S. K., OZA, R. B., SHARMA, D. N., 2014. Evaluation of Parameterization Schemes in the WRF Model for Estimation of Mixing Height. **International Journal of Atmospheric Sciences** pp. 9

SKAMAROCK, W. C.; KLEMP J. B.; DUDHIA, J.; GILL, D. O.; BARKER, D. M.; WANG, W.; POWERS, J. G. A description of the Advanced Research WRF Version 2. NCAR Technical Note, NCAR/TN-468+STR, 88 pp., 2005.

SKAMAROCK, W. C.; KLEMP, J. B.; DUDHIA, J.; GILL, D. O.; BARKER, D. M.; DUDA, M. G.; HUANG, X.-Y.; WANG, W.; POWERS, J. G. A Description of the Advanced Research WRF Version 3. NCAR Technical Note, NCAR/TN-475+STR, 113 pp., 2008 SKAMAROCK, W., KLEMP, J., DUDHI, J., GILL, D., BARKER, D., DUDA, M., HUANG, X.-Y., WANG, W., & POWERS, J. A Description of the Advanced Research WRF Version

3. Technical Report June National Center for Atmospheric Research Boulder, Colorado, USA, 2008. doi: 10.5065/D6DZ069T.

SPENCER, P. L.; STENSRUD, D. J.; Simulating flash flood events: importance of the subgrid representation of convection. **Monthly weather review**, v. 126, n. 11, p. 2884-2912, 1998.

SRINIVAS, C. V., HARIPRASAD, D., BHASKAR RAO, D. V., ANJANEYULU, Y., BASKARAN, R., & VENKATRAMAN, B. Simulation of the Indian summer monsoon regional climate using advanced research WRF model. **International Journal of Climatology**, v. 33, p. 1195–1210. **doi: 10.1002/joc.3505. arXiv:621235.** 

WANG, W. SEAMAN, N. L. A comparison study of convective parameterization schemes in a mesoscale model. **Monthly Weather Review**, v. 125, n. 2, p. 252-278, 1997