

IMPACTO DA TEMPERATURA DA SUPERFÍCIE DO MAR NA
PRECIPITAÇÃO MODELADA PARA O MUNICÍPIO DO RIO DE JANEIRO

Reginaldo Ventura De Sá

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DA COORDENAÇÃO DOS
PROGRAMAS DE PÓS-GRADUAÇÃO DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE
FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS
PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM CIÊNCIAS EM ENGENHARIA
CIVIL.

Aprovada por:

Prof. José Luis Drummond Alves, D. Sc.

Prof. Luiz Cláudio Gomes Pimentel, D. Sc.

Prof Luiz Landau, D. Sc.

Prof. Elson Magalhães Toledo, D. Sc.

RIO DE JANEIRO, RJ – BRASIL

OUTUBRO DE 2005

DE SÁ, REGINALDO VENTURA

Impacto da Temperatura da Superfície do Mar na precipitação modelada do município do Rio de Janeiro [Rio de Janeiro] 2005

VII, 55 p. 27.9 cm (COPPE/UFRJ, M. Sc., Engenharia Civil, 2005)

Dissertação – Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE.

1. Modelagem Atmosférica, 2. Modelagem de Mesoescala, 3. Microfísica das nuvens, 4. Climatologia

I. COPPE/UFRJ II. Título (série)

Da lamma ao caos, do caos a lamma
Que eu me organizando posso desorganizar
Que eu desorganizando posso me organizar

Da lamma ao caos
Chico Science e Nação Zumbi

Verdade 1:
Os excluídos foram descartados
de um grupo a qual queriam pertencer
não fazem parte de um grupo qualquer

Verdade 2:
Os excluídos quando se juntam em grupos,
excluem os que ainda não foram excluídos

Verdade final:
Não crie grupos. Cozinhe sempre com
A panela aberta.

Conclusão:
A panela tampada sempre explode.

(do autor)

Que Deus nos proteja
da ira de Gaia.

(Lovelock, J. E.)

AGRADECIMENTOS

Como um cristão bem crente a Deus e descrente da igreja dos homens, gostaria de agradecer a Deus por todas as coisas boas e ruins também. Das ruins tiramos as lições que nos levam as coisas boas no futuro. O que não é para ser, é por que não será bom para você.

Agradeço aos meus Pais queridos pela paciência e ajuda nestes anos. A minha namorada, Danny, que me aturou estes anos todos. Aos meus amigos de primeira ordem. Ao Ricardo Marcelo, parceiro de muitas coisas boas e ruins também. Tudo é aprendizado, mas tem coisas que a gente não aprende nunca. São mais de 10 anos de parceria. Ao José Francisco Junior, uma das recentes amizades mas parece que é de muito tempo. Ao Eduardo, que através dele consegui a maioria dos artigos deste trabalho.

Ao Professor Maia pela ajuda nestes anos todos e a Rita por ser sempre uma grande amiga e faz tudo.

Ao Audálio, dono das três perguntas que derrubam qualquer trabalho e dono de um coração sem fundo. Além de possuir o melhor e mais crítico senso que conheço. Ao Luis Cláudio, por ser uma das pessoas mais legais que conheci e uma das que mais me motivaram nesta vida.

Agradeço aos demais amigos da meteorologia, sejam do Lamma, do LEPA, NCQAR, pela ajuda ou pela conversa. E principalmente aqueles que se propuseram a me ajudar a fechar esta tese. A estes muito obrigado pela ajuda.

Gostaria de agradecer ao pessoal do LAMCE, por todo o apoio neste mestrado. Ao Landau e a Mônica por muitas coisas que toda a atenção que me dispensaram ao longo deste mestrado. A principalmente ao José Alves, pela paciência para resolver todos os “pepinos” plantados por mim neste mestrado.

Resumo da Dissertação apresentada à COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau Mestre em Ciências (M.Sc.)

IMPACTO DA TEMPERATURA DA SUPERFÍCIE DO MAR NA PRECIPITAÇÃO MODELADA PARA O MUNICÍPIO DO RIO DE JANEIRO

Reginaldo Ventura De Sá

Outubro/2005

Orientador: José Luiz Drummond Alves

Programa: Engenharia Civil

Neste trabalho é apresentado um estudo da aplicação de diferentes condições de contorno (TSM), e sete parametrizações de microfísica de nuvens, na modelagem da precipitação no município do Rio de Janeiro utilizando o modelo MM5. Foi escolhido um período para a simulação que representasse a falta de chuva, precipitação convectiva e chuva de nuvens estratiformes. O modelo se mostrou mais sensível às variações da TSM nos períodos seco e estratiforme, durante o evento de precipitação convectiva as ondas de grande escala (frente fria) dominaram os processos de chuva.

Abstract of Dissertation presented to COPPE/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science (M.Sc.)

SEA SURFACE TEMPERATURE IMPACT IN THE MODELED PRECIPITATION FOR THE CITY OF RIO DE JANEIRO

Reginaldo Ventura De Sá

October/2005

Advisor: José Alves Drummond

Department: Civil Engineering

A study of the application of different sea surface temperature boundary conditions and seven clouds microphysics parametrizations in the precipitation modeling in the city of Rio de Janeiro, applying the MM5 atmospheric model, is presented. A period for the simulation with no rain, convective precipitation and stratiform cloud rain was chosen. The model was more sensible to the sea surface temperature variations in the dry and stratiform precipitation periods, during the convective precipitation event, the large scale waves (cold fronts) had dominated the local rain processes.

ÍNDICE

CAPITULO 1 – Introdução.....	1
CAPÍTULO 2 – Metodologia	4
CAPÍTULO 3 – Resultados	30
CAPÍTULO 4 – Conclusão e trabalhos futuros	37
APÊNDICE A – Descrição do MM5.....	38
APÊNDICE B - Dados de condição de contorno e iniciais para o MM5.....	46
APÊNDICE C – Dados da GEORIO.....	48
BIBLIOGRAFIA.....	52

CAPITULO 1

1. Introdução

O Município do Rio de Janeiro é um dos principais centros econômico do Brasil, abrigando grande parte da população fluminense. Possui um relevo acidentado, formado por morros e montanhas, que em casos de eventos de tempestades severas, resultam em danos à população e aos bens materiais. Em 1997, a prefeitura do município do Rio de Janeiro, inaugurou a rede de estações pluviométricas da Fundação Georio (GEORIO), afim de precaver, evitar ou amenizar os problemas de deslizamentos de encostas e cheias de rios. Esta rede passou a integrar o sistema Alerta Rio, monitorando áreas de risco em diversos pontos do município. O Sistema Alerta Rio é formado por meteorologistas que monitoram o tempo afim de prever todo o tipo de tempestades, em especial as de tempo severo. Contudo, só uma rede de estações pluviométricas não é suficiente para criar um sistema de alerta contra tempestades. Os meteorologistas precisam ter uma rede com outras variáveis meteorológicas (temperatura, umidade, vento, etc...) afim de prever em tempo hábil a ocorrência de tempestades severas. Com uma rede de estações meteorológicas, a previsão de tempestades severas teria um melhor resultado.

Uma alternativa a esta falta de informação meteorológica é a utilização de modelos de previsão numérica do tempo (MPNT) para simular variáveis do tempo. Um modelo de previsão numérica do tempo resolve um sistema complexo de equações matemáticas baseadas em leis físicas de modo a prever o estado futuro da atmosfera partindo de condições iniciais específicas. Essas equações são a forma mais completa e complexa da dinâmica e termodinâmica da atmosfera. Os processos físicos, como a radiação, nuvens, precipitação e trocas de calor à superfície são representadas no modelo por esquemas paramétricos.

As equações que governam os processos da atmosfera são não-lineares, e pequenos erros nas condições iniciais se amplificam à medida que a simulação avança no tempo, de modo que a diferença entre as condições atmosféricas prevista e as condições observadas da atmosfera aumenta ao longo da previsão.

Entre as principais variáveis meteorológicas, a chuva é uma das mais complexas a ser modelada, pois ela não é contínua no tempo e no espaço. Nos MPNT, a chuva é parametrizada a partir de outras variáveis meteorológicas e termodinâmicas, que simulam os processos que ocorrem nas nuvens.

Os MPNT conseguem simular o comportamento da atmosfera, contudo possuem muitas limitações. Uma destas limitações está na representação das condições de contorno pelo modelo, começar pelas informações de categoria de uso do solo, que representam os tipos de cobertura (florestal, urbana, rural, etc...). Outro problema das condições de contorno é a resolução espacial da topografia, que pode não representar bem os contornos geográficos, suavizando montanhas, aterrando rios e baías e mal definindo a linha costeira.

O Estado do Rio de Janeiro possui um extenso litoral, onde encontramos área de ressurgência (região próxima a Cabo Frio) e a passagem da Corrente do Brasil ao longo da plataforma continental. Esse cenário faz com que o papel do oceano seja essencial no clima e tempo do estado do Rio de Janeiro, pois atuam na formação dos padrões encontrados no campo da Temperatura da superfície do Mar (TSM). Devido a esse fato, o campo de TSM é uma importante condição de contorno nos MPNT. Historicamente, devido a pouca quantidade de dados de TSM, os modelos tratavam este campo sob a forma de médias climatológicas sazonais. Isto implicava que as simulações eram realizadas com uma TSM fixa durante todo o processo. Com o advento da obtenção de dados de TSM através de sensoriamento remoto, pode-se obter uma TSM com maior resolução espacial e temporal e dessa forma aplicar um campo variável de TSM nos modelos. Porém, o campo de TSM ainda é resultado de médias temporais, que suavizam fenômenos transientes, como por exemplo ressurgências que ocorrem por na costa de Cabo Frio-RJ.

Tendo em vista a necessidade de melhorar a previsão de eventos de tempestades severas no município do Rio de Janeiro, realizamos um estudo sobre a influência da TSM nos resultados de chuva simulados pelos MPNT. Como foi visto, a área do município do Rio de Janeiro é bastante complexa e a implantação de MPNT necessita de vários estudos, afim de que representem da melhor forma as condições do tempo na área de estudo. Neste trabalho, utilizou-se o modelo de previsão numérica do tempo denominado Penn State-NCAR Mesoscale Model versão 5 (MM5), para simular o campo de precipitação na área do município do Rio de Janeiro, utilizando duas condições de contorno diferentes de Temperatura da Superfície do Mar (TSM) e comparando com dados observacionais da rede pluviométrica da GEORIO/Prefeitura do Rio de Janeiro. O trabalho enfoca somente a simulação do campo de precipitação, por ser mais complexo e apresentar 7 parametrizações para simulação de chuva no MM5. Avaliamos qual delas pode ser aplicada ao município do Rio de Janeiro sob a atuação de duas condições de contorno de TSM, já que o município possui um extenso litoral.

A escolha do modelo foi motivada pelas seguintes razões:

- i) Código-Fonte aberto : Não há custo na obtenção da licença de uso.
- ii) Amplamente utilizado no departamento de Meteorologia em trabalhos acadêmicos e operacionais.

No capítulo 2, é apresentada a metodologia utilizada neste trabalho, descrevendo os dados observacionais e dados de condições iniciais e de contorno. São apresentadas as configurações utilizadas no modelo MM5.

No capítulo 3, são apresentados os resultados obtidos nas simulações realizadas e no capítulo 4 as conclusões e sugestões para trabalhos futuros.

CAPÍTULO 2

METODOLOGIA

2.1 Introdução

Neste capítulo serão descritos os dados de precipitação utilizados e o tratamento aplicado aos mesmos, a configuração do modelo numérico de previsão do tempo MM5, as condições de contorno, assim como as parametrizações de microfísica que foram utilizadas nas simulações. Ao final serão apresentadas as simulações realizadas e a metodologia empregada no tratamento dos resultados obtidos.

2.2 Os dados da GEORIO

Neste trabalho, o conjunto de dados observacionais utilizado, foram os de precipitação gerado pela Fundação GEORIO da Prefeitura Municipal do Rio de Janeiro. Este conjunto de dados faz parte do sistema Alerta Rio, criado para prevenção de deslizamentos de encostas e demais danos produzidos por chuvas fortes, e serão utilizados para comparação com os resultados de precipitação obtidos com o MM5. Na Figura 2.1 é apresentada a distribuição espacial das estações da GEORIO (pontos vermelhos).

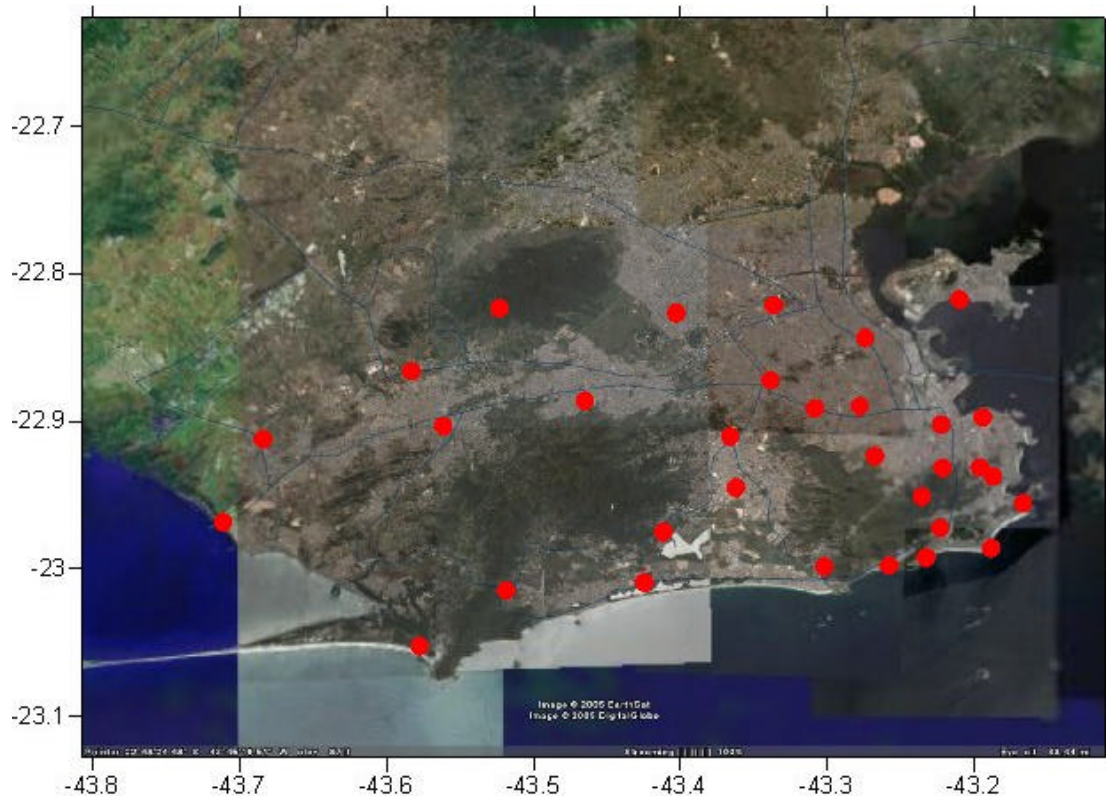


FIGURA 2.1– Distribuição espacial das estações da georio marcado por pontos vermelhos
Fonte: Georio **Imagem:** Google Earth.

O Sistema Alerta Rio utiliza informações, em tempo real, de 32 estações pluviométricas automáticas instaladas no Município do Rio de Janeiro. Cada estação pluviométrica tem seus dados transmitidos no intervalo de 15 minutos, via rádio, à estação central. A precipitação pluviométrica é medida com resolução de 0,2 mm. Estes dados são disponibilizados na Internet gratuitamente (maiores informações podem ser encontradas em <http://www2.rio.rj.gov.br/georio/site/alerta/alerta.htm>).

Para este trabalho, foram obtidos dados da GEORIO na sua forma original, com frequência amostral de 15 minutos, no período de 20 a 23 de março de 2003.

2.3 Condições iniciais e de Contorno

2.3.1 Condições iniciais

Os dados utilizados como condições iniciais para o modelo MM5 foram obtidos do modelo global GFS/AVN (Global Forecast System), do National Centers for Environmental Prediction (NCEP). No apêndice B, há uma descrição dos dados do modelo GFS/AVN.

2.3.2 Condições de contorno

2.3.2.1 Topografia

A topografia da região é configurada nos módulos de pré-processamento (Dudhia e outros, 2004) do MM5. Os dados de topografia foram obtidos da USGS (United States Geological Survey) com resoluções horizontais de 27 Km, 9 Km, 3 Km e 1km.

2.3.2.2 Temperatura da Superfície do Mar

Segundo Emery e outros (2001), os dados da Temperatura da Superfície do Mar podem ser estimados através de medidas *in situ* ou via técnicas de sensoriamento remoto. De acordo com a profundidade, a TSM estimada pode ser a da película (“**skin**”), da sub-película (encontrada em torno de 1 mm , logo abaixo dos fortes gradientes de temperatura associados com a película superficial), e a TSM do volume (“**bulk**”) mais ao fundo.

Em 1988, Reynolds (REYNOLDS 1988) apresentou a metodologia¹ utilizada para o cálculo do campo de TSM global média com resolução de 2° x 2°, combinando a veracidade dos dados *in situ* e a abrangência da cobertura dos satélites. Em Silva (2005), há uma descrição detalhada acerca do uso desta técnica.

Os dados de TSM , utilizando a técnica de Reynolds, são incorporados nos arquivos dos resultados do Modelo Global AVN/GFS (Apêndice B, para maiores

¹ Denominaremos esta técnica ou os dados oriundos da mesma de Média de Reynolds.

detalhes), que por sua vez são utilizados como condição inicial do modelo de mesoescala MM5..

No MM5, a TSM é tratada de duas formas:

- i) Persistida em toda a simulação (Figura 2.2)
- ii) Variável em toda a simulação (Figura 2.3)

Existe uma opção do modelo MM5 (que por “**default**” é mantida desligada no modelo) que permite que haja variação da TSM durante a simulação. Neste caso, o campo de TSM é atualizada durante toda a simulação. O intervalo de atualização dependerá da frequência em que são fornecidos os dados de TSM nas condições iniciais e de contorno. Para os dados AVN/GFS utilizados neste trabalho, a frequência de atualização foi de 6 em 6 horas.

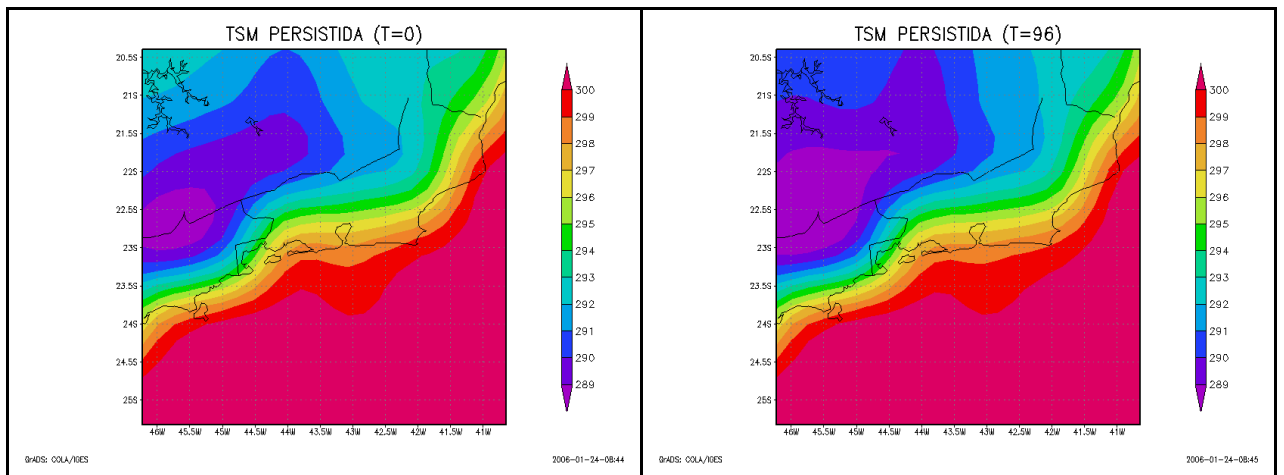


FIGURA 2.2 – Campo de TSM persistida (tempo t=0 e tempo t=96)

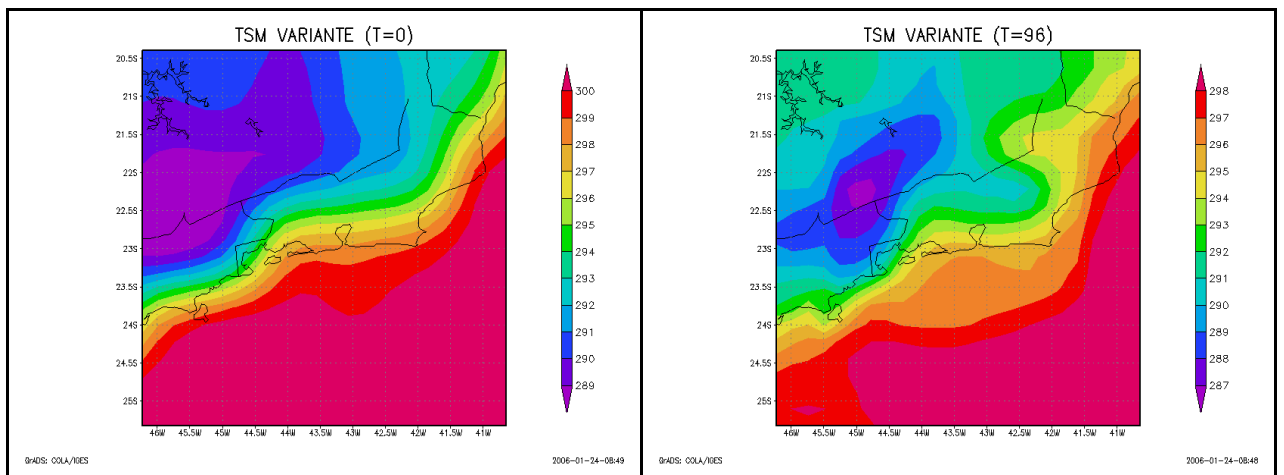


FIGURA 2.3 – Campo de TSM variante (tempo t=0 e tempo t=96)

2.4 Período das Simulações

O período das simulações, foi definido a partir da análise dos dados, desde 1997, quando a rede de estações pluviométricas da GEORIO entrou em funcionamento.

A escolha do período baseou-se nos seguintes requisitos:

1. Ocorrência de um sistema frontal, provocando tempestades. Informações sobre estes eventos foram obtidas na Revista Climanálise (CLIMANÁLISE 1997-2004), do CPTEC (Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos), que disponibiliza informações acerca de fenômenos sinóticos (frentes frias, sistemas convectivos, etc...) e avaliações climáticas.
2. Disponibilidade dos dados de condições iniciais e de contorno do modelo para todo o período escolhido, obtidos do modelo global GFS/AVN.

Apesar dos dados de precipitação da GEORIO estarem disponíveis desde 1997, os dados de condições iniciais e de contorno para o MM5 só estavam disponíveis a partir de junho de 2002. Com base nos requisitos definidos, foram selecionados os seguintes eventos de chuvas fortes ocorridos na região de estudo, listados na tabela 2.1:

Tabela 2.1 – Períodos selecionados para a simulação.

Período	Observações
22 e 23 de Outubro de 2002	Sistema frontal chegou a área de estudo no dia 22, causando fortes chuvas em 20% das estações. 80% das estações registraram chuvas fortes ² .
30 e 31 de outubro de 2002	Sistema frontal atuou na região entre os dias 30/31, gerando fortes chuvas em 16% das estações.
4 a 7 de Novembro de 2002	100% das estações registraram chuvas, sendo que para 60%, as chuvas foram consideradas fortes. Sistema frontal chegou no dia 5 e permaneceu até o início do dia 7.

² Utilizou-se como padrão para definição de chuva forte, o valor de 25 mm/hora. Fonte: OMM (Organização Meteorológica mundial)

12 e 13 de Novembro	Este sistema frontal provocou chuvas moderadas em 80% das estações.
19 de novembro a 2 Dezembro	Neste período, houve atuação de 2 sistemas frontais e a configuração de um sistema de ZCAS.
9 a 12 de dezembro de 2002	Sistema frontal chegou a região no dia 9, gerando em 46% das estações chuvas fortes. Atuou até o final do dia 12.
17 a 18 de Março de 2003	Chegada de um sistema frontal no dia 8, que tornou-se dois dias depois um evento do tipo ZCAS. O sistema (ZCAS) atuou na região até o início do dia 18.
20 a 23 de Março de 2003	Atuação de um sistema frontal que chegou no dia 21, registrando chuvas fortes em 86% das estações. Permaneceu na região até o dia 23.
25 a 31 de Março de 2003	Segundo evento ZCAS do mês de março de 2003. No dia 26 foi configurado como ZCAS, dissipando somente no dia 30/31.

Considerando a maior ocorrência de chuvas fortes registradas nas estações da GEORIO, o período escolhido para as simulações, foi o compreendido entre os dias 20 e 23 de março de 2003,

2.5 Avaliação sinótica do período selecionado.

Na Figura 2.2, observa-se na imagem de satélite, uma frente fria sob a forma de uma banda de nebulosidade (tons brancos na imagem), que é resultado do encontro de uma massa fria oriunda do Sul do Brasil com a massa de ar mais quente encontrada no sudeste. Uma frente fria gera um aquecimento nas regiões anteriores a sua posição (denominado efeito pré-frontal), chuvas fortes oriundas das nuvens *cúmulus nimbus* que ocorrem na região frontal da frente fria e chuvas mais moderadas, geradas por nuvens estratiformes que se seguem após a passagem da frente. Efeitos locais, como topografia, podem modificar tais fenômenos (COLE 1975). O sistema frontal em questão, encontrava-se, às 15:00 UTC, sobre a região do estado de São Paulo, estendendo-se pelo litoral, provocando fortes chuvas. A intensidade dos efeitos de uma frente fria depende da quantidade de “combustível” disponível (umidade) e de sua estrutura vertical. Frentes frias com maior desenvolvimento vertical provocarão efeitos mais intensos por serem mais

convectivas. Então, é comum classificar frentes frias como profundas (alto desenvolvimento vertical) e rasas (menor desenvolvimento vertical). No caso do nosso estudo, a frente fria apresentava grande desenvolvimento vertical (Climanálise, março de 2003).

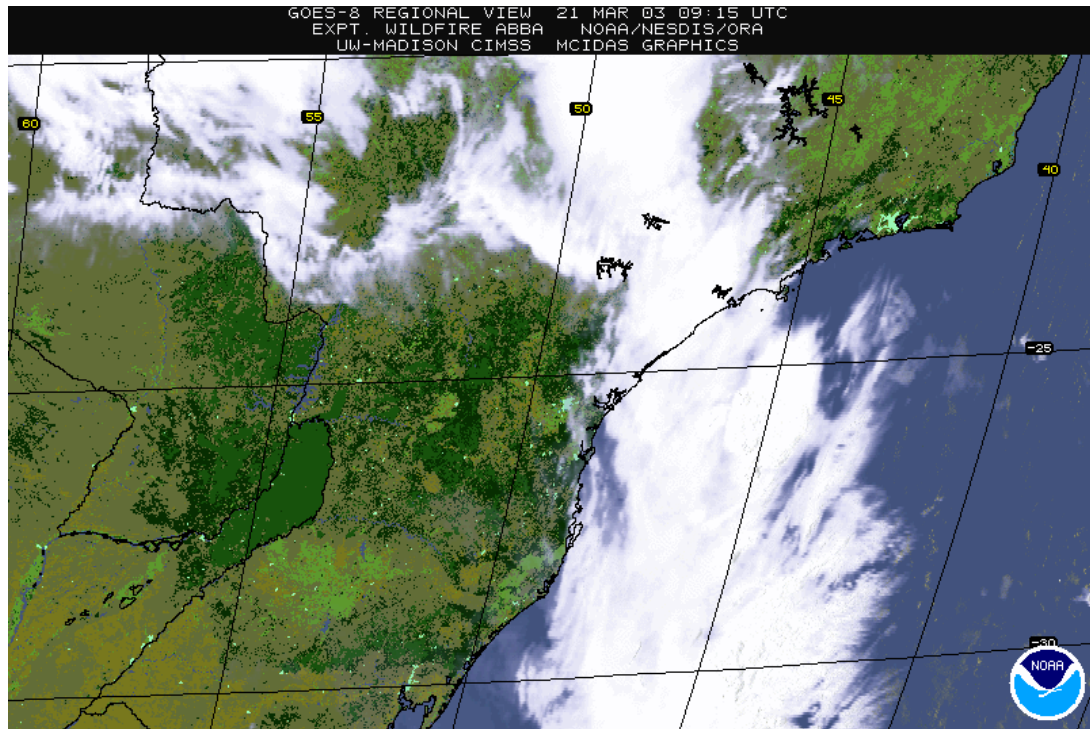


FIGURA 2.2 – Imagem de satélite do dia 21/03/2003 ÀS 15:00 UTC. SATÉLITE GOES-8.
FONTE National Oceanic and Atmospheric Agency (NOAA).

Sistemas frontais são sobretudo sistemas de baixa pressão, e portanto sua posição e movimento podem ser estimados pelas medidas de pressão atmosférica à superfície. Na figura 2.3, observa-se um gráfico com os valores de pressão atmosférica ao nível do mar para os 5 (cinco) aeroportos existentes na área do município do Rio de Janeiro (Bases Aéreas do Galeão (SBGL), Afonsos (SBAF), Santa Cruz (SBSC) e aeroportos de Santos Dumont (SBRJ) e Jacarepaguá (SBJR)). No eixo das ordenadas temos os valores de pressão em hPa e no eixo das abscissas o dia e hora (UTC) de cada observação. Pode-se notar a chegada do sistema frontal pela queda nos níveis de pressão (no gráfico), por volta das 17 horas UTC do dia 21.

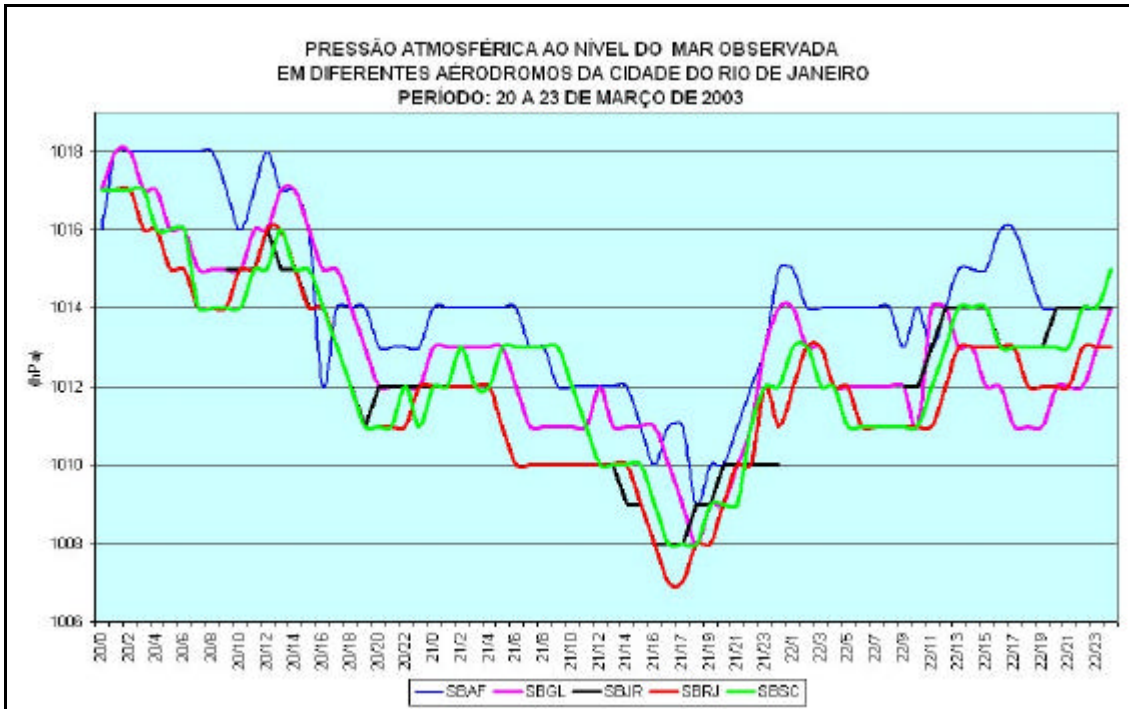


FIGURA 2.3 – Gráfico dos valores de pressão atmosférica ao nível do mar dos aeroportos e bases militares localizadas na área do município do Rio de Janeiro. **fonte:** Ministério da Aeronáutica/redemet (www.redemet.aer.mil.br)

Na figura 2.4 está representada uma carta sinótica, na qual estão plotadas várias codificações que permitem localizar a posição dos fenômenos sinóticos (sistemas frontais, núcleos convectivos, sistemas de altas e baixas pressões). Na carta sinótica da figura 2.4, podemos observar um mapa com a região da América do Sul, onde estão plotadas as isóbaras em hPa. As letras “A” e “B” na carta sinótica, representam respectivamente zonas de Alta e Baixa pressão.

A carta sinótica representada na figura 2.4, refere-se ao dia 21 de março, às 12 horas UTC do ano de 2003. Pode-se observar a frente fria no litoral de São Paulo e estendendo-se para o oceano. Este tipo de processo sempre está associado a um sistema de baixa pressão que se encontra entre dois sistemas de altas pressões, que na carta sinótica, pode ser observados no oceano atlântico e na região da Argentina.

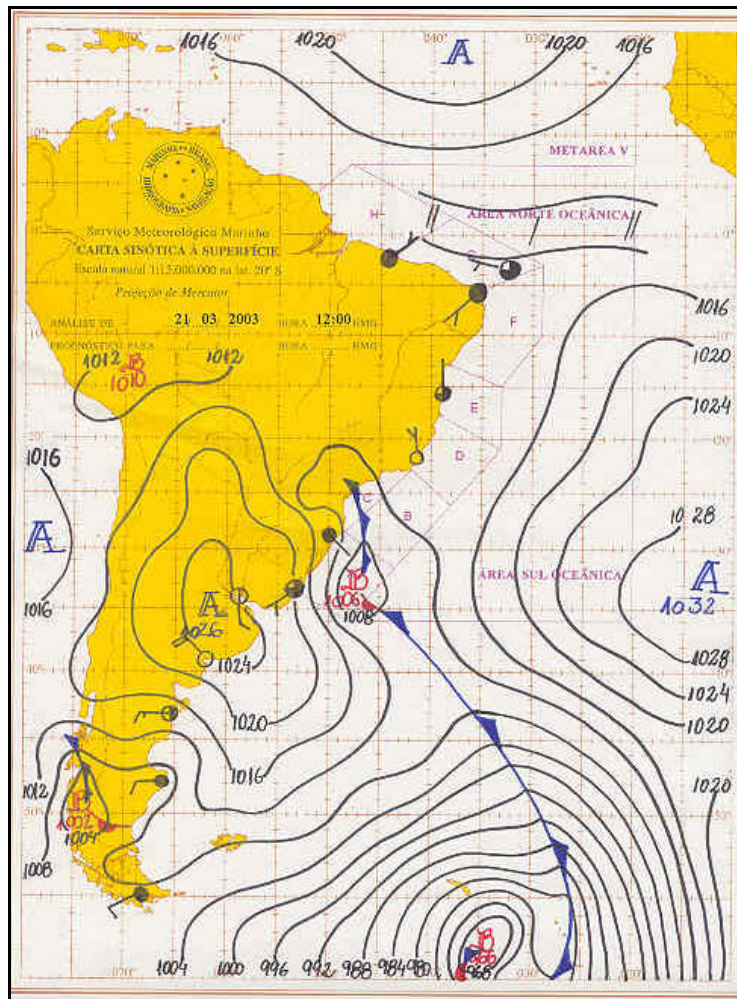


FIGURA 2.4 : Carta sinótica do dia 21 de março de 2003 (12 horas UTC). **Fonte:** DHN (Departamento de Hidrografia e Navegação/ Marinha do Brasil).

De acordo com os dados de precipitação da GEORIO, listados na tabela C.1 (apêndice C), pode-se concluir que a frente fria chegou a área de estudo por volta de 19:00 UTC, com registros de chuvas nas estações da região oeste do município do Rio de Janeiro. Às 20 horas, 60% das estações registravam valores acima de 15 mm/hora, sendo que 23% apresentavam valores acima de 25 mm/hora (note que segundo a OMM 25 mm/hora é considerado tempestade severa). As 21 horas UTC, 21% das estações ainda apresentavam valores acima de 15 mm/hora, contudo o número de estações acima de 25 mm/hora aumentou para 30%. Após as 22 horas UTC a intensidade das chuvas diminuiu, ficando com intensidades fracas e/ou moderadas durante grande parte do dia 22. Houve um aumento da intensidade durante a noite do dia 22 em algumas estações. Após este horário o sistema frontal deslocou-se para fora da região de estudo. Na Figura 2.5 é apresentado o gráfico dos valores de precipitação, acumulados por hora, somando-se os valores de todas as estações da GEORIO. Pode-se notar o pico de chuva associado à chegada da frente

fria na área de estudo e os demais aumentos de intensidade da chuva até o fim do dia 22.

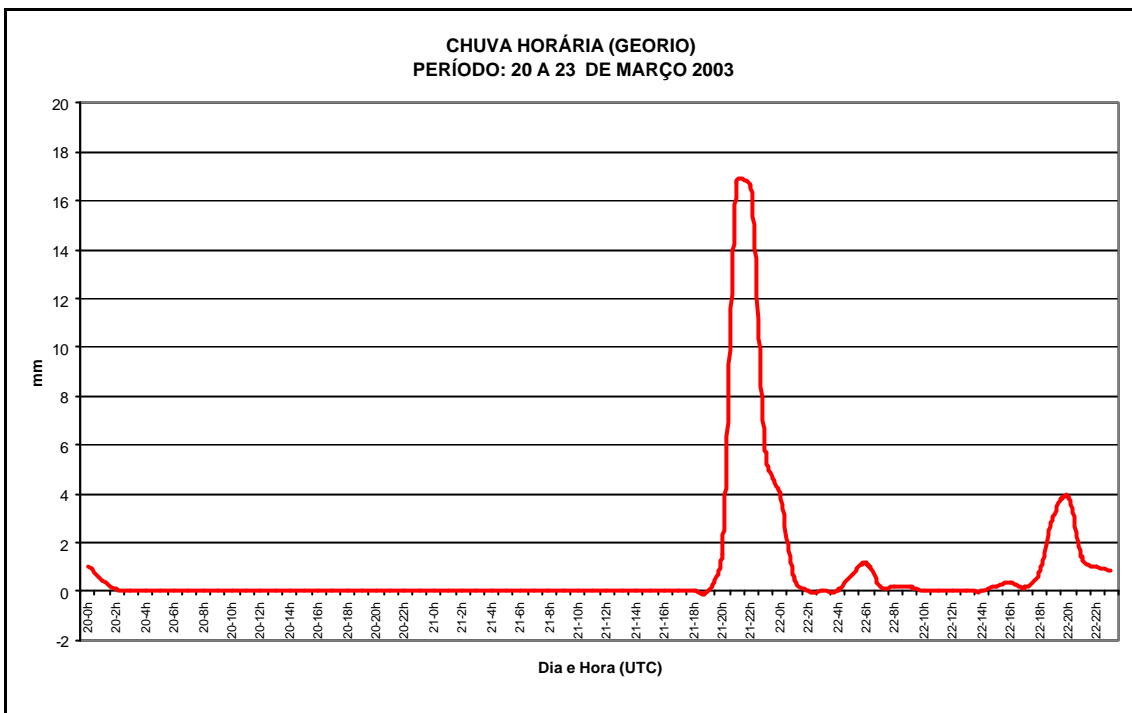


FIGURA 2.5 – Precipitação acumulada em uma hora em todas as estações da Georio.
Fonte: GEORIO

2.6 Configuração do MM5

2.6.1 Definição das grades

Para as simulações, foram definidas 4 grades (Figura 2.6), aninhadas com esquema de transferência unidirecional (os fluxos de massa e energia da grade menos resolvida são passados para as grades mais resolvidas), com a grade de maior resolução englobando todo o Município do Rio de Janeiro.

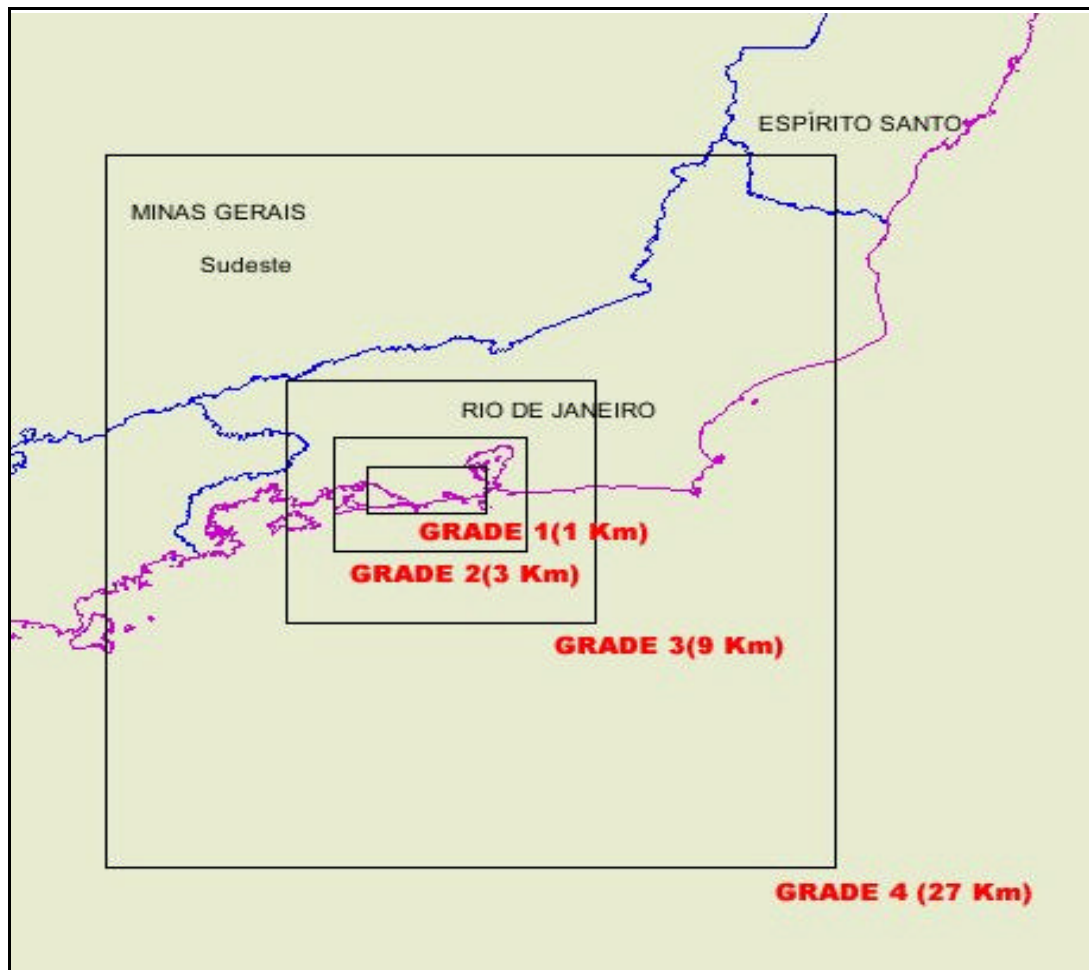


FIGURA 2.6 - Grades Aninhadas definidas para as simulações.

As resoluções definidas, e número de pontos nas direções horizontais, para cada grade são listados na Tabela 2.2.

Tabela 2.2 – Número de pontos das grades e resolução horizontal utilizados.

Pontos de Grade	Resolução horizontal	Passo de tempo	Dimensão da grade(Lon/Lat)
24 x 25	27km	60,00s	-46.2276 -40.6409 -25.3232 -20.4022
24 x 27	9km	20,00s	-44.6086 -42.5026 -23.851 -22.1372
24 x 36	3km	06,67s	-43.907 -42.962 -23.2078 -22.6362
30 x 66	1km	02,22s	-43.7001 -43.1151 -23.0672 -22.827

Todas as grades foram configuradas com 23 níveis sigma na vertical.

As grades foram definidas baseados em três requisitos:

- i) Que a grade menos resolvida, abrangesse parte da costa afim de capturar fenômenos como ressurgência e a influência da Corrente do Brasil.
- ii) Que a grade mais resolvida abrangesse toda a área do município do Rio de Janeiro
- iii) As demais grades foram criadas para respeitar uma condição do MM5, onde a razão entre as resoluções horizontais das grades deve ser de três (3). A resolução espacial da grade mais resolvida foi determinada em 1 Km. A resolução da grade menos resolvida deveria ter uma resolução aproximada de 30km. Respeitando a razão imposta pelo modelo, duas outras grades foram criadas entre as de 1km e 30km.

2.6.2 Parametrizações de Precipitação.

No MM5, existem duas formas de tratamento da precipitação; modelos explícitos (ou esquemas de microfísica) que são ativados quando uma dada parcela de ar atinge a saturação (num ponto de grade) e funcionam para escalas menores que 10 Km e o segundo modo de tratamento são os esquemas implícitos ou parametrizações de cúmulus, que contabilizam os processos de precipitação em resoluções maiores que 10 Km. Os dois tratamentos podem funcionar simultaneamente (Dudhia e outros, 2004), desde que observadas as características do fenômeno do qual se quer simular.

Quanto aos esquemas de microfísica, o MM5 permite o uso de sete (7) diferentes parametrizações (Grell e outros,1995). Na verdade, algumas destes esquemas são variações ou possuem melhoria de outros esquemas. Pode-se então, agrupar as parametrizações de microfísicas em 4 grupos, segundo o tipo de algoritmo utilizado:

Tabela 2.3 - Parametrizações de microfísica do MM5.

Grupo 1	“Stable”
Grupo 2	“Warm rain” e “Simple Ice”
Grupo 3	“Mixed-Phase” , “Reisner-Graupel” , “Goddard Microphysics”
Grupo 4	“Schultz”

Esquemas do grupo 1:

“**Stable**” : Esquema mais simples presente no modelo, no qual a supersaturação (umidade acima de 100%) é transformada em precipitação. Detalhes em Grell e outros (1995).

Esquemas do grupo 2:

“**Warm Rain**”: Este esquema desenvolvido por Hsie e outros (HSIE, ANTHES et al. 1984) e citado em Grell e outros (1995), as quantidades de água de chuva e de nuvem são prognosticadas explicitamente. O esquema calcula a evaporação de gotas de água da chuva e de nuvem, a condensação de vapor de água, o arrasto provocado pelas gotas de chuva e a conversão de gotas de nuvens em chuva. Assume-se que a taxa de conversão de gotas de nuvens em gotas de chuva é função linear da quantidade de água nas gotas de nuvem, dependendo de um valor crítico, que Hsie e outros (1984) consideraram de 0.5g.kg⁻¹, utilizado também por Grell e outros (1995). De acordo com Cotton e Anthes (2000), esta parametrização não permite distinguir entre massas de ar marítimo onde esta conversão é mais rápida, de massas de ar continental onde esta conversão é mais lenta nem considera a velocidade ascendente na base da nuvem, apesar de ser um fator determinante na ativação das gotas de água.

As parametrizações da distribuição do tamanho das gotas de chuva que usam uma única distribuição tal como a dada por Marshall e Palmer (Marshall e Palmer

,1948) apud Hsie e outros (1984), estão também, de acordo com os mesmos autores, responsáveis por erros que resultam em se considerar, posteriormente, apenas uma velocidade característica de queda.

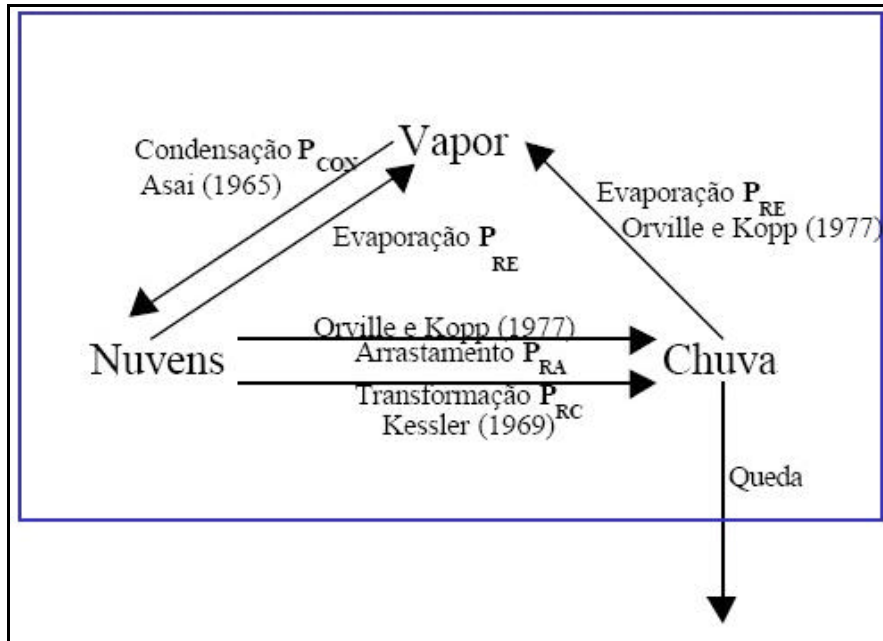


FIGURA 2.7 – Interações incluídas na Parametrização “Warm rain”. Adaptado De (Dudhia 1989)

“Simple Ice”: Este esquema, desenvolvido por Dudhia (1989), é baseado no modelo “Warm Rain” descrito anteriormente, sendo a principal modificação realizada a introdução da fase gelo, onde água de nuvem pode ser tratada como gelo de nuvem e água de chuva pode ser tratada como neve. Segundo o autor, os processos associados à fase de gelo são mais importantes numa camada entre os 0°C e os – 20°C onde os movimentos verticais de ascensão são forçados pela liberação de calor latente que resulta da deposição de vapor de água na neve. Os movimentos verticais de subsidência resultam da liquefação e da evaporação do gelo e aparecem atrás das zonas conectivas.

O modelo considera equações de conservação para o vapor de água, para a água e gelo nas nuvens e para a chuva e neve, além de possuir parametrizações para distribuição de tamanho e velocidade de queda de gotas de chuva. Este modelo considera que acima de 0°C as nuvens são constituídas apenas por água líquida e que toda a precipitação ocorre sob a forma de chuva (nuvens quentes) e que abaixo dos 0°C as nuvens são constituídas por gelo e toda precipitação ocorre sob a forma de

neve (nuvens frias). Na Figura 2.8 é apresentado um esquema ilustrativo das interações na parametrização

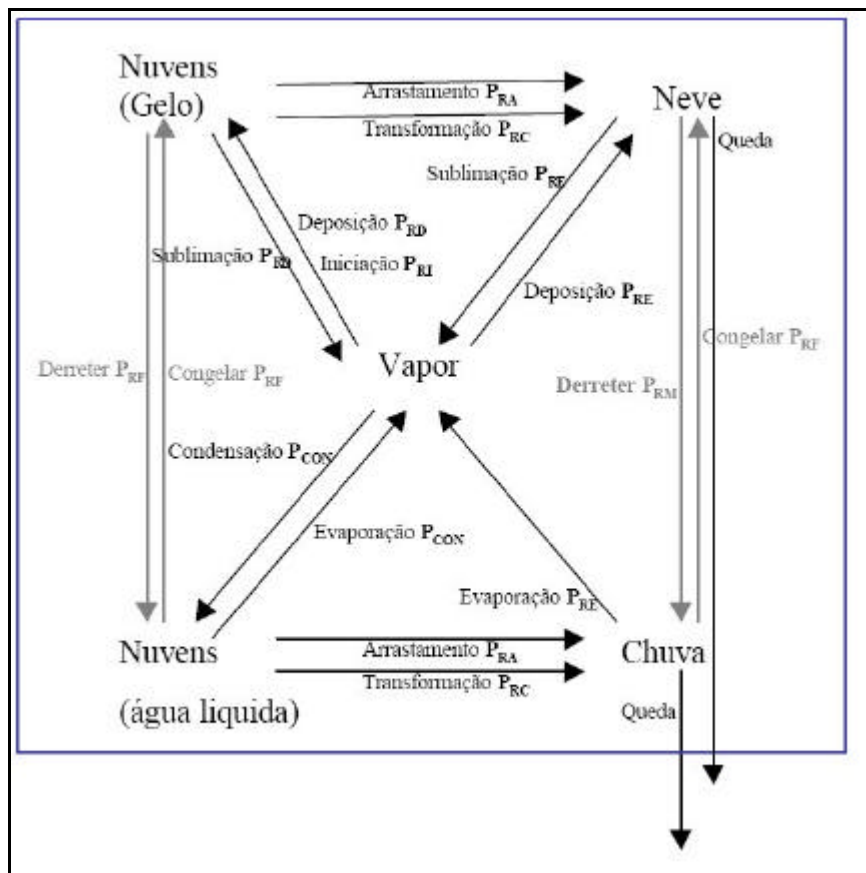


FIGURA 2.8 – Interações incluídas na Parametrização “Simple Ice”. Adaptado De (Dudhia 1989)

Esquemas do grupo 2:

Mixed-Phase: Reisner e outros (1998) descreveram novos esquemas de microfísica para serem implementados no MM5. Os autores argumentam que os esquemas já existentes no modelo, não se mostraram capazes de simular adequadamente água líquida super-resfriada. Ainda Reisner e outros (1998), afirmam que quando os processos de formação de gelo são lentos, as tempestades de inverno podem acumular grandes quantidades de água super-resfriada (acontece tipicamente para temperaturas acima de -15°C). A previsão correta da água super-resfriada é importante sobretudo para aviação.

O esquema “*Mixed-Phase*”, difere do “*Simple Ice*” ao permitir a presença simultânea de água e gelo ou de água e neve na nuvem, além de incluir uma

parametrização que permite o derretimento de neve, evaporação de neve derretida e congelamento heterogêneo de água de nuvem. Não leva em conta presença de “graupel” (partículas resultantes do crescimento de cristais de gelo devido à colisão e solidificação instantânea de gotas de água super-resfriada).

“Reisner-graupel”: O modelo *Reisner-graupel* é semelhante ao *Mixed-Phase*, e difere na inclusão de duas novas equações para previsão de “graupel” e para a concentração de cristais de gelo. Este modelo também difere do *Mixed-Phase* no que diz respeito à parametrização da conversão do gelo presente nas nuvens que contenham neve: o *Mixed-Phase* usa a parametrização dada por Kessler (Kessler, 1969) apud Reisner e outros (1998), enquanto *Reisner-graupel* faz uso de uma parametrização mais complexa (Reisner e outros (1998)).

“Goddard Microphysics” : Semelhante ao “Reisner-Graupel”, inclui tratamento para “graupel” de forma semelhante aos esquemas anteriores, além de incluir processos de formação de granizo (Dudhia e outros (2004)).

Esquema do grupo 4:

“Schultz”: Schultz (1995) propôs este esquema, que utiliza um particionamento de água semelhante ao esquema de Goddard, onde a água é considerada sob as formas de vapor de água, água líquida nas nuvens e gelo nas nuvens, e considera precipitação sob a forma de água, neve, e gelo. Este último engloba neve, “graupel” e granizo. Neste modelo paramétrico o vapor de água em excesso num ambiente de saturação líquida é convertido imediatamente em líquido, enquanto o excesso de vapor em um ambiente saturado de gelo não é convertido imediatamente em gelo de nuvem. Segundo o autor, foi assim definido devido ao fato de existir água na forma líquida em nuvens abaixo de 0°C, sem ocorrer congelamento. No ciclo de vida de muitas nuvens que geram precipitação, o primeiro condensado não contém gelo até que a temperatura fique abaixo de -20°C.

O crescimento dos cristais de gelo deve-se principalmente à nucleação e difusão do vapor no ar supersaturado em relação ao gelo e a taxa de crescimento devido à difusão depende da supersaturação e da massa de cristais existente.

A precipitação em forma de água e a neve se iniciam quando a concentração de gotas de água, ou de cristais de gelo, excedem determinado valor a partir do qual o modelo assume que as colisões dariam origem a partículas suficientemente grandes para estas precipitarem.

A simulação do processo de evaporação leva em consideração que as partículas menores evaporam primeiro e que o líquido evapora antes do gelo, levando a uma seqüência: o gelo derrete em primeiro lugar formando gotas de água nas nuvens, em seguida a neve derrete formando chuva e por fim o “graupel” também se transforma em chuva.

Parametrização de Cumulus

Neste trabalho, foi utilizada a parametrização de cumulus denominada Grell (1991), onde se assume que nuvens convectivas profundas possuem um único tamanho. O modelo considera nuvem com apenas dois tipos de movimentos: um descendente e outro ascendente, além de considerar mistura direta de ar da nuvem com o ar ambiente apenas no topo e na base das circulações. O fluxo de massa é constante com a altura e toda a água condensada se transforma em chuva.

O controle dinâmico é realizado relacionando os processos convectivos com a desestabilização causada pelos processos de maior escala presentes na atmosfera, considerando que as nuvens estabilizam o ambiente à mesma taxa que o ambiente de maior escala o desestabiliza. O mecanismo de retorno (*feedback*) para a atmosfera é determinado através de fluxos de massa descendentes e ascendentes, respectivamente, na base e no topo da nuvem. Este esquema considera os efeitos de cisalhamento sobre eficiência de precipitação.

Alguns autores (Dudhia e outros (2004)), consideram que este esquema é mais adequado para domínios com resoluções horizontais de 10 a 30 km. Segundo Pilke (2000), o ponto forte para o esquema Grell consiste no fato de ter sido desenvolvido para resoluções mais finas (10-12 Km). Este foi o fator da escolha desta parametrização neste trabalho.

Observações gerais sobre as parametrizações

Nos modelos de microfísica as propriedades das nuvens são as mesmas que as dos pontos de grade e portanto, sempre que existe saturação num determinado ponto estes modelos são ativados. Estes modelos simulam a escalas grandes a precipitação de origem estratiforme a escalas mais reduzidas a precipitação de origem convectiva.

Hsie e outros (1984) apresentaram várias vantagens no uso destes modelos:

- a convecção é resolvida pelo modelo,

- a distribuição vertical de calor latente é determinada explicitamente,
- as precipitações convectiva e não convectiva são determinadas, explicitamente,
- evaporação da precipitação é calculada.

As desvantagens associadas a estes modelos também referidas em Hsie e outros (1984) são o tempo computacional extra necessário, em comparação aos esquemas implícitos, e a não a inicialização das diferentes variáveis associadas à água. No MM5, por exemplo, as condições iniciais só incluem a quantidade de vapor de água, todas as outras variáveis, como por exemplo, a água líquida das nuvens é iniciada como zero.

No MM5 a parametrização de precipitação tem como objetivo principal calcular os fluxos de calor latente necessário às equações dinâmicas e gerar como resultado a precipitação e a porcentagem de nuvens.

Nos esquemas explícitos de precipitação, existentes no MM5, são utilizadas equações de prognóstico para cada um dos diferentes estados da água. É apresentada uma descrição destas equações prognósticas para a razão de mistura da água sob várias espécies, onde entende-se por espécie a combinação do seu estado e forma de agregação.

Segundo Zhang (1988), para grades na ordem de 10 Km, o uso simultâneo dos dois tipos de esquemas é muito importante para a previsão numérica de precipitação associada a sistemas convectivos. Oliveira (2002) observou que os esquemas de cúmulus não provocava diferenças significativas em comparação as simulações com este parâmetro desligado no modelo. Tomé (2004) realizou simulações onde as grades menores que 10Km utilizavam apenas o tratamento de microfísica, utilizando o esquema de cúmulus Grell para grades acima desse valor. O mesmo autor afirma que a escolha de Grell foi baseada no fato de que este tipo de esquema era o único que foi desenvolvido para escalas de 10 a 20 Km e por ser computacionalmente mais vantajoso.

Segundo Zhang e outros(1994), os processos dentro das nuvens ainda não são totalmente conhecidos em todas as situações. Os modelos de tratamento de nuvens são simplificações dos processos reais que ocorrem no interior das nuvens. Além da simplificação teórica, toda a física envolvida tem que ser discretizadas para os modelos numéricos, fazendo com que surjam outras limitações. Apesar de todos estes fatores, os resultados encontrados simulam, na maioria dos casos, satisfatoriamente os processos de chuva. Um outro detalhe, é que tais processos são

modelados a partir de condições meteorológicas encontradas em regiões de latitude médias e geralmente criadas para simular algum evento sinótico de grande interesse. Por estas razões, ao se aplicar qualquer esquema de tratamento da precipitação, fora das regiões na qual foram desenvolvidas, deve-se fazer testes de sensibilidade. Tania (2002) realizou os testes para a região de Portugal e chegou a conclusão que o uso da parametrização de “Schultz” e “Mixed-Phase” alcançaram bom desempenho associadas ao uso das parametrizações de cúmulus “Kain-Fritsch” e “Arakawa-Schubert”. Oliveira (2002), realizou testes de sensibilidade para a região do Rio de Janeiro, na qual simulou um caso de tempestade severa ocorrido em novembro de 2001. Como parametrização de cúmulus, utilizou “Kain-Fritsch” associada as parametrizações de microfísica “Simple Ice”, “Schultz” e “Goddard”. Os resultados mostraram que o uso da parametrização de cúmulus associada às de microfísica, não gerou grandes diferenças. Optou-se por desligá-la, diminuindo o tempo computacional da simulação. As simulações entre diferentes esquemas mencionados também obteve resultados com poucas diferenças significativas. Por outro lado, o tempo computacional utilizando “Schultz” é bem menor do que nos demais esquemas.

Dudhia (1989) compara resultados de simulações com os esquemas “Warm rain” e “Simple Ice” e a principal diferença é que o modelo sem gelo “warm rain” tende a ter um campo de calor latente menos acentuado. Reisner (1998), concluiu que o esquema por ele desenvolvido “Reisner-Graupel” teve um custo computacional mais alto que o “Mixed Phase” mas produziu melhores resultados à quantidade de água superresfriada e à quantidade de precipitação sob a forma de neve.

2.6.3 Outras configurações utilizadas no MM5.

Nas simulações foi utilizada a parametrização “Bulk” para o tratamento da camada limite planetária. A razão da escolha está no fato de até o momento a representação das condições de contorno invariantes no tempo, por exemplo uso do solo e cobertura vegetal, serem mal definidas na base de dados do MM5. Dessa forma, aplicar parametrizações da camada limite planetária mais sofisticadas e dependentes das características do solo, seria dispendioso computacionalmente, sem agregar qualidade à modelagem face a má representação da superfície.

A parametrização da superfície utilizada foi a conhecida como “Force/Restore”, onde o balanço de energia é utilizado para calcular a variação diurna da temperatura (Duhia e outros,2004).

Para radiação foi utilizada uma parametrização simples, onde o aquecimento radiativo só depende da temperatura da interação com as parametrizações de *cumulus* e superfície, sendo que os valores de tendência da radiação são atualizados a cada 30 minutos (Duhia e outros,2004).

2.7 As Simulações

Com base na análise da precipitação ocorrida no período da simulação, optou-se por subdividir o período selecionado em 3 eventos:

- i) Período de estiagem (do dia 20 às 17:00 UTC ao dia 21 às 18 UTC), chamado de **Caso 1**;
- ii) Período de entrada da frente (18:00 UTC do dia 21 às 02:00 UTC do dia 22), **caso 2**;
- iii) O período Pós-frontal, **caso 3**.

Na Figura 2.9 são apresentados os casos selecionados e sua relação com a precipitação acumulada na área por hora. O caso 1, em azul no gráfico, praticamente seco, foi utilizado para verificação dos resultados para situação sem chuva. O caso 2 representa a chegada do sistema frontal à área de estudo, com pico de precipitação bem determinado; e o caso 3 com chuva de caráter contínuo.

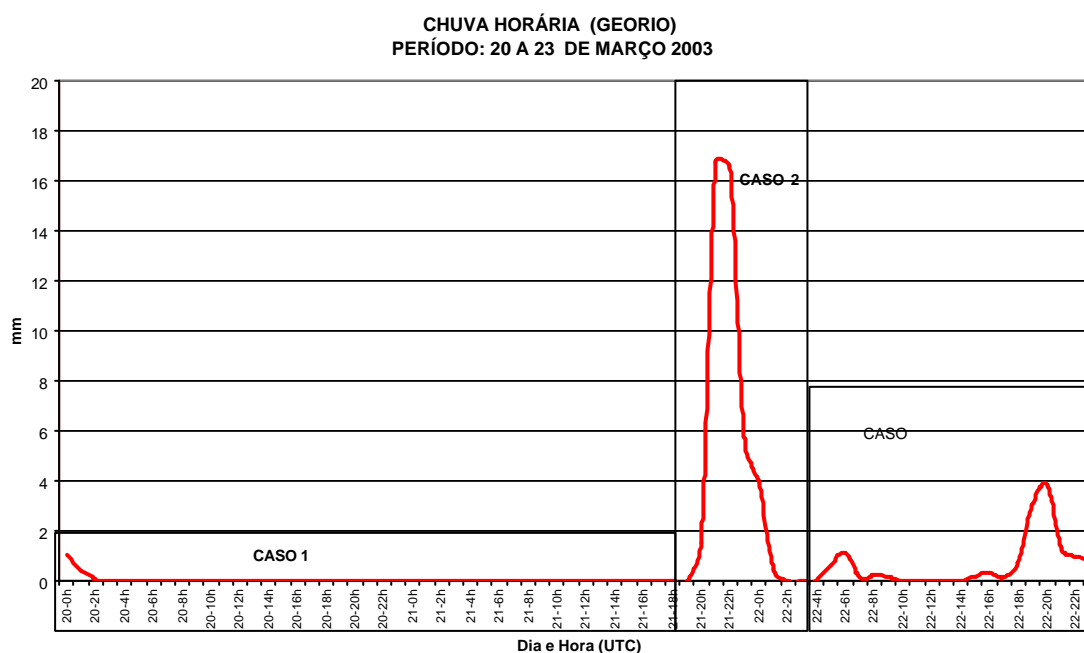


FIGURA 2.9 – Separação dos casos pelo tipo de precipitação obtido com análise dos dados da GEORIO.

Considerando o teste aplicação de todas as sete opções de microfísica, variando para cada condição de contorno de TSM, foram totalizadas 14 (quatorze) simulações (Tabela 2.4).

Tabela 2.4 - Simulações realizadas.

Parametrizações de microfísica	Condição de contorno de TSM	
	Persistida	Variante
“STABLE”	X	X
“WARMRAIN”	X	X
“SIMPLEICE”	X	X
“MIXPHASE”	X	X
“GODDARD”	X	X
“REISNER2”	X	X
“SCHULTZ”	X	X

As simulações numéricas foram realizadas em plataforma de alto desempenho (SGI ALTIX 350, Silicon Graphics, Inc.), com recurso de memória compartilhada, com 14 processadores, sendo que para as simulações foram utilizados apenas 8 processadores. A Infra-estrutura, foi cedida pelo Núcleo de Computação de Alto Desempenho (NACAD) da COPPE/UFRJ. Foram realizadas simulações de 72 horas de prognóstico. No gráfico da figura 2.10, são representados os tempos de CPU obtidos utilizando diferentes parametrizações de chuva. As simulações feitas com a parametrização “REISNER2” tiveram o maior custo computacional enquanto que as simulações utilizando a parametrização “STABLE” resultaram num tempo de parede menor. A opção “nula” é a simulação realizada sem a modelagem de microfísica de nuvens. A linha em azul, no gráfico da figura 2.10 representa o tempo médio de CPU considerando todas as simulações.

Não houve diferenças significativas entre as simulações utilizando diferentes condições de contorno (TSM persistida e TSM variante no tempo).

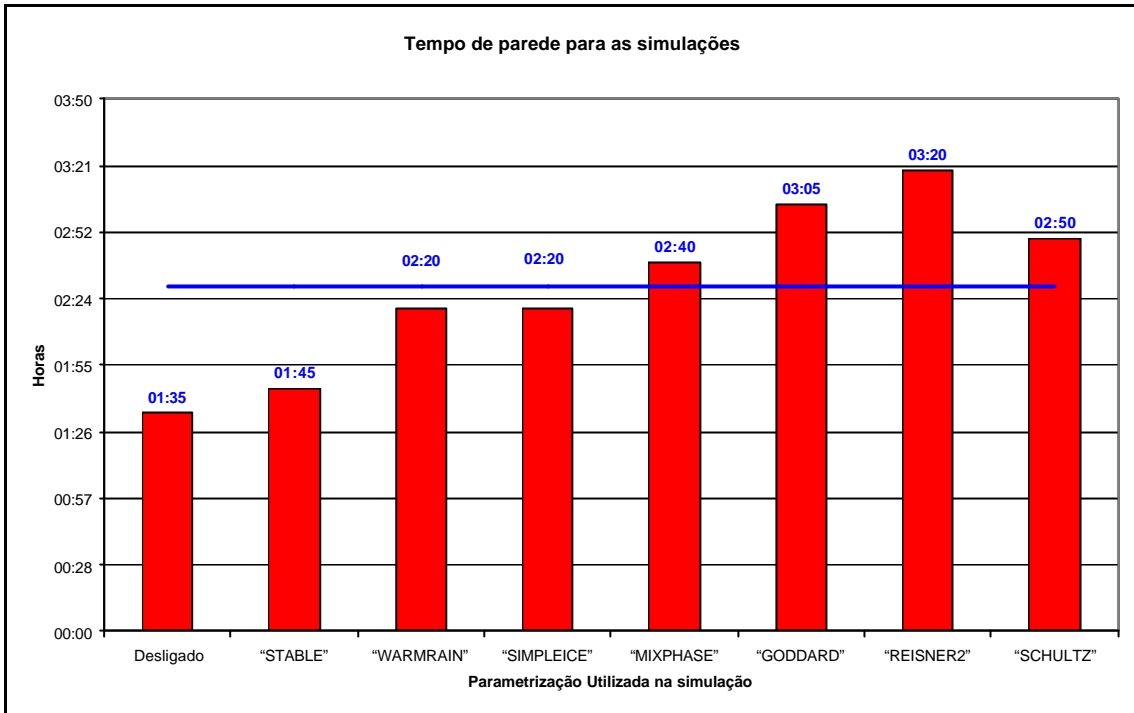


FIGURA 2.10 – Tempo de parede para as simulações realizadas com diferentes parametrizações de microfísica.

2.8 Tratamento dos resultados

A grade de maior resolução horizontal (vide sessão 2.2) foi configurada de modo a cobrir toda a área da rede de estações pluviométricas da GEORIO e por esta razão os dados simulados nesta grade foram os utilizados na comparação com os dados observados. Para manter a mesma escala e ordem de grandeza, os dados observados foram interpolados na região desta mesma grade. A interpolação dos dados de precipitação da GEORIO na área da grade mais resolvida foi realizada utilizando o método Kriging (Kerry e outros, 2000). O passo seguinte foi comparar os resultados observados e simulados, visando o cálculo da quantidade de água por unidade de área.

A avaliação dos resultados foi realizada comparando os dados observados com os dados modelados utilizando a condição de contorno de TSM variante no tempo e a condição de contorno persistida no tempo.

Objetivando obter a “sensibilidade” do modelo a mudança da condição de contorno de TSM, foi desenvolvido um índice para avaliar a resposta do modelo à condição de contorno de TSM.

Primeiro, calculamos a diferença entre os valores obtidos de quantidade de água integrada na área utilizando os dados modelados com as duas condições de contorno da TSM.

Sejam Qp_i e Qv_i a distribuição de precipitação na área de estudo utilizando TSM persistida e TSM variante no tempo, respectivamente. Seja Qg é a distribuição da precipitação para os dados observados. O índice “i” significa o número da parametrização de microfísica que gerou tal distribuição de acordo com os valores da tabela 2.4. Desta forma, a quantidade de água integrada na área, para condição de contorno de TSM persistida (P_i), para TSM variante (V_i) e para os dados observados (G) é dado respectivamente por:

$$P_i = \iint_S Qp_i \, dx dy \quad (2.1)$$

$$V_i = \iint_S Qv_i \, dx dy \quad (2.2)$$

$$G = \iint_S Q v_i \, dx dy \quad (2.3)$$

A seguir, calculamos a média dos valores de quantidade de água integrada para cada parametrização “i”, somando-se os valores para a condição de TSM persistida (Pi) e variante no tempo (Vi).

$$M_i = \frac{(V_i + P_i)}{2} \quad (2.4)$$

Definimos como (Di) a diferença entre as quantidades Pi e Vi, nesta ordem.

$$D_i = P_i - V_i \quad (2.5)$$

Por último, definimos então, o índice de sensibilidade das condições de contorno ISCC, que foi então definido como a razão entre a diferença dos casos com condição de contorno (persistida e variante) e a média dos resultados das parametrizações.

$$ISCC_i = \frac{D_i}{M_i} \times 100 \quad (2.6)$$

Dessa forma as diferentes condições de contorno, para cada parametrização “i”, podem ser comparadas entre si.

Um exemplo hipotético da utilização do ISCC, pode ser observado nos gráficos das figuras 2.11 e 2.12. No primeiro gráfico, temos os valores de água integrada na área para simulações utilizando a condição de contorno de TSM variante no tempo, na cor azul e na cor vermelha, resultados das simulações utilizando condição de contorno persistida de TSM para 4 conjuntos de resultados hipotéticos. Cada conjunto refere-se as duas simulações utilizando uma dada parametrização e testando as duas diferentes condições de contorno de TSM.

No primeiro conjunto, a parametrização em questão não foi afetada pela mudança nas condições de contorno da TSM. No segundo conjunto, a condição de contorno de TSM persistida foi mais importante do que o caso de TSM variante. No terceiro par de blocos, a parametrização foi mais sensível quando a condição de contorno de TSM foi variante. No último conjunto, o resultado foi igual ao obtido pelo conjunto 2. A análise deste tipo de informação não nos informa de imediato a sensibilidade de fato que há entre as simulações.

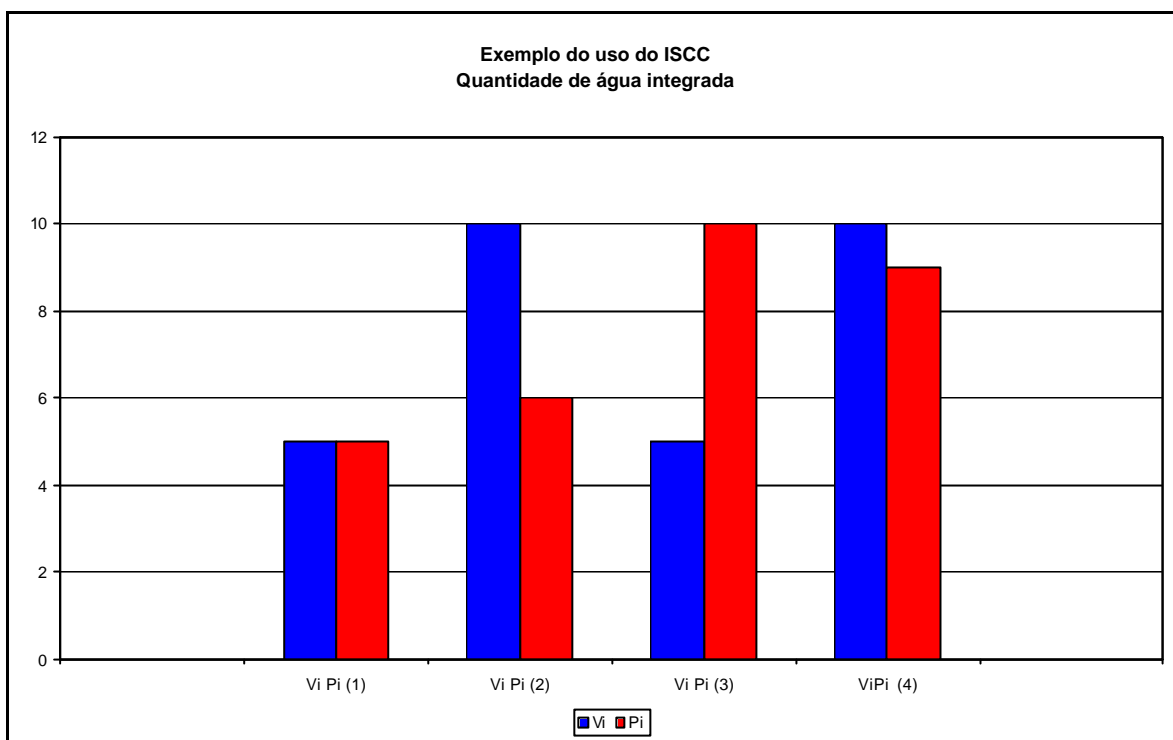


FIGURA 2.11 – Exemplo do uso do ISCC (quantidade de água integrada)

Para analisar tal sensibilidade, utilizamos o índice ISCC. Na figura 2.12 é apresentado o gráfico do ISCC para as simulações hipotéticas apresentadas no gráfico da figura 2.11, onde o eixo das abscissas referem-se ao índice ISCC e as ordenadas, os 4 conjuntos de simulações realizadas.

Quanto ao sinal do índice ISCC, o índice zero no caso 1 indica que não há diferenças utilizando diferentes condições de contorno. No caso 2, o índice é negativo por que utilizando condição de contorno com TSM variante foi mais sentida do que utilizando TSM persistida. No caso 3, a simulação utilizando TSM persistida foi mais representativa do que utilizando condição de contorno variante. No caso 4, o resultado quanto ao sinal do índice entra no mesmo resultado do caso 2.

Quanto ao módulo do índice, podemos analisar quão sensível foi uma simulação utilizando uma dada condição de contorno. No exemplo dado, ambos os casos 2 e 4 apresentam resultados onde a condição de contorno utilizando TSM variante foi mais sentida do que a persistida, porém, o caso 2 foi mais sensível que o caso 4 a uma condição de contorno de TSM variante.

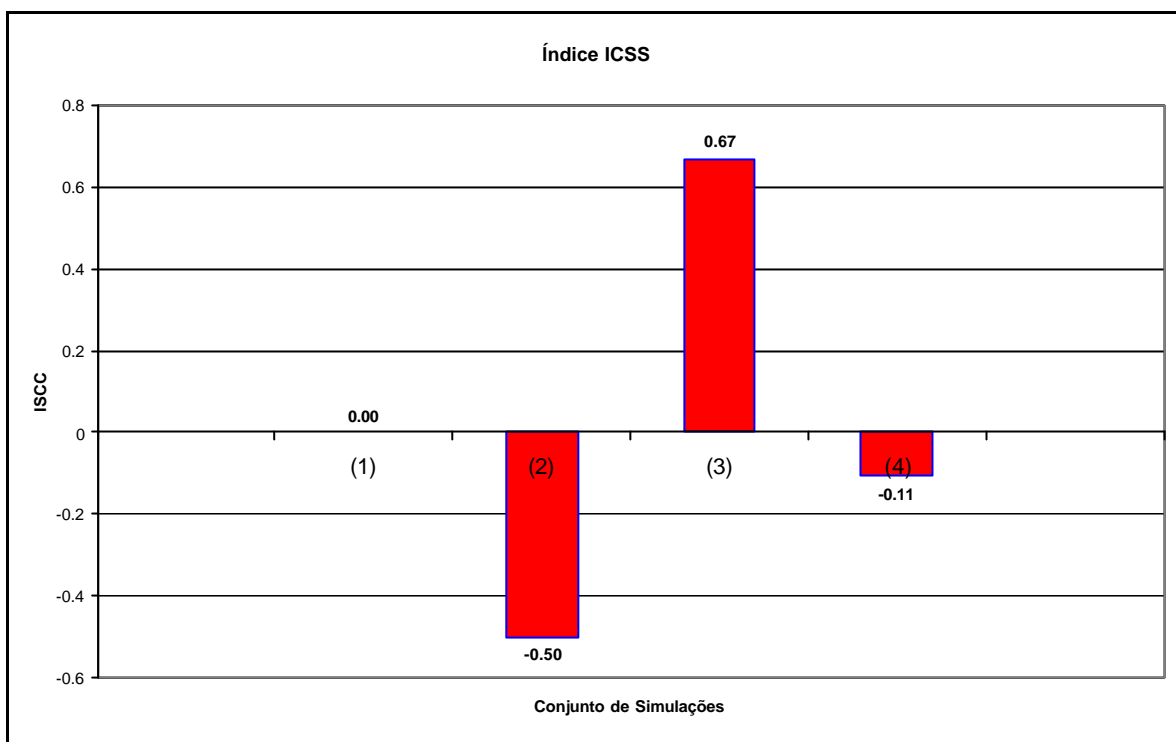


FIGURA 2.12 – Exemplo do uso do ISCC.

Resumindo:

- ISCC = 0 → Não houve sensibilidade do modelo as diferentes condições de contorno.
- ISCC > 0 → Sensível a condição de contorno de TSM persistida
- ISCC < 0 → Sensível à condição de contorno de TSM variante.

CAPÍTULO 3 - RESULTADOS

3.1 Caso 1 - Período seco

No gráfico da Figura 3.1 é apresentada a quantidade de água integrada na área de estudo, referente a cada parametrização (vide tabela 2.4) utilizada na simulação, com valores apresentados em milhões de milímetros. As barras amarelas são referentes a valores obtidos com condição de contorno de TSM persistida (P_i), e as verdes utilizando a TSM variante no tempo (V_i),

No período seco, que foi do dia 20 de março às 00:00 UTC até o dia 21 de março, às 18:00 UTC, a precipitação, integrada da GEORIO foi praticamente nula (1.5×10^{-5} mm), porém os resultados modelados apresentaram-se com chuva, que dependendo do tipo de parametrização utilizado, variaram de próximo à zero até valores de 12×10^6 mm. A princípio, nenhuma delas parece responder satisfatoriamente ao período de estiagem. As simulações utilizando parametrizações “STABLE”, “WARMRAIN”, “SIMPLEICE” e “SCHULTZ” produziram os resultados com menor quantidade de água. As demais parametrizações geraram uma grande quantidade de chuva.

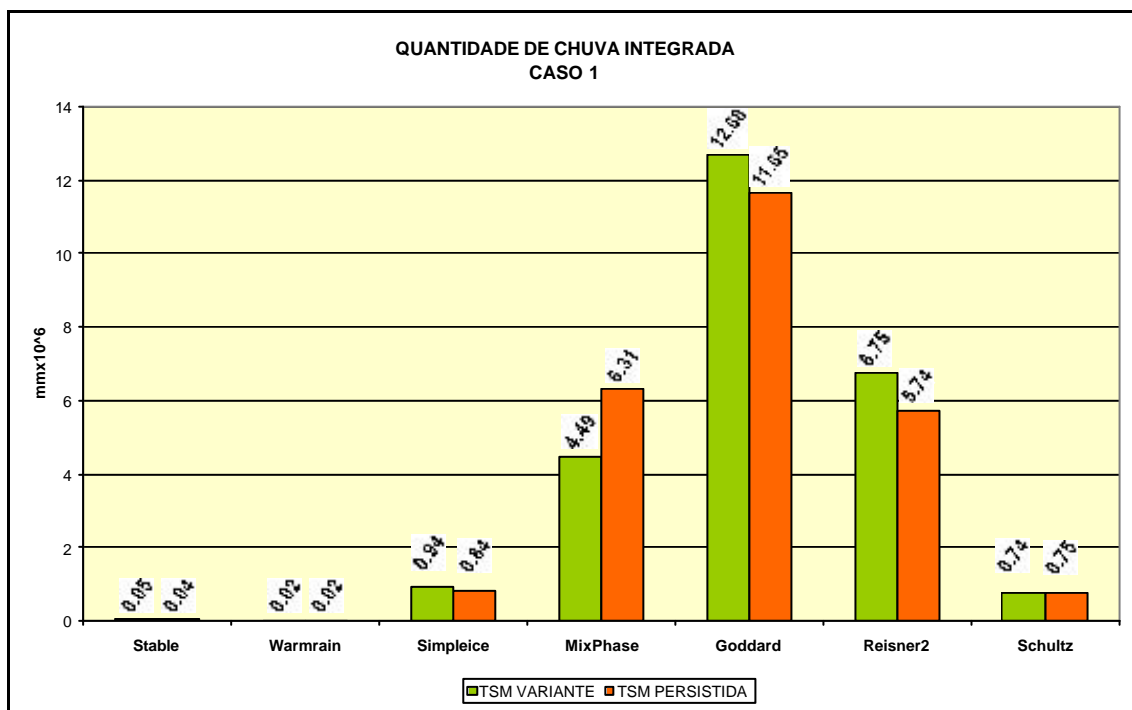


FIGURA 3.1 – Quantidade de chuva integrada na área de estudo para o caso 1 (seco).

Na Figura 3.2 está representado o gráfico com o índice de sensibilidade, no qual valores positivos significam que o impacto com a condição de contorno utilizando a TSM persistida foi maior que a utilizando condição de TSM variante.

As simulações utilizando as parametrizações "SCHULTZ" e "MIXPHASE" foram mais sensíveis ao uso da condição de contorno de TSM persistida, sendo que a parametrização "MIXPHASE" apresentou maior sensibilidade do que a parametrização "SCHULTZ" nesta condição.

As demais parametrizações foram mais sensíveis à condição de contorno utilizando a TSM variante, e a parametrização "STABLE" apresentou maior sensibilidade a este tipo de configuração. Nota-se que as simulações utilizando a parametrização "STABLE" obtiveram amenor quantidade de chuva (figura 3.1), porém mostraram-se mais sensíveis nas condições de contorno de TSM.

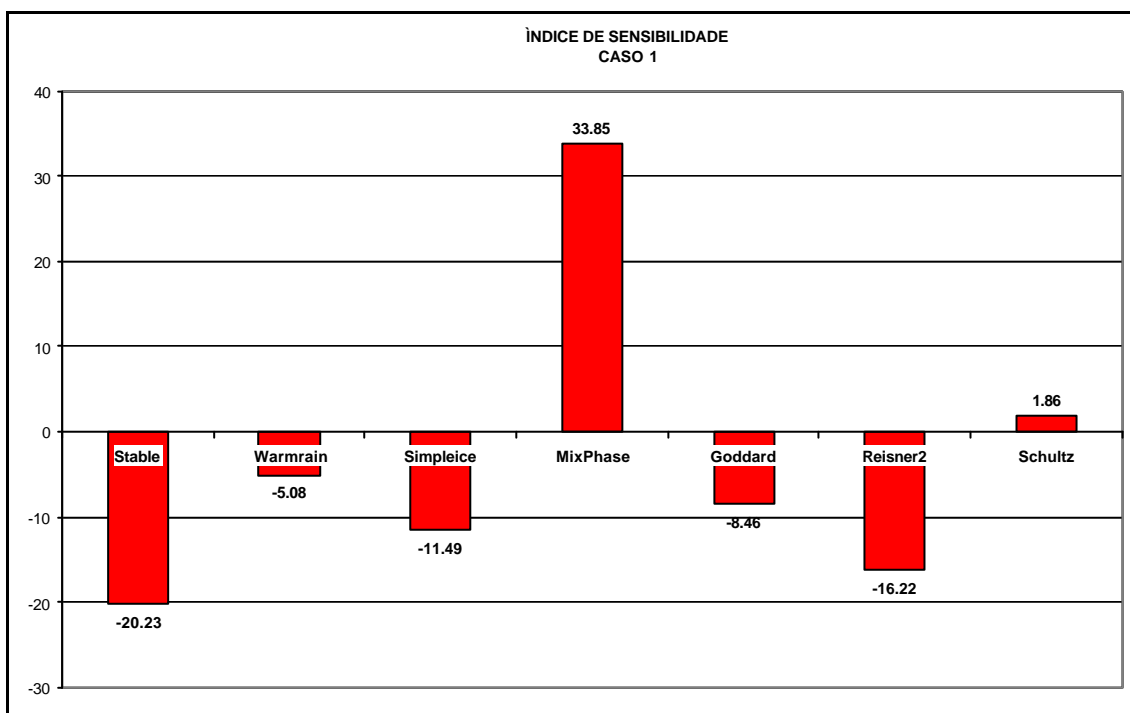


FIGURA 3.2 – Índice de sensibilidade as condições de contorno - caso seco

3.2 Caso 2 - Período com precipitação intensa

A figura 3.3 contém o gráfico com os resultados obtidos de água integrada por área, para o período das 18:00 UTC do dia 21 até as 02:00 UTC do dia 22, para as sete parametrizações, além dos dados observados da GEORIO (barra azul).

Nota-se que no caso de chuva intensa, a parametrização “MIXPHASE” apresentou os valores mais próximos do observado. Apenas as simulações utilizando “MIXPHASE” e “SCHULTZ” apresentaram valores acima do observado. As simulações utilizando parametrizações “STABLE” e “WARMRAIN” estimaram os menores valores de precipitação. As demais parametrizações apresentaram valores modelados abaixo do observado.

A princípio, as simulações utilizando parametrizações “STABLE” e “WARMRAIN” não conseguiram captar o sistema frontal. A razão pode estar no fato, de que essas parametrizações não têm tratamento de espécies mais elaborada de água (“graupel”, por exemplo) que estão associados a este tipo de evento meteorológico.

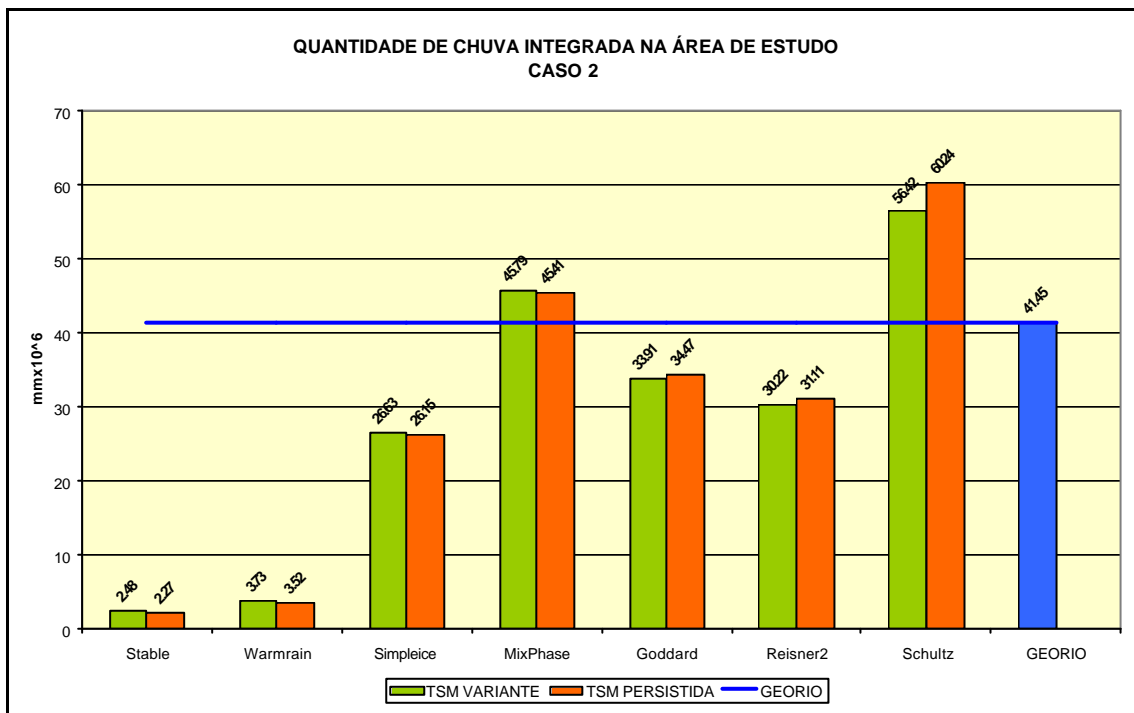


FIGURA 3.3 – Quantidade de chuva integrada na área de estudo para o caso 2 (seco).

Na figura 3.4, onde está representado o índice de sensibilidade para o caso 2, as simulações utilizando parametrizações “STABLE”, “WARMRAIN”, “SIMPLEICE” e “MIXPHASE” apresentaram sensibilidade às condições de contorno utilizando TSM variante no tempo. Destas, a simulação utilizando a parametrização “STABLE” apresentou a maior sensibilidade, porém comparando com os dados observados (figura 3.3), não captou a chegada do sistema frontal e gerou pouca chuva. Quanto às simulações utilizando parametrizações que foram mais sensíveis à condição de contorno de TSM persistida, a parametrização “SCHULTZ” apresentou a maior

sensibilidade. Comparando com os dados da GEORIO, a parametrização “SCHULTZ” gerou mais chuva que o observado. No cômputo geral do caso 2 a simulação utilizando “SCHULTZ” foi mais sensível a condição de contorno com TSM persistida, seguida pela simulação utilizando a parametrização “STABLE”, porém essa para o caso de condição de contorno variante no tempo. Com relação a quantidade de chuva a parametrização “MIXPHASE” gerou o melhor resultado (mais próximo do observado), seguida pelas parametrizações “GODDARD” e “REISNER2”, porém todas tiveram pouca sensibilidade as mudanças de condições de contorno. Isto pode decorrer do fato que fenômenos de grande escala podem estar influenciando o cômputo da precipitação mais do que os efeitos locais.

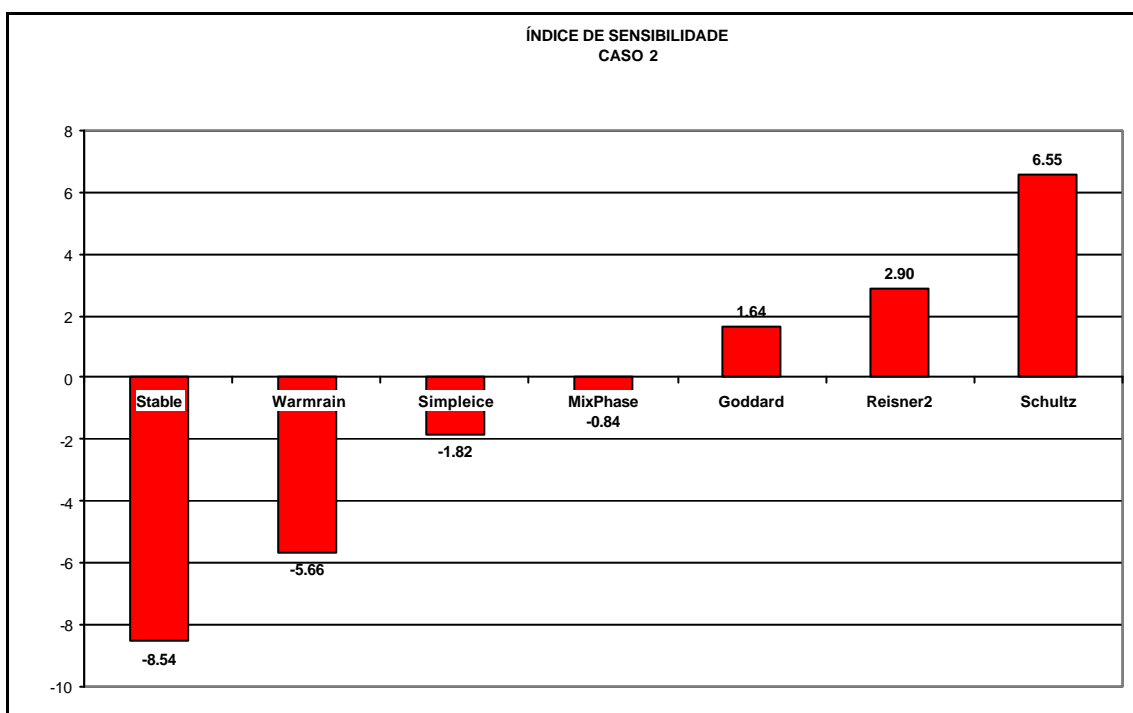


FIGURA 3.4 – Resultados do índice de sensibilidade para o caso 2

3.3 Caso 3 - Período com precipitação contínua

O caso 3 corresponde ao período de 02:00 UTC do dia 21 ao dia 23. Este período foi marcado por chuvas menos intensas e contínuas. Este tipo de sistema é formado por nuvens estratiformes, que não apresentam grandes desenvolvimentos verticais. Isso leva ao fato que algumas espécies de água, como granizo por exemplo, não são formados neste tipo de nuvem. Note, na figura 3.5, que todas as parametrizações apresentaram valores de chuva acima do observado, sendo que as simulações utilizando a parametrização “WARMRAIN” apresentou os valores mais

próximos aos da GEORIO. A parametrização “STABLE” desta vez gerou a maior quantidade de água.

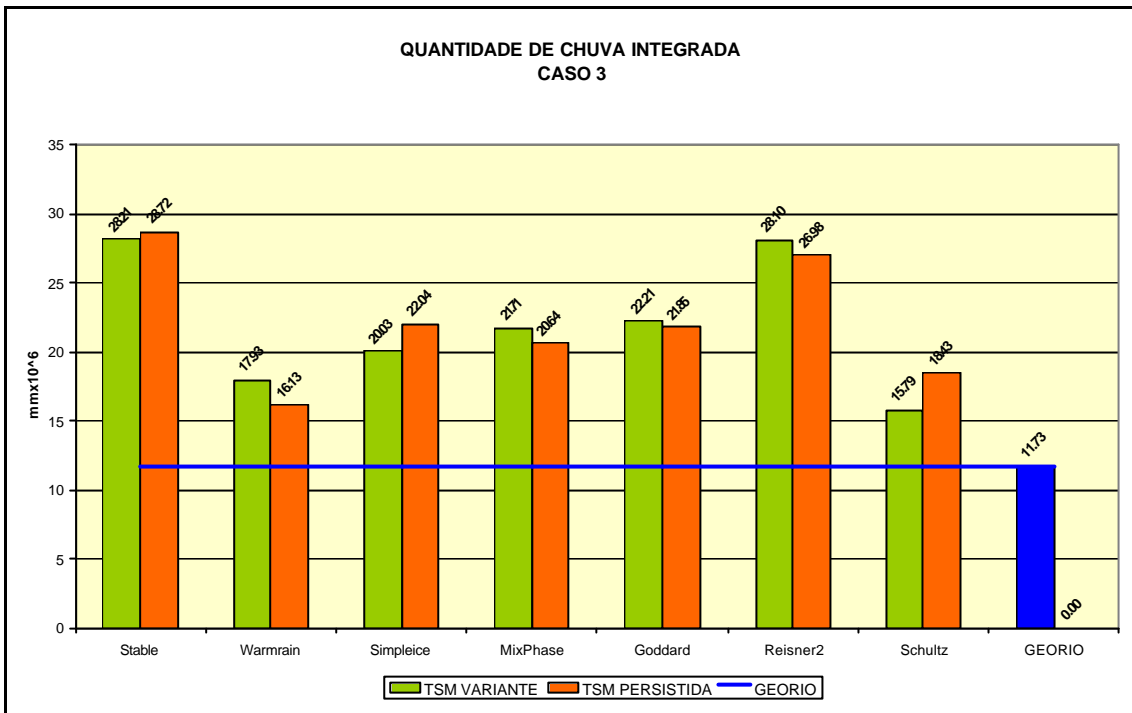


FIGURA 3.5 - Resultados do índice de sensibilidade para o caso 3.

Quanto ao índice de sensibilidade (figura 3.6), as parametrizações “STABLE”, “SIMPLEICE” e “SCHULTZ” apresentaram maior sensibilidade às condições de contorno utilizando TSM persistida, sendo que a parametrização “SCHULTZ” apresentou a maior sensibilidade. Quanto ao caso utilizando condição de contorno variante, “a parametrização “WARMRAIN” apresentou os maiores valores de sensibilidade. Tanto as parametrizações “WARMRAIN” quanto “SCHULTZ” geraram quantidades de chuva próximo ao observado, porém a primeira utilizando variação na condição de contorno de TSM e a outra com a TSM persistida. Neste caso 3, os efeitos locais parecem atuar mais do que os efeitos da grande escala. Isto pode decorrer do fato que no caso 3, o sistema frontal atuante na área de estudo já se deslocava para uma outra região, significando que os efeitos locais dominam a característica da precipitação.

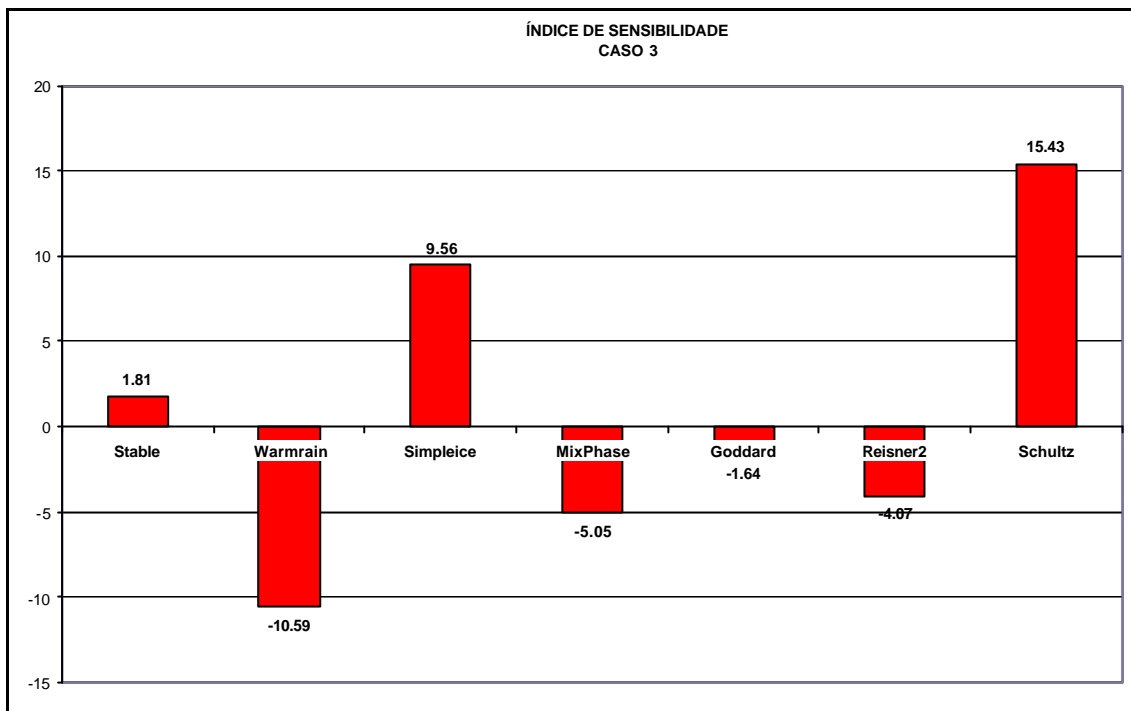


FIGURA 3.6 – Resultados do índice de sensibilidade para o caso 3.

Na tabela 3.1, a seguir, estão resumidos o desempenho de cada parametrização no estudo realizado.

Tabela 3.1 – Resultados obtidos pelas diferentes parametrizações nas simulações realizadas.

Parametrização	Resultado
“STABLE”	<p>Gerou chuva próxima de zero no caso sem chuva, mas não conseguiu captar a entrada da frente fria, gerando valores de precipitação abaixo do observado na GEORIO. No caso de chuva contínua, gerou mais chuva do que o observado.</p> <p>Quanto a sensibilidade as condições de contorno de TSM, no caso 1 e 2 apresentou maior sensibilidade quando a condição de contorno de TSM foi variante. No caso 3, apresentou maior sensibilidade as condições de contorno variante, mas com um menor módulo.</p>
“WARMRAIN”	<p>Gerou chuva próxima de zero no caso sem chuva, mas também não conseguiu captar a entrada da frente fria. No caso de chuva contínua, gerou mais chuva do que o observado.</p> <p>Quanto a sensibilidade as condições de contorno de TSM, sempre</p>

	apresentou maior sensibilidade quando a condição de contorno de TSM foi variante. .
“SIMPLEICE”	Gerou chuva próxima a zero no caso seco, conseguiu captar o sistema frontal e no caso da chuva contínua (caso 3) gerou mais chuva que o observado. Quanto ao índice de sensibilidade, apresentou no caso 1 e 2 maior sensibilidade ao uso da TSM variante, mas com módulo pequeno. No caso 3, apresentou maior sensibilidade utilizando condição de contorno persistida e neste caso o módulo foi considerável.
“MIXPHASE”	Gerou muita chuva no caso seco, conseguiu captar o sistema frontal e gerou chuva acima do observado no caso 3. Quanto a sensibilidade às condições de contorno de TSM, apresentou no caso 1 uma alta sensibilidade (em módulo) no caso variante utilizando TSM variante no tempo e nos demais casos foi mais sensível a condição de contorno de TSM persistida, mas com um módulo próximo a zero.
“GODDARD” & “REISNER2”	Apresentaram resultados similares, quanto a quantidade de água (muita chuva no caso seco, captaram a frente fria e chuva acima do observado no caso 3). Quanto a sensibilidade às condições de contorno de TSM, mostraram-se sensíveis quando variando a TSM.
“SCHULTZ”	Gerou pouca chuva no caso seco, captou o efeito do sistema frontal , mas gerando maior quantidade de água do que o observado. No caso 3, gerou resultados próximos ao observado. Em todos os casos se mostrou sensível a condições de contorno de TSM persistida.

No cômputo geral, a parametrização de “SCHULTZ” obteve o melhor desempenho, pois gerou bons resultados em todos os casos selecionados, mostrando-se mais efetiva quando a condição de contorno de TSM foi persistida.

CAPÍTULO 4 - CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

Todas as parametrizações geraram chuva no período sem chuva. Esse fato pode estar associado a duas questões. As parametrizações são desenvolvidas para latitudes médias e, sempre são ajustadas a dados de período chuvosos. Porém, dada a dificuldade de se prever a precipitação, podemos considerar como um bom resultado aqueles obtidos pelas simulações utilizando as parametrizações “SCHULTZ”, “STABLE”, “WARMRAIN” e “SIMPLEICE”, em relação à chuva estimada com os dados da GEORIO.

O impacto da condição de contorno de TSM no campo da precipitação foi maior no caso seco, onde os índices de sensibilidade apresentaram os maiores valores. Isso pode se dever ao fato de que nesse período não havia sistemas de grande escala atuando e, então, os processos locais, que incluem a resposta às variações das condições de contorno (TSM) dominaram o modelo.

Na entrada da frente, os índices de sensibilidade apresentaram os menores valores. Isso significa que a circulação de grande escala se sobrepôs aos processos locais, ou seja, minimizaram o efeito do oceano.

No caso da chuva contínua, os efeitos locais parecem retomar seu papel principal no comportamento do tempo, quando os efeitos de grande escala perdem sua força na região de estudo.

No cômputo geral, a parametrização “SCHULTZ” apresentou o melhor desempenho, sempre mais sensível a condições de contorno de TSM persistida.

Poder-se-ia repetir esse tipo de experimento para um maior conjunto de períodos e obter médias por conjuntos, representando melhor os efeitos sazonais.

Cabe ainda sugerir que se realizem experimentos com dados que reportem o acontecimento de temporais localizados (não ligados a sistemas frontais), de forma a verificar o papel da termodinâmica e das parametrizações dessa classe de fenômenos face àquelas provocadas por ondas de grande escala.

A representação de condições de contorno em modelos de mesoescala precisa ser melhor detalhada. Por exemplo, uma melhor representação do uso do solo e da própria TSM, que atualmente é obtida de médias.

Um caminho que pode ser a solução para a questão do oceano em modelos de mesoescala é o emprego de modelos acoplados de oceano e atmosfera.

APÊNDICE A - DESCRIÇÃO DO MM5

A.1 – MM5

O modelo de mesoscala PSU/NCAR (Pennsylvania State University/National Central for Atmospheric Research) é um modelo de área limitada, não-hidrostático, em um sistema de coordenadas sigmas, e que foi desenvolvido para simular ou prever a circulação atmosférica de mesoscala. O modelo é apoiado por uma série de programas de pré e pós-processamento, que no seu conjunto são designados como sistema MM5. O sistema MM5 é principalmente escrito em FORTRAN, e foi desenvolvido na Penn State e na NCAR como um modelo de mesoscala comunitário com contribuições de usuários de todo o mundo. O código do modelo MM5 é distribuído livremente e é apoiado pelo Grupo de Previsão de Mesoscala da divisão de meteorologia de mesoscala e microescala da NCAR. Atualmente se encontra na 5ª. geração e ao longo dos anos foram sendo incorporadas diversas modificações. O modelo possui código fonte livre (sem necessidade de compra de licenças de uso) e está disponível na rede mundial de computadores (<http://www.mmm.ucar.edu/mm5>). O sistema MM5 faz parte de uma comunidade internacional, que avalia, troca experiências e propõem mudanças e novas modificações para o modelo. Atualmente, o modelo MM5 está sendo substituído pelo WRF (*Weather Regional Forecast* em <http://www.mmm.ucar.edu/wrf>), mas esta mudança não implica no fim do MM5 e sim torná-lo uma referência para os novos modelos.

O modelo de mesoscala da PSU/NCAR era Hidrostático porque as distâncias horizontais são maiores que a profundidade vertical. Então a aproximação hidrostática é válida e a pressão é completamente determinada pelas massas de ar superiores. Porém quando as escalas das características resolvidas no modelo têm razões próximas da unidade, ou quando a escala horizontal é menor que a escala vertical, a dinâmica não hidrostática não pode ser desprezada. O termo adicional na dinâmica não hidrostática é a aceleração vertical que contribui para o gradiente vertical da pressão de forma que o equilíbrio hidrostático deixa de ser válido com hipótese. A perturbação da pressão em relação a um estado de referência juntamente com o momento vertical torna-se uma variável tri-dimensional extra que tem de ser iniciada (Tomé, 2004).

O sistema MM5 normalmente adquire e analisa os dados em superfícies de pressão, mas estes têm que ser interpolados para um sistema de coordenadas (sigma) antes de ser introduzido no modelo. No sistema de coordenadas sigma os

níveis mais baixos seguem aproximadamente o terreno enquanto a superior aproxima-se da forma plana (figura A1). Os níveis intermediários tendem progressivamente a ser plano à medida que a pressão chega ao topo. Uma quantidade adimensional é definida para definir os níveis do modelo na equação (2.7).

Onde P é a pressão, P_t é a pressão no topo do modelo e P_s , a pressão a superfície. A resolução vertical do modelo é definida por uma lista de valores entre zero e um que não é necessariamente espaçada uniformemente (Dudhia e outros, 2004) e Grell e outros, 1995)).

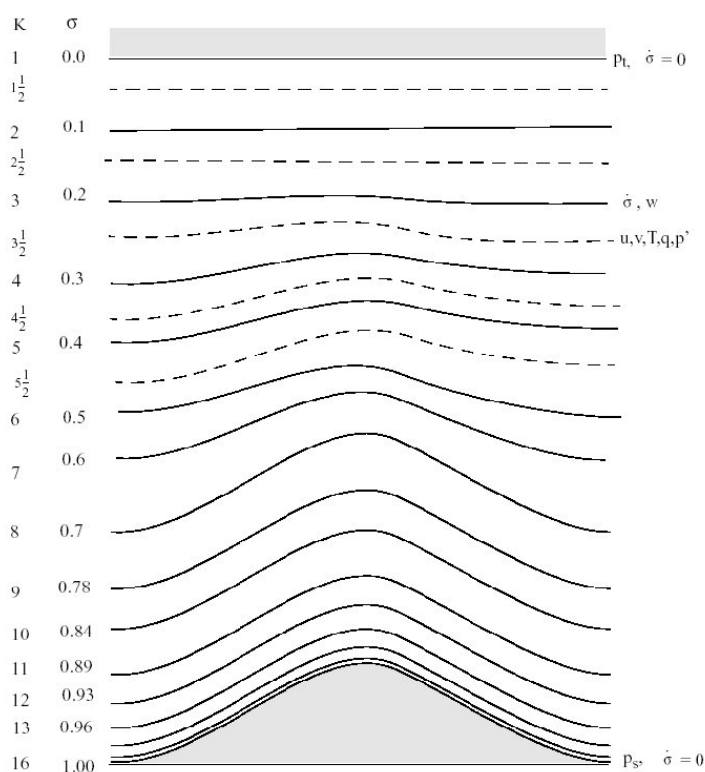


FIGURA A1 – DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DOS NÍVEIS SIGMAS USADOS NO MM5. FONTE: (Dudhia e outros, 2004)

O MM5 requer dados de topografia e tipos de uso do terreno (em categorias) e dados atmosféricos em grades que contenham pelo menos as seguintes variáveis: pressão ao nível médio do mar, vento, temperatura, umidade relativa e altura geopotencial nos níveis de 1000, 850, 700, 500, 400, 300, 250, 200, 150 e 100 *mb*. Pode-se utilizar de forma opcional, dados observacionais que contêm sondagens e dados da superfície (Tomé, 2004).

O MM5 tem a possibilidade da utilização de múltiplos aninhamentos, permitindo o uso de até 10 níveis. O aninhamento é a técnica que permite que uma grade primária (domínio 1), contenha uma ou várias sub-grades com resoluções maiores que a grade inicial. O MM5 permite dois modos de interação::

- i) Two-Way (bidirecional): A grade menos resolvida interage com as grades mais resolvidas pelos seus limites e as grades mais resolvidas interagem com as menos resolvidas pelo interior da grade.
- ii) One-Way (unidirecional): Só há interação no sentido da grade menos resolvida para a grade de maior resolução.

Estas classificações possuem 13, 16 ou 24 categorias (tipo de vegetação, deserto, urbano, água, gelo, etc...). Para cada célula da grade do modelo é escolhida uma categoria, esta escolha determina as propriedades da superfície como o albedo, capacidade calorífica, emissividade e umidade disponível. Adicionalmente, se uma base de dados da cobertura de gelo for disponível, as propriedades da superfície podem ser modificadas adequadamente. Note-se que estes valores são climatológicos e podem não ser ótimos para um caso particular, especialmente a umidade disponível. Uma opção mais simples, distingue apenas entre terra e água, e dá controle sobre os valores das propriedades da superfície para estas categorias.

As parametrizações físicas do MM5 possuem a interação mostrada na figura 2. As parametrizações de cúmulus (PC) fornecem informações para as parametrizações de microfísica (PM) e de radiação (PR). Isto porque os PC e PM fazem parte de um sistema para a produção de chuva e nuvens. O esquema de radiação necessita da cobertura de nuvem para fazer os cálculos de refração e espalhamento da radiação dentro da atmosfera além do cálculo do albedo. Esta última está sempre em comunicação com os esquemas de solo, pois desta associação é feita o balanço radiativo do modelo. Nesta associação consta quanto a superfície pode espalhar (radiação de onda curta) ou assimilar a radiação (onda longa). Interagindo também com as parametrizações de superfície, temos os esquemas de camada limite planetária.

Apesar das associações serem de um conjunto de esquema para outro, e não todos com todos, o resultado final será uma interação de todas elas, pois formam um ciclo fechado.

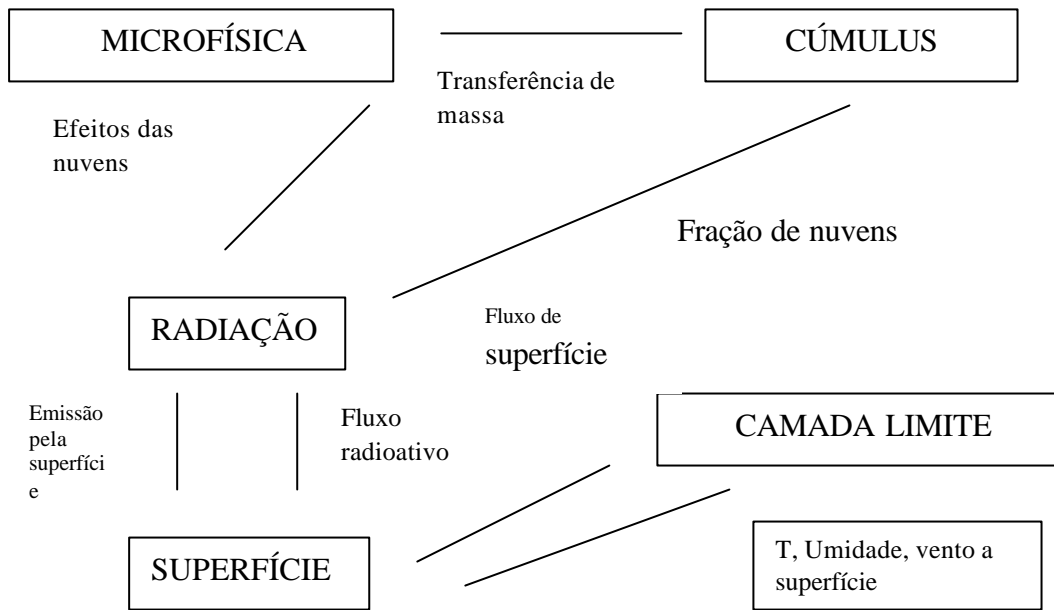


FIGURA A2 – Interações entre microfísicas e as parametrizações usadas no mm5. Adptado de dudhia e outros (2004).

Neste trabalho foi focado apenas um detalhamento na descrição das parametrizações relacionadas com a chuva (Cúmulus e Microfísica) , sabendo que por causa da interação entre as mesmas, no final todas podem ter contribuições para o resultado final da chuva. Foram mostradas as parametrizações de microfísica, e estas geram resultados diferentes entre si quando submetidas a diferentes condições meteorológicas.

A.2 - EQUAÇÕES BÁSICAS DO MODELO

Seja (x,y, s) o sistema de coordenadas, onde sigma (s) foi dado pela equação A.1 , as equações básicas para o modo não-hidrostático são mostradas a seguir:

$$\mathbf{s} = \frac{P - P_t}{P_s - P_t} \quad (2.7)$$

Pressão

$$\frac{\partial p'}{\partial t} - \mathbf{r}_0 g w + \mathbf{g} p \nabla \cdot \mathbf{V} = -V \cdot \nabla p' + \frac{\mathbf{g}}{T} \left(\frac{\dot{Q}}{c_p} + \frac{T_0}{\mathbf{q}_0} D_q \right) \quad (2.8)$$

Quantidade de Movimento (componentes x, y e z)

$$\begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial t} + \frac{m}{\mathbf{r}} \left(\frac{\partial p'}{\partial x} - \frac{\mathbf{s}}{p^*} \frac{\partial p^*}{\partial x} \frac{\partial p'}{\partial \mathbf{s}} \right) = -V \cdot \nabla u + v \left(f + u \frac{\partial m}{\partial y} - v \frac{\partial m}{\partial x} \right) \\ - e w \cos \mathbf{a} - \frac{u w}{r_{Terra}} + D_u \end{aligned} \quad (2.9)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial v}{\partial t} + \frac{m}{\mathbf{r}} \left(\frac{\partial p'}{\partial y} - \frac{\mathbf{s}}{p^*} \frac{\partial p^*}{\partial y} \frac{\partial p'}{\partial \mathbf{s}} \right) = -V \cdot \nabla v - u \left(f + u \frac{\partial m}{\partial y} - v \frac{\partial m}{\partial x} \right) \\ + e w \sin \mathbf{a} - \frac{v w}{r_{Terra}} + D_v \end{aligned} \quad (2.10)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial w}{\partial t} + \frac{\mathbf{r}_0 g}{\mathbf{r} p^*} \frac{\partial p'}{\partial \mathbf{s}} + \frac{\partial p'}{\partial y} - \frac{g p'}{\mathbf{g} p} = -V \cdot \nabla w + g \frac{p_0}{p} \frac{T'}{T_0} - \frac{g R_d}{c_p} \frac{p'}{p} + \\ e(u \cos \mathbf{a} - v \sin \mathbf{a}) + \frac{u^2 + v^2}{r_{Terra}} + D_w \end{aligned} \quad (2.11)$$

1ª. Lei da Termodinâmica

$$\frac{\partial T}{\partial t} = -V \cdot \nabla T + \frac{1}{\mathbf{r} C_p} \left(\frac{\partial p'}{\partial t} + V \cdot \nabla p' - \mathbf{r}_0 g w \right) + \frac{\dot{Q}}{C_p} + \frac{T_0}{\mathbf{q}_0} D_q \quad (2.12)$$

O Termo Advectivo pode ser expandido como

$$V \cdot \nabla A \equiv mu \frac{\partial A}{\partial x} + mv \frac{\partial A}{\partial y} + \dot{s} \frac{\partial A}{\partial s} \quad (2.13)$$

Onde

$$\dot{s} = \frac{Ds}{Dt} = -\frac{r_0 g}{P^*} w - \frac{mS}{P^*} \frac{\partial P^*}{\partial x} u - \frac{mS}{P^*} \frac{\partial P^*}{\partial y} v \quad (2.14)$$

Termo Divergente pode ser expandido como

$$\nabla \cdot V = m^2 \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{u}{m} \right) - \frac{mS}{P^*} \frac{\partial P^*}{\partial x} \frac{\partial u}{\partial s} + m^2 \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{v}{m} \right) - \frac{mS}{P^*} \frac{\partial P^*}{\partial y} \frac{\partial v}{\partial s} - \frac{r_0 g}{P^*} \frac{\partial w}{\partial s} \quad (2.15)$$

Os parâmetros com o subscrito “*o*” estão associados aos valores de referência, e os atrelados ao símbolo “*'*” representam a variação em relação ao valor de referência. O termo \dot{Q} representa a taxa de aquecimento (calor latente e sensível), r é a densidade, q é a temperatura potencial, $g = C_p / C_v$, a taxa de expansão adiabática e g a aceleração da gravidade. Os efeitos da difusão e mistura devido aos processos da camada limite, ou ajuste convectivo, estão representados por D_x , D_v , D_w e D_q . Sendo a componente da força de *Coriolis*, definida como:

$$e = 2\Omega \cos I \quad (2.16)$$

Onde Ω é a velocidade angular da Terra, e λ a latitude e α , nas equações acima, é a diferença entre a longitude central e a longitude do ponto. Os termos m e r_{terra} , representam o fator de escala do mapa, sendo os termos $u \frac{\partial m}{\partial y}$ e $v \frac{\partial m}{\partial x}$ considerados como ajuste aos efeitos de curvatura da Terra.

Na equação da pressão (eq. (2.8)), pode-se notar a ausência do termo que representaria o aumento de pressão devido ao aquecimento, que forçaria a expansão do ar. Este termo não é incluído no modelo.

As parametrizações, ou opções físicas são módulos pertencentes ao modelo que tratam dos processos físicos. O MM5 torna-se versátil, à medida que incorpora parametrizações diferentes para cada processo.

A.3 - BIBLIOGRAFIA RECOMENDADA

Uma descrição detalhada do MM5 pode ser encontrada em Dudhia e outros (2004) e Grell e outros (1995). Uma descrição para fins operacionais do MM5 pode ser encontrada em Tania(2002) e Tomé(2004). Um resumo da descrição do modelo e aplicações podem ser encontradas em Garrana(2000) e Correa(2005). Uma descrição do procedimento de tratamento da topografia que consiste no tratamento de categoria de uso dos solos inseridas no MM5, que pode ser encontrada em Guo e outros (2000). Informações sobre os dados de entrada, ingestão de novos dados, tratamento e interpolações utilizadas, por exemplo a análise objetiva de Cresman no MM5, pode ser encontrada em Manning (2000).

Em Xu há uma análise em relação ao passo de tempo utilizado no MM5, voltado para a precipitação gerada pelo modelo. O trabalho de Silva(2005) realizou foi acoplamento entre o MM5 e o modelo oceanográfico POM (Princeton Ocean Model) para a região do Atlântico Sul. Em Rognvaldson (2002) é feito um teste de downscale (simulação feita com diferentes resoluções horizontais) para o campo de chuva. Nota-se que os núcleos de máximos de chuva são intensificados quando a diminuição da resolução horizontal. Utilizou-se a parametrização de microfísica de Reisner para as simulações. Spencer e outros (1998), utilizam microfísica de Goddard para estudar tempestades relâmpagos (flashflood) ou evento de tempestade severo de curto período. Brown (1999) utiliza o MM5 para estudar núcleos de precipitação em frentes frias utilizando Kain-Fristh, Blackadar e Reisner, utilizando 4 grades aninhadas.

Zhang (1986), estudam a interação entre grades (two-way) e a variável de terreno de solo na simulação de caso de jato de alta altitude. Um controle de ruído é verificado na interface intragrades.

Em Reynolds (1988), descreve a forma como é calculado o campo de TSM global. Utiliza-se para o cálculo dados in situ (bóias), sensoriamento remoto (satélites) e dados oriundos de análises blends. Em Reynolds e outros (1993) mostra uma melhoria no cálculo da TSM em altas latitudes, usando dados de gelo do Mar. A resolução da TSM é de 2° graus por grid. Em Childs e outros(2001), é mostrado a influência de TSM em alta resolução (1.44 Km) nas simulações meteorológicas, em ênfase no comportamento da Brisa marítima/terrestre. Utilizando o modelo MM5, notou-se o impacto desta TSM no campo de vento (Emery e outros (2001)).

descrevem os processos de estimação da TSM utilizando sensoriamento remoto e dados de TSM in situ. Phadnis (2004), fala da importância da resolução espacial da TSM na modelagem meteorológica , principalmente para estudos de poluição do ar. O autor utiliza os dados de TSM inclusos nos dados de condição de contorno e condições iniciais do modelo Global FNL ($1^{\circ}\times 1^{\circ}$), TSM Reynolds ($0.5^{\circ}\times 0.5^{\circ}$) graus e a TSM MODIS 4 km.

APÊNDICE B - DADOS DE CONDIÇÕES INICIAIS E DE CONTORNO PARA O MM5

Foram utilizados os dados do modelo global, denominado de AVN (*Aviation Model*), atualmente denominado de GFS (*Global Forecasting System*). O modelo é espectral com resolução de aproximadamente 80 km e realiza a previsão para 384 horas. A resolução temporal do modelo é de 9 minutos e a vertical é de 42 níveis, com 3 níveis na CLA (Camada Limite Atmosférica), 12 níveis abaixo dos 800 hPa e 10 níveis acima dos 100 hPa. O modelo tem ainda uma resolução razoável no nível de 250 hPa, onde se encontra a zona dos jatos COMMET(2002).

Na tabela estão elencados os dados de que são utilizados no MM5.

Tabela 1 - Variáveis utilizadas como dados de entrada no MM5.

Variável	Níveis Verticais ³
Temperatura	42 níveis de pressão
Altura Geopotencial	42 níveis de pressão
Umidade Relativa	42 níveis de pressão
Velocidade Comp. U	42 níveis de pressão
Velocidade comp. V	42 níveis de pressão
Temperatura	Superfície
Pressão	Nível do Mar
Velocidade Comp. U	2 metros
Velocidade Comp. V	2 metros
Temperatura da Superfície do Mar	Nível do Mar

O modelo possui um sistema de assimilação de dados globais através do controle de qualidade das observações e permitindo assim uma melhor assimilação nas suas condições iniciais. As observações assimiladas são várias, sendo elas: radiosondas, METARs, observações em navios e aviões, radares e satélites. Estes dados depois de passam por um controle de qualidade, e são agregados dos dados de simulação.

³ Coordenadas sigmas do MM5 : 996, 987, 977, 966, 953, 938, 922, 903, 882, 859, 833, 804,773, 740, 704, 666, 627, 586, 544, 502, 460, 418, 378, 339, 302, 267, 235, 205, 177, 152, 130, 109, 92, 76, 62, 49, 39,29, 21, 14, 7 e 2 mbar

Os dados de terreno deste modelo são obtidos a partir dos dados da USGS (*United States Geological Survey*), com resolução de 30". Estes dados são tratados de modo que a topografia esteja representada na mesma escala horizontal do modelo por uma topografia média.

APÊNDICE C – Dados GEORIO

Neste apêndice, listamos os dados da GEORIO, do período escolhido (20 a 23 de março de 2003). As estações estão dispostas da esquerda para direita, ordenadas por longitude. O horário dos dados está em UTC.

ano	mes	dia	hora	sepetiba	santacruz	gericino	guaratiba	campogrande	mendanha	grotafunda	bangu	itauna	riocentro	anchieta	tanque	ciudadedeus	madureira	iraja	pedade	itanhanga	cachambi	penha	grajau	saconrado	sumare	vidigal	jardimbotanico	tijuca	ilha	santateresa	saude	copacabana	urca	
2003	3	22	18	2	1	1	2	21	9	9	2	0	1	1	3	0	1	1	1	0	0	0	1	0	10	4	7	5	0	3	2	2	6	
2003	3	22	19	0	1	2	0	5	17	1	2	1	2	7	4	5	4	5	3	0	0	1	3	0	14	0	0	12	7	5	9	1	4	
2003	3	22	20	1	1	3	0	4	4	2	0	0	1	1	0	2	1	0	1	1	0	0	2	0	5	1	2	3	2	1	0	0	0	
2003	3	22	21	0	0	0	0	0	3	1	0	4	4	1	2	2	0	0	1	1	0	0	0	0	3	0	1	3	1	1	0	0	0	
2003	3	22	22	2	1	1	0	0	0	1	1	1	2	2	1	1	1	0	3	0	2	3	1	0	2	0	0	1	1	0	0	0	0	
2003	3	22	23	2	4	2	0	2	2	1	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
2003	3	22	0	1	1	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
2003	3	22	1	4	2	1	5	2	0	1	0	2	0	0	0	0	0	0	0	7	0	0	0	0	5	2	1	2	0	5	4	6	5	
2003	3	23	2	0	1	2	1	2	4	2	1	1	5	1	4	2	2	2	3	1	2	2	1	1	1	0	0	1	3	0	1	0	0	
2003	3	23	3	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1	0	1	1	1	1	2	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	
2003	3	23	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	
2003	3	23	5	0	0	0	1	0	2	2	0	2	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	1	1	1	1	1	0	1	0	4	4	
2003	3	23	6	2	1	0	0	0	2	0	0	2	4	0	3	4	2	1	1	1	2	0	1	1	5	2	2	4	0	4	3	1	1	
2003	3	23	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	1	2	0	0	0	0	
2003	3	23	8	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
2003	3	23	9	0	0	0	3	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
2003	3	23	10	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2003	3	23	11	8	0	0	0	0	0	0	1	7	5	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
2003	3	23	12	0	0	0	0	0	1	0	1	2	1	1	0	1	0	2	0	0	3	0	0	1	2	0	0	1	0	1	0	0	1	
2003	3	23	13	0	0	2	0	7	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	4	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2003	3	23	14	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2003	3	23	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2003	3	23	16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2003	3	23	17	0	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2003	3	23	18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2003	3	23	19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2003	3	23	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2003	3	23	21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2003	3	23	22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2003	3	23	23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2003	3	24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2003	3	24	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

BIBLIOGRAFIA

- BROWN, M. J., LOCATELLI, et al., 1999. "Numerical Modeling of precipitation cores on cold fronts." J. Atmos. Sci., v. **56**: pp. 1175-1196.
- CHILDS, P., S. RARMAN, et al., 2001. "The influence of highly resolved sea surface temperature on meteorological simulations off the southeast us coast."
- CORREA, E. B., C. O. MACHADO, et al., 2002. "Análise da sensibilidade do modelo MM5 as parametrizações da camada limite atmosférica - um estudo de caso na bacia do Rio Grande". XIX Congresso Brasileiro de Meteorologia, Foz do Iguaçu, SBMET.
- CORREA, E. B. "Análise da Sensibilidade dos Resultados do Modelo MM5 à Diferentes Modelagens dos Fluxos Turbulentos na Camada Limite Atmosférica. Departamento de Meteorologia. B Sc. Meteorologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005
- CLIMANÁLISE (1997-2004). "Boletim mensal de Monitoramento e Análise Climática – Climanálise". Cachoeira Paulista, CPTEC/INPE.
- COLE, F. W. Introduction to meteorology. 2º Edition, New York, John Wiley & Sons, Inc. 1975
- COTTON and R. A. ANTHES. Storm and Cloud Dynamics, 1º Edition, Academic Press. 2000
- DUDHIA, J. 1989. "Numerical Study of convection Observed during the Winter Monsoon Experiment Using a Meso-scale Two-Dimensional Model." Journal of the Atmospheric Sciences v. **46**: pp. 3077-3107.
- DUDHIA, J., P. HAAGERSON, et al., 2004. "PSU/NCAR Mesoscale Modeling System Tutorial Class Notes and User Guide: MM5 Modeling System Version 3." Boulder, CO, NCEP/UCAR.

- EMERY, W. J., S. CASTRO, et al., 2001. "Estimating Sea Surface Temperature from Infrared satellite and in Situ temperature Data." Bulletin of the American Meteorological Society v. **82**: pp. 2773-2785.
- GARRANA, D. Metodologia para uso operacional de um modelo meteorológico de mesoescala. B. Sc. Departamento de Meteorologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2000
- GRELL, G. A. and Y.-H. KUO (1991). "Semiprognostic Tests of Cumulus Parameterization Schemes in the Middle Latitudes." Monthly Weather review v. **114**: pp. 5-31.
- GRELL, G. A., J. DUDHIA, et al., 1995. A Description of the Fifth-Generation Penn State/NCAR Mesoscale Model (MM5). Technical Report, Boulder, NCAR. <http://www.mmm.ucar.edu/mm5>
- GUO, Y.R., S. CHEN, et al., 2000. Terrain and Land Use for the Fifth Penn State/NCAR Mesoscale Modeling System (MM5): Program TERRAIN. Technical report, Boulder, USA, NCAR. <http://www.mmm.ucar.edu/mm5>
- HSIE, E.Y., R. A. ANTHES, et al. 1984. "Numerical Simulation of Frontogenesis in a Moist Atmosphere." Journal of Atmospheric Sciences v. **47**: pp. 2581-2594.
- OLIVEIRA, I. "Análise de configurações de parametrizações físicas em um modelo numérico via estudo de caso." B. Sc. Departamento de Meteorologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2002
- MANNING, K., P. HAAGENSON, ET AL. (2000). Data Ingest and Objective Analysis for the PSU/NCAR Modeling System: Programs DATAGRID and RAWINS. Boulder, USA, NCAR. <http://www.mmm.ucar.edu/mm5>
- PHADNIS, M. J., F. R. ROBE, et al. (2004). Importance of spatial resolution of sea-surface temperature data in meteorological modeling, Technical report, EARTH TECH, Inc.

- PILKE, R. A. Mesoscale Meteorological Modeling. 2^o Edition , Fort Colins, Colorado, USA, ACADEMIC PRESS, 2000.
- REISNER, J., R. M. RASMUSSEN, et al. (1998). ""Explicit forecasting of supercooled liquid water in winter storms using the MM5 mesoescale model"." Q.J.R. Meteorol. Soc. **v. 124**: pp. 1071-1107.
- REYNOLDS, R. W. (1988). "A Real-Time Global Sea Surface Temperature Analysis." Journal of Climate **v. 1**: pp. 75-86.
- REYNOLDS, R. W. and D. C. MARSICO (1993). "An improved real-time global sea surface analysis." Journal of Climate **v. 6**: pp. 114-119.
- ROGNVALDSSON, O. and H. OLAFSSON (2002). "Downscaling experiment with the MM5 model." Jokull **v. 48**: pp. 49-54.
- SCHULTZ, P. (1995). "An Explicit Cloud Physics Parameterization for Operational Numerical Weather Prediction." Mont. Wea. rev. **v. 123**: pp. 3331-3343.
- SILVA, R. M. D. Acoplamentos dos modelos de área limitada de atmosfera (MM5) e oceano (POM) e sua aplicação ao trecho sudoeste da Bacia do Atlântico Sul. M. Sc. Departamento de Meteorologia. Rio de Janeiro, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2005.
- SPENCER, P. L. and D. J. STENSRUD (1998). "Simulating flash flood events: Importance of the subgrid representation of convection." Monthly Weather Review **126**: pp. 2884-2912.
- TANIA, A. d. S. C. e. S. Previsão Meteorológica em Portugal Continental utilizando o modelo operacional e de investigação MM5. M. Sc. Instituto Superior Técnico. Lisboa, Universidade Técnica de Lisboa: **pp.** 144, 2002.
- TOMÉ, R. F. D. (2004). Previsão do Tempo com modelos de mesoescala: Casos de estudo com o modelo MM5 nos Açores. Technical report, Faculdade de ciência de Lisboa. Lisboa, Universidade de Lisboa: **pp.** 83, 2004

- XU, M., J.-W. BAO, et al. (2001). "Effect of time step size in MM5 Simulations of mesoscale Convective System." American Meteorological Society v. **129**: pp. 502-516.
- ZHANG, D., E. HSIE, et al. (1988). "A comparison of explicit and implicit predictions of convective and stratiform precipitating weather systems with a meso-B-scale numerical model." Real Met. Soc. **114**: 31-60.
- ZHANG, D.-L., H.-R. CHANG, et al. (1986). "A Two-Way Interactive Nesting Procedure with Variable Terrain Resolution." Monthly Weather review v. **114**: pp. 1330-1339.
- ZHANG, D. L., J. S. Kain, et al. (1994). "Comments on "Parametrization of convective parameterization in mesoscale models: A critical review." Mont. Wea. rev. v. **122**: pp. 2222-2231.