



Universidade Federal de Alagoas
Instituto de Ciências Atmosféricas
Coordenação de Pós-Graduação em Meteorologia

**IMPLANTAÇÃO, OPERACIONALIZAÇÃO,
TESTES E RESULTADOS PRELIMINARES DO
MODELO DE MESOESCALA MM5 NO ESTADO
DE ALAGOAS.**

Alessandro Rodrigues da Fonseca

Maceió – AL.
Novembro de 2008.



Universidade Federal de Alagoas
Instituto de Ciências Atmosféricas
Coordenação de Pós-Graduação em Meteorologia

**IMPLANTAÇÃO, OPERACIONALIZAÇÃO, TESTES E RESULTADOS
PRELIMINARES DO MODELO DE MESOESCALA MM5 NO ESTADO
DE ALAGOAS.**

Alessandro Rodrigues da Fonseca

Dissertação apresentada ao Colegiado do Curso de Pós-Graduação em Meteorologia da Universidade Federal de Alagoas como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Meteorologia, área de concentração: Processos de Superfície terrestre.

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Ferreira Carlos de Amorim

Maceió – AL.
Novembro de 2008.

Catlogação na fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Central
Divisão de Tratamento Técnico
Bibliotecária Responsável: Helena Cristina Pimentel do Vale

F673i Fonseca, Alessandro Rodrigues da.
Implantação, operacionalização, testes e resultados preliminares do modelo de mesoescala MM5 no estado de Alagoas / Alessandro Rodrigues da Fonseca. – Maceió, 2008.
xiv, 70 f. : il.

Orientador: Ricardo Ferreira Carlos de Amorim.
Dissertação (mestrado em Meteorologia : Processos de Superfície Terrestre) – Universidade Federal de Alagoas. Instituto de Ciências Atmosféricas. Maceió, 2008.

Bibliografia: f. 39-43.
Apêndices: f. 44-70.

1. Meteorologia – Modelos matemáticos. 2. Mesoescala MM5. I. Título.

CDU: 551.509.313.43



UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
INSTITUTO DE CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS
COORDENAÇÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM METEOROLOGIA

CERTIFICADO DE APRESENTAÇÃO

N.º de ordem: MET-UFAL-MS-054.

“IMPLANTAÇÃO, OPERACIONALIZAÇÃO, TESTES E RESULTADOS PRELIMINARES DO MODELO DE MESOESCALA MM5 NO ESTADO DE ALAGOAS”

ALESSANDRO RODRIGUES DA FONSECA

Dissertação submetida ao colegiado do Curso de Pós-Graduação em Meteorologia da Universidade Federal de Alagoas - UFAL, como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Meteorologia.

Aprovado pela Banca Examinadora composta por:

Prof. Dr. Ricardo Ferreira Carlos de Amorim
(Orientador)

Prof. Dr. Cláudio Castro Pellegrini
(Membro Externo – UFSJ)

Prof. Dr. Roberto Fernando da Fonseca Lyra
(Membro)

Dedicado aos Meus Pais, **Agnaldo Rocha da Fonseca** e **Tereza Rodrigues da Fonseca**, por serem os maiores exemplos de união, cumplicidade, respeito e amor. A saga de suas vidas nos faz acreditar que quando a família está unida (Graças a Deus sempre estivemos) todo fardo se torna mais fácil de ser carregado. Este trabalho também representa a vitória de Vocês, pois, o acreditar na mudança possível através da Educação é o maior legado de Vocês. Na realidade eu não dedico este trabalho a vocês e sim, agradeço a vocês por este trabalho. Obrigado, Pai. Obrigado, Mãe.

Também dedico este trabalho, de forma muito especial, à **Minha Esposa, Minha Guerinha**, por ter sempre estado comigo (estamos mais que metade de nossas vidas juntos, lá se vão dezessete anos) e acreditado e me dado forças (mesmo quando ela dizia: “Isso não tem fim nunca”). Este trabalho também é seu **minha Alane, minha Guerinha**.

AGRADECIMENTOS

A Deus. Simplesmente sem ele nada é possível.

Aos Meus Pais, por terem tolerado meus ataques de nervosismo desde muito jovem e por me empurrarem ladeira abaixo rumo ao maravilhoso mundo da busca pelo conhecimento.

A Minha Esposa, pois mesmo sem entender nada do que eu fazia ouvia meus delírios, devaneios e me inspirava de forma indireta.

Ao Meu orientador, Prof. Dr. Ricardo “ainda tá dormindo” Amorim, pela orientação e confiança em adotar um estranho no ninho da Meteorologia e permitir que seu laboratório fosse uma casa de testes e conhecimento. Obrigado Professor por sempre perguntar: “Tá faltando o quê? Quer HD? Quer memória RAM?” e delicadamente falar: “Tá me enrolando!”, “Esse bicho tá enrolado”. Obrigado pela tamanha confiança depositada e imenso apoio. Valeu!

Ao Meu Co-orientador, Prof. Dr. Cláudio Pellegrini. “Como diria Jack, o Estripador: Vamos por partes.” Amigo Cláudio, sabes muito bem que foste a mola mestra, a força impulsionadora e a maior fonte de apoio, conhecimento e esclarecimentos na minha compreensão e entendimento do MM5. Foram muitos e muitos e-mails, dúvidas indo, dúvidas voltando, às vezes funcionava outras vezes não, compila aqui, compila ali. Muita conversa. Sem sua imensa disponibilidade nada disso seria possível. Obrigado.

Um agradecimento todo especial ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico), que forneceu suporte financeiro, através de uma bolsa, para a realização desta dissertação.

Ao meu Amigo Rodrigo (da Química) que com seus ágéis dedos no teclado me mostrou o fantástico mundo do Linux. Devagar rapaz! Como você fez isso? Que comando é esse? Valeu Rodrigo!

Aos Alessandros Omena e Sarmento. O Omena meu amigo-irmão foi quem “achou”, digamos assim, o Prof. Cláudio em um Congresso, fez o primeiro contato e abriu caminho para chegarmos ao Mentor. O Sarmento é muito louco, mas é gente boa.

Ao Eliton, o baixinho, é enorme no conhecimento (vocês não têm idéia, o cara é muito bom de sinótica, de GrADS, de html, pra mim já basta. O resto deixa com a mulher dele). Bah!

Tchê! O cara ajudou demais com o GrADS e com a Home Page, sem ele eu estaria boiando nas linhas de comando do GrADS. Valeu, Capaz!

Ao Rosiberto, a semente que ele plantou com o WRF promete gerar muitos frutos. Inúmeras foram nossas discussões sobre a temática: MM5 vs. WRF.

Ao colega mineiro Prof. Dr. Sérgio Cerqueira pelas dicas e muitas dúvidas tiradas durante as etapas de instalação do “trem” do MM5.

Tem também o pessoal da minha turma de mestrado que nas aulas do Prof. Vladimir, do Prof. Ricardo Amorim e da Prof^a Natália Fedorova eram obrigados a ouvir os Seminários Sobre a Evolução do MM5. Como em toda a turma temos aqueles que somos mais próximos Romilson, Fátima, Mônica, César, Milito e Paulo a vocês um agradecimento especial pela companhia.

Ao Fabiano Prestrelo por também ter ajudado muito com o Linux, com a programação em C-Shell e pelas músicas.

A Mônica, a Fátima e a Patrícia agradeço pela companhia nos almoços no CETEC (a comida ficava melhor e mais agradável). Também neste grupo tem a presença do Prof. Humberto, sempre perguntando como eu estava e como estava o trabalho e também dando valiosos conselhos. Obrigado, Humberto, pela preocupação.

Ao Prof. Dr. Roberto Lyra, por ter provocado o espírito questionador sobre as possibilidades de aplicação do MM5 e por nos últimos dias ter demonstrado uma preocupação sem tamanho com minha perspectiva de futuro. Merci beaucoup!

Ao Prof. Dr. Marcos Moura pela honestidade, caráter, sinceridade e belas explicações sobre Radiação Solar. É engraçado como as pessoas podem ser odiadas por serem verdadeiras. Sou seu fã.

Ao Prof. Msc. Maringolo pela confiança em me entregar uma turma de alunos da graduação para discutir PNT. Não esqueci a idéia do livro.

Ao Prof. Dr. Vladimir Lèvit por ser provocador e me instigar ao HySplit (foi o início da modelagem pra mim). Até hoje ele pergunta: “Tuda bom? Coma está MM5?” e diz: “Vamos fazer palestra”. Essa é uma dívida e teremos muitas palestras.

Agradecer aos Professores que tenho mais contato Elenice, Fred, Molion, Natália e Toledo. E também a todos os outros Professores do Instituto de Ciências Atmosféricas.

Um agradecimento especial aos Professores Adonai Pereira Seixas, Antônio Carlos Marques e Amaury Barros do Departamento de Matemática por terem sido os primeiros norteadores de minha vida no mundo acadêmico e terem mostrado o fabuloso universo do $\text{\LaTeX} 2_{\epsilon}$.

A impressão é para os manuscritos o que o teatro é para as mulheres: ilumina as belezas e os defeitos; tanto mata como dá vida; uma falha salta então aos olhos tão vivamente quanto os belos pensamentos.

— HONORÈ DE BALZAC (Ilusões Perdidas).

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo discutir a implantação, a operacionalização, efetuar testes e apresentar os resultados preliminares do modelo meteorológico de mesoescala MM5 no Instituto de Ciências Atmosféricas (ICAT) da Universidade Federal de Alagoas (UFAL) bem como avaliar a capacidade de previsão do modelo MM5 para eventos de precipitação sobre o Estado de Alagoas, apresentando o MM5 como ferramenta de previsão meteorológica das condições tempo sobre Estado com antecedência de 24 e 48 horas.

Neste trabalho é efetuada toda uma discussão sobre as alterações efetuadas na estrutura dos módulos integrantes do MM5 com a finalidade de torná-lo operacional. São apresentados programas destinados a aquisição de dados e manipulação dos mesmos. Neste contexto, foram utilizados dados oriundos do modelo global GFS (Global Forecast System) para simulação das condições futuras do tempo e dados do tipo FNL (Final Global Analyses) para validação das configurações.

Para validar as parametrizações físicas adotadas foram efetuadas comparações entre os resultados gerados pelo MM5 com os dados de precipitação captados pelo Sistema de Radar Meteorológico do Estado de Alagoas (SIRMAL) para o clássico evento de precipitação ocorrido sobre o NEB entre os dias 31 de Maio de 2004 e 01 Junho de 2004.

Foi criado um visualizador gráfico com base no software GrADS (Grid Analise Display System) para exibição dos resultados horários de algumas variáveis meteorológicas simuladas pelo MM5. Uma página da Internet também foi disponibilizada para acesso aos resultados do modelo MM5.

A implantação do modelo MM5 também objetivou sedimentar e fortalecer a área de modelagem atmosférica no Instituto de Ciências Atmosféricas (ICAT) da Universidade Federal de Alagoas (UFAL).

Palavras-chave: MM5, Meteorologia, Modelo, Mesoscala, Implantação, Operacionalização.

ABSTRACT

This study aimed to discuss the deployment, the operation, to perform tests and present preliminary results of the mesoscale meteorological model MM5 at the Instituto de Ciências Atmosféricas (ICAT) in Universidade Federal de Alagoas (UFAL) as well as the capability of MM5 model to forecast the events of precipitation on the state of Alagoas, presenting the MM5 as a tool for forecasting the weather conditions on state time in advance, 24 and 48 hours.

This work is done across a discussion on changes made in the structure of modules incorporating the MM5 with the aim of making it operational. They presented programs to data acquisition and manipulation of them. In this context, we used data from the global template GFS (Global Forecast System) for simulation of future conditions of time and type of data FNL (Final Analysis Global).

To validate the physical parameters adopted were made comparisons between the results generated by MM5 with the data of precipitation received by the Sistema de Radar Meteorológico do Estado de Alagoas (SIRMAL) for the classic event of precipitation occurred on the NEB between days of May, 31, 2004 and June, 01, 2004.

It created a graphic viewer software based on GrADS (Grid Review Display System) to display the results of some hourly meteorological variables simulated by MM5. A web page has also been made available for access to the results of the model MM5.

The deployment of MM5 model also aimed to solidify and strengthen the area of atmospheric modeling at the Instituto de Ciências Atmosféricas (ICAT) in Universidade Federal de Alagoas (UFAL).

Keywords: MM5, Meteorology, Model, Mesoscale, Deployment, Operationalization.

SUMÁRIO

Lista de figuras	xii
Lista de siglas e abreviaturas	xiii
1. Introdução	1
2. Revisão bibliográfica	3
2.1. Modelos meteorológicos	3
2.2. Descrição do Modelo de mesoescala MM5	4
2.3. Estudos relevantes	8
3. Materiais e métodos	11
3.1. Descrição da região de estudo	11
3.2. Período de estudo	11
3.3. Configurações de hardware e sistema operacional	12
3.4. Configuração do modelo de mesoescala MM5	12
3.5. Dados meteorológicos de entrada para inicialização do modelo	15
3.6. Operacionalização do modelo de mesoescala	16
3.7. Parametrizações físicas dos domínios	18
3.8. Tratamento dos arquivos de saída do MM5	20
4. Resultados e discussões	21
4.1. Resultados dos testes de sensibilidade	21
4.1.1 Modelo Pleim-Xiu LSM	21
4.1.2 Microfísica de nuvens e cumulus	23

4.2. Página da Internet	26
4.3. Interface MM5	28
4.4. Comparação MM5 e SIRMAL	33
5. Conclusões	37
Referências bibliográficas	39
Apêndice A – Download de dados <i>USGS</i>	44
Apêndice B – Script para dados <i>GFS</i>	49
Apêndice C – <i>predrig.csh</i>	54
Apêndice D – Programa em Fortran 90 para escrita de namelist.input do regridder	57
Apêndice E – Programa em Fortran 90 para escrita de namelist.input do INTERPF	61
Apêndice F – Script para execução do <i>MM5V3</i>	64
Apêndice G – Modelo de script para geração de imagens para o GrADS	69

LISTA DE FIGURAS

1	Diagrama representativo da estrutura clássica das etapas de execução do modelo MM5, apresentando os programas, seqüência de execução, formatos dos dados de entrada e saídas de resultados.	5
2	Diagrama de execução do modelo MM5 contendo os arquivos de entrada e as saídas de cada módulo do modelo MM5.	6
3	Mapa do Estado de Alagoas, apresentando os seus limites territoriais e a Capital, Maceió, em destaque.	11
4	Diagrama representativo dos módulos do modelo MM5 do ICAT/UFAL.	12
5	Pontos de grade do Domínio 01.	13
6	Pontos de grade do Domínio 02.	14
7	Pontos de grade do Domínio 03.	14
8	Disposição espacial dos três domínios aninhados do MM5 do ICAT/UFAL.	15
9	Região de recorte para download dos dados de inicialização do modelo MM5 do ICAT/UFAL a partir do modelo global GFS.	16
10	Resultado do teste de sensibilidade com o uso do modelo Pleim-Xiu LSM. A opção VEGCAT destacada em D3.	21
11	Resultado do teste de sensibilidade com o uso do modelo Pleim-Xiu LSM. A opção SOILCAT destacada em D3.	22
12	Resultado da ativação do modelo Noah-LSM para D1.	23
13	Falha na geração da precipitação acumulada devido incompatibilidade na interação entre as parametrizações Betts-Miller e Kain-Fritsch2, às 00Z.	24
14	Falha na geração da precipitação acumulada devido incompatibilidade na interação entre as parametrizações Betts-Miller e Kain-Fritsch2, às 03Z.	24
15	Falha na geração da precipitação acumulada devido incompatibilidade na interação entre as parametrizações Betts-Miller e Kain-Fritsch2, às 06Z.	25
16	Resultado da precipitação utilizando as configurações adotadas pelo MM5 do Instituto de Ciências Atmosféricas da Universidade Federal de Alagoas.	25

17	Página principal onde há seleção dos domínios.	26
18	Página secundária, idêntica para os três domínios, neste caso, considerou-se D1, seleção das variáveis meteorológicas.	26
19	Página de exibição de imagens segundo horários para D1.	27
20	Página de exibição de imagens segundo horários para D2.	27
21	Página de exibição de imagens segundo horários para D2.	28
22	Tela principal do visualizador gráfico. Opção para escolha de domínios.	29
23	Tela secundária, opção para escolha de variáveis ou voltar ao nível anterior.	30
24	Tela para escolha da variável meteorológica, opção de vinte e duas variáveis para 48 horas.	31
25	Tela para escolha da opção de visualização, em loop ou criação da imagem de apenas um determinado horário.	32
26	Modo de loop para exibição de imagens de uma variável meteorológica.	32
27	Modo de criação de imagem para exibição de uma variável meteorológica.	32
28	Imagem do Radar (SIRMAL - raio de 250km) das 07Z do dia 01 de Junho de 2004.	34
29	Precipitação prevista para às 07Z do dia 01 de Junho de 2004, com modelo iniciado às 00z do dia 31 de Maio de 2004.	34
30	Imagem do Radar (SIRMAL - raio de 250km) das 12Z do dia 01 de Junho de 2004.	35
31	Precipitação prevista para às 12Z do dia 01 de Junho de 2004, com modelo iniciado às 00z do dia 31 de Maio de 2004.	36
32	Imagem do Radar (SIRMAL - raio de 130km) das 12Z do dia 01 de Junho de 2004.	36

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

MM5	—	5 th Generation Mesoscale Model (Version 3.0.7)
PSU	—	Pennsylvania State University
NCAR	—	National Center for Atmospheric Research
ICAT	—	Instituto de Ciências Atmosféricas
UFAL	—	Universidade Federal de Alagoas
GrADS	—	Grid Analise Display System
TSM	—	Temperatura da Superfície do Mar
ITCZ	—	Zona de Convergência Intertropical
NEB	—	Nordeste Brasileiro
POA's	—	Perturbações Ondulatórias no Campo dos Ventos Alísios
<i>km</i>	—	Quilômetros
<i>mm</i>	—	Milímetros
<i>km²</i>	—	Quilômetros quadrados
ENOS	—	El Niños/Oscilação Sul
VCAN	—	Vórtice Ciclônico de Altos Níveis
HN	—	Hemisfério Norte
HS	—	Hemisfério Sul
PNM	—	Pressão do Nível Médio do Mar
D1	—	Domínio de simulação 01
D2	—	Domínio de simulação 02
D3	—	Domínio de simulação 03
GFS	—	Global Forecast System
MRF	—	Medium Range Forecast

AVN	—	Aviation Model
NCEP	—	National Centers for Environmental Predictions.
FNL	—	Final Global Analyses
SIRMAL	—	Sistema de Radar Meteorológico do Estado de Alagoas
HL	—	Hora local
USGS	—	U.S. Geological Survey
SiB	—	Simple Biosphere
LSM	—	Land Surface Model
ECMWF	—	European Centre for Medium-Range Weather Forecasts
TOGA	—	Tropical Ocean Global Atmosphere
SFHS	—	Sistemas Frontais do Hemisfério Sul

1. INTRODUÇÃO

Todas as atividades humanas são influenciadas pelas condições de tempo e clima locais. Os fatores meteorológicos afetam diretamente a agricultura, a pecuária, o turismo e o comércio entre outras. Dessa forma, a capacidade de prever tais condições é de extrema importância, pois, conhecendo-se as condições atmosféricas reinantes para um período, é possível efetuar um planejamento das atividades econômicas no sentido de maximizar lucros e minimizar perdas. A previsão do tempo traz benefícios para a agricultura e pecuária, pois, é possível adotar medidas para a proteção dos plantéis e criações durante a ocorrência de um evento extremo. O turismo e o comércio beneficiam-se diretamente das previsões meteorológicas, visto que, as condições do tempo locais podem ser decisivas para a determinação dos estoques de mercadorias e fluxo de visitantes em regiões como as cidades costeiras da Região Nordeste do Brasil.

O avanço das tecnologias dos sistemas de computação e dos softwares têm contribuído para a resolução e simulação de problemas, como o de prever períodos de estiagem ou de chuvas excessivas. Em particular, a Meteorologia vem sendo favorecida com tal avanço, pois, o mesmo possibilita uma maior capacidade na resolução de cálculos, compreensão de resultados e o desenvolvimento de modelos matemáticos conhecidos como modelos de previsão numérica de tempo, os quais são baseados em princípios físicos de conservação de massa, de calor, de movimento e nas leis governantes dos gases e aerossóis. A correspondência matemática entre esses princípios forma a base para os modelos meteorológicos, que na realidade são programas de computador destinados a resolver e simular numericamente o comportamento da atmosfera e são capazes de gerar uma série de aplicações para a análise das condições atmosféricas globais, locais e regionais.

Apesar da diversidade e das peculiaridades dos modelos de mesoescala as respostas dos mesmos, em sua maioria, fundamentam-se na utilização de modelagem matemática com base em equações diferenciais e condições de contorno. A característica e estrutura adotada pelos modelos matemáticos utilizando o princípio de causa e efeito faz da modelagem matemática uma importante ferramenta de trabalho em Meteorologia e áreas afins.

O modelo de mesoescala MM5 desenvolvido pela Pennsylvania State University, localizada

nos Estados Unidos da América e pelo, também americano, National Center for Atmospheric Research, ou simplesmente PSU/NCAR, é um modelo matemático utilizado para simular ou prever a circulação atmosférica e as condições de tempo para uma área limitada. O MM5 é composto por uma série de programas de pré-processamento, de processamento e de pós-processamento que funcionam de forma integrada para prever as condições do tempo e clima para uma certa região.

Portanto, o objetivo deste trabalho é implantar no Instituto de Ciências Atmosféricas (ICAT) da Universidade Federal de Alagoas (UFAL), operacionalizar, testar, apresentar os resultados preliminares das simulações além de avaliar a capacidade de previsão do modelo de mesoescala MM5 com eventos de precipitação. Também se pretende apresentar o MM5 como ferramenta de previsão, sedimentar e fortalecer a área de modelagem atmosférica no Instituto de Ciências Atmosféricas (ICAT) da Universidade Federal de Alagoas (UFAL), bem como para o Estado de Alagoas no que concerne a agricultura, a pecuária e o turismo. Dentre tais objetivos, definir as melhores parametrizações para prognosticar precipitação com 24 e 48 horas de antecedência.

Deve-se salientar que, apesar das adversidades técnicas, este é o primeiro trabalho envolvendo modelagem atmosférica totalmente confeccionado no Laboratório de Modelagem Atmosférica MM5 do Instituto de Ciências Atmosféricas (ICAT) permitindo atingir um outro objetivo que é a formação de pessoal e divulgação da modelagem no ICAT/UFAL. Convém destacar que durante o desenvolvimento do trabalho sentiu-se a necessidade da utilização do software GrADS para avaliar os resultados fornecidos pelo modelo e visando facilitar a visualização de tais resultados foi construída uma interface gráfica para apresentação dos mesmos.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. MODELOS METEOROLÓGICOS

A base da matemática meteorológica ou previsão numérica do tempo foi formalizada por Vilhelm Bjerkness em 1919. Ele sugeriu que a previsão do tempo fosse vista como um problema de condições iniciais, isto é, conhecendo-se o estado presente da atmosfera e de posse das equações matemáticas que governam o movimento, então a previsão correta seria realizada daquele ponto em diante. Assim a simulação numérica do movimento atmosférico foi, então, recebida como sendo prática e como uma valiosa aproximação para a previsão do tempo. Na realidade, um modelo de previsão numérica do tempo é um modelo computacional desenvolvido para simular o comportamento da atmosfera. Este resolve um sistema complexo de equações matemáticas baseadas em leis físicas de conservação de massa, de conservação de calor, movimento, água e pelas leis dos gases e aerossóis de modo a prever o estado futuro da atmosfera partindo de condições iniciais específicas (Tomé, 2004). As equações matemáticas são as formas mais completas e complexas das equações dinâmicas e termodinâmicas. Em adição processos físicos, como a radiação, nuvens, precipitação e trocas à superfície são representadas no modelo usando esquemas de parameterizações. Atualmente os modelos numéricos são usados como a principal ferramenta para a previsão do tempo a curto prazo. Entretanto, um dos problemas principais dos modelos é a especificação das condições iniciais e fronteira da atmosfera utilizando observações do globo, realizadas ao mesmo tempo. O número de observações é muito pequeno para uma descrição adequada da atmosfera, e existem grandes regiões com observações escassas (Tomé, 2004).

Ainda segundo Tomé (2004) os modelos de previsão numérica do tempo podem ser classificados segundo a sua escala espacial dentro da qual a previsão é feita. Desta forma, há dois grandes grupos de modelos, ou seja, os Modelos Globais, com resolução da ordem de $200km$, visam identificar o comportamento geral da atmosfera sobre uma área extensa, estes modelos são apenas capazes de identificar fenômenos meteorológicos de larga escala. Por outro lado, os Modelos Regionais (ou locais) apresentam resolução espacial de alguns metros a cerca de $50km$, e objetivam identificar com maior detalhe o comportamento da atmosfera sobre uma

região específica, sendo capazes de identificar fenômenos meteorológicos de pequena escala ou de mesoescala. É importante destacar que os modelos de mesoescala ou de área limitada necessitam das condições de contorno fornecidas pelos modelos globais, sendo esta uma característica geral de modelos como o MM5.

2.2. DESCRIÇÃO DO MODELO DE MESOESCALA MM5

Desde o final da década de 70 a Pennsylvania State University (PSU) e o National Center for Atmospheric Research (NCAR) desenvolveram uma série de modelos atmosféricos de mesoescala. A quinta e última geração desta série de modelos foi simplesmente denominada de MM5. O MM5 é um modelo regional de área limitada. De forma geral, o MM5 é um sistema de modelagem composto por avançados modelos físicos, dinâmicos, termodinâmicos e de radiação. É um modelo largamente utilizado para previsão numérica do tempo, para estudos da qualidade do ar e hidrológicos (Warner *et al.*, 1991).

O sistema de modelagem MM5 é composto por uma série de programas de pré-processamento, de processamento e de pós-processamento. Este sistema é executado em plataforma Linux e escrito em Fortran, portanto, necessita de um compilador Linux/Fortran (Portland Group ou INTEL Fortran) além de um compilador C (Dudhia, 2005). Outra característica do MM5 é o fato de ser gratuito e de código livre.

O MM5 é um modelo de área limitada e, portanto, necessita de condições iniciais e condições de contorno. Assim, as fronteiras do MM5 recebem os campos de vento na horizontal, a temperatura e a umidade. Estas informações podem ser resultados da análises de modelos de maior escala, de simulações do próprio MM5 ou de qualquer outro modelo prognóstico, desde que estejam em um formato que possa ser interpretado pelo mesmo (Corrêa, 2005).

A utilização e execução do MM5 deve obdecer a estrutura esquemática proposta por Dudhia (2005). Entretanto, nesta estrutura existem os programas ou módulos de execução obrigatória, TERRAIN, REGRID, INTERPF e MM5, e os módulos de execução não obrigatória LITTLE_R, RAWINS, INTERPB e NESTDOWN.

A Figura 1 exhibe o diagrama da estrutura clássica de execução do sistema de modelagem MM5 contendo os programas, seqüência de execução, formatos dos dados de entrada e saídas, visualizadores e recursos adicionais.

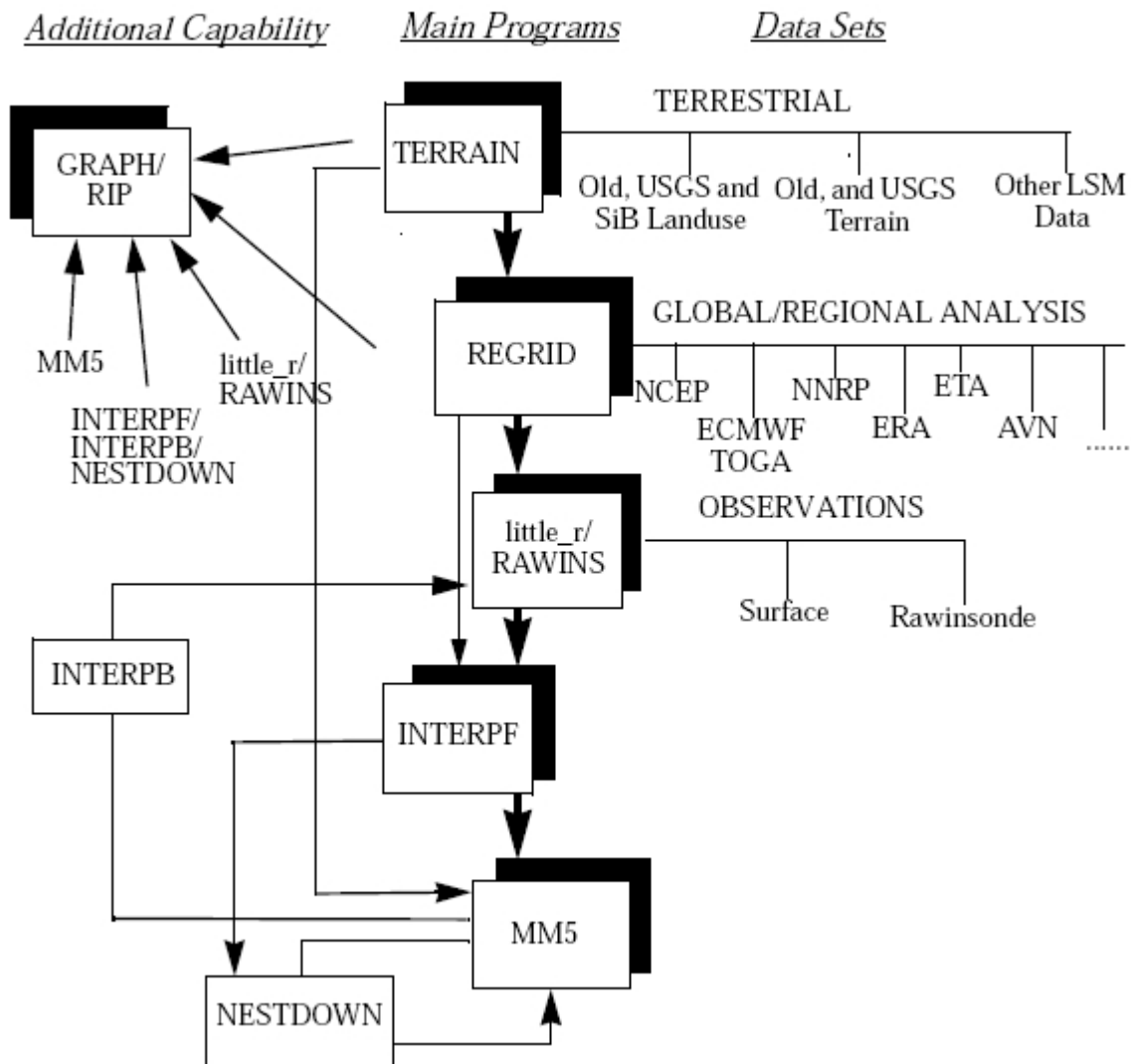


Figura 1 Diagrama representativo da estrutura clássica das etapas de execução do modelo MM5, apresentando os programas, seqüência de execução, formatos dos dados de entrada e saídas de resultados.
(Fonte: Dudhia, 2005).

Esclarecendo o esquema de execução do MM5 proposto por Dudhia (2005), o qual foi apresentado na Figura 1, a Figura 2 exhibe, além das etapas de execução, os arquivos de entrada para cada módulo bem como os seus respectivos resultados.

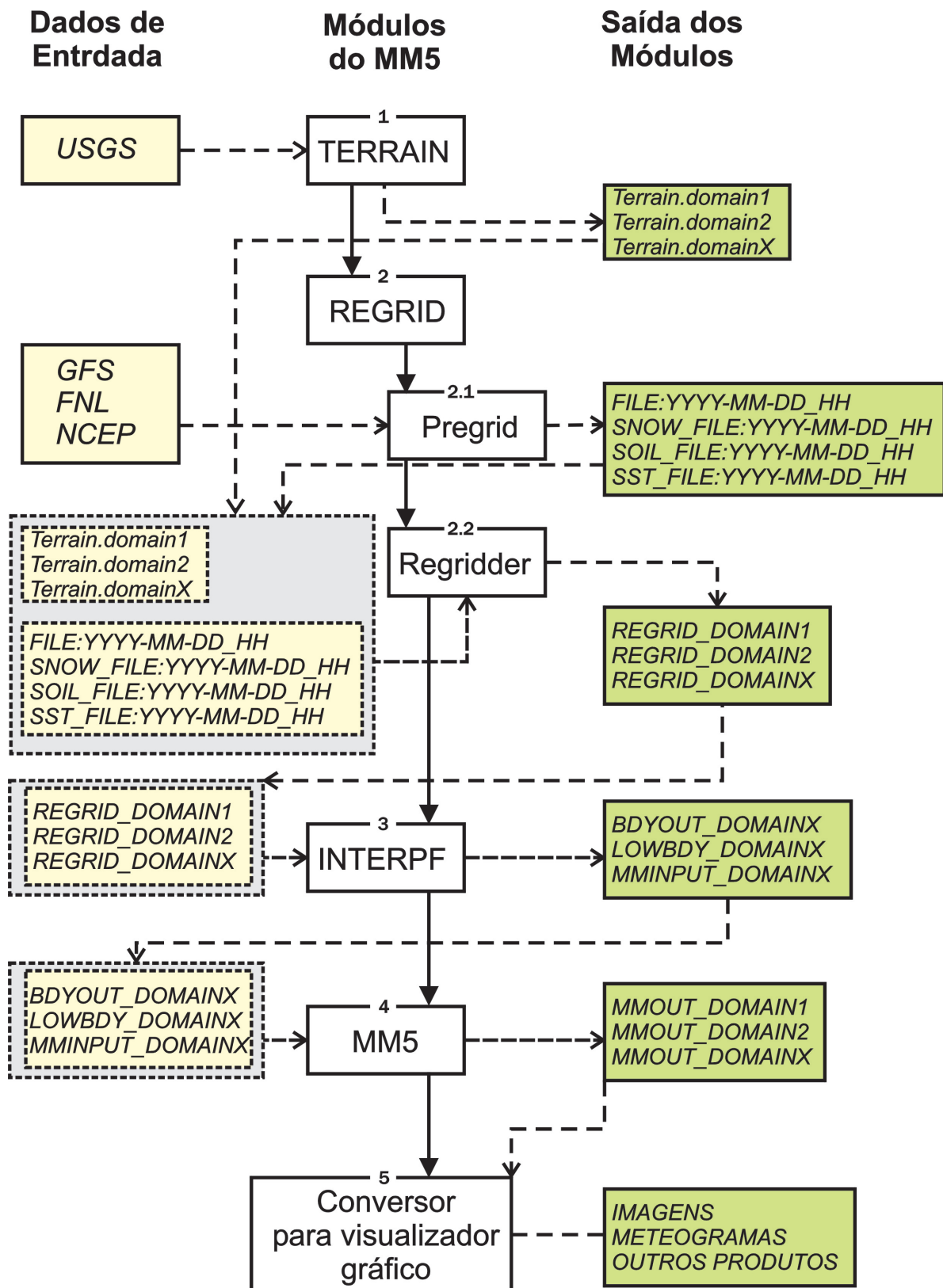


Figura 2 Diagrama de execução do modelo MM5 contendo os arquivos de entrada e as saídas de cada módulo do modelo MM5.

A execução do modelo MM5 inicia-se pelo módulo TERRAIN, no qual são definidos os domínios terrestres, o tipo de comunicação (unidirecional ou bidirecional) entre eles, o ponto central de latitude e longitude do domínio principal, o número de pontos e a distância entre cada ponto de grade. Também determina-se neste módulo a projeção cartográfica a ser utilizada nas próximas etapas da simulação. O TERRAIN processa informações relativas à topografia do terreno, tipo, uso do solo e vegetação dominante. Esta etapa é importante, pois, o tipo de solo controla propriedades como albedo, emissividade, disponibilidade de água e rugosidade (Tomé, 2004). Neste módulo determina-se o aninhamento dos domínios e sua posição em relação a grade-mãe, a resolução dos dados de terreno (VEGTYPE), a possibilidade de gerar campos para o LSM (Land Surface Model) e permite alterações ponto-a-ponto nos dados do terreno (FUDGE) e outras menos utilizadas. A opção FUDGE é uma grande ferramenta em estudos de uso e modificações no solo.

Segundo Dudhia (2005), todos os domínios devem ser definidos de modo a possuir uma resolução espacial superior a da ordem de grandeza do tamanho da malha desses domínios. Isto, permite que a qualidade das simulações não seja afetada por uma escolha não adequada da resolução do terreno, além de permitir minimizar o tamanho dos arquivos de saída criados neste módulo.

Tomé (2004) alerta que a escolha dos domínios deve ter a preocupação do tempo de computação que é especialmente importante para a previsão meteorológica em tempo real. O mesmo autor destaca que a relação entre os domínios tem que diminuir a razão de 1 : 3 para cada domínio aninhado em relação ao seu domínio-mãe. Desta forma, três malhas aninhadas em “two-way” com o mesmo número de pontos têm um custo computacional de 1 : 3 : 9 para um dado período de tempo o que significa que a malha mais fina é nove vezes mais pesada que a malha maior, em termos de passo de tempo, apresentando uma eficiência maior que simular toda a região com uma malha mais refinada.

A segunda etapa para simulações com o MM5 é a execução do módulo REGRID que interpola horizontalmente dados meteorológicos em níveis de pressão ou à superfície para a malha dos diferentes domínios. O REGRID é constituído por dois sub-módulos e, em ambos, é este, o primeiro momento onde informa-se o período da simulação. O *pregrid* trata a informação meteorológica das mais variadas fontes do formato *GRIB (Gridded Binary Data)* para um formato de dado padrão. O *regridder* faz a interpolação para as malhas de todos os domínios definidos no TERRAIN para todos os níveis de pressão (Tomé, 2004).

O outro módulo de execução obrigatória é o INTERPF. Este programa utiliza os dados tratados e fornecidos como saída pelo módulo REGRID e cria as condições iniciais e de fronteira

que o MM5 irá utilizar para as simulações. Nesta etapa do pré-processamento são calculadas as superfícies de pressão em coordenadas σ (sigma) e efetuada uma interpolação para criação das condições iniciais e de fronteira.

No sistema de coordenadas sigma (σ) os níveis mais próximos a superfície são definidos de maneira que a variação entre cada nível é mínima permitindo que sejam seguidos os contornos e variações do relevo, enquanto que nos níveis superiores tem-se uma superfície praticamente plana. Os níveis intermediários variam conforme a pressão diminui quando ocorre variação na direção ao topo, determinado por uma pressão escolhida. Desta forma, as superfícies de pressão em coordenadas σ é dada por

$$\sigma = \frac{P - P_t}{P_s - P_t},$$

onde P é um certo nível de pressão, P_t é a pressão definida no topo e P_s é a pressão na superfície.

É no módulo MM5 que o sistema de modelagem MM5 é propriamente executado. É nesta etapa onde são definidas as parametrizações físicas e ocorre definitivamente a execução do modelo. Este módulo é executado em dois scripts distintos o *configure.user* onde são definidas as parametrizações físicas do MM5 e o *mm5.deck* onde se estabelece o passo de tempo da simulação (deve-se salientar a importância de se respeitar o critério de Courant-Friedrichs-Lewy - CFL, que impede o modelo de divergir), informa-se o tamanho e disposição dos domínios seguindo o que foi estabelecido no *terrain.deck*. Durante a execução do módulo MM5 são resolvidas as equações dinâmicas da atmosfera em intervalos de tempo regulares quando são solicitadas informações das sub-rotinas de parametrizações, as quais foram adotadas no módulo físico.

2.3. ESTUDOS RELEVANTES

Vários estudos e com os mais diversos fins têm sido realizados com o MM5 para avaliar eventos e fenômenos que apresentam um caráter atmosférico ou meteorológico.

Tomé (2004) cita que já foram realizadas várias experiências sobre as diferentes parametrizações usadas pelo modelo MM5 e destaca os trabalhos de Davis *et al.* (2001), Colle e Mass (2000), Yang (2000), Lobato *et al.* (2000) e Arellano *et al.* (2000) que estudaram, respectivamente, o impacto das diferentes parameterizações na intensidade e rumo do ciclone Diana em 1984, a importância e das diferentes parameterizações de cúmulus e microfísica na precipitação sobre as montanhas do Oregon (Estados Unidos da América), o efeito das parameterizações na

precipitação na região de Taiwan, as parametrizações de cúmulus na precipitação na região do México e as parameterizações de camada limite modeladas pelo MM5.

Nielsen-Gammon (2002) efetuou estudo com o modelo MM5 para avaliar a capacidade de resposta para o evento fotoquímico de ozônio ocorrido entre 25 de agosto e 01 de setembro de 2000, em Houston no Estados Unidos da América, verificando que o MM5 destacou-se em virtude de apresentar uma física mais completa.

Dailey e Keller (2002) trabalharam com o MM5 para determinar os padrões de vento relacionados com as tempestades de inverno sobre a Europa. Jones *et al.* (2002) realizaram estudo sobre o impacto dos eventos de precipitação durante El Niño. Tomassetti *et al.* (2001) observou como o MM5 captou a influência meteorológica devido à presença de um lago na Região de Abruzzo na Itália.

Bromwich *et al.* (2001) utilizaram o MM5 com simulações de 48 horas para verificar, durante os meses de abril e maio de 1997, o estado atmosférico em torno Groenlândia. Concluindo que o modelo conseguiu reproduzir o estado atmosférico observado com um alto grau de realismo. Os valores médios mensais da temperatura próximo da superfície e velocidade do vento previsto diferiram das observações em menos de 1K e 1m/s, respectivamente, na maior parte dos sítios de observação. Além disso, o modelo foi capaz de simular um ciclo diurno realista de algumas variáveis meteorológicas, bem como captar a grande escala. Também foram efetuadas comparações dos perfis modelados para a velocidade do vento, direção e temperatura. As simulações dos ventos catabáticos foram consideradas sensíveis a erros na grande escala e aos erros na representação dos principais processos físicos, tais como a turbulência na camada superficial e interação da radiação com nuvens.

Chen e Dudhia (2001) efetuaram diversas comparações com o MM5 utilizando os modelos de solo-superfície LSM (Land Surface Model) e MRF (Medium-Range Forecast model PBL) concluindo que ambos os modelos produziram um boa previsão de chuvas para 24 de Junho de 1997, mas tiveram problemas, para um evento semelhante em 4 de julho de 1997 (para a região de Konza, Kansas, E.U.A.). Os autores verificaram que as simulações com LSM apresentaram resultados um pouco melhores para precipitação acumulada a cada três horas.

Tadross *et al.* (2006) analisaram dois esquemas cumulus e dois esquemas de camada limite planetária existentes no MM5 para investigar o clima do sul da África. Utilizando o modelo ETA de camada limite o MM5 simula demasiada incidência de ondas curtas radiação na superfície as 12 UTC, enquanto que o MRF camada produz um ciclo diurno de radiação de ondas curtas mais próximo do observado. O esquema de cumulus Betts-Miller simula picos de precipitação, no fim do dia e menos chuva do que observada, enquanto que no Kain-Fritsch o

regime de chuvas apresenta um pico no início do dia e mais chuva do que observada. Assim, a intensidade do ciclo hidrológico simulada pelo MM5 é, portanto, dependente da escolha das parametrizações físicas adotadas no modelo.

Guo *et al.* (2003) avaliaram um ciclo anual completo da atmosfera Antártica com o MM5 concluindo que a variabilidade sinótica da pressão, a temperatura, a velocidade do vento, a direção do vento e a razão de mistura, bem como os ciclos diurnos de temperatura e velocidade do vento reproduzidos pelo MM5 apresentaram precisão satisfatória. Entretanto, sobre o calendário anual os maiores erros nas simulações do modelo ocorreram devido a deficiente cobertura total de nuvens, a precipitação e as temperaturas mais frias próximas da superfície ao longo do interior do planalto Antártico. Tais deficiências previsão de nuvens e simulação da precipitação tiveram o frio como causa principal da baixa previsibilidade da radiação de onda longa em dias de céu claro. A baixa capacidade de representar a precipitação em céu limpo foram fatores limitadores do MM5 no estudo em questão.

Yamazaki e Manso (2004) efetuaram uma série de testes de sensibilidade para ajuste da parametrização física do modelo, referente ao esquema de cúmulus. Demonstrando que para Portugal o melhor desempenho na avaliação de água precipitável para três domínios aninhados foram os esquemas de Kain-Fritsch (quando aplicado aos domínios 1 e 2) e do esquema de Grell (quando aplicado ao domínio 3). Os autores também propuseram um sistema de visualização de imagens para as saídas produzidas pelo MM5.

Pellegrini *et al.* (2008), Pellegrini *et al.* (2007a), Pellegrini *et al.* (2007b) e Pellegrini *et al.* (2007c) documenta o uso do modelo MM5 na simulação de cenários envolvendo diferentes tipos de cobertura e uso do solo e sua influência nas condições térmicas de uma região metropolitana e nas anomalias de vento. Merece destaque o fato dos autores verificarem a necessidade de uma alta resolução vertical e horizontal para captar os detalhes da ilha térmica sobre a Região Metropolitana de Belo Horizonte.

Entretanto, dos trabalhos já realizados com o modelo de mesoescala MM5, aquele que mais se destaca pela sua importância no que diz respeito a estudos com este modelo e os eventos de precipitação sobre o Estado de Alagoas, Brasil, é o trabalho de Costa (2006) que discute a avaliação do desempenho do modelo de mesoescala MM5 na simulação de eventos de precipitação extrema no Estado de Alagoas. O estudo realizado por Calheiros *et al.* (2006) discute as condições sinóticas e climatológicas para o caso de precipitação extrema ocorrida no período de 31 de maio a 02 de junho de 2004.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. DESCRIÇÃO DA REGIÃO DE ESTUDO

O Estado de Alagoas situa-se no centro-oeste do NEB entre as latitudes $8^{\circ}12'S$ e $10^{\circ}12'S$ e as longitudes $35^{\circ}09'W$ e $38^{\circ}13'W$, possui uma área equivalente a 0,32% do território Nacional, 1,8% da Região Nordeste, apresenta uma extensão territorial de $27.767,661\text{km}^2$, uma população de 3.015.912 habitantes distribuídos entre os 102 municípios que compõem o Estado (IBGE, 2008). Alagoas é parte integrante da costa leste do NEB que compreende a região formada pela parte oriental dos Estados do Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Bahia, Sergipe e Alagoas.



Figura 3 Mapa do Estado de Alagoas, apresentando os seus limites territoriais e a Capital, Maceió, em destaque.

3.2. PERÍODO DE ESTUDO

Para realização desse trabalho foram considerados os dias 31 de Maio de 2004, 01 e 02 de Junho de 2004. Para a análise dos totais pluviométricos simulados pelo MM5 foram efetuadas comparações entre os resultados fornecidos pelo modelo e as imagens captadas pelo Sistema de Radar Meteorológico do Estado de Alagoas (SIRMAL) para o mesmo período de estudo.

3.3. CONFIGURAÇÕES DE HARDWARE E SISTEMA OPERACIONAL

O MM5 foi instalado em modo de processamento simples com compilador Intel® Fortran for 32-bit applications, versão 8.1 em um computador com Processador Celeron D da Intel® operando na frequência de 2,80Ghz que possui um HardDisk com capacidade de armazenamento de 80Gb e 2Gb de memória RAM. Como o MM5 é executado apenas em Sistema Operacional Linux, optou-se pela Distribuição Fedora, versão 6, por apresentar maior versatilidade para trabalhos com mídias removíveis em comparação com o Distribuição RedHat9, no Instituto de Ciências Atmosféricas da Universidade Federal de Alagoas.

3.4. CONFIGURAÇÃO DO MODELO DE MESOESCALA MM5

A estrutura clássica do modelo de mesoescala MM5, descrita por Dudhia (2005), foi adaptada para executar apenas os módulos de pré-processamento TERRAIN, REGRID, INTERPF, de processamento MM5 e de pós-processamento MM5toGRADS, de tal forma que o esquema de configuração para o MM5 do ICAT/UFAL encontra-se como exposto na Figura 4.

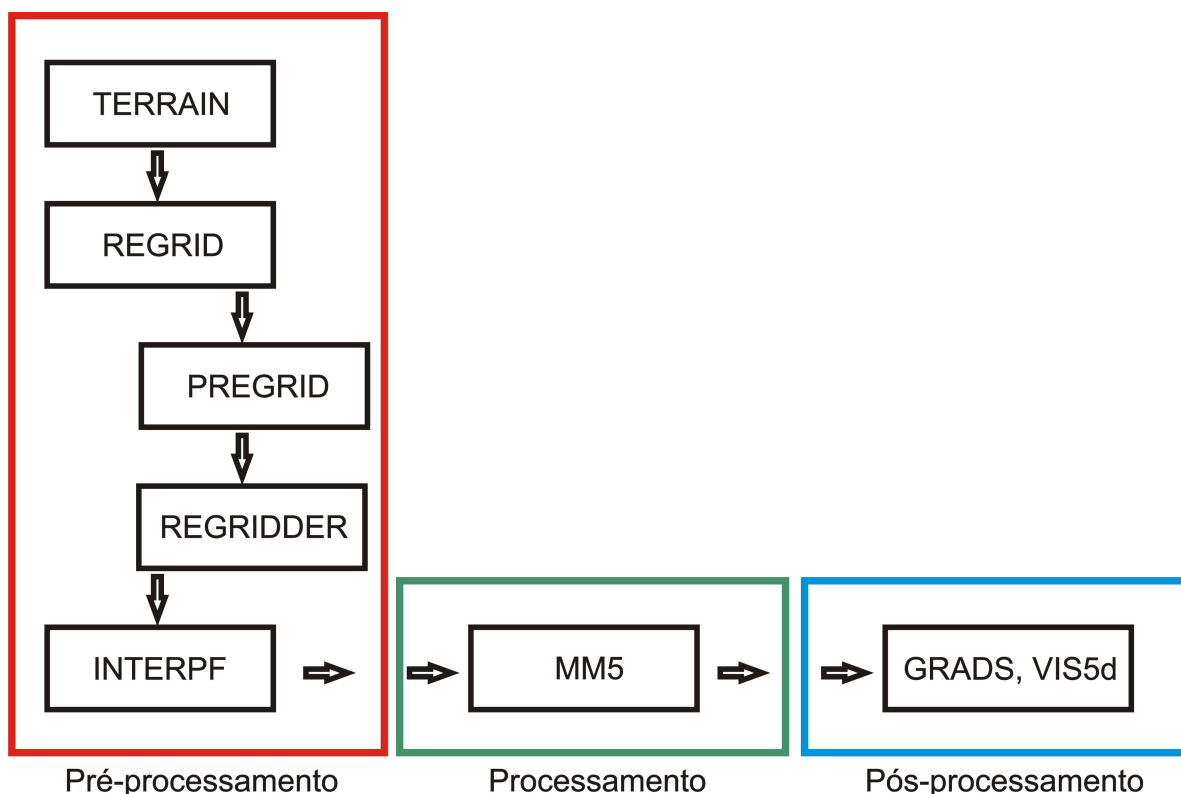


Figura 4 Diagrama representativo dos módulos do modelo MM5 do ICAT/UFAL.

O módulo TERRAIN foi configurado considerando-se a latitude do ponto central da grade principal em $-9^{\circ}30''S$ e longitude do ponto central da grade principal em $-35^{\circ}30''W$. Adotou-se a Projeção de Mercator.

As dimensões e número de pontos de cada domínio levou em consideração o proposto por Tomé (2004). Foram criados três domínios, todos com o mesmo número de pontos de grade para evitar falha na comunicação de “mão-dupla”, cada um deles possuindo 41 pontos na direção *Y* ou sentido Norte-Sul por 60 pontos na direção *X* ou sentido Leste-Oeste, conforme Figura 5, Figura 6 e Figura 7. A distância entre cada ponto de grade é de $27Km$ para o domínio principal (domínio-mãe - D1), $9Km$ para o segundo domínio (D2) e $3Km$ para o terceiro domínio (D3). Também foram considerados para efeito de operacionalização 32 níveis verticais. A Figura 8 apresenta a disposição dos três domínios aninhados utilizados pelo MM5 do ICAT/UFAL.

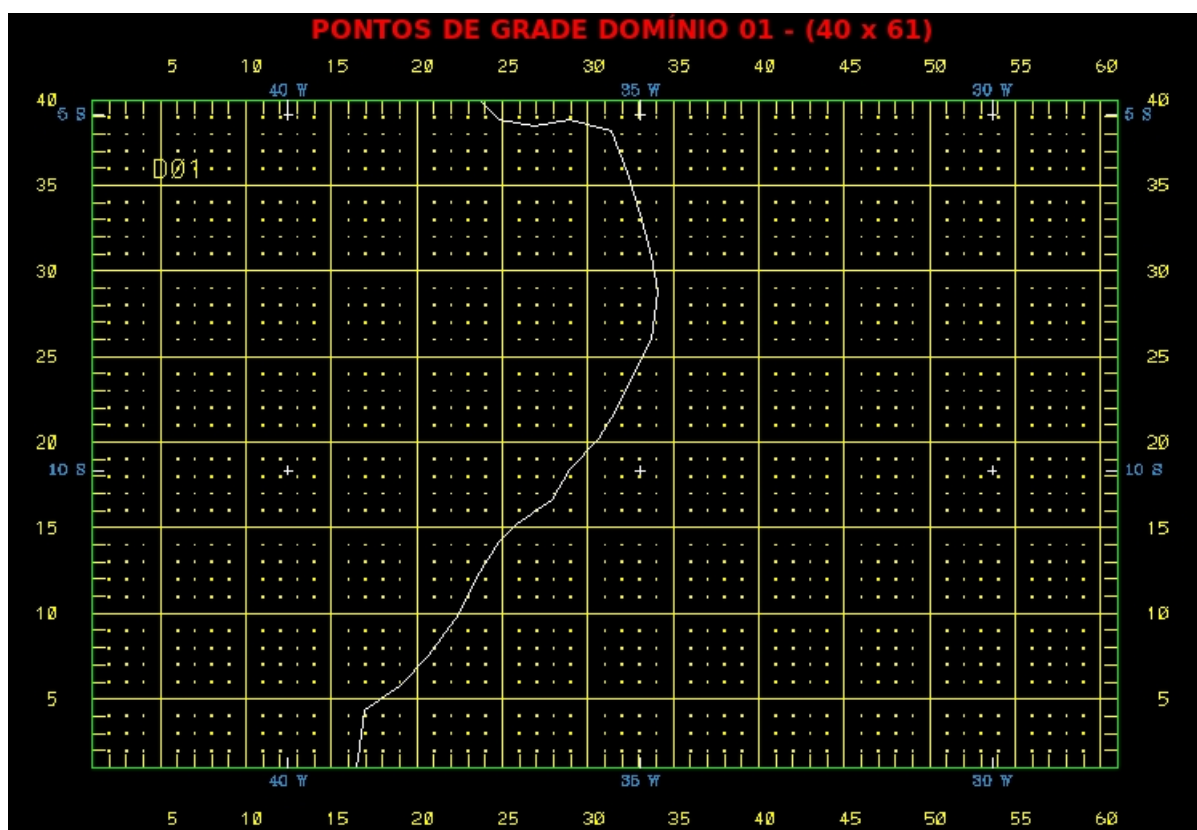


Figura 5 Pontos de grade do Domínio 01.

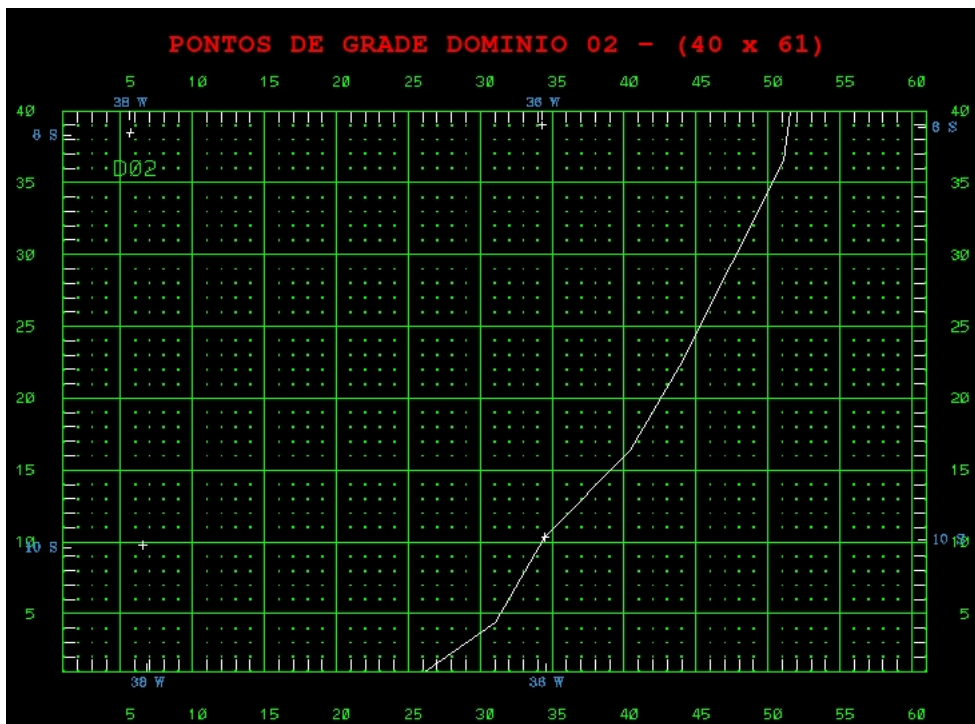


Figura 6 Pontos de grade do Domínio 02.

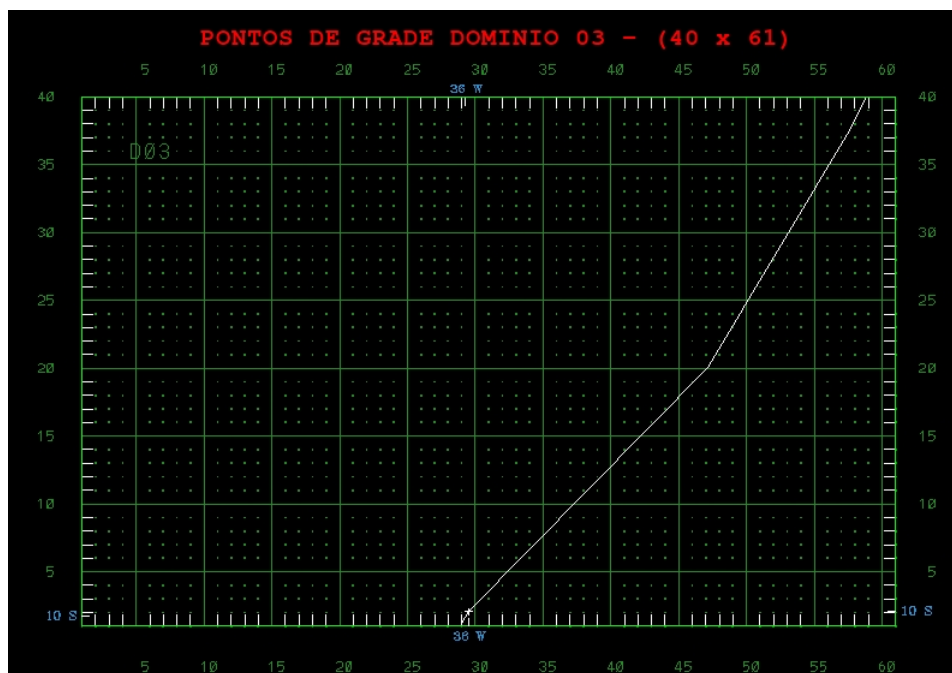


Figura 7 Pontos de grade do Domínio 03.

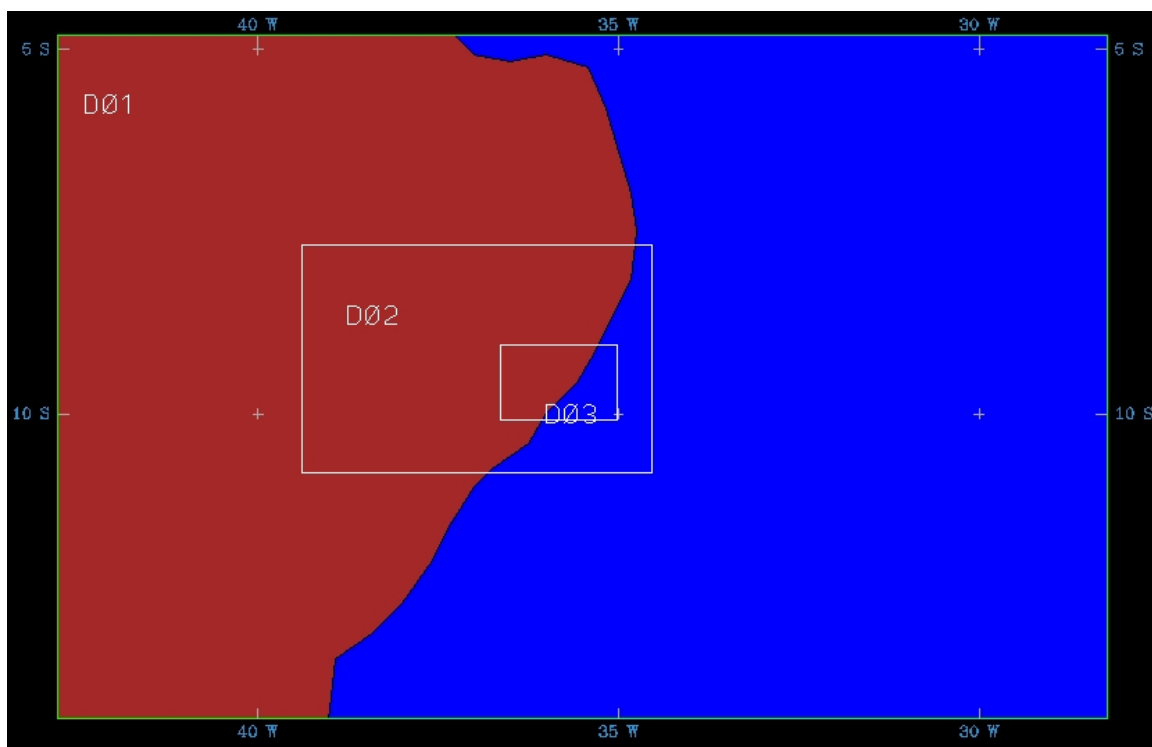


Figura 8 Disposição espacial dos três domínios aninhados do MM5 do ICAT/UFAL.

Na execução do módulo TERRAIN optou-se pelo uso do programa *terrain.deck.intel*.

Os dados de altimetria e uso do solo que foram utilizados em cada domínio são os do *USGS* (*U.S. Geological Survey*) disponibilizados pela World Wide Web por ftp através do endereço ftp://ftp.ucar.edu/mesouser/MM5V3/TERRAIN_DATA e os de alta resolução disponíveis em <ftp://edcftp.cr.usgs.gov/pub/data/gtopo30/global> (maiores detalhes ver apêndice A).

3.5. DADOS METEOROLÓGICOS DE ENTRADA PARA INICIALIZAÇÃO DO MODELO

Os dados meteorológicos utilizados para inicialização do MM5 foram os dados de análise do modelo global *GFS* (*Global Forecast System*). Estes dados apresentam uma resolução espacial de $0,5^\circ \times 0,5^\circ$ e uma resolução temporal de 3 horas que encontram-se disponíveis no endereço eletrônico <http://nomad5.ncep.noaa.gov/>.

Para aquisição desses dados foi utilizado um script *c-shell* que efetua o download dos dados fornecidos pelo modelo GFS a partir de 00Z para previsão de até 48 horas, para uma região determinada pelas latitudes $10^\circ N$ e $-30^\circ S$ e longitudes $-10^\circ W$ e $-50^\circ W$ que engloba a região de estudo. A Figura 9 apresenta o recorte da região contendo os dados do modelo GFS. Tal recorte reduz o tempo de download dos dados e o tamanho, em megabytes (*Mb*), dos mesmos. Para um período de dados globais do modelo GFS, correspondente a 3 horas, os arquivos possuem

em torno de $200Mb$, ao passo que os dados da região de interesse, após o recorte, foram reduzidos para valores em torno de $4Mb$. O script que efetua o download e o recorte encontra-se disponível no apêndice B. A etapa de validação dos resultados fornecidos pelo MM5 foi feita através de simulações iniciadas com dados FNL.

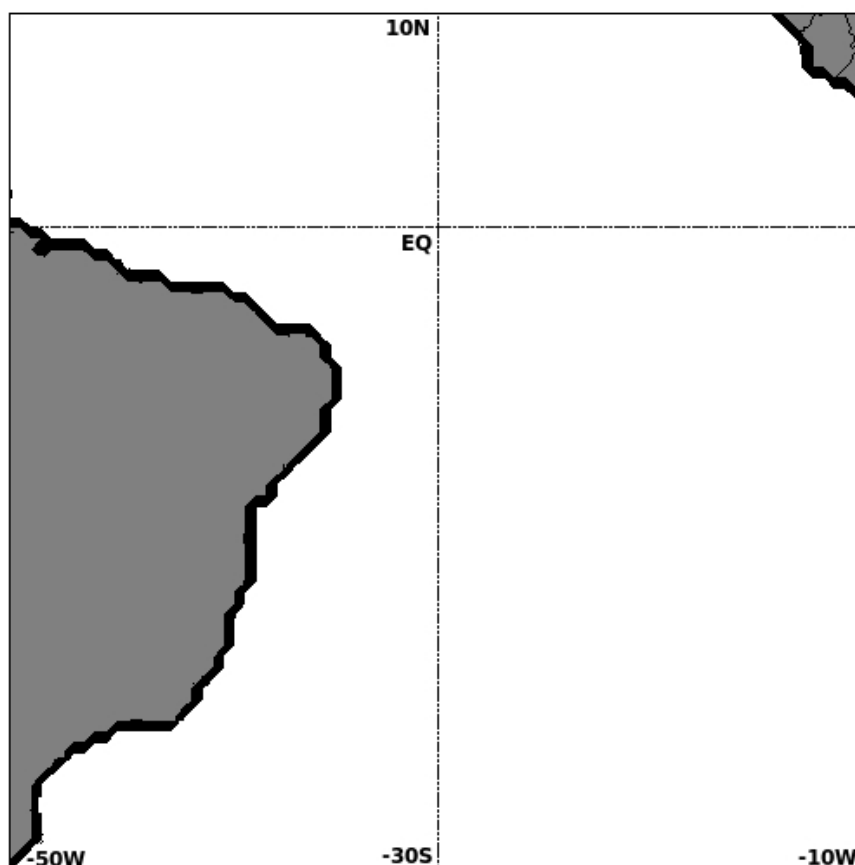


Figura 9 Região de recorte para download dos dados de inicialização do modelo MM5 do ICAT/UFAL a partir do modelo global GFS.

3.6. OPERACIONALIZAÇÃO DO MODELO DE MESOESCALA

Para operacionalização do modelo de mesoescala MM5 foram necessárias algumas alterações na estrutura do programa *pregrid.csh* que integra o sub-módulo *pregrid* do REGRID. Inicialmente, foi incluída uma estrutura para alteração do período de simulação. Tal estrutura tem como referência o dia, o mês e o ano atuais como entrada para período de início da simulação e, a partir dos quais são acrescentados mais 2 dias (48 horas) para o fim da simulação. As linhas de código que se seguem foram acrescentadas logo no início do c-shell *pregrid.csh*.


```

set ano_start='date +%Y -d today'
set mes_start='date +%m -d today'
set dia_start='date +%d -d today'
set ano_end='date +%Y -d tomorrow'
set mes_end='date +%m -d tomorrow'
set dia_end='date +%d --date '2 days''

```

Efetuada o acréscimo destas linhas a próxima modificação ocorreu nos espaços onde o usuário deve inserir o período de simulação. Assim, as linhas

```

START_YEAR = 2007 # Year (Four digits)
START_MONTH = 01 # Month ( 01 - 12 )
START_DAY = 16 # Day ( 01 - 31 )
START_HOUR = 00 # Hour ( 00 - 23 )
END_YEAR = 2007 # Year (Four digits)
END_MONTH = 01 # Month ( 01 - 12 )
END_DAY = 18 # Day ( 01 - 31 )
END_HOUR = 00 # Hour ( 00 - 23 )

```

passaram a ter a seguinte estrutura

```

START_YEAR = $ano_start # Year (Four digits)
START_MONTH = $mes_start # Month ( 01 - 12 )
START_DAY = $dia_start # Day ( 01 - 31 )
START_HOUR = 00 # Hour ( 00 - 23 )
END_YEAR = $ano_end # Year (Four digits)
END_MONTH = $mes_end # Month ( 01 - 12 )
END_DAY = $dia_end # Day ( 01 - 31 )
END_HOUR = 00 # Hour ( 00 - 23 )

```

Ainda no sub-módulo pregrid foi necessário acrescentar ao diretório *../pregrid/grib.misc* a *Vtable.GFS*, ou seja, a tabela contendo a formatação do dados GFS, tal tabela é importante, pois é a partir dela que é efetuada a leitura dos dados da fonte GFS e, posteriormente, adicionar ao final do *pregrid.csh* as linhas para leitura desta *Vtable*, conforme linhas de código abaixo. Uma descrição completa das alterações do *pregrid.csh* encontra-se no apêndice C.

```
set VT3D = ( grib.misc/Vtable.GFS )
set VTSST = ( grib.misc/Vtable.AVNSST )
set VTSNOW = ( grib.misc/Vtable.AVNSNOW )
set VTSOIL = ( grib.misc/Vtable.AVNSOIL ).
```

Para alteração do arquivo `namelist.input`, que serve de entrada para o sub-módulo `regridder`, foram criados três programas, integralmente apresentados no apêndice D, em Fortran 90 com o objetivo de gerar os arquivos `namelist.input` referentes a cada domínio de terreno. Os códigos em `.f90` foram compilados com o compilador `gfortran`, nativo do Linux, e criados os executáveis `Gera_input_D1.exe`, `Gera_input_D2.exe` e `Gera_input_D3.exe`. Cada um desses programas foi armazenado e executado, um por vez, dentro do diretório “`../regridder/GERA_REGRIDDER.`” Ao final do processo são criados os arquivos `namelist.input` de cada domínio com a denominação de `input_D1`, `input_D2` e `input_D3`, os quais serão devidamente renomeados a medida o sistema efetuar a etapa de processamento dos domínios criados e passar ao seguinte.

O próximo módulo de execução do MM5 é o INTERPF. De modo análogo ao processo de criação dos `namelist.input` do módulo REGRID, no módulo INTERPF também foram criados três programas `.f90` (ver apêndice E) com de criar executáveis capazes de escrever os `namelist.input` para o INTERPF, assim os programas `Gera_input_D*.exe` foram armazenados e executados no diretório “`../INTERPF/GERA_INTERPF.`” E de modo semelhante os arquivos escritos por estes executáveis são renomeados para `namelist.input` a medida que o modelo MM5 passar para etapa seguinte. Entretanto, a diferença entre os geradores de `namelist` do INTERPF e do REGRID é que os primeiros têm como parâmetro de entrada cada domínio criado pelo segundo, ou seja, pelo `regridder`. Por fim, efetuadas todas as etapas de pré-processamento criou-se um script para automatizar as fases de execução do MM5 (ver apêndice F).

3.7. PARAMETRIZAÇÕES FÍSICAS DOS DOMÍNIOS

As configurações e parametrizações físicas do modelo de mesoescala MM5 do ICAT/UFAL adotadas para este trabalho tem por base as opções sugeridas por Costa (2006) através das quais o autor obteve boas simulações para os eventos estudados. Entretanto, algumas alterações foram efetuadas para abtenção de ganho computação e redução no tempo das simulações. Desta forma, os domínios apresentam as seguintes parametrizações para microfísica de nuvens, cumulus, solo, camada limite e radiação solar. Maiores detalhes sobre as parametrizações físicas do modelo MM5 podem ser encontrados no Manual do Modelo MM5 (Dudhia *et al.*, 2005).

1. Microfísica de nuvens (IMPHYS - Mix Phase - opção 5)

Segundo Costa (2006) o grande ganho desse esquema é a propriedade de haver água líquida abaixo dos 0°C e neve não derretida acima de 0°C. O congelamento imediato da água da nuvem ocorre aos -40°C e o gelo da nuvem derrete imediatamente acima dos 0°C. Tomé (2004) destaca que este esquema apresenta as melhores soluções contemplando a eficiência computacional e a qualidade dos resultados.

2. Cumulus (ICUPA - Kain-Fritsch - opção 6)

O esquema Kain-Fritsch foi formulado para assegurar a conservação de massa, energia térmica, umidade total e momento, o que seria necessário em grades maiores e com integrações mais longas no tempo (Tomé, 2004). Costa (2006) esclarece que segundo Dudhia *et al.*(2003) este esquema também considera o efeito do cisalhamento na precipitação, sendo indicado para grades entre 20 – 30km.

3. Camada limite (IBLTYP - MRF - opção 5)

Arellano *et al.*(2000) efetuaram estudos de comparação entre os diferentes modelos de camada limite presentes no MM5 e concluíram que a altura da camada limite é melhor simulada pelo modelo de Blackadar e pelo modelo MRF(Medium Range Forecast). Neste esquema a difusividade na Camada Limite está formulada de acordo com os resultados de investigação em *LES - Large Eddy Simulation*. Esquema utilizado no modelo de previsão AVN/NCEP (Hong e Pan, 1996).

4. Solo (ISOIL - Five Layer Soil Model - opção 1)

Os esquemas de solo existentes no MM5 procuram representar o efeito da temperatura sob as superfícies terrestre e marítima e sua influência nas propriedades atmosféricas da camada limite (Tomé, 2004). O esquema Five Layer Soil Model utiliza cinco camadas com espessuras de 1 cm, 2 cm, 4 cm, 8cm e 16 cm, e faz a previsão da temperatura para as mesmas através da equação da difusão (Costa, 2006).

5. Radiação solar (FRAD - RRTM - opção 4)

Este esquema considera que a radiação solar interage com o vapor de água, o dióxido de carbono, o ozônio, a cobertura de nuvens e os campos de precipitação. É portanto, o esquema de radiação mais completo entre os existentes no MM5.

1. Microfísica de nuvens (IMPHYS - Mix Phase - opção 5)

2. Cumulus (ICUPA - Kain-Fritsch - opção 6)

3. Camada limite (IBLTYP - MRF - opção 5)
4. Solo (ISOIL - Five Layer Soil Model - opção 1)
5. Radiação solar (FRAD - RRTM - opção 4)

3.8. TRATAMENTO DOS ARQUIVOS DE SAÍDA DO MM5

O modelo MM5 após a etapa de processamento apresenta como resultado de saída arquivos do tipo “*MMOUT_DOMAIN#*” disponíveis no diretório “*../MM5/Run*”. Com base nestes arquivos foram gerados os resultados de saída pelo software GrADS. Objetivando facilitar a criação das imagens segundo as variáveis meteorológicas foi elaborada uma série de scripts (conforme modelo apresentado no apêndice G) para o GrADS e onde foram gerados os campos meteorológicos de pressão, precipitação acumulada, água precipitável, umidade relativa, linhas de corrente na superfície e nos níveis *850mb*, *500mb* e *200mb*, velocidade do vento, temperatura do ar, altura da camada limite e fluxo de calor sensível. Estas variáveis foram disponibilizadas em uma página da Internet.

Seguindo o proposto por Yamazaki e Manso (2004) criou-se sistema de visualização de imagens baseado no GrADS para vinte e duas das oitenta e oito variáveis meteorológicas possíveis de serem geradas diretamente na conversão dos resultados do MM5 para o GrADS.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. RESULTADOS DOS TESTES DE SENSIBILIDADE

4.1.1 Modelo Pleim-Xiu LSM

Durante as etapas iniciais para a implantação do MM5 foram efetuados alguns testes de sensibilidade com a finalidade de evitar falhas na criação dos domínio de simulação. Verificou-se que quando da ativação do modelo de solo Pleim-Xiu LSM, na opção IEXTRA, do módulo TERRAIN, o terceiro domínio D3 ficou nitidamente destacado e não foi efetuada a avaliação correta do tipo de solo dominante, fração de cobertura vegetal, categorias de vegetação (VEGCAT, 1-21), categorias de solo (SOILCAT, 1-14). As Figuras 10 e 11 apresentam em destaque os resultados da incorreta avaliação do modelo para D3 nas opções VEGCAT e SOILCAT.

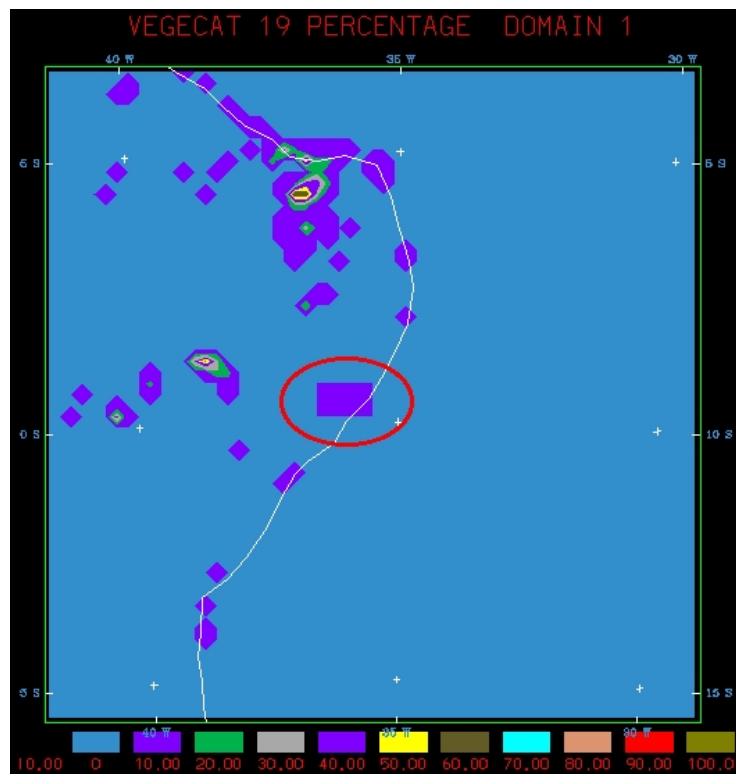


Figura 10 Resultado do teste de sensibilidade com o uso do modelo Pleim-Xiu LSM. A opção VEGCAT destacada em D3.

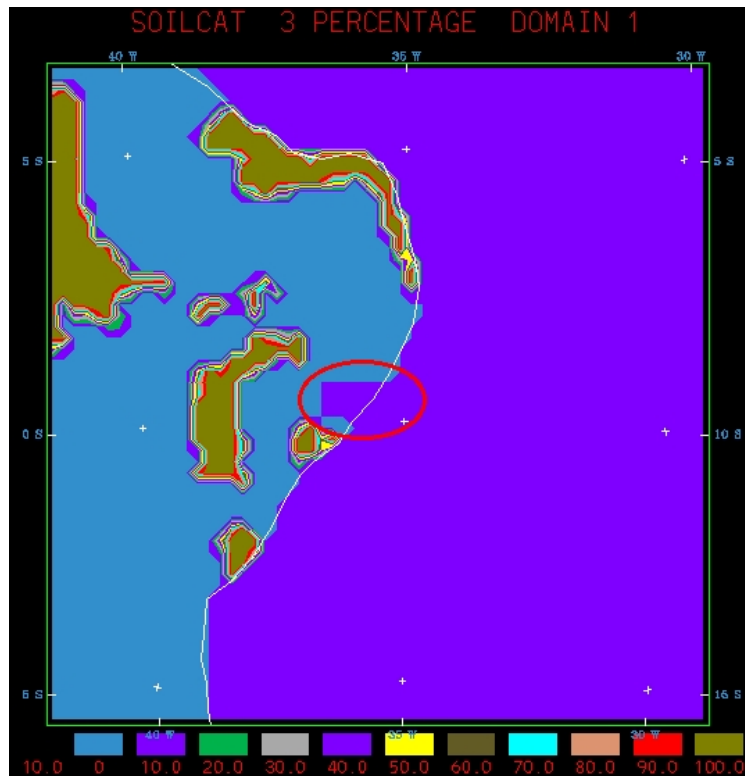


Figura 11 Resultado do teste de sensibilidade com o uso do modelo Pleim-Xiu LSM. A opção SOILCAT destacada em D3.

Por outro lado, quando a opção IEXTRA é desativada são consideradas as frações de cobertura vegetal em 12 categorias, sem nenhum tipo de erro. Com esta opção o modelo Noah-LSM está ativo. A Figura 12 apresenta o resultado correto da ativação do modelo Noah-LSM para fração vegetal dominante em D1. Embora a ativação do modelo Noah-LSM tenha ocorrido com sucesso, optou-se por sua desativação, devido ao elevado tempo de processamento ocorrido no módulo MM5. Quando da ativação do LSM o módulo MM5 necessitou de 24 horas para simular 1 hora, inviabilizando assim a operacionalização do modelo com atuais configurações de hardware disponível. Portanto, considerou-se o uso do modelo de solo simples (multi-layer soil temperature model - opção 01) no configure.user do módulo MM5.

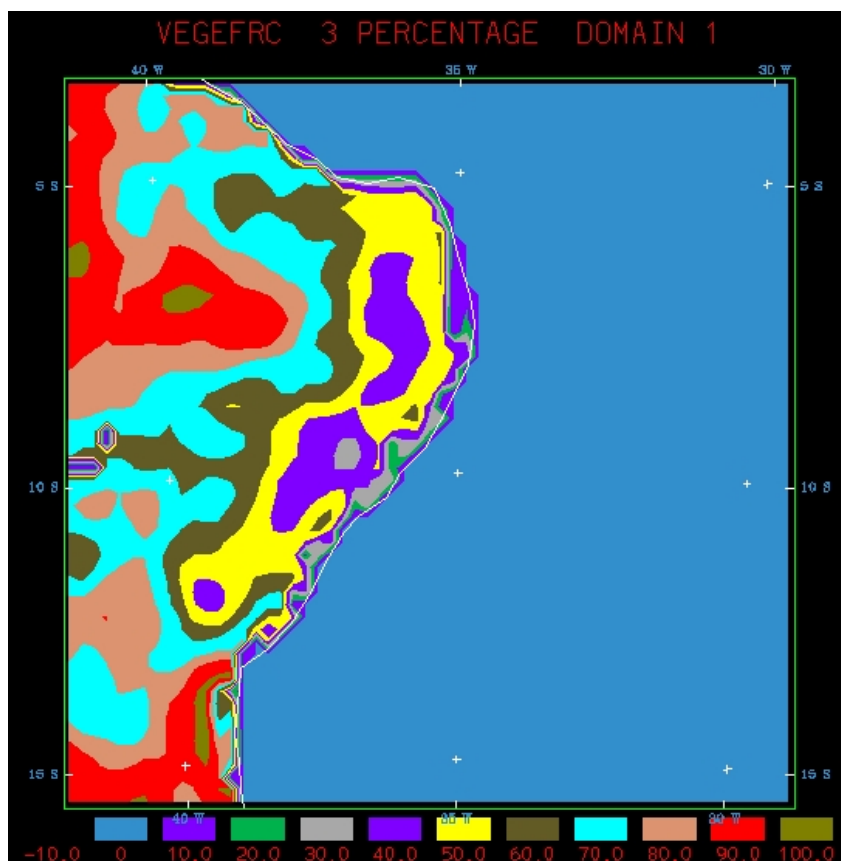


Figura 12 Resultado da ativação do modelo Noah-LSM para D1.

4.1.2 Microfísica de nuvens e cumulus

Considerando-se as parametrizações de microfísica de nuvens Graupel (D1, D2 e D3) e as parametrizações de cumulus Betts-Miller (D1) e Kain-Fritsch2 (D2 e D3). Os resultados para precipitação acumulada em 3 horas (para um dia teste - 19/Mar/2008), nos horários de 00Z, 03Z e 06Z, apresentaram uma falha e em D2 e D3 não foram captados valores de precipitação. Outro fato é que não houve interação entre o domínio-mãe e os demais, embora a comunicação entre eles fosse de mão-dupla (“two-way”), isso ocorreu porque inicialmente os domínios possuíam números de pontos de grade diferentes. Além do mais, as configurações de microfísica e cumulus são extremamente sensíveis as combinações de cada domínio, ao tamanho da grade e ao passo de tempo de integração (“time step”). As Figuras 13, 14 e 15 mostram uma seqüência de imagens que apresenta a área onde se encontram D2 e D3 como uma região em destaque sem valores simulados.

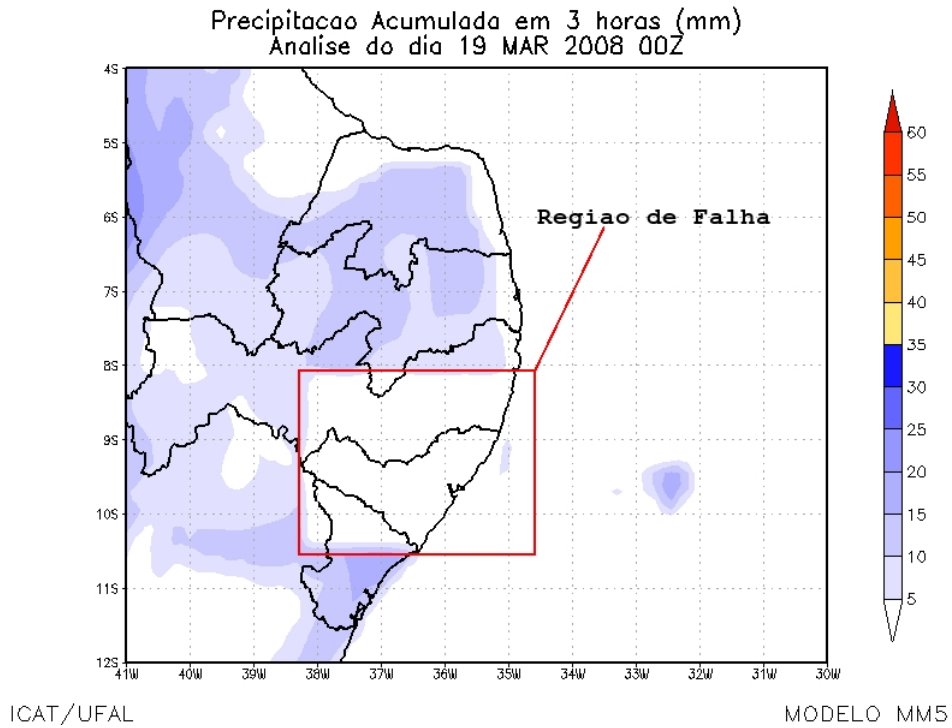


Figura 13 Falha na geração da precipitação acumulada devido incompatibilidade na interação entre as parametrizações Betts-Miller e Kain-Fritsch2, às 00Z.

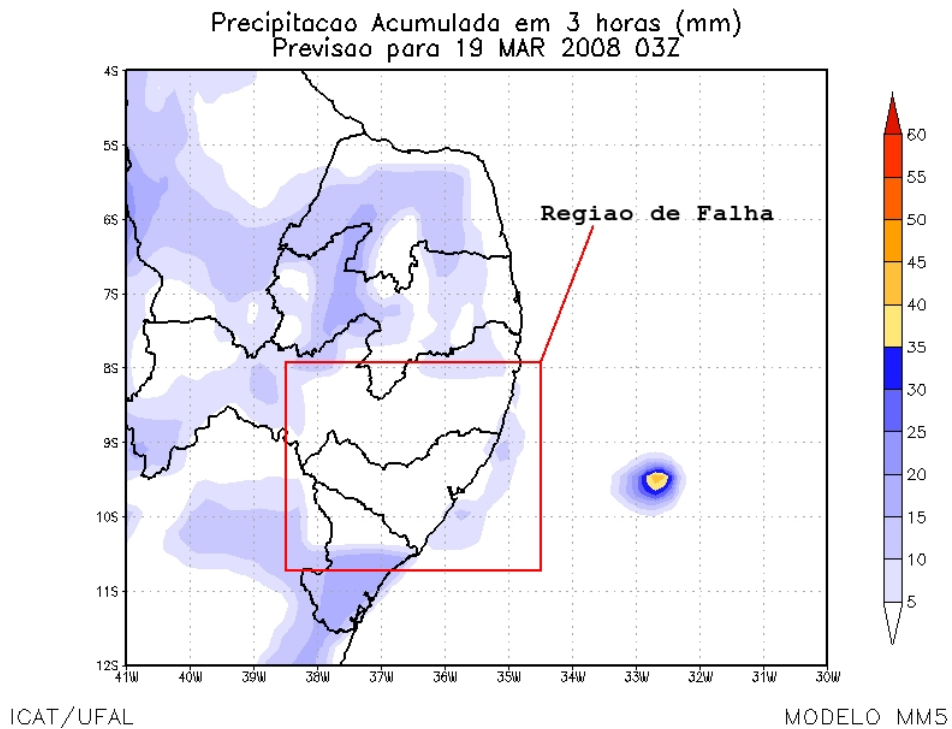


Figura 14 Falha na geração da precipitação acumulada devido incompatibilidade na interação entre as parametrizações Betts-Miller e Kain-Fritsch2, às 03Z.

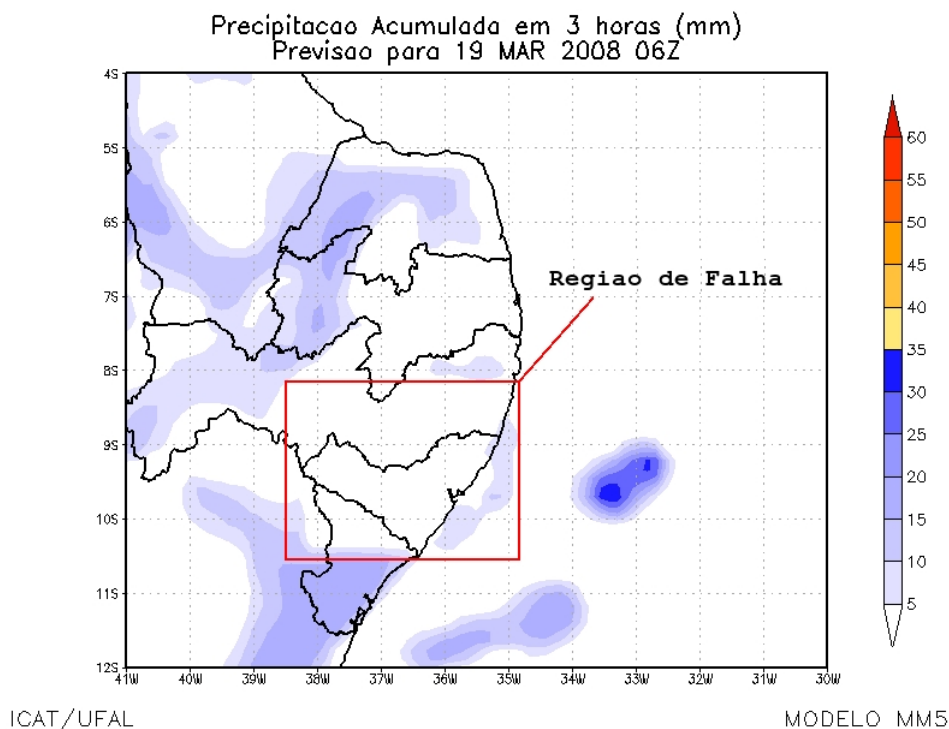


Figura 15 Falha na geração da precipitação acumulada devido incompatibilidade na interação entre as parametrizações Betts-Miller e Kain-Fritsch2, às 06Z.

Na Figura 16 tem-se o campo de precipitação horário simulada pelo MM5 no domínio principal, adotando-se as parametrizações indicadas na seção 3.7, sem a ocorrência de erros, ou seja, parametrizações idênticas para todos os domínios.

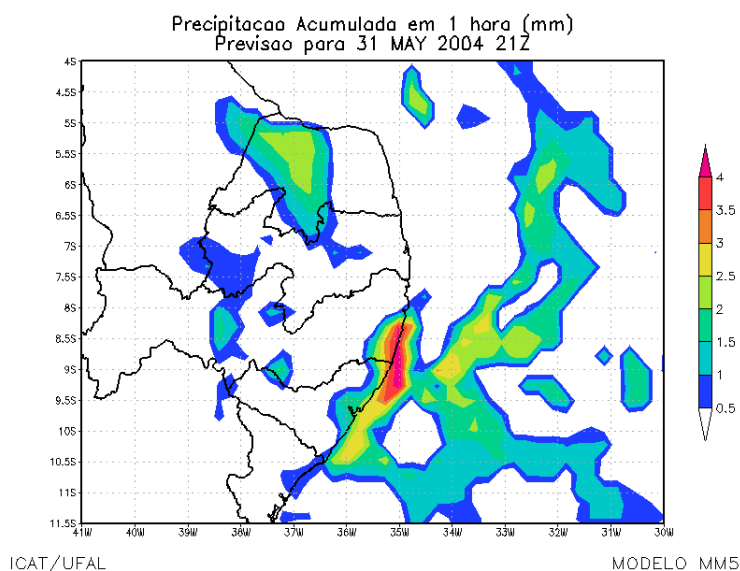
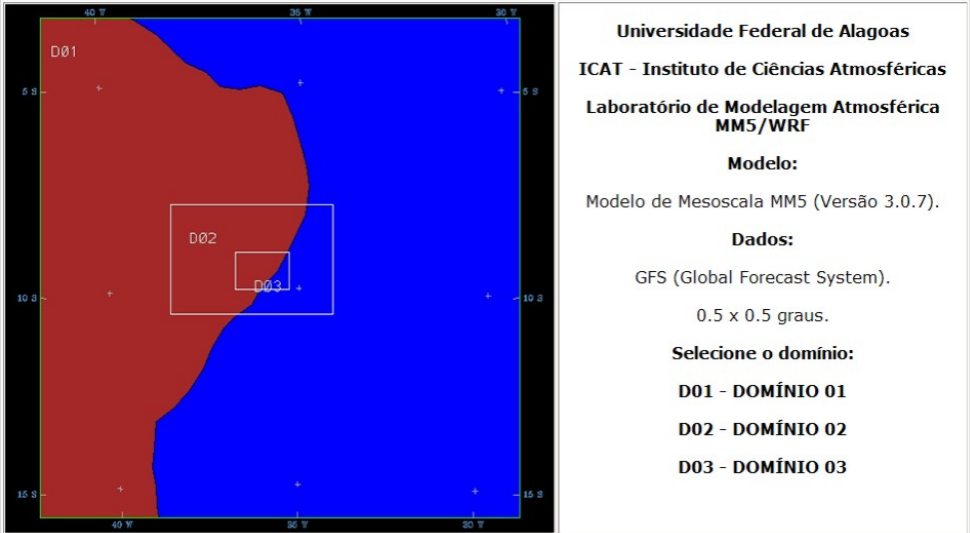


Figura 16 Resultado da precipitação utilizando as configurações adotadas pelo MM5 do Instituto de Ciências Atmosférica da Universidade Federal de Alagoas.

4.2. PÁGINA DA INTERNET

Os resultados obtidos através da implantação do MM5 no ICAT/UFAL podem ser visualizados no endereço da Internet <http://geocities.yahoo.com.br/mm5v3ufal>. As figuras 17, 18, 19, 20 e 21 mostram hierarquia da seqüência para obtenção das imagens do modelo para D1, D2 e D3.



Universidade Federal de Alagoas
ICAT - Instituto de Ciências Atmosféricas
Laboratório de Modelagem Atmosférica
MM5/WRF

Modelo:
 Modelo de Mesoscala MM5 (Versão 3.0.7).

Dados:
 GFS (Global Forecast System).
 0.5 x 0.5 graus.

Selecione o domínio:
D01 - DOMÍNIO 01
D02 - DOMÍNIO 02
D03 - DOMÍNIO 03

Figura 17 Página principal onde há seleção dos domínios.



Universidade Federal de Alagoas

ICAT/MM5 - Domínio 01

VARIÁVEIS METEOROLÓGICAS	NÍVEIS			
Pressão Atmosférica	P.N.M.			
Precipitação Acumulada	Superfície			
Água Precipitável	Superfície			
Meteograma	Localidade			
Umidade Relativa do Ar	Superfície			
Linhas de Corrente	Sup	850mb	500mb	200mb
Velocidade do Vento	Superfície			
Temperatura do Ar	Superfície			
Altura da Camada Limite	Visualizar			
Fluxo de Calor Sensível e Temperatura	Visualizar			

Figura 18 Página secundária, idêntica para os três domínios, neste caso, considerou-se D1, seleção das variáveis meteorológicas.

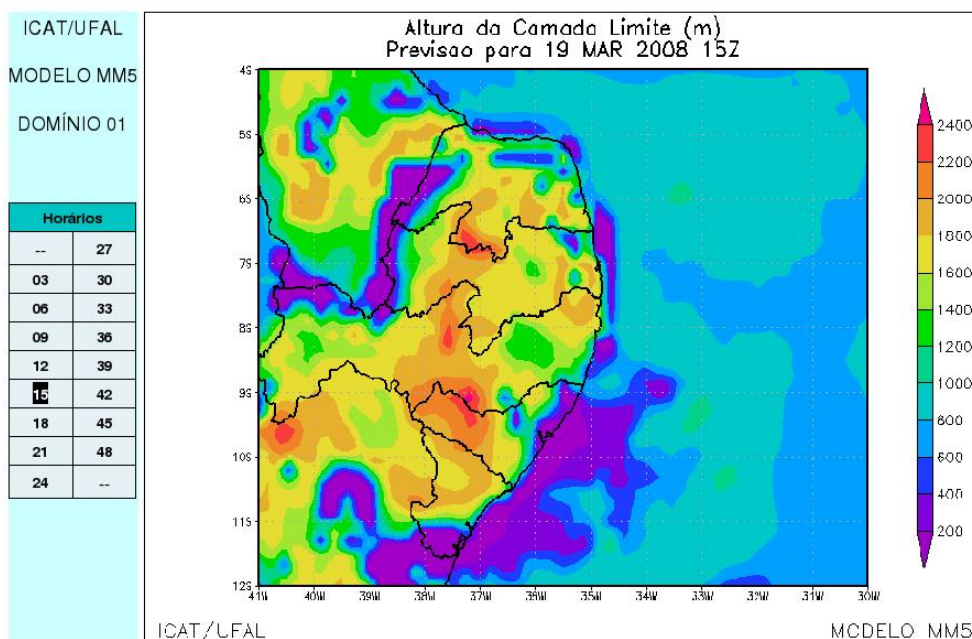


Figura 19 Página de exibição de imagens segundo horários para D1.

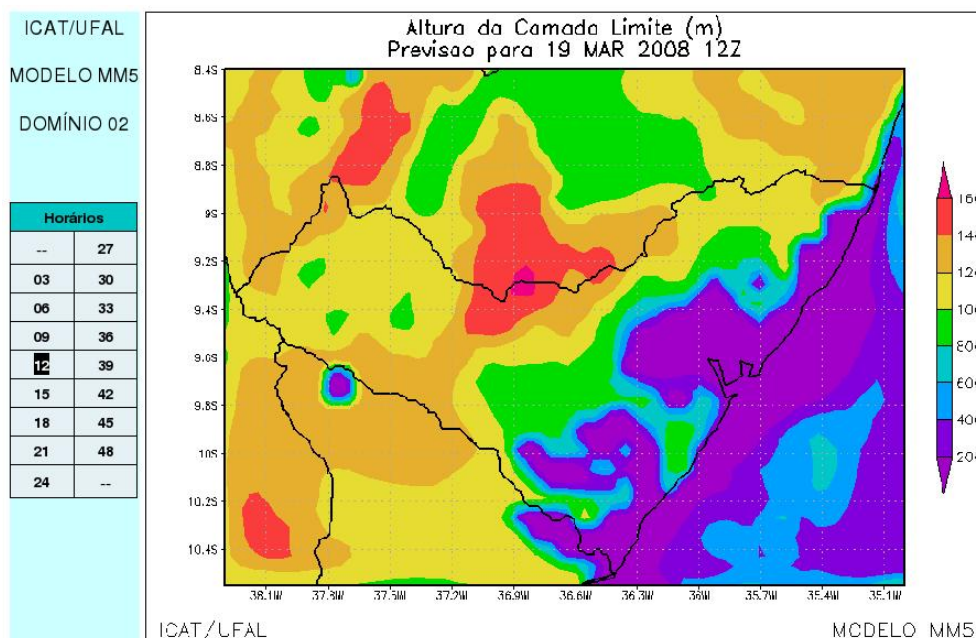


Figura 20 Página de exibição de imagens segundo horários para D2.

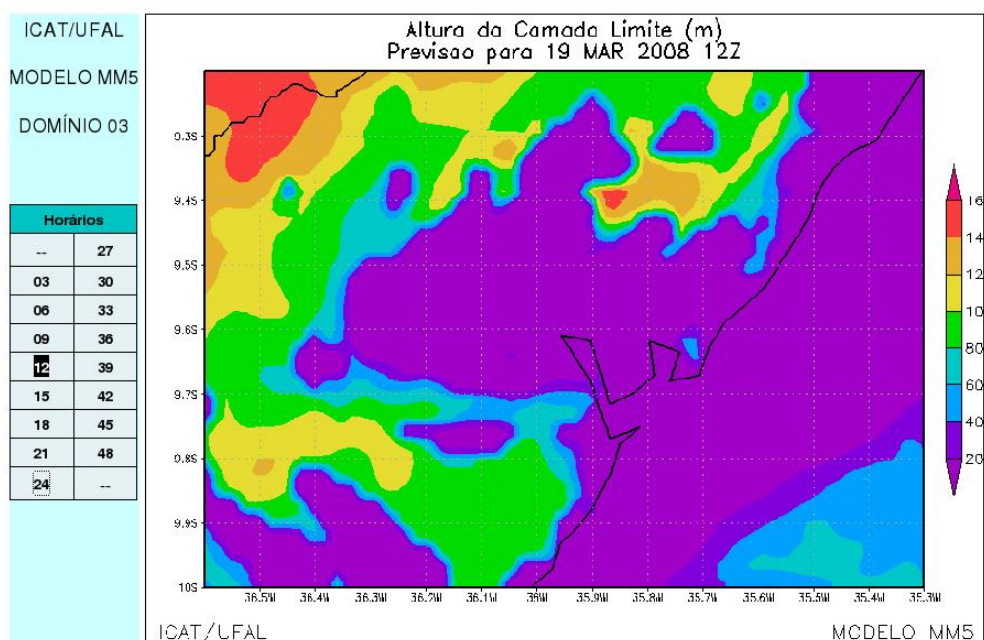


Figura 21 Página de exibição de imagens segundo horários para D2.

4.3. INTERFACE MM5

Superadas as dificuldades iniciais para implantação do modelo de mesoescala MM5 no ICAT/UFAL sentiu-se a necessidade de um visualizador gráfico para exibição dos resultados das simulações. As telas seguintes são resultados obtidos após se programar o GrADS de forma que o mesmo apresenta-se as imagens obtidas nas simulações de forma interativa. A idéia do visualizador gráfico para saídas do modelo MM5 foi proposta por Yamazaki e Manso (2004).

Na Figura 22 tem-se a tela principal do visualizador. Nela encontram-se os botões de acesso aos resultados para cada domínio de forma separada.



Figura 22 Tela principal do visualizador gráfico. Opção para escolha de domínios.

Após o usuário escolher o domínio para o qual deseja-se visualizar o resultado de alguma simulação, tem-se um botão para acesso a tela de escolha da variável meteorológica desejada e um botão voltar que permitirá alterar o domínio. Como exemplo foi selecionado o domínio 01. Observe que agora vê-se o nome do modelo e o domínio escolhido, como mostra a Figura 23



Figura 23 Tela secundária, opção para escolha de variáveis ou voltar ao nível anterior.

A próxima etapa de utilização do visualizador gráfico para o MM5 é a escolha da variável meteorológica. A Figura 24 exibe a tela onde o usuário escolhe a variável simulada pelo modelo. Deve-se destacar que o modelo de mesoescala MM5 é capaz de simular mais de 65 variáveis meteorológicas, entretanto, o visualizador gráfico construído contempla apenas 22 delas.



Figura 24 Tela para escolha da variável meteorológica, opção de vinte e duas variáveis para 48 horas.

Uma das telas mais interessantes para o usuário do visualizador gráfico é exibida na Figura 25 nela estão dispostos dois botões com as opções de “Iniciar Loop” e “Criar Imagem”. A opção “Iniciar Loop” exibe as imagens da simulação em seqüência, segundo o intervalo de tempo, como uma animação. A Figura 26 demonstra um dado horário onde foi escolhida como variável desejada a umidade relativa. O botão com a opção “Criar Imagem” apresenta além da variável desejada para visualização a seqüência de horários simulados pelo modelo de forma que o usuário terá acesso apenas a imagem do horário desejado. Como o modelo foi configurado para gerar arquivos de saída a cada hora para um período de simulação de 48 horas. A Figura 27 exibe a tela do visualizador gráfico em modo de criação de imagem.



Figura 25 Tela para escolha da opção de visualização, em loop ou criação da imagem de apenas um determinado horário.

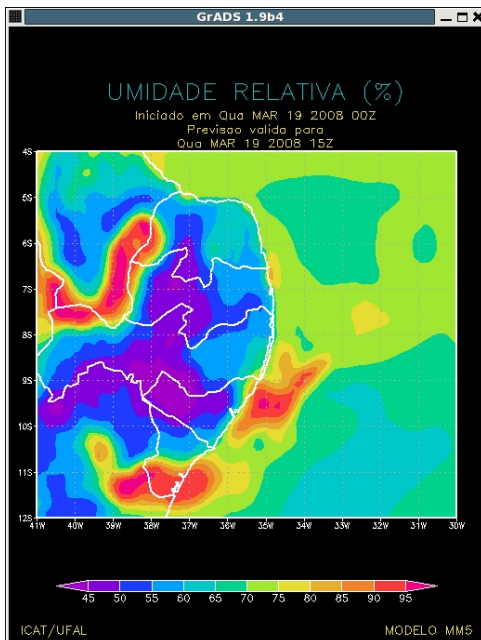


Figura 26 Modo de loop para exibição de imagens de uma variável meteorológica.

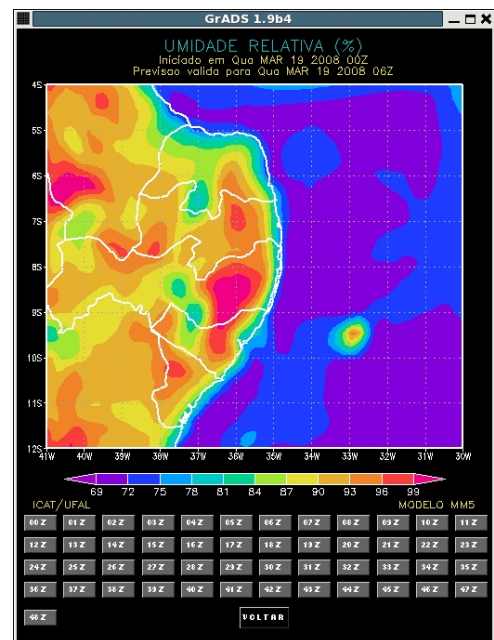


Figura 27 Modo de criação de imagem para exibição de uma variável meteorológica.

4.4. COMPARAÇÃO MM5 E SIRMAL

Os valores de precipitação simulados pelo MM5/ICAT/UFAL ocorridos durante o período de estudo foram comparados com as imagens (em horário local) fornecidas pelo SIRMAL. O evento de precipitação relacionado ao período de estudo tem seus aspectos sinóticos e climatológicos documentado por Calheiros *et al.* (2006).

Segundo Calheiros *et al.* (2006) a Costa Leste do NEB, região onde localiza-se o Estado de Alagoas, sofre influência de sistemas convectivos intensos originários, em sua maioria, do Atlântico Sul. Os mesmos autores avaliaram os totais pluviométricos registrados nos Estados da Costa Leste do Nordeste do Brasil no período de 31 de maio a 02 de junho de 2004, concluindo que o fenômeno responsável por totais pluviométricos de 100mm a 300mm acima das normais sobre a Região, em particular no Estado de Alagoas, foram sistemas convectivos originados de perturbações ondulatórias no campo dos ventos Alísios, resultantes da interação entre Sistemas Frontais do Hemisfério Sul (SFHS) e os Alísios. Estes distúrbios foram intensificados pelo aumento da convergência do fluxo de umidade sobre Temperatura da Superfície do Mar (TSM) acima de 28°C ao longo da costa ENE e pelo deslocamento de um SFHS para latitudes mais baixas.

A intensidade da precipitação pluviométrica, para D1 e D2, prevista com antecedência de 48 horas, a partir da inicialização do modelo em 31 de Junho de 2004 às 00Z, quando comparadas com as imagens do SIRMAL verificou-se que os resultados das simulações do MM5 apresentaram valores muito próximos dos captados pelo radar.

A Figura 28 mostra a imagem do SIRMAL, raio de 250km, do dia 01 de junho de 2004, às 07Z (04:00 HL) nela observa-se precipitação variando de 0,5mm/h a 2,0mm/h principalmente sobre o oceano e região central da costa de Alagoas. A Figura 29 exhibe o resultado da simulação do modelo MM5 para o dia 01 de junho de 2004, às 07Z, nela verifica-se distribuição da precipitação semelhante a captada pelo SIRMAL, conforme Figura 28. Contudo, o modelo simulou precipitação na região de divisa entre os Estados de Alagoas e Pernambuco, a qual não foi captada pelo SIRMAL. Sob a região do raio de 150km, a partir do SIRMAL, tem-se fraca precipitação ao norte do Estado de Sergipe e sul do Estado de Alagoas. A comparação entre estas duas imagens mostrou que o MM5 superestimou a precipitação para este dia e horário.

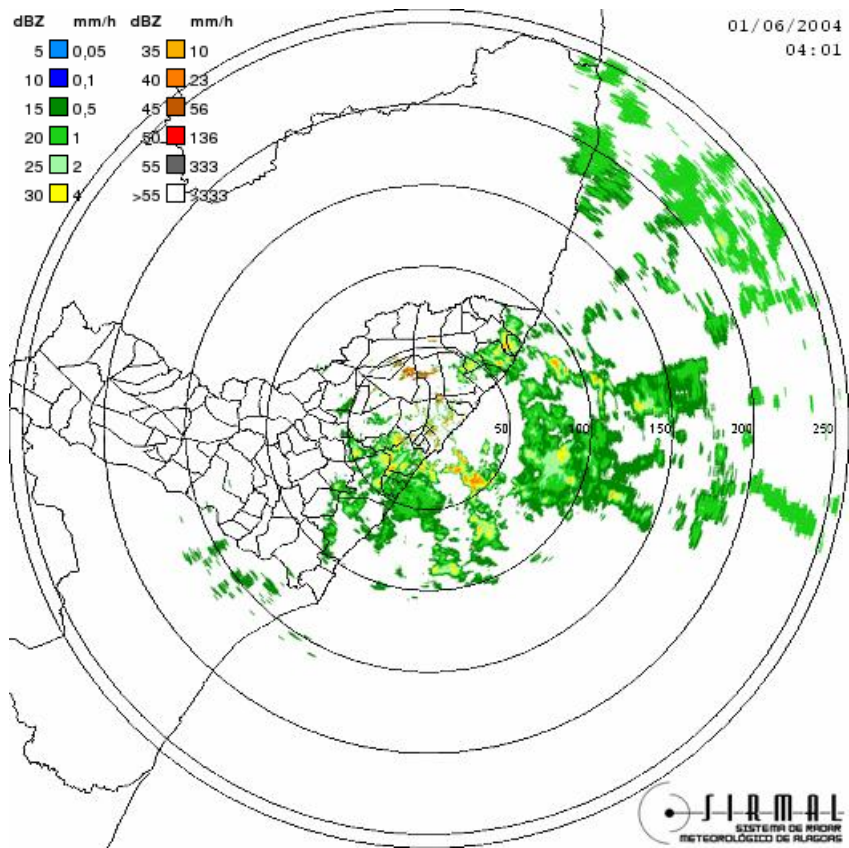


Figura 28 Imagem do Radar (SIRMAL - raio de 250km) das 07Z do dia 01 de Junho de 2004.

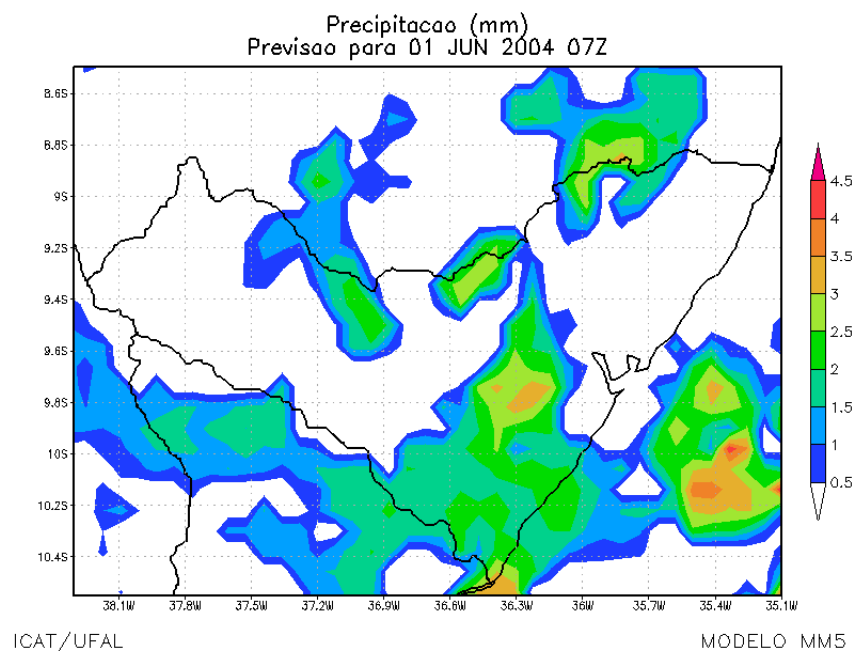


Figura 29 Precipitação prevista para às 07Z do dia 01 de Junho de 2004, com modelo iniciado às 00z do dia 31 de Maio de 2004.

A Figura 30 é a imagem fornecida pelo SIRMAL para o dia 01 de junho de 2004, às 12Z (09:00 HL). Nesta imagem nota-se precipitação intensa sobre o oceano e desde o centro do litoral até o interior de Estado de Alagoas, com valores de precipitação variando entre 2,00mm/h e 4,00mm/h. Também verifica-se na Figura 30 pequenos núcleos de precipitação sobre o litoral sul do Estado de Alagoas e norte do Estado de Sergipe.

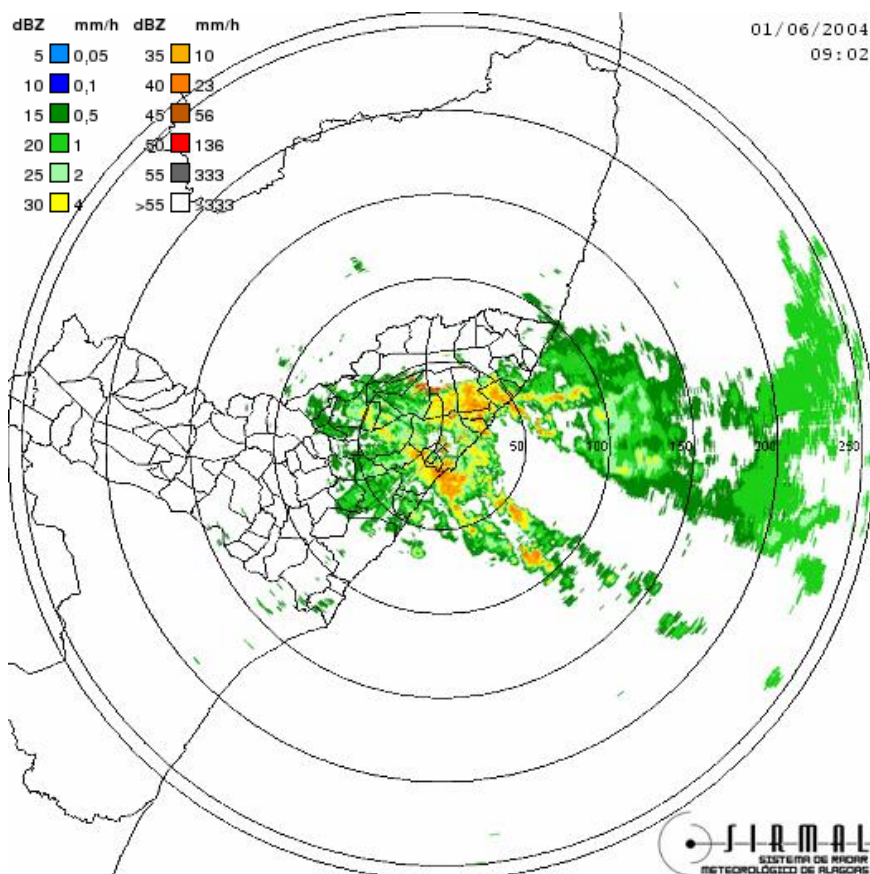


Figura 30 Imagem do Radar (SIRMAL - raio de 250km) das 12Z do dia 01 de Junho de 2004.

Quando comparada a Figura 30 com a Figura 31, que é imagem do resultado da simulação de precipitação efetuada pelo MM5, ambas para o mesmo dia e horário, vê-se que o modelo apresentou de forma significativa a configuração e intensidade da precipitação sobre o interior do Estado de Alagoas, entretanto, superestimou a precipitação sobre o litoral norte do Estado de Sergipe. O MM5 neste caso, também simulou de modo satisfatório a precipitação sobre o litoral norte do Estado de Alagoas.

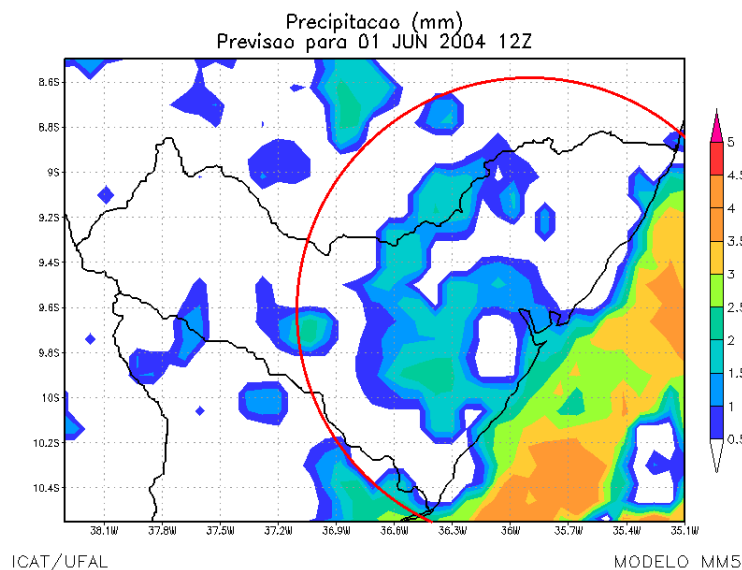


Figura 31 Precipitação prevista para às 12Z do dia 01 de Junho de 2004, com modelo iniciado às 00z do dia 31 de Maio de 2004.

A Figura 32 é uma imagem do SIRMAL da região destacada na Figura 31 onde observa-se de forma mais detalhada a precipitação simulada pelo MM5 na região central do Estado de Alagoas. A comparação destas imagens mostra a capacidade do modelo captar a distribuição da precipitação deste evento. Deve-se destacar em todos os casos simulados o modelo MM5 foi capaz de prever a precipitação, entretanto, em alguns horários e dias, os núcleos de precipitação apresentam um certo deslocamento de posição quando comparadas com as imagens obtidas através do SIRMAL.

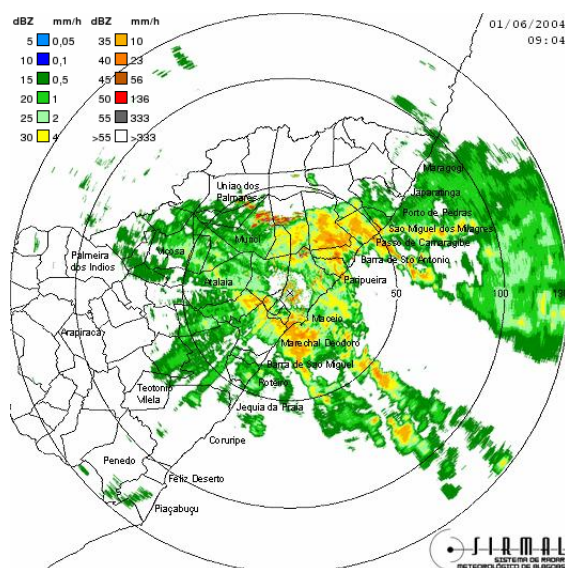


Figura 32 Imagem do Radar (SIRMAL - raio de 130km) das 12Z do dia 01 de Junho de 2004.

5. CONCLUSÕES

Conforme os objetivos propostos por este trabalho, pôde-se concluir que:

- A implantação do modelo proporcionou a construção de alguns programas objetivando a automação das etapas inerentes ao funcionamento do MM5, tornando-o assim operacional;
- A criação do visualizador gráfico facilitou o acesso dos resultados das simulações do MM5.
- O MM5 ajudou a sedimentar e fortalecer a área de modelagem atmosférica no Instituto de Ciências Atmosféricas, abrindo caminho para novas pesquisas e trabalhos.

Os resultados obtidos por desta pesquisa são que:

- Como uma das maiores dificuldades encontradas para a implantação e operacionalização do modelo MM5 no ICAT/UFAL foram a disponibilização e configuração dos equipamentos encontrados no laboratório, de tal forma que se o ICAT/UFAL deseja dispor de uma ferramenta capaz de efetuar a previsão das condições do tempo é necessário um maior investimento em hardwares e equipamentos;
- As falhas ocorridas durante os testes de sensibilidade indicam a necessidade de uma melhor compreensão do código do modelo MM5;
- O MM5 foi capaz de prever a precipitação para o evento estudado, entretanto, quando seus resultados foram comparados com as imagens do SIRMAL, verificou-se que o MM5 superestimou a precipitação em algumas regiões;
- As imagens fornecidas pelo SIRMAL indicam que o MM5 tende a apresentar desvios com relação a localização dos núcleos de precipitação;
- Os valores de precipitação simulados pelo MM5 e os captados pelo SIRMAL apresentaram concordância;

- A página da Internet com os resultados de algumas variáveis do modelo visa fornecer informações úteis e acessíveis aos mais variados ramos da sociedade;
- O visualizador gráfico criado em ambiente GrADS forneceu valiosos subsídios de programação neste ambiente;
- A divulgação dos códigos, scripts e programas utilizados nas etapas de operacionalização do modelo MM5 são, sem dúvida, uma das maiores contribuições desta pesquisa a todos aqueles que trabalham com modelos atmosféricos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDREOLI; RITA VALÉRIA; KAYANO, MARY TOSHIE; A importância relativa do Atlântico Tropical Sul e Pacífico Leste na variabilidade da precipitação do Nordeste do Brasil; Revista Brasileira de Meteorologia, v.22, n.1, 63-74, 2007.

ARELLANO, J., VELLINGA, O., HOLTLAG, A., BOSVELD, F., BALTINK, H.: Observational evaluation of PBL Parameterizations Modelled by MM5, 2000.

BETTS, A., MILLER, M., A new convective adjustment scheme. Part II: Single column tests using GATE wave, BOMEX, ATEX and arctic air-mass data sets. Quart. J. R. Met. Soc. , 112, pp 693-709, 1986.

BROMWICH, DAVID H., JOHN J. CASSANO, THOMAS KLEIN, GUNTHER HEINEMANN, KEITH M. HINES, KONRAD STEFFEN, JASON E. BOX, Mesoscale Modeling of Katabatic Winds over Greenland with the Polar MM5, MONTHLY WEATHER REVIEW, 2290-2309, Vol. 129, Setembro, 2001.

CALBETE, N. O.; GAN, M.A.; SATYAMURTY, P, Vórtices Ciclônicos da Alta Troposfera que atuam sobre a região Nordeste do Brasil. Climanálise Especial 10 anos, Cahoeira Paulista, SP, 1996.

CALHEIROS, Alan James Peixoto; L. C. B. MOLION; VAZ, J. C. M.; TENÓRIO, Ricardo Sarmiento. Um evento de precipitação extrema sobre a Costa Leste do Nordeste do Brasil. In: XIV CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 2006, FLORIANOPOLIS. ANIS DO XIV CBMET. RIO DE JANEIRO: SBMET, 2006.

CHEN, FEI; DUDHIA, JIMY Coupling an Advanced Land Surface Hydrology Model with the Penn State/NCAR MM5 Modeling System. Part II: Preliminary Model Validation, MONTHLY WEATHER REVIEW, 587-604, Vol. 129, Abril, 2001.

COLLE, BRIAN A.; MASS, CLIFFORD F., The 5-9 February 1996 Flooding Event over the Pacific Northwest: Sensitivity Studies and Evaluation of the MM5 Precipitation Forecasts, MONTHLY WEATHER REVIEW, 593-617, Vol. 128, March, 2000.

CORRÊA, E. B., Análise da Sensibilidade dos Resultados do Modelo MM5 à Diferentes Modelagens dos Fluxos Turbulentos na Camada Limite Atmosférica. Monografia do Depar-

tamento de Meteorologia da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil, 2005.

COSTA, Rodrigo Santos; Avaliação do desempenho do modelo de mesoescala MM5 na simulação de eventos de precipitação extrema no estado de Alagoas, Dissertação de mestrado, XVI, 184 p. 29,7cm, COPPE/UFRJ, M.Sc., Engenharia Civil, Rio de Janeiro, 2006.

D. M. BARKER, W. HUANG, Y. R. GUO, A. J. BOURGEOIS, Q. N. XIAO, A Three-Dimensional Variational Data Assimilation System for MM5: Implementation and Initial Results, MONTHLY WEATHER REVIEW, 897-914, Vol. 132, Abril, 2004.

DAILEY, P.S; J.L. KELLER. Modeling of extreme wind events using MM5: approach and verification. 12th PSU/NCAR mesoscale model users workshop, NCAR, June, 24-25, 2002.

DAVIS, C., POWERS, J, BOSART, L.: Track and Intensity Prediction of Tropical Cyclone Diana (1984): Sensitivity to MM5 Physical Parameterizations, 2001.

DUDHIA J, GILL, D., KEVIN MANNING, WEI WANG, CINDY BRUYERE; PSU/NCAR Mesoscale Modeling System Tutorial Class Notes and Users' Guide (MM5 Modeling System Version 3), updated for MM5 Modeling System Version 3.7 - Released Jan. 2005.

FUNCEME, <http://www.funceme.br/demet/entender/imagens/fig3.jpg>, pesquisa realizada às 10:15h do dia 21 de Maio de 2008.

FUNCEME, <http://www.funceme.br/DEPAM/entender/imagens/fig8.jpg>, pesquisa realizada às 10:15h do dia 21 de Maio de 2008.

GALLUS, W., Eta Simulations of three extreme precipitation events: sensitivity to resolution and convective parametrization. Weather and Forecasting, 14, 405-426, 1999.

GAN, M.A., KOUSKY, V.E.; Vórtices ciclônicos da alta troposfera no oceano Atlântico Sul. Revista Brasileira de Meteorologia, 1, 19-28, 1986.

GAN, M.A.; Um estudo observacional sobre as baixa frias da alta troposfera, nas latitudes subtropicais do Atlântico Sul e leste do Brasil. Dissertação de Mestrado em Meteorologia, INPE, S.J. Campos, Brasil, 1983.

GOMES FILHO, M.F.; SOUZA, E.P., Sistemas de mesoescala com propagação sobre a Paraíba: um estudo de caso. In: VII CBMet. Anais, 2, pp. 183-186, 1994.

GRELL, G., DUDHIA, J., STAUFFER, D., A description of the Fifth-Generation Penn State/NCAR Mesoscale Model (MM5). NCAR TECHNICAL NOTE, 1995.

GUO, ZHICHANG; DAVID H. BROMWICH; JOHN J. CASSANO; Evaluation of Polar MM5 Simulations of Antarctic Atmospheric Circulation, MONTHLY WEATHER REVIEW, 384-411, Vol. 131, Fevereiro, 2003.

HONG, S., PAN, H., Nonlocal boundary layer vertical diffusion in a medium range forecast

model. Mon. Wea. Rev., 124, 2322-2339, 1996.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística-<http://www.ibge.gov.br/estadosat/perfil.php-sigla=al> - Arquivo consultado em 28 de Maio de 2008.

JONES, C., GOMBERG, D, BOWER, B.: Mesoscale Simulations of Heavy Precipitation Events in Southern California during the 1997-98 El Niño, 2002.

KAIN, J., Fritsch, J., Convective parameterizations for mesoscale models: The Kain-Fritsch Scheme. The representation of cumulus convection in numerical models. K. Emanuel and D. Raymond. Eds., Amer. Meteor. Soc., 246 pp, 1993.

KOUSKY, V. E.; Frontal influences on northeast Brazil. Monthly Weather Review, v 107(9), pp. 1140-1153, 1979.

LOBATO, R., HERNÁNDEZ, N., CARIO, C., MORALES, R.E.: MM5 model validation under different cumulus parameterizations, 2000.

TADROSS, M. A.; GUTOWSKI Jr, W. J.; HEWITSON, B. C.; New, MM5 simulations of interannual change and the diurnal cycle of southern African regional climate, Theor. Appl. Climatol. 86, 63-80, 2006.

MADDOX, R. A. An objective technique for separating macroscale and mesoscale features in Meteorological data. Mon. Wea. Rev., 108, 1108-1121, 1980.

MELLO, N. G. S., SAKAMOTO, M. S. E TORSANI, J. A., Um estudo de caso de um sistema convectivo de mesoescala observado no Nordeste do Brasil. In: IX CBMet. Anais, 2: pp. 940-944, 1996.

MOLION, L. C. B.; BERNARDO S. O., 2002; Uma revisão dinâmica das chuvas no Nordeste Brasileiro. Revista Brasileira de Meteorologia, v. 17, pp. 1-10.

MOLION, L. C. B.; BERNARDO, S. O. Dinâmica das chuvas no Nordeste brasileiro. In Congresso Brasileiro de Meteorologia, 11, p.561-572, Fortaleza: SBM 2000.

MOTA, G. V.; Estudo observacional de distúrbios ondulatórios de leste no Nordeste Brasileiro. Dissertação de M.Sc., USP, São Paulo, SP, Brasil, 1997.

NIELSEN-GAMMON, J.; Validation of Physical Processes in MM5 for Photochemical Model Input: The Houston 2000 Ozone Episode, 2002 MM5 meeting, UCAR, 2002.

NÓBREGA, RANYÉRE S.; SOUZA, ENIO P.; CAVALCANTI Enilson P.; Energia estática na atmosfera sobre o Nordeste do Brasil: Fluxo e variação sazonal de energia, Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Vol. 10, n.1, p.132-139, 2006, Campina Grande, PB, DEAg/UFCG.

PELLEGRINI, C. C.; CERQUEIRA, S. A. A. G. Efeitos do uso do solo na região de São João del-Rei. Parte I: ilha térmica urbana. Ciência e Natura, v. 12, p. 253-256, 2007.a.

PELLEGRINI, C. C.; CERQUEIRA, S. A. A. G.; FERREIRA, J. H. Efeitos do uso do solo na região de São João del-Rei. Parte II: alterações na vegetação. *Ciência e Natura*, v. 12, p. 257-260, 2007.b.

PELLEGRINI, C. C.; CERQUEIRA, S. A. A. G.; SILVA, A. F. G. Efeitos do uso do solo na região de São João del-Rei. Parte III, anomalias de velocidade. In: V Brazilian Micrometeorology Workshop, 2007, Santa Maria. *Proceedings of the V Brazilian Micrometeorology Workshop*, 2007.c.

PELLEGRINI, C. C.; CERQUEIRA, S. A. A. G.; SILVA, A. F. G.; Algumas características da ilha térmica urbana da região metropolitana de Belo Horizonte. In: XV Congresso Brasileiro de Meteorologia, 2008, São Paulo. *Anais do XV Congresso Brasileiro de Meteorologia*, 2008.

PIELKE, R., *Mesoscale Meteorological Modeling*. Academic Press, 2002

QUADRO, M.F.L.; MACHADO, L.H.R.; CALBETE, S.; BATISTA, N.N.M.; OLIVEIRA, G.S. Climatologia de precipitação e temperatura. *Climanálise Especial*, 1996. Disponível em: <http://www.cptec.inpe.br/products/climanalise/cliesp10a/chuesp.html>. Acesso em: 02 de Maio de 2008.

SILVA DIAS, M. A. F., Sistemas de Mesoescala e previsão de tempo a curto prazo, *Revista Brasileira de Meteorologia*, vol 2, pp.133-150, 1987.

SOUZA, E. B.; ALVES, J. M. B., Estudo diagnóstico de um complexo convectivo de mesoescala observado no norte do Nordeste Brasileiro, In: *Anais do X Congresso brasileiro de meteorologia e VIII Congresso da Federação Latino-Americana e Ibérica de Sociedades de Meteorologia*. Brasília, DF, 1998.

TOMASSETTI, B., VISCONTI, G., PAOLUCCI, T., FERETTI, R., VERDECCHIA, M.: Numerical experiments to study the possible meteorological changes induced by the presence of a lake, 2001.

TOMÉ, RICARDO F. D.; Previsão do tempo com modelos de mesoscala: Casos de estudo com o modelo MM5 nos Açores. *Monografia do Departamento de Ciências Geofísicas*, Lisboa, Portugal, 2004.

UVO, CINTIA B.; REPELLI, CARLOS A.; ZEBIAK, STEPHEN E.; KUSHNIR YOCHANAN; The Relationships between Tropical Pacific and Atlantic SST and Northeast Brazil Monthly Precipitation, *Journal of Climate*, American Meteorological Society, Vol. 11, p. 551-562, Abril de 1998.

VAREJÃO-SILVA, M, A, *Meteorologia e Climatologia*, Versão digital, Recife, PE, 2005.

VELASCO, I. e J.M. FRISTCH; Mesoscale convective complexes in the Americas. *J. Geophys. Res.*, 92, D8, 9591-9613, 1987.

VITORINO, M. I., SILVA, M. E. S. E ALVES, J. M. B., Classificação de sistemas convectivos de mesoescala no setor norte do Nordeste Brasileiro; Revista Brasileira de Meteorologia, 12(1), pp. 21-32, 1997.

WALKER, G. T; Ceará (Brazil) famines and the general air movement. Beitrage zur Physik der freien Atmosphere, v.14, p.88-93, 1928.

WARNER, T. T., D. F. KIBLER, R. L. STEINHART; Separate and coupled testing of meteorological and hydrological forecast models for the Susquehanna River Basin in Pennsylvania. J. Appl. Meteor., 30, 1521-1533, 1991.

YAMAZAKI, YOSHIHIRO; MANSO, MARIA DE LOS DOLORES; MM5 rainfall and cumulus parametrizations sensivity experiment, Physic Department, University of Aveiro, Portugal, 2004.

YANG, M.: Rainfall Forecast of Cumulus Parameterizations in the Taiwan Area, 2000.

APÊNDICE A – DOWNLOAD DE DADOS *USGS*

Este script *c-shell* foi utilizado para efetuar o download e descompactação dos dados de altimetria e uso do solo distribuídos através da fonte *USGS – U.S. Geological Survey*. Para facilitar a execução deste script sugere-se a colocação e execução do mesmo no diretório do usuário onde foi instalado o módulo TERRAIN `./TERRAIN/Data`

```
#!/bin/csh
#####
##### BAIXA E DESCOMPACTA ARQUIVOS TERRAIN PARA MM5V3 #####
#####      alessandro@mat.ufal.br      #####
#####
#
cd /home/mm5v3/mm5v3/TERRAIN/Data
#
echo '*****'
echo '****      INICIANDO      *****'
echo '****      ftp  USGS_TERRAIN  *****'
echo '*****'
wget ftp://ftp.ucar.edu/mesouser/MM5V3/TERRAIN_DATA/DEM_02M_GLOBAL.gz
wget ftp://ftp.ucar.edu/mesouser/MM5V3/TERRAIN_DATA/LANDUSE-OLD.TAR.gz
wget ftp://ftp.ucar.edu/mesouser/MM5V3/TERRAIN_DATA/LANDWATERMASK-SIB.TAR.gz
wget ftp://ftp.ucar.edu/mesouser/MM5V3/TERRAIN_DATA/LANDWATERMASK-USGS.TAR.gz
wget ftp://ftp.ucar.edu/mesouser/MM5V3/TERRAIN_DATA/LWMASK-SIB.02.gz
wget ftp://ftp.ucar.edu/mesouser/MM5V3/TERRAIN_DATA/LWMASK-SIB.30s.gz
wget ftp://ftp.ucar.edu/mesouser/MM5V3/TERRAIN_DATA/LWMASK-USGS.02.gz
wget ftp://ftp.ucar.edu/mesouser/MM5V3/TERRAIN_DATA/LWMASK-USGS.30s.gz
wget ftp://ftp.ucar.edu/mesouser/MM5V3/TERRAIN_DATA/README
wget ftp://ftp.ucar.edu/mesouser/MM5V3/TERRAIN_DATA/SOILCAT.02.gz
wget ftp://ftp.ucar.edu/mesouser/MM5V3/TERRAIN_DATA/SOILCAT.30s.gz
```

```

wget ftp://ftp.ucar.edu/mesouser/MM5V3/TERRAIN_DATA/SOILCAT.TAR.gz
wget ftp://ftp.ucar.edu/mesouser/MM5V3/TERRAIN_DATA/SOILCATB.02.gz
wget ftp://ftp.ucar.edu/mesouser/MM5V3/TERRAIN_DATA/SOILCATB.30s.gz
wget ftp://ftp.ucar.edu/mesouser/MM5V3/TERRAIN_DATA/SOILCATB.TAR.gz
wget ftp://ftp.ucar.edu/mesouser/MM5V3/TERRAIN_DATA/SOILTEMP.60
wget ftp://ftp.ucar.edu/mesouser/MM5V3/TERRAIN_DATA/TER.TAR.gz
wget ftp://ftp.ucar.edu/mesouser/MM5V3/TERRAIN_DATA/VEG-FRACTION.10.gz
wget ftp://ftp.ucar.edu/mesouser/MM5V3/TERRAIN_DATA/VEG-SIB.02.gz
wget ftp://ftp.ucar.edu/mesouser/MM5V3/TERRAIN_DATA/VEG-SIB.30s.gz
wget ftp://ftp.ucar.edu/mesouser/MM5V3/TERRAIN_DATA/VEG-USGS.02.gz
wget ftp://ftp.ucar.edu/mesouser/MM5V3/TERRAIN_DATA/VEG-USGS.30s.gz
wget ftp://ftp.ucar.edu/mesouser/MM5V3/TERRAIN_DATA/VEGETATION-SIB.TAR.gz
wget ftp://ftp.ucar.edu/mesouser/MM5V3/TERRAIN_DATA/VEGETATION-USGS.TAR.gz
echo '*****'
echo '****   DESCOMPACTANDO   *****'
echo '****   ARQUIVOS BAIXADOS   *****'
echo '*****'
tar -zxvf DEM_02M_GLOBAL.gz
tar -zxvf LANDUSE-OLD.TAR.gz
tar -zxvf LANDWATERMASK-SIB.TAR.gz
tar -zxvf LANDWATERMASK-USGS.TAR.gz
tar -zxvf LWMASK-SIB.02.gz
tar -zxvf LWMASK-SIB.30s.gz
tar -zxvf LWMASK-USGS.02.gz
tar -zxvf LWMASK-USGS.30s.gz
tar -zxvf README
tar -zxvf SOILCAT.02.gz
tar -zxvf SOILCAT.30s.gz
tar -zxvf SOILCAT.TAR.gz
tar -zxvf SOILCATB.02.gz
tar -zxvf SOILCATB.30s.gz
tar -zxvf SOILCATB.TAR.gz
tar -zxvf SOILTEMP.60
tar -zxvf TER.TAR.gz

```

```

tar -zxvf VEG-FRACTION.10.gz
tar -zxvf VEG-SIB.02.gz
tar -zxvf VEG-SIB.30s.gz
tar -zxvf VEG-USGS.02.gz
tar -zxvf VEG-USGS.30s.gz
tar -zxvf VEGETATION-SIB.TAR.gz
tar -zxvf VEGETATION-USGS.TAR.gz
echo '*****'
echo '****          INICIANDO          *****'
echo '****          ftp  USGS_30s      *****'
echo '*****'
wget ftp://edcftp.cr.usgs.gov/pub/data/gtopo30/global/aapstile.gif
wget ftp://edcftp.cr.usgs.gov/pub/data/gtopo30/global/antarcps.tar.gz
wget ftp://edcftp.cr.usgs.gov/pub/data/gtopo30/global/e020n40.tar.gz
wget ftp://edcftp.cr.usgs.gov/pub/data/gtopo30/global/e020n90.tar.gz
wget ftp://edcftp.cr.usgs.gov/pub/data/gtopo30/global/e020s10.tar.gz
wget ftp://edcftp.cr.usgs.gov/pub/data/gtopo30/global/e060n40.tar.gz
wget ftp://edcftp.cr.usgs.gov/pub/data/gtopo30/global/e060n90.tar.gz
wget ftp://edcftp.cr.usgs.gov/pub/data/gtopo30/global/e060s10.tar.gz
wget ftp://edcftp.cr.usgs.gov/pub/data/gtopo30/global/e060s60.tar.gz
wget ftp://edcftp.cr.usgs.gov/pub/data/gtopo30/global/e100n40.tar.gz
wget ftp://edcftp.cr.usgs.gov/pub/data/gtopo30/global/e100n90.tar.gz
wget ftp://edcftp.cr.usgs.gov/pub/data/gtopo30/global/e100s10.tar.gz
wget ftp://edcftp.cr.usgs.gov/pub/data/gtopo30/global/e120s60.tar.gz
wget ftp://edcftp.cr.usgs.gov/pub/data/gtopo30/global/e140n40.tar.gz
wget ftp://edcftp.cr.usgs.gov/pub/data/gtopo30/global/e140n90.tar.gz
wget ftp://edcftp.cr.usgs.gov/pub/data/gtopo30/global/e140s10.tar.gz
wget ftp://edcftp.cr.usgs.gov/pub/data/gtopo30/global/gt30dem.gif
wget ftp://edcftp.cr.usgs.gov/pub/data/gtopo30/global/gt30src.gif
wget ftp://edcftp.cr.usgs.gov/pub/data/gtopo30/global/tiles.gif
wget ftp://edcftp.cr.usgs.gov/pub/data/gtopo30/global/w000s60.tar.gz
wget ftp://edcftp.cr.usgs.gov/pub/data/gtopo30/global/w020n40.tar.gz
wget ftp://edcftp.cr.usgs.gov/pub/data/gtopo30/global/w020n90.tar.gz
wget ftp://edcftp.cr.usgs.gov/pub/data/gtopo30/global/w020s10.tar.gz

```

```

wget ftp://edcftp.cr.usgs.gov/pub/data/gtopo30/global/w060n40.tar.gz
wget ftp://edcftp.cr.usgs.gov/pub/data/gtopo30/global/w060n90.tar.gz
wget ftp://edcftp.cr.usgs.gov/pub/data/gtopo30/global/w060s10.tar.gz
wget ftp://edcftp.cr.usgs.gov/pub/data/gtopo30/global/w060s60.tar.gz
wget ftp://edcftp.cr.usgs.gov/pub/data/gtopo30/global/w100n40.tar.gz
wget ftp://edcftp.cr.usgs.gov/pub/data/gtopo30/global/w100n90.tar.gz
wget ftp://edcftp.cr.usgs.gov/pub/data/gtopo30/global/w100s10.tar.gz
wget ftp://edcftp.cr.usgs.gov/pub/data/gtopo30/global/w120s60.tar.gz
wget ftp://edcftp.cr.usgs.gov/pub/data/gtopo30/global/w140n40.tar.gz
wget ftp://edcftp.cr.usgs.gov/pub/data/gtopo30/global/w140n90.tar.gz
wget ftp://edcftp.cr.usgs.gov/pub/data/gtopo30/global/w140s10.tar.gz
wget ftp://edcftp.cr.usgs.gov/pub/data/gtopo30/global/w180n40.tar.gz
wget ftp://edcftp.cr.usgs.gov/pub/data/gtopo30/global/w180n90.tar.gz
wget ftp://edcftp.cr.usgs.gov/pub/data/gtopo30/global/w180s10.tar.gz
wget ftp://edcftp.cr.usgs.gov/pub/data/gtopo30/global/w180s60.tar.gz
echo '*****'
echo '****      DESCOMPACTANDO      *****'
echo '****      ARQUIVOS BAIXADOS      *****'
echo '*****'
tar -zxvf antarcps.tar.gz
tar -zxvf e020n40.tar.gz
tar -zxvf e020n90.tar.gz
tar -zxvf e020s10.tar.gz
tar -zxvf e060n40.tar.gz
tar -zxvf e060n90.tar.gz
tar -zxvf e060s10.tar.gz
tar -zxvf e060s60.tar.gz
tar -zxvf e100n40.tar.gz
tar -zxvf e100n90.tar.gz
tar -zxvf e100s10.tar.gz
tar -zxvf e120s60.tar.gz
tar -zxvf e140n40.tar.gz
tar -zxvf e140n90.tar.gz
tar -zxvf e140s10.tar.gz

```

```

tar -zxvf w000s60.tar.gz
tar -zxvf w020n40.tar.gz
tar -zxvf w020n90.tar.gz
tar -zxvf w020s10.tar.gz
tar -zxvf w060n40.tar.gz
tar -zxvf w060n90.tar.gz
tar -zxvf w060s10.tar.gz
tar -zxvf w060s60.tar.gz
tar -zxvf w100n40.tar.gz
tar -zxvf w100n90.tar.gz
tar -zxvf w100s10.tar.gz
tar -zxvf w120s60.tar.gz
tar -zxvf w140n40.tar.gz
tar -zxvf w140n90.tar.gz
tar -zxvf w140s10.tar.gz
tar -zxvf w180n40.tar.gz
tar -zxvf w180n90.tar.gz
tar -zxvf w180s10.tar.gz
tar -zxvf w180s60.tar.gz
aapstile.gif
gt30dem.gif
gt30src.gif
tiles.gif
echo '*****'
echo '****          TERMINADO          *****'
echo '****          ftp  USGS_30s      *****'
echo '*****'
echo '*****'
echo '****  FAVOR CONFERIR ARQUIVOS  *****'
echo '****  E REMOVER MANUALMENTE    *****'
echo '****  USANDO rm -rf *.tar.gz    *****'
echo '*****'

```


APÊNDICE B – SCRIPT PARA DADOS *GFS*

Este script consta de um programa executável em modo texto para efetuar as seguintes tarefas:

1. Efetuar downloads de arquivos de dados com a data atual ou anteriores até uma semana. São dados do tipo *GFS* com resolução espacial de $0,5^\circ \times 0,5^\circ$ e resolução temporal de 3 horas dos servidores NOMADS6 (<http://nomads6.ncdc.noaa.gov>);
2. Efetua um recorte sobre uma área determinada pelas latitudes $10^\circ N$ e $-30^\circ S$ e longitudes $-10^\circ W$ e $-50^\circ W$ que engloba a região de estudo.
3. Manipular os arquivos baixados para o diretório onde os mesmos serão interpretados pelo REGRID, para previsão de no máximo 48 horas.

```
#!/bin/csh

set WORK=/home/mm5v3/mm5v3/DADOS_GFS/

cd $WORK

rm dir_serv_temp.txt

#PARA DATA ATUAL
set ano='date +%Y'
set mes='date +%m'
set dia='date +%d'
set hora='date +00'
set hoje='date +%Y%m%d'
set diretorio='expr $hoje - 0'
```

```

#PARA DATAS ANTERIORES
#set data='date +"20080521"'
#set ano='date +2008'
#set mes='date +05'
#set dia='date +21'
#set hora='date +00'
#set anterior='date +%Y%m%d'
#set diretorio='expr $anterior - 0'

#CRIAR DIRETORIO COM DATA PARA DADOS GFS
mkdir $diretorio'_00z'
cd $diretorio'_00z'

#MENSAGEM DE INICIALIZACAO
echo "**** Iniciando downloads ****"
echo " Data de Inicio $ano..... $mes.....$dia "
set data='date +$ano$mes$dia'

#CRIAR ARQUIVO LOG
set logfile="report.gfs"

#TENTATIVAS DE ACESSO AO SERVIDOR
set nomad6down="nok"

set ntent=1
set nmax=5

set var_verif="vazio"

echo "Servidor NOMAD6. Tentativa "$ntent" de "$nmax

wget --timeout=120 -q "http://nomads6.ncdc.noaa.gov/cgi-bin/ftp2u_gfs0.5.sh?
file=gfs.t00z.master.grbf00&
file=gfs.t00z.master.grbf03&

```

```
file=gfs.t00z.master.grbf06&
file=gfs.t00z.master.grbf09&
file=gfs.t00z.master.grbf12&
file=gfs.t00z.master.grbf15&
file=gfs.t00z.master.grbf18&
file=gfs.t00z.master.grbf21&
file=gfs.t00z.master.grbf24&
file=gfs.t00z.master.grbf27&
file=gfs.t00z.master.grbf30&
file=gfs.t00z.master.grbf33&
file=gfs.t00z.master.grbf36&
file=gfs.t00z.master.grbf39&
file=gfs.t00z.master.grbf42&
file=gfs.t00z.master.grbf45&
file=gfs.t00z.master.grbf48&
wildcard=&all_lev=on&all_var=on&
subregion=&leftlon=-50&rightlon=-10&toplat=10&bottomlat=-30&
results=SAVE&rtime=3hr&machine=189.21.182.6&
user=anonymous&passwd=&ftppdir=%2Fincoming_1hr&
prefix=&dir=%2Fgfs"${data} -O dir_serv_temp.txt
```

```
#VERIFICA NO SERVIDOR DIRETORIO TEMPORARIO DOS ARQUIVOS
```

```
set dir_temp='cat dir_serv_temp.txt | grep -in tdir | head -1
| cut -d"/" -f7'
```

```
set var_verif='cat dir_serv_temp.txt | grep -in tdir | head -1
| cut -d"/" -f7 | cut -d"r" -f1'
```

```
set servidor="NOMAD6"
```

```
set nomad6down="ok"
```

```
echo 'dir_temp => '$dir_temp
```

```
#INICIA DOWNLOAD DE ARQUIVOS PARA 48 HORAS
```

```
wget ftp://nomads6.ncdc.noaa.gov/pub/raid1b/NOMAD_3hr/"${dir_temp}"
```

```
/gfs.t00z.master.grbf00
    wget ftp://nomads6.ncdc.noaa.gov/pub/raid1b/NOMAD_3hr/"${dir_temp}"
/gfs.t00z.master.grbf03
    wget ftp://nomads6.ncdc.noaa.gov/pub/raid1b/NOMAD_3hr/"${dir_temp}"
/gfs.t00z.master.grbf06
    wget ftp://nomads6.ncdc.noaa.gov/pub/raid1b/NOMAD_3hr/"${dir_temp}"
/gfs.t00z.master.grbf09
    wget ftp://nomads6.ncdc.noaa.gov/pub/raid1b/NOMAD_3hr/"${dir_temp}"
/gfs.t00z.master.grbf12
    wget ftp://nomads6.ncdc.noaa.gov/pub/raid1b/NOMAD_3hr/"${dir_temp}"
/gfs.t00z.master.grbf15
    wget ftp://nomads6.ncdc.noaa.gov/pub/raid1b/NOMAD_3hr/"${dir_temp}"
/gfs.t00z.master.grbf18
    wget ftp://nomads6.ncdc.noaa.gov/pub/raid1b/NOMAD_3hr/"${dir_temp}"
/gfs.t00z.master.grbf21
    wget ftp://nomads6.ncdc.noaa.gov/pub/raid1b/NOMAD_3hr/"${dir_temp}"
/gfs.t00z.master.grbf24
    wget ftp://nomads6.ncdc.noaa.gov/pub/raid1b/NOMAD_3hr/"${dir_temp}"
/gfs.t00z.master.grbf27
    wget ftp://nomads6.ncdc.noaa.gov/pub/raid1b/NOMAD_3hr/"${dir_temp}"
/gfs.t00z.master.grbf30
    wget ftp://nomads6.ncdc.noaa.gov/pub/raid1b/NOMAD_3hr/"${dir_temp}"
/gfs.t00z.master.grbf33
    wget ftp://nomads6.ncdc.noaa.gov/pub/raid1b/NOMAD_3hr/"${dir_temp}"
/gfs.t00z.master.grbf36
    wget ftp://nomads6.ncdc.noaa.gov/pub/raid1b/NOMAD_3hr/"${dir_temp}"
/gfs.t00z.master.grbf39
    wget ftp://nomads6.ncdc.noaa.gov/pub/raid1b/NOMAD_3hr/"${dir_temp}"
/gfs.t00z.master.grbf42
    wget ftp://nomads6.ncdc.noaa.gov/pub/raid1b/NOMAD_3hr/"${dir_temp}"
/gfs.t00z.master.grbf45
    wget ftp://nomads6.ncdc.noaa.gov/pub/raid1b/NOMAD_3hr/"${dir_temp}"
/gfs.t00z.master.grbf48
```

```
echo '***** DOWNLOAD CONCLUIDO *****'  
  
#ESPERA E SAI DO DIRETORIO COM DATA  
sleep 3  
cd ..  
  
#MOVE O DIRETORIO DOS ARQUIVOS BAIXADOS PARA O DIRETORIO REGRID_DATA/GFS  
echo '***** MOVENDO O DIRETORIO $diretorio''_00z'' PARA REGRID_DATA*****'  
sleep 5  
mv $diretorio'_00z' /home/mm5v3/mm5v3/REGRID_DATA/GFS/  
  
#FIM DA ROTINA DE EXECUCAO  
echo '***** TERMINADO *****'
```

APÊNDICE C – *PREDRIG.CSH*

Este apêndice contém as alterações efetuadas no programa *pregrid.csh* para automatização dos períodos de simulação.

```
#!/bin/csh -f
# set echo
#DEFININDO AS DATAS
set ano_start='date +%Y -d today'
set mes_start='date +%m -d today'
set dia_start='date +%d -d today'
set ano_end='date +%Y -d tomorrow'
set mes_end='date +%m -d tomorrow'
set dia_end='date +%d --date '2 days''
#
    set DataDir = /home/mm5v3/mm5v3/REGRID_DATA/GFS/
###USE ESTA OPÇÃO PARA DADOS GFS

# set DataDir = /home/mm5v3/mm5v3/REGRID_DATA/FNL
###USE ESTA OPÇÃO PARA DADOS FNL

# set DataDir = /home/mm5v3/mm5v3/REGRID_DATA/NCEP
###USE ESTA OPÇÃO PARA DADOS NCEP

# set SRC3D = ON84 # Old ON84-formatted NCEP GDAS analyses
# set SRC3D = NCEP # Newer GRIB-formatted NCEP GDAS analyses
### USAR ESTA OPÇÃO PARA DADOS NCEP
    set SRC3D = GRIB # Many GRIB-format datasets
### USAR ESTA OPÇÃO PARA DADOS FNL
```

```

    set InFiles = ( ${DataDir}/*_00z/gfs* )
#### USAR ESTA OPÇÃO PARA DADOS GFS

# set InFiles = ( ${DataDir}/fnl* )
#### USAR ESTA OPÇÃO PARA DADOS FNL

# set InFiles = ( ${DataDir}/NCEP* )
#### USAR ESTA OPÇÃO PARA DADOS NCEP
# set SRCSST = ON84
# set SRCSST = NCEP
#### USAR ESTA OPÇÃO PARA DADOS NCEP
# set SRCSST = NAVY
    set SRCSST = $SRC3D
#### USAR ESTA OPÇÃO PARA DADOS FNL e GFS

    set InSST = ( )

    set SRCSNOW = $SRC3D
#### USAR ESTA OPÇÃO PARA DADOS FNL e GFS
# set SRCSNOW = ON84
# set SRCSNOW = GRIB
#### USAR ESTA OPÇÃO PARA DADOS NCEP

# set InSnow = ( )

    set SRC3D = $SRC3D
#### COMENTAR ESTA OPÇÃO PARA DADOS NCEP

    set InSoil = ( )
#### COMENTAR ESTA OPÇÃO PARA DADOS NCEP

#
START_YEAR = $ano_start    # Year (Four digits)
START_MONTH = $mes_start   # Month ( 01 - 12 )

```

```

START_DAY   = $dia_start      # Day ( 01 - 31 )
START_HOUR  = 00              # Hour ( 00 - 23 )

END_YEAR    = $ano_end        # Year (Four digits)
END_MONTH   = $mes_end        # Month ( 01 - 12 )
END_DAY     = $dia_end        # Day ( 01 - 31 )
END_HOUR    = 00              # Hour ( 00 - 23 )
#
# Define the time interval to process.
#
INTERVAL = 10800 # Time interval (seconds) to process.
##### PARA DADOS NCEP 43200 = 12 HORAS

/
End_Of_Namelist

##### PARA DADOS GFS USAR LINHA ABAIXO
    set VT3D = ( grib.misc/Vtable.GFS )
    set VTSST = ( grib.misc/Vtable.AVNSST )
    set VTSNOW = ( grib.misc/Vtable.AVNSNOW )
    set VTSOIL = ( grib.misc/Vtable.AVNSOIL )

##### PARA DADOS FNL USAR LINHAS ABAIXO
#   set VT3D = ( grib.misc/Vtable.AVN3D )
#   set VTSST = ( grib.misc/Vtable.AVNSST )
#   set VTSNOW = ( grib.misc/Vtable.AVNSNOW )
#   set VTSOIL = ( grib.misc/Vtable.AVNSOIL )

##### PARA DADOS NCEP USAR LINHAS ABAIXO
#   set VT3D = ( grib.misc/Vtable.NNRP3D )
#   set VTSST = ( grib.misc/Vtable.NNRPSSST )
#   set VTSNOW = ( grib.misc/Vtable.xxxxSNOW )
#   set VTSOIL = ( grib.misc/Vtable.xxxxSOIL )

```


APÊNDICE D – PROGRAMA EM FORTRAN 90 PARA ESCRITA DE NAMELIST.INPUT DO REGRIDDER

Este programa em Fortran 90 cria os arquivos namelist.input (neste caso apenas do primeiro domínio de terreno) do sub-módulo regridder, entretanto, faz-se necessário a criação de programa semelhante para criação dos namelist.input referentes a cada domínio de atuação do modelo.

```
PROGRAM Gera_namelist_D1
! Descrição
! Gera arquivo namelist.input para o REGRIDDER
! Entrada TERRAIN_DOMAIN1
    INTEGER :: today(8)
    INTEGER :: Ano
    INTEGER :: MesInicio, DiaInicio, DiaFim, MesFim
    call idate(today)
    MesInicio = today(1)
    Ano      = today(3)
    DiaInicio = today(2)
    select case ( MesInicio )
        case (1,3,5,7,8,10,12)
if(DiaInicio.eq.31)then
    DiaFim=1
    MesFim=MesInicio+1
else
    DiaFim=DiaInicio+2
    MesFim=MesInicio
endif
        case (2)
```

```

if(DiaInicio.eq.28)then
  DiaFim=1
  MesFim=MesInicio+1
else
  DiaFim=DiaInicio+2
  MesFim=MesInicio
endif
  case (4,6,9,11)
if(DiaInicio.eq.30)then
  DiaFim=1
  MesFim=MesInicio+1
else
  DiaFim=DiaInicio+2
  MesFim=MesInicio
endif
  end select
  OPEN(10,file='input_D1',status='unknown')
write(10,321)'&record1'
write(10,*)'start_year = 2008'
write(10,200)'start_month = ',MesInicio
write(10,200)'start_day = ',DiaInicio
write(10,*)'start_hour = 00'
write(10,*)'end_year = 2008'
write(10,200)'end_month = ',MesFim
write(10,200)'end_day = ',DiaFim
200 format(A38,I2.2)
write(10,*)'end_hour = 00'
write(10,*)'interval = 10800 /'
write(10,*)
write(10,321)'&record2'
write(10,*)'ptop_in_Pa = 10000'
write(10,*)'new_levels_in_Pa = 97500 , 95000 , 92500 , 90000 ,'
write(10,*)' 87500 , 85000 , 82500 , 80000 ,'
write(10,*)' 77500 , 75000 , 72500 , 70000 ,'

```

```

write(10,*)'          67500 , 65000 , 62500 , 60000 ,'
write(10,*)'          57500 , 55000 , 52500 , 50000 ,'
write(10,*)'          47500 , 45000 , 42500 , 40000 ,'
write(10,*)'          37500 , 35000 , 32500 , 30000 ,'
write(10,*)'          27500 , 25000 , 22500 , 20000 ,'
write(10,*)'          17500 , 15000 , 12500 , 10000 ,'
write(10,*)
write(10,*)'sst_to_ice_threshold = -9999'
write(10,*)'linear_interpolation = .FALSE. /'
write(10,*)
write(10,321)'&record3'
write(10,*)'root          = '..../pregrid/FILE''
  '..../pregrid/SST_FILE''
  '..../pregrid/SNOW_FILE''
  '..../pregrid/SOIL_FILE''
write(10,*)'terrain_file_name = '...././TERRAIN/TERRAIN_DOMAIN1'' /'
write(10,*)'constants_full_name = ''''
write(10,*)
write(10,321)'&record4'
write(10,*)'print_echo          = .FALSE. ,'
write(10,*)'print_debug        = .FALSE. ,'
write(10,*)'print_mask         = .FALSE. ,'
write(10,*)'print_interp       = .FALSE. ,'
write(10,*)'print_link_list_store = .FALSE. ,'
write(10,*)'print_array_store  = .FALSE. ,'
write(10,*)'print_header       = .FALSE. ,'
write(10,*)'print_output       = .FALSE. ,'
write(10,*)'print_file         = .FALSE. ,'
write(10,*)'print_tc           = .FALSE. ,'
write(10,*)'print_f77_info     = .TRUE. /'
write(10,*)
write(10,321)'&record5'
321 format(TL1,a)
write(10,*)'insert_bogus_storm = .FALSE.'

```

```
write(10,*)'num_storm           =      1'  
write(10,*)'latc_loc            =     36.0'  
write(10,*)'lonc_loc           =    -35.0'  
write(10,*)'vmax_meters_per_second =     35.0'  
write(10,*)'rmax               =   90000.0'  
write(10,*)'vmax_ratio         =      0.75 /'  
  CLOSE(10)  
  STOP  
  END
```

APÊNDICE E – PROGRAMA EM FORTRAN 90 PARA ESCRITA DE NAMELIST.INPUT DO INTERPF

Este programa em Fortran 90 cria os arquivos namelist.input, neste caso, o arquivo de entrada é o REGRID_DOMAIN1 do entretanto, faz-se necessário a criação de programa semelhante para criação dos namelist.input referentes a cada domínio de atuação do modelo.

```
PROGRAM Gera_namelist_D1
! Descrição
! Gera arquivo namelist.input para o INTERPF
! Entrada REGRID_DOMAIN1
    INTEGER :: today(8)
    INTEGER :: Ano
    INTEGER :: MesInicio, DiaInicio, DiaFim, MesFim
    call idate(today)
    MesInicio = today(1)
    Ano      = today(3)
    DiaInicio = today(2)
    select case ( MesInicio )
        case (1,3,5,7,8,10,12)
if(DiaInicio.eq.31)then
    DiaFim=1
    MesFim=MesInicio+1
else
    DiaFim=DiaInicio+2
    MesFim=MesInicio
endif
        case (2)
if(DiaInicio.eq.28)then
```

```

    DiaFim=1
    MesFim=MesInicio+1
else
    DiaFim=DiaInicio+2
    MesFim=MesInicio
endif

    case (4,6,9,11)
if(DiaInicio.eq.30)then
    DiaFim=1
    MesFim=MesInicio+1
else
    DiaFim=DiaInicio+2
    MesFim=MesInicio
endif

    end select

    OPEN(10,file='input_D1',status='unknown')
write(10,321)'&record0'
write(10,*)'input_file = ''/home/mm5v3/mm5v3/REGRID/regridder/REGRID_DOMAIN1'' /'
write(10,*)
write(10,321)'&record1'
write(10,*)'start_year   = 2008'
write(10,200)'start_month=   ',MesInicio
write(10,200)'start_day  =   ',DiaInicio
write(10,*)'start_hour   =    00'
write(10,*)'end_year     = 2008'
write(10,200)'end_month  =   ',MesFim
write(10,200)'end_day    =   ',DiaFim
200 format(A21,I2.2)
write(10,*)'end_hour     =    00'
write(10,*)'interval     = 10800'
write(10,*)'less_than_24h = .FALSE. /'
write(10,*)
write(10,321)'&record2'
write(10,*)'sigma_f_bu = 1.000, 0.993, 0.987, 0.974, 0.961, 0.948, 0.936,'

```

```

write(10,*)'0.905, 0.875, 0.816, 0.761, 0.708, 0.658, 0.611,'
write(10,*)'0.565, 0.523, 0.482, 0.443, 0.407, 0.373, 0.340,'
write(10,*)'0.309, 0.280, 0.253, 0.227, 0.203, 0.180, 0.138,'
write(10,*)'0.102, 0.069, 0.041, 0.017, 0.000'
write(10,*)'ptop = 10000'
write(10,*)'isfc = 0 /'
write(10,*)
write(10,321)'&record3'
write(10,*)'p0           = 1.e5'
write(10,*)'tlp         = 54.1'
write(10,*)'ts0        = 290.'
write(10,*)'tiso       = 00./'
write(10,*)
write(10,321)'&record4'
write(10,*)'removediv  = .TRUE.'
write(10,*)'usesfc     = .TRUE.'
write(10,*)'wrth2o     = .TRUE.'
write(10,*)'psfc_method = 0 /'
write(10,*)
write(10,321)'&record5'
321 format(TL1,a)
write(10,*)'ifdatim    = 1 /'
CLOSE(10)
STOP
END

```



```

make > log_configure
make mm5.deck > log_deck
./mm5.deck
echo '-----'
echo '     Simulação MM5 encerrada'
echo '-----'
sleep 5
echo '-----'
echo '     Pos-processamento -- GrADS'
echo '-----'
sleep 5
cd /home/mm5v3/mm5v3/MM5toGrADS
./mm5_to_grads_D1.csh
./mm5_to_grads_D2.csh
./mm5_to_grads_D3.csh
echo '-----'
echo '     Salvando resultados da simulação'
echo '-----'
sleep 5
### DATA PARA DIRETORIO DE RODADA
cd /home/mm5v3/mm5v3/SAIDAS_MM5
set ano='date +%Y'
set mes='date +%m'
set dia='date +%d'
set hora='date +00'
set hoje='date +%Y%m%d'
set diretorio='expr $hoje - 0'
mkdir $diretorio'_Resultados'
cd /home/mm5v3/mm5v3/MM5/Run
cp mm5.print.out MMOUT_DOMAIN* /home/mm5v3/mm5v3/SAIDAS_MM5/$diretorio'_Resultados'
cd /home/mm5v3/mm5v3/MM5toGrADS
cp Saida_D* /home/mm5v3/mm5v3/SAIDAS_MM5/$diretorio'_Resultados'
echo '-----'
echo '     Fim de Trabalho do MM5'

```

```
echo '-----'
echo '-----'
echo '      Fechando EXECUTOR DE MM5.'
echo '-----'
echo '-----'
echo '      Por favor, aguarde...'
echo '-----'
sleep 20
```

APÊNDICE G – MODELO DE SCRIPT PARA GERAÇÃO DE IMAGENS PARA O GRADS

Este script serve como modelo (bastando apenas alterar a variável meteorológica) para geração de imagens de campos meteorológicos para um período de simulação do MM5 equivalente a 48 horas onde o arquivo .ctl está em níveis verticais sigma.

```
'reinit'  
'open Saida_D1.ctl'  
'set display color white'  
'c'  
t=1  
while (t<=17)  
'set t 't  
texto=analise or previsao_06h  
or previsao_12h or previsao_18h  
or previsao_24h or previsao_30h  
or previsao_36h or previsao_42h  
or previsao_48h  
if (t=1); texto=analise;endif;  
if (t=3); texto=previsao_06h;endif  
if (t=5); texto=previsao_12h;endif  
if (t=7); texto=previsao_18h;endif  
if (t=9); texto=previsao_24h;endif  
if (t=11); texto=previsao_30h;endif  
if (t=13); texto=previsao_36h;endif  
if (t=15); texto=previsao_42h;endif  
if (t=17); texto=previsao_48h;endif  
h=00 or 06 or 12 or 18 or 24 or 30
```

```

or 36 or 42 or 48
if (t=1); h=00;endif
if (t=3); h=06;endif
if (t=5); h=12;endif
if (t=7); h=18;endif
if (t=9); h=24;endif
if (t=11); h=30;endif
if (t=13); h=36;endif
if (t=15); h=42;endif
if (t=17); h=48;endif
'q time'
res=subwrd(result,3);mes=substr(res,6,3);
dia=substr(res,4,2);ano=substr(res,9,12);
hora=substr(res,1,3)
'set grads off';'set map 15 1 1'
'set mpdset /usr/local/lib/grads/brmap_hires'
'set gxout stream'
'd u;v;mag(u,v)'
'run /usr/local/lib/grads/cbarn.gs'
*****          TITULO
'draw title linhas de corrente na superficie
(m/s)\'texto'_\'dia\' \'mes\' \'ano\' \'hora\''
*****          DATA
'set strsiz 0.18'
'draw string 0.15 0.15 ICAT/UFAL'
'draw string 9 0.15 MODELO MM5'
'printim imagens/vento_D1_'h'.gif'
t=t+2
'c'
endwhile

```

Este volume foi tipografado em \LaTeX na classe UFALThesis, uma variação da classe UFPEThesis (www.cin.ufpe.br/~paguso/ufpethesis). Alterações e adaptações para as normas do Instituto de Ciências Atmosféricas da UFAL efetuadas por Alessandro R. da Fonseca (alessandro@mat.ufal.br).