



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
CENTRO DE CIÊNCIAS MATEMÁTICAS E DA NATUREZA
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM METEOROLOGIA**

TACIANA MENEZES WEBER

**INVESTIGAÇÃO DA PREVISIBILIDADE SAZONAL DA
PRECIPITAÇÃO NA REGIÃO DO ALTO SÃO FRANCISCO
(MG)**

RIO DE JANEIRO

Março, 2014

Taciana Menezes Weber

**INVESTIGAÇÃO DA PREVISIBILIDADE SAZONAL DA
PRECIPITAÇÃO NA REGIÃO DO ALTO SÃO FRANCISCO (MG)**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Meteorologia do Instituto de Geociências do Centro de Ciências Matemáticas e da Natureza da Universidade Federal do Rio de Janeiro (PPGM-IGEO-CCMN-UFRJ) como parte dos requisitos necessários à obtenção de grau de Mestre em Ciências (área: Meteorologia).

Orientadora: D. Sc. Claudine Pereira Dereczynski

Rio de Janeiro

Março, 2014

WEBER, Taciana Menezes. Investigação da Previsibilidade Sazonal da Precipitação na Região do Alto São Francisco (MG). Taciana Menezes Weber – 2014

62fls

Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Programa de Pós-Graduação em Meteorologia, 2014. UFRJ/PPGM/IGEO/CCMN

Rio de Janeiro: UFRJ/PPGM/IGEO/CCMN, 2014. 66p

Orientadora: D.Sc. Claudine Pereira Dereczynski

1. Previsão Sazonal. 2. Precipitação. 3. Modelo Eta

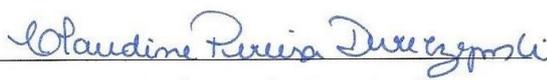
I. Universidade Federal do Rio de Janeiro

TACIANA MENEZES WEBER

**INVESTIGAÇÃO DA PREVISIBILIDADE SAZONAL DA
PRECIPITAÇÃO NA REGIÃO DO ALTO SÃO FRANCISCO (MG)**

Dissertação submetida ao corpo docente do Programa de Pós-Graduação em Meteorologia do Instituto de Geociências do Centro de Matemáticas e da Natureza da Universidade Federal do Rio de Janeiro (PPGM-IGEO-CCMN-UFRJ) como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau de Mestre em Ciências em Meteorologia.

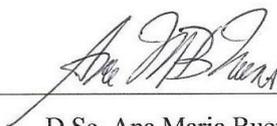
Aprovada em



D.Sc. Claudine Pereira Dereczynski



D.Sc. Chou Sin Chan



D.Sc. Ana Maria Bueno Nunes

AGRADECIMENTOS

A Deus, primeiramente, por ter me concedido a possibilidade de concluir mais esta etapa dos meus estudos, dando-me condições para superar os obstáculos e desafios surgidos no decorrer do processo.

A Prof^a Claudine, pela incansável orientação ao longo desses dois anos, pelo privilégio de compartilhar do seu conhecimento, por manifestar constantemente a sua confiança e apoio ao meu trabalho, incentivando-me a prosseguir na realização dos meus planos e projetos.

À minha família que sempre acreditou e apoiou meus projetos e sonhos compreendendo minha ausência durante essa caminhada.

Aos amigos de turma que desde o princípio, tornaram-se minha grande família. Pelas risadas e momentos alegres nos intervalos, pela ajuda em trabalhos e pelo companheirismo dentro da UFRJ. Em especial ao Wesley, Rosa, Amanda, Gustavo e Rodrigo.

Aos colegas de laboratório pelos papos descontraídos e pelo apoio durante a realização da pesquisa, em especial aos colegas da Graduação Ricardo Henrique de Souza e Ana Luísa Cruz.

A toda equipe do grupo de pesquisa da Dra Chou que sempre me ajudou em minhas idas ao CPTEC para obtenção e tratamento de dados. E também à Dra Chou pela hospitalidade nas inúmeras vezes em que fiquei em sua casa.

Aos amigos que se tornaram minha família no Rio de Janeiro, Eliane, Monique, Aline especialmente ao seu Emílio e Tânia por fazerem o papel de pais e conselheiros durante os 12 meses em que tive o prazer de dividir um lar.

RESUMO

WEBER, Taciana Menezes. **Investigação da Previsibilidade Sazonal da Precipitação na Região do Alto São Francisco (MG)**. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) Programa de Pós-Graduação em Meteorologia, Instituto de Geociências, Rio de Janeiro -2014.

Previsões sazonais de precipitação geradas com modelo regional Eta (15km) para a estação chuvosa (novembro a fevereiro) da Bacia do Rio São Francisco, a montante da Usina Hidrelétrica (UHE) de Três Marias em Minas Gerais são avaliadas neste trabalho. A utilização de tais previsões como insumo nos modelos de planejamento energético, representaria um melhor gerenciamento na geração, transmissão e distribuição da energia elétrica. Contudo, é conhecido o fato de que na maior parte do globo, a previsibilidade climática sazonal é muito reduzida, uma vez que os efeitos das condições de contorno em determinar a evolução do estado médio da atmosfera competem com a variabilidade caótica interna associada às instabilidades e interações não lineares do escoamento atmosférico. As previsões do modelo Eta-Sazonal-15km são iniciadas nos dias 13 a 17 de outubro, estendendo-se até 28 de fevereiro, durante os anos de 2001 a 2010. Os resultados indicam que a performance do modelo é melhor para prever a precipitação acumulada em todo o período, novembro a fevereiro, do que em meses individuais. O ruído (variabilidade intermembros) é muito elevado, sugerindo baixa confiabilidade das previsões para a região no período chuvoso. As previsões de precipitação são subestimadas e a Raiz do Erro Quadrático Médio, de 77 mm/mês é elevada, quase o dobro de seu desvio padrão. Nota-se elevada variabilidade espacial da precipitação devido a topografia bastante acentuada, o que reduz ainda mais a previsibilidade na região. Um índice de acerto da categoria da precipitação (IACP), baseado na distribuição de tercís, foi aplicado para contabilizar o número de vezes em que as previsões apontam para a mesma categoria das chuvas observadas: chuvas abaixo, acima ou dentro da normalidade. O IACP para toda a área e durante os dez anos foi baixo (média de 29%), contudo no sul da Bacia o IACP é um pouco mais elevado, em torno de 50%, chegando a 70% no sudeste da região. A avaliação anual das previsões para toda a área indicou que a melhor performance do modelo ocorreu no ano de 2005, quando condições de ATMS negativas no Pacífico, próximo a costa do Peru foram persistidas no mês de outubro de 2005 e de fato tais anomalias se verificaram até o mês de fevereiro de 2006.

Palavras-Chave – previsão sazonal, precipitação, modelo Eta, Minas Gerais.

ABSTRACT

WEBER, Taciaana Menezes. **Investigation of Seasonal Precipitation Predictability in the Region of Upper São Francisco River (Minas Gerais - Brazil)**. Dissertation (Master's degree in Meteorology) Graduate Program in Meteorology, Geosciences Institute, Rio de Janeiro -2014.

Seasonal rainfall forecasts generated with regional Eta model (15km) to the rainy season (November-February) of the São Francisco River Basin, upstream Power Plant (HPP) Três Marias in Minas Gerais are evaluated in this work. The use of such forecasts as an input in energy planning models, represent a better management in the generation, transmission and distribution of electricity. However, it is well known that most of the globe, seasonal climate predictability is much reduced, since the effects of boundary conditions to determine the evolution of the average state of the atmosphere compete with internal variability associated with the chaotic instabilities and nonlinear interactions of the atmospheric flow. The predictions of the model-Seasonal Eta-15 km are initiated on days 13 to 17 October, extending until February 28, during the years 2001-2010. The results indicate that the performance of the model is better to predict the cumulative rainfall for the whole period, from November to February, than in individual months. The noise (inter members variability) is very high, suggesting low reliability of the forecasts for the region during the rainy season. Forecasts of precipitation are underestimated and the Root Mean Square Error of 77 mm / month is high, almost twice its standard deviation. Note a high spatial variability of rainfall due to very steep topography, which further reduces the predictability in the region. A hit rating category of precipitation (IACP), based on the distribution of tertiles, was applied to account for the number of times that the forecasts point to the same category of observed rainfall: rainfall below, within or above the normal range. The IACP for the whole area and during the ten years was low (mean 29%), however in the southern Basin IACP is a bit higher, around 50% to 70% in the Southeast region. The annual review of the forecasts for the entire area indicated that the best model performance occurred in 2005, when conditions ATMS negative in Pacific, near the coast of Peru were persisted in October 2005 and in fact such anomalies occurred through the month of February 2006.

Keywords – seasonal forecasting, precipitation, Eta model, Minas Gerais

SIGLAS

ONS – Operador Nacional do Sistema Elétrico
UHE's – Usinas Hidroelétricas
RMBH – Região Metropolitana de Belo Horizonte
MCGA's – Modelos de Circulação Geral da Atmosfera
CPTEC/INPE – Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
TSM – Temperatura da Superfície do Mar
ENOS – El Niño Oscilação Sul
SF's – Sistemas Frontais
ZCAS – Zona de Convergência do Atlântico Sul
JBN – Jato de Baixos Níveis
JAN – Jato de Altos Níveis
MAM – Março, abril e maio
RSR – Razão Sinal Ruído
NEB – Nordeste Brasileiro
GISS - Goddard Institute for Space Studies
MRC – Modelo Regional Climático
NCEP - National Centers for Environmental Prediction
CMAP – Merged Analysis of Precipitation
CPC – Climate Prediction Center
ZCIT – Zona de Convergência Intertropical
MRE – Modelo Regional Espectral
JJA - Junho, julho e agosto
DJF – Dezembro, janeiro e fevereiro
INMET – Instituto Nacional de Meteorologia
ANA – Agência Nacional de Águas
CEMIG – Companhia de Energia de Minas Gerais
CIDW – Modified Correlation Coefficient with Inverse Distance Weighting Method
ATSM – Anomalia da Temperatura de Superfície do Mar
DPN – Desvio Padrão Normalizado
IACP – Índice de Acerto da Categoria de Precipitação

EM – Erro Médio

REQM – Raiz do Erro Quadrático Médio

DP – Desvio Padrão

ASAS – Alta Subtropical do Atlântico Sul

SCM's – Sistemas Convectivos de Mesoescala

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.1** – Localização geográfica do Rio São Francisco, com destaque para a área à montante da UHE de Três Marias, na região denominada de Alto São Francisco -----2
- Figura 2.1** – Mapa da topografia da região do reservatório da UHE de Três Marias -----10
- Figura 2.2** – Dados pluviométricos mensais climatológicos para as estações de (a) Bambuí; (b) Fazenda Escola Florestal; (c) Ibirité e (d) Silva Campos -----12
- Figura 2.3** – Totais pluviométricos anuais climatológicos para as estações de (a) Bambuí; (b) Fazenda Escola Florestal; (c) Ibirité e (d) Silva Campos -----13-14
- Figura 2.4** – Distribuição espacial da precipitação (mm) na região à montante da UHE de Três Marias, válidas para a estação chuvosa na região. (a) Novembro, (b) Dezembro, (c) Janeiro e (d) Fevereiro. Valores climatológicos do período de 1987 a 2007 extraídos de 13 postos pluviométricos selecionados na região FONTE: ONS (2009) -----14-15
- Figura 3.1** – Estações da ANA (em vermelho), CEMIG (em verde) e do INMET (em azul), utilizadas neste trabalho-----20
- Figura 3.2** – Topografia (m) no domínio do modelo Eta-Sazonal-15km Sazonal-----22
- Figura 3.3** – Topografia em metros do modelo Eta-Sazonal-15km na área da Bacia do Rio São Francisco à montante da UHE Três Marias -----25
- Figura 3.4** – Campos de anomalia da temperatura da superfície do mar (ATSM) do mês de outubro, persistidos durante os 4,5 meses de integração, para os anos de: (a) 2001, (b) 2002, (c) 2003, (d) 2004, (e) 2005, (f) 2006, (g) 2007, (h) 2008, (i) 2009 e (j) 2010 -----26-27
- Figura 3.5** – Campos da diferença da anomalia da temperatura da superfície do mar - ATSM (em °C) de outubro de 2005 em relação a ATSM de (a) novembro de 2005, (b) dezembro de 2005, (c) janeiro de 2006 e (d) fevereiro de 2006-----28
- Figura 3.6** – Campos da diferença da anomalia da temperatura da superfície do mar - ATSM (em °C) de outubro de 2010 em relação a ATSM de (a) novembro de 2010, (b) dezembro de 2010, (c) janeiro de 2011 e (d) fevereiro de 2011-----29
- Figura 4.1** – Desvio padrão normalizado (mm/mês), calculado para a previsão sazonal de precipitação gerada pelo modelo Eta-Sazonal-15km, para: (a) Novembro, (b) Dezembro, (c) Janeiro, (d) Fevereiro e (e) Novembro-Fevereiro de 2001 a 2010. A linha em negrito delimita o contorno da Bacia do Rio São Francisco à montante da UHE Três Marias-----35
- Figura 4.2** – Anomalia da precipitação (mm/4meses) acumulada entre novembro-fevereiro dos anos de 2001 a 2010 em Piumhi. Observação (linha preta); média dos membros (linha preta tracejada); membro 1 (linha roxa); membro 2 (linha vermelha); membro 3 (linha verde); membro 4 (linha azul) e membro 5 (linha amarela) -----36

Figura 4.3 – Anomalia da precipitação (mm/4meses) prevista para o período de novembro de 2004 a fevereiro de 2005, previstos por: (a) Membro 1, (b) Membro 2, (c) Membro 3, (d) Membro 4, (e) Membro 5 e (f) Média dos Membros-----37

Figura 4.4 – Campos de anomalia da precipitação (mm) prevista para o período de novembro de 2007 a fevereiro de 2008 por: (a) Membro 1, (b) Membro 2, (c) Membro 3, (d) Membro 4, (e) Membro 5 e (f) Média dos Membros-----38

Figura 4.5 – Mapa de IACP, calculado para cada localidade, relativo ao período NDJF de 2001 a 2010-----39

Figura 4.6 – Anomalia da precipitação (mm) totalizada nos meses de novembro a fevereiro dos anos de 2001 a 2010-----42-45

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 – Informações referentes as estações da ANA, INMET e CEMIG utilizadas neste trabalho -----17-19

Tabela 3.2: Configuração do modelo Eta-Sazonal 15km para o Brasil -----23

Tabela 3.3: Característica dos conjuntos das previsões sazonais do modelo Eta-Sazonal-15km utilizadas neste trabalho -----24

Tabela 4.1 – Valores de EM, REQM e DP (mm/mês) de previsões de precipitação do modelo Eta-Sazonal-15km no período novembro-fevereiro dos anos de 2001 a 2010-----34

Tabela 4.2 – Número de estações com previsão da categoria da precipitação correta no período NDJF a cada ano, desde 2001 até 2010-----40

Tabela 4.3 – Número de postos pluviométricos de NDJF a cada ano com ocorrência de chuvas abaixo, acima e dentro da normalidade, de acordo com as previsões e observações-----41

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
1.1 Objetivos	4
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	5
2.1 Previsão sazonal na América do Sul.....	5
2.2 Comportamento da precipitação na área estudada	9
3. METODOLOGIA E DADOS	16
3.1 Dados Utilizados	16
3.2 Modelo Eta	20
3.3 Configuração da versão climática sazonal em alta resolução	22
3.4 Métricas de avaliação	30
4. AVALIAÇÃO DAS PREVISÕES SAZONAIS DE PRECIPITAÇÃO	33
4.1 Métricas de Avaliação das Previsões	33
4.2 Análise do Sinal/Ruído das Previsões	34
4.3 Índice de Acerto da Categoria da Precipitação	38
4.4 Avaliação da previsão do sinal de anomalia de precipitação	41
5. CONCLUSÕES	45
REFERÊNCIAS	47

1. INTRODUÇÃO

Previsões meteorológicas de qualidade são extremamente importantes para apoiar atividades em diversos setores econômicos, tais como agricultura, pecuária, energia, transporte, indústria, turismo, esportes e outros. No setor elétrico, a meteorologia contribui produzindo informações específicas para a geração, transmissão e distribuição da energia. Como no Brasil aproximadamente 90% da matriz energética é composta por hidrelétricas (ONS, 2013), previsões meteorológicas podem contribuir para o melhor planejamento e gestão dos recursos hídricos.

A aplicação e importância das previsões de tempo, elaboradas com antecedência de um a dez dias e previsões de curtíssimo prazo (algumas horas) para o setor elétrico, foram descritas por Machado et al. (2007). No caso das previsões sazonais (três ou quatro meses) que é o foco deste trabalho, uma das aplicações seria a utilização da precipitação prevista como dado de entrada na geração de cenários hidro-energéticos para simulação de modelos de planejamento. Estes modelos definem a geração de energia das usinas hidrelétricas (UHEs) e térmicas, os intercâmbios entre os subsistemas, atendendo a demanda de energia do país (MACHADO, 2013, comunicação pessoal).

Neste trabalho, previsões climáticas sazonais (4,5 meses), obtidas por modelagem numérica regional de alta resolução, são avaliadas para a área do reservatório da UHE de Três Marias, localizada na sub-bacia do Alto São Francisco, entre os paralelos 18° e 21° S e os meridianos 43°30' e 46°40' W no Estado de Minas Gerais (Figura 1.1). A UHE de Três Marias tem uma potência instalada de 396 MW, possui um reservatório (lago da represa) de 21 bilhões de metros cúbicos de água, sendo sete vezes maior que a Baía de Guanabara, no Rio de Janeiro. Sua construção, iniciada em maio de 1957 e concluída em janeiro de 1961, teve como principais objetivos a regularização das vazões do Rio São Francisco em parte de seu trecho Médio, o controle das enchentes nesse trecho durante as cheias periódicas, melhoria da navegabilidade, utilização do potencial hidrelétrico e fomento da indústria e irrigação (ONS, 2009). A energia gerada na UHE de Três Marias contribui com cerca de 23% da energia para o Subsistema Nordeste (MACHADO, 2013, informação verbal).



Figura 1.1 – Localização geográfica do Rio São Francisco, com destaque para a área à montante da UHE de Três Marias, na região denominada de Alto São Francisco.

A região estudada (reservatório da UHE de Três Marias) possui uma orografia de terreno acidentado, com serras e terrenos ondulados e altitudes que variam entre 600 e 1500 m. O divisor leste é formado pelas montanhas da Serra do Espinhaço, estreita e alongada na direção norte-sul, e com altitudes de 1000 a 1500 m. Do lado oeste, destacam-se as Serras da Saudade e da Canastra, cujas cotas oscilam entre 900 e 1500 m. Destaca-se ainda na região em estudo a presença da Região Metropolitana de Belo Horizonte (RMBH) com elevado índice de urbanização, principalmente na capital do Estado (Belo Horizonte), localizada a 852 m de altitude.

A respeito da previsibilidade meteorológica é conhecido que após o prazo de duas semanas aproximadamente a previsibilidade da passagem de sistemas meteorológicos individuais é fortemente reduzida e a previsibilidade das condições médias do tempo (caso exista previsibilidade) pode aumentar apenas a partir das condições de contorno (RODWELL e DOBLAS-REYES, 2006). Palmer e Anderson (1994) afirmam que a expectativa de existência de previsibilidade na escala de tempo sazonal reside no fato de que as condições de contorno (temperatura da superfície do mar, armazenamento de água no solo, etc.), que evoluem numa escala de tempo mais lenta do que os sistemas atmosféricos responsáveis pelas flutuações do tempo, possam conferir significante

previsibilidade à evolução do estado médio da atmosfera. Desta forma, na região tropical, onde a circulação é determinada pelas células de Hadley e Walker, cujas flutuações são afetadas pelas condições de contorno, a previsibilidade é potencialmente superior ao restante do globo (PALMER e ANDERSON, 1994; SHUKLA, 1998). Por outro lado, nos extratropicais os efeitos das condições de contorno em determinar a evolução do estado médio da atmosfera competem com a variabilidade caótica interna associada às instabilidades e interações não lineares do escoamento atmosférico (BRANKOVIC et al., 1994).

É importante ressaltar que em uma previsão climática sazonal, diferente da previsão de tempo a médio prazo (até dez dias) e da previsão estendida (entre dez dias e um mês), o objetivo não é prever quando ocorrerá a passagem de um sistema transitente, mas sim prever as propriedades estatísticas de algum estado climático futuro, como um mês ou uma estação, ou seja, na previsão climática sazonal não existe a preocupação com os detalhes que são fornecidos numa previsão de tempo e com a ordem cronológica de ocorrência dos eventos sinóticos diários (DERECZYNSKI, 2004).

Desta forma, fica claro que a geração de previsões climáticas sazonais de qualidade é um enorme desafio, principalmente nos extratropicais. Uma tentativa de contornar a baixa previsibilidade na escala de tempo sazonal é empregar a técnica da previsão por conjunto como forma de reduzir as incertezas do estado inicial de um sistema climático, visando assim elevar sua previsibilidade. Esta técnica consiste em construir um conjunto de forçantes, ligeiramente diferentes entre si, podendo ser gerados por perturbações nas condições iniciais ou nas condições de contorno, o que Schneider e Griffies (1999) definem como estudos de previsibilidade do primeiro e de segundo tipo, respectivamente. A técnica mais comum para a previsão climática sazonal é utilizar análises de datas distintas para compor as condições iniciais, como utilizado nesta pesquisa.

Modelos de Circulação Geral da Atmosfera (MCGA's) são comumente utilizados para previsões climáticas sazonais, contudo estes não representam adequadamente os fenômenos de pequena escala, como fenômenos convectivos (escala sub-grade) e aspectos da topografia. Desta forma, devido a complexa topografia da área em estudo, justifica-se a utilização de modelos regionais, tais como o modelo Eta (MESINGER et al., 2012) empregado neste trabalho, com resolução mais fina, representando de maneira mais eficaz os processos e fenômenos de escala sub-grade, cobrindo uma região mais específica dependendo do interesse e aplicação do estudo a ser desenvolvido.

No CPTEC/INPE o modelo Eta-Sazonal com resolução espacial de 15km (Eta-Sazonal-15km) foi integrado em escala sazonal aninhado ao modelo Eta-Sazonal-40km, para o Brasil, neste trabalho o foco será na região do reservatório da UHE de Três Marias para o período de 2001 a 2010. Tais previsões sazonais foram inicializadas a cada mês do ano, utilizando-se 5 membros disparados nos dias 13, 14, 15, 16 e 17. O conjunto de previsões inicializadas em outubro de cada ano, estendendo-se até o final de fevereiro, será utilizado neste trabalho.

1.1 Objetivos

O objetivo principal deste trabalho é investigar a previsibilidade da precipitação na escala de tempo sazonal (4,5 meses), para o período chuvoso (novembro a fevereiro) da região da Bacia do Rio São Francisco, a montante da UHE de Três Marias. Para isso serão avaliadas as previsões do modelo Eta-Sazonal-15km inicializadas nos dias 13, 14, 15, 16 e 17 de outubro de cada ano (entre 2001 e 2010) que se estendem até o final do mês de fevereiro. As condições iniciais do modelo Eta-Sazonal-15km são fornecidas pelas análises do NCEP e para as condições de contorno lateral são utilizadas as previsões pós-processadas do modelo Eta-Sazonal-40km, atualizadas a cada 6 horas.

As questões principais a serem respondidas neste trabalho são:

- i) Qual a performance do modelo Eta-Sazonal-15km para prever a categoria das chuvas observadas (inferior, superior ou dentro da faixa normal) nos meses de novembro, dezembro, janeiro e fevereiro na área em estudo?
- ii) A previsibilidade é maior na escala mensal ou sazonal?
- iii) A variabilidade interna dos membros é considerada muito elevada?
- iv) O campo de anomalia de TSM influencia na previsibilidade sazonal de precipitação na área em estudo?

Na seção 2 desse documento, apresenta-se uma breve revisão da literatura sobre o desempenho de previsões climáticas sazonais, com foco nos resultados para América do Sul utilizando modelos globais e regionais. Na seção 3, descreve-se a metodologia e os dados utilizados no trabalho bem como a climatologia da precipitação no período chuvoso na área em estudo. Resultados da avaliação da previsão de precipitação gerada com o modelo Eta-Sazonal-15km são discutidos na seção 4. Na seção 5, encontram-se as conclusões.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Nesse capítulo é feita uma breve revisão da literatura sobre previsão climática sazonal com foco nos resultados para o continente Sul Americano, seção 2.1. Inicialmente são discutidos os resultados obtidos através de modelos globais e a seguir, com os modelos regionais. Posteriormente, na seção 2.2, é feita uma revisão sobre o comportamento da precipitação na área em estudo.

2.1 Previsão sazonal na América do Sul

Em Sampaio (2001), foram feitas integrações sazonais por conjunto (25 membros) utilizando MCGA do CPTEC/INPE, versão T62L28, a fim de se obter a performance deste modelo para prever o sinal da anomalia da precipitação. Para isto, foram utilizadas como condição de contorno, TSMs prevista, persistida e também observada. O período de estudo foi de dezembro de 1995 a maio de 1999, selecionado devido a grande variabilidade do fenômeno ENOS nesses anos. Para os conjuntos de previsão que utilizaram como condições de contorno a TSM observada, considerada ideal, o modelo não conseguiu simular de maneira satisfatória o regime pluviométrico sobre as regiões Sudeste e o sul da Região Nordeste. Dentre os principais resultados obtidos por Sampaio (2001), destaca-se que para a Região Nordeste o modelo obteve os maiores índices de acertos para a previsão do sinal de anomalia de precipitação. Para a Região Sul por exemplo, a destreza do modelo foi boa apenas quando existia uma forte manifestação do fenômeno ENOS. Para a Região Sudeste, dos cinco verões estudados (DJF de 1996, 1997, 1998, 1999 e 2000) apenas nos

anos 1997 e 1998 mais da metade dos membros previu corretamente o sinal da anomalia de precipitação, respectivamente 72% e 56% dos membros.

Justi da Silva (2003) fez um estudo sobre a previsibilidade sazonal da frequência de alguns dos principais sistemas meteorológicos que afetam a América do Sul: sistemas frontais (SFs), Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), jato de baixos níveis (JBN) e o jato de altos níveis (JAN). Utilizando o MCGA do CPTEC/INPE, versão T62L28 foi analisada a destreza do modelo, em prever, a frequência dos fenômenos meteorológicos citados anteriormente. Seus resultados indicaram que, o modelo apresentou uma tendência em subestimar a frequência dos SFs em todas as estações analisadas, com destaque para a estação de inverno. A frequência do JAN, foi superestimada pelo modelo, destacando-se também o fato do modelo deslocar em direção ao sul o sistema com relação as observações. Segundo a autora, na avaliação do fenômeno de ZCAS, o modelo apresentou uma tendência em superestimar a frequência do fenômeno, além do fato de deslocar em direção à Região Sul do Brasil suas máximas ocorrências. Já para o JBN, o modelo subestima a frequência do fenômeno e a sua região de ocorrência não é bem representada pelo MCGA do CPTEC. Esses resultados foram obtidos, utilizando-se tanto como condição de contorno lateral a TSM prevista quanto a TSM persistida nas previsões.

Em Dereczynski (2004), foram realizadas integrações sazonais (9 membros) com o MCGA CPTEC versão T62L28, para a estação chuvosa no Nordeste do Brasil (MAM). Analisando a integração longa do modelo (1952-1999), a autora mostrou que os valores da Razão Sinal/Ruído (RSR) para precipitação prevista foram baixos (0,92) para a parte sul do Nordeste brasileiro, indicando baixa confiabilidade das simulações para essa região, pois o ruído é superior ao sinal. No entanto, para o setor norte do Nordeste os valores de RSR foram altos (média de 4,14) confirmando a maior previsibilidade sazonal de precipitação para essa região. Os resultados de Dereczynski (2004) relacionados às integrações sazonais indicaram que na parte sul do Nordeste do Brasil (NEB), diferente do que ocorre no norte no NEB, a utilização de TSM observada não melhora a performance do modelo (em relação as TSMs prevista e persistida), o que indica que os sistemas que provocam precipitação na região, sistemas transientes, não são majoritariamente governados pela TSM. No sul do NEB a previsão de precipitação é altamente dependente da previsão correta da frequência e das características dos sistemas transientes, sendo estes os principais limites de previsibilidade sazonal na região.

Em Nobre et. al. (2005) foi feita uma revisão sobre os princípios dinâmicos que interferem na previsão climática sazonal a decadal na América do Sul com o MCGA CPTEC/INPE. Segundo os autores, a TSM tropical global afeta a previsibilidade sobre o continente sul americano e sugerem que a baixa previsibilidade no Oceano Atlântico tropical represente um fator limitante para as previsões climáticas sazonais. A habilidade do modelo varia para algumas regiões continentais, por exemplo, possui alta previsibilidade no Nordeste do Brasil e baixa previsibilidade no Sudeste. De acordo com os autores, a alta previsibilidade sazonal de precipitação no Nordeste comparada com a baixa previsibilidade do Sudeste, indica que diferentes processos influenciam na modulação da variabilidade de precipitação em escala de tempo sazonal nessas regiões. Segundo a revisão feita nesse artigo, os autores sugerem que o principal desafio na previsibilidade sazonal na América do Sul, seria o desenvolvimento de modelos acoplados que incluam não somente o oceano e a atmosfera, mas também os processos de retroalimentação de superfície que não são bem representados na maioria dos modelos climáticos globais usados em previsões climáticas sazonais.

Druyan et. al. (2002) examinaram a destreza do MCGA do Goddard Institute for Space Studies (GISS) e também do Modelo Regional Climático (MRC) do GISS/Columbia University Center for Climate Systems Research, para elaborar previsões climáticas sazonais sobre o Brasil. O MCGA GISS gerou as condições de contorno laterais para o MRC/GISS. Nos dois modelos, tanto o MCGA GISS quanto o MRC/GISS, utilizaram as anomalias de TSM persistidas de fevereiro. As análises dos autores abrangeram duas estações, MAM (1985) e MAM (1997), uma representativa a um período de La Niña e outra de El Niño. Os resultados dessas simulações foram comparados com dados da Reanálise do NCEP e campos de precipitação do Climate Prediction Center (CPC) Merged Analysis of Precipitation (CMAP) para obter sua performance. De acordo com os autores, as previsões do MRC/GISS capturaram o deslocamento meridional da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), trazendo como consequência máximos de precipitação no norte do Brasil nos 2 anos. Em geral, o padrão espacial nem melhora nem piora no decorrer do tempo. Esses resultados indicaram que melhorias na previsão climática sazonal sobre o Brasil podem ser realizadas com forçantes mais realísticas do MCGA, previsões de TSM mais acuradas e melhorias no MRC/GISS.

Em Misra et. al. (2002) foram testados para a América do Sul, aninhamento do Modelo Regional Climático (MRE) desenvolvido por Juang e Kanamitsu (1994) na versão espectral T42L18 do MCGA COLA, em simulações sazonais. Foram comparadas as simulações desses dois modelos (MCGA/COLA e o MRE). As simulações de precipitação no MRE sobre a ZCAS, na bacia do Rio Amazonas e nas regiões subtropicais da América do Sul concordaram melhor com a observação do que o MCGA COLA. Porém, o MRE agravou a seca sobre a parte norte da América do Sul e na região Nordeste e dividiu de maneira errônea a ZCIT sobre os oceanos Pacífico e Atlântico, o que não ocorreu no MCGA. Segundo os autores, o aumento da resolução do MRE, não resultou em melhorias substanciais na qualidade da previsão do modelo. Este trabalho também mostrou que para a previsão sazonal de precipitação de verão sobre a América do Sul tropical e subtropical é altamente imprevisível em ambos os modelos.

Em Nobre et. al. (2001) foram avaliadas previsões para a região Nordeste do Brasil, abrangendo a estação chuvosa Janeiro-Abril de 1999, fornecidas pelo Modelo Espectral Regional (MRE) do NCEP com resolução horizontal de 20km (MRE-20km), aninhado ao mesmo modelo com resolução menor, MRE 80km, e este último mais uma vez aninhado ao MCGA ECHAM3. As simulações dos três modelos foram comparadas entre si e com dados observacionais. Dentre os resultados encontrados pelos autores os modelos regionais melhoraram tanto a distribuição espacial quanto a distribuição temporal da precipitação no Nordeste Brasileiro. O MRE-80km, em comparação com o MCGA, representou melhor a posição e a largura da ZCIT. A variabilidade sazonal dos sistemas sinóticos foi melhor representada pelo MRE-80km em comparação ao MRE-20km.

Em Chou et. al. (2005) foram produzidas previsões sazonais de precipitação válidas para a América do Sul utilizando o modelo Eta-Sazonal-40km. A previsibilidade da precipitação foi analisada em escalas sazonal, mensal e semanal. Além da análise feita para o continente sul Americano como um todo, houve uma sub-divisão em três novas regiões, a região Amazônica, Nordeste do Brasil e Centro Sul da América do Sul. A precipitação de sistemas de grande escala, como por exemplo a ZCIT, a ZCAS e a convecção Amazônica foram bem representadas na previsão sazonal. Um resultado importante desse estudo foi o fato do desempenho do modelo ter sido maior na região Amazônica do que na região Nordeste do Brasil. Dentre as estações de transição, a menor previsibilidade ocorreu nos

meses de agosto a novembro. O total pluviométrico sazonal previsto pelo modelo exibiu uma superestimativa.

No trabalho de Bustamante et. al (2006) foi construída uma climatologia de cinco anos do modelo Eta-Sazonal-40km. A habilidade do modelo em capturar a variabilidade interanual de precipitação na América do Sul foi verificada. Foram escolhidas duas estações distintas, uma representando o período seco (JJA) e outra representativa à estação chuvosa (DJF). O modelo em geral, capturou os padrões de precipitação nas duas estações (seca e chuvosa). A variabilidade interanual foi bem prevista pelo modelo em ambas as estações, porém superestimativa ocorreu em três áreas costeiras: Sul do Chile, Atlântico Equatorial e no leste do Nordeste Brasileiro.

2.2 Comportamento da precipitação na área estudada

Na Figura 2.1 encontra-se uma imagem da topografia da região, onde se nota que o relevo é bastante acidentado. O divisor leste é formado pelas montanhas da Serra do Espinhaço estreita e alongada na direção N-S, com altitudes de 1000 a 1500 m. Do lado oeste, destacam-se as Serras da Saudade e da Canastra (altitude oscilando entre 900 a 1500 m). Destaca-se ainda na área de estudo a presença da região Metropolitana de Belo Horizonte localizada a 852 m de altitude.

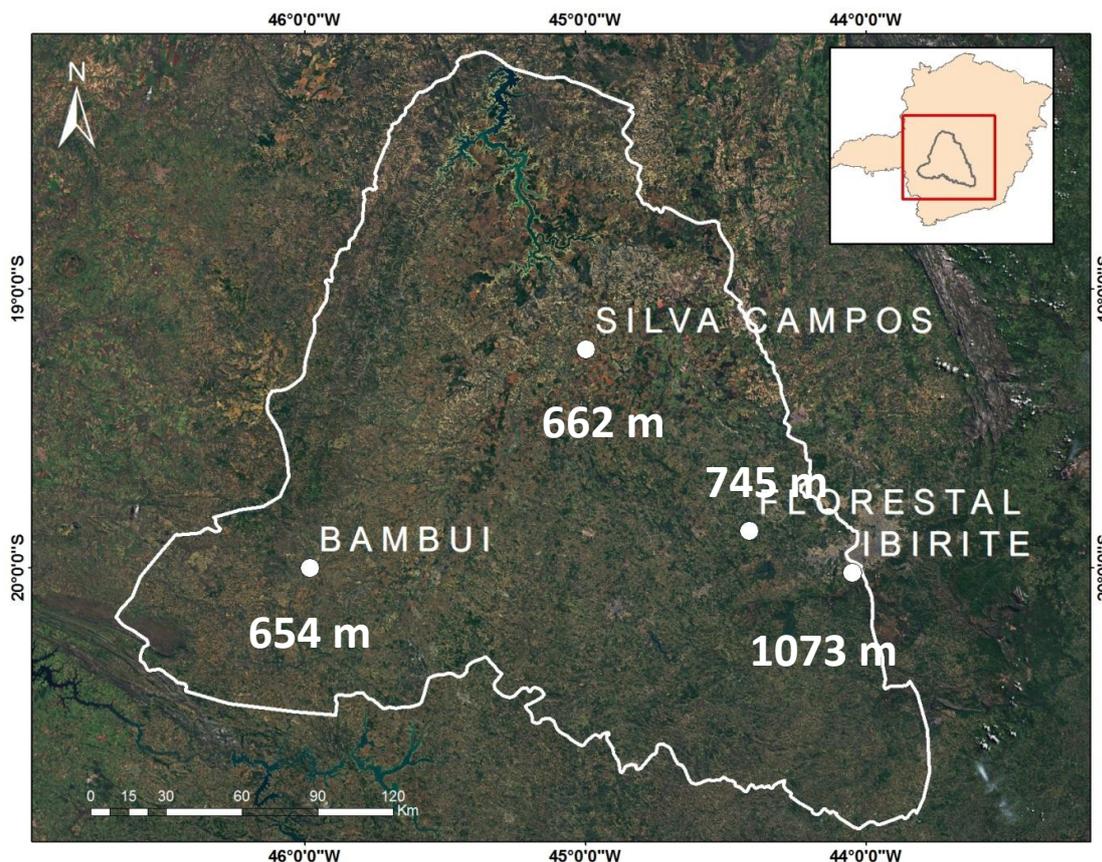


Figura 2.1 – Mapa da topografia da região do reservatório da UHE de Três Marias.

A Região Sudeste do Brasil sofre influência direta do Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul (ASAS) durante todo o ano. Tal sistema é responsável pelas condições de céu claro ou com pouca nebulosidade (estabilidade termodinâmica) e ventos de direção nordeste de fraca intensidade que predominam na região. A situação de estabilidade termodinâmica estabelecida pelo ASAS é interrompida pela chegada de sistemas transientes tais como sistemas frontais (SFs), ciclones extratropicais, vórtices ciclônicos dos altos níveis de origem subtropical, sistemas convectivos de mesoescala (SCMs) e outros sistemas que promovem o aumento da nebulosidade, a ocorrência de precipitação e a intensificação dos ventos. Em especial, durante os meses de novembro a março é comum o estabelecimento da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) que se caracteriza por uma banda de nebulosidade convectiva, estendendo-se em geral desde a Amazônia, até o Oceano Atlântico, numa direção noroeste-sudeste (KOUSKY, 1988). Este sistema é

típico dos meses de verão, quando a convecção tropical mais acentuada contribui para a geração e manutenção do fenômeno (KODAMA, 1992).

Sobre o litoral da Região Sudeste do Brasil, durante todo o ano verifica-se, em média, a passagem de quatro SFs por mês, ou seja um por semana na média. No verão tal frequência é levemente reduzida e na primavera elevada (OLIVEIRA, 1986; LEMOS e CALBETE, 1996; JUSTI DA SILVA, 2003; ANDRADE, 2007 e CAVALCANTI e KOUSKY, 2009). De acordo com Oliveira (1986), apesar da menor frequência de SFs atingindo a banda latitudinal entre 25 e 20°S durante o verão, nesta estação todos os SFs conseguem organizar a convecção no interior do continente, enquanto no inverno dos quatro SFs apenas um organiza a convecção. De fato, a trajetória dos SFs sobre a América do Sul segue dois padrões bastante distintos ao longo do ano. A trajetória de verão é mais lenta e caracterizada por maior atividade convectiva devido às complexas interações entre os sistemas transientes de escala sinótica e os sistemas quase estacionários como a Alta da Bolívia (uma circulação anticiclônica na alta troposfera frequentemente observada durante o verão, centrada sobre a Bolívia) e a ZCAS. No inverno os SFs deslocam-se mais rapidamente, em trajetórias mais zonais e não conseguem penetrar no interior do continente. Esses sistemas não induzem apreciável atividade convectiva sobre o Brasil central e o Sudeste do Brasil mas, ocasionalmente, provocam forte queda de temperatura, nessas regiões (NOBRE et al., 1998).

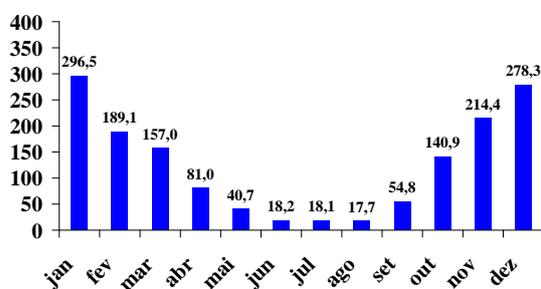
O ENOS, que afeta fortemente a estação chuvosa do norte do Nordeste do Brasil, do leste do Amazonas e do Cone Sul da América do Sul (ROPELEWSKI e HALPERT, 1987; GRIMM et al., 2000), não apresenta uma resposta linear na Região Sudeste do Brasil. De acordo com Grimm e Ferraz (1998), o clima na Região Sudeste do Brasil sofre maior influência do Oceano Atlântico do que do Oceano Pacífico. Ainda de acordo com estes autores, a pouca consistência das anomalias de precipitação do Sudeste se deve justamente ao caráter de transição desta Região, pois as anomalias podem deslocar-se para norte ou para sul de um evento para o outro, podendo com isto alterar o sinal em relação ao evento anterior.

Em Vieira (2013) encontra-se uma discussão sobre a precipitação média mensal e totais pluviométricos anuais coletados nas estações da ANA na área em estudo. Destaca-se em seus resultados que as chuvas são mais elevadas entre os meses de outubro e março, com queda acentuada entre março e abril, como pode ser observado na Figura 2.2. Diante de tais resultados, como as integrações do modelo Eta-Sazonal-15km cobrem um período

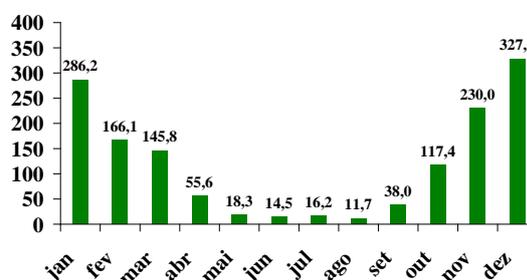
de 4,5 meses, decidiu-se trabalhar com as integrações iniciadas em outubro, analisando-se as previsões de novembro a fevereiro, que são os meses mais chuvosos dentro do período chuvoso, como pode ser visto na Figura 2.2. Entre novembro e fevereiro, concentra-se em média 64,9% (978,3 mm) do total pluviométrico anual em Bambuí, 70,8% (1009,9 mm) em Fazenda Escola Florestal, 68,8% (1210,2 mm) em Ibirité e 70,5% (941,2 mm) em Silva Campos (Pompéu).

Totais Pluviométricos Mensais Climatológicos (mm)

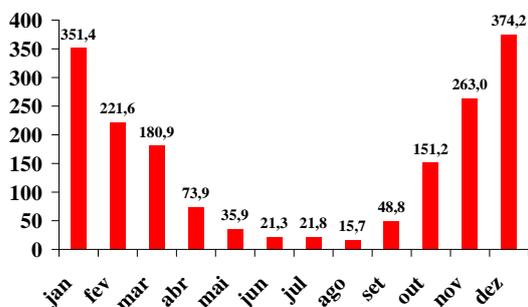
(a) Bambuí (1961-1990)



(b) Fazenda Escola Florestal (1961-1990)



(c) Ibirité (1961-1990)



(d) Silva Campos (1995-2012)

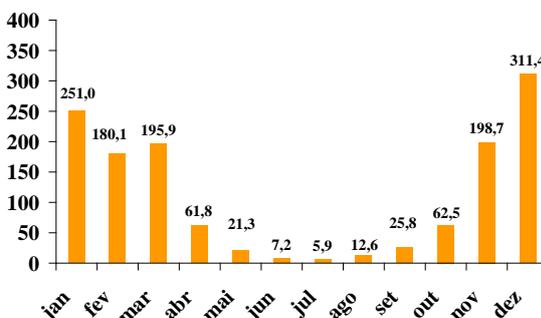


Figura 2.2 – Dados pluviométricos mensais climatológicos para as estações de (a) Bambuí; (b) Fazenda Escola Florestal; (c) Ibirité e (d) Silva Campos. Fonte: Vieira, 2013, elaborada a partir de dados da ANA. FONTE: VIEIRA (2013).

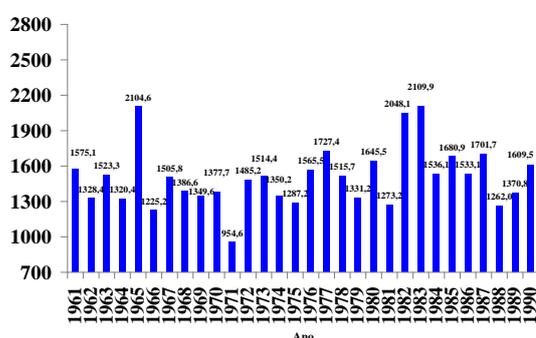
Nota-se a partir da Figura 2.2 que a precipitação é mais intensa em Ibirité, localizada a 1073 m, com totais variando entre 15,7 mm em agosto até 374,2 mm em dezembro e total anual de 1759,7 mm. Em Silva Campos (localizada a 662 m) registra-se o menor total pluviométrico anual (1334,2 mm) dentre as quatro localidades, oscilando entre

5,9 mm em julho e 311,4 mm em dezembro. Na estação Fazenda Escola Florestal, o maior total pluviométrico mensal ocorre em dezembro (327,6 mm) e o mínimo em agosto (11,7 mm), com total anual médio de 1427,4 mm. Em Bambuí, diferentemente das demais localidades, o máximo é atingido em janeiro (296,5 mm) e não em dezembro e o mínimo ocorre em agosto (17,7 mm), com total anual de 1506,7 mm.

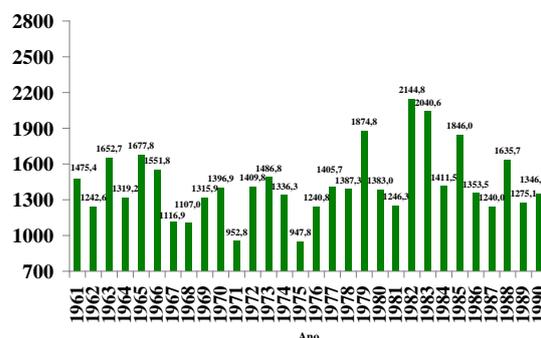
Na Figura 2.3, também extraída de Vieira (2013), apresenta-se a distribuição do total pluviométrico anual das estações da ANA na área em estudo em Bambuí, Fazenda Escola Florestal e Ibirité (período de 1961 a 1990) e para Silva Campos (período de 1995-2012). Destaca-se na figura a grande variabilidade interanual, principalmente em Ibirité, com totais pluviométricos anuais que variam de 1282,8 mm (em 1971) até 2495,3 mm (em 1961). Para esta localidade, o desvio padrão dos totais anuais é de 340,5 mm, enquanto que para as demais localidades oscila entre 215,9 e 282,1 mm. No período analisado, destacam-se também os máximos nos anos de 1982 e 1983 (anos de El Niño forte) e o mínimo em 1971 (ano de La Niña moderada). Deste período, em alguns anos observados em Bambuí (1965, 1982 e 1983) e Fazenda Escola Florestal (1982 e 1983), os valores de precipitação ultrapassam 2000 mm enquanto que em Ibirité nos anos de 1961, 1965 e 1985, os totais são superiores a 2400 mm. Na estação Silva Campos, localizada no município de Pompéu, dentro dos 18 anos de dados disponíveis, o ano de 1997 apresenta o maior valor, próximo a 1800 mm.

Totais Pluviométricos Anuais Climatológicos (mm)

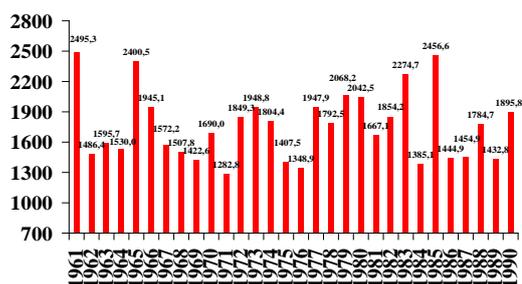
(a) Bambuí (1961-1990)



(b) Fazenda Escola Florestal (1961-1990)



(c) Ibitaré (1961-1990)



(d) Silva Campos (1995-2012)

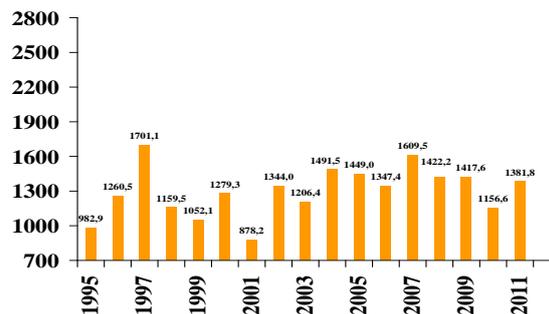
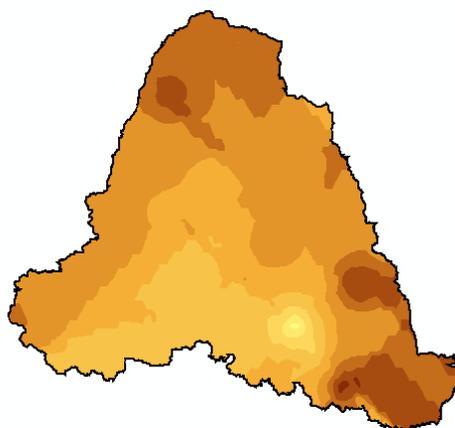
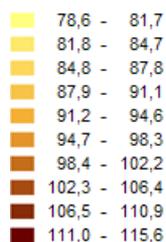


Figura 2.3 – Totais pluviométricos anuais climatológicos para as estações de (a) Bambuí; (b) Fazenda Escola Florestal; (c) Ibitaré e (d) Silva Campos. Fonte: Vieira, 2013, elaborada a partir de dados da ANA. FONTE: VIEIRA (2013).

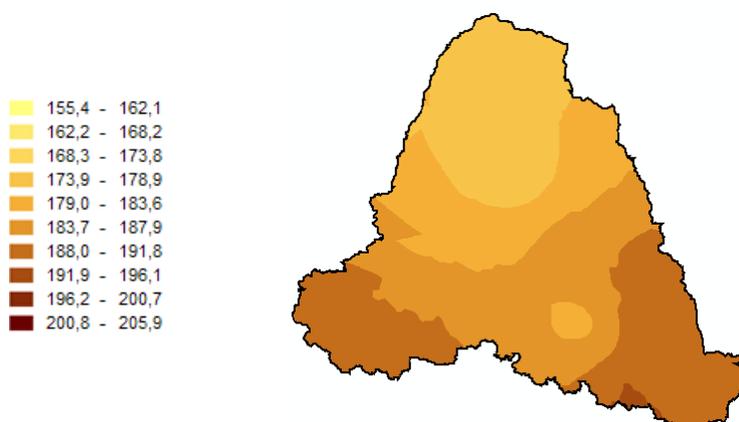
Em ONS (2009) encontra-se mapas da distribuição mensal da precipitação, na região do reservatório da UHE de Três Marias, construídos para o período de janeiro de 1987 a dezembro de 2007, utilizando-se 13 postos pluviométricos.

Analisando-se apenas os mapas de nov-fev (Figura 2.4) nota-se que os máximos de precipitação se concentram no sudoeste e sudeste da área de estudo, onde encontram-se, respectivamente as Serras da Canastra e do Espinhaço. Os totais pluviométricos reduzem-se em direção as depressões formadas pelo vale do Rio São Francisco, onde predominam elevações entre 600 e 700 m.

(a) Novembro



(b) Dezembro



(c) Janeiro

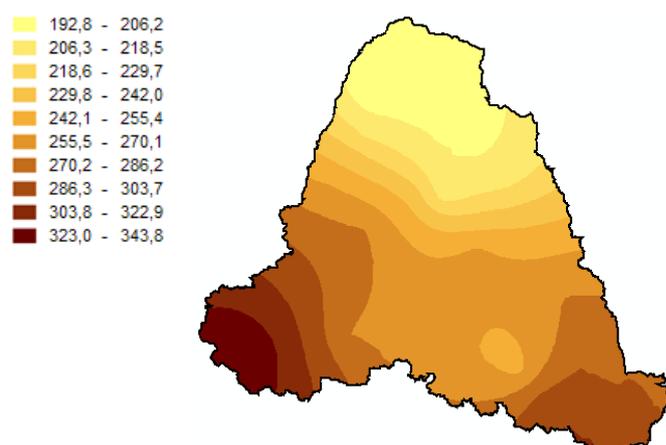


Figura 2.4 – Distribuição espacial da precipitação (mm) na região à montante da UHE de Três Marias, válidas para a estação chuvosa na região. (a) Novembro, (b) Dezembro, (c) Janeiro e (d) Fevereiro. Valores climatológicos do período de 1987 a 2007 extraídos de 13 postos pluviométricos selecionados na região.

FONTE: ONS (2009).

Figura 2.4 – Continuação.

(d) Fevereiro

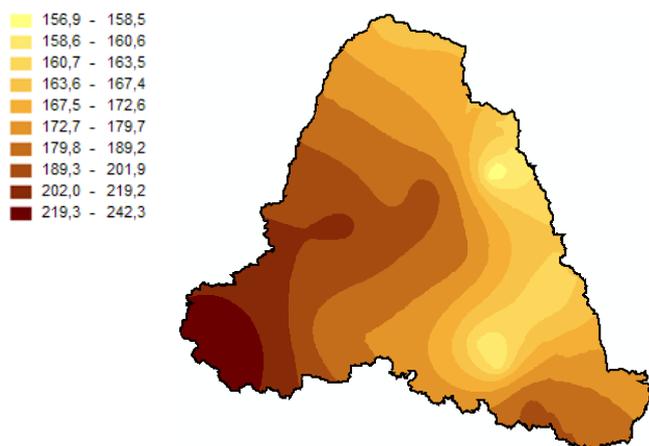


Figura 2.4 – Final.

3. METODOLOGIA E DADOS

Neste capítulo são descritos no item 3.1 os dados observacionais de precipitação utilizadas neste trabalho. Uma breve descrição das características do Modelo Eta são apresentadas no item 3.2. A descrição das previsões sazonais por conjunto geradas com o modelo Eta-Sazonal-15km encontram-se no item 3.3. E finalmente, na seção 3.4 a metodologia empregada para a avaliação das previsões sazonais de precipitação geradas com modelo Eta-Sazonal-15km.

3.1 Dados Utilizados

Dados Observacionais de Precipitação: Totais mensais de precipitação do período de novembro a fevereiro (2001 a 2010) coletados nas estações do INMET e nos postos pluviométricos da Agência Nacional de Águas (ANA) e da CEMIG são utilizados neste

trabalho para avaliar as previsões sazonais a ser apresentada. São consideradas 58 estações localizadas na área em estudo, sendo que em algumas estações é utilizada a técnica de preenchimento de dados denominada Método do Coeficiente de Correlação Modificado, ponderado pelo inverso da distância (CIDW – Modified Correlation Coefficient with Inverse Distance Weighting Method), descrito em Suhaila et.al., 2008 para preenchimento dos dados faltantes. A Tabela 3.1 apresenta as informações referentes as 58 estações utilizadas no trabalho e a localização dos respectivos pontos de grade do modelo Eta-Sazonal-15km mais próximos a cada estação.

Ao longo do trabalho elaboram-se avaliações das previsões de precipitação do modelo Eta-Sazonal-15km, confrontando-as com os dados observacionais. Comparando-se as altitudes reais das estações meteorológicas com as altitudes dos pontos de grade do modelo mais próximos às estações, apresentadas na Tabela 3.1, nota-se que existem diferenças consideráveis, o que pode afetar a qualidade da previsão de precipitação nesses pontos. Como exemplo de tais diferenças entre as altitudes, observa-se na Tabela 3.1 que o ponto de grade localizado mais próximo à estação de Melo Franco localiza-se a 1133 m enquanto a altitude real da estação é de 761 m.

Tabela 3.1 – Informações referentes as estações da CEMIG, INMET e ANA utilizadas neste trabalho.

Núm.	Estações	Órgão Responsável	Localização da Estação			Localização do ponto de grade do modelo Eta		
			Lat (°S)	Lon (° W)	Alt. (m)	Lat (°S)	Lon (° W)	Alt. (m)
1	Cajuru	CEMIG	-20,24	-44,75	722	-20,3	-44,8	822
2	Ponte Br 040	CEMIG	-18,11	-45,46	798	-18,05	-45,80	705
3	Ponte dos Vilelas	CEMIG	-20,40	-44,63	839	-20,45	-44,65	824
4	Porto Mesquita	CEMIG	-19,17	-44,70	637	-19,10	-44,65	681
5	Porto Pará	CEMIG	-19,29	-45,11	674	-19,25	-45,10	654
6	Rio de Pedras	CEMIG	-20,21	-43,73	870	-20,15	-44,05	1222
7	São Roque de Minas	CEMIG	-20,20	-46,57	818	-20,15	-46,45	1057
8	Gafanhoto	CEMIG	-20,12	-44,83	762	-20,15	-44,80	823
9	Pari Copasa	CEMIG	-20,17	-44,90	703	-20,15	-44,95	879

10	Porto Indaiá	CEMIG	-18,68	-45,63	804	-18,65	-45,70	796
11	Quartel Geral	CEMIG	-19,29	-45,57	688	-19,25	45,55	657
12	Três Marias	CEMIG	-18,22	-45,26	569	-18,20	-45,25	655
13	Pompéu	INMET	-19,21	-45,00	691	-19,25	-44,95	699
14	Florestal	INMET	-19,86	-44,41	745	-19,85	-44,35	1006
15	Ibirité	INMET	-20,01	-44,05	815	-20,00	-44,05	1029
16	Bom Despacho	INMET	-19,68	-45,36	738	-19,70	-45,40	768
17	Centro de Operação e Apoio	INMET	-19,91	-44,07	930	-19,85	-44,05	955
18	Lagoa do Gouvéia	ANA	-18,84	-45,85	1035	-18,80	-45,85	898
19	Barra do Funchal	ANA	-19,39	-45,88	720	-19,40	-45,85	822
20	Felixlândia	ANA	-18,50	-45,25	628	-18,50	-45,25	654
21	Lagoa da Prata	ANA	-20,02	-45,53	658	-20,00	-45,55	822
22	Silva Campos	ANA	-19,09	-44,95	662	-19,10	-44,95	656
23	Barro Preto	ANA	-19,96	-44,45	847	-20,00	-44,50	957
24	Entre Rio de Minas	ANA	-20,66	-44,07	885	-20,00	-44,05	1010
25	Fazenda Benedito Chaves	ANA	-20,17	-44,52	944	-20,15	-44,50	944
26	Melo Franco	ANA	-20,20	-44,12	761	-20,15	-44,20	1134
27	Papagaios	ANA	-19,43	-44,72	703	-19,40	-44,65	822
28	Ponte Nova do Paraopeba	ANA	-19,96	-44,31	721	-20,00	-44,35	1010
29	Bambuú	ANA	-20,02	-45,97	654	-20,00	-46,00	830
30	Pium I	ANA	-20,46	-45,95	806	-20,45	-46,00	840
31	Fazenda São Felix	ANA	-18,46	-45,65	760	-18,5	-45,70	729
32	Andrequice – Três Marias	ANA	-18,28	-45,00	852	-18,35	-45,10	655
33	Horto Florestal	ANA	-19,27	-44,40	733	-19,25	-44,35	823
34	Jaguaruna - Jusante	ANA	-19,73	-44,81	684	-19,70	-44,80	848
35	Velho da Taipa	ANA	-19,70	-44,93	585	-19,7	-44,95	744
36	Ponte da Taquara	ANA	-19,42	-44,55	624	-19,40	-44,50	823
37	Betim – Copasa	ANA	-19,97	-44,19	822	-20,00	-44,20	1010
38	Fortuna de Minas	ANA	-19,56	-44,45	729	-19,55	-44,50	823
39	Estação Alvaro da Silveira	ANA	-19,75	-45,12	648	-19,70	-45,10	694
40	Bom Despacho	ANA	-19,74	-45,26	750	-19,70	-45,25	795
41	Dores do Indaiá (Cvsf)	ANA	-19,47	-45,60	962	-19,40	-45,55	710

42	Abaeté	ANA	-19,16	-45,44	565	-19,10	-45,40	655
43	Taquaral	ANA	-19,67	-45,65	590	-19,70	-45,70	823
44	Porto das Andorinhas	ANA	-19,28	-45,29	566	-19,25	-45,25	655
45	Martinho Campos	ANA	-19,33	-45,23	562	-19,4	-45,25	655
46	Tapiraí -Jusante	ANA	-19,88	-46,03	670	-19,85	-46,00	824
47	São José da Bela Vista	ANA	-19,53	-46,10	1150	-19,55	-46,15	687
48	Congonhas – Linígrafo	ANA	-20,52	-43,83	871	-20,45	-44,05	1027
49	Fazenda Campo Grande	ANA	-20,63	-44,43	915	-20,60	-44,50	976
50	Alto da Boa Vista	ANA	-20,11	-44,40	905	-20,15	-44,35	1010
51	Carmo da Mata	ANA	-20,56	-44,87	749	-20,60	-44,80	874
52	Iguatama Montante	ANA	-20,18	-45,70	606	-20,15	-45,70	823
53	Lamounier	ANA	-20,47	-45,04	738	-20,45	-45,10	858
54	Arcos (Copasa)	ANA	-20,29	-45,54	791	-20,30	-45,55	827
55	Santo Antônio do Monte	ANA	-20,08	-45,30	950	-20,00	-45,25	823
56	Fazenda Ajudas	ANA	-20,10	-46,06	705	-20,15	-45,25	887
57	Vargem Bonita	ANA	-20,33	-46,37	743	-20,30	-46,30	876
58	Fazenda Samburá	ANA	-20,15	-46,28	734	-20,15	-46,30	935

A Figura 3.1 apresenta a distribuição geográfica das 58 estações utilizadas nesse trabalho inseridas na região em estudo.

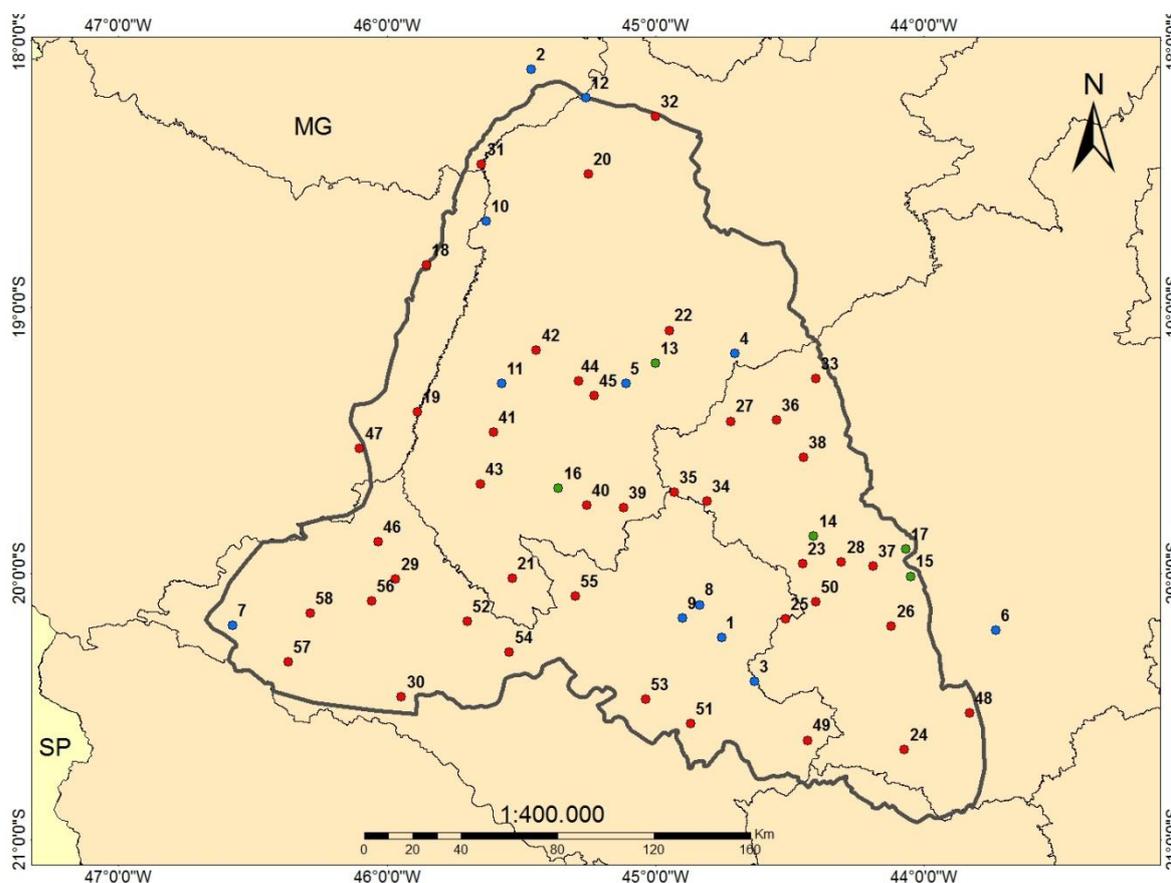


Figura 3.1 – Estações da ANA (em vermelho), CEMIG (em azul) e do INMET (em verde), utilizadas neste trabalho. A linha preta grossa delimita a área da Bacia do Rio São Francisco à montante da UHE Três Marias.

3.2 Modelo Eta

O modelo Eta foi desenvolvido na Sérvia (MESINGER et al., 1988) e tornado operacional no National Centers for Environmental Prediction (NCEP) (BLACK, 1994). É um modelo de área limitada em ponto de grade. O nome do modelo é a letra grega η usada para definir a sua coordenada vertical (MESINGER, 1984) que é aproximadamente horizontal mesmo em regiões de elevada topografia. A coordenada η é adequada para uso em regiões de topografia íngreme onde erros numéricos costumam surgir nas coordenadas comumente usadas em modelos atmosféricos.

As variáveis prognósticas são: temperatura, umidade, vento horizontal, pressão à superfície, energia cinética turbulenta, umidade e temperatura do solo e água líquida ou gelo das nuvens. Há uma longa lista de variáveis diagnósticas processadas durante a previsão e fornecidas em intervalos regulares: temperatura e umidade do abrigo, vento a 10 metros, fluxos de radiação de onda curta e longa a superfície, fluxos de calor latente e sensível, umidade relativa do ar, e outras.

O esquema de integração numérica é por particionamento explícito. Os termos de ajuste devido às ondas de gravidade são tratados pelo esquema ‘forward-backward’ modificado por Janjic (1979). O passo de tempo fundamental do modelo é aplicado aos termos de ajuste, que equivale à metade do passo de tempo dos termos de advecção. O esquema de diferenças finitas no espaço suprime a separação das ondas de gravidade das duas subgrades c (MESINGER, 1974; JANJIC, 1979). A difusão horizontal é não-linear de 2ª ordem. A condição de contorno lateral é prescrita em uma fileira nos quatro contornos laterais.

O modelo possui todos os esquemas de parametrização de processos físicos comuns em modelos atmosféricos operacionais. As misturas turbulentas na atmosfera são resolvidas pelo esquema de Mellor-Yamada (1974) no nível de fechamento 2.5, em que a energia cinética turbulenta é prevista. As trocas de energia à superfície se baseiam na teoria de similaridade de Monin-Obukhov e utilizam as funções de estabilidade de Paulson. O tratamento dos fluxos radiativos na atmosfera foi desenvolvido pelo Geophysical Fluid Dynamics Laboratory, sendo que radiação de onda curta se baseia no esquema de Lacis e Hansen (1974) e a radiação de onda longa se baseia no esquema de Fels e Schwarzkopf (1975). As taxas de aquecimento ou resfriamento devido aos processos radiativos são recalculadas a cada hora de integração numérica. A produção de chuva convectiva se baseia no esquema do tipo ajuste convectivo de Betts-Miller-Janjic (BETTS e MILLER, 1986; JANJIC, 1994). Neste esquema o perfil termodinamicamente instável é ajustado em direção a um perfil de referência. As nuvens de origem não convectiva e a chuva associada são representadas pelo esquema de microfísica de nuvens de Zhao (ZHAO et al., 1997) na versão climática e pelo esquema de Ferrier (2003) nas versões de previsão de tempo. A hidrologia do modelo é representada pelo esquema NOAH (EK, 2003). O esquema possui 4 camadas no solo e utiliza 9 tipos de solo, e a cobertura vegetal distingue 12 tipos. A temperatura da superfície do mar é proveniente de uma média semanal, atualizada diariamente, e possui a resolução espacial de 1° de latitude por 1° de longitude.

O modelo é de domínio público e está disponível no endereço: <http://etamodel.cptec.inpe.br/download.shtml>. As principais características do modelo estão listadas em Pielke (2002) e as recentes atualizações do modelo em Mesinger et al. (2012).

3.3 Configuração da versão climática sazonal em alta resolução

A versão utilizada neste trabalho é a mesma versão de previsão sazonal usada operacionalmente no CPTEC (Eta-Sazonal-40km). O domínio do modelo utilizado neste trabalho, cobre todo o território brasileiro (Figura 3.2). A área coberta pelo modelo emprega 237x435 pontos na horizontal e 38 níveis na vertical, correspondendo a resolução horizontal de 15 km. A grade pós-processada tem 320x273 pontos na horizontal e 20 níveis de pressão na vertical. O topo do modelo está em 50 hPa. As condições iniciais são fornecidas pelas análises do NCEP, enquanto que para as condições de contorno lateral (atualizadas a cada 6 horas) são utilizadas as previsões pós-processadas do modelo Eta-Sazonal-40km utilizado operacionalmente no CPTEC/INPE. As condições de contorno inferiores são: a) Temperatura da superfície do mar: resolução de $1^\circ \times 1^\circ$ em latitude e longitude, atualizada diariamente, anomalia observada persistida para o período de integração e b) Umidade do solo inicial: climatologia sazonal. A configuração do modelo Eta-Sazonal-15km está descrita na Tabela 3.2.

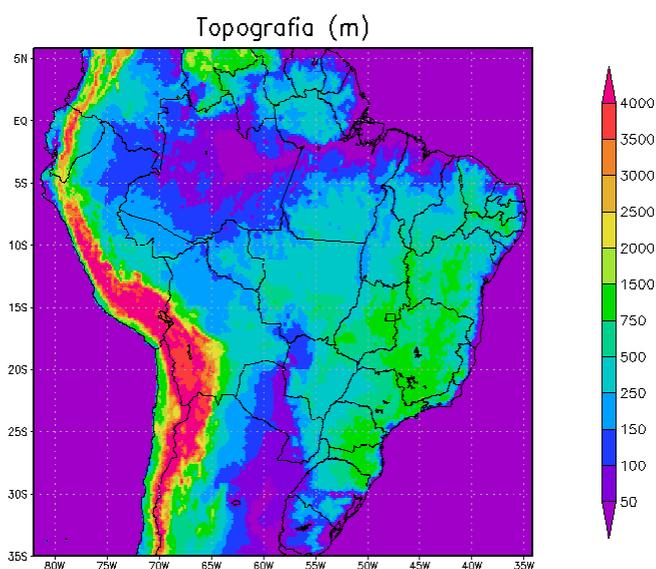


Figura 3.2: Topografia (m) no domínio do modelo Eta-Sazonal-15km.

Tabela 3.2: Configuração do modelo Eta-Sazonal-15km para o Brasil.

Domínio	Brasil
Grade do modelo (im x jm x lm)	237x435x38
Grade pós-processada (lat x lon x níveis de pressão)	320x273x20
Ponto central	58°W;15°S
Resolução horizontal	15 km
Passo de tempo do modelo	40 segundos
Condições Iniciais (CI)	Análise do NCEP interpolada para a grade do Eta-Sazonal-40km
Condições de Contorno Lateral (CCL)	Previsões pós-processadas do modelo Eta-Sazonal-40km
Frequência da atualização das CCL	A cada 6 horas
Condições de Contorno Inferiores	- Temperatura da Superfície do Mar (TSM) atualizada diariamente, 1° x 1° (lat x lon), anomalia observada da TSM persistida durante toda a integração; -Climatologia sazonal da umidade do solo.
Prazo de previsão	4,5 meses
Número de integrações	5 integrações para cada mês do ano partindo dos dias 13, 14, 15, 16 e 17
Número de processadores	32
Tempo de integração	22,5 horas para 4,5 meses de previsão
Parâmetros convectivos	Valores dos parâmetros convectivos dos perfis de referência de temperatura e umidade, sobre continente e oceano, tempo de relaxação convectivo. DSPBFL=-4500; DSP0FL=-5500; DSPTFL=-2000; FSL=0.85 DSPBFS=-3875; DSP0FS=-5875; DSPTFS=-1875; FSS=0.85 TREL=2900; UNIS=UNIL=FALSE
Mapa de solo	9 tipos
Land cover original map	PROVEG-INPE, 1km, Sestini et al 2002.
Topografia original	USGS 1km
Ozônio	Média zonal climatológica

A construção da climatologia da versão do modelo Eta-sazonal-15km foi feita seguindo a metodologia já empregada na primeira versão determinística do modelo Eta sazonal no CPTEC (BUSTAMANTE et al., 2006) e da atual versão implementada operacionalmente em 2011 (BUSTAMANTE et al., 2012).

De todo o conjunto de integrações sazonais (ver Tabela 3.3), apenas aquelas iniciadas em outubro, estendendo-se até o final de fevereiro, foram utilizadas neste trabalho. O objetivo foi avaliar a performance do modelo durante o período chuvoso da região em estudo, ou seja, a região a montante da UHE de Três Marias. Os primeiros dias

de integrações foram descartados (previsões do mês de outubro), analisando-se o período de novembro a fevereiro, desde 2001 a 2010. Ressalta-se que o que está sendo chamado por exemplo de conjunto de previsões de 2001 refere-se as previsões de 4 meses, de novembro de 2001 a fevereiro de 2002, e assim por diante até as previsões de 2010, que se encerram em fevereiro de 2011. A precipitação prevista pelo modelo Eta-Sazonal-15km é acumulada no período de 31/10 – 12 UTC até 28/02 – 12 UTC para analisar a chuva acumulada no período de novembro a fevereiro.

Tabela 3.3: Condições iniciais dos conjuntos das previsões sazonais do modelo Eta-Sazonal-15km utilizadas neste trabalho.

Ano	Cis	Previsões	Total de integrações
2001	13, 14, 15, 16 e 17 outubro de 2001	Novembro de 2001 Dezembro de 2001 Janeiro de 2002 Fevereiro de 2002	5 integrações de 4,5 meses
2002	13, 14, 15, 16 e 17 outubro de 2002	Novembro de 2002 Dezembro de 2002 Janeiro de 2003 Fevereiro de 2003	5 integrações de 4,5 meses
...
2010	13, 14, 15, 16 e 17 de outubro de 2010	Novembro de 2010 Dezembro de 2010 Janeiro de 2011 Fevereiro de 2011	5 integrações de 4,5 meses
Total			50 integrações de 4,5 meses

As avaliações das previsões de precipitação do modelo Eta-15km são elaboradas confrontando-se o valor da precipitação prevista na caixa de grade do modelo e a precipitação observada na estação meteorológica contida na mesma caixa de grade. Portanto, são avaliados 580 previsões de precipitação (58 localidades x 10 anos).

Na Figura 3.3 apresenta-se a topografia e a localização dos pontos de grade do Eta-Sazonal-15km em detalhe na região de estudo (reservatório da Usina Hidrelétrica de Três Marias) localizada entre os paralelos 18,05°S a 21,05°S e meridianos 43°W a 47,05°W, totalizando-se 588 pontos de grade na área (21 pontos de latitude por 28 pontos de longitude). O número no centro de cada quadrado equivale ao valor médio de altitude (m) do modelo para toda a área do quadrado.

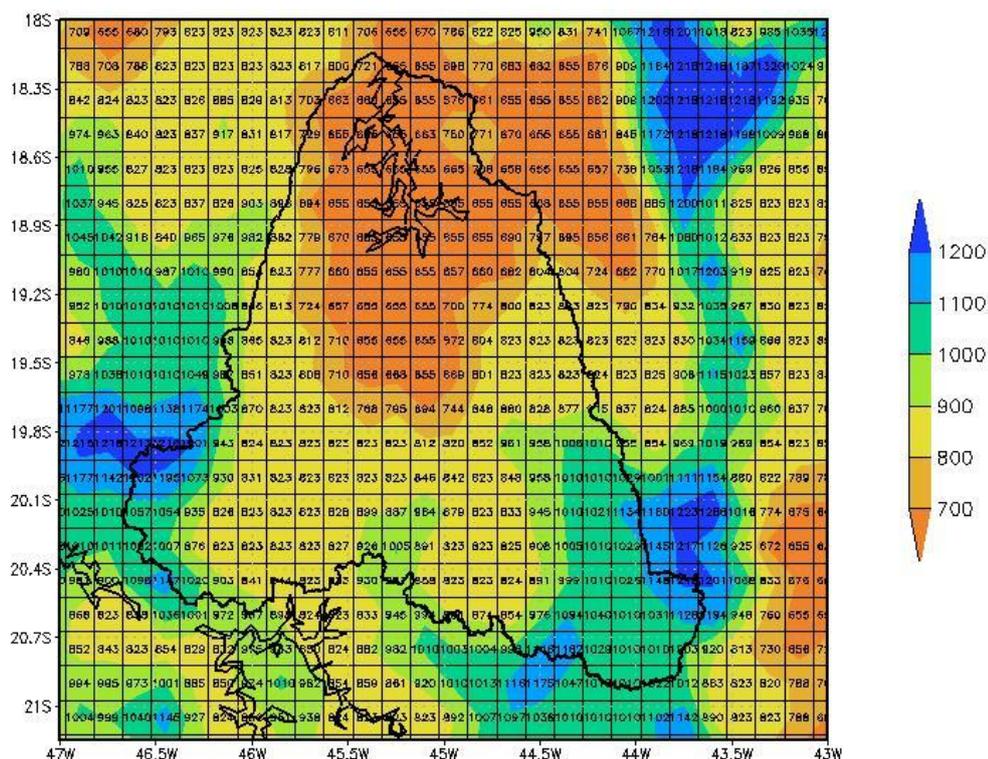


Figura 3.3 – Topografia (m) do modelo Eta-Sazonal-15km na área da Bacia do Rio São Francisco à montante da UHE Três Marias.

Os campos de anomalia da temperatura da superfície do mar (ATSM) do mês de outubro utilizados para integrar o modelo Eta-Sazonal-15km, persistidos nos meses de novembro a fevereiro para os anos de 2001 a 2010 são apresentados na Figura 3.4. Destaca-se na figura os intensos eventos La Niña de 2007 e 2010 (Figura 3.4 g e j). De acordo com CPTEC/INPE eventos El Niño foram configurados no período estudado (2001 a 2010) nos anos de 2002, 2004, 2006 e 2009.

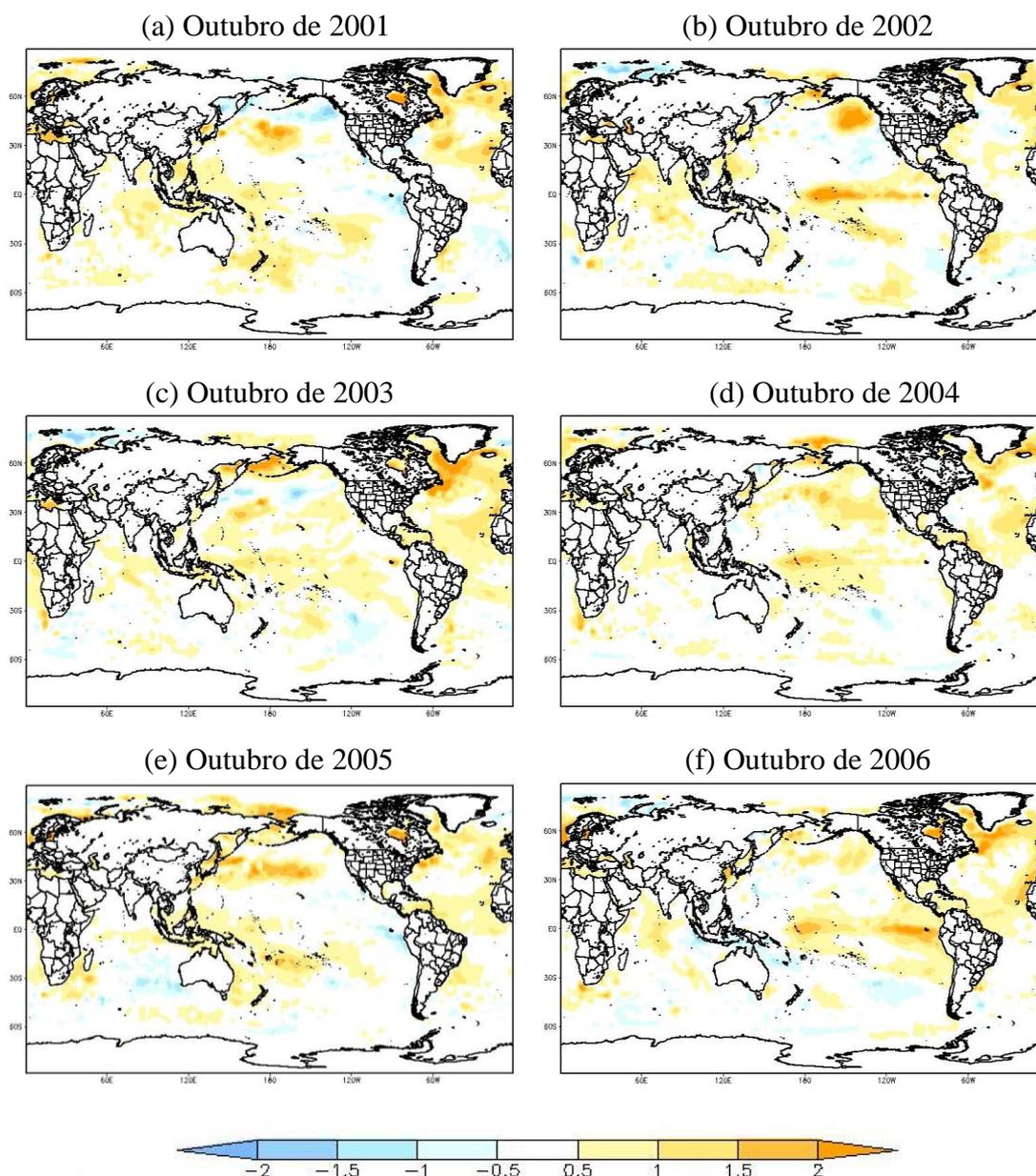


Figura 3.4 – Campos de anomalia da temperatura da superfície do mar (ATSM) (°C) do mês de outubro, persistidos durante os 4,5 meses de integração, para os anos de: (a) 2001, (b) 2002, (c) 2003, (d) 2004, (e) 2005, (f) 2006, (g) 2007, (h) 2008, (i) 2009 e (j) 2010. Fonte: http://www.esrl.noaa.gov/psd/cgi-bin/db_search/DBSearch.pl?Dataset=NOAA+Optimum+Interpolation+%28OI%29+SST+V2&Variable=Sea+Surface+Temperature

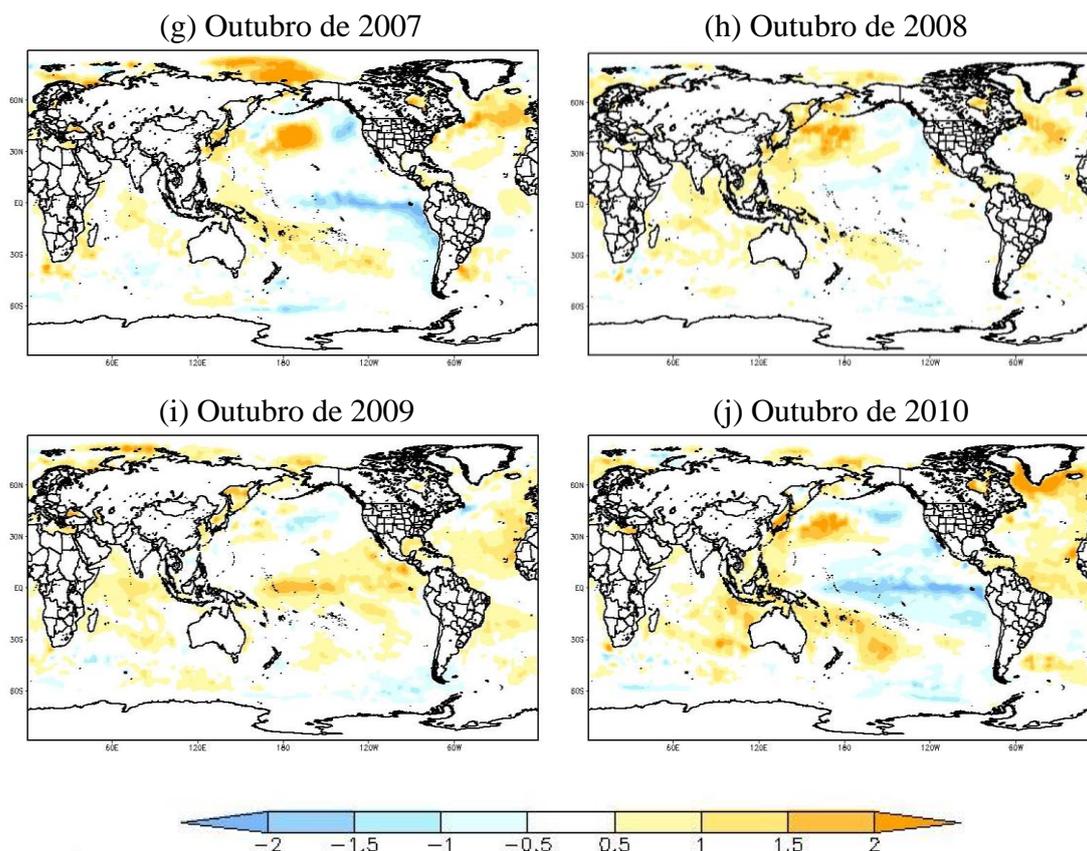


Figura 3.4 – Final.

Os campos de diferença entre a ATSM persistida no modelo (observada em outubro) e as ATSMs observadas (em novembro, dezembro, janeiro e fevereiro) são elaborados para cada ano, desde 2001 até 2010 (Figuras não apresentadas). A partir desta análise fica claro que a ATSM muda bastante de outubro até fevereiro. Isto certamente afeta negativamente a previsão de precipitação que utiliza como condição de contorno a ATSM persistida do mês de outubro para os meses de novembro, dezembro, janeiro e fevereiro. Dois exemplo desta situação podem ser observado nas Figuras 3.5 e 3.6, respectivamente para os anos de 2005 e 2010. Verifica-se na Figura 3.5 que no primeiro mês de previsão (novembro) as diferenças de ATSM no Oceano Atlântico Sul, a leste da América do Sul, que já são consideráveis, chegando a $+1,5^{\circ}\text{C}$ em algumas áreas, aumentam a cada mês, chegando em fevereiro (Fig. 3.5 d) a $-2,0^{\circ}\text{C}$ em amplas áreas do Atlântico e também no Pacífico. Na Figura 3.6, observa-se já no primeiro mês de previsão, um sinal de ATSM negativa próximo à costa do Peru, essas anomalias aumentam no decorrer do tempo sendo que as áreas de ATSM negativas se ampliam em direção ao Pacífico Oeste. As maiores magnitudes encontram-se no mês de fevereiro nos Oceanos Pacífico (-2°C) e Atlântico Sul ($+2^{\circ}\text{C}$).

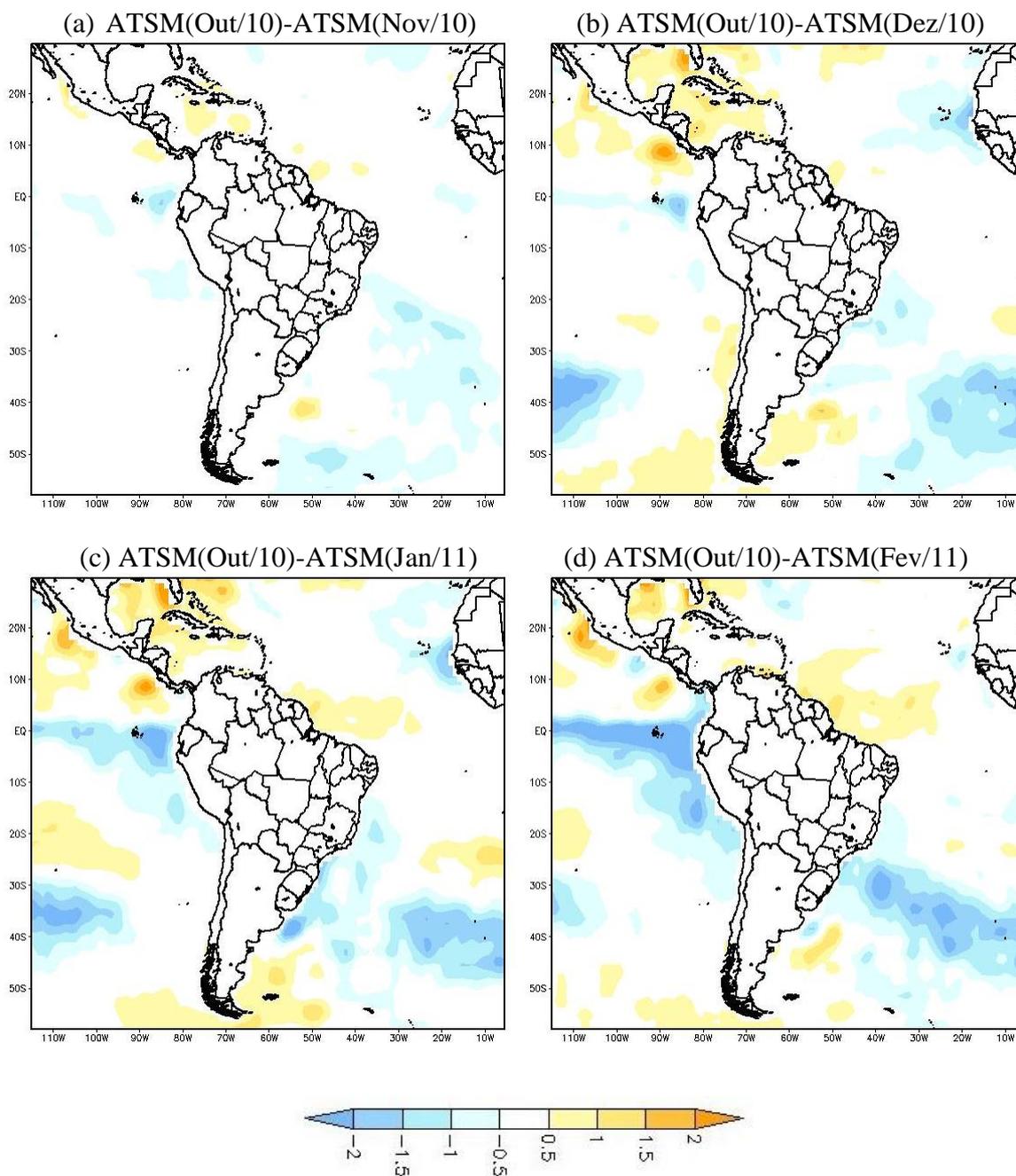
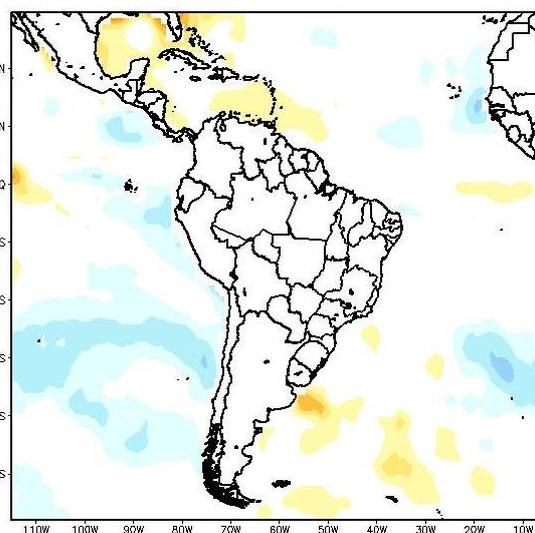
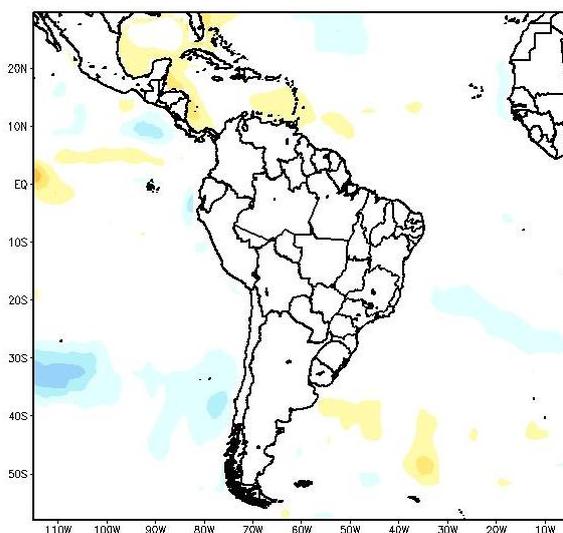


Figura 3.5 – Campos da diferença da anomalia da temperatura da superfície do mar - ATSM (em °C) de outubro de 2010 em relação a ATSM de (a) novembro de 2010, (b) dezembro de 2010, (c) janeiro de 2011 e (d) fevereiro de 2011. Fonte: http://www.esrl.noaa.gov/psd/cgi-bin/db_search/DBSearch.pl?Dataset=NOAA+Optimum+Interpolation+%28OI%29+SST+V2&Variable=Sea+Surface+Temperature

(a) ATSM(Out/05)-ATSM(Nov/05) (b) ATSM(Out/05)-ATSM(Dez/05)



(c) ATSM(Out/05)-ATSM(Jan/06)

(d) ATSM(Out/05)-ATSM(Fev/06)

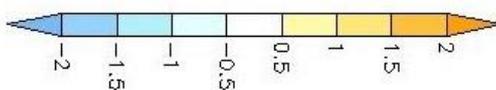
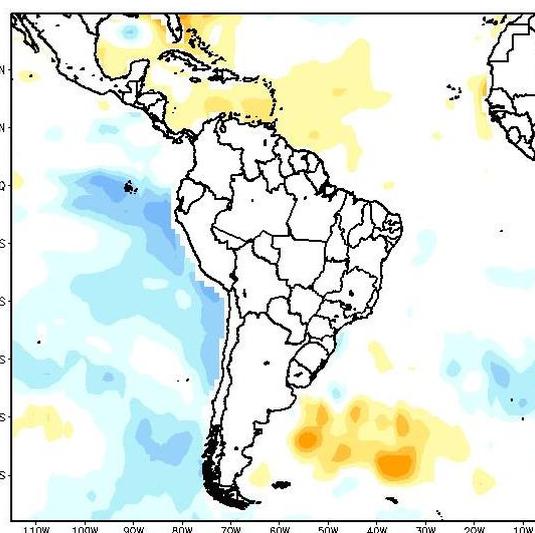
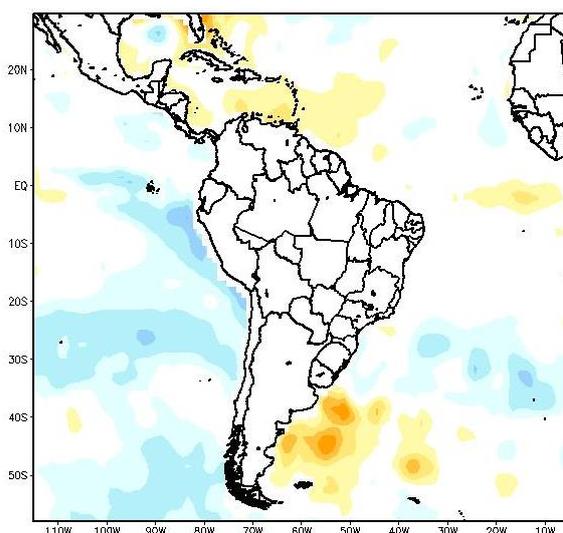


Figura 3.6 – Campos da diferença da anomalia da temperatura da superfície do mar - ATSM (em °C) de outubro de 2005 em relação a ATSM de (a) novembro de 2005, (b) dezembro de 2005, (c) janeiro de 2006 e (d) fevereiro de 2006. Fonte: http://www.esrl.noaa.gov/psd/cgi-bin/db_search/DBSearch.pl?Dataset=NOAA+Optimum+Interpolation+%28OI%29+SST+V2&Variable=Sea+Surface+Temperature

3.4 Métricas de avaliação

Para investigar o desempenho das previsões sazonais de precipitação do modelo Eta-Sazonal-15km na área em estudo (Bacia do Rio São Francisco à montante da UHE de Três Marias) utiliza-se as seguintes métricas: desvio padrão normalizado (DPN) (adaptado de MISRA, 2003), Índice de Acerto da Categoria da Precipitação (IACP), Erro Médio (EM), Raiz do Erro Quadrático Médio (REQM) e o Desvio Padrão (DP) da Previsão e Observação, como descritos a seguir. O DPN e os cálculos do EM, REQM e DP são elaborados para todo o período (dez-fev) e para cada mês individualmente (nov, dez, jan e fev) a fim de testar se a previsibilidade é maior considerando-se todo o período ou cada mês individualmente. O IACP é aplicado apenas para as previsões que consideram os totais pluviométricos do período novembro-fevereiro.

a) Desvio Padrão Normalizado (DPN)

A razão entre o sinal (variabilidade interanual) e o ruído (variabilidade inter-membros ou espalhamento) das previsões, dá uma idéia da confiabilidade das mesmas. Quando o ruído é superior ao sinal a confiabilidade é baixa.

Neste trabalho adotou-se a metodologia utilizada por Misra et al. (2013) para investigar a confiabilidade das previsões, dividindo-se o Desvio Padrão (DP) pelo Desvio Padrão Total (DPT), como apresentado na equação 3.1:

$$DPN = \frac{DP}{DPT}, \quad (3.1)$$

O DP (equação 3.2.) é computado como a raiz quadrada da variância em torno da média do conjunto, que é calculado separadamente para cada ano e depois mediado por todos os 10 anos no período nov-fev.

$$DP = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \sqrt{\frac{1}{(n-1)} \sum_{j=1}^n (x_{ij} - \bar{x}_i)^2}, \quad (3.2)$$

Onde: x_{ij} = precipitação para N anos ($i = 1, 2, \dots, N$) e n membros do conjunto ($j=1, 2, \dots, n$) e

\bar{x}_i = média do conjunto

De forma a comparar espalhamentos de distintas variáveis e entre modelos distintos, Misra et al. (2013) normalizam o DP pelo desvio padrão total (DPT). O DPT (equação 3.3) é obtido pelo desvio em relação à média climatológica (média sobre todas as 5 simulações).

$$DPT = \sqrt{\frac{1}{N(n-1)} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^n (x_{ij} - \bar{x})^2}, \quad (3.3)$$

Onde:

\bar{x} representa a média climatológica do conjunto e é, definida como:

$$\bar{x} = \frac{1}{Nn} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^n (x_{ij})$$

O DPT contém ambos, o sinal da variabilidade interanual e a variabilidade interna (ruído). Desta forma, quando DPN tende a 0 significa ruído mínimo nas previsões e quando DPN tende a 1 significa que o ruído das previsões é o fator dominante.

b) Índice de Acerto da Categoria da Precipitação

O Índice de Acerto da Categoria da Precipitação IACP é aplicado à precipitação prevista na caixa de grade do modelo Eta-Sazonal-15km que contém a observação (pontos listados na Tabela 3.1) e aos dados observacionais coletados nos 58 postos pluviométricos localizados na região em estudo.

O IACP compreende três categorias de chuva "abaixo da faixa normal", "na faixa normal", ou "acima da faixa normal". Nesta classificação, baseada na análise dos tercís, o tercil médio define a faixa normal da distribuição climatológica da chuva acumulada no período em foco, em uma dada localidade. Desta forma, inicialmente calcula-se os valores do limite inferior e do limite superior da faixa normal (percentis 33 e 67) para o período em questão em cada localidade. Caso o total pluviométrico acumulado no período seja menor do que o valor correspondente ao percentil 33, o período é considerado seco, se for maior do que o percentil 67 é classificado como chuvoso e se estiver entre os limiares dos percentis 33 e 67 é considerado como neutro.

Tanto para os dados observacionais quanto para as previsões sazonais nos pontos de

grade do modelo, o período considerado para o estabelecimento dos limiares que definem as categorias da chuva, foi o de 2001 a 2010. Quando os totais pluviométricos previstos pelo modelo e pela observação caem na mesma categoria, significa que a precipitação no ponto de grade mais próximo à estação meteorológica, foi prevista com sucesso. No final, soma-se o número de acertos para identificar a porcentagem de previsões de precipitação corretas.

c) Índices estatísticos EM, REQM e DP:

Valores de Erro Médio (*EM*), Raiz do Erro Quadrático Médio (*REQM*) e o Desvio Padrão (*DP*) da Previsão são calculados no trabalho. O *EM* é um índice que possibilita o conhecimento do erro sistemático em superestimar ou subestimar os valores de precipitação prevista pelo modelo, enquanto o *REQM* é capaz de fornecer informações a respeito da magnitude dos erros. O *DP* é uma medida de dispersão, ou seja, é um índice estatístico que fornece a informação sobre a variabilidade de uma série de dados, com relação à sua média.

O *EM*, a *REQM* e o *DP*, são calculados, respectivamente pelas equações 3.4, 3.5 e 3.6:

$$EM = \frac{1}{N.L} \sum_{j=1}^{N.L} (P_j - O_j) \quad (3.4)$$

$$REQM = \frac{1}{N.L} \left(\sum_{j=1}^{N.L} (P_j - O_j)^2 \right)^{1/2} \quad (3.5)$$

$$DP = \frac{1}{N.L} \left(\sum_{j=1}^{N.L} (P_j - P_{med})^2 \right)^{1/2} \quad (3.6)$$

Onde:

N é o total de anos (10), P são as previsões (média dos membros) para cada ano (j), O_j é valor da observação no mesmo ponto de grade para cada ano (j), L é o número total de

pontos de grade (58) e P_{med} é a precipitação média considerando-se todos os anos e todos os pontos de grade.

4. AVALIAÇÃO DAS PREVISÕES SAZONAIS DE PRECIPITAÇÃO

Neste capítulo é feita uma avaliação das previsões sazonais de precipitação do Modelo Eta-Sazonal-15km na região de interesse, ou seja, na região da Bacia do Rio São Francisco, a montante da UHE de Três Marias. Nas seções 4.1 e 4.2, apresenta-se as métricas de avaliação das previsões sazonais de precipitação, incluindo o EM, REQM e DP e também uma análise da razão entre o sinal e o ruído das previsões para todo o período (nov-fev) e para cada mês individualmente. O IACP e a avaliação das previsões do sinal da anomalia da precipitação são investigados considerando-se todo o período (nov-fev), são discutidos respectivamente nas seções 4.3 e 4.4.

4.1 Métricas de Avaliação das Previsões

Para os 58 pontos de grade correspondentes a cada posto pluviométrico apresentados na Tabela 1.1, o Erro Médio (EM), a raiz do erro quadrático médio (REQM) e o Desvio Padrão (DP) da Observação e da Previsão foram calculados (ver Tabela 4.1), considerando-se o período de novembro a fevereiro e também cada mês separadamente (novembro, dezembro, janeiro e fevereiro). Nota-se, no modelo, uma tendência em subestimar a precipitação no período nov-fev, em dezembro e em janeiro. A REQM é bastante elevada, maior do que o DP da observação, principalmente quando se considera a avaliação mensal. O mês de janeiro é o que apresenta maior REQM, com 162 mm/mês e o menor valor de REQM ocorre quando se considera o período nov-fev (77 mm/mês). De acordo com os valores de DP encontrados, nota-se que a variabilidade interanual das previsões de precipitação é muito menor, aproximadamente a metade da DP observada, ou seja, o modelo não consegue representar de maneira eficaz a elevada variabilidade interanual da precipitação na região. A partir da análise dos índices estatísticos mensais nota-se que o desempenho do modelo é superior quando se considera todo o período (nov-fev) do que para cada mês individualmente, com menor valor de REQM e da relação entre DP observado e previsto.

Tabela 4.1 – Valores de EM, REQM e DP (mm/mês) de previsões de precipitação do modelo Eta-Sazonal-15km no período novembro-fevereiro dos anos de 2001 a 2010, considerando-se 58 pontos de grade do modelo.

Estatística	NDJF	Novembro	Dezembro	Janeiro	Fevereiro
EM (mm/mês)	-28	7	-74	-49	12
REQM (mm/mês)	77	106	153	162	123
DP Previsão (mm/mês)	43	43	59	63	58
DP Observação (mm/mês)	61	93	122	130	113

4.2 Análise do Sinal/Ruído das Previsões

A Figura 4.1, apresenta o desvio padrão normalizado (DPN) das previsões do modelo Eta-Sazonal-15km, para o período nov-fev e também para cada mês individualmente. Como mencionado anteriormente, no capítulo da metodologia, quanto mais próximo da unidade for o DPN, menor será a confiabilidade na previsão. Como esperado, para as regiões extratropicais, esse valor é alto, o que sugere que a quantidade de ruído nas previsões do modelo é elevada. Nota-se a partir da figura que todos os valores são próximos a unidade e que os valores de DPN para cada mês são mais elevados do que quando se considera todo o período (nov-fev). Por exemplo, no mês de novembro (Figura 4.1a), o DPN atinge o valor 0,9 no sudoeste da área em estudo, enquanto na Figura 4.1e, os valores oscilam entre 0,75 e 0,8. Tais resultados confirmam que a previsão para todo o período (nov-fev) apresenta melhor performance do que as previsões para cada mês individualmente. Desta forma, levando-se em conta tais resultados e aqueles apresentados na seção 4.1, decidiu-se prosseguir com as análises levando-se em conta apenas o período total de novembro a fevereiro.

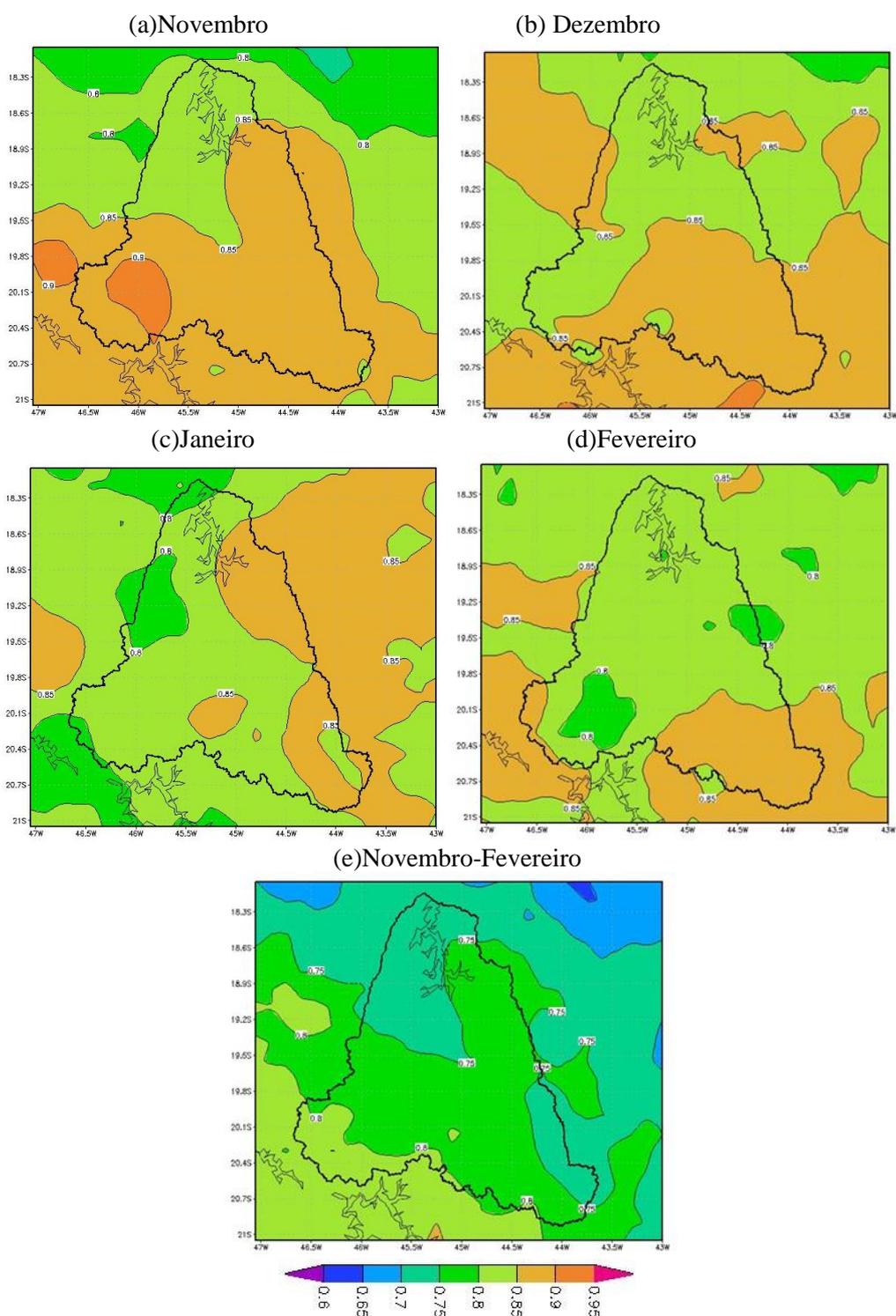


Figura 4.1 – Desvio padrão normalizado (mm/mês), calculado para a previsão sazonal de precipitação gerada pelo modelo Eta-Sazonal-15km, para: (a) Novembro, (b) Dezembro, (c) Janeiro, (d) Fevereiro e (e) Novembro-Fevereiro de 2001 a 2010. A linha em negro delimita o contorno da Bacia do Rio São Francisco à montante da UHE Três Marias.

Um exemplo do espalhamento que ocorre entre os membros do conjunto da previsão pode ser visto na Figura 4.2, elaborada para localidade de Piumhi para o período de novembro a fevereiro. Nota-se que em determinados anos como, por exemplo, em 2009, enquanto o membro 5 (linha amarela) prevê anomalias de precipitação em torno de -500 mm, o membro 4 (linha azul) prevê anomalia de chuva de 200mm. Contudo, apesar da grande dispersão entre os membros, a média do conjunto (linha preta tracejada) consegue acompanhar o comportamento da anomalia observada (linha preta).

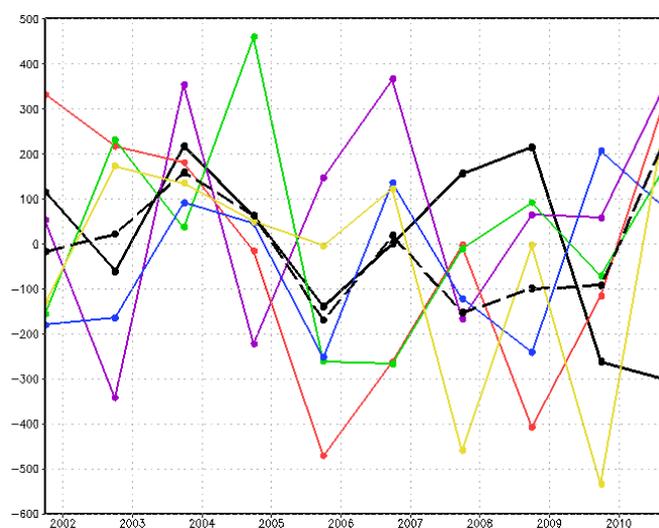


Figura 4.2 – Anomalia da precipitação (mm/4meses) acumulada entre novembro-fevereiro dos anos de 2001 a 2010 em Piumhi. Observação (linha preta); média dos membros (linha preta tracejada); membro 1 (linha roxa); membro 2 (linha vermelha); membro 3 (linha verde); membro 4 (linha azul) e membro 5 (linha amarela).

A fim de exemplificar mais uma vez o grande espalhamento existente entre os membros dos conjuntos das previsões sazonais na área estudada, apresenta-se na Figura 4.3 mapas da anomalia de precipitação prevista para o ano de 2004 por cada um dos 5 membros e também a média do conjunto. Observa-se na figura que os membros 1, 2 e 5 indicam anomalias negativas de precipitação, enquanto os membros 3 e 4 indicam anomalias positivas. Com isso na média dos membros (Figura 4.3 f) as anomalias são próximas de zero, indicando uma previsão de um período normal ou neutro em quase toda a região.

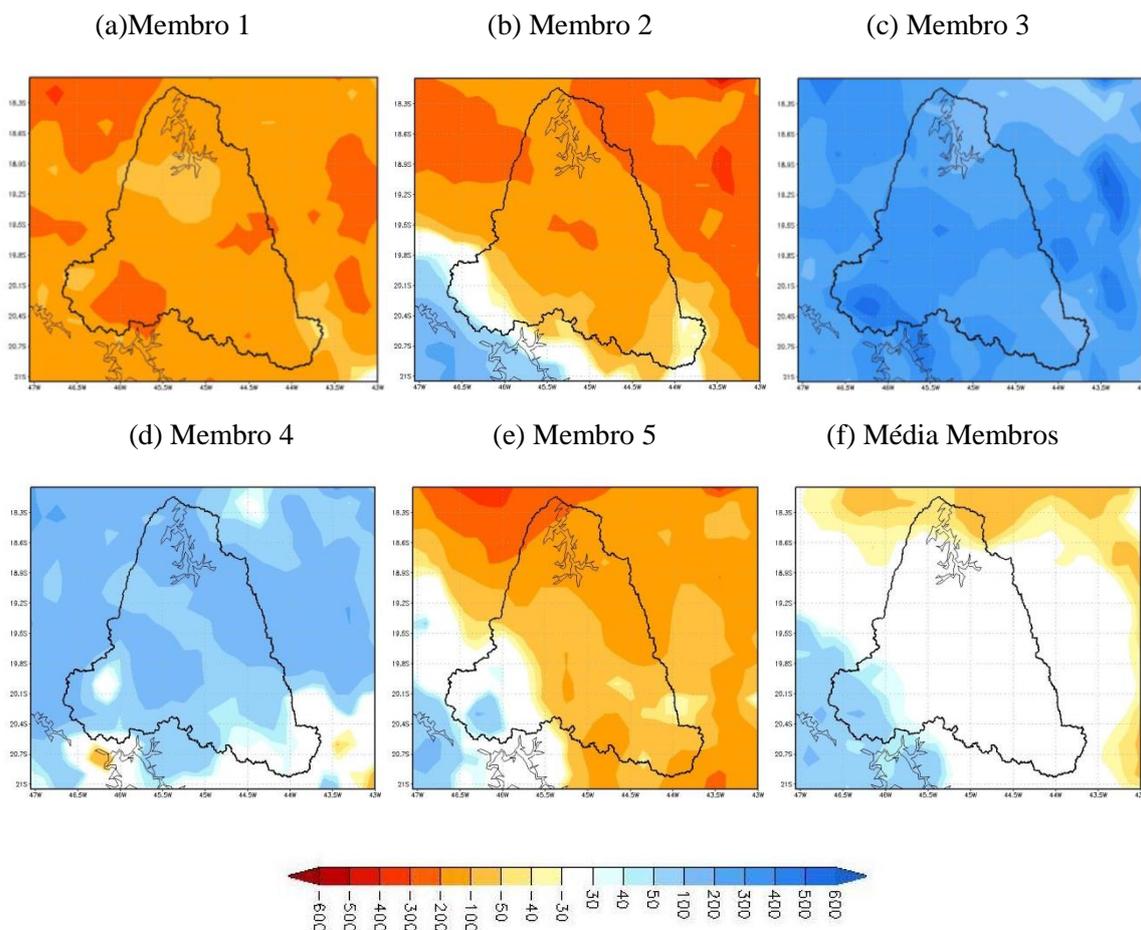


Figura 4.3 – Anomalia da precipitação (mm/4meses) prevista para o período de novembro de 2004 a fevereiro de 2005, previstos por: (a) Membro 1, (b) Membro 2, (c) Membro 3, (d) Membro 4, (e) Membro 5 e (f) Média dos Membros.

Dos dez anos estudados apenas nos anos de 2003, 2007 e 2010 nota-se uma concordância entre os membros com relação ao sinal da anomalia de precipitação, como mostrado na Figura 4.4 para o ano de 2007. Desses três anos, em 2007 e 2010 foi observado um padrão de La Niña intensa no Oceano Pacífico (ver Figura 3.4), o que pode ter contribuído para “direcionar” os membros para um mesmo padrão de anomalia de precipitação. Em 2007 os membros apontaram para uma anomalia negativa e em 2010, anomalia positiva. Análises mais detalhadas precisam ser elaboradas para confirmar se o modelo de fato está configurando circulações típicas de um evento de La Niña nesses dois anos, influenciando desta forma a passagem de transientes na região de estudo, ou se tal comportamento convergente dos membros ocorre aleatoriamente.

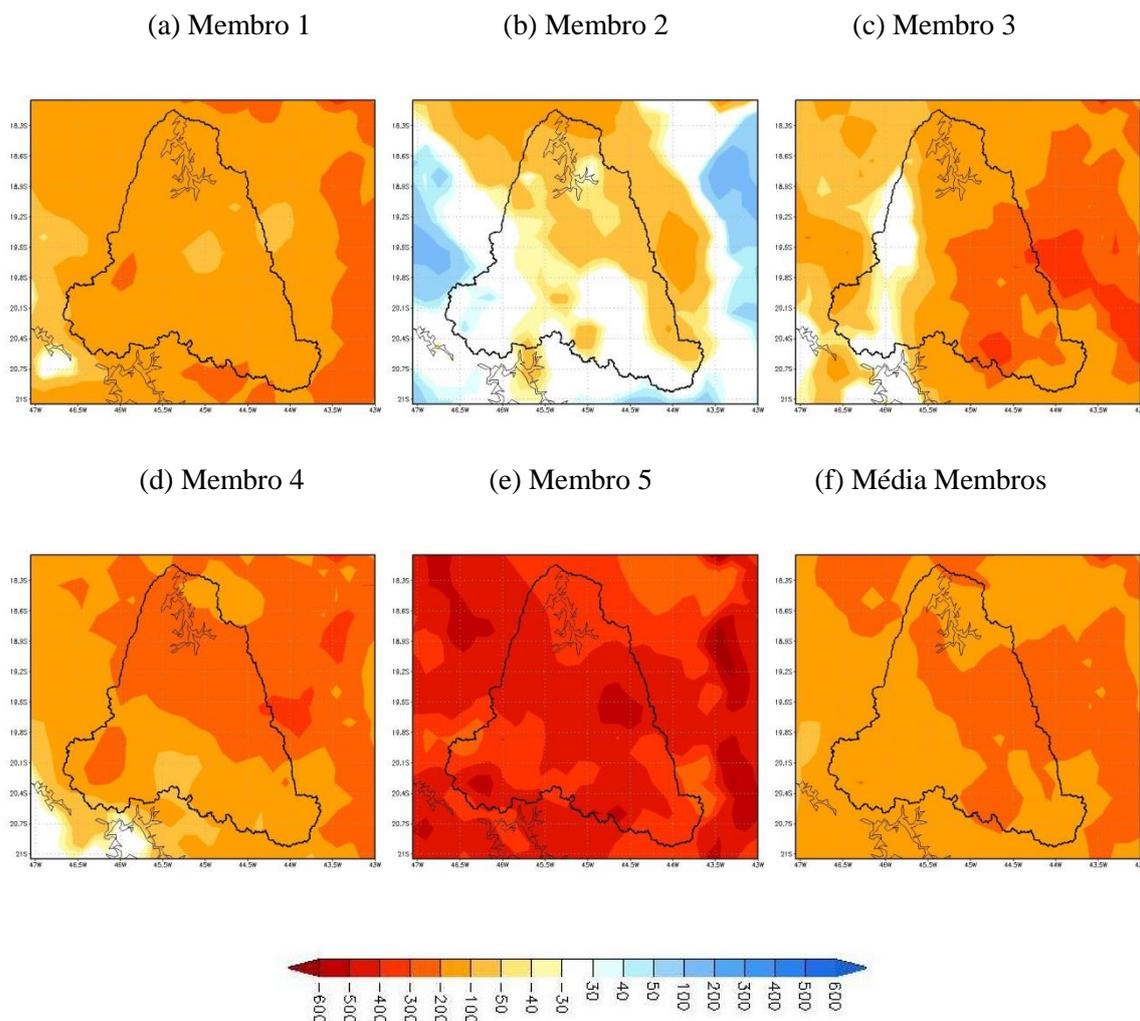


Figura 4.4 – Campos de anomalia da precipitação (mm) prevista para o período de novembro de 2007 a fevereiro de 2008 por: (a) Membro 1, (b) Membro 2, (c) Membro 3, (d) Membro 4, (e) Membro 5 e (f) Média dos Membros.

4.3 Índice de Acerto da Categoria da Precipitação

Um indicador denominado Índice de Acerto da Categoria da Precipitação (IACP) foi criado a fim de quantificar o desempenho do modelo em prever corretamente a categoria da precipitação observada. Os valores do IACP para cada posto pluviométrico (Figura 4.5) variam entre 0 e 70%, sendo que os maiores (menores) valores concentraram-se na região sul (norte) da área em estudo. Observa-se que em apenas um dos 58 postos pluviométricos utilizados nesse estudo no Centro de Operação e Apoio, o IACP foi de 70%, isto é, sete previsões corretas em dez anos. Esse resultado demonstra que apesar do

aspecto caótico da atmosfera na região dos extratropicos, as previsões sazonais deste modelo podem ser utilizadas principalmente no sudeste da região em estudo.

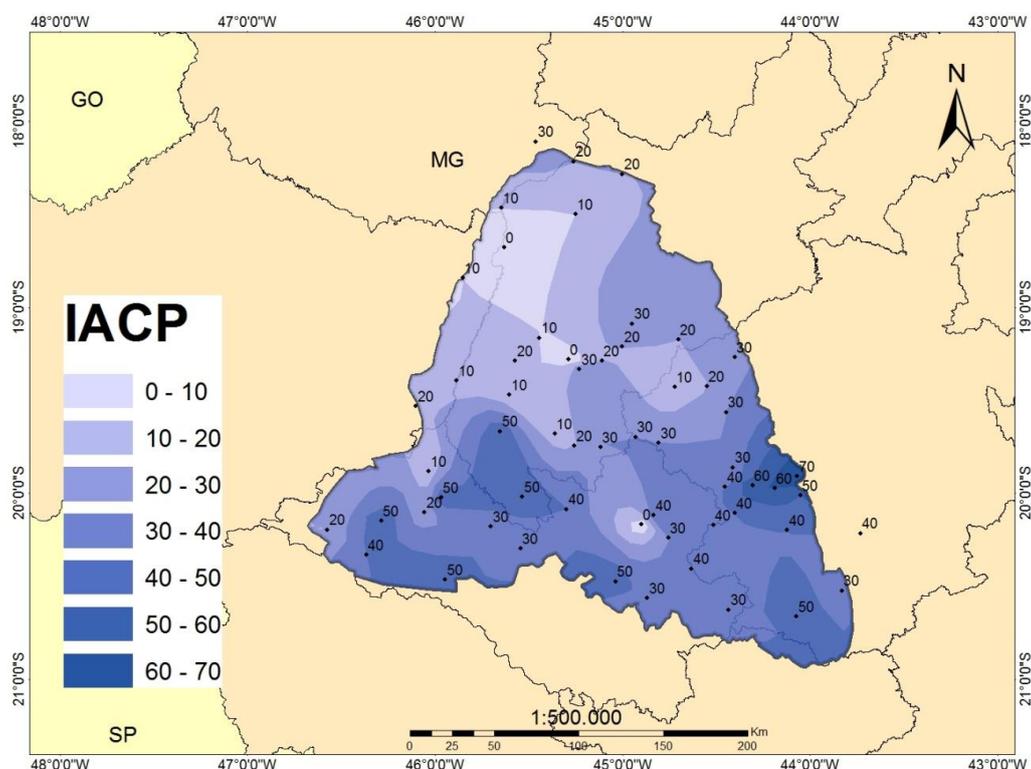


Figura 4.5 – Mapa de IACP, calculado para cada localidade, relativo ao período NDJF de 2001 a 2010.

A Tabela 4.2 apresenta a quantidade de localidades dentre as 58 estações utilizadas, onde a previsão concorda com a categoria da chuva observada, a cada ano. Verifica-se a partir dos dados apresentados na Tabela que no ano de 2005 a precipitação foi prevista corretamente em mais da metade das estações, sendo, portanto o ano de melhor performance do modelo. Uma análise no campo de ATSM ocorrido em outubro de 2005, persistido nas previsões de novembro de 2005 a fevereiro de 2006 (ver Figuras 3.4 e 3.5) mostra que havia uma região de águas frias no Pacífico, próximo a costa do Peru e que nos quatro meses seguintes tal condição foi mantida, ampliando-se as áreas de ATSM negativas em direção ao oeste do Pacífico. No Atlântico, a leste da região em estudo, não se nota diferenças expressivas entre os campos de ATSM persistida e observadas. Desta forma, provavelmente este aspecto contribuiu para a boa performance das previsões neste ano.

Tabela 4.2 – Número de estações com previsão da categoria da precipitação correta no período NDJF a cada ano, desde 2001 até 2010.

Ano	Número de estações com previsão da categoria correta da precipitação (de 58 estações).
2001	29
2002	17
2003	16
2004	23
2005	32
2006	24
2007	15
2008	1
2009	11
2010	3

Ainda de acordo com os resultados da Tabela 4.2, nos anos de 2008 e 2010 ocorrem as piores previsões da categoria da precipitação. A análise do campo de diferença de ATSM para 2010, apresentado na Figura 3.6, indica que grandes diferenças ocorrem tanto no Atlântico como no Pacífico, o que pode ter contribuído para a baixa qualidade da previsões neste ano.

A classificação de anos como secos, neutros e chuvosos confrontando a observação com a previsão é apresentada na Tabela 4.3. Nos anos de 2001 e 2004 predominam na maior parte das estações condições de neutralidade em relação a precipitação, sendo bem previsto pelo modelo. No ano de 2005 as previsões indicam um período seco como de fato observado. Nos demais anos nota-se uma discordância entre as previsões e observações. Observa-se também a partir dos dados apresentados na Tabela 4.3 que existe uma certa homogeneidade com relação a categoria da precipitação prevista nas distintas localidades. Em todos os anos com exceção de 2002, o modelo prevê praticamente a mesma categoria da precipitação em toda a área de estudo. Tal aspecto não se verifica nas observações. Tal resultado comprova que o modelo não consegue representar a grande variabilidade espacial

da precipitação na região de estudo, o que pode estar associado a orografia complexa da região.

Tabela 4.3 – Número de postos pluviométricos de NDJF a cada ano com ocorrência de chuvas abaixo, acima e dentro da normalidade, de acordo com as previsões e observações.

Observação				Previsão			
Ano	Seco	Neutro	Chuvoso	Ano	Seco	Neutro	Chuvoso
2001	2	29	27	2001	0	58	0
2002	16	29	13	2002	0	14	44
2003	9	34	9	2003	0	1	57
2004	20	29	9	2004	0	50	8
2005	32	21	5	2005	58	0	0
2006	1	21	36	2006	0	53	5
2007	15	22	21	2007	58	0	0
2008	1	13	44	2008	55	3	0
2009	49	8	1	2009	3	55	0
2010	26	29	3	2010	0	1	57

4.4 Avaliação da previsão do sinal de anomalia de precipitação

Na Figura 4.6 são apresentados os mapas da anomalia da precipitação observada e prevista na área em estudo para todo o período (NDJF) dos anos de 2001 a 2010. Ressalta-se que para o modelo Eta-Sazonal-15km a figura é construída utilizando-se os 588 pontos de grade (21 pontos de latitude x 28 pontos de longitude) e no caso das observações são usadas 58 estações meteorológicas. Nota-se que as anomalias observadas são maiores (em módulo) do que as anomalias previstas. Além disso, as previsões não conseguem reproduzir a elevada variabilidade espacial observada, ou seja, as previsões tendem a apresentar um padrão

espacial mais homogêneo. Apenas nos anos de 2001, 2004 e 2005 as previsões do sinal de anomalia de precipitação são consideradas coerentes com as observações. Em alguns anos, a previsão é considerada adequada em algumas regiões específicas dentro da região em estudo. Por exemplo, no ano de 2002 a previsão do sinal da anomalia da precipitação é correta no setor sul da região em estudo. No ano de 2003 a previsão é melhor nas bordas da região e, em 2006 no centro-sul da região em estudo.

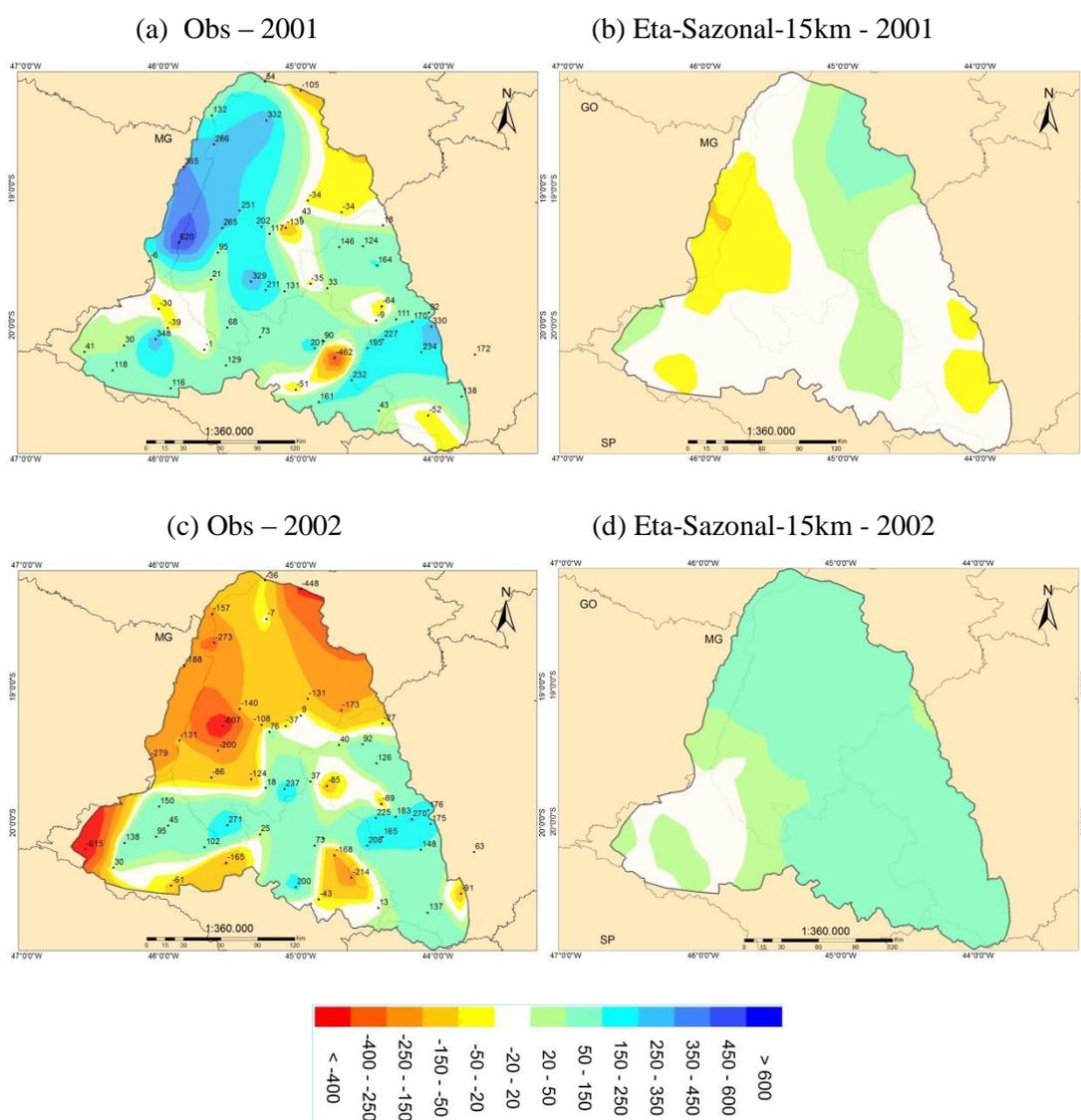
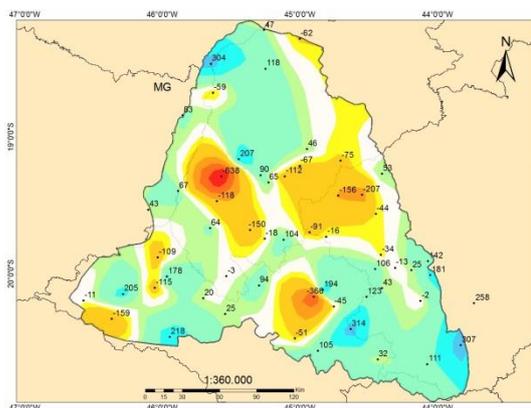
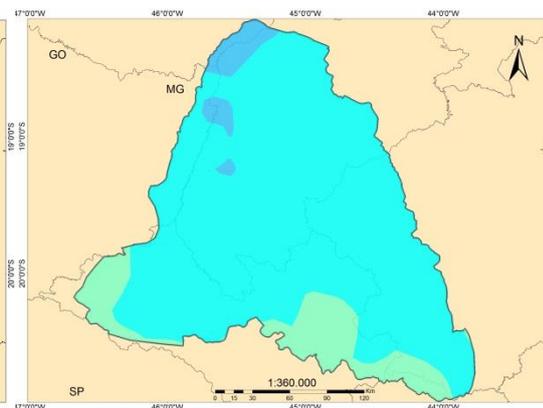


Figura 4.6 – Anomalia da precipitação (mm) totalizada nos meses de novembro a fevereiro dos anos de 2001 a 2010. Na coluna esquerda as observações e na coluna direita as previsões do modelo Eta-Sazonal-15km.

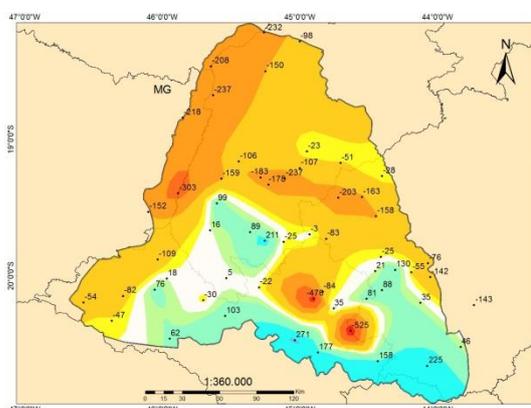
(e) Obs – 2003



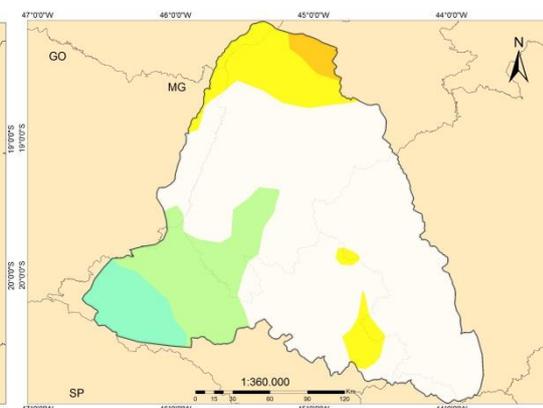
(f) Eta-Sazonal-15km - 2003



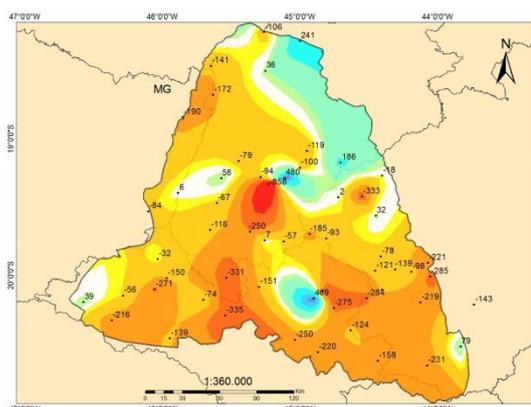
(g) Obs – 2004



(h) Eta-Sazonal-15km - 2004



(i) Obs – 2005



(j) Eta-Sazonal-15km - 2005

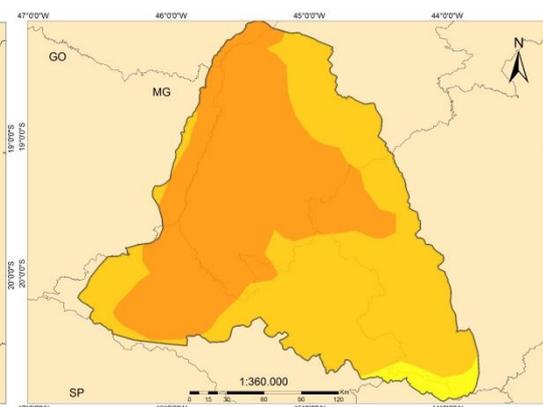
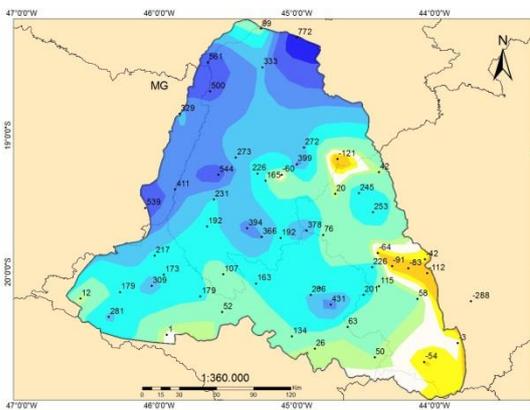
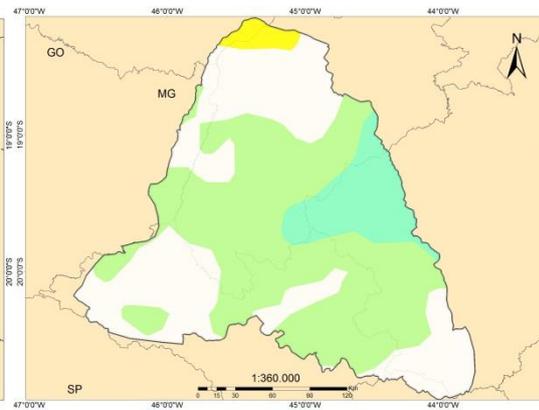


Figura 4.6 – Continuação.

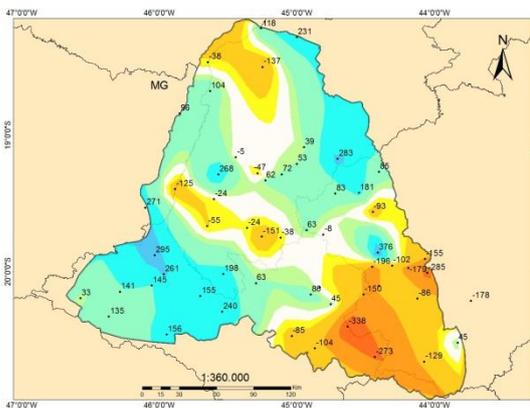
(k) Obs – 2006



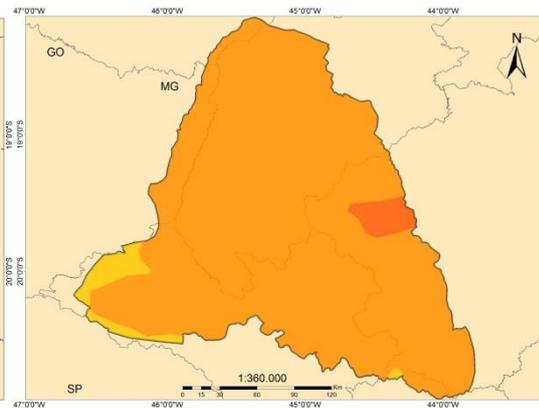
(l) Eta-Sazonal-15km - 2006



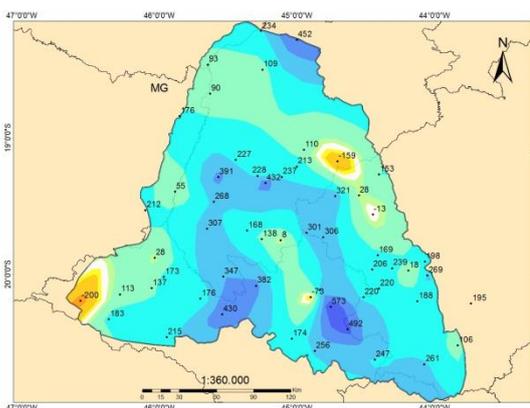
(m) Obs – 2007



(n) Eta-Sazonal-15km - 2007



(o) Obs – 2008



(p) Eta-Sazonal-15km 2008

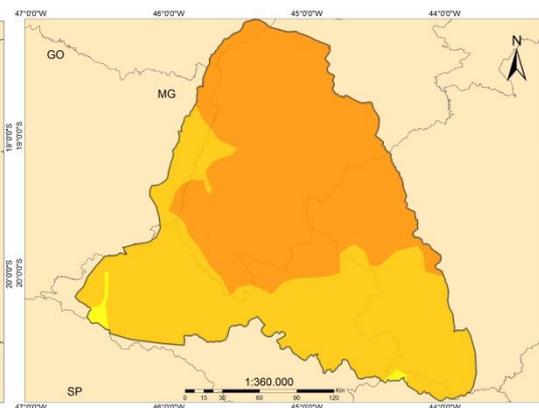


Figura 4.6 – Continuação.

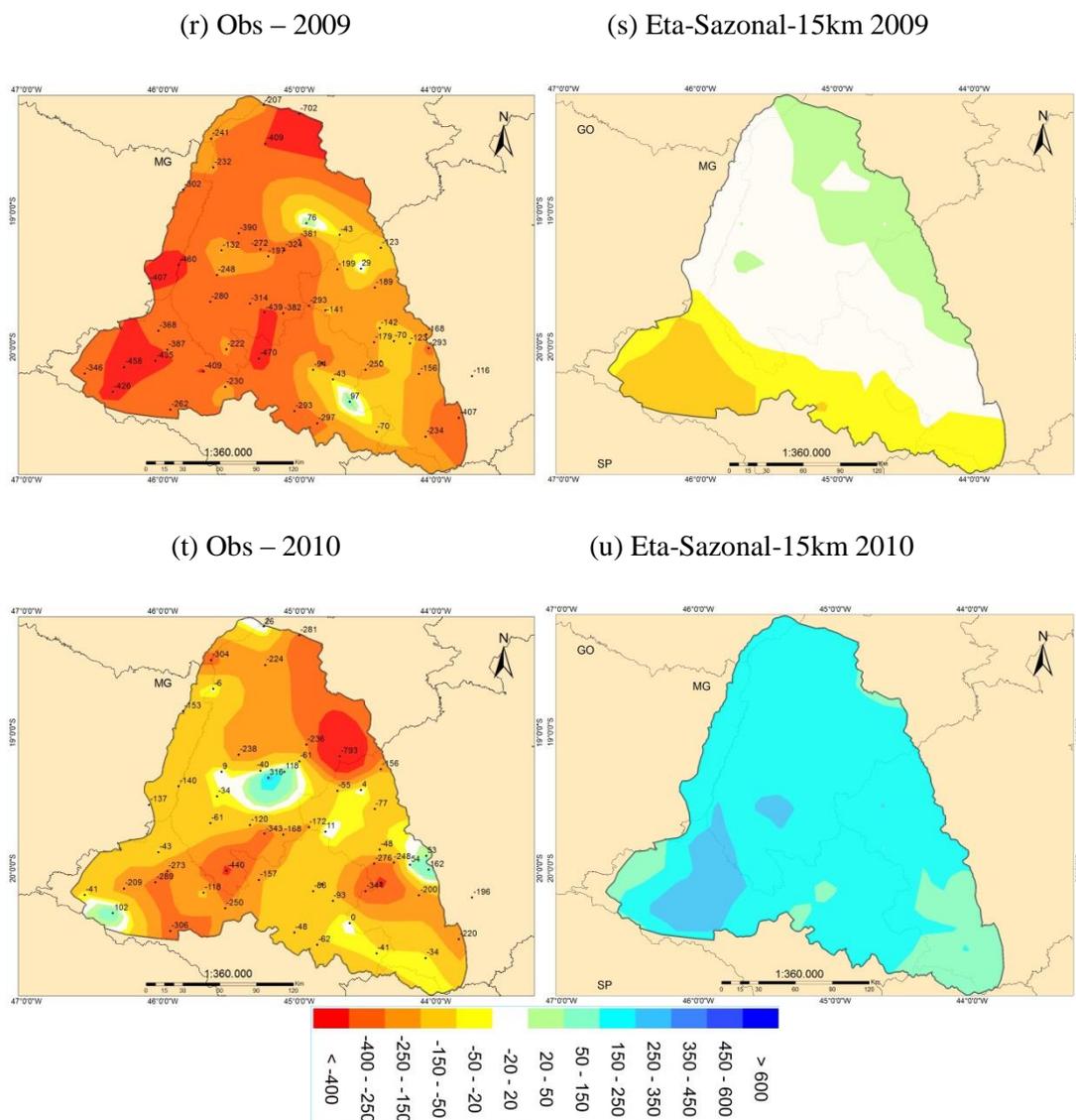


Figura 4.6 – Final

6. CONCLUSÕES

No presente trabalho, são avaliadas as previsões sazonais de precipitação fornecidas pelo modelo Eta-Sazonal-15km na região do Alto São Francisco em Minas Gerais, para sua estação chuvosa (NDJF). A região de estudo possui topografia complexa, composta de vales e serras, contribuindo para a grande variabilidade espacial da precipitação.

As integrações do modelo foram elaboradas pelo INPE, utilizando-se 5 membros, iniciados nos dias 13, 14, 15, 16 e 17 de outubro, para os anos de 2001 a 2010. Totais

pluviométricos do período de novembro a fevereiro, coletados em 58 postos pluviométricos na área em estudo são utilizados para avaliar as previsões mensais e sazonais do modelo. Através do Índice de Acerto da Categoria de Precipitação (IACP) a precipitação prevista pelo modelo é confrontada com a precipitação observada. Além disso, o Desvio Padrão Normalizado (DPN) é investigado com o objetivo de detectar se o espalhamento entre os membros do conjunto (ruído) é superior à variabilidade interanual. São calculados ainda, para o período total (NDJF) e para cada mês individualmente o erro médio (EM), a raiz do erro quadrático médio (REQM) e desvio padrão (DP) da previsão e observação.

Os resultados mostram que o desempenho do modelo é superior quando se considera a previsão de precipitação para todo o período (nov-fev) do que para cada mês individualmente (novembro, dezembro, janeiro e fevereiro). Nas previsões para todo período verificam-se menores valores de REQM do que para cada mês individualmente. Nota-se também que o modelo tende a subestimar a precipitação prevista, apresentando EM negativo para o período nov-fev. Os valores de DPN para todo o período, apesar de altos (entre 0,75 e 0,85), são inferiores aos observados para cada mês individualmente.

Com relação à avaliação da previsão da categoria da precipitação, nota-se que no setor sudeste da região os resultados são melhores do que nas demais regiões, com valores variando entre 40 e 70%. O valor total do IACP calculado para cada par de previsões/observações nas 58 estações meteorológicas localizadas na área em estudo foi baixo (29%). A avaliação do IACP para cada ano separadamente mostrou que o modelo apresenta boa performance nos anos de 2001, 2004 e 2005, contudo no período de 2008 a 2010 verificam-se as piores previsões.

Nota-se que a variabilidade inter-membros é bastante elevada. Dos dez anos estudados apenas em três deles (2003, 2007 e 2010) observa-se uma concordância entre os membros do conjunto em relação ao sinal da anomalia da precipitação. No ano de 2005 verificam-se as melhores previsões do modelo, o que pode ter ocorrido pelo fato da anomalia negativa no Pacífico observada no campo de ATSM de outubro de 2005, ter sido persistida corretamente de novembro a fevereiro de 2006. A influência dos campos de ATSM nas previsões sazonais na área em estudo deve ser investigada em detalhes.

Confrontando-se os campos de anomalia da precipitação prevista com a observada, nota-se que o modelo não é capaz de representar a elevada variabilidade espacial de precipitação na região.

Como sugestão para trabalhos futuros, recomenda-se a investigação da influência dos campos de ATSM na qualidade das previsões sazonais da precipitação. Por exemplo, análises mais detalhadas devem ser elaboradas para os anos de 2007 e 2010 a fim de confirmar se o modelo de fato está configurando circulações típicas de um evento de La Niña nesses dois anos, influenciando desta forma a passagem de transientes na região de estudo, ou se tal comportamento convergente dos membros ocorre aleatoriamente.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, K. M.: **Climatologia e Comportamento dos Sistemas Frontais sobre a América do Sul**. Dissertação de Mestrado. INPE-14056-TDI/1067, 185 p., 2007

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

BLACK, T. L.: **The new NMC mesoscale Eta model**: Description and forecast examples. Wea. Analysis and Forecasting, v.9, p.265-278, 1994.

BRANKOVIC, C., T. N. PALMER, L. FERRANTI: **Predictability of seasonal atmospheric variations**. Journal of climate, vol. 7, 217-237, 1994.

BRANKOVIC, C.: **Systematic model errors (2) Seasonal model climate transparencies**, Lecture Note, ECWMF Internal Report, 2000.

BUSTAMANTE, J. F., GOMES, J. L. and CHOU, S. C.: **5-year Eta Model seasonal forecast climatology over South America**. 8th Inter Conference on Southern Hemisphere meteorology and Oceanography, Foz do Iguaçu, 2006.

BUSTAMANTE, J. F., CHOU, S. C and SUEIRO, G.: **10- Year Eta Model Seasonal Forecast Climatology Over South America**. European Geoscience Union, General Assembly 2012. 22-27, April 2012, Vienna, Austria.

CAVALCANTI, I. E V. KOUSKY: **Frentes Frias sobre o Brasil**. In Tempo e Clima no Brasil. P. 135-145, 2009.

CHOU, S. C., BUSTAMANTE, J. F., and GOMES, J. L.: **Evaluation of Eta Model seasonal precipitation forecasts over South America**, Nonlinear Processes in Geophysics, vol, 12, 537-555, 2005.

DERECZYNSKI, C. P.: **Limites da Previsibilidade Sazonal da Precipitação na Região Nordeste do Brasil**, Tese de Doutorado, COPPE/UFRJ., 2004.

DRUYAN, L. M., FULAKEZA, M., LONERGAN, P.: **Dynamic Downscaling of Seasonal Climate Predictions over Brazil**, Journal of Climate, vol. 15, 3411-3426, 2002.

EK, M.B., MITCHELL, M.K., LIU, Y., ROGERS, E., GRUNMAN, P., KOREN, V., GAYANO, G., TARPLEY, J.D.: **Implementation of Noah Land Model advances in the NCEP operational Eta Model**. *JGR*. 108 (D22), 8851-8867, 2003.

FELS, S.B., and SCHWARZKOPF, M.D.: **The simplified exchange approximation: A new method for radiative transfer calculations**, *J. Atmos. Sci.*, 32, 1475–1488, 1975.

FERRIER, B., Y. LIN, D. PARRISH, M. PONDECA, E. ROGERS, G. MANIKIN, M. EK, M. HART, G. DIMEGO, K. MITCHELL, and H.Y. CHUANG: **Changes to the NCEP Meso Eta analysis and forecast system: Modified cloud microphysics, assimilation of GOES cloud top pressure, assimilation of NEXRAD 88D radial wind velocity data**. NWS Technical Procedures Bulletin, available at <http://www.emc.ncep.noaa.gov/mmb/tpb.spring03.tpb.htm> , 2003

GRIMM, A. M. e S. E. T. FERRAZ: **Sudeste do Brasil: uma região de transição no impacto de eventos extremos da Oscilação Sul**. Parte I: El Niño. Anais do X Congresso Brasileiro de Meteorologia. Sociedade Brasileira de Meteorologia, 1998.

GRIMM A. M., BARROS, V. R. e DOYLE, M. E.: **Climate variability in southern South America associated with El Niño and La Niña events**. *Journal of Climate* **13**(1): 35–58, 2000.

JANJIC, Z.I.: **Forward-backward scheme modified to prevent two-grid-interval noise and its application in sigma coordinate models.** *Contrib. Atmos. Phys.*, **52**, 69-84, 1979.

JANJIC, Z.I.: **Non-linear advection Eulerian schemes and energy cascade on semi-staggered grids.** *Mon. Wea. Rev.*, **112**, 1234-1245, 1984.

JANJIC Z.I.: **The step-mountain coordinate model: further developments of the convection, viscous sublayer, and turbulence closure schemes.** *Mon. Weather Rev.* 122:927–945, 1994.

JUSTI DA SILVA M. G. A: **A Frequência de Fenômenos Meteorológicos na América do Sul:** Climatologia e Previsibilidade. Tese de Doutorado, COPPE/UFRJ., 2003.

KODAMA, Y.: **Large-Scale Common Features of Subtropical Precipitation Zones (the Baiu Frontal Zones, the SPCZ, and the SACZ) Part I: CHARACTERISTICS of Subtropical Frontal Zones.** *Journal of Meteorological Society of Japan*, 70, n.4, pp 813-835, 1992.

KOUSKY, V. E.: **Pentad OUTGOING Longwave Radiation Climatology for the South American Sector.** *Revista Brasileira de Meteorologia*, 3, 217–231, 1988.

LACIS, A.A., HANSEN, J.E.: **A parameterization of the absorption of solar radiation in earth's atmosphere.** *J. Atmos. Sci.*, v. 31, p. 118-133, 1974.

LEMOS C. F. e N. O. CALBETE: **Sistemas Frontais que atuaram no litoral de 1987 a 1995.** *Climanálise Especial, Edição Comemorativa de 10 anos.* <http://www.cptec.inpe.br/products/climanalise/cliesp10a/index1.shtml>, 1996.

MACHADO, C., O., CATALDI, M., ROCHA, V., F., de OLIVEIRA, F., J., A.: **A Aplicação das Informações Meteorológicas no Planejamento Eletroenergético de Curto Prazo e Operação em Tempo Real do Sistema Interligado Nacional**, 10p. IX EDAO – Encontro Para Debates De Assuntos De Operação, 2007.

MELLOR, G.L., YAMADA, T.: **A hierarchy of turbulence closure models for planetary boundary layers.** *J. Atmos. Sci.*, 31,1791–1806, 1974.

MESINGER, F.: **Forward-backward scheme, and its use in a limited area model.** *Contrib Atmos Phys* 50, 200-210, 1977.

MESINGER, F.: **An economical explicit scheme which inherently prevents the false two-grid-interval wave in the forecast fields.** *Proc. Symp. "Difference and Spectral Methods for Atmosphere and Ocean Dynamics Problems"*, Academy of Sciences, Novosibirsk 1973; Part II, 18-34, 1974.

MESINGER, F.: **A blocking technique for representation of mountains in atmospheric models.** *Rivista Meteor. Aeronautica*, 44, 195-202, 1984.

MESINGER, F., JANJIC, Z.I., NICKOVIC, S.D., GAVRILOV AND DEAVEN D.G.: **The step-mountain coordinate: Model description, and performance for cases of Alpine lee cyclogenesis and for a case of an Appalachian redevelopment.** *Mon. Wea. Rev.*, 116, 1493-1518, 1988.

MESINGER, F., CHOU, S. L., GOMES, J. L., JOVIC, D., BASTOS, P. , BUSTAMANTE, J. F., LAZIC, L., LYRA, A. A., MORELLI, S., RISTIC, I., VELJIOVIC, K.: **An upgraded version of the Eta model, Meteorol Atmos Phys**, DOI 10.1007/s00703-012-0182-z, 2012.

MISRA V., DIRMEYER, P.A., and KIRTMAN, B. P.: **Dynamic Downscaling of Seasonal Simulations over South America**, *Journal of Climate* , vol. 16, 103-117, 2003.

NOBRE, C. A., MATTOS, L. F. e DERECZYNSKI, C. P. et al.: **Overview of atmospheric conditions during the Smoke, Clouds, and Radiation-Brazil (SCAR-B) field experiment.** *Journal of Geophysical Research*, v. 103, n. D24, p. 31809-31820, 1998.

NOBRE, C.A., MOURA, A. D., and LIQIANG SUN, **Dynamical Downscaling of Seasonal Climate Prediction over Nordeste Brazil with ECHAM3 and NCEP's Regional Spectral Models at IRI.** *Bulletin of the American Meteorological Society*, vol. 82, N° 12, 2787-2796, 2001.

NOBRE, C.A., et al.: **Seasonal-to-Decadal Predictability and Prediction of South American Climate.** *Journal of Climate – Special section*, vol. 19, 5988-6004, 2005.

OLIVEIRA, A.: **Interações entre sistemas frontais na América do Sul e a convecção da Amazônia.** INPE-4008-TDL/239. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 115 p., São José dos Campos, SP, 1986.

ONS: **Previsão de Vazões Diárias ao Reservatório de Três Marias usando a Técnica de Redes Neurais**. Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) NS, NT 051/9. 89 p, 2009.

PALMER, T. N. E D. L. T. ANDERSON: **The prospects for seasonal forecasting – A review paper**. *Quartely Journal of the Meteorological Society*, N^o 518, Part A, vol. 120, 755-793, 1994.

PIELKE, R.A.: **Mesoscale meteorological modeling**. In: International geophysics series, vol 78. Academic Press, New York, p 676, 2002.

RODWELL M, DOBLAS-REYES FJ. **Predictability and prediction of European monthly to seasonal climate anomalies**. *J Clim* 19:6025–6046, 2006.

ROPELEWSKI, C. H., AND S. HALPERT: **Global and regional scale precipitation patterns associated with the El Niño/Southern Oscillation**. *Mon. Wea. Rev.*, **115** ,1606-1626, 1987.

SAMPAIO de O., G, **Avaliação de Previsões Sazonais para o Brasil entre Dezembro de 1995 e Maio de 1999 realizadas com o MCGA CPTEC/COLA**, Dissertação de Mestrado, CPTEC/INPE, 2001.

SCHNEIDER, T. e S. M. GRIFFIES: A conceptual framework for predictably studies. **Journal of Climate**, vol. 12, 3133-3155, 1999.

SHUKLA, J.: **Predictability in the midst of chaos**: A scientific basis for climate forecasting. *Science*, vol. 282, 728-731, 1998.

SUHAILA, J., SAYANG, M. D., JEMAIN A. A., 2008: **Revised spatial weighting methods for estimation of missing rainfall data**. *Asia-Pacific Journal of Atmospheric Sciences*, 44, 93-104.

VIEIRA, R. M. G.: **Avaliação das Previsões de Precipitação do Modelo Eta para Bacia do Rio São Francisco em Minas Gerais**, Dissertação de Mestrado, UFRJ, 2013.

ZHAO, Q., BLACK, T.L., BALDWIN, M.E.: **Implementation of the cloud prediction scheme in the Eta Model at NCEP**. *Weather and Forecasting*, 12, 697-712, 1997.