



## **AVALIAÇÃO DAS PREVISÕES SUBSAZONAIS DO MODELO ETA NA DETECÇÃO DO INÍCIO DA ESTAÇÃO CHUVOSA**

RELATÓRIO FINAL DE PROJETO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA (PIBIC/CNPq/INPE)

Luan Felipe Carneiro Rodrigues (UFLA, Bolsista PIBIC/CNPq)

E-mail: fcrodrigues.luan@gmail.com

Dr. Prakki Satyamurty (DMD/CPTEC/INPE, Orientador)

E-mail: saty.prakki@gmail.com

DSc. Sin Chan Chou (DMD/CPTEC/INPE, Colaboradora)

E-mail: chou@cptec.inpe.br

DSc. Sílvia de Nazaré Monteiro Yanagi (DEG/UFLA, Colaboradora)

E-mail: silvia.yanagi@deg.ufla.br

**Junho de 2016**

O presente relatório descreve as atividades realizadas no projeto de Iniciação Científica do PIBIC/CNPq no período de Agosto de 2015 a Junho de 2016.



# **AVALIAÇÃO DAS PREVISÕES SUBSAZONAIS DO MODELO ETA NA DETECÇÃO DO INÍCIO DA ESTAÇÃO CHUVOSA**

## **RELATÓRIO FINAL DE PROJETO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA (PIBIC/CNPq/INPE)**

Luan Felipe Carneiro Rodrigues (UFLA, Bolsista PIBIC/CNPq)

E-mail: fcrodrigues.luan@gmail.com

Dr. Prakki Satyamurty (DMD/CPTEC/INPE, Orientador)

E-mail: saty.prakki@gmail.com

### **COLABORADORES**

DSc. Sin Chan Chou (DMD/CPTEC/INPE)

DSc. Sílvia de Nazaré Monteiro Yanagi (DEG/UFLA)

**Junho de 2016**

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. RESUMO DAS ATIVIDADES DESENVOLVIDAS	1
3. METODOLOGIA DE ANÁLISE	2
4. RESULTADOS	5
5. ANÁLISE E CONCLUSÕES	10
6. CRONOGRAMA DAS ATIVIDADES FUTURAS	11
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	12

## **1. INTRODUÇÃO**

O estudo da variabilidade do clima fornece informações importantes que auxiliam na tomada de decisões visando minimizar os efeitos de condições climáticas adversas em uma dada região (Barbieri et al., 2004). A precipitação é uma das variáveis meteorológicas mais importantes, principalmente, no que se refere ao planejamento agrícola, à construção civil, à geração hidroelétrica, à saúde pública e às questões ambientais (Pereira et al., 2008). O estudo da variação intrasazonal, bem como a capacidade de prever com certa antecedência eventos como o início da estação chuvosa, é tão importante quanto prever o volume de chuvas de uma determinada região. (Lima & Lall, 2009).

O sudeste do Brasil é uma região altamente populosa e de extrema importância econômica para o país. O clima na região sudeste é bastante diversificado, sendo afetado pela topografia, pela posição geográfica e, principalmente, pelos aspectos dinâmicos da atmosfera, que incluem sistemas meteorológicos de micro, meso e macro escalas que atuam direta ou indiretamente no regime pluvial, como a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) e as Frentes Frias (Minuzzi et al., 2007).

A previsão do clima tem sido realizada no Brasil através dos modelos regionais aninhados aos modelos de climáticos globais (MCGs). Neste contexto, o objetivo deste estudo é verificar o desempenho das previsões por conjunto do modelo Eta/INPE em escala subsazonal (Chou et al., 2005) para detectar o início da estação chuvosa na região sudeste brasileira.

Para realização deste estudo, a região sudeste foi dividida em sub-regiões, de modo a se obter uma melhor representatividade do comportamento das chuvas sobre a região como um todo. Os valores observados de precipitação e as datas referentes ao início médio da estação chuvosa para cada região, com base em série histórica, foram obtidos através de dados fornecidos pelo CPTEC/INPE, INMET, Centros Estaduais de Meteorologia e por estudos de outros autores.

## **2. RESUMO DAS ATIVIDADES DESENVOLVIDAS**

As atividades tiveram início em agosto de 2015, e a partir deste momento foram realizadas atividades de treinamento com os produtos de previsões climáticas do modelo Eta e as ferramentas computacionais (Unix, Fortran, R e GrADS). Foi realizado também um levantamento bibliográfico que serviria de base no desenvolvimento deste trabalho.

As atividades descritas anteriormente foram desenvolvidas dentro do prazo de seis meses, obedecendo ao cronograma inicial do projeto.

Posteriormente, procedeu-se para a análise das previsões do modelo Eta, referentes ao ano de 2015, em prazo sazonal. Esta atividade serviu como um treinamento, bem como, de base para as etapas posteriores do projeto.

A princípio, foram definidos a área e o período de estudo, sendo a área o Sudeste Brasileiro, compreendida entre as latitudes -25,5S e -14,0S e as longitudes -53,5W e -39,5W. O período de interesse proposto foi de 1º de Setembro a 21 de Outubro, período dentro do qual ocorre, em média, o início da estação chuvosa para a região de interesse.

No primeiro semestre de 2016, procedeu-se para uma definição do critério mais adequado a ser adotado para definição do início da estação chuvosa. No decorrer deste trabalho serão apresentados os dois critérios que foram utilizados em conjunto, uma vez que ambos levam a resultados bastante semelhantes. Neste período, também foram extraídas as previsões retrospectivas para o período de 2001 a

2010 em escala subsazonal referentes ao período de 1º de setembro à 31 de outubro (10 dias a mais do que fora proposto anteriormente).

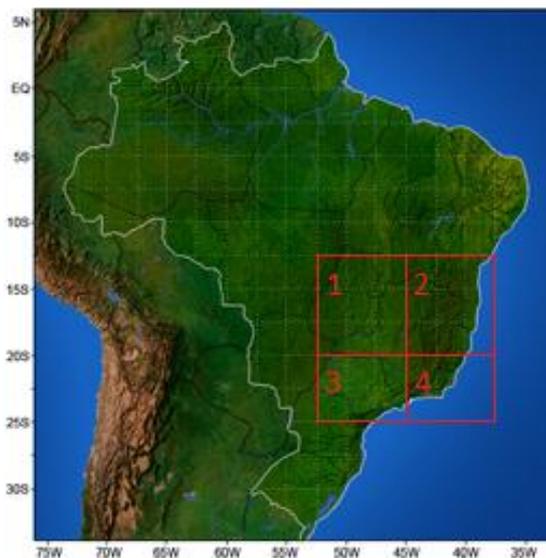
### 3. METODOLOGIA DE ANÁLISE

#### 3.1 Definição das Sub-regiões

Os resultados obtidos e apresentados no relatório parcial do projeto levam a crer que, devido ao tamanho do domínio de estudo, eventos pontuais ou de menor escala podem ser mascarados quando se faz uma média da variável de interesse dentro de uma grande área, isto é, os dados gerados pelo modelo não são representativos e a previsibilidade é afetada.

Neste contexto, optou-se por dividir a região Sudeste em quatro sub-regiões, de maneira que os dados gerados e coletados sejam mais detalhados e, portanto, mais representativos.

Figura 1. Delimitação da região de interesse e das sub-regiões



A Figura 1 mostra a divisão da região de interesse em quatro sub-regiões. Dentro de cada sub-região, há um conjunto de caixas, cada caixa contém informações sobre o comportamento das chuvas fornecidas por fontes de dados tais como INMET (Surface Synoptic Observations + Estações Meteorológicas Automáticas), INPE (Plataformas de Coleta de Dados) e por Centros Estaduais de Meteorologia. Estes dados são interpolados utilizando o método de Kriging. Trata-se de um método de interpolação baseado em dependência espacial de amostras. Este nome foi dado por Matheron (1973) em reconhecimento ao trabalho pioneiro de Krige (1951), o primeiro a aplicar esta abordagem estatística para estimar o teor de ouro de corpos de minério na indústria de mineração da África do Sul.

No total, são 124 caixas (regiões) sobre o Brasil, cujo tamanho de cada caixa é 2,5º x 2,5º. O período de disponibilidade de dados é de 01/nov/1997 até o presente e a resolução é de 0,25º x 0,25º.

Sob a região de interesse estão 30 caixas, dentre as quais 22 apresentam dados significativos e 8 que foram descartadas por não apresentarem dados significativos.

Das caixas significativas, 9 compõem a sub-região 1, 6 compõem a sub-região 2, 5 compõem a sub-região 3 e apenas 2 compõem a sub-região 4.

### 3.2 Previsões do Modelo

As rodadas de previsão tiveram início no segundo decêndio do mês de agosto, se estendendo até o final do mês de outubro, cobrindo um horizonte de aproximadamente 70 dias. Cada rodada é composta por cinco membros e o valor da previsão é igual à média dos cinco membros ou conjunto.

Foram extraídas as previsões para as quatro sub-regiões, no período de 2001 a 2010, originando uma série de dados que será utilizada para avaliação do desempenho do modelo em prever, no prazo subsazonal, o início da estação chuvosa.

Os valores extraídos representam o valor médio de precipitação, em mm/dia, dentro da área de interesse.

### 3.3 Climatologia do Modelo

A climatologia do modelo representa o que o modelo geralmente prevê para um determinado período, ou seja, é a média das previsões do modelo para determinado domínio e horizonte. Neste estudo, a climatologia do modelo foi obtida, para cada sub-região, através das médias das previsões no período de 2001 a 2010.

### 3.4 Início Médio da Estação Chuvosa

Para determinar as datas de início médio da estação chuvosa de cada sub-região foram utilizadas duas metodologias:

#### 3.4.1 Método de Sugahara (1991) e Alves et al. (2002)

Um estudo conduzido por Alves et al., 2002, avaliou o início da estação chuvosa com base no critério das pântadas (período de cinco dias) proposto por Sugahara em 1991. O início da chuva com base nesse critério acontece na primeira ocorrência de 10 mm em uma pântada desde que a precipitação de três pântadas seguintes não seja inferior a 15 mm/pântada (Sugahara, 1991). Os resultados obtidos por Alves et al., 2002 podem ser observados na figura 2, onde os números dentro dos quadros representam a pântada em que a estação chuvosa teve início em cada sub-região.

Figura 2. Pântada de início da estação chuvosa. Região Sudeste em destaque. (Alves et al., 2002).

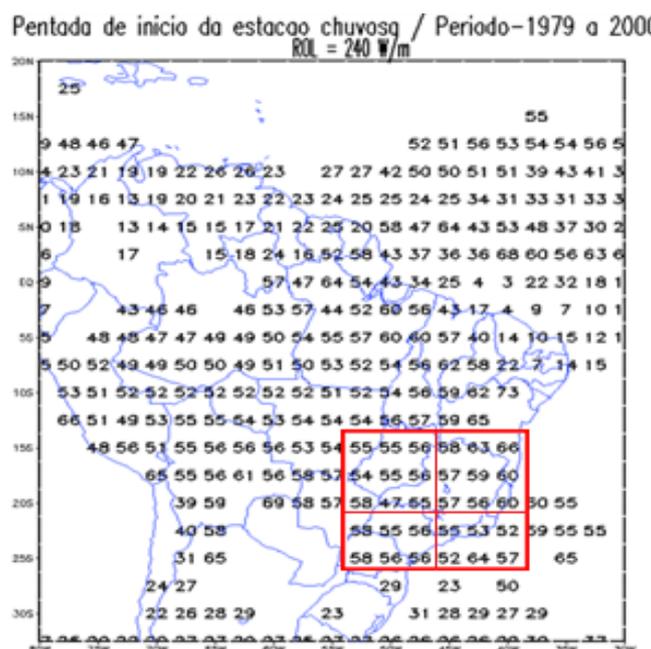


Tabela 1. Período de início médio da estação chuvosa de acordo com Alves et al., 2002

<b>Média das pântadas - Alves et. al, 2002</b>				
<b>Sub-região</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
<b>Pântada</b>	56	60	57	56
<b>Período Correspondente</b>	<b>7 out a 12 out</b>	<b>27 out a 01 nov</b>	<b>12 out a 17 out</b>	<b>7 out a 12 out</b>

Para obtenção do início médio da estação chuvosa de cada sub-região, foi feita uma média das pântadas indicadas dentro de cada área na Figura 2.

### 3.4.2 Método de Liebman et al. (2007)

Para definir o início e o fim das estações chuvosas, a fonte de dados (INMET, INPE e Centros Estaduais) utilizou o critério descrito por Liebman et al., (2007). O critério é baseado no acúmulo das anomalias diárias de precipitação, necessariamente iniciado este acúmulo no período de estiagem precedente a estação chuvosa. A determinação das datas de início e fim da estação chuvosa, e conseqüentemente seu tamanho, é realizada procurando-se pontos de inflexão (mínimo e máximo, respectivamente) da curva suavizada (através de média móvel de 41 dias) da anomalia de precipitação diária acumulada. Para a região de interesse, o sudeste, esse período de acúmulo foi, em geral, em julho.

A fonte de dados fornece gráficos para cada caixa do mapa, onde podem ser encontrados dados como a climatologia da chuva diária, precipitação observada, anomalias positivas e negativas de precipitação e também as datas referentes ao início da estação chuvosa para determinado ano.

O início médio da estação chuvosa é obtido através da média dos inícios observados nas caixas que compõem cada sub-região, dentro do período estudado.

Para simplificação do processo de análise, optou-se pela extração das quinzenas e decêndios no qual a estação chuvosa teve início, e não o dia específico. Para obtenção do período médio de início da estação chuvosa, cruzou-se os dias referentes ao decêndio com os dias referentes à quinzena. O período que atende tanto a quinzena, quanto ao decêndio de início foi mantido e os demais dias, fora do intervalo, foram descartados. Para que esta análise seja possível, assume-se que o primeiro decêndio de outubro compreenda os dias de 1 a 10, o segundo decêndio compreende o período de 11 a 20 de outubro e o terceiro decêndio compreende o período de 21 a 31 de outubro. Da mesma maneira, a primeira quinzena compreende o período de 1 a 15 de outubro e a segunda quinzena compreende o período de 16 a 31 de outubro. Vide tabela 2.

Tabela 2. Período de início da estação chuvosa pelo método de Liebman et al., 2007

<b>Média dos decêndios e quinzenas de outubro- Liebman et. al, 2007</b>				
<b>Sub-região</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
<b>Decêndio de Outubro</b>	2	3	2	2
<b>Quinzena de Outubro</b>	2	2	1	1
<b>Período Correspondente</b>	<b>16 out a 20 ut</b>	<b>21 out a 31 out</b>	<b>11 out a 15 out</b>	<b>11 out a 15 out</b>

As datas adotadas para início médio da estação chuvosa de cada sub-região foram baseadas, principalmente, nos resultados obtidos através do método de Liebman, uma vez que os dados referentes ao início observado da estação chuvosa que serão vistos nos resultados também vieram do método de Liebman.

### 3.5 Início Observado da Estação Chuvosa

Com base no critério de Liebman et al., 2007, a fonte de dados fornece as datas em que foi observado o início da estação chuvosa para cada caixa do mapa. Para obtenção do início observado da estação chuvosa de cada sub-região, bastou fazer a média dos dados de cada caixa dentro da sub-região no determinado ano de interesse.

## 4. RESULTADOS

As características da chuva e o início da estação chuvosa das diferentes sub-regiões da área de estudo são mostrados nas figuras abaixo (Figs. 3 – 7).

Figura 3. Relação entre a climatologia de precipitação (INMET – 61 a 90) e a climatologia do modelo Eta/INPE (2001 a 2010) para a área de estudo

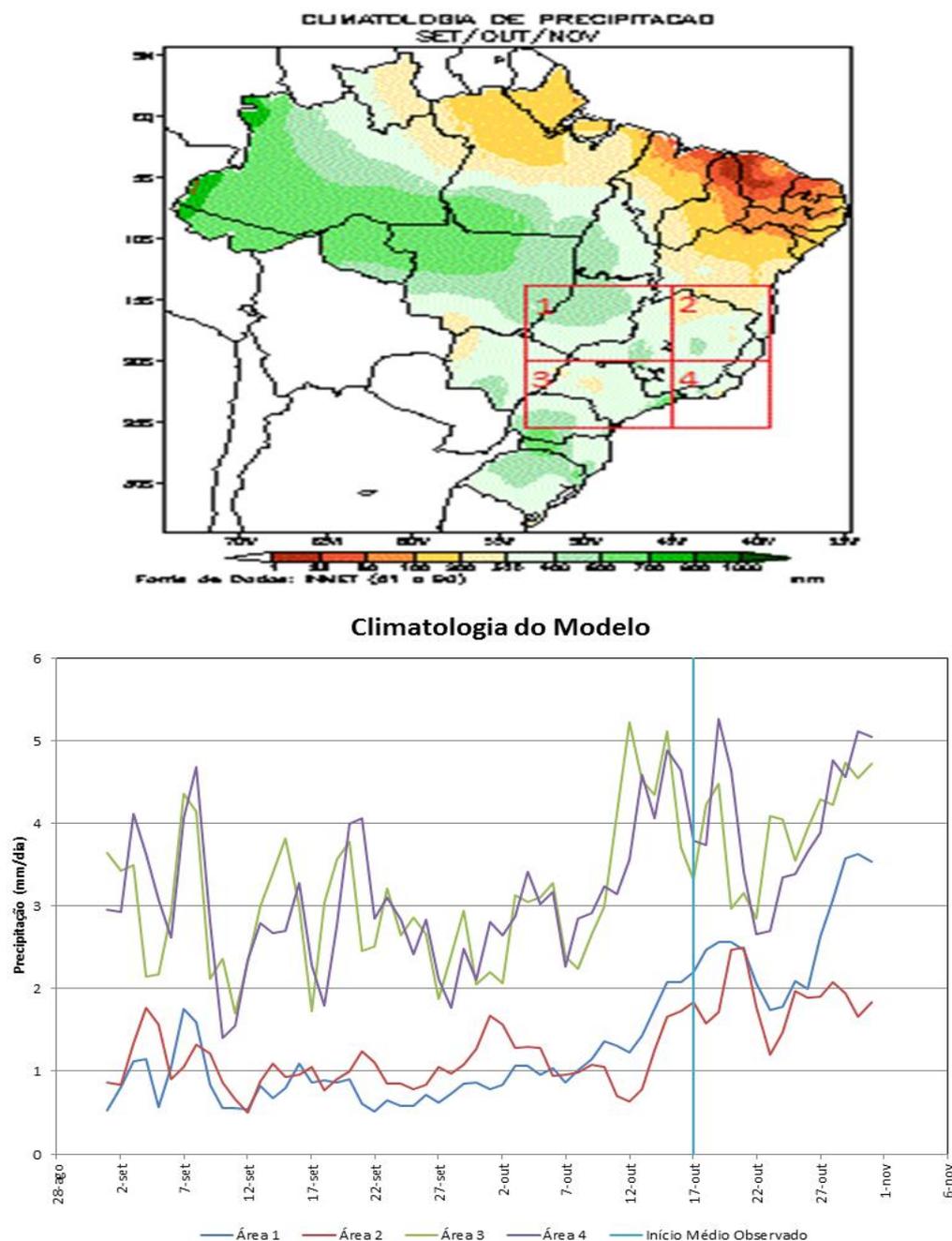


Figura 4. Previsão x Climatologia do Modelo x Início Observado x Início Médio para sub-região 1

# Área 1

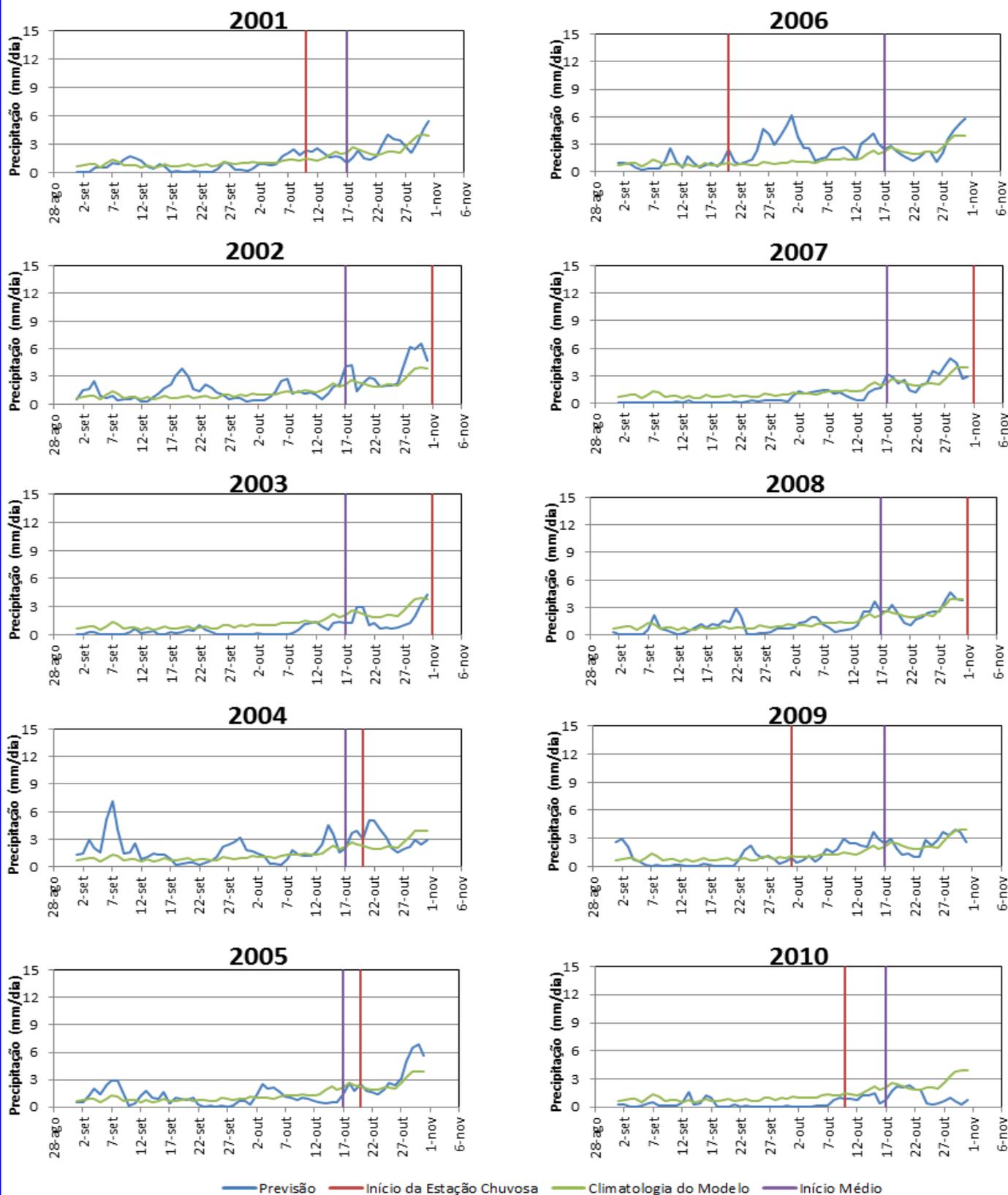


Figura 5. Previsão x Climatologia do Modelo x Início Observado x Início Médio para sub-região 2

## Área 2

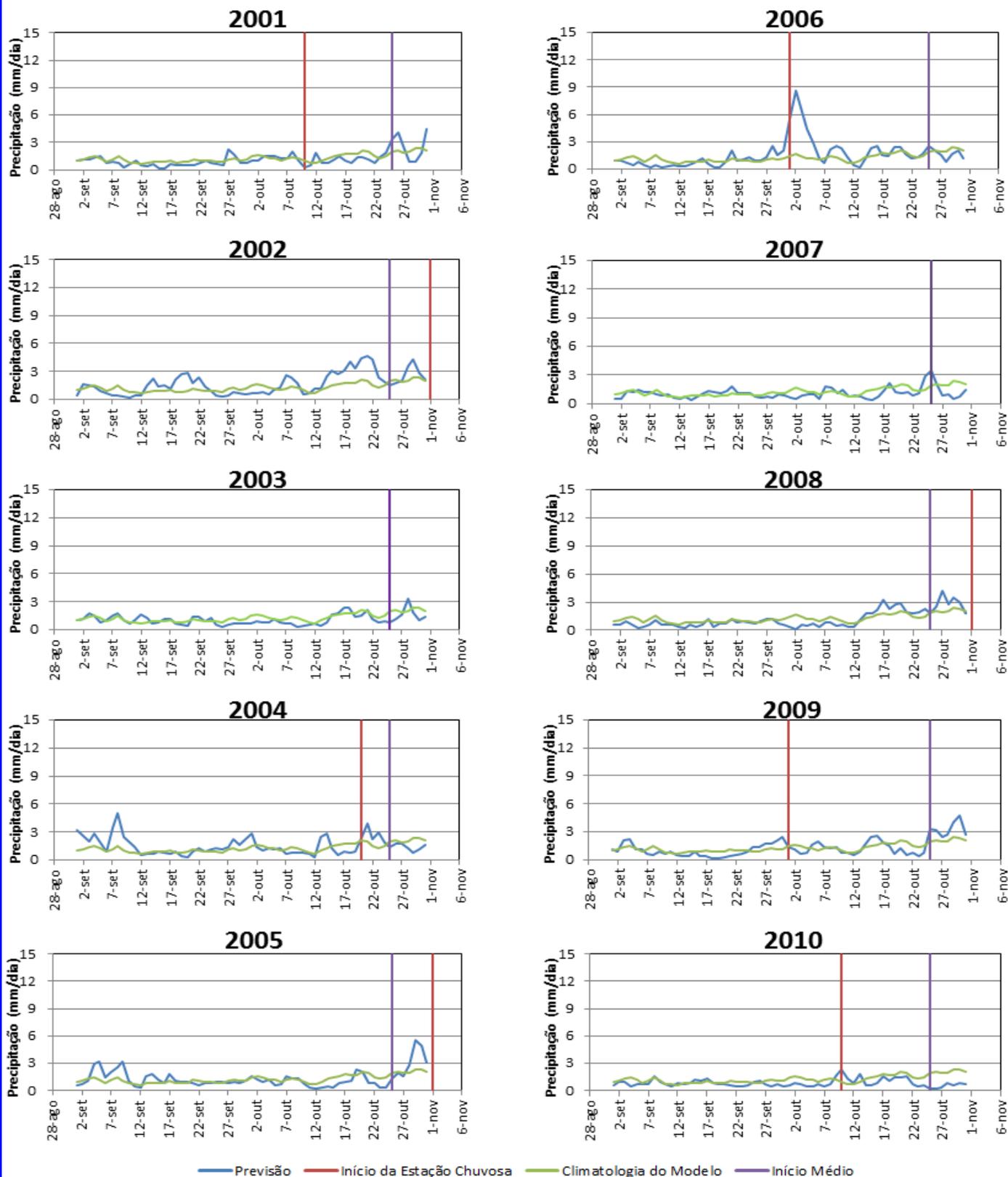


Figura 6. Previsão x Climatologia do Modelo x Início Observado x Início Médio para sub-região 3

# Área 3

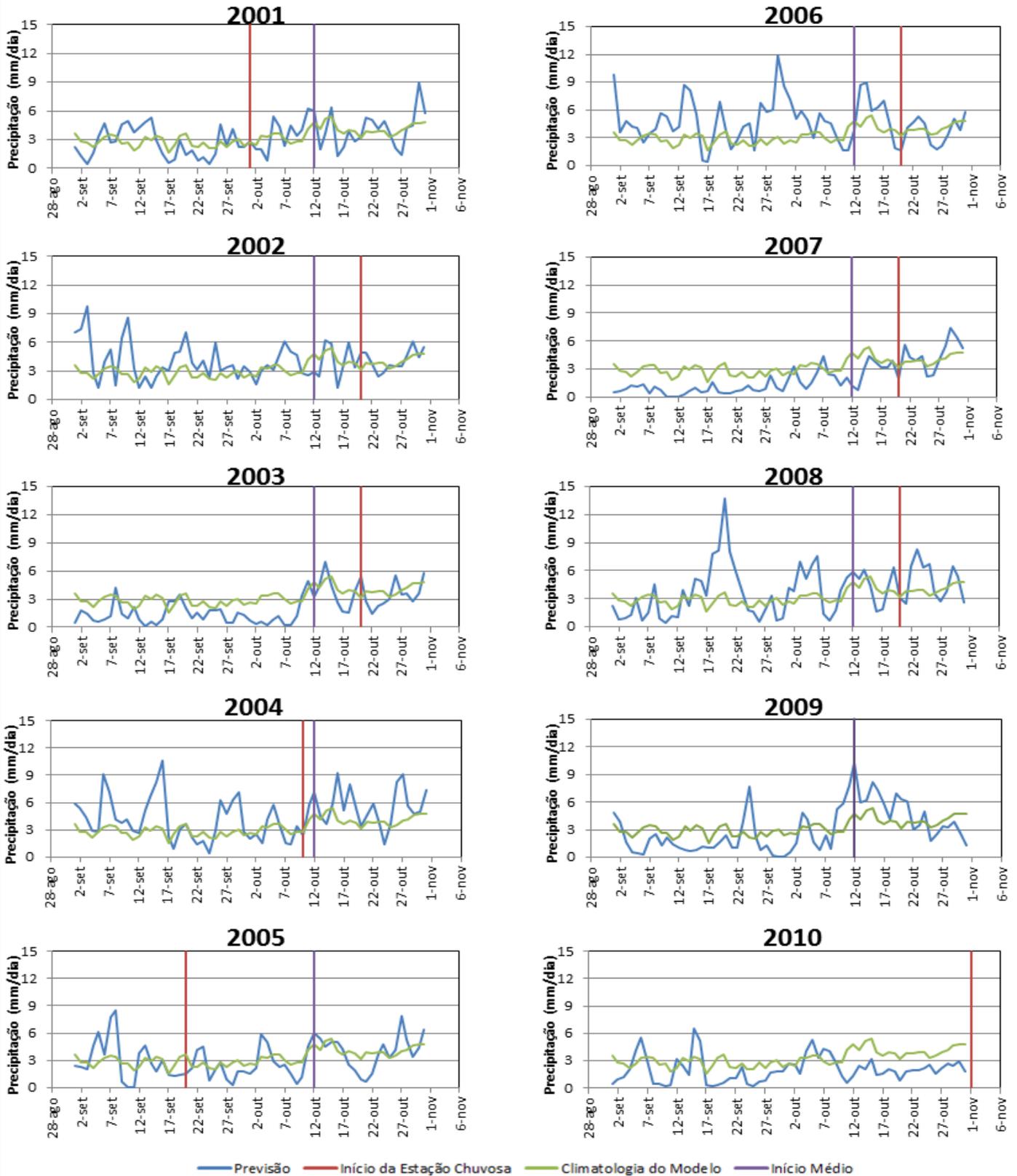
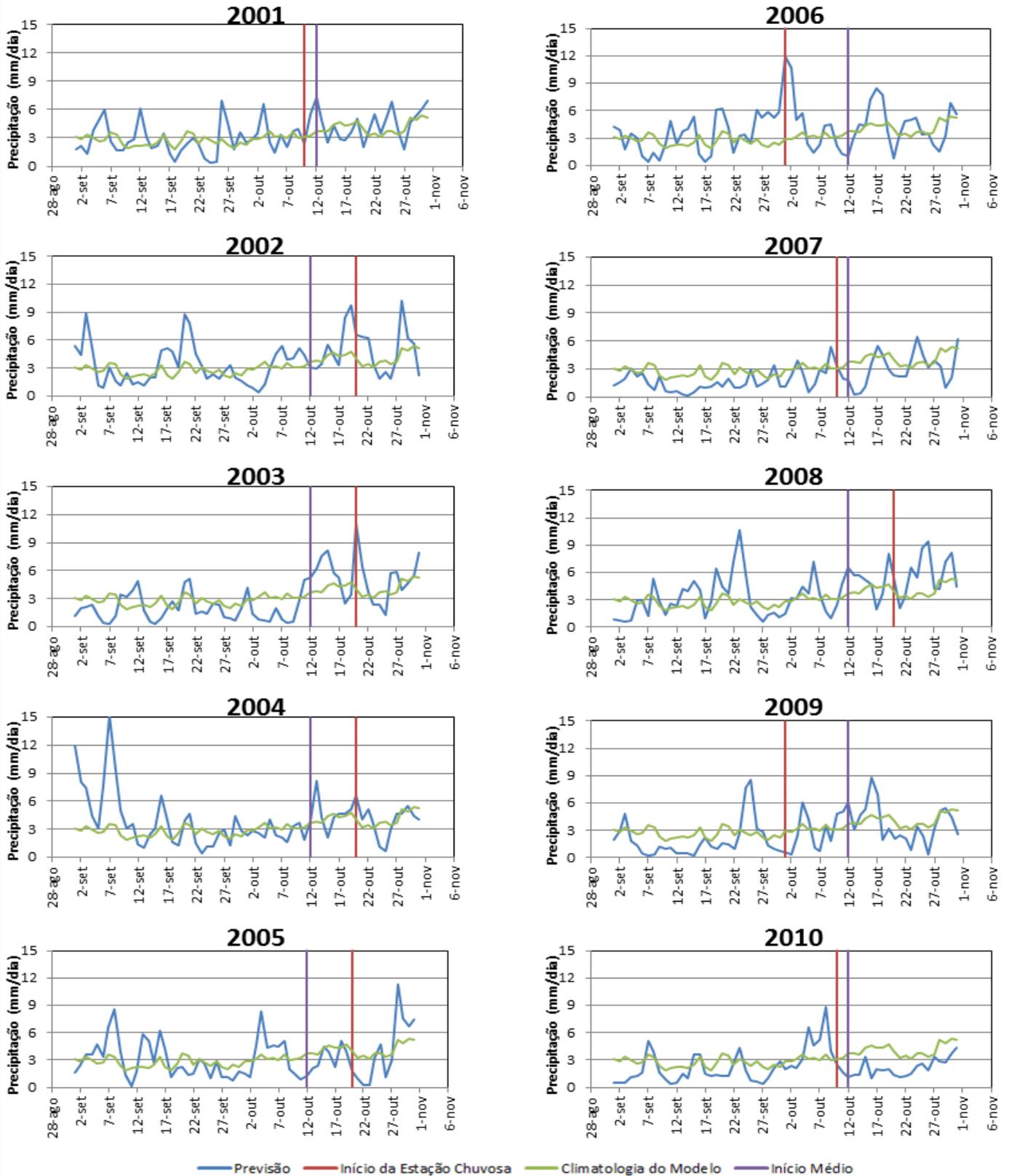


Figura 7. Previsão x Climatologia do Modelo x Início Observado x Início Médio para sub-região 4

# Área 4



## 5. ANÁLISE E CONCLUSÕES

A análise da Figura 3 permite concluir que o modelo gera previsões semelhantes para as áreas 1 e 2 (Norte) e que o mesmo ocorre para as áreas 3 e 4 (Sul). Pode-se inferir também que, o modelo simula maior quantidade de precipitação para as áreas mais ao sul se comparado com as áreas mais ao norte. No entanto, quando a climatologia do modelo é comparada à climatologia histórica (1961-1990) das chuvas para o período de Setembro – Outubro - Novembro, percebe-se que o modelo tende a subestimar o volume de chuvas na região 1. As demais regiões apresentaram comportamentos condizentes com a climatologia histórica e climatologia do modelo.

É interessante notar que o modelo foi capaz de simular um aumento gradual das chuvas a partir do final de setembro e início de outubro para todas as sub-regiões, mesmo tendo se passados aproximadamente 40 dias a partir do início das rodadas de previsão.

O aumento gradual das chuvas não indica necessariamente que a estação chuvosa teve início, mas indica um ponto de partida para que os critérios estabelecidos para a definição do início da estação chuvosa sejam aplicados.

As figuras de 4 a 7 mostram o comportamento das previsões do modelo para as quatro sub-regiões dentro do período estudado. A climatologia do modelo para cada área permanece constante, bem como o início médio da estação chuvosa, definido anteriormente com base no estudo de Alves et al. (2002) e no critério de Liebman et al. (2007).

A reta que indica o início da estação chuvosa varia de região para região e de ano para ano, pois é baseada na aplicação do método de Liebman sobre dados observados de precipitação.

Houve alguns anos em que o comportamento das previsões ficou próximo à climatologia do modelo (2001, 2005, 2008 e 2009), ou seja, nesses anos, o modelo previu uma menor quantidade e intensidade de anomalias na precipitação.

Em alguns casos, percebe-se que a linha que representa as previsões começa a subir próximo ao local onde está a reta que indica o início observado da estação chuvosa, mas no geral é difícil observar esta tendência. Da mesma forma, também pode-se observar que em alguns casos a linha de previsão começa a subir próximo à linha que indica o início médio. Mas como isso não é uma tendência geral, nada pode ser afirmado com relação ao desempenho do modelo neste aspecto.

É possível observar também alguns casos onde a linha que indica o início observado da estação chuvosa fica próxima à linha que indica o início médio, mostrando que naquele ano e para aquela área, o comportamento das chuvas foi próximo do que geralmente é esperado.

As áreas 1 e 2 apresentam curvas de previsão mais suaves e mais próximas da climatologia do modelo se comparadas às curvas de previsão das áreas 3 e 4. O que leva a crer que o modelo tem melhor desempenho sobre as regiões 1 e 2.

As curvas menos suaves de previsão das áreas 3 e 4 podem ser explicadas pelo fato de que essas áreas estão mais próximas de regiões de alta instabilidade atmosférica, o que dificulta e reduz o desempenho do modelo.

De maneira geral, percebe-se um aumento gradual do volume de precipitação previsto a partir de meados de outubro. No entanto, devido ao horizonte de previsão ser limitado ao final do mês de outubro, não foi possível a aplicação do critério proposto por Sugahara (1991) sobre as previsões do modelo para determinação do início da estação chuvosa.



Conclui-se então que, com base nos dados gerados neste projeto, faz-se necessária a realização de um novo estudo, utilizando rodadas de previsão com início no mês de setembro, de forma a eliminar o período no qual já fora constatado que a estação chuvosa, em média, não se inicia na região de interesse. Desta forma, o horizonte de previsão poderia ser estendido até o final de novembro e o critério para definição do início da estação chuvosa poderia ser aplicado sobre as previsões do modelo.

## **6. CRONOGRAMA DAS ATIVIDADES FUTURAS**

As próximas atividades serão:

- 1) Gerar previsões subsazonais com rodadas iniciando em setembro (2 meses)
- 2) Extração das chuvas em bacias hidrográficas de interesse. (2 meses)
  - a) Bacia do Rio Grande
  - b) Bacia do Rio Paranaíba
  - c) Bacia do Rio São Francisco
- 3) Avaliação das Previsões (6 meses)
- 4) Elaboração de Relatórios (2 meses)

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alves, L.M.; Marengo, J.A.; Castro, C.A.C. Início das chuvas na região Sudeste do Brasil: análise climatológica. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 12, Foz do Iguaçu. Anais... Foz do Iguaçu: SBMET, 2002. 1 CD-ROM.

Barbieri, P. R. B.; Vadlamudi, B. R.; Franchito, S. H. O estudo do início e fim da estação chuvosa na região sudeste do Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 13., , Fortaleza. **Anais...** 2004. CD-ROM; On-line. (INPE-12130-PRE/7476).

Chou, S. C.; Bustamante, J.; Gomes, J. L. Evaluation of Eta Model Seasonal Precipitation Forecasts Over South America. *Nonlinear Processes in Geophysics.*, v.12, p.537-555, 2005.

Lima, C. H. R., and U. Lall (2009), Hierarchical Bayesian modeling of multisite daily rainfall occurrence: Rainy season onset, peak and end, *Water Resour. Res.*, 45, W07422, doi:10.1029/2008WR007485.

Minuzzi, R. B.; Sedyama, E. M. B.; Júnior, J. C. F. M. Climatologia do Comportamento do Período Chuvoso da Região Sudeste do Brasil. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.22, n.3, p.338-344, 2007.

Pereira, L. M. P.; Caramori, P. H.; Ricce, W. S.; Silva, D. A. B.; Caviglione, J. H. Determinação do Início e Término da Estação Chuvosa no Estado do Paraná. *Revista Geografar*, v.3, n.2, p.01-12, 2008.

Sugahara, S., Flutuações interanuais, sazonais, e intrasazonais da precipitação no Estado de São Paulo. Tese de Doutorado. Departamento de Ciências Atmosféricas, IAG/USP, 145 pp, 1991.

Krige, D.G., (1951): A statistical approach to some basic mine valuation problems on the Witwatersrand. *J. Chem. Metall. Min. Soc. S. Afr.*, 52, p. 119-139.

Liebman, B., S. J. Camargo, A. Seth, J. A. Marengo, L. M. V. Carvalho, D. Allured, R. Fu, C.

S. Vera, (2007): Onset and End of the Rainy Season in South America in Observations and the ECHAM 4.5 Atmospheric General Circulation Model. *J. Climate*, 20, p. 2037-2050.

Matheron, G. (1973): The intrinsic random functions and their applications. *Adv. in appl. prob.* 5, p. 439-468.