

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

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

Maria Luísa Rocha Santos da Silva (Universidade Federal do Rio de  
Janeiro, Bolsista PIBIC/CNPq)  
E-mail: malurochasantos@hotmail.com

Prakki Satyamurty (Pesquisador do CPTEC/INPE, Orientador)  
E-mail: saty.prakki@gmail.com

**COLABORADORES**

Dra. Chou Sin Chan (CPTEC/INPE)  
Dra. Nicole Resende (CPTEC/INPE)  
Dra. Claudine Pereira Dereczynski (IGEO/UFRJ)

Julho de 2019

O presente relatório descreve as atividades realizadas do projeto de Iniciação Científica do PIBIC/CNPq no período de agosto de 2018 a julho de 2019.

## SUMÁRIO

<b>RESUMO</b> .....	5
<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	5
<b>2 OBJETIVOS DO TRABALHO</b> .....	6
<b>3 MATERIAIS E MÉTODOS UTILIZADOS</b> .....	6
<b>3.1 Área de estudo</b> .....	6
<b>3.2 Modelo Regional Eta</b> .....	7
<b>3.3 Avaliação da previsibilidade do modelo Eta e base de dados utilizada</b> .....	8
<b>4 ANÁLISES E RESULTADOS</b> .....	8
<b>4.1 Detecção da pentada de início da estação chuvosa</b> .....	8
<b>4.1.1 Período de 2001 a 2007</b> .....	9
<b>4.1.2 Período de 2011 a 2015</b> .....	13
<b>5 CONCLUSÕES</b> .....	14
<b>6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	15

## LISTAS DE ILUSTRAÇÕES

- 3.1 Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco e suas quatro regiões fisiográficas.....8
- 4.1 Definição do início da estação chuvosa para o Alto São Francisco usando métodos de pentadas (5 dias) baseados na precipitação para os anos 2001 a 2007. Linhas azul e verde representam médias de cinco dias precipitação (mm/dia), para o MERGE e Eta-40km, respectivamente. As linhas verticais definem as pentadas de início da estação chuvosa, azul para o MERGE e verde para o Eta-40km.....9
- 4.2 Definição do início da estação chuvosa para o Médio São Francisco usando métodos de pentadas (5 dias) baseados na precipitação para os anos 2001 a 2007. Linhas azul e verde representam médias de cinco dias precipitação (mm/dia), para o MERGE e Eta-40km, respectivamente. As linhas verticais definem as pentadas de início da estação chuvosa, azul para o MERGE e verde para o Eta-40km.....10
- 4.3 Definição do início da estação chuvosa para o Submédio São Francisco usando métodos de pentadas (5 dias) baseados na precipitação para os anos 2001 a 2007. Linhas azul e verde representam médias de cinco dias precipitação (mm/dia), para o MERGE e Eta-40km, respectivamente. As linhas verticais definem as pentadas de início da estação chuvosa, azul para o MERGE e verde para o Eta-40km.....11
- 4.4 Definição do início da estação chuvosa para o Alto São Francisco usando métodos de pentadas (5 dias) baseados na precipitação para os anos 2011 a 2015. Linhas azul e vermelha representam médias de cinco dias precipitação (mm/dia), para o MERGE e Eta-20km, respectivamente. As linhas verticais definem as pentadas de início da estação chuvosa, azul para o MERGE e vermelha para o Eta-20km.....13



## LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

BESM	-	Brazilian Earth System Model
BHSF	-	Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco
CFSR	-	Climate Forecast System Reanalysis
CPTEC	-	Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos
INMET	-	Instituto Nacional de Meteorologia

## RESUMO

Esta pesquisa foi realizada com a finalidade de avaliar as previsões subsazonais do modelo Eta na detecção do início da estação chuvosa na Bacia Hidrográfica do rio São Francisco (BHSF). Avaliou-se também a performance do modelo para representar os fenômenos meteorológicos que ocorrem na região. Nesta etapa do trabalho, foi aplicado um método estatístico para determinar quando o modelo Eta adianta, atrasa ou representa o início da estação chuvosa na região do Baixo São Francisco. Para isso, foram utilizados: i) Modelo Eta aninhado ao BESM (*Brazilian Earth System Model*), integrado em apenas um membro (iniciado no dia 15 de setembro), no período de 2001 a 2007, resolução horizontal de 40 km e em horizonte sazonal (prazo de integração de 4,5 meses); ii) Modelo Eta aninhado ao CFSR (*Climate Forecast System Reanalysis*), integrado em apenas um membro (iniciado no dia 01 de setembro), no período de 2011 a 2015, resolução horizontal de 20km e em horizonte subsazonal (prazo de integração de 60 dias); iii) Dados observacionais do MERGE, nos períodos ditados acima. Neste estudo foram consideradas três das quatro regiões fisiográficas da bacia: Alto, Médio e Submédio São Francisco. Os resultados preliminares da avaliação sazonal indicam: i) Na maioria dos anos analisados o modelo consegue representar o início da estação chuvosa ou fica à duas pentadas da característica do início da estação chuvosa nas regiões do Alto e Médio São Francisco; ii) Na região do Submédio São Francisco a detecção da pentada não é exata, mas não foge à característica sazonal do período.

## 1 INTRODUÇÃO

A bacia hidrográfica do Rio São Francisco (BHSF) é caracterizada por uma grande diversidade climática, uma vez que se estende por parte dos estados de Minas Gerais, Bahia, Sergipe, Pernambuco, Alagoas, Goiás e do Distrito Federal (DA SILVA et al., 2004). Dessa forma, existem variações de latitude, longitude, cobertura vegetal, proximidade ao mar, continentalidade e sistemas atmosféricos associados.

O estudo da bacia do Rio São Francisco tem grande importância para o país, devido à grande demanda por água nos diversos setores da economia: hidroeletricidade, agricultura, navegação, pesca e aquicultura, abastecimento humano e industrial, controle de cheias, recreação e turismo, entre outros. Dessa forma é importante analisar o quanto à bacia contribui em termos de quantidade de água para a região, e o quanto cada sub-



bacia faz parte dessas contribuições, tornando possível a gestão dos recursos hídricos na BRSF (DA SILVA et al., 2004).

Uma importante ferramenta para apoiar a gestão de recursos hídricos é a utilização de previsões sazonais e subsazonais. Contudo, essas previsões podem apresentar limitações relacionadas a destreza limitada, dependência de condições de contorno e baixa previsibilidade. Sendo assim, faz-se necessário avaliar as previsões sazonais e subsazonais para que estas possam ser aplicadas em diferentes estudos.

Previsões sazonais para a América do Sul usando o Modelo Eta são executadas desde 2002 no CPTEC. No modelo de integração mais longo, estas previsões tendem a mostrar alguns erros de desvio e sistemáticos (BUSTAMANTE et al., 2006). Climatologias de 5 anos de dados do modelo Eta, dados observacionais de superfície e dados de reanálises, foram comparadas por Bustamante et al. (2006). Os resultados indicam que o modelo, em geral, capturou os padrões de precipitação das estações chuvosa e seca, contudo, superestimou a precipitação na região do nordeste brasileiro.

## **2 OBJETIVOS DO TRABALHO**

O objetivo desta pesquisa é avaliar as previsões subsazonais do modelo Eta na detecção do início da estação chuvosa na BHSF, incluindo a performance do modelo para representar os fenômenos meteorológicos que ocorrem na região. Nesta etapa do trabalho, foi aplicado um método estatístico para determinar quando o modelo Eta (integrado em horizontes sazonal e subsazonal) adianta, atrasa ou representa o início da estação chuvosa na região do Alto São Francisco.

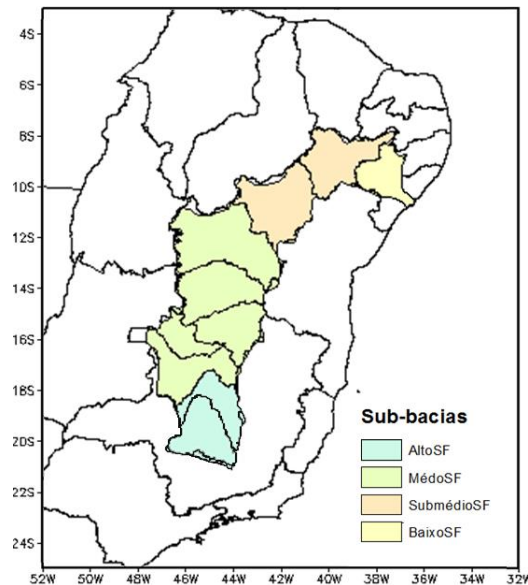
## **3 MATERIAIS E MÉTODOS UTILIZADOS**

### **3.1 Área de estudo**

Com aproximadamente 2.700 km de extensão e descarregando uma vazão média de 2.810 m<sup>3</sup>/s no Oceano Atlântico, o rio São Francisco é um dos principais rios do Brasil. Sua bacia hidrográfica possui uma área de 639.219 km<sup>2</sup>, onde habitam cerca de 13 milhões de pessoas, que correspondem a 8% da população do país.

A BHSF é dividida, para fins de estudo, em quatro regiões fisiográficas: Alto, Médio, Submédio e Baixo São Francisco. Neste estudo, o Baixo São Francisco não foi considerado, uma vez que o início da sua estação chuvosa ocorre no mês de março (Cunha et al., 2015). Assim, fica distante dos prazos de integração utilizados nesse relatório para Eta-40km e Eta-20km.

Figura 3.1 - Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco e suas quatro regiões fisiográficas



Destaca-se que a bacia compreende uma parte significativa do Polígono das Secas, que constitui um território reconhecido pela legislação como sujeito a períodos críticos de prolongadas estiagens e situa-se, majoritariamente, na região Nordeste, porém estende-se até o norte de Minas Gerais (DA SILVA et al, 2004).

### 3.2 Modelo Regional Eta

O modelo Eta (Mesinger et al., 2012) tem sido utilizado no INPE para produzir previsões sobre América do Sul em diferentes escalas temporais. Nessa etapa do trabalho foram utilizadas simulações sazonais e subsazonais do modelo Eta (regionalização). O modelo em horizonte sazonal foi acoplado oceano-atmosfera aninhado ao BESM (*Brazilian Earth System Model*) (Nobre, et al. 2013), com um membro iniciado em 15 de setembro e prazo de integração de 4,5 meses no período entre 2001 e 2007. A resolução horizontal de modelo é de 40 km, e, portanto, este será referido como Eta-40km ao longo deste trabalho. O modelo em horizonte subsazonal foi aninhado ao CFSR (*Climate Forecast System*

*Reanalysis*) (Saha et al., 2010), com um membro iniciado em 01 de setembro e prazo de integração de 60 dias no período entre 2011 e 2015. A resolução horizontal de modelo é de 20 km e, assim, este será referido como Eta-20km ao longo deste trabalho.

### **3.3 Método estatístico para detecção do início da estação chuvosa do modelo Eta e base de dados utilizada**

O método consistiu em avaliar a chuva média diária e desvio padrão a cada 5 dias (penteadas) de um ano, ou seja, considera 73 penteadas por ano. Se o desvio padrão da pentada variar mais que 2,0 unidades do desvio padrão da estação seca daquele ano, está é a pentada característica do início da estação chuvosa. Foi aplicado para os Eta-40km e Eta-20km e confrontados com os resultados obtidos a partir dos dados diários de precipitação do MERGE (Rozante et al., 2010).

A equação do desvio padrão é descrita à seguir sendo  $x_i$  o valor de precipitação diária,  $\bar{x}$  o valor médio da precipitação nos 5 dias e  $n$  o número total de dias.

$$Dp = \frac{\sqrt{(x_i - \bar{x})^2}}{n}$$

A estação seca de cada ano foi determinada pelos meses de inverno no hemisfério sul (junho, julho e agosto) para Alto São Francisco. O início da estação chuvosa no Médio São Francisco ocorre nos meses de outubro e novembro e no Submédio, nos meses de novembro e dezembro (Vieira et al., 2015). Para o Médio, foram utilizados os meses de julho, agosto e setembro e os meses de setembro, outubro e novembro para Submédio São Francisco.

## **4 ANÁLISES E RESULTADOS**

### **4.1 Detecção da pentada de início da estação chuvosa**

Nesta seção são apresentados os resultados das penteadas que marcam o início da estação chuvosa nos períodos de 2001 a 2007 (Eta-40km) e 2011 a 2015 (Eta-20km), a partir de gráficos de linhas e barras.



### 4.1.1 Período de 2001 a 2007

A Figura 4.1 a seguir indica a média de precipitação nas pentadas dos anos de 2001 a 2007 e as pentadas do início da estação chuvosa para o MERGE (linha vertical azul) e o Eta-40-km (linha vertical verde) na sub-bacia do Alto São Francisco.

Figura 4.1 - Definição do início da estação chuvosa para o Alto São Francisco usando métodos de pentadas (5 dias) baseados na precipitação para os anos 2001 a 2007. Linhas azul e verde representam médias de cinco dias precipitação (mm/dia), para o MERGE e Eta-40km, respectivamente. As linhas verticais definem as pentadas de início da estação chuvosa, azul para o MERGE e verde para o Eta-40km.



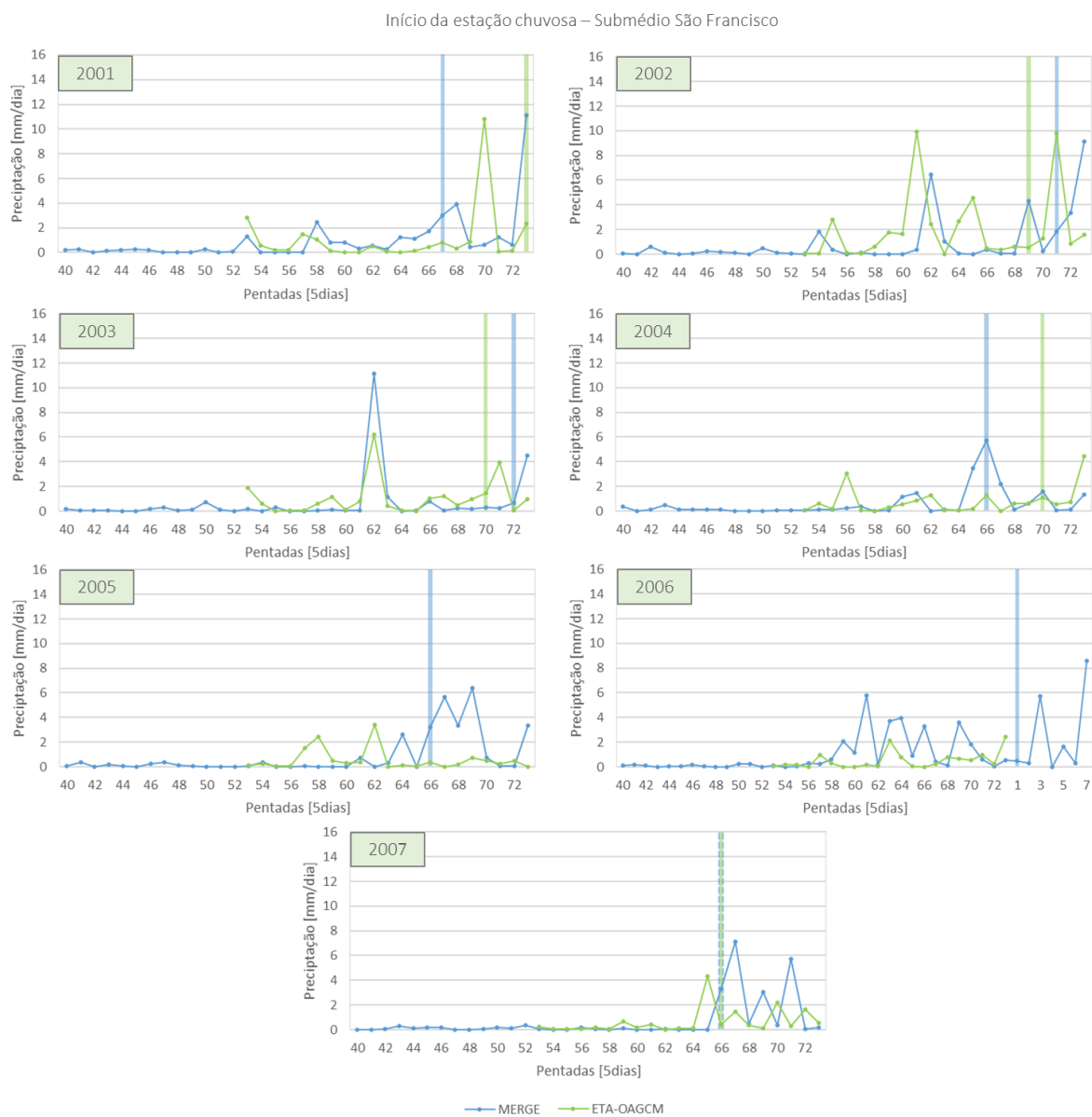
A Figura 4.2 indica a média de precipitação nas pentadas dos anos de 2001 a 2007 e as pentadas do início da estação chuvosa para o MERGE (linha vertical azul) e o Eta-40km (linha vertical verde) na sub-bacia do Médio São Francisco.

Figura 4.2 – Definição do início da estação chuvosa para o Médio São Francisco usando métodos de pentadas (5 dias) baseados na precipitação para os anos 2001 a 2007. Linhas azul e verde representam médias de cinco dias precipitação (mm/dia), para o MERGE e Eta-40km, respectivamente. As linhas verticais definem as pentadas de início da estação chuvosa, azul para o MERGE e verde para o Eta-40km.



A Figura 4.3 indica a média de precipitação nas pentadas dos anos de 2001 a 2007 e as pentadas do início da estação chuvosa para o MERGE (linha vertical azul) e o Eta-40km (linha vertical verde) na sub-bacia do Submédio São Francisco.

Figura 4.3 – Definição do início da estação chuvosa para o Submédio São Francisco usando métodos de pentadas (5 dias) baseados na precipitação para os anos 2001 a 2007. Linhas azul e verde representam médias de cinco dias precipitação (mm/dia), para o MERGE e Eta-40km, respectivamente. As linhas verticais definem as pentadas de início da estação chuvosa, azul para o MERGE e verde para o Eta-40km.



Em geral, as figuras 4.1, 4.2 e 4.3 mostram maiores valores de precipitação em mm/dia nas últimas pentadas do ano. Assim, existe uma correta representação sazonal da distribuição de precipitação, mesmo que não acerte a magnitude de cada pentada. Ademais, observam-se as maiores médias de precipitação no Alto São Francisco e menores no Submédio São Francisco, mostrando que o modelo acompanha o padrão espacial de distribuição da precipitação da BHSF.

Na Figura 4.1 verifica-se que nos anos de 2002, 2003, 2005 e 2006 a simulação do modelo Eta-40km representa a pentada característica do início da estação chuvosa no Alto São Francisco. Nos anos de 2001 e 2004, o modelo Eta-40km adianta em 2 pentadas e no ano de 2007, adianta em 4 pentadas. Nesta figura é possível concluir que as pentadas característica do início da estação chuvosa são 54, 55 e 56, final de setembro e início de outubro. Estes resultados condizem com a indicação do INMET(2017), que a firma que a estação chuvosa na região se inicia no mês de outubro, e que as primeiras pancadas de chuva, normalmente ocorrem na segunda quinzena de setembro, evidenciando o declínio da estação seca.

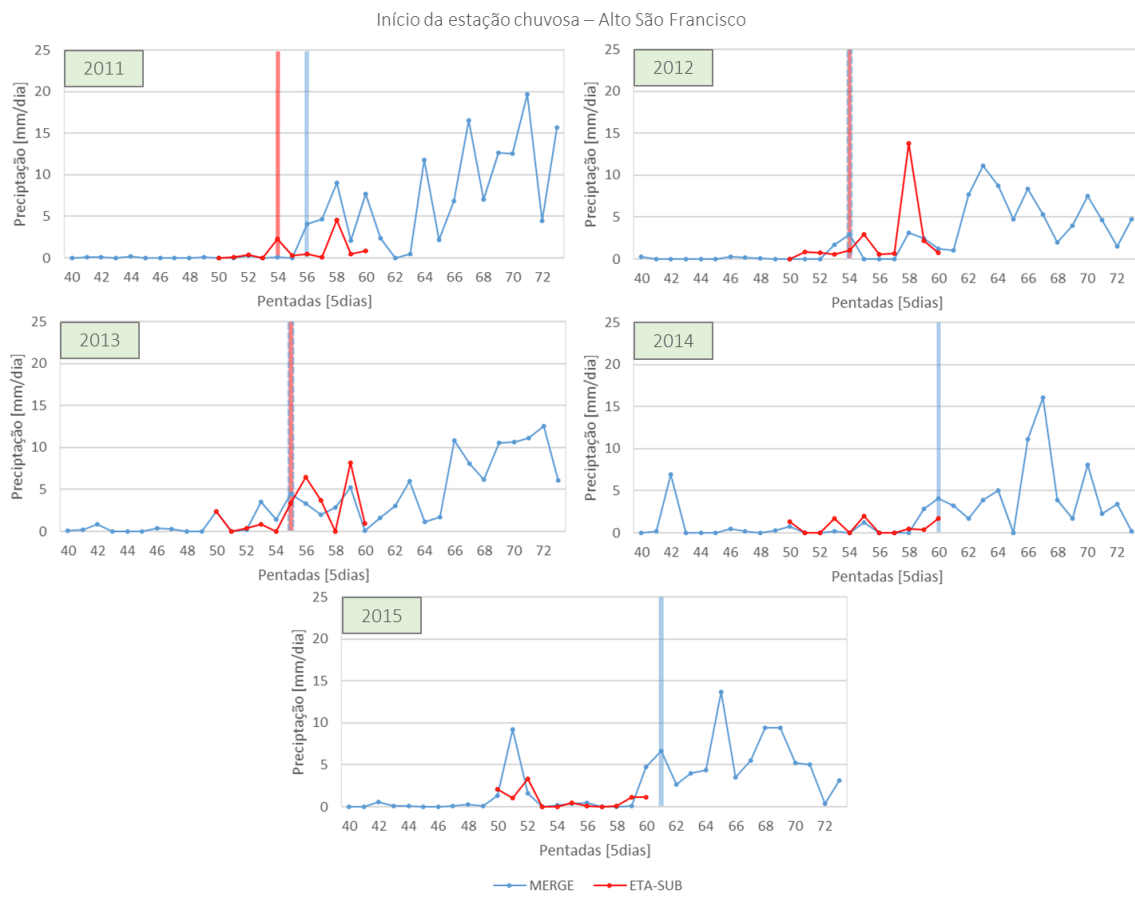
Para a sub-bacia do Médio São Francisco (Figura 4.2), o modelo simula corretamente a pentada início da estação chuvosa nos anos de 2002, 2005 e 2006. Tem-se adiantamento de uma pentada no ano de 2003 e de cinco pentadas no ano de 2007. Nos anos de 2001 e 2004, observa-se atraso de uma pentada. De uma maneira geral, as pentadas 60, 61, 62 marcam o início da estação chuvosa nessa região, final de outubro e início de novembro, que também já foi observado por Cunha et al. (2015).

Por fim, no Submédio São Francisco (figura 4.3) o modelo simula corretamente a pentada característica do início da estação chuvosa somente no ano de 2007. Isso ocorre devido aos baixos acumulados de precipitação dessa região, mesmo na estação chuvosa. Vale destacar que os baixos valores característicos do regime de chuvas, também dificulta a representação da magnitude da precipitação nas pentadas, o que já pode ser visto na Figura 4.2. O modelo adianta em duas pentadas nos anos de 2002 e 2003, atrasa seis pentadas em 2001 e quatro em 2004. Nos anos de 2005 e 2006, ele não detecta mais o início da estação chuvosa, uma vez que, ocorre depois do fim do seu prazo de integração. Assim como Cunha et al. (2015), concluímos que o início da estação chuvosa ocorre no final de dezembro e início de janeiro.

#### 4.1.2 Período de 2011 a 2015

A Figura 4.4 a seguir indica a média de precipitação nas pentadas dos anos de 2011 a 2015 e as pentadas do início da estação chuvosa para o MERGE (linha vertical azul) e o Eta-20km (linha vertical vermelha) na sub-bacia do Alto São Francisco. Devido ao prazo de integração de 60 dias, somente os resultados para o Alto São Francisco foram colocados no atual relatório.

Figura 4.4 - Definição do início da estação chuvosa para o Alto São Francisco usando métodos de pentadas (5 dias) baseados na precipitação para os anos 2011 a 2015. Linhas azul e vermelha representam médias de cinco dias precipitação (mm/dia), para o MERGE e Eta-20km, respectivamente. As linhas verticais definem as pentadas de início da estação chuvosa, azul para o MERGE e vermelha para o Eta-20km.



Primeiramente, a Figura 4.4 mostra maiores valores de precipitação em mm/dia nas últimas pentadas do ano. Por isso, da mesma forma que analisado acima, existe uma

correta representação sazonal da distribuição de precipitação, mesmo que não representando a magnitude de cada pentada.

Na Figura 4.4 verifica-se que nos anos de 2012 e 2013 a simulação do modelo Eta-20km representa a pentada característica do início da estação chuvosa no Alto São Francisco. No ano de 2011 adianta em duas pentadas. Nos anos de 2014 e 2015, o modelo Eta-20km, por conta do prazo de integração de 60 dias, não é possível detectar o início da estação chuvosa. Porém, apesar dos poucos anos analisados, as pentadas escolhidas (54 e 55) são, como dito anteriormente já conhecidas como as do início da estação chuvosa pelo INMET.

## **5 CONCLUSÕES.**

As análises mostraram a avaliação da capacidade de duas simulações do modelo Eta (horizonte sazonal e subsazonal) de detectar o início da estação chuvosa nas sub-bacias da Bacia Hidrográfica do rio São Francisco.

De maneira geral, observou-se que a simulação do modelo Eta indicam mais chuva onde chove mais, Alto São Francisco, e indica menos chuva no Submédio São Francisco, mostrando que o modelo tem o mesmo padrão espacial de distribuição de chuva que o apontado pelo MERGE. Além disso, é possível observar o fim da estação seca e início da estação chuvosa em todas as situações analisadas, assim, o modelo consegue reproduzir bem a sazonalidade da região BHSF.

Toma-se conhecimento que a determinação exata da pentada característica do início da estação chuvosa é menos complexa no Alto São Francisco do que no Médio e Submédio. Isso se deve ao baixo índice pluviométrico dessas sub-bacias, que dificulta o processo de determinação. Além disso, na maioria dos casos analisados de adianto e atraso das pentadas, a magnetude é menor no Alto, e maior no Médio e Submédio São Francisco.

Por fim, é possível concluir que o modelo Eta-40km foi melhor aproveitado nos resultados apresentados no relatório devido ao seu maior prazo de integração (4,5 meses). Pelo fato do Eta-20km tem horizonte de 60 dias, não foi possível afirmar se uma maior resolução de dados é mais vantajosa para concluir o objetivo do relatório.

Uma metodologia semelhante à apresentada nesse relatório será aplicada à novas rodadas sazonais e subsazonais do modelo Eta-20km nas próximas etapas da pesquisa.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, L. M.; CHOU, S. C. & MARENGO, J. A.. Avaliação das previsões de chuvas sazonais do modelo Eta climático sobre o Brasil. Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC), 2004.

BUSTAMANTE, J. F.; GOMES, J. L. & CHOU, S. C.. 5-year Eta Model seasonal forecast climatology over South America. In International Conference on Southern Hemisphere Meteorology and Oceanography, Vol. 8, pp. 24-28, 2006.

CUNHA, A. P. M. et al. Monitoring vegetative drought dynamics in the Brazilian semiarid region. *Agricultural and Forest Meteorology*, v. 214, p. 494-505, 2015.

DA SILVA, B. C. & CLARKE, R. T. Análise estatística de chuvas intensas na bacia do Rio São Francisco. Instituto de Pesquisas Hidráulicas (UFRGS), 2004.

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia. Nota técnica: 004/17 – Estação chuvosa em Minas Gerais. Disponível em: [http://www.inmet.gov.br/portal/notas\\_tecnicas/2017/OUTUBRO/Nota\\_tecnica\\_CEDEC\\_00\\_17.pdf](http://www.inmet.gov.br/portal/notas_tecnicas/2017/OUTUBRO/Nota_tecnica_CEDEC_00_17.pdf). Acesso em 13 de agosto de 2018.

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

NOBRE, P., SIQUEIRA, L.S.P., DE ALMEIDA, R.A.F., MALAGUTTI, M., GIAROLLA, E., CASTELÃO, G.P., et al. Climate Simulation and Change in the Brazilian Climate Model. *Journal of Climate*, 26, 6716-6732, 2013. <http://dx.doi.org/10.1175/JCLI-D-12-00580.1>

REBOUÇAS, A. C. Água na região Nordeste: desperdício e escassez. *Estudos Avançados*, Vol. 11, pp. 127-154, 1997.

ROZANTE, J. R.; MOREIRA, D. S. ; GONÇALVES., L. G. G. ; VILA, DANIEL A. . Combining TRMM and Surface Observations of Precipitation: Technique and Validation Over South America. *Weather and Forecasting*, 2010. DOI: <http://dx.doi.org/10.1175/2010WAF2222325.1>



SAHA, S., MOORTHI, S., PAN, H., WU, X., WANG, J., NADIGA, S., TRIPP, P., KISTLER, R., WOOLLEN, J., BEHRINGER, D., LIU, H., STOKES, D., GRUMBINE, R., GAYNO, G., WANG, J., HOU, Y., CHUANG, H., JUANG, H. H., SELA, J., IREDELL, M., TREADON, R., KLEIST, D., DELST, P. V., KEYSER, D., DERBER, J., EK, M., MENG, J., WEI, H., YANG, R., LORD, S., VAN DEN DOOL, H., KUMAR, A., WANG, W., LONG, C., CHELLIAH, M., XUE, Y., HUANG, B., SCHEMM, J., EBISUZAKI, W., LIN, R., XIE, P., CHEN, M., ZHOU, S., HIGGINS, W., ZOU, C., LIU, Q., CHEN, Y., HAN, Y., CUCURULL, L., REYNOLDS, R. W., RUTLEDGE, G., GOLDBERG, M., 2010. The NCEP Climate Forecast System Reanalysis. DOI: <http://dx.doi.org/10.1175/2010BAMS3001.1>

SILVA, B. C. & CLARKE, R. T. . Análise Estatística de Chuvas Intensas na Bacia do Rio São Francisco. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 19, n.3, p. 265-272, 2004.