

XXIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS

AVALIAÇÃO DAS SIMULAÇÕES DE PRECIPITAÇÃO SUBSAZONAIS DO MODELO ETA PARA BACIA DO RIO SÃO FRANCISCO

*Maria Luísa Rocha Santos da Silva¹; Sin Chan Chou²; Nicole Resende²; Claudine Pereira
Dereczynski¹ & Prakki Satyamurty²*

RESUMO – A bacia hidrográfica do Rio São Francisco (BHSF) é caracterizada por uma grande diversidade climática. Previsões de precipitação no horizonte subsazonal para a bacia são importantes para apoiar atividades relacionadas com os diversos usos da água na região, por exemplo: hidroeletricidade, agricultura, navegação, controle de cheias, recreação e turismo, entre outros usos. Este trabalho tem por objetivo principal avaliar o desempenho das simulações do modelo Eta de prazo subsazonal na região da BHSF. O modelo Eta é integrado com 20 km de resolução horizontal, aninhado ao Climate Forecast System Reanalysis (Eta-CFSR). Acumulados de precipitação a cada 20 dias do período setembro-outubro (de 2011 a 2015) e janeiro-fevereiro (de 2012 a 2016), para horizontes de até 60 dias, são comparadas com dados observados. Correlações espaciais entre tais campos simulados e observados são calculadas. Os resultados indicam que as simulações do Eta-CFRS reproduzem a variabilidade interanual da precipitação, embora apresentem em geral, subestimativa dos acumulados.

Abstract – The São Francisco River Basin (SFRB) is characterized by great climatic diversity. The study of sub-seasonal forecasts in the basin is important for Brazil, due to the great demand for water in the various sectors of the economy: hydroelectricity, agriculture, navigation, flood control, recreation, and tourism, among others. The main objective of this work is to evaluate the performance of the sub-seasonal simulations of the Eta model in the region of SFRB. Total precipitation was evaluated every 20 days from September-October, January, and February (2011 to 2016), based on sub-seasonal simulations (integration period up to 60 days) of the Eta model, in comparison to observed data. The results, analyzing the pattern correlation between simulated and observed accumulated precipitation, indicate that the model can reproduce the precipitation's interannual variability, although it presents difficulties to reproduce its magnitude.

Palavras-Chave – horizonte subsazonal; Nordeste do Brasil; correlação espacial; modelo regional Eta

1) Instituto de Geociências, Departamento de Meteorologia - Universidade Federal do Rio de Janeiro
Av. Athos da Silveira Ramos, 274 - Bloco G - Cidade Universitária - CEP: 21941-916 Rio de Janeiro - RJ, Brasil

2) Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
Rodovia Presidente Dutra, km 39 - CEP: 12630-000 - Cachoeira Paulista - SP, Brasil

E-mails: malurochasantos@hotmail.com, chou.sinchan@cptec.inpe.br, claudinedereczynski@gmail.com, nicole.resende@cptec.inpe.br e saty.prakki@gmail.com

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 (Figura 1). Dessa forma, existem variações na cobertura vegetal, proximidade ao mar, continentalidade e sistemas atmosféricos atuantes sobre a BHSF. De acordo com CBHSF (2019), a BHSF apresenta precipitação média anual de 1.036 mm, com valores mais baixos (em torno de 350 mm/ano) no Submédio e Baixo São Francisco (SF), enquanto os valores mais altos de precipitação (em torno de 1.400 mm/ano) ocorrem nas nascentes do rio, região do Alto SF. O trimestre mais chuvoso ocorre em NDJ no Alto e Médio SF, em JFM no Submédio e em MJJ no Baixo SF. Por outro lado, o trimestre mais seco ocorre em JJA no Alto e Médio SF, em JAS no Submédio e em OND no Baixo SF (<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/mesTempo>).

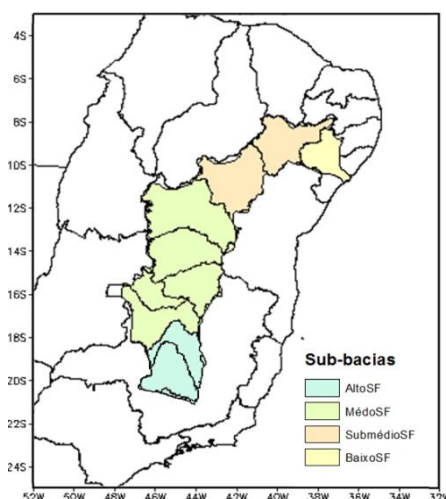


Figura 1 - Bacia do Rio São Francisco dividida nas quatro regiões fisiográficas: Alto, Médio, Submédio e Baixo São Francisco.

A previsão da precipitação sobre a BHSF tem importância pelos diversos usos da água nos diversos setores da economia: hidroeletricidade, agricultura, navegação, pesca e aquicultura, abastecimento humano e industrial, controle de cheias, recreação e turismo, entre outros. Em períodos de baixa disponibilidade hídrica, conflitos de uso d'água se agravam. Dessa forma, previsões de precipitação no horizonte de até 60 dias, isto é, na escala subsazonal, são úteis para melhorar a gestão do uso da água na bacia. Contudo, tais previsões apresentam limitações,

principalmente em regiões onde a precipitação apresenta alta variabilidade interanual e intrasazonal, como na BHSF.

1.1 Objetivos

Este trabalho tem por objetivo avaliar as simulações de chuva produzidas pelo modelo Eta, com 20 km de resolução horizontal, sobre a região da BHSF para o período de 2011 a 2016.

2. DADOS E METODOLOGIA

2.1 Área de Estudo

A BHSF (Figura 1) 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 do Brasil, e se estende até o norte de Minas Gerais (Da Silva et al., 2004).

2.2 Modelo Regional Eta

O modelo Eta (Mesinger et al., 2012), tem sido utilizado no INPE para produzir previsões sobre América do Sul em diferentes horizontes temporais, por exemplo para previsão de tempo (Seluchi e Chou, 2009; Seluchi et al., 2011; Siqueira et al., 2016), previsão subsazonal (Chou et al., 2015) e sazonal (Chou et al., 2005; Pilotto et al., 2012; Resende e Chou, 2015; Chou et al., 2018; Ferreira e Chou, 2019; Chou et al., 2019). Simulações no horizonte subsazonal do modelo Eta foram geradas para o prazo de integração de 60 dias iniciadas nos meses de setembro e janeiro. A resolução horizontal do modelo é de 20 km. As condições iniciais e de contorno do modelo foram obtidas das reanálises do “Climate Forecast System Reanalysis” (CFSR) (Saha et al., 2010) em um membro. Portanto, essa configuração será referida como Eta-CFSR ao longo deste trabalho. A análise acerca do desempenho do modelo foi realizada considerando o período entre 2011 e 2015, nas simulações iniciadas em primeiro de setembro, e entre 2012 e 2016, nas simulações iniciadas em primeiro de janeiro.

2.3 Avaliação das Simulações

Os dados observados de precipitação MERGE (Rozante et al., 2010) foram utilizadas para avaliar a precipitação das integrações subsazonais do modelo Eta. A precipitação foi acumulada em 20 dias. A correlação espacial entre os dados simulados e observados foram obtidos para o domínio da BHSF. O objetivo desta técnica é simplesmente obter a semelhança de padrões espaciais entre duas variáveis, neste caso, verificando se o modelo simula com precisão o padrão de precipitação observada.

3. RESULTADOS

Nesta seção são apresentados os acumulados de precipitação, em horizonte subsazonal, provenientes das simulações do Eta-CFSR e também os campos de diferença das simulações e dos dados observacionais (MERGE). Ademais, são apresentadas as correlações espaciais no período entre 2011 e 2015, iniciadas em setembro, e entre 2012 e 2016 iniciadas em janeiro. Resultados gráficos referentes aos grupos de 20 dias de cada simulação, 01/set-20/set (P1), 21/set-10/out (P2), 11/out-30/out (P3), 01/jan-20/jan (P4), 21/jan-09/fev (P5) e 10/fev-01/mar (P6) e tabelas com os coeficientes de correlação também são exibidos.

3.1 Setembro e Outubro

A Figura 2 mostra a precipitação acumulada na região da BHSF, obtida a partir da simulação do modelo Eta para setembro e outubro. A Figura 3 mostra a diferença entre a média da precipitação acumulada em 20 dias dos dados do Eta-CFSR e as observações MERGE, ambas para 01/set-20/set (P1), 21/set-10/out (P2) e 11/out-30/out (P3), no período de 2011 a 2015.

Nota-se na Figura 2 que o modelo simulou pouca chuva (inferior a 25 mm/20dias) sobre a maior parte do BHSF entre setembro e outubro (de 2011 a 2015), exceto no leste do Baixo SF e no Alto SF. Tais campos simulados seguem o mesmo padrão do MERGE (Figura não apresentada).

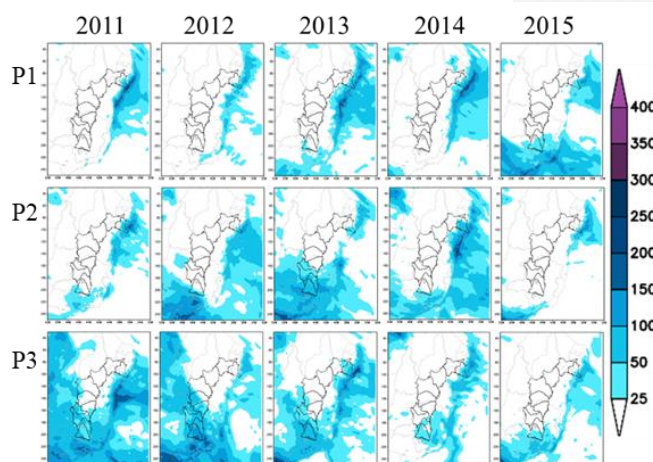


Figura 2 - Precipitação (mm/20 dias) do modelo Eta-CFSR para 01/set-20/set (P1), 21/set-10/out (P2) e 11/out-30/out (P3), para os anos de 2011 a 2015.

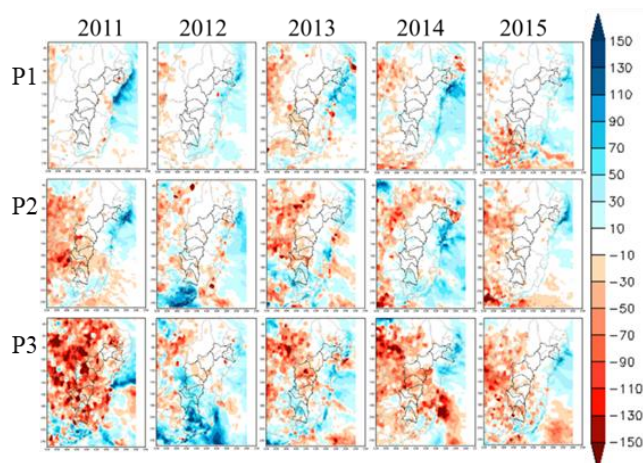


Figura 3 - Diferença entre a precipitação (mm/20 dias) das simulações do Eta-CFSR e as observações MERGE para 01/set-20/set (P1), 21/set-10/out (P2) e 11/oct-30/out (P3), no período de 2011 a 2015.

A Tabela 1 apresenta os coeficientes de correlação espacial da variável precipitação acumulada entre a simulação do Eta-CFSR e os dados do MERGE. Nota-se, através desses coeficientes de correlação espacial, o vínculo existente entre a simulação e o dado observado (destaques em vermelho). Contudo, em alguns períodos a correlação é baixa e até mesmo negativa (P2 em 2011).

Tabela 1 - Correlação espacial entre a precipitação (mm/20 dias) simulada e a observada para 01/set-20/set (P1), 21/set-10/out (P2) e 11/oct-30/out (P3), para os anos de 2011 a 2015, para toda a BHSF. Valores acima de 0,70 estão destacados em vermelho.

Período	Ano
---------	-----

	2011	2012	2013	2014	2015
P1	0,72	0,52	0,37	0,62	0,76
P2	-0,04	0,67	0,70	0,61	0,19
P3	0,42	0,54	0,33	0,19	0,33

Observa-se a partir da Figura 3 que em geral o modelo apresenta subestimativa (superestimativa) nas áreas com menores (maiores) totais pluviométricos simulados. Tais subestimativas e superestimativas são da ordem de 10 mm/20 dias no interior da BHSF. As subestimativas são decorrentes dos baixos valores de precipitação acumulada para o conjunto de dias analisado, enquanto as superestimativas, dos altos valores.

O modelo mostra bom desempenho nos primeiros vinte dias (P1) dos anos de 2011 e 2015 com coeficientes de correlação espacial maiores do que 0,7 em relação ao MERGE. É interessante realçar que em 2011 ocorreram chuvas acima da média climatológica (Marengo et al., 2016) e ainda assim o modelo conseguiu representar bem a precipitação acumulada no período P1. Ademais, no período de 21 de setembro a 10 de outubro (P2), tem-se correlações maiores de 0,5 nos anos de 2012, 2013 e 2014.

3.2 Janeiro e Fevereiro

As Figura 4 e 5 são semelhantes às Figuras 2 e 3 e a Tabela 2 é semelhante à Tabela 1, exceto para simulações elaboradas para os períodos 01/jan-20/jan (P4), 21/jan-09/fev (P5) e 10/fev-01/mar (P6) dos anos de 2012 a 2016.

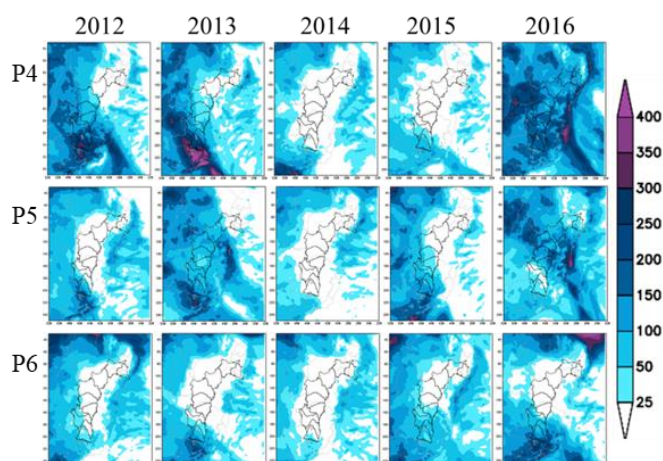


Figura 4 - Precipitação (mm/20 dias) simulada pelo modelo Eta-CFSR para 01/jan-20/jan (P4), 21/jan-09/fev (P5) e 10/fev-01/mar (P6), nos anos de 2012 a 2016.

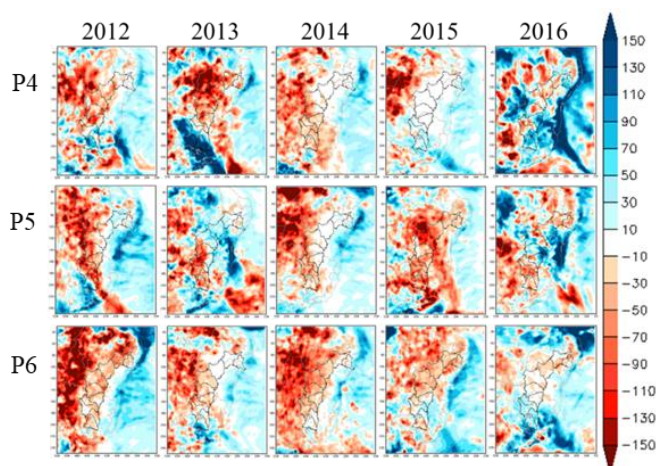


Figura 5 - Diferença entre a precipitação (mm/20 dias) simulada e observada para 01/jan-20/jan (P4), 21/jan-09/fev (P5) e 10/fev-01/mar (P6), nos anos de 2012 a 2016.

Tabela 2- Correlação espacial entre a precipitação (mm/20 dias) simulada e a observada para 01/jan-20/jan (P4), 21/jan-09/fev (P5) e 10/fev-01/mar (P6), no período de 2012 a 2016, para toda a BHSF. Valores acima de 0,7 foram destacados em vermelho.

Período	Ano				
	2012	2013	2014	2015	2016
P4	0,79	0,37	0,16	0,55	0,24
P5	0,23	0,46	0,38	0,66	0,42
P6	0,48	0,29	-0,13	0,17	0,78

Nota-se que o modelo simula totais pluviométricos mais elevados em janeiro-fevereiro (Figura 4) do que para setembro-outubro (Figura 2), o que está de acordo com a climatologia da região. Além disso, as simulações de precipitação, apresentadas na Figura 4, seguem aproximadamente o padrão espacial das observações do MERGE (Figura não apresentada).

Observa-se na Figura 5 subestimativas de até 10 mm/20 dias em grande parte da BHSF e superestimativas variando entre 10 e 30 mm/20 dias no sul do Alto SF em todos os anos analisados. As superestimativas ocorrem devido aos altos valores de precipitação acumulada para o conjunto de dias analisado.

O modelo mostra bom desempenho nos anos de 2012 e 2016 com coeficientes de correlação de 0,79 (P4) e 0,78 (P6), respectivamente. Ademais, tem-se correlações maiores que 0,5 para o ano

de 2015 em P4 e P5. Em 2012, apesar das chuvas abaixo da média climatológica (Marengo et al., 2016), o modelo apresenta bom desempenho na simulação P4.

4. CONCLUSÕES

Neste trabalho elabora-se uma avaliação das simulações de precipitação no horizonte subsazonal do modelo Eta para a região da BHSF em três grupos de 20 dias iniciados em setembro para os anos de 2011 a 2015 e em três grupos de 20 dias iniciados em janeiro para os anos de 2012 a 2016. Observam-se os melhores resultados no período de setembro-outubro, uma vez que esses meses apresentam menores valores de precipitação acumulada do que janeiro-fevereiro. Com destaque para os 20 primeiros dias de setembro (P1).

Para os meses de setembro e outubro, a simulação do modelo Eta-CFSR superestima a precipitação onde o modelo simula mais chuva (Alto SF), e subestima a precipitação onde o modelo simula menos chuva (Submédio e Baixo SF). Nos primeiros vinte dias de setembro (P1) tem-se bom desempenho da simulação do modelo na magnitude das previsões dos anos de 2011 e 2015, com coeficientes de correlação espacial de respectivamente 0,72 e 0,76. Para o médio e submédio SF a magnitude da precipitação é bem simulada.

Para os meses de janeiro e fevereiro, a simulação mostra uma correta representação da distribuição espacial da precipitação, com maiores totais pluviométricos no sul da BHSF e menores totais pluviométricos no norte da BHFS. Identificou-se também nas simulações um maior volume de chuva no Alto SF e menor volume no Baixo SF, na maioria dos anos analisados. Para o período 1 a 20 de janeiro (P4), tem-se boa estimativa do modelo Eta-CFSR na região no médio e submédio SF no ano de 2012, com coeficientes de correlação 0,79 em relação ao MERGE. Verifica-se ainda, coeficiente de correlação igual a 0,78 no período de 10 de fevereiro a 01 de março (P6).

De maneira geral, notou-se que a precipitação simulada pelo modelo Eta superestima a chuva em regiões chuvosas como no Alto SF, e subestima a chuva no Submédio e Baixo SF. Ainda que o modelo apresente dificuldades para reproduzir a magnitude da precipitação na BHSF, as estimativas simuladas mostram uma boa variabilidade interanual.

AGRADECIMENTOS

A primeira autora agradece ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa de Iniciação Científica PIBIC/INPE. A segunda autora agradece o CNPq pela bolsa PQ 306757/2017-6. O projeto é parcialmente apoiado pela Coordenação de

Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES-ANA PRÓ RECURSOS HIDRICOS 88887.144893/2017-00).

REFERÊNCIAS

- CHOU S. C.; RESENDE, N.; ROCHA M.L.; DERECZYNSKI, C. P.; GOMES, J. L.; SUEIRO, G. (2018). “*From subseasonal to seasonal forecasts over South America using the Eta Model.*” P 7-11. Conference on Numerical Weather And Climate Modeling: Beginnings, Now, and Vision of the Future. Belgrado, Sérvia, Setembro 2018.
- CHOU, S. C.; BUSTAMANTE, J.; GOMES, J. L. (2005). “*Evaluation of Eta Model seasonal precipitation forecasts over South America.*” *Nonlinear Processes in Geophysics*, v.12, p.537 - 555.
- CHOU, S. C.; MARENGO, J. A.; SILVA, A. J.; LYRA, A. A.; TAVARES, P.; DE GOUVEIA SOUZA, C. R.; ... ARAGÃO, L. E. (2019). Projections of Climate Change in the Coastal Area of Santos. In *Climate Change in Santos Brazil: Projections, Impacts and Adaptation Options*, 59-73. Springer, Cham.
- CHOU, S. C.; SUEIRO, G.; ALVES, L. F.; RODRIGUEZ, D. A.; GOMES, J. L.; ROZANTE, J. R.; NOBRE, P. (2015). “*Previsões de chuva no horizonte de 50 dias.*” Congresso Brasileiro de Energia, 7. Rio de Janeiro, RJ.
- COMITÊ, D.; FRANCISCO–CBHSF, S. ã. O. (2017). “*A bacia.*” Disponível em:<<https://cbhsaofrancisco.org.br/a-bacia/>>, Acesso em 25 de julho de 2019.
- DA SILVA, B. C.; T CLARKE, R. O. B. I. N. (2004). Análise estatística de chuvas intensas na Bacia do Rio São Francisco. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 19(3), 265-272.
- FERREIRA, N. C. R.; CHOU, S. C. (2019). “*Influência do tipo de textura e umidade inicial do solo sobre a simulação da precipitação*”. *Anuário do Instituto de Geociências* 41 (3), 680-689, 2019. DOI: 10.11137/2018_3_680_689
- MARENGO, J. A.; CUNHA, A. P.; ALVES, L. M. (2016). “*A seca de 2012-15 no semiárido do Nordeste do Brasil no contexto histórico*”. *Revista Climanálise*, São Paulo, ano 3, v.1, 141-152.
- 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. (2012). “*An upgraded version of the Eta model, Meteorol Atmos Phys*”.vol. 116 (3-4), 63-79. DOI: 10.1007/s00703-012-0182-z
- PILOTTO, I. D.; CHOU, S.C.; NOBRE, P. (2012). “*Seasonal climate hindcasts with Eta model nested in CPTEC coupled ocean-atmosphere general circulation model.*” *Theoretical and Applied Climatology*. Vol.110, no. 3, pp. 437-456. 2012. DOI:10.1007/s00704-012-0633-y.

- RESENDE, N.; CHOU, S. C. (2015). “*Influência das condições do solo na climatologia da previsão sazonal do modelo Eta*”. Revista Brasileira de Climatologia. V.15, p. 64-79. ISSN: 1980-055x (Impressa) 2237-8642 (Eletrônica)
- ROZANTE, J. R.; MOREIRA, D. S.; GONÇALVES., L. G. G.; VILA, DANIEL A. (2010). “Combining TRMM and Surface Observations of Precipitation: Technique and Validation Over South America”. Weather and Forecasting, vol. 25, 885-894. DOI: 10.1175/2010WAF2222325.1
- SAHA, S.; MOORTHY, 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, 1015-1057. DOI: 10.1175/2010BAMS3001.1
- SELUCHI, M. E.; CHOU, S.C.; GRAMANI, M. (2011). “A case study of winter heavy rainfall event over the Serra do Mar in Brazil.” Geofísica International. Vol 50, no. 1, 41-56.
- SELUCHI, M.E.; CHOU, S.C. (2009). “Synoptic patterns associated with landslide events in the Serra do Mar, Brazil.” Theoretical and Applied Climatology. Volume 98, Issue 1-2, pp 67-77 . DOI 10.1007/s00704-008-0101-x
- SIQUEIRA, V. A.; COLLISCHONN, W.; FAN, F. M.; CHOU, S. C. (2016). “Ensemble flood forecasting based on operational forecasts of the regional Eta EPS in the Taquari-Antas basin.” RBRH 21 (3), 587-602. DOI: 10.1590/2318-0331.011616004