



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

AVALIAÇÃO DO BALANÇO HÍDRICO SOBRE O BRASIL SIMULADO PELO MODELO BAM EM PREVISÕES DE TEMPO DE ATÉ 11 DIAS

Igor Frassoni Guedes dos Santos

Relatório Final de Bolsa de Iniciação Científica, orientado por Antônio Ocimar Manzi e João Gerd Zell de Mattos

URL do documento original:

[<http://urlib.net/xx/yy>](http://urlib.net/xx/yy)

INPE

São José dos Campos

15 de Setembro de 2020

PUBLICADO POR:

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE

Gabinete do Diretor (GB)

Serviço de Informação e Documentação (SID)

Caixa Postal 515 - CEP 12.245-970

São José dos Campos - SP - Brasil

Tel.:(012) 3945-6923/6921

Fax: (012) 3945-6919

E-mail: <pubtc@sid.inpe.br>

**COMISSÃO DO CONSELHO DE EDITORAÇÃO E PRESERVAÇÃO
DA PRODUÇÃO INTELECTUAL DO INPE (DE/DIR-544):****Presidente:**

Marciana Leite Ribeiro - Serviço de Informação e Documentação (SID)

Membros:

Dr. Gerald Jean Francis Banon - Coordenação Observação da Terra (OBT)

Dr. Amauri Silva Montes - Coordenação Engenharia e Tecnologia Espaciais (ETE)

Dr. André de Castro Milone - Coordenação Ciências Espaciais e Atmosféricas
(CEA)

Dr. Joaquim José Barroso de Castro - Centro de Tecnologias Espaciais (CTE)

Dr. Manoel Alonso Gan - Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos
(CPT)

Dr^a Maria do Carmo de Andrade Nono - Conselho de Pós-Graduação

Dr. Plínio Carlos Alvalá - Centro de Ciência do Sistema Terrestre (CST)

BIBLIOTECA DIGITAL:

Dr. Gerald Jean Francis Banon - Coordenação de Observação da Terra (OBT)

Clayton Martins Pereira - Serviço de Informação e Documentação (SID)

REVISÃO E NORMALIZAÇÃO DOCUMENTÁRIA:

Simone Angélica Del Duca Barbedo - Serviço de Informação e Documentação
(SID)

Yolanda Ribeiro da Silva Souza - Serviço de Informação e Documentação (SID)

EDITORAÇÃO ELETRÔNICA:

Marcelo de Castro Pazos - Serviço de Informação e Documentação (SID)

André Luis Dias Fernandes - Serviço de Informação e Documentação (SID)



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

AVALIAÇÃO DO BALANÇO HÍDRICO SOBRE O BRASIL SIMULADO PELO MODELO BAM EM PREVISÕES DE TEMPO DE ATÉ 11 DIAS

Igor Frassoni Guedes dos Santos

Relatório Final de Bolsa de Iniciação Científica, orientado por Antônio Ocimar Manzi e João Gerd Zell de Mattos

URL do documento original:

[<http://urlib.net/xx/yy>](http://urlib.net/xx/yy)

INPE

São José dos Campos

15 de Setembro de 2020



Esta obra foi licenciada sob uma Licença Creative Commons Atribuição-NãoComercial 3.0 Não Adaptada.

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 3.0 Unported License.

LISTA DE FIGURAS

	<u>Pág.</u>
4.1 RMS para o mês de fevereiro de 2018 nas regiões a) Norte, b) Nordeste, c) Sul/Sudeste e d) América do Sul.	5
4.2 RMS para o mês de agosto de 2018 nas regiões a) Norte, b) Nordeste, c) Sul/Sudeste e d) América do Sul.	5
4.3 BIAS para o mês de fevereiro de 2018 nas regiões a) Norte, b) Nordeste, c) Sul/Sudeste do Brasil e d) América do Sul.	7
4.4 BIAS para o mês de agosto de 2018 nas regiões a) Norte, b) Nordeste, c) Sul/Sudeste do Brasil e d) América do Sul.	7
4.5 ETS para o mês de fevereiro de 2018 nas regiões a) Norte, b) Nordeste, c) Sul/Sudeste do Brasil e d) América do Sul.	8
4.6 ETS para o mês de agosto de 2018 nas regiões a) Norte, b) Nordeste, c) Sul/Sudeste do Brasil e d) América do Sul.	8
4.7 BIAS para o mês de fevereiro de 2018 nas regiões a) Norte, b) Nordeste, c) Sul/Sudeste do Brasil e d) América do Sul.	9
4.8 ETS para o mês de fevereiro de 2018 nas regiões a) Norte, b) Nordeste, c) Sul/Sudeste do Brasil e d) América do Sul.	10

SUMÁRIO

	<u>Pág.</u>
1 Introdução	1
1.1 Balanço de água	2
2 Objetivo	3
3 Atividades Desenvolvidas durante o período da bolsa	3
4 Resultados Obtidos em função do Plano de Trabalho proposto .	4
5 Conclusões Gerais	9
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	10

RESUMO

O balanço hídrico em um modelo numérico inclui representações da interceptação de precipitação por folhagens de plantas, transpiração, evaporação do solo, evaporação do dossel, infiltração, escoamento superficial, água do solo, recarga do aquífero e neve, os quais são representados por um modelo numérico da superfície terrestre. Estes parâmetros afetam a temperatura, a precipitação e o escoamento nas simulações numéricas de tempo. Assim, representar corretamente o balanço hídrico é fundamental para a qualidade das previsões de tempo e estendidas de um modelo numérico. Neste sentido, um procedimento importante é a avaliação objetiva das previsões numéricas das variáveis que compõe o balanço hídrico, visando identificar possíveis deficiências que impactam no desempenho de variáveis tais como temperatura e umidade relativa próximas à superfície e precipitação. Tais variáveis são consideradas de interesse da sociedade, pois impactam a vida da população em geral. Com isto, o objetivo deste estudo é avaliar as variáveis do balanço hídrico simuladas pelo modelo global de circulação geral da atmosfera atualmente em operação no CPTEC.

1 Introdução

O sistema climático global se comporta interativamente e consiste de cinco componentes principais (BAEDE et al., 2001): atmosfera, hidrosfera, criosfera, biosfera

e superfície continental, forçadas ou influenciadas por vários mecanismos externos, sendo o sol o mais importante.

Perturbações em qualquer uma das componentes do sistema climático global geram padrões de retroalimentação resultantes que podem amplificar ou reduzir as alterações em resposta à perturbação inicial e, portanto, são aspectos importantes a se considerar (IPCC, 2001). Os modelos de Previsão Numérica de Tempo e Clima (PNTC) utilizam aproximações numéricas das leis de conservação de massa, *momentum* e energia para simular suas componentes. Para modelar a evolução do sistema terrestre de forma adequada, tais componentes devem ser conectadas de forma interativa e representadas realisticamente (IPCC, 2001).

Portanto, os modelos devem ser capazes de representar, além destas quantidades, outros processos e variações da superfície continental, como a heterogeneidade espacial, a variabilidade temporal de cada um de seus processos interdependentes, as interações superfície-atmosfera e as atividades naturais e antrópicas (PITMAN, 2003). A caracterização adequada da superfície continental nos modelos numéricos contribui para melhorias não somente nas previsões de tempo e clima, mas também em aplicações diretas à sociedade, como a mitigação de desastres naturais, tais como enchentes e secas, a produção agrícola e o gerenciamento de recursos hídricos (KUMAR et al., 2008).

1.1 Balanço de água

A água é armazenada na superfície continental em múltiplos reservatórios, a saber: umidade do solo, água superficial, água no dossel, lençóis freáticos, neve e cobertura de gelo. A precipitação fornece água para a superfície continental, que é dividida em evaporação (E), escoamento superficial (R_s), drenagem ou escoamento subsuperficial (R_g), e na reposição do armazenamento de água (S). Assim, o balanço hídrico da superfície continental pode ser escrito como:

$$P = E + R_s + R_g + \frac{dS}{dt}, \quad (1.1)$$

em que $\frac{dS}{dt}$ é a taxa de variação do armazenamento de água. Uma série de características da superfície continental, como a vegetação ou as propriedades do solo, podem afetar o equilíbrio da água e, em particular, o particionamento da precipitação para outros componentes.

O balanço de água apresentado pela Equação 1.1, no entanto, não faz distinção entre as componentes individuais da evaporação na superfície continental (evaporação da superfície, transpiração das plantas, evaporação da água interceptada e sublimação da neve). Antes de atingir o solo, a precipitação pode ser interceptada pela vegetação ou superfícies impermeáveis (por exemplo, áreas asfaltadas nas cidades). A água interceptada evapora e volta para a atmosfera (E_I) em um tempo relativamente curto (normalmente dentro de algumas horas, dependendo da saturação de vapor d'água da atmosfera), enquanto a água que não é interceptada atinge o solo e pode infiltrar ou escoar pela superfície (R_s , Equação 1.1). A água infiltrada pode evaporar antes de penetrar profundamente no solo (E_{solo}), escoar através do solo para eventualmente se transformar em escoamento subsuperficial, ou ser absorvida pelas raízes para ser transpirada de volta para a atmosfera (E_{trans}). Finalmente, os processos podem diferir no caso de neve. Aqui é somente considerada a parte da neve que pode sublimar (E_{neve}). Assim, a evaporação da superfície (E na Equação 1.1) pode ser decomposta em suas componentes, tal que:

$$E = E_I + E_{solo} + E_{trans} + E_{neve}. \quad (1.2)$$

2 Objetivo

Este projeto tem como objetivo geral avaliar as variáveis do balanço hídrico (precipitação, evapotranspiração, escoamentos superficial) no modelo atmosférico global operacional BAM sobre o território brasileiro, além de propor os seguintes objetivos específicos:

- Fazer comparações das simulações do modelo BAM com dados observados de precipitação, temperatura próximo à superfície e evapotranspiração;
- Avaliar quantitativamente, por meio de técnicas estatísticas, as variáveis de precipitação, evapotranspiração e escoamento superficial do modelo BAM e seus ciclos diurnos para o ano de 2017/2018, tendo em vista que este período está disponível na base de dados do CPTEC/INPE e considera a versão mais atualizada do modelo BAM utilizada operacionalmente pelo centro.

3 Atividades Desenvolvidas durante o período da bolsa

O projeto iniciou em agosto de 2019, com período de finalização julho de 2020. Durante o período de vigência da bolsa foram realizadas pesquisas científicas para que o bolsista compreendesse melhor o problema abordado. Dentre a pesquisa foram estudados os seguintes temas:

- Conceitos básicos de modelagem numérica da atmosfera;
- Balanço Hídrico e suas componentes;
- Métricas estatísticas utilizadas para a avaliação de modelos.

Baseados nos conceitos aprendidos foram obtidas simulações realizadas com o modelo global do CPTEC, o *Brazilian global Atmospheric Model* (BAM), e realizaram-se avaliações objetivas de algumas variáveis atmosféricas. Os principais resultados serão apresentados na seção seguinte.

4 Resultados Obtidos em função do Plano de Trabalho proposto

A seguir são apresentados alguns dos resultados que foram obtidos durante o período de vigência da bolsa. Os resultados que serão apresentados contemplam alguns dos principais índices estatísticos que indicam o desempenho dos modelos globais BAM, GFS e ECMWF para a previsão de temperatura do ar e precipitação nos limiares de 2,54 e 31,1 milímetros. Foram selecionados os meses de fevereiro e agosto de 2018 pois possibilitam a comparação do desempenho destes modelos para estes períodos selecionados. A Figura 4.1 erro quadrático médio (RMS) para o mês de fevereiro de 2018 nas regiões a) Norte, b) Nordeste, c) Sul/Sudeste do Brasil e d) América do Sul, enquanto a Figura 4.2 apresenta erro quadrático médio (RMS) para o mês de agosto de 2018 nas mesmas regiões da Figura 4.1.

De modo geral, o BAM apresenta RMS médio superior ao GFS e ECMWF em ambos os períodos. Entretanto, para o mês de agosto de 2018, o BAM apresenta RMS médio equivalente ao RMS do GFS nas Regiões Norte e Sul/Sudeste, bem como na média para o domínio da América do Sul. Em todos os domínios o ECMWF apresenta RMS menor que os demais modelos.

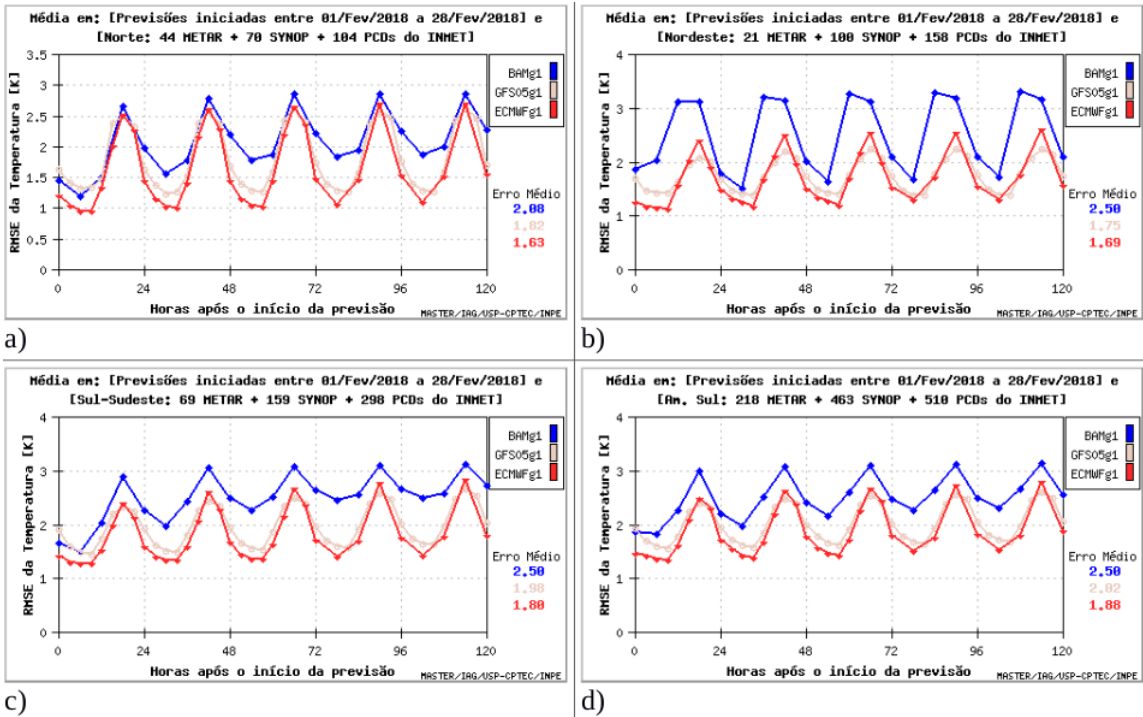


Figura 4.1 - RMS para o mês de fevereiro de 2018 nas regiões a) Norte, b) Nordeste, c) Sul/Sudeste e d) América do Sul.

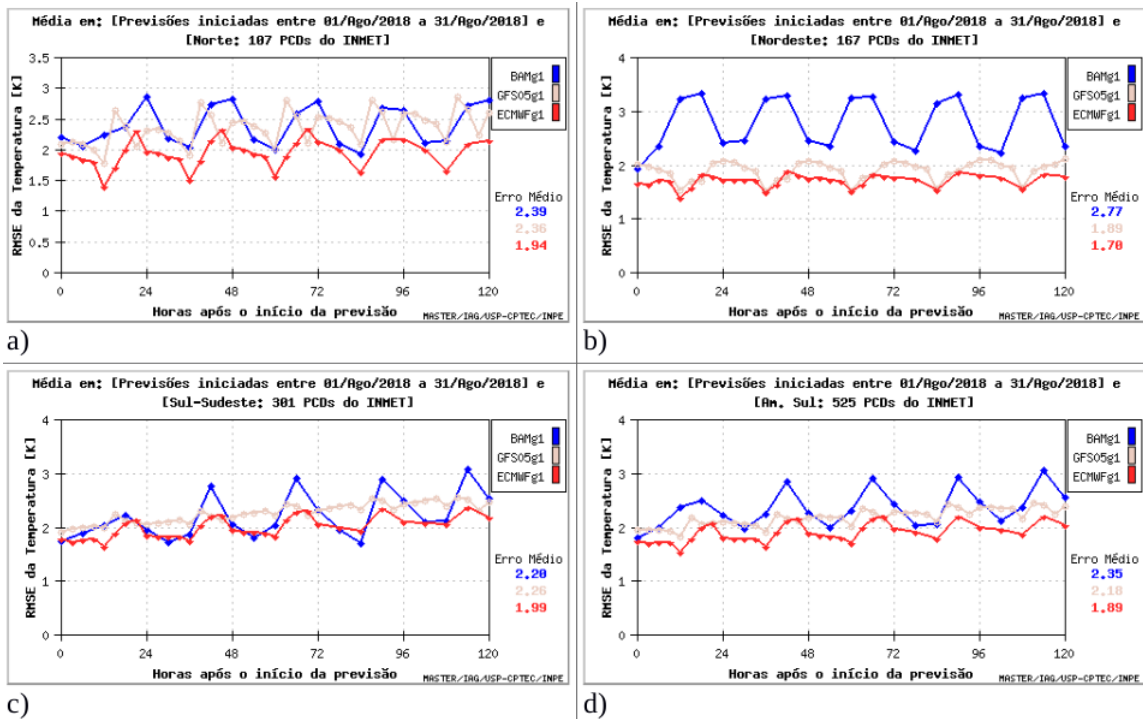


Figura 4.2 - RMS para o mês de agosto de 2018 nas regiões a) Norte, b) Nordeste, c) Sul/Sudeste e d) América do Sul.

As Figuras a seguir apresentam a avaliação das previsões de precipitação do modelo BAM em relação aos modelos do GFS e ECMWF, nos limiares de 2,54 e 31,1 milímetros. A metodologia empregada na avaliação objetiva das previsões de precipitação é a mesma utilizada em (CHOU; SUAREZ, 1999). Calculam-se o BIAS ou Viés (Equação refeq:01) e o - Equitable Threat Score” ou Índice Crítico de Sucesso Equitativo (ETS – Equação 4.2), conhecidos como variáveis categóricas.

$$\mathbf{BIAS} = \frac{F}{O} \quad (4.1)$$

$$\mathbf{ETS} = \frac{H - CH}{F + O - H - CH} \quad (4.2)$$

em que F é o número de eventos previstos para cada limiar de intensidade de chuva, O é o número de eventos observados, H é o número de acertos e CH é o fator de correção, dado por:

$$CH = \frac{F \times O}{N} \quad (4.3)$$

em que N representa o número total de eventos.

As Figuras 4.3 e 4.4 apresentam, respectivamente, o **BIAS** para o limiar de precipitação de 2,54mm para os meses de fevereiro e agosto de 2018 nas regiões a) Norte, b) Nordeste, c) Sul/Sudeste do Brasil e d) América do Sul.

As Figuras 4.5 e 4.6 apresentam, respectivamente, o **ETS** para o limiar de precipitação de 2,54mm para os meses de fevereiro e agosto de 2018 nas regiões a) Norte, b) Nordeste, c) Sul/Sudeste do Brasil e d) América do Sul.

De modo geral, o BAM tem desempenho equivalente ao GFS, apresentando ETS semelhante nas Regiões Nordeste e Sul/Sudeste, bem como na média sobre o domínio da América do Sul para o mês de fevereiro. Na Região Norte, o BAM apresenta ETS inferior ao GFS. Em todos os casos, o ETS do modelo do ECMWF é superior aos modelos BAM e GFS. Com relação ao BIAS, o modelo GFS apresenta os maiores valores em todas as áreas em questão, enquanto que o BAM apresenta BIAS menor que os demais modelos em todas as áreas em quase todos os prazos de previsão. Para o mês de agosto, o BAM teve um desempenho muito inferior que os demais modelos, principalmente no resultado do ETS.

H

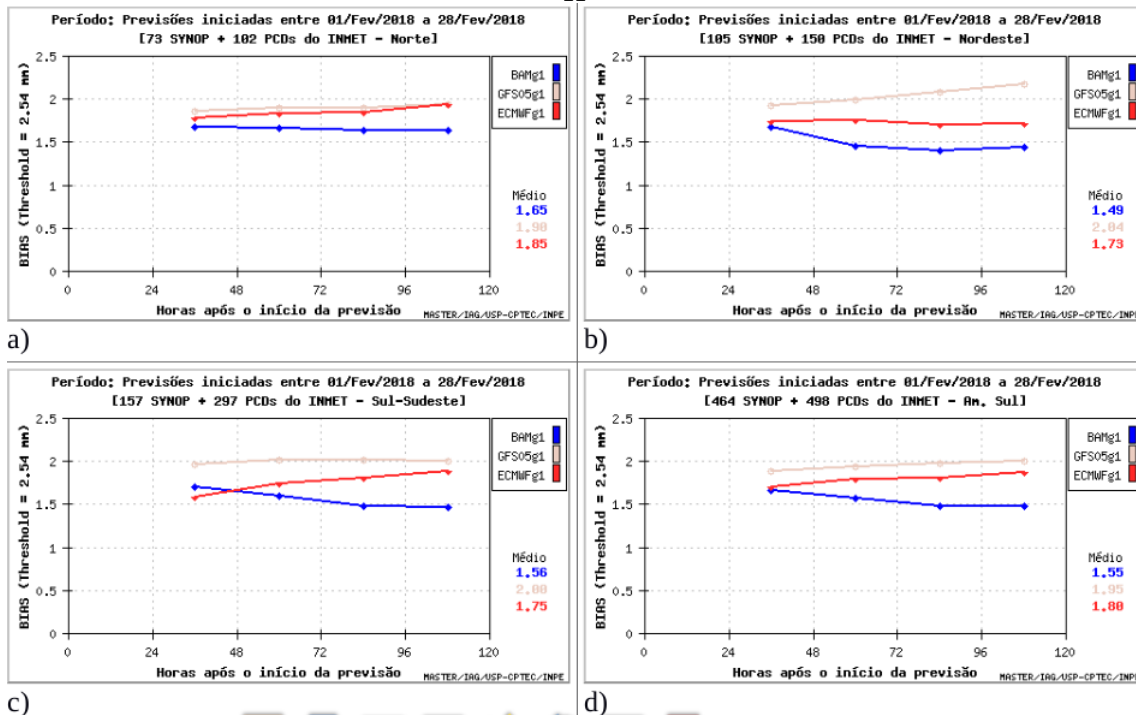


Figura 4.3 - BIAS para o mês de fevereiro de 2018 nas regiões a) Norte, b) Nordeste, c) Sul/Sudeste do Brasil e d) América do Sul.

H

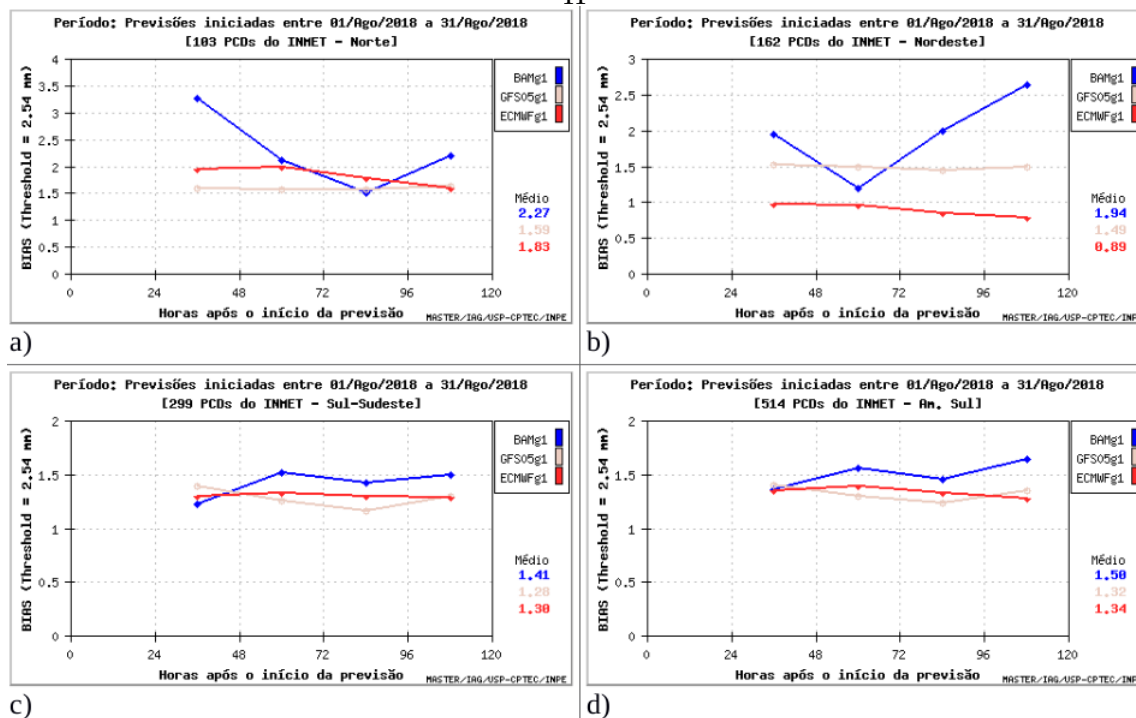


Figura 4.4 - BIAS para o mês de agosto de 2018 nas regiões a) Norte, b) Nordeste, c) Sul/Sudeste do Brasil e d) América do Sul.

H

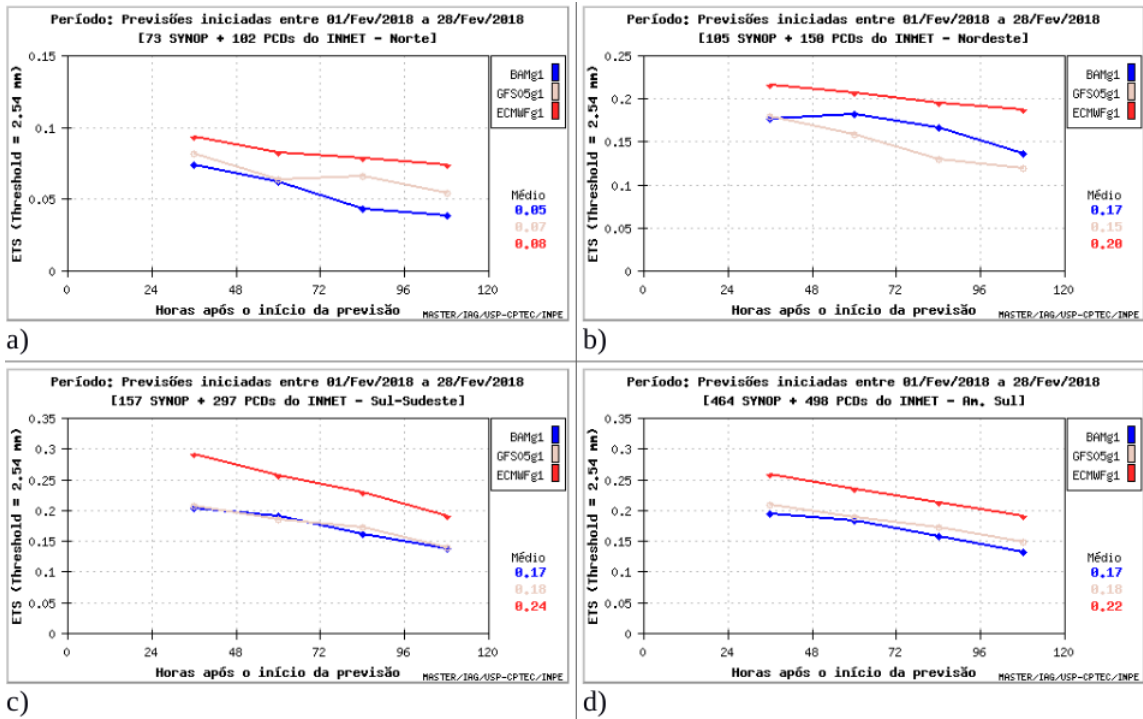


Figura 4.5 - ETS para o mês de fevereiro de 2018 nas regiões a) Norte, b) Nordeste, c) Sul/Sudeste do Brasil e d) América do Sul.

H

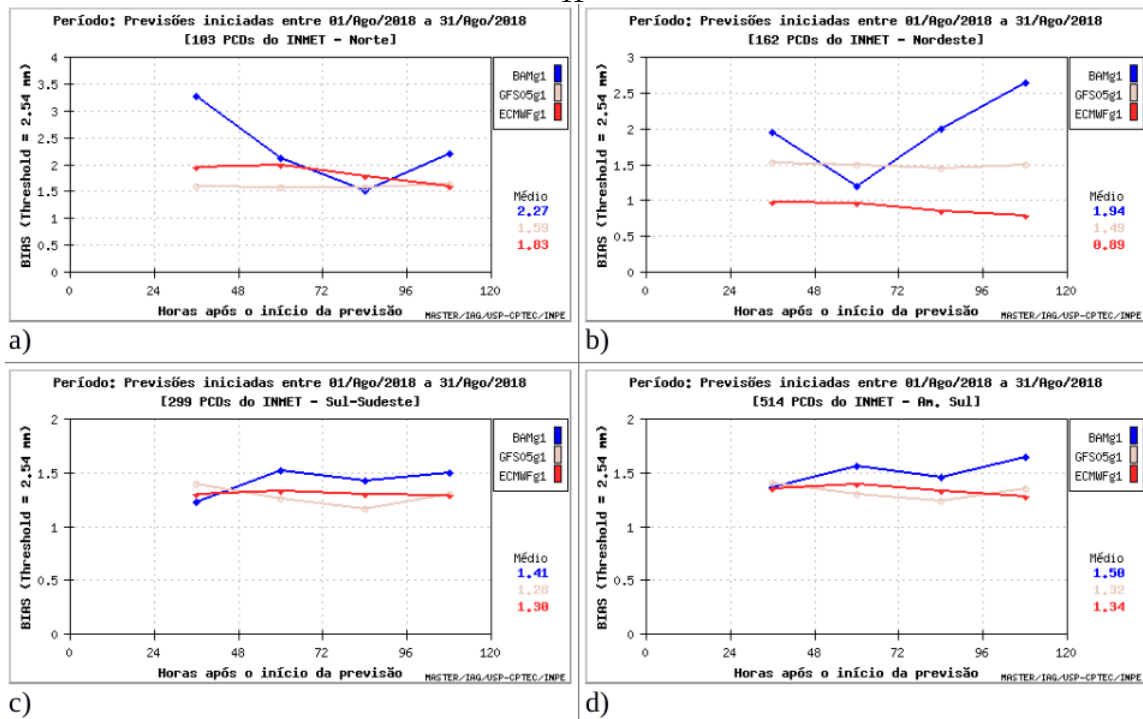


Figura 4.6 - ETS para o mês de agosto de 2018 nas regiões a) Norte, b) Nordeste, c) Sul/Sudeste do Brasil e d) América do Sul.

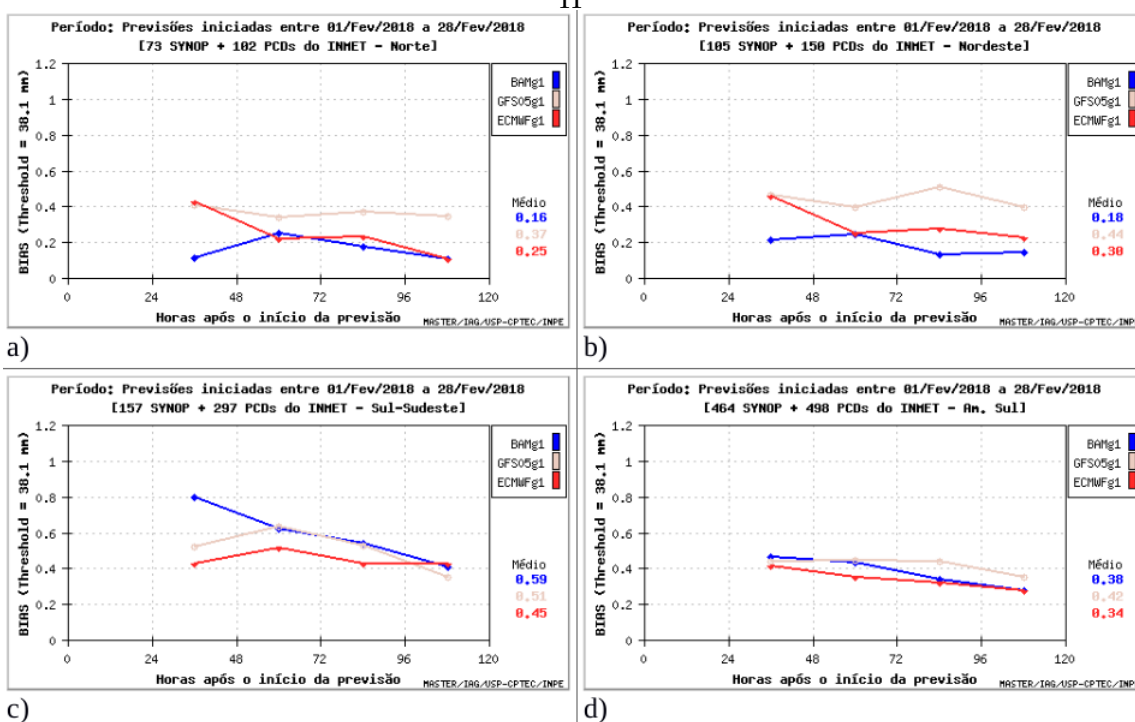


Figura 4.7 - BIAS para o mês de fevereiro de 2018 nas regiões a) Norte, b) Nordeste, c) Sul/Sudeste do Brasil e d) América do Sul.

As Figuras 4.7 e 4.8 apresentam, respectivamente, o **BIAS** e o **ETS** para o limiar de precipitação de 38,1mm para os mês de agosto de 2018 nas regiões a) Norte, b) Nordeste, c) Sul/Sudeste do Brasil e d) América do Sul.

Para o limiar de 38,1mm de precipitação o BAM tem desempenho equivalente ao GFS na Região Norte quando se analisa o mês de fevereiro, e apresenta um desempenho muito inferior nas demais áreas para os resultados do ETS. Por outro lado, o BIAS é semelhante ou inferior ao BIAS dos demais modelos.

5 Conclusões Gerais

Considerando o trabalho desenvolvido durante o decorrer da bolsa, percebeu-se a importância de algumas variáveis meteorológicas no dia-à-dia da população. Por meio do estudo sobre o balanço hídrico e suas componentes e da modelagem numérica da atmosfera, foi possível compreender como que um modelo numérico é utilizado para fazer a previsão de tempo de algumas das variáveis mais importantes para a sociedade: a Precipitação e a temperatura do ar. Em vista disto, nota-se que é importante realizar uma avaliação objetiva destas variáveis quando são geradas por

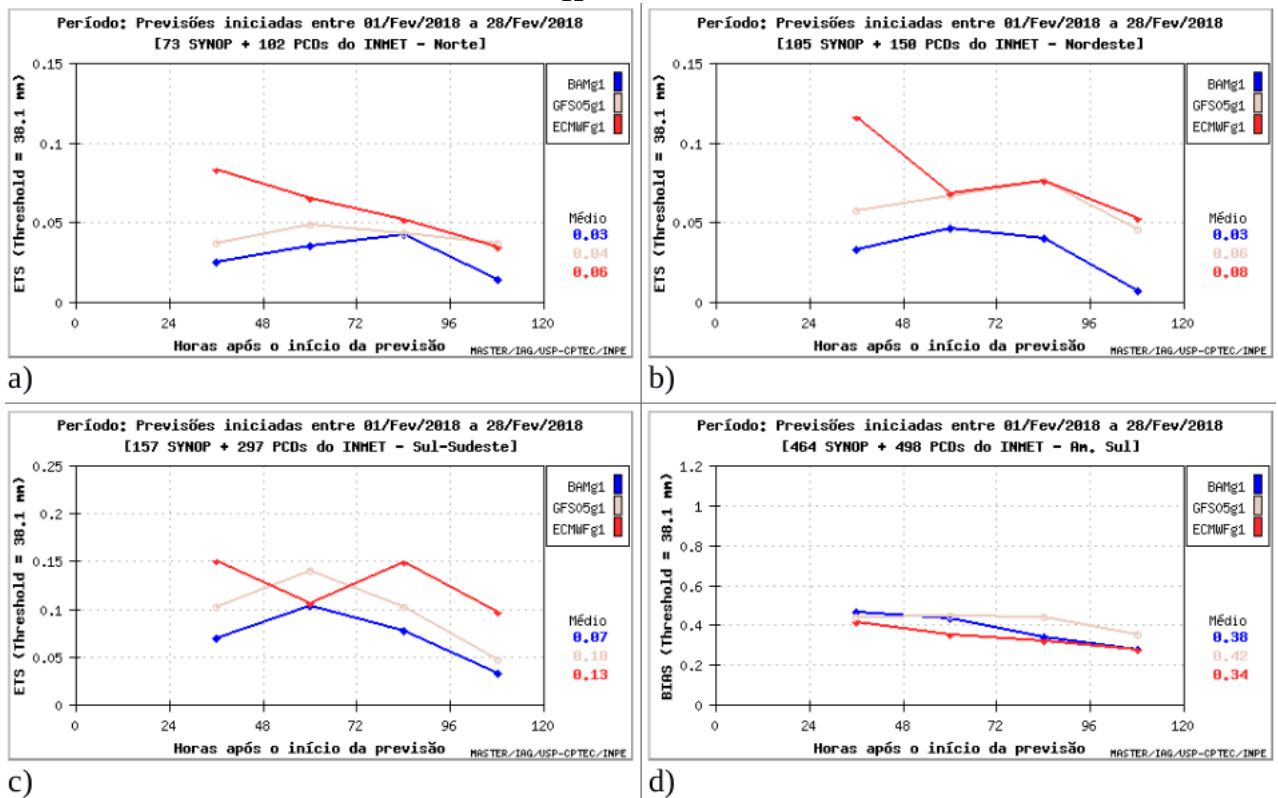


Figura 4.8 - ETS para o mês de fevereiro de 2018 nas regiões a) Norte, b) Nordeste, c) Sul/Sudeste do Brasil e d) América do Sul.

modelos numéricos, pois existem erros que devem ser determinados, para que seja buscada uma solução para o problema. Com isto, realizou-se a avaliação objetiva das variáveis temperatura do ar e precipitação em dois limiares de intensidade. O que foi possível perceber é que o modelo BAM (desenvolvido e operado pelo CPTEC) possui um desempenho inferior aos demais modelos utilizados nesta breve análise. Nota-se que o modelo do ECMWF é o que apresenta sempre os melhores resultados quando comparado aos dois outros modelos. Já o modelo BAM, embora que na maioria das vezes tenha um desempenho inferior aos demais, as análises demonstraram que em algumas situações ele apresenta um desempenho semelhante ao modelo GFS.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BAEDE, A.; AHLONSOU, E.; DING, Y.; SCHIMEL, D. The climate system: an overview. In: HOUGHTON, J.; Y, D.; GRIGGS, D.; NOUGUER, M.; LINDEN, P. van der; DAI, X.; MASKELL, K.; JOHNSON, C. (Ed.). **Climate change 2001: The scientific basis. Contribution of working group I to the third**

assessment report of the intergovernmental panel on climate change. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press, 2001. cap. 1, p. 85–98. ISBN 0521 80767 0. Disponível em: <<http://www.ipcc.ch/ipccreports/tar/wg1/>>. 1

CHOU, M.-D. M.-D.; SUAREZ, M. J. A solar radiation parameterization for atmospheric studies. In: SUAREZ, M. J. (Ed.). **Global Modeling and Data Assimilation.** Greenbelt, MD, EUA: NASA, 1999. v. 15, n. (NASA/TM-1999-104606). Technical Report Series. Disponível em: <<http://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/19990060930.pdf>>. 6

IPCC, . **Climate change 2001: The scientific basis.** Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press, 2001. 881 p. ISSN 0521 80767 0. ISBN 0521 01495 6. 2

KUMAR, S. V.; REICHLER, R. H.; PETERS-LIDARD, C. D.; KOSTER, R. D.; ZHAN, X.; CROW, W. T.; EYLANDER, J. B.; HOUSER, P. R. A land surface data assimilation framework using the land information system: Description and applications. **Advances in Water Resources**, v. 31, n. 11, p. 1419 – 1432, 2008. ISSN 0309-1708. Hydrologic Remote Sensing. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0309170808000146>>. 2

PITMAN, a. J. The evolution of, and revolution in, land surface schemes designed for climate models. **International Journal of Climatology**, v. 23, n. 5, p. 479–510, 2003. ISSN 08998418. 2

São José dos Campos, 15 de Setembro de 2020

Bolsista: Igor Frassoni Guedes dos Santos

Orientador(a): Antônio Ocimar Manzi