



ISSN: 2525-815X

Journal of Environmental Analysis and Progress

Journal homepage: www.jeap.ufrpe.br/

10.24221/jeap.3.4.2018.2021.386-395



Simulações Climáticas Regionais na Amazônia durante a estação chuvosa, usando o REGCM3

Regional Climatic Simulations in the Amazon during the rainy season, using REGCM3

Irene Cristina Pereira Corrêa^a, Everaldo Barreiros de Souza^a

^a Universidade Federal do Pará-UFGPA, Rua Augusto Corrêa, n. 1, Campus de Belém, Pará, Brasil. CEP: 66075-110. E-mail: irene cristinacorrea1511@gmail.com; everaldo@ufpa.br.

ARTICLE INFO

Recebido 26 Jun 2018

Aceito 25 Set 2018

Publicado 17 Out 2018

ABSTRACT

In the investigation for the model performance in simulating the regional rainfall distribution with the GPCP precipitation data, the TRMM data and GAUGE data, showed that the quantitative evaluation of REGCM3 presented systematic errors, especially those related to dry bias in the northeast of the Amazon using the Grell scheme and also wet bias in southern Amazonia using the MIT convective scheme. It was found that simulations with the REGCM3 Grell did not adequately reproduce the rain-related characteristics of the ITCZ over the equatorial Atlantic Ocean. This is probably due to the intensification of the tropospheric circulation located on the eastern side of the equatorial Atlantic Ocean. Although the MIT scheme systematically produces an overestimation of the precipitation observed over the Amazon and ZCIT regions, the spatial distributions of precipitation and showed better correspondence with GPCP, TRMM and GAUGE data, compared with the Grell results.

Keywords: Precipitação, simulação, REGCM3, ZCIT, região Amazônica.

RESUMO

Na investigação para o desempenho do modelo em simular a distribuição pluviométrica regional, com os dados de precipitação dos GPCP, os dados TRMM e os dados GAUGE mostraram que a avaliação quantitativa do REGCM3 apresentou erros sistemáticos, especialmente aqueles relacionados com viés seco no nordeste da Amazônia usando o esquema Grell e também viés úmido no sul da Amazônia, usando o esquema convectivo MIT. Verificou-se que as simulações com o REGCM3 Grell não reproduziram adequadamente as características da ZCIT, relacionadas com as chuvas, sobre o Oceano Atlântico equatorial. Isso acontece, provavelmente, devido a intensificação da circulação troposférica localizada no lado oriental do Oceano Atlântico equatorial. Embora o esquema MIT produza sistematicamente uma superestimação da precipitação observada sobre as regiões da Amazônia e da ZCIT, as distribuições espaciais de precipitação e mostrou melhor correspondência com GPCP, TRMM e dados GAUGE, comparados com os resultados Grell.

Palavras-Chave: Precipitation, simulation, REGCM3, ZCIT, Amazon region.

Introdução

A região Amazônica possui uma enorme diversidade biológica e étnica, além de ter localizada, na sua extensão, a maior floresta tropical, a Floresta Amazônica, onde a mesma tem um papel fundamental na regulação do clima em escala global. Isso influencia na circulação atmosférica e na precipitação regional.

Dada à relevância que o clima ocupa no cenário político-técnico-científico, diversos estudos realizados anteriormente permitiram que a comunidade científica compreendesse que a característica intrínseca do clima da Amazônia é a presença de um amplo espectro de variações no tempo e espaço da atividade convectiva tropical e da precipitação (Souza et al., 2009).

No Estado do Pará (Região Amazônica), boa parte de seus habitantes exerce atividades que estão intimamente ligadas às condições climáticas e ambientais, conhecer detalhadamente o clima e sua variabilidade em diferentes escalas (anual, sazonal e intrasazonal) constitui um instrumento extremamente eficaz quando resulta em informações estratégicas que podem ser utilizadas para prover o desenvolvimento, uma vez que permite o planejamento das ações de governo e de instituições privadas (Lopes, 2009).

No contexto da dinâmica climática tropical, é bem conhecido que a variabilidade interanual e sazonal da estação chuvosa da Amazônia é modulada diretamente pelos padrões oceano-atmosfera de grande escala, associados ao ciclo do El Niño-Oscilação Sul (ENOS) sobre o Oceano Pacífico e as fases do gradiente meridional inter-hemisférico de anomalias de temperatura da superfície do mar (aTSM) sobre o Oceano Atlântico intertropical (Nobre & Shukla, 1996; Souza et al., 2000). Em condições de El Niño, a circulação de Walker é deslocada para Leste (E) (modificada), tal que seu ramo ascendente localiza-se sobre o Oceano Pacífico central e onde a convecção é intensificada, e seu ramo descendente localiza-se sobre a região Amazônica, inibindo a convecção, em condições de La Niña a circulação de Walker é fortalecida, tal que seu ramo descendente localiza-se sobre o Oceano Pacífico Central onde a subsidência é intensificada, e seu ramo ascendente fica sobre a região Amazônica. O padrão de dipolo caracteriza-se pela manifestação de um padrão de aTSM, configurando-se espacialmente com sinais opostos sobre as bacias Norte (N) e Sul (S) do Atlântico. Esse padrão inverso de aTSM gera, conseqüentemente, a presença de um gradiente térmico meridional e inter hemisférico nos baixos níveis do Atlântico Equatorial que, agindo em conjunto com os padrões anômalos de pressão ao nível médio do mar (PNMM) e vento horizontal, desempenham influências diretas na manutenção, posicionamento e intensidade da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) (Hastenrath, 1978).

Dois importantes fenômenos meteorológicos influenciam na ocorrência de chuva na região Amazônica. Isso ocorre geralmente de dezembro a maio, em associação com a circulação atmosférica em grande escala e padrões de convecção profunda relacionada com a Zona de Convergência Atlântico Sul (ZCAS) (Carvalho et al, 2004) e (ZCIT) (Souza et al, 2004), onde a ZCAS é um fenômeno meteorológico de escala intrasazonal que influencia a distribuição de precipitação,

possuindo sentido Noroeste-Sudeste (NW-SE) sendo em muitos casos, responsável por variabilidades no clima regional (Liebmann et al., 1999). A ZCIT, possui um papel importante no regime pluviométrico na região equatorial, e este é o sistema meteorológico de maior importância no estado Pará, visto que ele é responsável na maior parte pelo período chuvoso do estado, quando sua localização está em direção ao Hemisfério Sul, durante o verão.

Os modelos climáticos globais e regionais são reconhecidos como ferramentas-chave, uma vez que os modelos podem representar o sistema climático e com boa aproximação. Eles têm como objetivo equacionar o sistema climático, e assim poder ter um maior detalhamento dos mecanismos ou processos reguladores do clima e sua variabilidade espaço-temporal. Além do mais, existem vários trabalhos que mostram a importância da modelagem numérica para simular o clima. Mas, ainda existem modelos de circulação geral (MCG) que não são capazes de resolver os detalhes da fisiografia, assim como aqueles da circulação local. Segundo Seth (2007), os MCG apresentam resolução espacial em torno de uma centena de quilômetros, ou até mais, aqueles não são plenamente capazes de perceber forçantes de pequena ou mesoescala, da mesma forma como determinados aspectos da cobertura do solo, a presença de corpos d'água e, ainda, processos físicos dinâmicos de subgrade, dentre eles radiação, convecção, processos turbulentos, etc. Isso faz com que aja um erro no prognóstico de algumas variáveis meteorológicas em escala regional, como por exemplo, a precipitação. Dessa maneira é de suma importância que a modelagem numérica represente os mecanismos dinâmicos que são causados pelos fenômenos meteorológicos que influenciam na variabilidade regional da Amazônia.

Há muitos estudos, mas maioria desses estudos abordaram simulações numéricas com resolução horizontal de 50 a 80 km, e as validações de chuva modeladas são enfatizadas para Sudeste (SE) e Nordeste (NE) do Brasil. Como por exemplo, Cuadra & Rocha (2006) usaram simulações do Modelo Climático Regional (REGCM3) com resolução de 50 km para dois anos de verão (1990 e 1998) e obtiveram precipitação simulada para o SE do Brasil bastante consistente com observações de *National Climatic Data Center* (NCDC), tanto em termos de média e anomalias de precipitação sazonais. Seth et al. (2007) analisaram integrações climatológicas (1982-2003) realizadas pelo REGCM3 usando resolução de 80 km, e concluíram que o ciclo semi-anual é bem

simulada, mas a chuva na Amazônia apresenta viés seco durante o verão, com referência ao *Climate Prediction Center Merged Analysis of Precipitation* (CMAP) mesclada de dados de precipitação.

Neste contexto, o objetivo deste estudo foi avaliar os resultados das previsões climáticas regionais geradas pelo modelo *Regional Climate Model Versão 3* (REGCM3), avaliar também as previsões de precipitação e identificar as áreas sobre a Amazônia que apresentam maior e menor previsibilidade climática. Além disso, verificar o desempenho do modelo ao longo do Oceano Atlântico equatorial, onde está o centro de ação da

ZCIT, que é o principal sistema de produção de chuvas durante a temporada de chuvas da Amazônia, nos trimestres de dezembro, janeiro e fevereiro (DJF) e março, abril e maio (MAM).

Material e Métodos

Área de estudo

Neste estudo foram utilizadas três caixas com dimensões diferentes para o domínio, nas simulações do modelo REGCM3, como mostra a Figura 1. A primeira caixa indica a Região Amazônica (AMZ), como um todo, a segunda, o estado do Pará, denominado de EAMZ, e a terceira, a área de atuação da ZCIT.

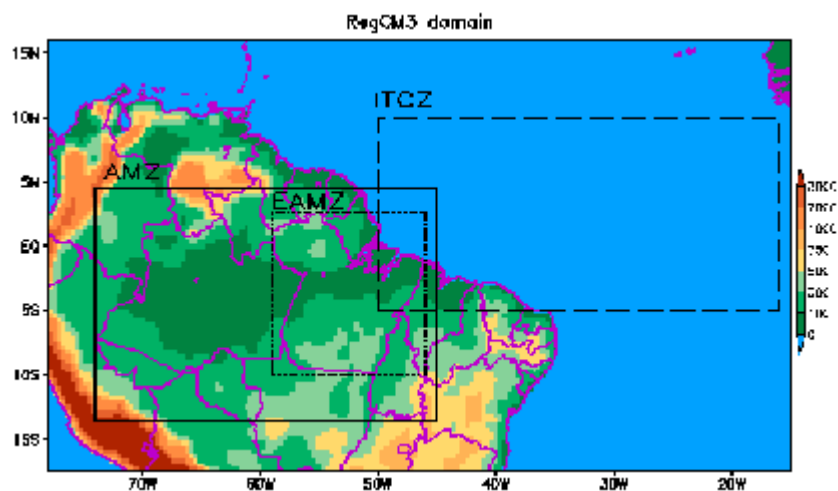


Figura 1. Domínio do modelo RegCM3 usado nas simulações, com a topografia (m). As caixas indicam a região da Amazônia (AMZ) como um todo (linha contínua), o leste da Amazônia (EAMZ) (linha pontilhada), e região da ZCIT (Zona de Convergência Intertropical) (linha tracejada), onde serão avaliados o desempenho do modelo. Fonte: Souza, E. B. (2013).

Dados

Os dados utilizados neste estudo foram a base de dados de precipitação do projeto de Rede Estadual de Previsão Climática e Hidrometeorológica do Pará (RPCH) (Souza et al., 2007) que consiste em um novo conjunto de dados integrados contendo o máximo possível de medições de precipitação registradas pelas estações meteorológicas espalhadas sobre a Amazônia oriental. Utilizou-se também três conjuntos de dados diferentes: *Global Precipitation Climatology Project* (GPCP) que é um projeto internacional concebido para proporcionar melhor longa-registro de estimativas de precipitação sobre o globo, consiste em avaliar medidas de precipitação mensal derivadas de satélite (Adler et al., 2003). *Tropical Rainfall Measuring Mission* (TRMM) que é um satélite para análise de precipitação (Huffman et al., 2007), que é gerada por um sistema de calibração baseado sequencialmente para combinar estimativas de precipitação de vários satélites, em altas escalas espaciais e temporais ($0,25^\circ \times 0,25^\circ$,

a cada três horas). Dados de GAUGE, documentados por Souza et al. (2009), foram desenvolvidos a partir de dados diários de precipitação de 150 estações meteorológicas situadas no leste da Amazônia. Estes dados foram obtidos junto às instituições que gerenciam as redes meteorológicas e hidrológicas do Brasil (INMET, ANA, CPRM, EMBRAPA, SEMA e CPTEC). Um avançado medidor somente o controle de qualidade de dados e sistema de análise foram empregados a fim de construir uma melhor grade análises precipitação diária sobre o leste da Amazônia, que tem a consistência com outros dados de pesquisa com qualidade de chuvas (Souza et al., 2007). E assim de verificar o desempenho REGCM3 em simular a distribuição da precipitação na Amazônia no período de 12 anos (1998/99 a 2008/09) para a Amazônia, em uma grade com alta resolução espacial de 40 km, avaliar também as previsões de precipitação com base em técnicas estatísticas de comparação Previsão x Observação.

Modelo Climático Regional (REGCM3)

O Modelo Climático Regional é um modelo de área limitada, em coordenada vertical sigma e grade horizontal de Arakawa-Lamb B, com as equações primitivas para fluido compressível e hidrostático. O REGCM3 é uma versão do *Abdus Salam International Center for Theoretical Physics (ICTP)* que é descrita em detalhes por Giorgi et al. (1993a, 1993b) e Pal et al. (2007). Eles simulam a precipitação em grande escala, com base no esquema de umidade explícito (Pal et al., 2000). Utilizaram-se dois tipos de esquemas de parametrização convectiva (formação de nuvens e produção de chuva), o GFC e o MIT.

A parametrização de Grell Fritsch Chapell (GFC) (Grell, 1993) é um esquema de fluxo de massa incluindo os efeitos de umedecimento e aquecimento de correntes ascendentes e correspondentes correntes descendentes. Devido à simplicidade do esquema de fluxo de massa, torna-se necessário adotar um fechamento para completá-lo. O esquema é representado por correntes ascendentes e descendentes, sem mistura direta entre o ambiente e nuvens convectivas, exceto na parte superior e inferior, de modo que o fluxo de massa na corrente ascendente e descendente é assumido como constante e os níveis originários dos movimentos de subida e descida são dadas pelos níveis de máximo e mínimo de energia estática úmida, respectivamente. O sistema é ativado quando uma parcela levantada se torna flutuante.

A parametrização de *Massachusetts Institute of Technology (MIT)*, que é uma parametrização de convecção de cumulus recente para o modelo REGCM3. Considera-se que a mistura nas nuvens é altamente episódica e não homogênea, cujos fluxos convectivos são baseados em um modelo de correntes ascendente e descendentes de escalas de sub-nuvem (Emanuel, 1991). A convecção é, então, iniciada quando o nível de empuxo neutro é maior que o nível de condensação por levantamento na base da nuvem. Entre estes dois níveis, o ar se eleva e uma parte da fração de umidade condensada forma a precipitação, enquanto a outra parte restante forma nuvem (Emanuel & Zivkovic-Rothman, 1999). A nuvem, por sua vez, mistura-se com o ar ambiente, de acordo com um espectro uniforme que conduz a parcela para cima ou para baixo, atingindo, assim, o nível de empuxo neutro. As taxas de entranhamento e desentranhamento são calculados através dos gradientes verticais de fluabilidade na nuvem.

Análise quantitativa do REGCM3

O desempenho do REGCM3 é analisado quantitativamente através da correlação linear (r), viés (bias) e erro quadrático médio (*Root Mean Square Error - RMSE*) das simulações em relação aos três dados observacionais.

Considerando a chuva simulada (RS) e observada (RO) em um ponto de grade i , em uma amostra N , a r é definida usando a equação (1).

$$r = \frac{(R^s_i - R^o_i) \cdot \overline{(R^o_i - R^o_i)}}{\sqrt{\sum (R^s_i - R^s_i)^2} \cdot \sqrt{\sum (R^o_i - R^o_i)^2}} \text{ Eq.(1)}$$

O Viés é definido usando a Equação (2).

$$\text{bias} = \sum_{i=1}^N (R^s_i - R^o_i) / N \text{ Eq.(2)}$$

O RMSE é definido usando a Equação (3).

$$\text{RMSE} = \left[\sum_{i=1}^N (R^s_i - R^o_i)^2 / N \right]^{1/2} \text{ Eq(3)}$$

Os resultados da simulação da PRECIPITAÇÃO, usando os esquemas de convecção GFC e MIT, foram comparados com os dados GPCP e TRMM para as regiões-chaves, da Região Amazônica (AMZ) e ZCIT sobre o Oceano Atlântico Equatorial. Dados Observacionais (GAUGE) com a região denominada Leste da Amazônia (EAMZ), após a interpolação dos dados na grade do modelo.

Resultados*Climatologia e precipitação média de 12 anos*

A Figura 2 mostra os padrões observados de chuva para os períodos DJF e MAM fornecido pelos três conjuntos de dados utilizados, GPCP, TRMM e GAUGE, assim como as chuvas simuladas de REGCM3. Os mapas GPCP e GAUGE correspondem à uma média de 30 anos (1979-2008), enquanto TRMM e REGCM3 correspondem a 12 anos (1998-2009). O desempenho REGCM3 é avaliado pela comparação de precipitação simulada com os padrões correspondentes observados.

A Figura 2ab e c apresenta as principais características do verão (DJF) e outono (MAM) quanto ao regime de chuvas sazonais sobre os trópicos da América do Sul e do Oceano Atlântico Equatorial, que é governado principalmente pela ZCAS e ZCIT. Durante o período de DJF (ver imagens na coluna à esquerda da Figura 2), ambos GPCP e TRMM (Figura 2ab) mostram consistentemente uma banda de nebulosidade orientada no sentido NW-SE com significativa PRECIPITAÇÃO entre 800 a 1100 mm cobrindo porções sudoeste (SW), central e da região amazônica, que está relacionado com a ZCAS e coerente com as observações de Carvalho et al. (2004). Outros máximos observados de

precipitação, durante este período, estão localizados a leste da Amazônia, com valores entre 700 a 1000 mm ao longo das regiões costeiras, como observado na Figura 2c e mapas GPCP e TRMM. Estes máximos estão associados com a ZCIT que começa sua migração sazonal em direção ao S do Atlântico equatorial em janeiro e fevereiro. Posteriormente, durante MAM (ver imagens na coluna à direita na Figura 2) está claramente caracterizada a ZCIT, por uma grande área tropical contendo significativas chuvas em uma faixa que se estende do NE da Amazônia central ao Oceano Atlântico equatorial, que chega a sua localização máxima ao hemisfério sul durante o mês de Março, induzindo chuvas abundantes alcançando-se de 1000 a 1200 mm na Amazônia oriental, e na costa do Atlântico como obtido GPCP, TRMM e observações GAUGE (Figura 2abc).

A distribuição da precipitação sazonal é melhor simulada pelo RegCM3 usando o esquema

MIT do que o esquema GFC para os períodos DJF e MAM. O esquema MIT (Figura 2d) produz muito bem as configurações espaciais acima mencionadas de precipitação com orientação NW-SE sobre o SW da Amazônia e da faixa zonal orientada sobre o Atlântico equatorial em torno de 2,5° N durante DJF. Este esquema também capta a mudança da precipitação máxima para o S do Atlântico equatorial que está associada com ZCIT e da retração e expansão das chuvas máxima para N-NE do Amazonas durante MAM. No entanto, a intensidade da precipitação simulada do MIT é relativamente diferente das observações. Por outro lado, a distribuição espacial da chuva simulada com esquema GFC (Figura 2e) não conseguiu apresentar coerentemente, de modo que a precipitação máxima são mais superestima na Amazônia e no Oceano Atlântico, tanto no período de DJF como também em MAM.

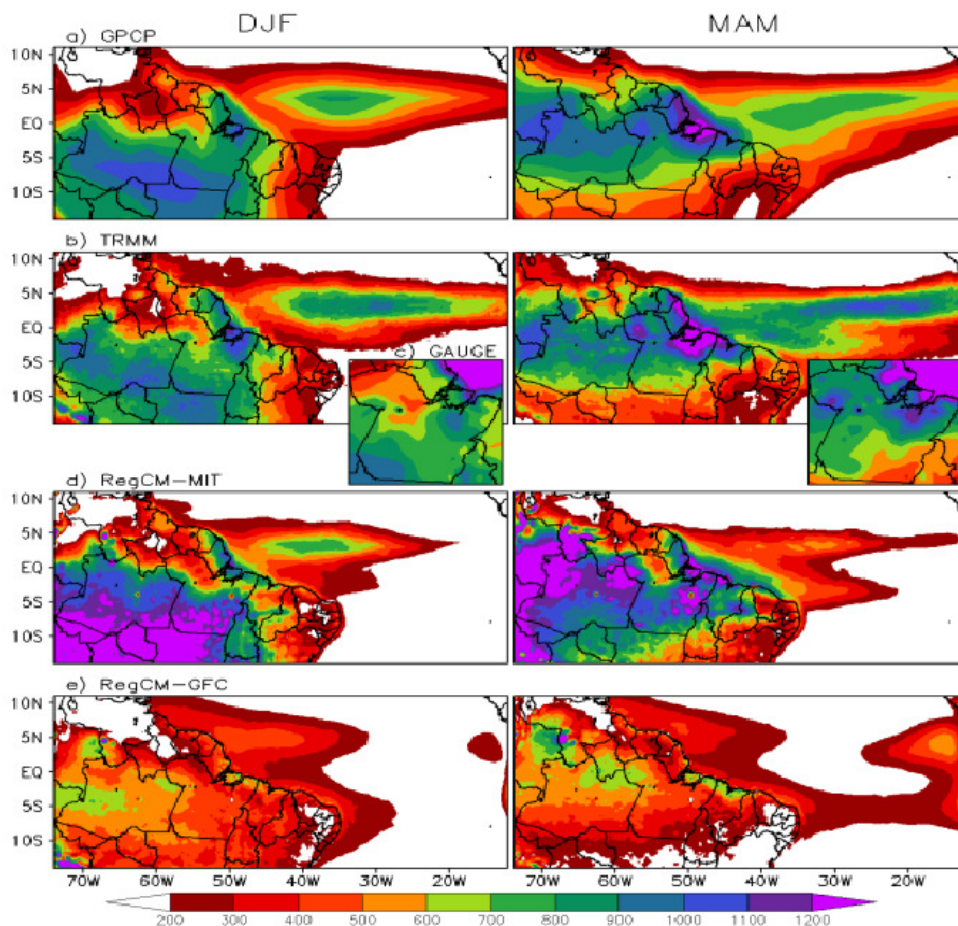


Figura 2. Precipitação sazonal (mm) para Dezembro, Janeiro e Fevereiro (DJF) (painel à esquerda) e Março, Abril e Maio (MAM) (painel à direita) correspondente a climatologia dos dados observacionais (a) GPCP, (b) TRMM e (c) GAUGE e dos dados simulados pelo REGCM3 usando os esquemas convectivos (d) MIT e (e) GFC. Fonte: Corrêa, I.C.P. (2013).

Avaliação da precipitação simulada sobre as regiões Amazônica e ZCIT

O desempenho do REGCM3 sobre as regiões da Amazônia e ZCIT no Atlântico agora é analisado quantitativamente através da análise do Viés e da Correlação Linear entre a chuva simulada das parametrizações MIT e GFC e os dados observados do TRMM. Foi usado o TRMM como validação de dados observacionais, devido a sua consistência com GPCP e GAUGE (com a média climatológica de 30 anos, 1978-2008).

Região Amazônica

Na Figura 3a, a precipitação simulada pelo GFC apresenta valores negativos máximos de -25 a -20 mm, viés seco, no NE do Pará, N do Amapá e no centro do Mato Grosso no período de DJF, sendo que a subestimativa é maior no trimestre de

MAM, especificamente no N e NE do Pará e no estado do Amapá. Nas áreas com viés entre -5 e 5 mm, considerando Roraima, NW do Pará e N do Amazonas, apresentam os melhores resultados simulados pelo modelo, para o trimestre de DJF. Para a (Figura 3b), usando o esquema convectivo MIT, o viés úmido possui valores positivos, ou seja, superestimados, na maior parte da região Amazônica nos estados do Acre, Rondônia, SW, S e SE do Pará, N e NE do Mato Grosso, e porção W, S, E e N do Amazonas, com exceção do NE do Pará que possui viés seco, para DJF. Em MAM, há um aumento desse viés seco para o N do Pará. Considerando as regiões com viés entre -5 e 5 mm, representadas por Tocantins, Amapá, porção Central do Amazonas e do Maranhão, e NW do Pará, apresentam um desempenho melhor na simulação da precipitação.

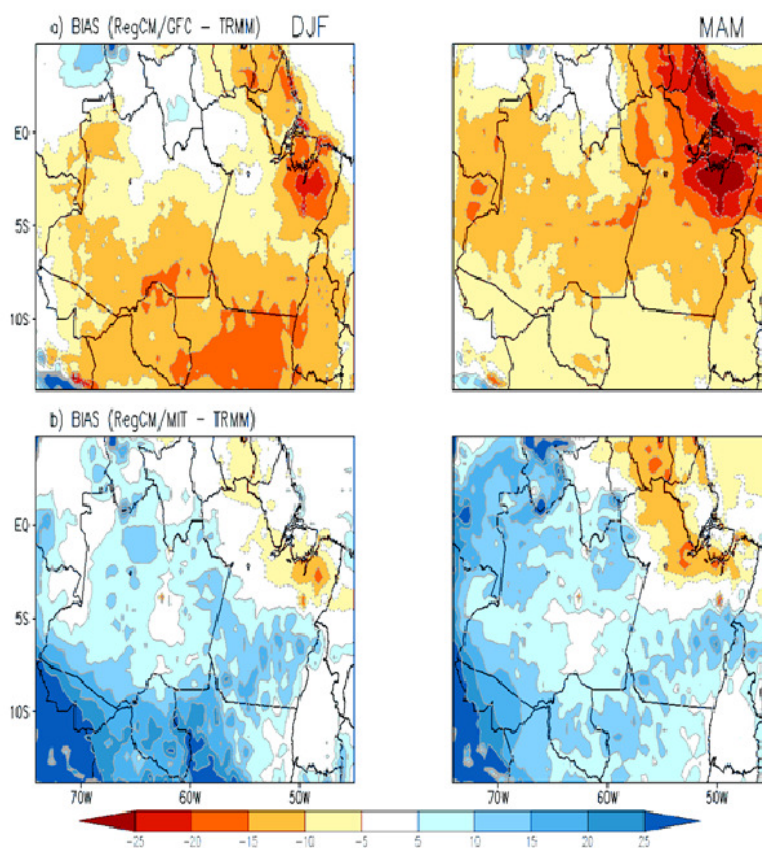


Figura 3. Bias (mm) obtida pela diferença entre as simulações do REGCM3 e as observações do TRMM correspondente ao período de Dezembro, Janeiro e Fevereiro (DJF) (painéis à esquerda) e Março, Abril e Maio (MAM) (painéis à direita) usando os esquemas (a) GFC e (b) MIT. Fonte: Corrêa, I.C.P. (2013).

Os mapas de correlação linear sazonal, mostrados na Figura 3, revelam uma boa correspondência espacial e temporal entre os valores simulados e observados de precipitação em várias porções da região amazônica. Há correlações positivas entre chuvas do esquema GFC e dados TRMM na parte central, nos estados do Amazonas e Pará, variando de 0.4 a 0.6, durante

o trimestre de DJF e em partes do N e NE durante o período MAM (Figura 4a). Correlações positivas entre o esquema MIT e dados TRMM são verificados no SE da região Amazônia, tanto no trimestre DJF, quanto no trimestre MAM, sendo que, neste último, há correlação negativa, na parte central do Pará (Figura 4b).

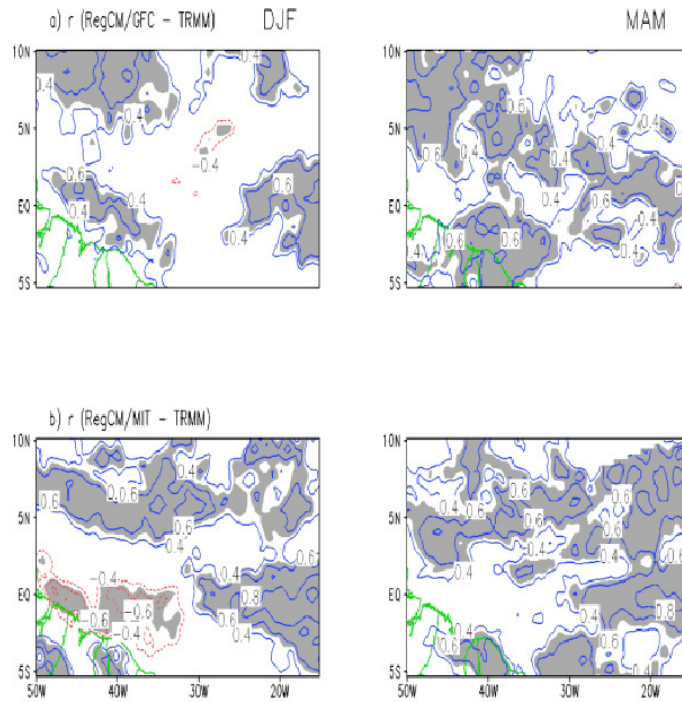


Figura 4. Correlações entre REGCM3 e padrões de precipitação observadas pelo TRMM sobre a região amazônica correspondentes aos esquemas (a) GFC e (b) MIT para Dezembro, Janeiro e Fevereiro (DJF) (painéis à esquerda) e Março, Abril e Maio (MAM) (painéis à direita). Fonte: Corrêa, I.C.P (2013).

Região ZCIT

A Figura 5 mostra que REGCM3 não reproduziu os padrões de PRECIPITAÇÃO relacionados à ZCIT sobre o Atlântico equatorial. O esquema GFC apresenta viés negativo, indicando subestimação generalizada das precipitações no eixo da ZCIT sobre o Atlântico equatorial durante os períodos de

DJF e MAM (Figura 5a). A parametrização MIT também apresenta subestimação chuvas, no entanto, este é verificado no leste da banda (entre 30° W a 15° W), enquanto que a banda ocidental perto da costa amazônica (entre 50° W e 30° W) o modelo reproduziu as chuvas associadas à ITCZ (Figura 5b).

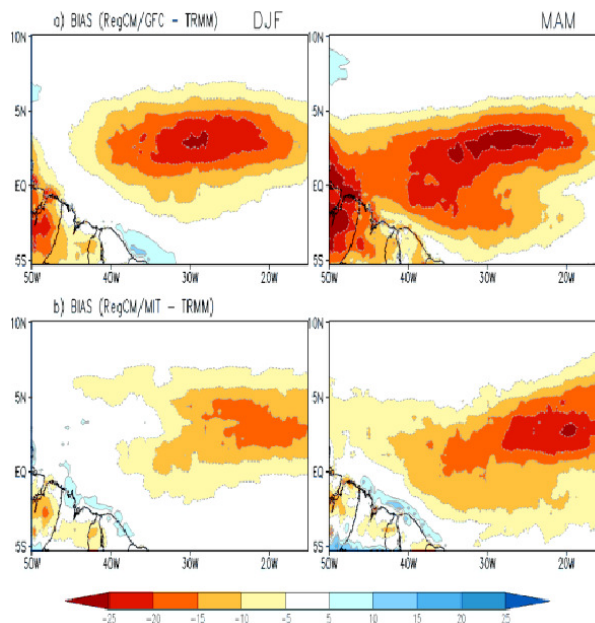


Figura 5. Bias (mm) obtida pela diferença entre as simulações do REGCM3 e as observações do TRMM correspondente ao período de Dezembro, Janeiro e Fevereiro (DJF) (painéis à esquerda) e Março, Abril e Maio (MAM) (painéis à direita) usando os esquemas (a) GFC e (b) MIT para a região ZCIT. Fonte: Corrêa, I.C.P (2013).

Apesar dos vieses secos encontrados nas simulações do REGCM3, o modelo apresenta correlações positivas, mostradas na Figura 6, sobre parte do Atlântico equatorial. Exceto no eixo central da ZCIT, em torno de 2,5° N / 5° N e 40° W

30° W, existem correlações positivas entre TRMM e precipitação simuladas pelos dois regimes, nas porções N e S do Atlântico equatorial, durante os trimestres DJF e MAM (Figura 6ab).

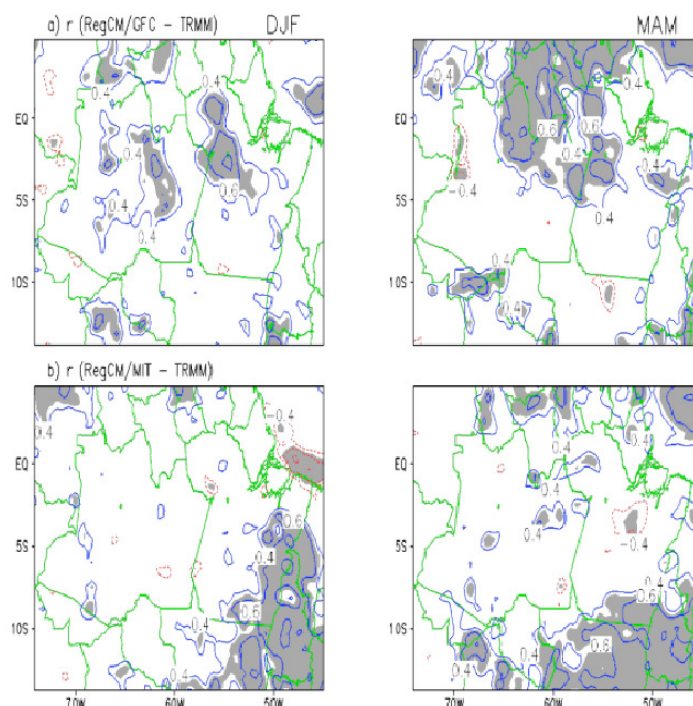


Figura 6. Correlações entre REGCM3 e padrões de precipitação observadas pelo TRMM sobre a região amazônica correspondentes aos esquemas (a) GFC e (b) MIT para Dezembro, Janeiro e Fevereiro (DJF) (painéis à esquerda) e Março, Abril e Maio (MAM) (painéis à direita) para a região ZCIT. Fonte: Corrêa, I.C.P (2013).

Para melhor comparar os resultados do modelo com as regiões-chave, foram calculadas correlações e RMSE, a partir dos esquemas GFC e

MIT contra GPCP, TRMM e GAUGE (Tabelas 1 e 2).

Tabela 1. Correlações para os períodos de Dezembro, Janeiro e Fevereiro (DJF) e Março, Abril e Maio (MAM) entre os esquemas simulados do REGCM3, GFS e MIT, e GPCP, TRMM e GAUGE sobre as principais regiões (ZCIT, AMZ e EAMZ). Para EAMZ (Amazônia oriental) também usaram dados GAUGE. Fonte: Corrêa, I.C.P (2013).

	Regiões					
	ZCIT		AMZ		EAMZ	
	Período: DJF					
	GFC	MIT	GFC	MIT	GFC	MIT
GPCP	-0,32	0,40	0,39	0,37	0,52	0,54
TRMM	-0,03	0,55	0,42	0,45	0,45	0,48
GAUGE	-	-	-	-	0,59	0,61
	Período: MAM					
	GFC	MIT	GFC	MIT	GFC	MIT
GPCP	0,17	0,15	0,10	0,56	0,28	0,48
TRMM	0,12	-0,06	0,00	-0,04	0,29	0,21
GAUGE	-	-	-	-	0,51	0,25

Tabela 2. *Root Mean Square Error* (RMSE) para os períodos de Dezembro, Janeiro e Fevereiro (DJF) e Março, Abril e Maio (MAM) das precipitações simuladas pelo REGCM3, GFS e MIT, em relação aos dados

observados GPCP e TRMM em relação as regiões-chave (ZCIT, AMZ e EAMZ). Para EAMZ (Amazônia oriental) também usaram dados GAUGE. Fonte: Corrêa, I.C.P (2013).

Regiões						
	ZCIT		AMZ		EAMZ	
	Período: DJF					
	GFC	MIT	GFC	MIT	GFC	MIT
GPCP	11,5	6,2	10,6	6,5	8,2	4,2
TRMM	11,3	5,4	9,0	7,2	9,7	5,3
GAUGE	-	-	-	-	9,3	5,1
	Período: MAM					
	GFC	MIT	GFC	MIT	GFC	MIT
GPCP	16,2	10,2	12,8	5,5	15,8	4,5
TRMM	17,5	11,5	11,7	7,0	16,2	6,0
GAUGE	-	-	-	-	11,4	5,1

No geral, os valores de correlações e RMSE são geralmente melhores em desempenho, como a região de interesse aumenta de tamanho, de modo que os resultados são mais consistentes para EAMZ, menor região, e não muito consistente para as grandes regiões AMZ e ITCZ. Estatisticamente, as simulações com o esquema MIT possuem um melhor resultado com os maiores coeficientes de correlação e RMSE menor, em comparação com simulações GFC. As correlações obtidas nos períodos de DJF e MAM 30° W, existem correlações positivas entre TRMM e precipitação simuladas pelos dois regimes, nas porções N e S do Atlântico equatorial durante DJF e MAM entre as anomalias de precipitação observada e as anomalias simuladas, onde percebe-se na Tabela 1, que para toda a região estudada a precipitação observada pelo TRMM foi a que melhor apresentou correlação comparada com os esquemas simulados, para DJF, e que para o mesmo trimestre, a região EAMZ teve boa correlação nos dois esquemas, com a mais alta correlação, $r = 0,61$, para o esquema MIT em relação ao observado pelo GAUGE. Para o período MAM, o GPCP possui a melhor correlação para ambas as regiões para o Simulado MIT, e o GAUGE para o simulado GFC na região EAMZ. Na Tabela 2, o MIT no EAMZ tem correlações acima de $r = 4$.

Conclusões

Conclui-se que, comparando a precipitação observada, os esquemas empregados pelo modelo (MIT e GFC) demonstraram capturar satisfatoriamente o padrão da distribuição espacial da precipitação em grande parte do domínio para a simulação da estação chuvosa (DJF e MAM). Entretanto, em alguns setores, como o Norte e o Nordeste, ocorreram erros sistemáticos, tais como: uma dificuldade da parametrização/GFC na representação da ZCIT, a qual constitui um

importante sistema meteorológico na precipitação para estes setores. Isto é, provavelmente, devido a intensificação da circulação troposférica localizado no lado oriental do Oceano Atlântico equatorial. A parametrização/MIT representou o comportamento da chuva ao longo da estação chuvosa, ele se mostrou mais sensível, no qual o período de maior ocorrência de precipitação coincidiu na maioria das simulações com o período de ocorrência dos máximos observados, ou seja, mostrou ter mais correspondência com GPCP, TRMM e dados GAUGE, comparado com os resultados do GFC.

Em resumo, o modelo REGCM3 apresenta problemas, no entanto, é capaz de reproduzir alguns importantes padrões anômalos de precipitação regionais, o que implica a sua viabilidade no monitoramento operacional e tarefas de previsão climática sobre a Amazônia. Portanto, o REGCM3 tem potencial para melhorar o conhecimento científico sobre a variabilidade do clima tropical e, portanto, para um valor acrescentado na geração de informações sobre o clima útil aplicado à comunidade florestal local.

Referências

- ADLER, R. F.; HUFFMAN, G. J.; CHANG, A.; FERRARO, R.; XIE, P. P.; JANOWIAK, J.; RUDOLF, B.; SCHNEIDER, U.; CURTIS, S.; BOLVIN, D.; GRUBER, A.; SUSSKIND, J.; ARKIN, P.; NELKIN, E. 2003. The Version 2 Global Precipitation Climatology Project (GPCP) monthly precipitation analysis (1979-present). *Journal of Hydrometeorology*, v. 4, p. 1147-1167.
- CARVALHO, L. M. V.; JONES, C.; LIEBMANN, B. 2004. The South Atlantic Convergence Zone: intensity, form, persistence, and relationships with intraseasonal to interannual activity and extreme rainfall. *Journal of Climate*, v. 17, p. 88-108.

- CUADRA, S. V.; ROCHA, R. P. 2006. Simulação numérica do clima de verão sobre o Brasil e sua variabilidade. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 21, n. 2, p. 271-282.
- EMANUEL, K. A. 1991. A Scheme for representing cumulus convection in large-scale models. *Journal of the Atmospheric Sciences*, v. 48, n. 21, p. 2313-2335.
- EMANUEL, K. A.; ZIVKOVIC-ROTHMAN, M. 1999. Development and evaluation of a convection scheme for use in climate models. *Journal of the Atmospheric Sciences*, v. 56, p. 1766-1782.
- GIORGI, F.; MARINUCCI, M. R.; BATES, G. T. 1993a. Development of a second-generation regional climate model (RegCM2). Part I: boundary-layer and radiative transfer processes. *Monthly Weather Review*, v. 121, p. 2794-2813.
- GIORGI, F.; MARINUCCI, M. R.; BATES, G. T.; CANIO, DE G. 1993b. Development of a second-generation regional climate model (RegCM2). Part II: convective processes and assimilation of lateral boundary conditions. *Monthly Weather Review*, v. 121, p. 2814-2832.
- GRELL, G. A. 1993. Prognostic evaluation of assumptions used by cumulus parameterizations. *Monthly Weather Review*, v. 121, p. 764-787.
- HASTENRATH, S. 1978. On modes of tropical circulation and climate anomalies. *Journal of Atmospheric Sciences*, v. 35, n. 12, p. 2222-2231.
- HUFFMAN, G. J.; ADLER, R. F.; BOLVIN, D. T.; GU, G.; NELKIN, E. J.; BOWMAN, K. P.; HONG, Y.; STOCKER, E. F.; WOLFF, D. B. 2007. The TRMM Multi-satellite Precipitation Analysis: Quasi-global, multi-year, combined-sensor precipitation estimates at fine scale. *Journal of Hydrometeorology*, v. 8, n. 1, p. 38-55.
- LIEBMANN, B.; KILADIS, G. N.; MARENGO, J. A.; AMBRIZZI, T.; GLICK, J. D. 1999. Submonthly convective variability over South America and the South Atlantic convergence zone. *Journal of Climate*, v. 12, p. 1877-1891.
- LOPES, M. N. G. 2009. Aspectos regionais da variabilidade de precipitação no Estado do Pará: estudo observacional e modelagem climática em alta resolução. Belém, 117f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais), Universidade Federal do Pará, Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais-PPGCA, Belém.
- NOBRE, P.; SHUKLA, J. 1996. Variations of SST, wind stress and rainfall over the tropical Atlantic and South America. *Journal of Climate*, v. 9, p. 2464-2479.
- PAL, J. S.; SMALL, E. E.; ELTAHIR, E. A. B. 2000. Simulation of regional scale water and energy budgets: influence of a new moist physics scheme within RegCM. *Journal of Geophysical Research*, v. 105, n. 29, p. 579-594.
- SETH, A.; RAUSCHER, S. A.; CAMARGO, S. J.; QIAN, J. H.; PAL, J. S. 2007. RegCM3 regional climatologies for South America using reanalysis and ECHAM global model driving fields. *Climate Dynamics*, v. 28, p. 461-480.
- SOUZA, E. B. DE; KAYANO, M. T.; TOTA, J.; PEZZI, L.; FISCH, G.; NOBRE, C. 2000. On the Influences of the El Niño, La Niña and Atlantic dipole pattern on the Amazonian rainfall during 1960-1998. *Acta Amazonica*, v. 30, n. 2, p. 305-318.
- SOUZA, E. B. DE; KAYANO, M. T.; AMBRIZZI, T. 2004. The regional precipitation over the eastern Amazon/northeast Brazil modulated by tropical Pacific and Atlantic SST anomalies on weekly timescale. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 19, n. 2, p. 113-122.
- SOUZA, E. B. DE; LOPES, M. N. G.; ROCHA, E. J. P. 2009. Precipitação climatológica sobre a Amazônia oriental durante o período chuvoso: observações e simulações regionais com o RegCM3. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 24, n. 2, p. 111-124.
- SOUZA, E. B. DE; ROCHA, E. J. P.; SOUSA, J. R. A.; GUIMARAES, P. L.; FERREIRA, D. B. S.; LOPES, M. N. G.; SANTOS, D. M.; SILVA, R. R.; SOUZA, J. R. S.; RODRIGUES, R. S.; CARVALHO, S. P.; MAKINO, M.; MOTA, M. A. S.; MOTA, G. V.; LIMA, A. G.; LOPES, J. L. M.; ROLIM, P. A. M.; SILVA, J. P.; BRAGA, R. H. M.; BASTOS, T. X.; SILVA, A. M. E. 2007. Rede Estadual de Previsão Climática e Hidrometeorológica do Pará - RPCH. *Boletim da Sociedade Brasileira de Meteorologia*, v. 31, p. 6-13.