

Avaliação da climatologia na região Amazônica nos modelos da família HiGEM.

Assessment of climatology from Amazon region in HiGEM Family models

Maria de Souza Custódio; Rosmeri Porfirio da Rocha, Tercio Ambrizzi e Pier Luigi Vidale

Universidade de São Paulo, SP, Brasil

maria.custodio@iag.usp.br; rosmerir@model.iag.usp.br; tercio.ambrizzi@iag.usp.br; p.l.vidale@reading.ac.uk

Resumo

Neste trabalho foram analisados os modelos globais acoplados e atmosféricos de alta resolução do projeto HiGEM/UJCC (versão 1.2) com diferentes resoluções horizontais sobre a região da Amazônia (América do Sul). O objetivo é compreender o impacto da resolução horizontal dos modelos acoplados de alta resolução nos padrões atmosféricos e em seus processos de interação entre escalas espaciais sobre a região da Amazônia. Para tanto, foram utilizados além das simulações HadGEM, HiGEM (acopladas), HadGAM e HiGAM (atmosféricas), dados observados de diferentes reanálises, com diferentes resoluções espaciais (CMAP, CRU, GPCP, NCEP, CPC, ERA-Interim). Os padrões sazonais e o ciclo anual da precipitação e da temperatura foram comparados aos dados observados, bem como foram analisadas algumas medidas de dispersão para o ciclo anual. Na análise do ciclo anual foram considerados dois subdomínios nesta região: AMN (Amazônia Norte) e AMZ (Amazônia). Os resultados indicam que, o refinamento da grade e acoplamento oceano-atmosfera contribui para a melhor representação dos padrões, tanto de precipitação como de temperatura, sobre a região da Amazônia. Além disso, os modelos climáticos analisados representaram melhor do que outros modelos (regionais e globais) as características climáticas desta região, indicando um avanço no desenvolvimento de modelos climáticos de alta resolução.

Palavras-chave: Amazônia. Climatologia. Modelos climáticos. Precipitação. Temperatura.

Abstract

This study analyzed the high resolution coupled and atmospheric global models of HiGEM/UJCC project (version 1.2) with different horizontal resolutions over Amazon region (South America). The purpose of this study was to understand the impact of the horizontal resolution of coupled models in simulating atmospheric patterns and processes of interaction between spatial scales over Amazon region. Therefore, we used simulations from HadGEM, HiGEM (coupled), HadGAM, HiGEM (uncoupled), and also observed data from different reanalyses, with different spatial horizontal resolution (CMAP, CRU, GPCP, NCEP, CPC, ERA-Interim). The precipitation and temperature seasonal patterns and annual cycles were compared with observed data, and some measures of dispersion for the annual cycles were analyzed. To study the annual cycle we considered two subdomains in this region: AMN (North Amazon) and AMZ (Amazon). The results indicated that the grid refinement and ocean-atmosphere coupling contributes to a better representation of seasonal patterns, both precipitation and temperature, on the Amazon region. Besides, the climatic models analyzed represent better than other models (regional and global) the climatic characteristics of this region. This indicates a breakthrough in the development of high resolution climate models.

Keywords: Amazon. Climatology. Climatic models. Precipitation. Temperature.

1 Introdução

A região Amazônica inclui a maior extensão de floresta tropical da Terra, desempenhando papel importante no controle do clima regional e global, fornecendo energia e vapor d'água para os processos que ocorrem na troposfera tropical e para processos que ocorrem em outras regiões do globo. Considerada um regulador climático em escala local, regional e global a floresta Amazônica atua no balanço hídrico e de energia nestas escalas, influenciando diretamente a circulação atmosférica e a precipitação em diferentes escalas. Por ser uma das principais fontes de vapor d'água para a circulação geral da atmosfera, a região Amazônica atua como um gerador de calor e, que por consequência, ativa a convecção tropical a qual desempenha um papel ativo, também, em relação às trocas energéticas com a atmosfera dentro do sistema solo-vegetação-atmosfera (Molion, 1985; Sá et al, 1986; Hastenrath, 1997).

O impacto da região Amazônica sobre a variabilidade da precipitação na escala continental é um efeito direto de interação atmosfera-biosfera, atuando como uma significativa fonte de calor latente na região tropical, exercendo assim, controle na estrutura das células de Hadley-Walker sobre a América do Sul a qual altera/gera convecção tropical que influencia a precipitação local, regional e global. Na floresta Amazônica, a evapotranspiração é uma das principais fontes de umidade, favorecendo assim a precipitação local e em regiões remotas, mas especialmente nos trópicos onde os processos convectivos ocorrem com maior intensidade.

Buscando melhorar o entendimento dos processos que levam à interação entre escalas sobre a região da bacia Amazônica, estudos de como os modelos climáticos (tanto globais como regionais) simulam os padrões da precipitação e temperatura vem sendo realizados em diversas instituições devido à necessidade de avaliar e validar dados fornecidos pelos modelos e ainda aumentar a confiabilidade das previsões. Na América do Sul, os Modelos de Circulação Geral (MCGs) têm mostrado certa habilidade em prever a precipitação sazonal devido à forte

relação entre as anomalias da temperatura da superfície do mar (TSM) e a chuva, principalmente sobre o nordeste do Brasil (Nobre et al., 2001; Moura e Hastenrath 2004). Entretanto, a resolução horizontal grosseira utilizada até o momento nestes modelos, limita sua capacidade de resolver características climáticas induzidas por variações de pequena escala como da topografia e do uso do solo, que por sua vez afetam a variabilidade de alta frequência da chuva.

Os modelos acoplados atmosfera-oceano utilizados no 4º Relatório de Avaliação do IPCC (IPCC 2007) possuem resolução horizontal de $\sim 1,5\text{-}3^\circ$ na atmosfera e de $\sim 1^\circ$ no oceano, sendo que em nenhum dos seus componentes estão representados adequadamente aspectos fundamentais para o sistema climático, tais como, a influência de turbilhões oceânicos, forçantes orográficas da atmosfera e ciclones tropicais. O aumento da resolução horizontal dos modelos globais visa melhorar a acurácia das simulações e do entendimento dos processos não lineares que originam as interações entre processos de pequenas e grandes escalas espaciais dentro do sistema climático, o que até o momento não é representado realisticamente nos MCGs de baixa resolução horizontal.

Com base na importância da região Amazônica tanto para o clima global como da América do Sul, estudos sobre esta região são cada vez mais frequentes (Baker et al. 2008; Tanaka et al. 2014; Neto et al. 2015). Logo, a correta representação dos padrões sobre esta região é necessária para que se consiga representar corretamente nos modelos climáticos os padrões de precipitação de outras regiões da América do Sul. Um exemplo disto é a região o sudeste do Brasil que tem a região da Amazônia como sua principal fonte de umidade, principalmente durante o verão austral. Portanto, o presente trabalho tem como objetivo avaliar a versão 1.2 dos modelos climáticos de alta resolução do projeto HiGEM/UJCC sobre a região da Amazônia. Os modelos serão avaliados em relação ao aumento da resolução horizontal e em suas versões acopladas e atmosféricas. Para tanto, são analisados os padrões sazonais e o

ciclo anual de precipitação e de temperatura sobre a região da Amazônia.

2 Material e Método

2.1. Modelo

Neste estudo é utilizado o modelo ambiental global acoplado atmosfera-oceano HiGEM que é o primeiro modelo global de alta resolução desenvolvido no Reino Unido, resultado de uma parceria entre o Natural Environment Research Council (NERC) e o Met Office Hadley Centre. Este modelo utiliza como base as últimas configurações climáticas do modelo global do Met Office Unified Model – HadGEM1 (Johns et al., 2006; Martin et al., 2006; Ringer et al.; 2006).

O HiGEM foi desenvolvido com base em uma série de modificações feitas a partir do núcleo dinâmico do HadGEM1, necessárias para que o aumento da resolução no oceano e na atmosfera fosse possível (Roberts et al., 2009). O modelo tem três componentes: atmosférico, oceânico e gelo-marinho. Detalhes adicionais sobre os modelos podem ser obtidos em Shaffrey et al. (2009) e Martin et al. (2006).

O componente atmosférico do HiGEM tem núcleo dinâmico não hidrostático com transporte semi-lagrangiano, onde as equações são discretizadas na grade C de Arakawa. Além disso, o modelo inclui um esquema iterativo para os aerossóis. As parametrizações da camada limite e dos esquemas convectivos foram melhoradas em relação a terceira geração destes modelos (HadCM3). O HiGEM tem 38 níveis na vertical e o topo do modelo está a 39 km. O HiGEM usa a segunda versão do U.K. Met Office Surface Exchange Scheme (MOSES-II; Cox et al., 1999; Martin et al., 2006) para representar os processos de superfície que permite descrever a cobertura heterogênea da superfície terrestre usando nove diferentes tipos de superfície.

O componente oceânico do HiGEM1.2, assim como o atmosférico, segue o mesmo padrão utilizado no HadGEM1 (Johns et al., 2006), mas com uma resolução horizontal maior e algumas melhorias adicionais. O modelo é formulado em uma grade esférica de latitude-longitude, com 40 níveis espaçados de forma desigual na vertical, considerando maior resolução próximo a superfície, para resolver melhor a camada de

mistura e os processos de interação oceano-atmosfera. A profundidade máxima do oceano é de 5500 m. A descrição mais detalhada do modelo oceano pode ser obtida em (Shafrey et al., 2009).

Assim como os outros componentes, a formulação para o gelo marinho também segue a usada no HadGEM1, mas com diferenças em alguns parâmetros e a introdução de esquema de sub-espaço de tempo para a dinâmica do gelo. Em vez de existir como um submodelo separado, parte do gelo é tratado dentro do modelo oceânico, e uma pequena parte é resolvida pelo modelo atmosférico. O modelo oceânico resolve a dinâmica, redistribuição mecânica e termodinâmica do gelo marinho, enquanto o modelo atmosférico calcula os fluxos gelo-atmosfera e a temperatura da superfície do gelo usando o passo de tempo da atmosfera para permitir a representação do ciclo diurno do gelo. Os campos médios são então transferidos ao modelo oceânico no passo de tempo do acoplamento (uma vez por dia). Maiores detalhes sobre o componente de gelo marinho do HiGEM podem ser obtidos em McLaren et al. (2006).

2.2. Simulações

No presente estudo serão analisadas quatro simulações do modelo climático global da série HiGEM1.2, que diferem por serem acoplados ou apenas atmosféricos, e possuem diferentes resoluções horizontais. As simulações acopladas são comparadas às atmosféricas com o intuito de identificar os erros sistemáticos associados à previsão da Temperatura da Superfície do Mar (TSM). Todas as simulações possuem o mesmo núcleo dinâmico e a mesma forçante radiativa, apresentando basicamente duas diferenças: resolução e componentes. A condição inicial para a forçante radiativa utilizada é do ano de 1990. Portanto, características como a concentração dos gases é a mesma em todas as simulações.

As simulações acopladas e atmosféricas analisadas são da versão 1.2 dos modelos pertencentes ao projeto HiGEM/UJCC. A partir de agora as simulações serão referidas de acordo com sua resolução horizontal: HadGEM (acoplado) ou HadGAM (atmosférico) com grade de $1,25^{\circ} \times 1,875^{\circ}$ (latitude e longitude) para a atmosfera e $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ (aumentando para $1/3^{\circ}$

meridionalmente próximo ao equador) para o oceano; HiGEM (acoplado) ou HiGAM (atmosférico) com $0,83^{\circ} \times 1,25^{\circ}$ de latitude e longitude para a atmosfera e $1/3^{\circ} \times 1/3^{\circ}$ para o oceano.

2.2. Dados

As simulações climáticas acopladas e atmosféricas são comparadas a dados observados de diferentes análises, com diferentes resoluções horizontais. Os dados utilizados são derivados do Climate Prediction Center – Merged Analysis of Precipitation (CMAP; Xie and Arkin, 1996) resolução $2,5^{\circ} \times 2,5^{\circ}$ (lat x lon), Climate Research Unit (CRU; Mitchell e Jones, 2005) resolução horizontal de $0,5^{\circ} \times 0,5^{\circ}$ (lat x lon), Global Precipitation Climatology Project (GPCP; Quartly et al. 2007) resolução de $2,5^{\circ} \times 2,5^{\circ}$, Climate Prediction Center (CPC; Chen et al., 2008) resolução de $1^{\circ} \times 1^{\circ}$, National Center for Environmental Prediction (NCEP; Kalnay et al., 1996) resolução de $2,5^{\circ} \times 2,5^{\circ}$ e European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF) ERA-Interim (Dee et al., 2011) resolução de $1,5^{\circ} \times 1,5^{\circ}$.

As diferenças sazonais entre as simulações e as observações para a precipitação foram feitas com o CMAP e para a temperatura com a ERAIN, durante as estações de verão e inverno austral. Para a validação do ciclo anual é utilizado um *ensemble* com os dados observados, que para a precipitação será composto dos dados do CMAP, CRU, GPCP e CPC, enquanto para a temperatura do NCEP, CRU e ERAIN. O ciclo anual é analisado em dois subdomínios da região Amazônica, denominados de AMN (Amazônia Norte) e AMZ (Amazônia), indicados na figura 1.

Para quantificar os erros e acertos na simulação do ciclo anual de precipitação e temperatura, as simulações passaram por uma análise estatística. Esta análise consistiu basicamente no cálculo dos seguintes índices: média (χ), bias (b), desvio padrão (σ), raiz quadrada do erro médio quadrático (RMSE) e correlação linear.

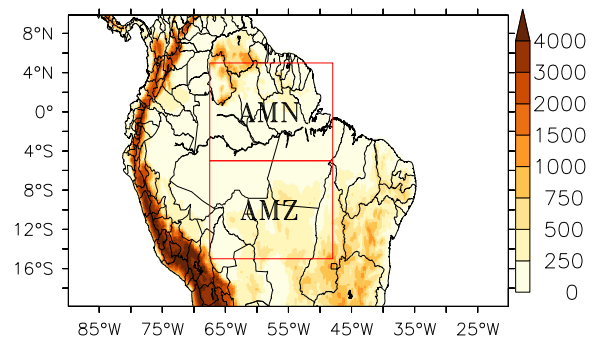


Figura 1 - Topografia e subdomínios da região Amazônica para a análise do ciclo anual

3 Resultados e Discussões

O padrão sazonal da precipitação, tanto nos modelos acoplados como nos atmosféricos, é semelhante ao do CMAP. No entanto, existem diferenças na intensidade da chuva em algumas regiões da Amazônia, nordeste e sudeste do Brasil, bem como sobre a região de atuação da Zona de Convergência Tropical (ZCIT, Figura 2). Estas diferenças na intensidade da chuva são maiores no verão e sobre o continente, com os modelos acoplados apresentando maior bias seco na parte norte da América do Sul, enquanto nos atmosféricos o maior bias úmido ocorre no subdomínio AMZ.

O padrão espacial da precipitação no verão e no inverno dos modelos acoplados e atmosféricos é semelhante, apesar das diferenças na intensidade. Entretanto, em algumas regiões onde os modelos atmosféricos apresentam menor bias do que os acoplados. Vale destacar que os modelos atmosféricos são prescritos com a TSM das reanálises e, portanto é esperado que os padrões influenciados diretamente por esta variável (neste caso a convecção) sejam representados mais próximos à observação.

As diferenças sazonais entre modelos e CMAP mostram, em geral, sobre a região da Amazônia uma intensificação da precipitação nos modelos acoplados em relação aos atmosféricos. Com o aumento da resolução horizontal, tanto o bias úmido como o seco, aumentam sobre o continente. Os modelos acoplados sobre o continente no verão (Figura 2a,b) simulam a parte norte da Amazônia (AMN) mais seca do que o CMAP e a parte sul (AMZ) mais úmida. Neste caso, com o refinamento da resolução horizontal estes erros

são intensificados, indicando o impacto direto da resolução na convecção nestas duas regiões. Logo, é possível aferir que as parametrizações convectivas dos modelos acoplados ainda precisam ser modificadas para que os erros sistemáticos presentes quando a resolução é alterada sejam corrigidos.

Outro fator de destaque nas simulações acopladas é que em grande parte da Amazônia as simulações representam a chuva com erros sistemáticos pequenos ($\text{bias} \leq 1 \text{ mm/dia}$, figura 2), exceto em sua porção mais ao norte. Isto difere de resultados com outros modelos acoplados, como o MCGA CPTEC-COLA (Cavalcanti et al., 2002), ECMWF (Brankovic e Molteni, 1997) e NCAR-CCM3 (Hurrell et al.; 1998), que simulam excessivo déficit de chuva sobre toda a região da Amazônia durante o verão.

Os modelos atmosféricos durante o verão (Figura 2e,f) e inverno (Figura 2g,h) subestimam a chuva sobre o sul do Oceano Atlântico Norte (a partir de 35°W e a partir de 10°N), e superestimam no restante do oceano Atlântico. Os modelos acoplados superestimam (subestimam) a precipitação no parte sul (norte) do oceano Atlântico em relação ao CMAP.

A diferença na representação do padrão espacial da chuva sobre o oceano Atlântico entre modelos acoplados e atmosféricos está relacionada à representação da ZCIT nas simulações. Apesar da intensificação desta zona de convergência, os modelos acoplados representam seu padrão meridional mais próximo ao CMAP do que os modelos atmosféricos. Segundo Custódio et al. (2012) que analisaram apenas os modelos acoplados do projeto HiGEM1.2, estes modelos simulam corretamente o deslocamento norte-sul da ZCIT durante o ano. Segundo os autores, o correto posicionamento ao sul da ZCIT durante o verão e o outono representou uma melhora no padrão da ZCIT em relação aos modelos do Coupled Model Intercomparison Project (CMIP) versão 3 analisados por Seth et al. (2010).

O bias de precipitação sobre a região Amazônica no inverno é menor do que no verão, tanto nos modelos acoplados como nos atmosféricos. No entanto, nos modelos atmosféricos o bias é menor do que nos acoplados. Os menores bias durante o inverno nas simulações atmosféricas pode ser atribuído

a correta representação da estação seca na região Amazônica, concordando com o padrão do ciclo anual dos dois subdomínios analisados (Figura 4).

As diferenças entre as simulações acopladas e atmosféricas e o ERAIN (Figura 3) indicam que sobre o continente, os modelos simulam atmosfera mais quente sobre a região Amazônica no verão e no inverno, com exceção do HadGEM no verão (Figura 3c). Durante o inverno os modelos acoplados e atmosféricos apresentam uma região mais fria do que o ERAIN ao sul de 10°S .

Nos modelos acoplados o bias quente em relação ao ERAIN, presente na região Amazônica, no verão e no inverno, é menor nos modelos acoplados, com exceção do HiGEM no verão (Figura 3b). Ao comparar as diferenças entre as simulações e a ERAIN, em geral, sobre os oceanos as simulações acopladas são mais frias, com exceção da costa oeste da AS (entre 0° e 30°S) onde o bias é positivo, indicando provavelmente erros na simulação da ressurgência próximo da costa oeste da AS. Particularmente nesta região, o bias quente é maior no HadGEM do que no HiGEM tanto no verão como no inverno. A resolução mais refinada no HiGEM pode estar contribuindo para resolver mais adequadamente vórtices de pequena escala, como discutido em Shafrey et al. (2009). Em contrapartida, sobre os oceanos Pacífico e Atlântico, as simulações atmosféricas apresentam menor bias, não ultrapassando $0,5^\circ$. Este padrão dos modelos atmosféricos é condizente com o fato de que são forçados com dados observados de TSM, portanto estão livres de erros de previsão desta variável como ocorre nos modelos acoplados.

No continente o padrão espacial do erro, tanto das simulações acopladas como das atmosféricas, não apresenta diferenças tão grandes como sobre o oceano. Os modelos acoplados se destacam sobre a região da Amazônia, pois apresentam em geral $\text{bias} \leq +2^\circ\text{C}$, sendo este erro no HadGEM praticamente nulo. Nos modelos de maior resolução os erros sistemáticos são menores, tanto sobre o continente como sobre o oceano, com a região continental se destacando por apresentar erros inferiores a $+0,5^\circ\text{C}$. As simulações atmosféricas simulam padrão espacial praticamente igual ao do ERAIN, com bias quase nulo em grande

parte da região dos oceanos, indicando o grande controle da TSM na temperatura do ar sobre os oceanos.

Comparando os erros sazonais de temperatura (Figura 3) e precipitação (Figura 2) no verão e no inverno é possível fazer a seguinte associação: as simulações com os maiores erros sistemáticos na temperatura sobre o continente, são as mesmas que apresentam, principalmente sobre a região da ZCIT, os maiores erros na precipitação, ou seja, as simulações acopladas com chuvas mais intensas permanecem mais frias do que as atmosféricas. Isto ocorre, pois nos modelos que chove mais, existe maior cobertura de nuvens e consequentemente, redução na quantidade de radiação incidente implicando então em uma troposfera mais fria.

Os resultados apontam que os modelos acoplados analisados representam adequadamente a temperatura do ar sobre a região da Amazônia. Estes resultados podem indicar o grande impacto que o refinamento da grade destes modelos tem sobre a temperatura do ar, bem como indicam que o aumento ainda mais da resolução horizontal e o acoplamento oceano-atmosfera pode ser o adequado para diminuir ainda mais o bias de temperatura nesta região.

A figura 4 mostra o ciclo anual médio da precipitação e temperatura para as duas regiões de interesse sobre a bacia Amazônia. A precipitação observada mostra um ciclo anual bem definido sobre a AMZ (Figura 4a), com máximo de 10 mm dia⁻¹ na estação chuvosa entre dezembro-março, e mínimo de 1 mm dia⁻¹ na estação seca entre junho-agosto (Figura 4a). As simulações acopladas e atmosféricas representam corretamente a fase e a intensidade do ciclo anual nesta região. Os modelos acoplados e atmosféricos apresentam maior bias úmido em relação ao *ensemble* durante a estação chuvosa. Os modelos atmosféricos apresentam erros sistemáticos na AMZ maiores do que os acoplados, principalmente de janeiro-março. Em relação ao aumento da resolução, embora os valores mensais simulados se mantenham próximos entre os dois grupos de modelos avaliados, é observado uma diminuição do bias úmido em grande parte do ano, tanto nas simulações acopladas como nas atmosféricas, sobre a AMZ.

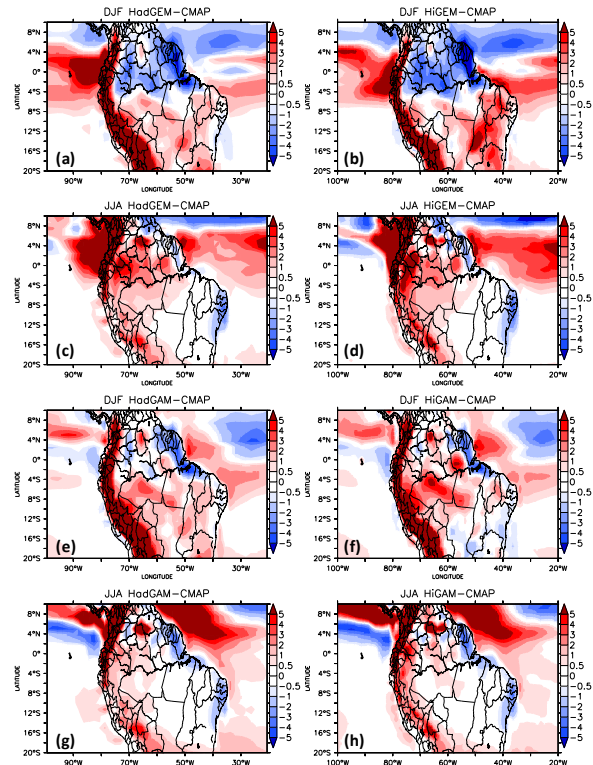


Figura 2 - Diferença entre a precipitação simulada pelos modelos acoplados (HadGEM e HiGEM) e atmosféricos (HadGAM e HiGAM) e o CMAP no verão (a,b, e,f) e inverno (c,d,e,g)

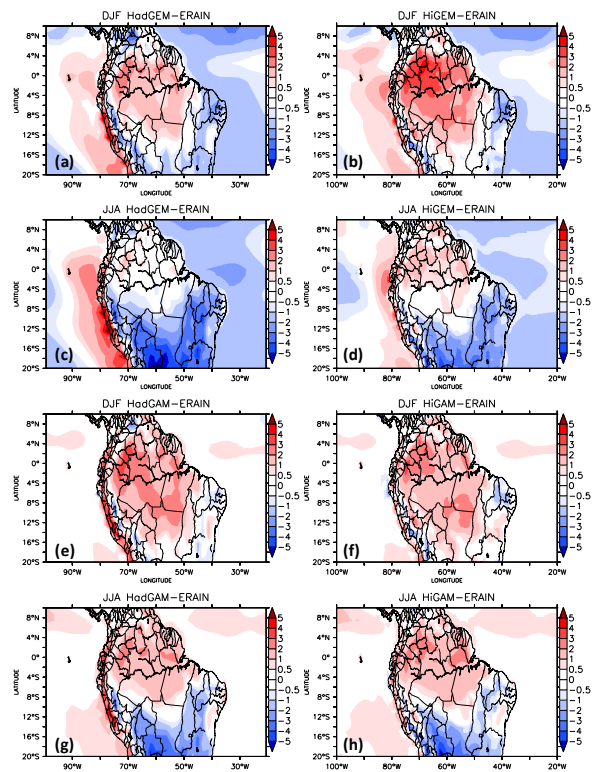


Figura 3 - Diferença entre a temperatura simulada pelos modelos acoplados (HadGEM e HiGEM) e atmosféricos (HadGAM e HiGAM) e o ERAIN no verão (a,b, e,f) e inverno (c,d,e,g)

Na região AMN (Figura 4b), tanto a estação chuvosa como a seca, são bem definidas no *ensemble*, respectivamente nos períodos de dezembro-abril e julho-setembro. No entanto, fica clara através da maior amplitude entre os máximos e mínimos (barra de erros), a incerteza nas observações que compõem o *ensemble* nesta região. Esta discrepância entre os valores fica evidente durante o período seco, onde os valores extremos do *ensemble* variam em até ± 2 mm dia⁻¹. Nesta região, tanto os modelos acoplados como os atmosféricos, defasam a fase do ciclo anual de precipitação da região. No entanto, em geral, os modelos atmosféricos simulam a fase e o período chuvoso mais próximos ao do *ensemble*. Os modelos acoplados apresentam amplitude menor do que no *ensemble*, bem como defasam tanto a estação chuvosa como a seca da região. Portanto, na AMN os modelos atmosféricos são os que melhor representam o ciclo anual de precipitação. Em relação ao refinamento da grade dos modelos acoplados e atmosféricos, nesta região as simulações não sofrem grandes alterações durante o ano.

As medidas de dispersão (tabela 1) indicam ainda que nas regiões AMZ e AMN o bias anual em relação ao *ensemble* é pequeno, tanto nas simulações acopladas como nas atmosféricas. Já o RMSE indica que está sendo cometido erro similar em todas as simulações acopladas, por exemplo, o alto valor do RMSE na AMN resultaria de erros na simulação de valores extremos, enquanto na AMZ o observado é o oposto. Comparativamente, os modelos atmosféricos reduzem o RMSE na AMN indicando o forte controle da TSM nos extremos de precipitação nesta região, enquanto isto não ocorre na AMZ provavelmente devido ao maior controle de sistemas locais nos extremos de precipitação.

A temperatura nas regiões AMN e AMZ no *ensemble* apresenta baixa amplitude durante o ano, mantendo-se praticamente na faixa de 25°C, com aumento de no máximo 1°C a partir de agosto. Isto ocorre porque estas regiões ficam em baixas latitudes, portanto recebem praticamente a mesma quantidade de radiação solar durante todo o ano. Nestas regiões as observações que compõem o *ensemble* apresentam grande discrepância entre os valores máximos e mínimos, com diferenças de até 1°C. Estas duas regiões se destacam, pois tanto os modelos

acoplados como os atmosféricos, simulam o ciclo semi-anual, com dois períodos de máxima temperatura: de setembro-novembro e de janeiro-fevereiro. Isto acontece como resultado da forçante solar semi-anual que os modelos simulam erroneamente.

Os erros presentes no ciclo anual de temperatura nos dois grupos de modelos analisados chegam a 2°C em relação ao *ensemble*, com destaque para o trimestre setembro-outubro-novembro na AMN. O padrão dos modelos em relação ao ciclo anual de temperatura é oposto ao da precipitação, o que concorda com o padrão sazonal discutido anteriormente.

As medidas de dispersão mostram que as simulações HadGEM e HadGAM (tabela 1) apresentam menores bias de temperatura, tanto na AMN como na AMZ, indicando assim, que o aumento da resolução não é o único fator para redução dos erros destes modelos, em ambas as regiões. Em relação aos componentes, os modelos atmosféricos reduzem consideravelmente os erros sistemáticos de temperatura (Figura 4.17 d,e). O desvio padrão (σ) bem como o RMSE das simulações de maior resolução apresentam maiores valores indicando a maior variabilidade da temperatura.

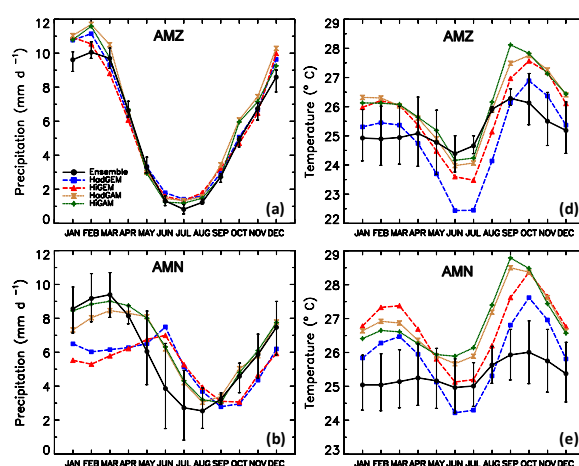


Figura 4 - Ciclo anual da precipitação (mm/dia) e temperatura (°C) nos subdomínios da bacia Amazônica, para as simulações acopladas (linhas pontilhadas) HadGEM (azul) e HiGEM (vermelha) e atmosféricas (linhas contínuas) HadGAM (marrom claro) e HiGAM (verde) e o ensemble de observações (linha preta, a barra indica os máximos/mínimos observados)

Tabela 1: Índices estatísticos (Média: χ , Bias: b , Raiz quadrada do erro médio quadrático: RMSE e correlação linear) do ciclo anual da precipitação nos subdomínios da bacia Amazônica para os modelos acoplados, atmosféricos e ensemble

		AMZ	AMN
<i>Ensemble</i>	χ	5,4	5,9
HadGEM (HadGAM)	χ	5,8(6,2)	5,3(6,3)
	b	0,36(0,7)	-0,62(0,3)
	RMSE	0,62(0,9)	2,34(1,2)
	r	0,99(0,99)	0,54(0,89)
HiGEM (HiGAM)	χ	5,7(5,8)	5,2(6,5)
	b	0,24(0,4)	-0,75(0,6)
	RMSE	0,71(0,7)	2,15(1,1)
	r	0,98(0,99)	0,42(0,93)

Tabela 2: Índices estatísticos (Média: χ , Bias: b , Raiz quadrada do erro médio quadrático: RMSE e correlação linear) do ciclo anual da temperatura nos subdomínios da bacia Amazônica para os modelos acoplados, atmosféricos e ensemble.

		AMZ	AMN
<i>Ensemble</i>	χ	25,3	25,4
HadGEM (HadGAM)	χ	24,9(26,0)	25,9(26,8)
	b	-0,4(0,7)	0,5(1,5)
	RMSE	1,1(1,0)	0,9(1,6)
	r	0,7(0,8)	0,7(0,9)
HiGEM (HiGAM)	χ	25,7(26,1)	26,7(26,9)
	b	0,4(0,8)	1,4(1,5)
	RMSE	1,0(1,1)	1,6(1,6)
	r	0,7(0,8)	0,64(0,9)

4 Conclusões

A análise das diferenças sazonais de precipitação e temperatura no verão e inverno austral mostra que os modelos acoplados e atmosféricos representam de forma coerente os padrões espaciais dessas variáveis sobre a região da Amazônia. Entretanto, ainda apresentam erros na intensidade, especialmente da chuva sobre todo o domínio considerado.

Os modelos acoplados, em geral, apresentaram sobre a região da Amazônia erros

sistemáticos menores do que os atmosféricos ao simularem, tanto a precipitação como a temperatura. Este padrão indica que o aumento da resolução e o acoplamento oceano-atmosfera implicam em melhorias importantes na simulação dos padrões de chuva e temperatura na região. No entanto, apenas o aumento da resolução não é suficiente para representar corretamente todos os padrões sazonais visto que o HiGEM, em alguns casos apresenta maiores superestimativa de chuva que nas simulações acopladas com resolução horizontal mais grosseira.

Na validação do ciclo anual de precipitação e temperatura dos modelos globais acoplados e atmosféricos com a média das observações, as simulações apresentam a mesma fase (estação seca e chuvosa) e amplitude das observações. Sobre a região da AMZ o destaque, especialmente nos modelos acoplados, é a correção de um problema comum dentre os modelos climáticos que tendem a produzir chuva em resposta ao ciclo semianual da forçante solar, gerando assim um ciclo semianual (dois máximos ao longo do ano) de precipitação. Além disso, nesta região o melhor desempenho das simulações de maior resolução em representar o ciclo anual da chuva evidencia a importância e o impacto positivo do aumento da resolução horizontal para a precipitação no setor tropical continental da AS.

O aumento da resolução horizontal nos dois subdomínios da Amazônia analisados impactou positivamente as simulações, diminuindo o bias tanto de precipitação como de temperatura em relação às observações.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao British Atmospheric Data Centre [BADC] pelo fornecimento dos dados referentes aos modelos acoplados e atmosféricos. Esta pesquisa foi parcialmente financiada pela FAPESP (13/50521-7), ligado ao Projeto GoAmazon. Bem como teve recursos da CAPES/PROEX.

Referências

Baker, I. T., L. Prihodko, A. S. Denning, M. Goulden, S. Miller, and H. R. da Rocha (2008), Seasonal drought stress in the Amazon:

- Reconciling models and observations, *J. Geophys. Res.*, v.113, G00B01, doi:10.1029/2007JG000644.
- Brankovic, C., Molteni, F. (1997). Sensitivity of the ECMWF model northern winter climate to model formulation. *Climate Dynamics*, 13, 75-101, DOI: 10.1007/s003820050154.
- Cavalcanti, I. F. A., Marengo, J. A., Satyamurty, P., Nobre, C. A., Trosnikov, I., Bonatti, J. P., Manzi, A. O., Tarasova, T., Pezzi, L. P., D'Almeida, C., Sampaio, G., Castro, C. C., Sanches, M.S., Camargo, H. (2002). Global Climatological Features in a Simulation Using the CPTEC-COLA AGCM. *J. Climate*, v.15, 2965-2988.
- Chen, M., Shi, W., Xiel, P., Silva, V. B. S., Kousky, Y. V. E., Higgins, R. W., Janowik, J. E. (2008). Assessing objective techniques for gauge-based analyses of global daily precipitation. *Journal of Geophysical Research*, 113, D04110, doi:10.1029/2007JD009132.
- Dee, D. P., com 35 co-autores (2011). The ERA-Interim reanalysis: configuration and performance of the data assimilation system. *Quart. J. R. Meteorol. Soc.*, 137, 553-597 (DOI: 10.1002/qj.828).
- Hastenrath, S. (1997) Annual Cycle of Circulation and Convective Activity over the Tropical Americas. *Journal of Geophysical Research - Atmosphere*, 102, 4267-4274.
- Hurrell, J. W., Hack, J. J., Boville, B.A., Williamson, D.L., Kiehl, J. T. (1998). The dynamical simulation of the NCAR Community Climate Model Version 3 (CCM3). *J. Climate*, 11, 1207-1236.
- IPCC (2007). *Climate change 2007: The Physical Science Basis, Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, HOUGHTON, JT, (Ed.), Cambridge University Press.
- Johns, T. C., e Co-autores (2006). The New Hadley Centre Climate Model (HadGEM1): Evaluation of coupled simulations. *J. Climate*, 19, 1327-1353.
- Kalnay, E., e co-autores (1996). The NCEP/NCAR 40-Year Reanalysis Project. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 77, 437-471.
- McLaren, A. J., e Co-autores (2006). Evaluation of the sea ice simulation in a new coupled atmosphere-ocean climate model (HadGEM1). *J. Geophys. Res.*, 111, C12014, doi:10.1029/2005JC003033.
- Martin, G. M., Ringer, M. A., Pope, V. D., Jones, A., Dearden, C., Hinton, T. J. (2006). The physical properties of the atmosphere in the new Hadley Centre Global Environmental Model (HadGEM1). Part I: Model description and global climatology. *J. Climate*, 19, 1274-1301.
- Mitchell, T. D.; Jones, P.D. (2005). An improved method of constructing a database of monthly climate observations and associated highresolution grids, *Int. J. Climatol.*, 25, 693-712, doi:10.1002/joc.1181.
- Molion, L.C.B. (1985). Micrometeorology of an Amazonian rain forest. In: Dickinson, R.E. ed. *The Geophysiology of Amazonia: Vegetation and climate interactions*. Chichester, UK: John Wiley & Sons, p. 255-269.
- Moura, A.D., Hastenrath, S. (2004). Climate prediction for Brazils Nordeste: Performance of empirical and numerical modeling methods. *Journal of Climate*, v.17, n.13, p.2667-2672.
- Neto, A. C. A., Satyamurty, P., Correia, F. W. (2015). Some observed characteristics of frontal systems in the Amazon Basin. *Meteorological Applications*, n/a-n/a. Online publication date: 1-Apr-2015.
- Nobre, P., Moura, A. D., Sun, L. (2001). Dynamical downscaling of seasonal climate prediction over Nordeste Brazil with WCHM3 and NCEP's regional spectral models at IRI. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, n.82, p.2787-2796.
- Quartly, G. D., Kyte, E. A, Srokosk, M. A., Tsimplis M. N. (2007) An intercomparison of global oceanic precipitation climatologies. *J. Geophys. Reser.*, 112, D10121.
- Ringer, M. A., e Coautores (2006). The physical properties of the atmosphere in the new Hadley Centre Global Environmental Model (HadGEM1). Part II: Aspects of variability and regional climate. *J. Climate*, 19, 1302-1326, 2006.

- Roberts, M. J., Clayton, A., Demory, M.-E., Donners, J., Vidale, P. L., Norton, W., Shaffrey, L. C., Stevens, D. P., Stevens, I., Wood, R. A. and Slingo, A. (2009) Impact of Resolution on the Tropical Pacific Circulation in a Matrix of Coupled Models. *Journal of Climate*, 22 (10). pp. 2541-2556. ISSN 1520-0442 doi: 10.1175/2008JCLI2537.1
- Sá, L. D. A., Manzi, A. O., Viswanadam, Y. (1996). Partição de fluxos de calor sensível e de calor latente acima da floresta amazônica de terra firme. São José dos Campos, INPE, Julho 1986. (INPE-3972-PRE/970).
- Seth, A., Rojas, M., Rauscher, S. A. (2010) CMIP3 projected changes in the annual cycle of the South American Monsoon. *Climatic Change*, 98:3-4, 331.
- Shaffrey, L. C., Stevens, I., Norton, W., Roberts, M. J., Vidale, P. L., Harle, J. D., Jrrar, A., Stevens, D. P., Woodage, M. J., Demory, M.-E., Donners, J., Clark, D. B., Clayton, A., Cole, J. W., Wilson, S. S., Connolley, W. M., Davies, T. M., Iwi, A. M., Johns, T. C., King, J. C., New, A. L., Slingo, J. M., Slingo, A., Steenman-Clark, L. and Martin, G. M. (2009) U.K. HiGEM: The New U.K. High-Resolution Global Environment Model – Model Description and Basic Evaluation. *Journal of Climate*, 22 (8). pp. 1861-1896. ISSN 1520-0442 doi: 10.1175/2008JCLI2508.1
- Tanaka, L. M. d. S, Satyamurty, P., Machado, L. A. T. (2014) Diurnal variation of precipitation in central Amazon Basin. *International Journal of Climatology*, v.34, Issue 13, p.3481–3640, DOI: 10.1002/joc.3929.
- Xie, P., Arkin, P. (1996). Analysis of global monthly precipitation using gauge observation, satellite estimates and numerical model predictions. *J Clim* 9:840–858.