



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
INSTITUTO DE CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS
PÓS-GRADUAÇÃO EM METEOROLOGIA**



MAURO BERNASCONI

**ANÁLISE COMPARATIVA DO MODELO DE CIRCULAÇÃO GERAL DA
ATMOSFERA DO CPTEC, COM OS MODELOS DO CMIP5/PMIP3 PARA O
PERÍODO DO HOLOCENO-MÉDIO.**

MACEIÓ, AL

Abril, 2016

MAURO BERNASCONI

**ANÁLISE COMPARATIVA DO MODELO DE CIRCULAÇÃO GERAL DA
ATMOSFERA DO CPTEC, COM OS MODELOS DO CMIP5/PMIP3 PARA O
PERÍODO DO HOLOCENO-MÉDIO.**

Dissertação Apresentada à Universidade
Federal de Alagoas para obtenção do
título de Mestre em Meteorologia.

Orientador Prof. Dr^a Maria Luciene Dias de Melo

MACEIÓ, AL

Abril, 2016

Mauro Bernasconi

ANÁLISE COMPARATIVA DO MODELO DE CIRCULAÇÃO GERAL DA
ATMOSFERA DO CPTEC, COM OS MODELOS DO CMIP5/PMIP3 PARA O PERÍODO
DO HOLOCENO-MÉDIO.

Dissertação de Mestrado apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Meteorologia, da Universidade Federal de Alagoas, como exigência parcial para a obtenção do grau de Mestre em Meteorologia, sob a orientação do Prof. Dr^a Maria Luciene Dias de Melo

Data de aprovação:

____/____/____

BANCA EXAMINADORA

Maria Luciene Dias de Melo
Universidade Federal de Alagoas

Ricardo Ferreira Carlos Amorim
Universidade Federal de Alagoas

Alessandro Sarmiento Cavalcanti
CESMAC

Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Central
Divisão de Tratamento Técnico

Bibliotecário:

G635c Bernasconi, Mauro

Análise Comparativa Do Modelo De Circulação Geral Da Atmosfera Do Cptec, Com Os Modelos Do C mip5/P mip3 Para O Período Do Holoceno-Médio./ Mauro Bernasconi, 2016.

72 fl.

Orientador: Prof. Dra. Maria Luciene Dias de Melo
Dissertação (Mestrado em Meteorologia) Universidade Federal de Alagoas – Instituto de Ciências Atmosféricas de Alagoas, Maceió, 2016.

1. Estatísticos. 2. ENSEMBLE. 3. Modelos.

CDD 627.124
CDU

Dedico a Minha esposa Mabel Calim Costa.

AGRADECIMENTOS

A minha esposa Mabel Calim Costa, por todo seu apoio e incentivo para a finalização deste trabalho, assim como, ter sofrido comigo várias vezes ao longo do tempo que estive longe para concluir esse trabalho.

A família Bernasconi, que sempre acreditou que eu seria capaz e que sempre se preocupou em saber se tudo estava certo em minha vida no decorrer dessa jornada, em especial a minha mãe, muito católica e que sempre me colocou em suas orações buscando que Deus me iluminasse nesse trajeto de aprendizado e minha Vó Lú (*in memoriam*), por sempre ter me ensinado todas as coisas boas que carrego comigo em meu dia a dia.

Aos meus sogros e cunhadas que sempre faziam questão de perguntar como estava o andamento de meu trabalho e do que poderiam fazer para ajudar.

A minha Orientadora Dr^a Maria Luciene Dias de Melo que me apoiou nas minhas decisões de deixar o país e um mestrado para trás em busca de uma vida melhor e mesmo nos momentos em que eu parecia desacreditado me motivou e fez acreditar que seria capaz de buscar esse título.

Aos amigos que conquistei ao longo dessa jornada, em especial ao amigo Marshall e Rodolfo pela sua amizade e pelas horas de estudo e dedicação ao meu Lado, ao amigo Rodolfo e sua esposa Luana junto de seu filho Mateus, por toda logística de me acolher em sua casa e por me dar o suporte necessário para conseguir recomeçar a vida em Maceió em busca desse título.

Aos meus amigos em geral, em especial aos amigos Tasmanianos, por terem me incentivado e aos amigos do Rio Grande do Sul, por terem tanta importância no que sou hoje e por independente da distância se fazerem presente em minha vida.

Aos professores do ICAT que me proporcionaram novos conhecimentos e estiveram acompanhando e torcendo pela minha constante evolução.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo financiamento de recursos para realização deste trabalho.

RESUMO

O objetivo do trabalho foi verificar qual dos modelos do Coupled Model Intercomparison Project (CMIP5) e Paleoclimate Modelling intercomparison Project, em sua terceira fase (PMIP3) se assemelha do modelo com o do CPTEC, a partir da comparação das simulações de 30 anos, para o período do Holoceno Médio (6000 anos atrás – período marcado pelas alterações nos parâmetros orbitais (ciclo de Milankovich) e menores concentrações de CO₂). A partir de 12 modelos do CMIP5/PMIP3, foi gerado um ENSEMBLE médio para representar o campo de referência. Posteriormente, utilizou-se o diagrama de Taylor a fim de verificar quais, dentre os 12 modelos, representavam estatisticamente o valor o ENSEMBLE e os modelos que representam as maiores distâncias ou maiores dispersões na análise do diagrama, para a partir daí comparar esses modelos com o modelo do CPTEC, com o propósito de verificar se este último se assemelha ao ENSEMBLE. Dentre os modelos que satisfizeram os requisitos escolhidos através do diagrama de Taylor estão o modelo HadGEM2-ES que foi o que mais se aproximou do ENSEMBLE, FGOALS-S2 que representou os valores de maior amplitude, e MRI-CGCM3 GISS-E2-R representando as maiores amplitudes (com menores valores estatísticos) para precipitação e temperatura respectivamente. Dos Modelos estabelecidos pelo Diagrama, o que melhor representou o CPTEC foi o HadGEM2-ES nas duas variáveis, sendo coerente com o valor médio encontrado em ambas análises nos diagramas de precipitação e temperatura. Mostrando assim que o modelo do CPTEC representou bem as simulações de tempo passado (HM) e que pode ser usado para realização de simulações climáticas para o futuro.

Palavras-chave: Estatísticos, ENSEMBLE, Modelos

ABSTRACT

This work establishes which of Coupled Model Intercomparison Project (CMIP5) and Paleoclimate Modelling intercomparison Project, (PMIP3) models resembles the simulations of the CPTEC, from the comparison of simulations of 30 years, the Middle Holocene period (6000 years ago - a period marked by changes in orbital parameters (Milankovich cycle) and lower concentrations of CO₂). From 12 models CMIP5 / PMIP3, it has generated an average ENSEMBLE to represent the reference field. Subsequently, we used the Taylor diagram in order to determine which, among the 12 models, statistically representing the value of the ensemble and models that represent the distances greater or larger dispersions in analyzing diagram for thereafter comparing these models with the model of CPTEC, in order to verify that the latter resembles ENSEMBLE. Among the models that met the requirements chosen by Taylor diagram are the HadGEM2-ES model was the one closest to the ENSEMBLE, FGOALS-S2 representing the values of greater amplitude, and MRI-CGCM3 GISS-E2-R representing larger amplitudes (with lower statistical values) for precipitation and temperature respectively. The models established by the diagram, which best represented the CPTEC was HadGEM2-ES in the two variables and is consistent with the average value found in both analyzes in precipitation and temperature diagrams. Showing that the CPTEC and represented the elapsed time simulations (HM) and which can be used to perform simulations for the future climate.

Keywords: statistically, ENSEMBLE, Model

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Oscilações de Milankovitch, a inclinação do eixo da Terra, a excentricidade da órbita e o período do ano da mínima distância Terra-Sol.....	17
Figura 2 Na Figura a esquerda mostra a Configuração orbital da terra mostrando afélio e periélio e a inclinação do equador em relação a eclíptica em condições atuais (0k) e no HM(6k); Na figura a direita mostra radiação de onda curta incidente no topo da atmosfera (w/m^2) para condições atuais (0k) e para HM (6k) entre 0° e $30^\circ N$ e 0° e $30^\circ S$	18
Figura 3 Área de estudo utilizada para análise dos modelos.....	23
Figura 4 Relação geométrica entre correlação R, erro centrado na média E' , e desvio padrão dos campos σ_f e σ_r , para o campo de teste e de referência respectivamente.	25
Figura 5 Médias anuais da Insolação no Topo da Atmosfera (W / m^2). a) Clima Presente (CP), b) Holoceno Médio (HM).	36
Figura 6 Médias anuais da Insolação no Topo da Atmosfera (W / m^2). Holoceno Médio (HM) menos Clima Presente CP.	37
Figura 7 Diferença nos campos de precipitação dos modelos Berger (6k) – Berger (0k).....	38
Figura 8 Diferença nos campos de temperatura do ar na superfície dos modelos Berger (6k) – Berger (0k).....	39
Figura 9 Diagrama de Taylor para variável de precipitação comparando modelos do CMIP5/PMIP3 com o ENSEMBLE, sendo as curvas solidas os valores de RMS, as curvas tracejadas os valores do desvio padrão e as retas tracejadas a correlação.....	40
Figura 10 Diagrama de Taylor para variável de temperatura do ar na superfície comparando modelos do CMIP5/PMIP3 com o ENSEMBLE, sendo as curvas solidas os valores de RMS, as curvas tracejadas os valores do desvio padrão e as retas tracejadas a correlação.	41
Figura 11 precipitação média sazonal para o modelo FGOALS-S2 para o período do HM nos meses de DJF, MAM, JJA, SON.	43
Figura 12 Diferença de precipitação sazonal entre o modelo CPTEC e FGOALS-S2, para o período do HM.	44
Figura 13 precipitação média sazonal para o modelo HadGEM2-ES para o período do HM nos meses de DJF, MAM, JJA, SON.....	46
Figura 14 Diferença de precipitação sazonal para o modelo CPTEC e o HadGEM2-ES, para o período do HM	47
Figura 15 precipitação média sazonal para o modelo MRI-CGCM3 para o período do HM nos meses de DJF, MAM, JJA, SON.	49
Figura 16 Diferença de precipitação sazonal entre os modelos do CPTEC e MRI-CGCM3...	50
Figura 17 Temperatura na superfície sazonal média para o modelo FGOALS-S2 no período do HM nos meses de DJF, MAM, JJA, SON.	52
Figura 18 Diferença sazonal de temperatura do ar na superfície para o modelo CPTEC 6k (com a parametrização de Berger) – FGOALS-S2, para o período do HM nos meses de DJF, MAM, JJA, SON.	53
Figura 19 Temperatura sazonal do ar na superfície para o modelo HadGEM2-ES para o período do HM nos meses de DJF, MAM, JJA, SON.	54
Figura 20 Diferença sazonal de temperatura do ar na superfície para o modelo CPTEC 6k (com a parametrização de Berger) – HadGEM2-ES, para o período do HM nos meses de DJF, MAM, JJA, SON.	55
Figura 21 Temperatura sazonal do ar na superfície para o modelo GISS-E2-R para o período do HM nos meses de DJF, MAM, JJA, SON.	56
Figura 22 Diferença sazonal de temperatura do ar na superfície para o modelo CPTEC 6k (com a parametrização de Berger) – GISS-E2-R, para o período do HM nos meses de DJF,	

MAM, JJA, SON.....57

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Registros paleoclimáticos para diferentes regiões do Brasil.	19
Tabela 2	Modelos do CMIP5/PMIP3, com nome de suas instituições, tamanhos de grade e referência.	22
Tabela 3	Parâmetros orbitais e condições de contorno dos modelos.	35

Sumário

1	Introdução	13
1.1	Objetivo Geral	15
1.2	Etapas do Trabalho	15
2	Revisão Bibliográfica	16
2.1	Holoceno Médio	16
2.2	Registros Paleoclimáticos.....	18
2.3	Modelagem Paleoclimática	19
3	Materiais e Metodologia.....	23
3.1	Metodologia.....	23
3.1.1	Área de estudo	23
3.1.2	Métodos Utilizados.....	24
3.2	Diagrama de Taylor	24
3.3	Modelos utilizados e condições de contorno.....	27
3.3.1	IPSL-CM5A-LR	27
3.3.2	MIROC-ESM	27
3.3.3	CCSM4	28
3.3.4	CNRM-CM5	29
3.3.5	FGOALS-s2.....	29
3.3.6	HadGEM2-CC e HadGEM2-ES.....	30
3.3.7	BCC-CSM1.1	30
3.3.8	CSIRO-MK3.6.0.....	31
3.3.9	MPI-ESM-P	32
3.3.10	MRI-CGCM3	32
3.3.11	GISS-E2-R.....	33
3.3.12	Modelo Global do CPTEC/INPE	34
4	Resultados e Discussões	36
4.1	Modelo do CPTEC	36
4.1.1	Insolação no topo da atmosfera	36
4.1.2	Precipitação e temperatura da superfície para o modelo de Berger(6k) e (0k)	37
4.2	Diagrama de Taylor para Precipitação e Temperatura.....	40
4.3	Precipitação para o HM	42
4.3.1	FGOALS-S2	42
4.3.2	HadGEM2-ES.....	45
4.3.3	MRI-CGCM3	48
4.4	Temperatura no HM.....	51
4.4.1	FGOALS-S2	51
4.4.2	HadGEM2-ES.....	54
4.4.3	GISS-E2-R.....	56
5	Conclusões.....	58
	REFERÊNCIAS	59
	ANEXO	70

1 Introdução

Uma das questões principais e mais preocupantes na atualidade está associada com as mudanças climáticas no planeta Terra e essas mudanças tem uma relação direta com o aumento da população mundial, já que as atividades humanas influenciam essas alterações. Alguns exemplos dessas atividades são os desmatamentos, mau uso do solo e uso de recursos não renováveis, e dessa forma, sendo nós um dos causadores dessas mudanças, se torna necessária a pesquisa e entendimento das alterações do clima (IPCC 2007).

O clima no nosso planeta também é controlado por outros fatores, que são agentes climáticos, classificados como perturbações naturais ou antrópicas, que estão diretamente ligadas a alterações no clima, dentre as perturbações naturais encontram-se as internas, sendo elas (circulação da atmosfera e oceânica, vulcões, albedo, dentre outros) ou as externas (variação orbital, ciclo solar, forças gravitacionais). Os agentes climáticos antrópicos são relacionados ao aumento da produção industrial e ao aumento de poluição lançada na atmosfera (dióxido de carbono – CO_2 , óxido nitroso - N_2O e metano CH_4). Causando aumento da temperatura média global (IPCC, 2007). Um certo agente climático pode contribuir para aquecer o Planeta, enquanto outro pode tender a resfriá-lo, sendo que ainda se desconhece seus reais efeitos no clima global (Yamasoe, et al.,2012).

Diretamente ligado às alterações no clima, está a nossa capacidade de fazer projeções climáticas futuras tão confiáveis quanto possível, uma vez que, as melhores possibilidades de compreender as alterações futuras do clima no nosso planeta é pesquisando os diferentes ciclos de variação do clima passado. Isso é uma questão de extrema significância para um total entendimento dos impactos das mudanças climáticas e para planejamento e implementação de mitigações políticas.

Atualmente os únicos meios de estudar climas passados são através de registros paleoclimáticos que são chamados de proxies ou simulações de modelos climáticos, essas ferramentas são importantes para ligar causa e efeito em climas passados (Jansen et al., 2007). No entanto, modelos climáticos não conseguem reproduzir a realidade com perfeição, seja pela baixa quantidade de dados observados, problemas e imperfeições ligados a dinâmica de mecanismos físicos ou pelas limitações relativas à resolução espacial e capacidade computacional. Modelos climáticos requerem uma alta complexidade de análises comparativas e abrangente da síntese de dados dos centros de pesquisas para garantir que os modelos possam simular diferenças climáticas.

O Holoceno-médio, clima entre 5 a 7 mil anos atrás, é um dos melhores períodos passados para análises de modelos climáticos, porque este período permite investigar os efeitos das alterações que a forçante orbital causam no clima (e.g Braconnot et al., 2007a, 2007b; Jansen et al., 2007). E devido ao HM não ser caracterizado por uma glaciação ou superaquecimento e sim, por ser um período marcado por características médias climáticas similares às do clima atual, representa um bom teste para avaliar o desempenho dos modelos climáticos.

Experimentos numéricos do HM estão sendo conduzidos na terceira fase do Paleoclimate Modeling Intercomparison Project (PMIP3; Braconnot et al., 2012) e agora parte do Couple Model Intercomparison (CMIP5) Multimodel Database (Taylor et al., 2012). Os dados de saída do PMIP3/CMIP5 no estado da arte podem ser comparados com dados paleoclimáticos e então validados. Aqui será comparado o Modelo de Circulação Geral da Atmosfera MCGA do CPTEC/INPE com a parametrização de Berger(1978) com os modelos do CMIP5/PMIP3, com o foco na América do Sul para os regimes sazonais de precipitação e temperatura.

O entendimento desta análise ajuda a compreender a relação entre modelos e suas diferenças de forma estatística, afim de, validar qual dos modelos CMIP5/PMIP5 representa melhor o MCGA.

1.1 Objetivo Geral

Os objetivos gerais são compreender as diferenças sazonais entre o modelo do CPTEC 6k e os modelos CMIP5/PMIP3, afim de, identificar qual dos modelos representa melhor o modelo de circulação geral da atmosfera do CPTEC/INPE para o período do HM.

1.2 Etapas do Trabalho

Fazer uma análise com auxílio do diagrama de Taylor (Taylor, 2001), comparando os 12 modelos aqui analisados com um conjunto desses modelos formando um Ensemble, de modo que, seja utilizado somente o modelo que estatisticamente se aproximar mais do ensemble, assim como, os modelos que suas comparações estatísticas ficarem nas extremidades, verificando assim, o resultado que melhor representa o ensemble e os que tiverem as maiores dispersões dos valores do mesmo.

Comparar resultados dos Modelos CPTEC 6K e CPTEC 0K avaliando as oscilações entre o presente e o passado entre as simulações alterando apenas os parâmetros orbitais.

Analisar os modelos que configurem a representação requerida no diagrama de Taylor com o modelo do CPTEC 6k para HM com ênfase na América do sul.

2 Revisão Bibliográfica

2.1 Holoceno Médio

A hipótese de Milankovitch (Milankovitch, 1941), refere-se a variações de longo tempo na órbita da Terra-Sol, cujo resultado são mudanças climáticas em um período de centenas de milhares de anos e está relacionado às eras glaciais e interglaciais. A combinação de três principais ciclos, sendo eles, variação na excentricidade, obliquidade e precessão forma o ciclo de Milankovitch (Figura 1).

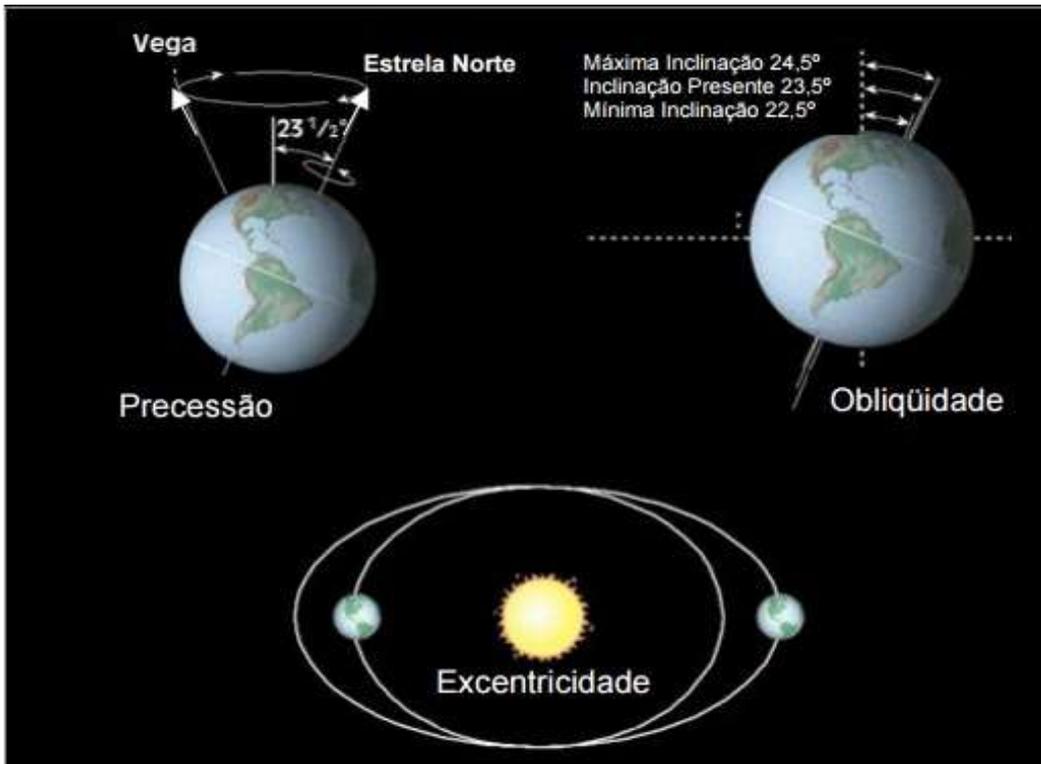
O primeiro dos três ciclos de Milankovitch é a excentricidade da Terra. Excentricidade é, simplesmente, a forma da órbita da Terra em torno do Sol. Esta constante flutuação na forma orbital, varia entre mais e menos elíptica (0 a 5% de elipticidade) num ciclo de cerca de 100.000 anos. Essas oscilações, de mais elíptica para menos elíptica, são de primordial importância para a glaciação na medida em que altera a distância da Terra ao Sol, mudando assim a distância da radiação de onda curta que deve viajar do Sol para chegar à Terra e posteriormente, reduzir ou aumentar a quantidade de radiação recebida na superfície da Terra em diferentes épocas do ano.

Obliquidade, o segundo dos três ciclos de Milankovitch, é a inclinação do eixo da Terra em relação ao seu plano da órbita em torno do Sol. Oscilações no grau de inclinação do eixo da Terra ocorrem em um período aproximado de 41.000 anos com variações de 21,5 a 24,5 graus. A obliquidade da Terra hoje é cerca de 23,5 graus, o que explica em grande parte nossas estações do ano, por causa das variações periódicas ocorre mudanças na intensidade das estações do ano na Terra. Com uma menor obliquidade a radiação solar é distribuída uniformemente entre inverno e verão, no entanto, uma maior Obliquidade aumenta a diferença no recebimento de radiação entre as regiões polares e equatoriais.

O terceiro e último dos ciclos de Milankovitch é a precessão da Terra. Este ciclo altera as datas de periélio/afélio devido a alterar a insolação recebida pela Terra. Precessão tem uma periodicidade de 23.000 anos e devido a esta oscilação, alterações climáticas significativas devem ocorrer. Atualmente, quando a Terra está mais próxima do Sol no hemisfério sul, o verão ocorre no periélio, enquanto que quando a Terra está mais distante do Sol no hemisfério sul, ocorre o inverno no afélio, sendo assim, a precessão é responsável pelo contraste sazonal nos hemisférios.

Os três ciclos possuem diferentes períodos de retorno, o que faz com que a interação desses ciclos altere a radiação recebida pela terra, intensificando ou suavizando a quantidade de energia recebida (Imbrie e Imbrie, 1980; Einsele et alii, 1991).

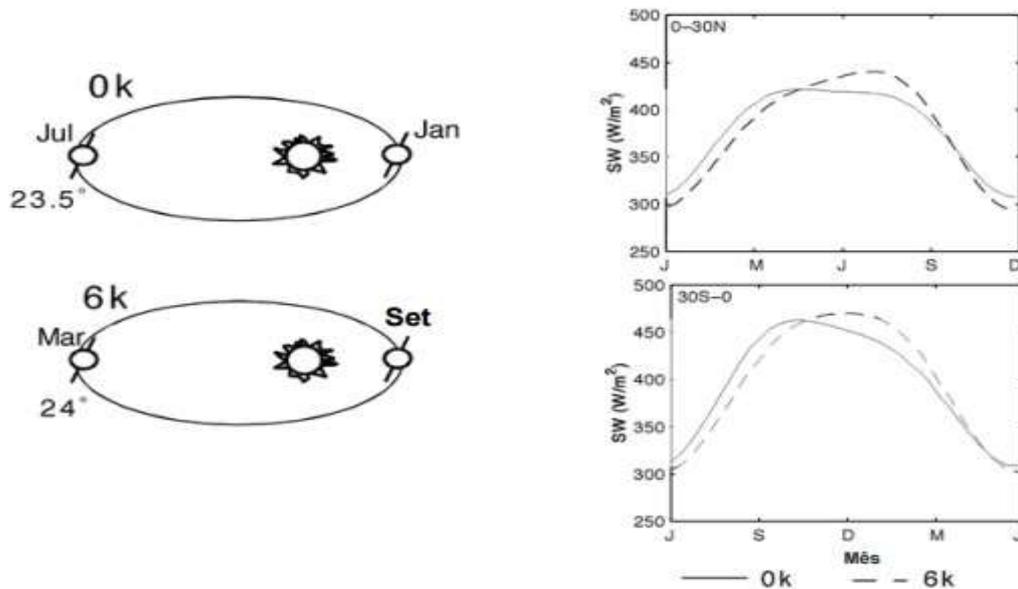
Figura 1- Oscilações de Milankovitch, a inclinação do eixo da Terra, a excentricidade da órbita e o período do ano da mínima distância Terra-Sol.



Fonte: <http://www.sciencemag.org/feature/data/vis2003/TasaDemo.html>

A radiação encontrada nos dias de hoje, não é a mesma que se apresentou no HM, essa diferença de radiação incidente sobre o planeta terra se deve a mudança de parâmetros orbitais, Durante o HM a terra esteve mais próxima do sol (Periélio) que o presente, alterando assim, o ciclo sazonal de insolação, o periélio ocorria entre agosto e o fim de setembro e o afélio entre março e o fim de abril (Figura 2). Essa mudança influenciou diretamente na maior quantidade de energia disponível no hemisfério norte, que recebia uma maior parcela de radiação de onda curta.

Figura 2 Na Figura a esquerda mostra a Configuração orbital da terra mostrando afélio e periélio e a inclinação do equador em relação a eclíptica em condições atuais (0k) e no HM(6k); Na figura a direita mostra radiação de onda curta incidente no topo da atmosfera (w/m^2) para condições atuais (0k) e para HM (6k) entre 0° e 30°N e 0° e 30°S



Fonte: Liu, et al., (2004, p. 159).

2.2 Registros Paleoclimáticos

Segundo Bradley (1999), o paleoclima pode ser reconstruído por meio da aquisição e datação de dados geológicos, como sedimentos marinhos, dados biológicos como grãos de pólen e anéis de árvore ou baseados em núcleos de gelo. Estes dados fornecem importantes informações sobre a variação ocorrida no clima em determinado local por um longo período, além de fornecer subsídios para validar modelos computacionais.

O HM é um período que se destaca para América do Sul, por possuir uma considerável distribuição de indicadores paleoclimáticos (MELO et al. 2008). Apesar de se ter, no Hemisfério Norte, uma cobertura espacial e temporal de registros paleoclimáticos muito maior, com os *proxies* coletados no Hemisfério Sul já é possível um entendimento das condições climáticas do HM (Prado et al. 2013). Uma síntese de registros paleoclimáticos com informações sobre a variação ocorrida no clima do Holoceno-médio, para o Brasil são sintetizadas na Tabela 1.

Tabela 1 Registros paleoclimáticos para diferentes regiões do Brasil.

Regiões do Brasil	Clima no HM
Sul	Seco e quente
Sudeste	Seco, Exceto no Vale do Paraíba e sul do RJ que foi mais úmido
Nordeste	Seco, com oscilações entre períodos mais úmidos e condições semiáridas
Centro-Oeste	Mais úmida com elevação de temperatura
Norte	Semelhante ao clima atual

Fonte: adaptado Melo (2007).

2.3 Modelagem Paleoclimática

Os experimentos do PMIP3 realizados para o Holoceno-médio são relativamente simples, utilizando as mesmas condições de contorno para todos os experimentos. As simulações do HM devem diferir do clima presente apenas nos parâmetros orbitais e concentração de Metano na atmosfera, onde no presente essa concentração é 760ppb e para o HM é 650ppb, enquanto a concentração de CO₂ permanece nos valores da era pré-industrial de 280ppm e no presente encontramos 340ppm. (Raymond et al., 1993). Os parâmetros orbitais para HM são especificados por Berger(1978), com excentricidade, 0,016724 e 0,018682; obliquidade, 23,446 e 24,105; e precessão angular, 102,04 e 0,87, respectivamente para o período presente e passado.

Diversas pesquisas vêm sendo feitas em todas as regiões do mundo, usando essas condições iniciais dos modelos climáticos para o HM, com o foco principalmente no hemisfério norte, onde o ciclo sazonal é amplificado. Utilizando modelos atmosféricos do PMIP, Joussaume et al. (1995), Harrison et al. (2002); e Braconnot et al. (2003) relatam que as mudanças mais pronunciadas ocorrem sobre as regiões de monções da África e da Ásia, onde ocorre um aumento da convergência em baixos níveis, devido ao contraste oceano-atmosfera, com fortalecimento desses sistemas.

Dos estudos realizados com o foco na América do Sul, Valdes(2000) foi um dos primeiros a realizar pesquisas analisando o clima na América do Sul, utilizando resultados de todo conjunto modelos do PMIP para o HM, constatou uma diminuição da amplitude do ciclo sazonal de temperatura no continente sul-americano, ocorrendo em geral um

resfriamento no trimestre de dezembro-janeiro-fevereiro (DJF) e aquecimento em junho-julho-agosto (JJA) e em grande parte do continente foi observado condições mais secas nas simulações para HM, devido ao enfraquecimento do ciclo de precipitação sazonal.

Liu et al. (2004) pesquisaram a respeito dos seis principais sistemas monçônicos de verão (monções da América do Norte, Região Sul-africana e Norte-Africana, Ásia, Norte da Austrália e América do Sul) usando a forçante orbital do HM, com foco nos papéis distintos que exercem a forçante direta da insolação e a retroalimentação oceânica. Os resultados dessa pesquisa também foram comparados por Harrison et al. (2003) na análise das monções do continente americano. Ambas as pesquisas mostram que a Monção da América do Sul é enfraquecida pela redução da insolação de verão, enquanto, no Hemisfério Norte a mudança de insolação produz um aumento na precipitação das monções, e que o efeito das TSM não altera a resposta do sistema de monção da América do Sul.

Dewes (2007), Analisou que existia um enfraquecimento do sistema de monção da América do Sul utilizando o modelo do IPSL-CM4, verificou que devido à diminuição do contraste térmico continente-oceano no HM houve uma diminuição da temperatura sobre o continente e provocou um aumento da pressão atmosférica nos meses de verão, reduzindo o gradiente de pressão, conseqüentemente, enfraquecendo os alísios, resultando em menor transporte de umidade para o continente e redução da precipitação. Jorgetti (2004) estudou a relação entre a TSM e o clima da América do Sul no HM, para realizar tal estudo, utilizou uma versão anterior do modelo IPSL, que acopla oceano e atmosfera. Os resultados mostraram que o ciclo sazonal de temperatura encontrava-se reduzido, assim como, verificou um enfraquecimento no sistema monçônicos. Nos campos de precipitação, evidenciou um deslocamento da ZCIT para o sul, e enfraquecimento da ZCAS, com um leve deslocamento para o Norte.

Melo et al. (2008) com a utilização do MCGA do CPTEC pra o HM, verificou que a convergência de baixo nível sobre a Amazônia sofria um enfraquecimento, uma diminuição de transporte de umidade para o sul e um aumento do fluxo de norte para leste dos andes. Os resultados sugerem ainda que o clima era mais úmido sobre o nordeste da AS, devido ao aumento do fluxo de umidade fornecida pelo oceano Atlântico, proveniente da Alta subtropical do atlântico Sul que encontrava-se mais próxima do continente para o período do HM. Na região tropical da América do Sul, indicam um clima mais seco na Amazônia e Sudeste do Brasil e um clima mais úmido na Venezuela. Este padrão tem sido interpretado como deslocamento para o norte da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), também verificado Dias (2009).

2.4 CMIP5/PMIP3

A quinta fase do projeto Coupled Model Intercomparison Project (CMIP5) teve início com a entrada de 20 grupos de modelagem climáticas de todo o mundo. Os grupos concordaram em promover um novo conjunto de parâmetros coordenados para experimentos de modelagem climática. CMIP5 é o responsável por disponibilizar os diversos modelos e avaliar mecanismos responsáveis pelas diferenças dos modelos e pelo retorno aos centros de pesquisa com a compreensão associada aos ciclos de carbono e nuvens, assim como, examinar o clima e diagnosticar a previsibilidade dos modelos e explorar a capacidade dos mesmos para prever o clima em escalas de tempo decadal, e ainda, verificar por que os modelos com forçante semelhante tendem a produzir resposta diferentes.

Um dos Grupos que faz parte do CMIP5 é o Paleoclimate Modelling intercomparison Project, em sua terceira fase (PMIP3). O objetivo principal do PMIP é fornecer um mecanismo para coordenar e compreender as atividades relacionadas à modelagem paleoclimática, afim de compreender os mecanismos das mudanças climáticas e as respostas a essas mudanças. Na Primeira fase do projeto (PMIP1), o foco foi voltado para atmosfera, somente para modelos de circulação geral. Comparação de modelos oceano-atmosfera e oceano-vegetação e atmosfera acoplados foram o foco do (PMIP2), em sua terceira fase, o projeto está executando as simulações paleoclimáticas conduzidas e avaliadas pelo CMIP5, no entanto, o PMIP segue realizando experimentos não analisados pelo CMIP5. Na tabela 2 os modelos são sintetizados e distribuídos com seus respectivos centros de pesquisa, grade utilizada e referencia para simulações no período do HM.

Tabela 2 Modelos do CMIP5/PMIP3, com nome de suas instituições, tamanhos de grade e referência.

Modelos	Centro de pesquisa	Grade	Citação
IPSL- CM5A-LR	Institut Pierre-Simon Laplace (IPSL)	$3.75^\circ \times 1.875^\circ$	Kageyama et al. (2012) and Marti et al. (2010)
MIROC- ESM	Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, Atmosphere and Ocean Research Institute (University of Tokyo), and National Institute for Environmental Studies (MIROC)	2.8125° (Gaussiana)	Watanabe et al. (2011)
CCSM4	National Center for Atmospheric Research (NCAR)	$1.25^\circ \times 0.9424^\circ$	Gent et al. (2011)
CNRM- CM5	Centre National de Recherches Météorologiques/Centre Europeen de Recherche et Formation Avancees en Calcul Scientifique (CNRM-CERFACS)	1.4063° (gaussiana)	Voltaire et al. (2013)
FGOALS- s2	Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences (LASG-IAP)	$2.8125^\circ \times 1.665^\circ$	Bao et al. (2012)
HadGEM2- CC	Met Office Hadley Centre (MOHC)	$1.875^\circ \times 1.25^\circ$	Collins et al. (2008)
HadGEM2- ES	Met Office Hadley Centre (MOHC)	$1.875^\circ \times 1.25^\circ$	Collins et al. (2008)
BCC- CSM1.1	Beijing Climate Center, China Meteorological Administration (BCC)	2.8125° (gaussiana)	Xin et al. (2013)
CSIRO- MK3.6.0	Commonwealth Scientific and Industrial Research (CSIRO)	1.875° (gaussiana)	Hazeleger et al. (2011)
MPI-ESM- P	Max Planck Institute for Meteorology (MPI-M)	1.875° (gaussiana)	Giorgetta et al. (2012)
MRI- CGCM3	Meteorological Research Institute	1.125° (gaussiana)	Yukimoto et al. (2011)
GISS-E2-R	Goddard Institute for Space Studies, USA	$2.5^\circ \times 2^\circ$	Schmidt et al. (2014b)

Fonte: adaptado pelo autor/ CMIP5-PMIP3, Earth Grid System Federation.

3 Materiais e Metodologia

3.1 Metodologia

3.1.1 Área de estudo

A fim de estudar a comparação entre o modelo do CPTEC/INPE e modelos do CMIP5/PMIP3 para o período do HM, a área de estudo estabelecida foi a América do sul, para as Latitudes de 15°N e 65°S e Longitudes 30°W e 85°W, como mostra a Figura 3,

Figura 3 Área de estudo utilizada para análise dos modelos.



Fonte: o autor, (2016).

3.1.2 Métodos Utilizados

Primeiramente foram feitas diversas modificações nos dados analisados, como o recorte da área, ajuste da grade e separação dos mesmos períodos de tempo, que foram estabelecidos em 30 anos e de forma estatística junto ao diagrama de Taylor fossem mostradas as maiores semelhanças entre os modelos. Foi preciso fazer um aumento das grades dos modelos para que todos dividissem o mesmo tamanho de grade e a utilização de meios computacionais para que a realização do cálculo se tornasse viável, uma vez que, análises realizadas ponto a ponto necessitam de mesmo tamanho de grade para execução.

Foi feito um conjunto dos modelos CMIP5/PMIP3, formando um ENSEMBLE e utilizando como referência para análise do diagrama de Taylor, dentre os modelos analisados para diferentes variáveis, foi utilizado o modelo que mais se aproximou do conjunto, sendo o Modelo com o valor estatístico mais próximo do conjunto de modelos, e os modelos que mais se afastaram do conjunto, sendo eles as extremidades do conjunto de modelos, analisando assim, somente a comparação de três modelos, formando um intervalo com os modelos de maior amplitude ou maior dispersão dos dados em relação ao ensemble, e outro com a amplitude próxima do ensemble, ou a dispersão semelhante ao ensemble.

Foi feita a validação para o Modelo de CPTEC 6k(passado) com a sua versão de controle CPTEC 0k(presente), para as variáveis de precipitação e temperatura da superfície, evidenciando as grandes diferenças dos sistemas encontrados na América do Sul. Para analisar a diferença entre as simulações do HM sobre a América do Sul comparando com o modelo de CPTEC(6k) e modelos do CMIP5/PMIP3, utilizou-se médias sazonais para os períodos de dezembro, janeiro e fevereiro (DJF), março, abril e maio (MAM), junho, julho e agosto (JJA) e setembro, outubro e novembro (SON) das variáveis: Temperatura da superfície e Precipitação. Foram feitas análises de anomalias (6k – 0k) para o modelo do CPTEC e anomalias (CPTEC 6k - CMIP5/PMIP3), de modo que, sejam evidenciadas as grandes diferenças na magnitude das variáveis, precipitação e de temperatura da superfície.

3.2 Diagrama de Taylor

Diagrama de Taylor, (Taylor, 2001), fornece um meio de avaliar graficamente qual padrão ou conjunto de padrões dos modelos se aproxima mais dos dados a serem analisados. A similaridade entre 2 padrões analisados pode ser quantificada por sua correlação, seu erro

centrado na média RMS e a amplitude de sua variação representando o desvio padrão. Este diagrama é especialmente útil em avaliar aspectos de modelos complexos ou em medir a habilidade relativa de modelos (IPCC, 2001).

Em geral o Diagrama de Taylor, caracteriza a relação estatística entre dois campos, por exemplo, a utilização de um campo teste que representa um campo simulado por um modelo e outro campo como referência, que usualmente é colocado como sendo a realidade, ou os resultados dos quais procuram-se a aproximação, calculando assim três avaliações estatísticas em simultâneo. Essas estatísticas são mostradas nas fórmulas a seguir.

$$E'^2 = \sigma_f^2 + \sigma_r^2 - 2\sigma_f\sigma_rR \quad (1)$$

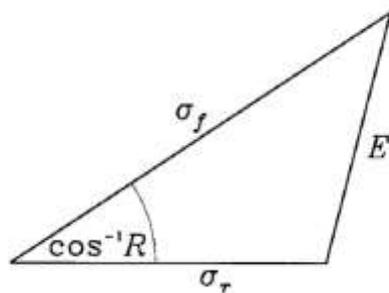
Para o qual R é o coeficiente de correlação entre os dois campos analisados;

E' é o erro centrado na média RMS entre os dois campos;

σ_f^2 e σ_r^2 é a variância do campo de teste e de referência, respectivamente.

A Figura 4 exemplifica que a construção do diagrama é dada pela Lei dos Cossenos do ângulo azimutal, é baseada na similaridade na equação da lei dos cossenos.

Figura 4 Relação geométrica entre correlação R, erro centrado na média E', e desvio padrão dos campos σ_f e σ_r para o campo de teste e de referência respectivamente.



Fonte – Taylor 2001.

Sendo a Lei dos Cossenos representadas por a,b,c como os comprimentos médios das arestas para o equacionamento e o ângulo \emptyset para...

$$c^2 = a^2 + b^2 - 2ab\cos\emptyset \quad (2)$$

Sendo assim, em um diagrama para representar um campo de teste (f) e um campo de referência (r), a fórmula para calcular a correlação (R), o RMS (E), e o desvio padrão para um campo de teste (σ_f), e um campo de referência (σ_r), são descritas abaixo.

$$R = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N (f_n - \bar{f})(r_n - \bar{r}) / \sigma_f \sigma_r \quad (3)$$

$$E'^2 = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N [(f_n - \bar{f}) - (r_n - \bar{r})]^2 \quad (4)$$

$$\sigma_f^2 = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N (f_n - \bar{f})^2 \quad (5)$$

$$\sigma_r^2 = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N (r_n - \bar{r})^2 \quad (6)$$

A média global de um campo está indicada pela barra superior. No caso de um campo com tempo independente, a soma é calculada sobre todos os pontos de grade. Para uma típica grade espacial a área da célula de grade não é uniforme, de modo que cada célula de grade deve ser ponderada pela fração da área total representada pelo ponto de grade. No caso de um campo variando com tempo, a soma é computada como uma dupla soma sobre todas as grades e todas as amostras de tempo.

3.3 Modelos utilizados e condições de contorno

Os modelos do CMIP5/PMIP3 possuem a mesma parametrização orbital e condições de contorno e as descrições dos seus valores para o período do HM nos modelos encontram-se na Tabela 3.

3.3.1 IPSL-CM5A-LR

IPSL-CM5 desenvolvido pelo Institut Pierre-Simon Laplace (IPSL), inclui 5 modelos que representam o clima do Sistema Terrestre e seu ciclo de carbono: LMDz (atmosfera), NEMO (oceano, biogeoquímica oceânica e do gelo marinho), ORCHIDEE (superfícies continentais e vegetação) e INCA (química atmosférica), todos acoplados através do OASIS, do sistema de modelagem IPSL. O Modelo aqui analisado foi o atmosférico LMDz Laboratoire de Météorologie Dynamique. (Hourdin et al., 2006). Para o IPSL-CM5A-LR, que faz parte dos modelos analisados para o relatório de mudanças climáticas do IPCC AR5.

A componente atmosférica na versão IPSL_CM5A é a mesma utilizada nas versões anteriores do IPSL, porém, possui uma maior resolução de 96x96 grades o que em graus é aproximadamente 3.75° para Longitude e 1.875° para Latitude, sendo ele um modelo de baixa resolução, com 39 níveis verticais atmosféricos e com uma representação extensiva da estratosfera, para mais informações consulte Kageyama et al. (2006) and Marti et al. (2010).

3.3.2 MIROC-ESM

O modelo chamado de MIROC-ESM, baseia-se no modelo de clima global Model for Interdisciplinary Research on Climate (MIROC), que foi desenvolvido em cooperação com a Universidade de Tóquio, NIES e JAMSTEC (Nozawa et al., 2007). O Modelo possui componentes de atmosfera (MIROC-AGCM 2010), incluindo um componente de aerossol (SPRINTARS 5.00), um componente de oceano ligado a gelo marinho (COCO 3,4) e sua componente e de superfície (MATSIRO), todas interligadas e acopladas ao MIROC.

A presente versão do MIROC-ESM possui algumas limitações como por exemplo efeito da alteração de vegetação com a emissão de poeira e efeitos da disposição de carbono e albedo de neve. Muitos processos de acoplamento que são potencialmente importantes no

planeta Terra não são incluídos no modelo, por exemplo a química do sistema e aerossóis, não são diretamente acoplados ao modelo.

Um período de integração total de milhares de anos foi solicitado para a série do CMIP5, porém o número de experimentos realizados com a versão completa do MIROC-ESM teve de ser limitada, sendo realizados alguns experimentos no MIRCO-ESM-CHEM, representando a química da atmosfera, enquanto todos outros experimentos foram realizados sem a componente química da atmosfera. O Modelo possui uma grade T42 de aproximadamente 2.8125° para Longitude e Latitude, e com 80 níveis na vertical.

3.3.3 CCSM4

A primeira versão do CCSM, chamado de Modelo do Sistema Climático foi lançado em 1996 (Boville e Gent 1996) e foi o primeiro modelo climático capaz de manter uma simulação atual estável, sem a utilização da correção de fluxo. O CCSM2 foi lançado em 2002 (Kiehl e Gent 2004), e CCSM3 foi lançado em junho de 2004 (Collins et al., 2004) a atual versão do modelo climático CCSM4 é acoplado para simular o sistema climático terrestre, composto por quatro modelos distintos que simulam simultaneamente atmosfera, oceano, superfície terrestre, e gelo marinho e possui um componente central para acoplamento de todas componentes. CCSM4 possui a capacidade de reproduzir material para investigação do passado, presente e futuro do planeta terra.

O CCSM4 é um dos modelos climáticos em todo o mundo a ser utilizado na quinta fase de comparação de modelos de Projeto (CMIP5). O protocolo CMIP5 observa longas projeções, sem e com um ciclo de carbono interativo. Os resultados destas simulações usando CCSM4 foram utilizadas junto de outros modelos pelo Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) no relatório AR5 que foi publicado em 2013.

A resolução mais baixa do CCSM4, indicada para estudos paleoclimáticos está documentada em Shields et al. 2011. Sua resolução conta com uma grade horizontal de 288 x 200 pontos de grade, o que resulta em aproximadamente $1.25^\circ \times 0.9424^\circ$ de Latitude e longitude o modelo possui 26 camadas verticais que são distribuídas uniformemente.

3.3.4 CNRM-CM5

A nova versão do modelo de circulação geral CNRM-CM foi desenvolvido em conjunto pela CNRM-JOGO (Centre National de Recherches Météorologiques—Groupe d'études de l'Atmosphère Météorologique) e Cerfacs (Centre Européen de Recherche et de Formation Avancée), afim de, contribuir com o CMIP5.

O CNRM-CM5 inclui o modelo atmosférico ARPEGE-Climat, para a componente oceanica possui o modelo NEMO, o ISBA é a componente de superfície terrestre e o modelo de gelo do mar GELATO acoplado através do sistema OASIS, Voldoire et al. (2012). O CNRM-CM5 é capaz de simular o clima presente e sua variabilidade de escalas de tempo passado, presente e futuro. Suas simulações foram utilizadas nos relatórios do IPCC AR5, onde foi levado em conta seu potencial para auxílio de compreensões do sistema climático.

Com a capacidade de simular diferentes períodos, foi utilizado para simulação paleoclimática, sendo gerado material do ultimo máximo glacial e Holoceno médio o qual será analisado nesse estudo. Foram necessárias transformações espectrais para reduzir uma grade gaussiana de sua versão anterior do modelo para uma resolução de aproximadamente 1.4063° de Latitude e Longitude e utilização de 31 níveis verticais com baixo topo da atmosfera.

3.3.5 FGOALS-s2

O Flexible Global Ocean-Atmosphere-Land System model, Spectral version 2 (FGOALS-s2), tem sido usado para reproduzir realisticamente o clima e para estudar influências antropogênicas nas mudanças climáticas. É um modelo climático desenvolvido em sua grande maioria por pesquisadores do Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences (LASG-IAP), sendo uma ferramenta poderosa na reprodução de cenários climáticos e para compreensão dos processos e mecanismos da variabilidade climática.

A segunda versão do modelo de FGOALS inclui quatro componentes individuais: um atmosférica, componente SAML2 (Bao et al, 2010;., Liu et al., 2013); uma componente oceano (LICOM2) (Liu et al., 2013); uma componente terrestre (CLM3) (Oleson et al, 2004); e uma do gelo do mar (RSIM5) (Briegleb et al., 2004). Um módulo de fluxo acoplado (Collins et al., 2006) relacionam estas quatro componentes principais. As principais diferenças entre a antiga versão do modelo e a atual são: a componente de oceano, o

componente terrestre, o componente de gelo do mar e o acoplador no FGOALS-s2, enquanto a componente atmosférica ainda compartilha a mesma resolução e física do antigo modelo FGOALS-S1.1 (Bao et al., 2010).

Modelo espectral de baixa resolução, de aproximadamente 1.66° de Latitude por 2.81° de Longitude e 26 camadas verticais, FGOALS-S2 é indicado para diferentes tipos de simulações em escala de tempo, sendo utilizado em simulações para passado, presente e futuro.

3.3.6 HadGEM2-CC e HadGEM2-ES

HadGEM2 é um projeto desenvolvido a partir de dois fundamentos, melhorar a física do clima e adicionar componentes do sistema terrestre ao modelo, realizando o acoplamento. É o primeiro modelo do Met Office Hadley Centre (MOHC) que faz suas rodadas sem a necessidade de correções de fluxo, Cox et al., 2001.

HadGEM2-CC possui as configurações específicas do HadGEM2 para os modelos do CMIP5, suas maiores diferenças em relação ao HadGEM2-ES é a inclusão de um sistema de arrasto para ondas de gravidade não orográficas, produção de vapor d'água estratosférico derivado da oxidação de metano e a remoção do componente de química da atmosfera. Oxidantes são prescritos usando médias decadais das simulações equivalentes ao HadGEM2-ES.

HadGEM2-ES é um modelo desenvolvido a partir das configurações do HadGEM1, representando melhorias na física do modelo e adicionando componentes do sistema terrestre e acoplamento. A Configuração do HadGEM2-ES possui os seguintes processos inclusos, Troposfera, Superfície terrestre e hidrologia, aerossóis, oceano e gelo marinho, ciclo de carbono terrestre, biogeoquímica do oceano e diferindo do HadGEM2-CC apenas pela componente de química.

Sua grade é de 1.875° para Latitude \times 1.25° para Longitude e possui 38 níveis verticais atmosféricos.

3.3.7 BCC-CSM1.1

Beijing Climate Center Climate System Model (BCC-CSM) foi desenvolvido pelo Beijing Climate Center (BCC), China Meteorological Administration (CMA), foi baseado na

versão do modelo do NCAR CCSM2.0.1. E possui 2 versões, BCC-CSM1.1 para baixa resolução e a versão para média resolução BCC-CSM1.1(m). Ambas as versões possuem clima e ciclo de carbono acoplado podendo assim obter simulações sobre o globo terrestre e ciclos de carbono oceânico incluindo a vegetação dinâmica. Suas componentes principais são atmosfera BCC_AGCM2.1, superfície terrestre BCC_AVIM1.0, oceano MOM4-L40, gelo marinho SIS e todas são acopladas e interagem entre si através de fluxos de momentum, energia, água e carbono nas suas interfaces Xin et al. (2013).

BCC-CSM1.1 é membro da quinta fase do projeto CMIP e participou da maior parte dos experimentos realizados pelo projeto, foi um dos modelos analisados no relatório do IPCC AR5, possui foco na investigação das mudanças climáticas e projeções do clima futuro, possui uma grade gaussiana T42, de aproximadamente 2.8125° , com 26 níveis verticais com o topo da atmosfera em 2.914 hPa.

3.3.8 CSIRO-MK3.6.0

O CSIRO-MK3.6 é um modelo climático global que foi desenvolvido utilizando a estrutura de suas versões anteriores, MK3.0 e MK3.5, que fizeram parte do CMIP3 e está descrito em detalhes em Gordon et al. (2002, 2010). É um modelo acoplado entre atmosfera e oceano com dinâmica de gelo marinho e vegetação. Dentre as melhorias apresentadas no novo modelo estão à adição de um esquema interativo dos aerossóis, do qual trata explicitamente sulfato, poeira, sal marinho e aerossóis carbonáceos. Também houve melhorias no esquema de radiação e mudanças na física dos componentes atmosféricos.

CSIRO-MK3.6.0 vem sendo utilizado para realizar experimentos de longos períodos, que são feitos através dos testemunho de gelo e analisados aqui nessa dissertação para o HM. Dentro do CMIP5 o Modelo CSIRO-MK3.6 possui extensivas combinações de simulações de longos períodos baseados em alterações na concentração de gases e avaliando diferentes fatores forçante tais como fatores naturais e antropogênicos gerando assim 10 conjuntos de simulações com diferentes parâmetros utilizados.

As componentes de oceano, gelo marinho e vegetação não foram alteradas de sua versão anterior MK3.5, o Modelo atmosférico é um modelo espectral T63 que utiliza correções de fluxo de equações dinâmicas. O modelo possui 18 níveis verticais e sua grade gaussiana possui um tamanho de 1.875° .

3.3.9 MPI-ESM-P

O modelo desenvolvido pelo Instituto Max-Planck-Institute Earth System Model (MPI-ESM) é um modelo adaptado da sua antiga versão do modelo climático ECHAM5/MPIOM Giorgetta et al. (2012). A melhora principal para o novo modelo foi dada pelo acoplamento do ciclo de carbono, no qual agora permite estudar diferentes ciclos das mudanças climáticas para o ciclo de carbono, a representação da transferência de radiação de onda curta, albedo de superfície e aerossóis também foram melhoradas de sua versão anterior. A representação da atmosfera, assim como, superfície terrestre com vegetação dinâmica e a possibilidade de utilizar diferentes resoluções para diferentes propósitos de estudo.

O modelo de superfície MPI-ESM possui as componentes de atmosfera (ECHAM6), oceano (MPIOM), superfície terrestre (JSBACH) através de trocas de energia, momentum, água e importantes análises de gases como CO₂, biogeoquímica do oceano (HAMOCC). As componentes são acopladas em diferentes grupos, sendo atmosfera e superfície terrestre acoplada no primeiro grupo e o outro grupo relacionado ao oceano e biogeoquímica, esse acoplamento separado só foi possível com o uso do acoplador OASIS3, com esse acoplador foi possível realizar as trocas de momentum, água e CO₂.

Dentre as versões dos modelos MPI-ESM a versão utilizada para pesquisas paleoclimática é o modelo MPI-ESM-P, possui uma grade gaussiana T63 de aproximadamente 1.875° e 47 níveis de pressão atmosférica. Sendo diferente de outras versões do modelo apenas nos parâmetros orbitais, que estão expostos na Tabela 3.

3.3.10 MRI-CGCM3

O Meteorological Research Institute (MRI) é o desenvolvedor do modelo MRI-CGCM3, que teve sua estrutura baseada em sua antiga versão MRI-CGCM2. A Nova versão é composta por atmosfera-biosfera (MRI-AGCM3), aerossóis (MASINGAR mk-2), oceano e gelo marinho (MRI.COM3), o modelo possui ainda um subconjunto para componente do sistema terrestre MRI-ESM1, esses componentes do modelo são acoplados com o acoplador Scup (Yoshimura e Yukimoto 2008). No qual permite que a componente atmosférica seja acoplada interativamente com o modelo de aerossol para representar direta ou indiretamente os efeitos dos aerossóis junto ao novo método utilizado para microfísica de nuvens, assim como,

fazer uma variedade de combinações nas componentes do modelo com arbitrárias resoluções e diferentes coordenadas de grade.

Nos experimentos para o CMIP5, as simulações foram divididas em duas principais categorias, os experimentos de longo tempo e os experimentos de previsão decadal, dos experimentos realizados para o período paleoclimático o modelo exibe um comportamento sem desvios climáticos nas componentes de radiação, temperatura da superfície e circulações oceânicas. O Modelo reproduz em geral a média climática incluindo variações sazonais em vários aspectos na atmosfera e no oceano.

O modelo possui uma grade horizontal de 1.125° de aproximadamente 120km^2 e com 48 níveis verticais, o topo da atmosfera é de 0.01hpa o que possibilita que a estratosfera seja estudada por completo.

3.3.11 GISS-E2-R

GISS ModelE2 é um modelo feito pelo Goddard Institute for Space Studies (GISS), que tem suas configurações físicas baseadas predominantemente na sua antiga versão ModelE, que fez parte do CMIP3, (Shimidt et al 2006). A nova versão do GISS para o CMIP5, contribui com uma variedade de dados superior a contribuída em sua antiga versão para o CMIP3, no qual estão incluídos representantes da componente atmosférica, oceânica, gelo marinho e da superfície terrestre. Foram usadas seis variações relacionadas com o tratamento da composição atmosférica, cálculos dos efeitos indiretos dos aerossóis e componente oceânica. Especificamente, foi testado as diferenças entre o modelo atmosférico que possui composição não interativa, onde, importantes aerossóis e ozônio são prescritos a partir das médias decenais pré-computadas, e versões interativas onde a química atmosférica e aerossóis são calculados dado a variação das emissões decadal.

A estrutura do modelo consiste com uma grade cartesiana com formulação de ponto a ponto. Sua resolução horizontal é de $2^\circ \times 2.5^\circ$ de latitude e longitude, onde existem versões por questões pedagógicas do qual as grades variam de $4^\circ \times 5^\circ$ e $8^\circ \times 10^\circ$. O padrão da resolução vertical do modelo ModelE2 tem 40 camadas e o topo da atmosfera está em 0.1hpa a aproximadamente 60km de distância, o que permite a análise ao longo de toda a estratosfera terrestre.

3.3.12 Modelo Global do CPTEC/INPE

O modelo de Circulação Global da Atmosfera do CPTEC/INPE é uma versão modificada do modelo do Center for Ocean, Land and Atmosphere Studies (COLA). Foi adaptado do National Centers for Environmental Prediction (NCEP). Várias melhorias foram implementadas no modelo, novas parametrizações físicas, núcleo dinâmico, estrutura de código e paralelismo proporcionando a redução de cálculos e aumentando a previsibilidade do modelo. Em 1994 o modelo foi nomeado CPTEC-COLA, visando a modernização do sistema e a eficiência computacional. As novas funcionalidades do sistema permitem maior flexibilidade ao usuário na escolha da resolução do modelo e dos esquemas físicos tratados por ele. Isso ocorre apenas por meio de um chaveamento, eliminando o processo de nova compilação.

A dinâmica espectral euleriana foi reescrita e tornou-se mais eficiente computacionalmente e na semi-lagrangeana pode-se utilizar um passo de tempo (Δt) até três vezes maior do que o da dinâmica euleriana. Outra contribuição é a implementação da grade reduzida utilizada para alta resolução do modelo, onde o número de longitudes por latitude varia com a latitude (BARROS, 2006). Novas parametrizações físicas foram inseridas como o esquema de convecção profunda (GRELL et al., 2002), esquema de convecção rasa (SOUZA, 1999) e esquema de radiação de ondas curtas CLIRAD-SW (TARASOVA et al., 2006). O processo físico parametrizado da radiação é dividido em: onda curtas (radiação solar) e ondas longas (radiação terrestre). Assim, os movimentos atmosféricos é devido à absorção de radiação solar. Como os raios solares não são verticais em todas as latitudes há uma forte variação no aquecimento solar sobre o globo. A presença de nuvens na atmosfera também modulam fortemente a absorção de radiação solar, e seu impacto na quantidade de radiação solar que é espalhada e absorvida. A nebulosidade prevista é usada no cálculo do aquecimento solar. Na parametrização de radiação, o aquecimento devido às ondas curtas é calculado a cada hora do tempo simulado. (BONATTI, 1996).

Para avaliar a nova parametrização BERGER (1978) implementada no modelo MCGA-CPTEC/INPE foram analisadas simulações de 30 anos, a primeira simulação controle chamada de CPTEC 0k (clima presente) sem alteração no modelo MCGA-CPTEC/INPE e a segunda simulação modificada chamada de CPTEC 6k (clima passado), que possui a parametrização de CPTEC que calcula os valores dos parâmetros orbitais levando em consideração o ano da simulação, proposto por BERGER (1978), funciona a partir dos cálculos astronômicos de obliquidade, excentricidade e precessão. Esses são configurados com um chaveamento para que seja determinado o ano que se deseja inicializar a simulação, sem precisar compilar

novamente o modelo. Possibilitando ao MCGA-CPTEC/INPE a realização de experimentos paleoclimáticos ou projeções futuras.

O modelo de Circulação Geral da Atmosférica do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (MCGA-CPTEC/INPE), com a resolução T62L28 com truncamento triangular de 62 ondas na coordenada horizontal e 28 níveis sigma na coordenada vertical, o que equivale resolução horizontal de aproximadamente 200 km próximo ao equador.

Tabela 3 Parâmetros orbitais e condições de contorno dos modelos.

Experimentos	Excentricidade	Obliquidade	Precessão	CO₂	Metano
CMIP5/PMIP3	0.018682	24.105	0,87	280 ppm	650 ppb
CPTEC 6k	0.018682	24.105	0,87	280 ppm	-----
CPTEC 0k	0,016724	23,440	102,04	370 ppm	-----

Fonte: Adaptado de Melo, 2007 .p. 55 e CMIP5/PMIP3.

4 Resultados e Discussões

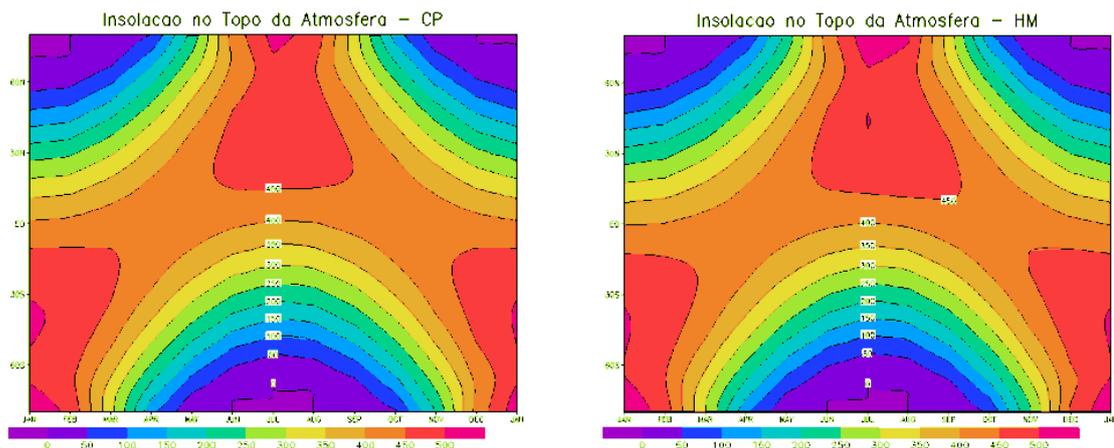
Nesta seção primeiramente foi analisada a diferença entre os períodos Holoceno Médio (HM) e Clima Presente (CP) do modelo do CPTEC, enfatizando as variáveis de precipitação e temperatura. Na segunda parte foi utilizado o diagrama de Taylor para verificar quais modelos do CMIP5 foram comparados ao modelo do CPTEC e para finalizar foi discutida a verificação dos modelos selecionados através do diagrama de Taylor avaliando a resposta das variáveis de precipitação e temperatura da superfície em comparação ao modelo do CPTEC.

4.1 Modelo do CPTEC

4.1.1. Insolação no topo da atmosfera

Na Figura 5 observa-se o ciclo anual da quantidade de radiação de ondas curtas (ROC), que chega no topo da atmosfera com a parametrização de Berger para o campo presente (CP) que representa o ano 1950 nos parâmetros orbitais., e para o Holoceno médio (HM).

Figura 5 Médias anuais da Insolação no Topo da Atmosfera (W / m^2). a) Clima Presente (CP), b) Holoceno Médio (HM).

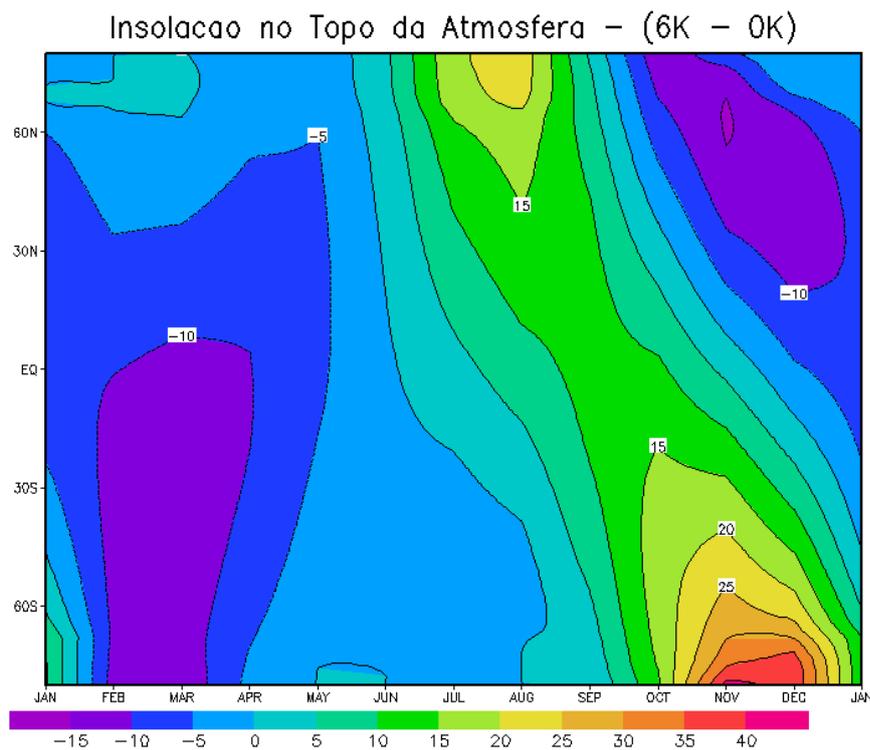


Fonte: Oliveira, (2015).

Na Figura 6 representa a diferença de insolação no topo da atmosfera no modelo do CPTEC, onde mostra que para o Hemisfério Norte, mais Radiação chegou nos meses de verão e menos radiação nos meses de inverno, intensificando o ciclo sazonal de insolação. No

Hemisfério Sul verifica-se que os meses de Outubro, Novembro e Dezembro obtiveram os valores máximos de insolação, representando uma antecipação da estação de verão no HS, isso acontece, devido às mudanças nos parâmetros orbitais.

Figura 6 Médias anuais da Insolação no Topo da Atmosfera (W / m^2). Holoceno Médio (HM) menos Clima Presente CP.



Fonte: Oliveira, (2015).

4.1.2 Precipitação e temperatura da superfície para o modelo de Berger(6k) e (0k)

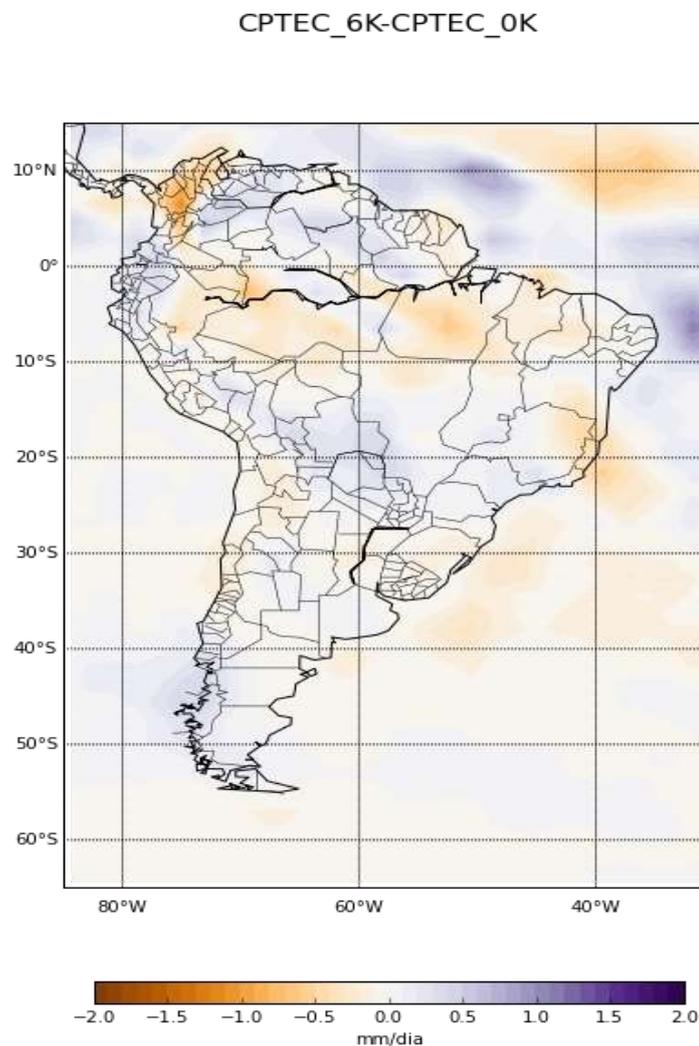
Foram geradas médias anuais de 30 anos, a partir dos experimentos HM e CP com o modelo do CPTEC, posteriormente foram feitas as diferenças entre as simulações para observar o comportamento do clima no HM comparado ao clima presente, com ênfase sobre a América do Sul.

Na Figura 7, observa-se a diferença no campo de precipitação entre o HM e o CP. De uma forma geral verifica-se que a região nordeste do Brasil encontrava-se ligeiramente mais úmida no HM comparado ao presente, com exceção dos Estados do Piauí e Maranhão e a

parte ao sul da Bahia, corroborando os resultados de Silva Dias et al. 2002). Para região Amazônica, principalmente a porção mais ao sul, o sul do Brasil e a parte norte da região sudeste esteve ligeiramente menos úmida no HM comparado ao CP, como sugerem os indícios paleoclimáticos.

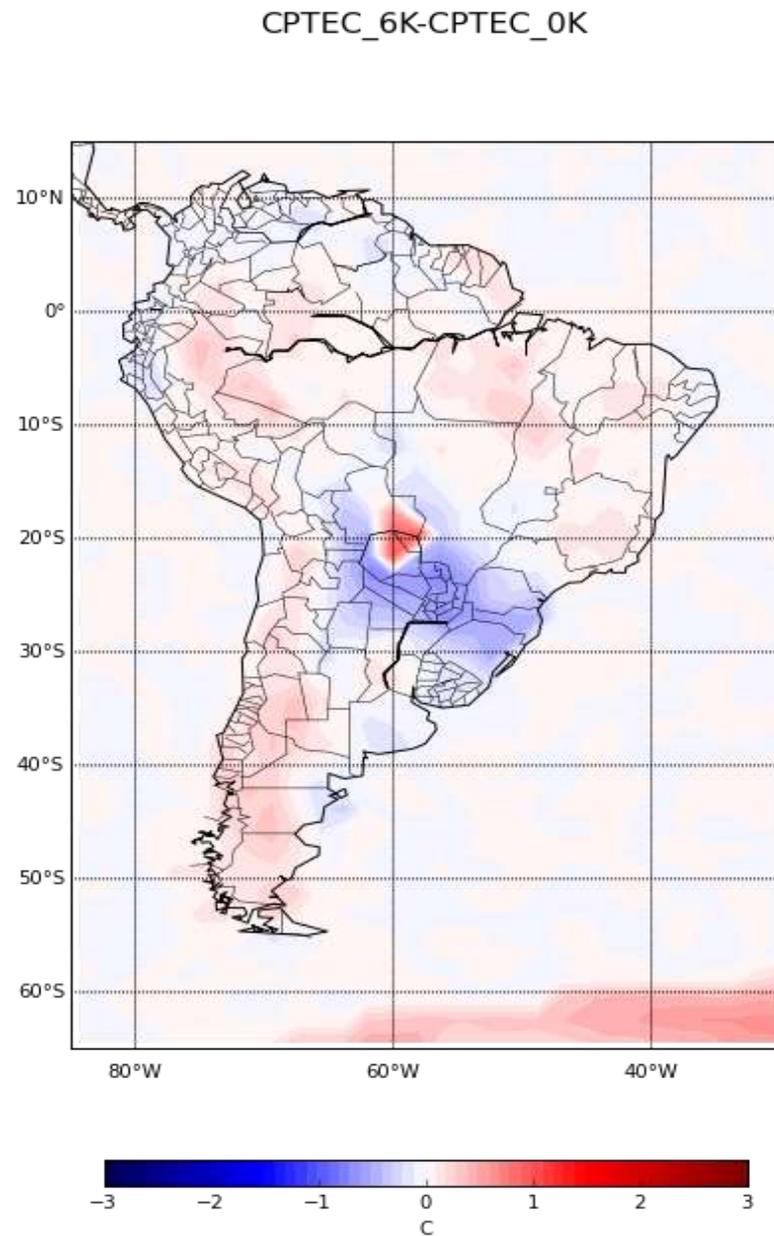
Na Figura 8, apresenta a diferença de temperatura do ar na superfície (HM-CP), Onde foi observada uma diferença média de 1.2°C de elevação para toda área de estudo, no HM comparado ao CP, o que pode ser consequência do aumento de temperatura observado na região antártica.

Figura 7 Diferença nos campos de precipitação dos modelos Berger (6k) – Berger (0k).



Fonte: O autor, (2016).

Figura 8 Diferença nos campos de temperatura do ar na superfície dos modelos Berger (6k) – Berger (0k).

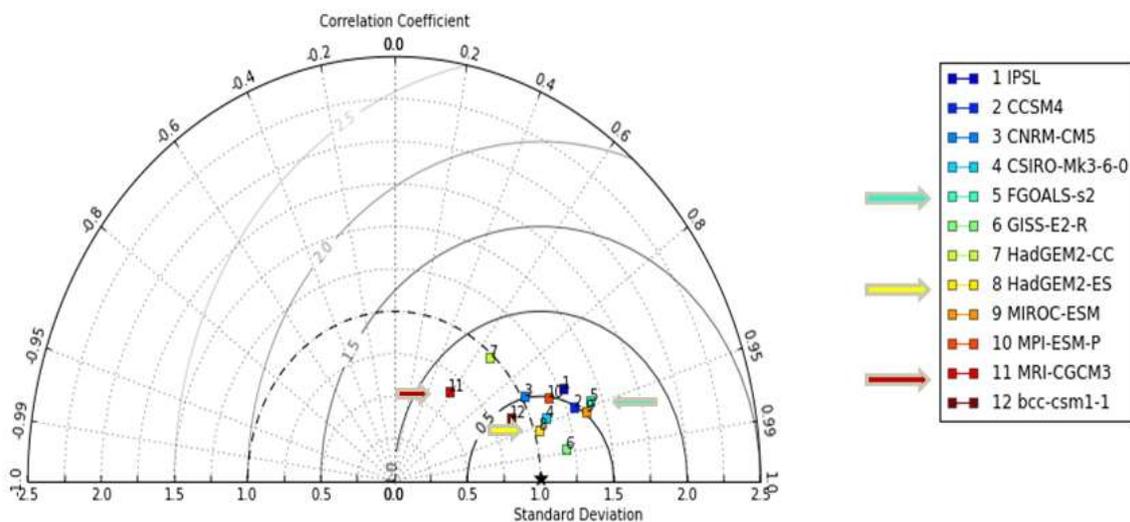


Fonte: O autor, (2016).

4.2 Diagrama de Taylor para Precipitação e Temperatura

Na Figura 9, observa-se o diagrama de Taylor onde é analisado os valores estatísticos da variável precipitação dos 12 modelos do CMIP5/PMIP3 em comparação com o ensemble médio da variável precipitação, referente ao conjunto dos modelos analisados. Foi necessário colocar todos os modelos na mesma grade horizontal para realizar a análise estatística.

Figura 9 Diagrama de Taylor para variável de precipitação comparando modelos do CMIP5/PMIP3 com o ENSEMBLE, sendo as curvas solidas os valores de RMS, as curvas tracejadas os valores do desvio padrão e as retas tracejadas a correlação.

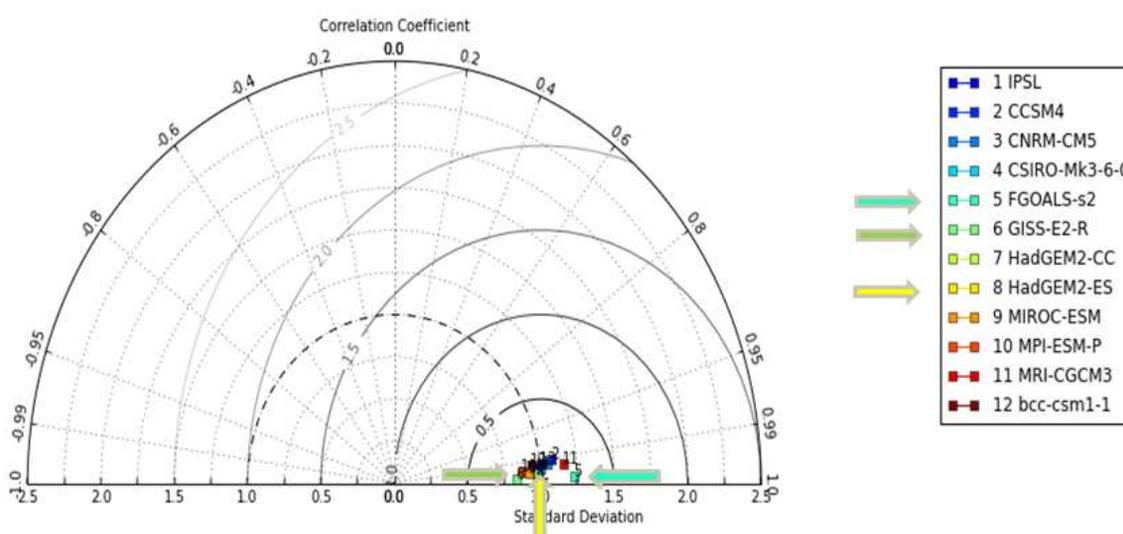


Fonte – O autor, 2016.

Para analisar o Modelo que mais se aproxima do valor médio, é levado em consideração o menor desvio padrão comparado ao Ensemble, com a correlação próxima ao valor de 1 e com o menor erro centrado na média. Sendo assim, o modelo que mais se aproxima do valor do conjunto de dados é o modelo HadGEM2-ES, onde sua correlação é de 0,95 e seu erro centrado na média encontra-se abaixo de 0,5mm/dia e possui o mesmo desvio padrão de 1mm/dia, idêntico ao conjunto de modelos ensemble. O modelo que representa a maior dispersão no intervalo é o MRI-CGCM3, com uma correlação de 0,6 e um erro centrado na média de 0,75mm/dia e um desvio padrão de 0,7mm/dia no qual o conjunto analisado possui desvio padrão de 1mm/dia. O outro modelo com a representação do valor máximo de dispersão no conjunto de modelos é o FGOALS-S2, com sua correlação em 0,95 seu erro centrado na média de aproximadamente 0,6mm/dia e o seu desvio padrão de aproximadamente 1,5mm/dia. Sendo assim, os modelos analisados e comparados ao modelo

global do CPTEC/INPE são os modelos MRI-CGCM3, FGOALS-S2 representando as maiores dispersões do diagrama, e o modelo HadGEM2-ES, representando o Ensemble. Na Figura 10, observa-se o diagrama de Taylor para a variável de temperatura da superfície, onde é estudado os valores estatísticos da variável de temperatura dos 12 modelos do CMIP5/PMIP3 em comparação com o valor médio desta variável, referente ao conjunto dos modelos analisados..

Figura 10 Diagrama de Taylor para variável de temperatura do ar na superfície comparando modelos do CMIP5/PMIP3 com o ENSEMBLE, sendo as curvas solidas os valores de RMS, as curvas tracejadas os valores do desvio padrão e as retas tracejadas a correlação.



Fonte – O autor, (2016).

Para o diagrama na variável de temperatura do ar na superfície, nota-se uma maior proximidade de todos os modelos em comparação ao conjunto de dados, isso é devido a uma maior facilidade para simular variações de temperatura comparado a precipitação.

O modelo que mais se aproxima do valor do conjunto de dados é o modelo HadGEM2-ES, onde sua correlação é próxima de 1, seu erro centrado na média encontra-se em torno de $0,1^{\circ}\text{C}$ e possui o mesmo desvio padrão de 1°C , idêntico ao modelo de referência. O modelo que representa a maior dispersão no intervalo, o GISS-E2-R, obteve correlação próxima de 1, porém, seu erro centrado na média de $0,2^{\circ}\text{C}$ e desvio padrão de $0,8^{\circ}\text{C}$ no qual o conjunto analisado possui desvio padrão de 1°C . O modelo com a representação da maior amplitude no conjunto é o FGOALS-S2, com correlação próxima de 1, seu erro centrado na

média de aproximadamente 0,25°C e desvio padrão de aproximadamente 1,25°C. Sendo assim, os modelos que serão comparados ao modelo global do CPTEC/INPE são os modelos GISS-E2-R, FGOALS-S2 representando as maiores amplitudes no diagrama e o modelo HadGEM2-ES com os valores estatísticos próximos ao ensemble.

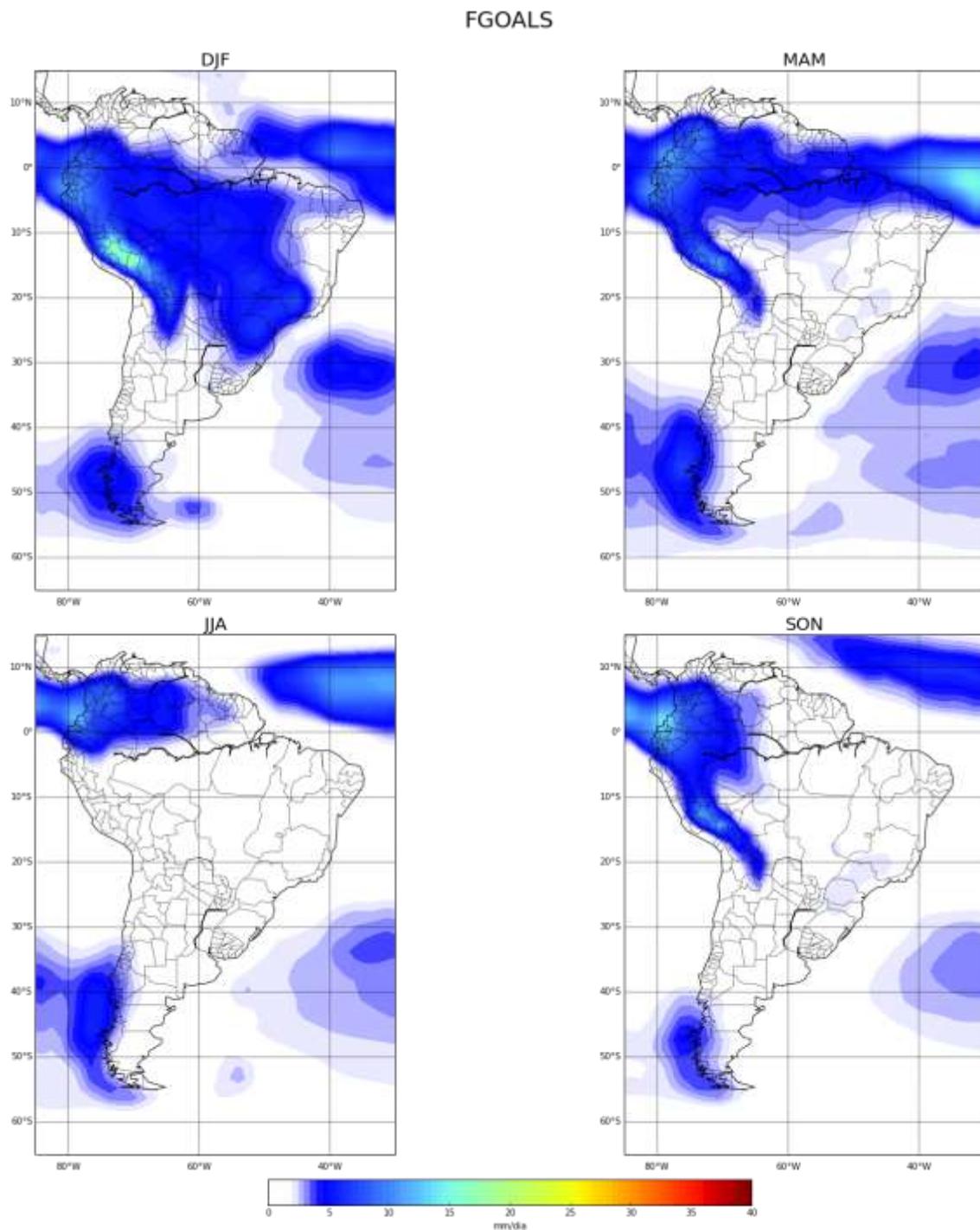
4.3 Precipitação para o HM

4.3.1 FGOALS-S2

A Figura 11 ilustra a climatologia sazonal para a precipitação no HM do modelo que obteve maior dispersão comparado a média, na análise do diagrama de Taylor, para as quatro estações do ano, DJF, MAM, JJA, SON, sendo verão, outono, inverno e primavera, respectivamente para o Hemisfério Sul.

É possível observar que o modelo FGOALS-S2 consegue simular as principais características do clima da América do Sul, com média anual de 2,22mm/dia de precipitação, sendo esse, o modelo com menor média de precipitação anual do conjunto de modelos do CMIP5/PMIP3. Observa-se que sobre a América do Sul, o modelo detecta a formação da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), com o período mais intenso nos meses de MAM e a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) com o período mais intenso nos meses de DJF.

Figura 11 precipitação média sazonal para o modelo FGOALS-S2 para o período do HM nos meses de DJF, MAM, JJA, SON.

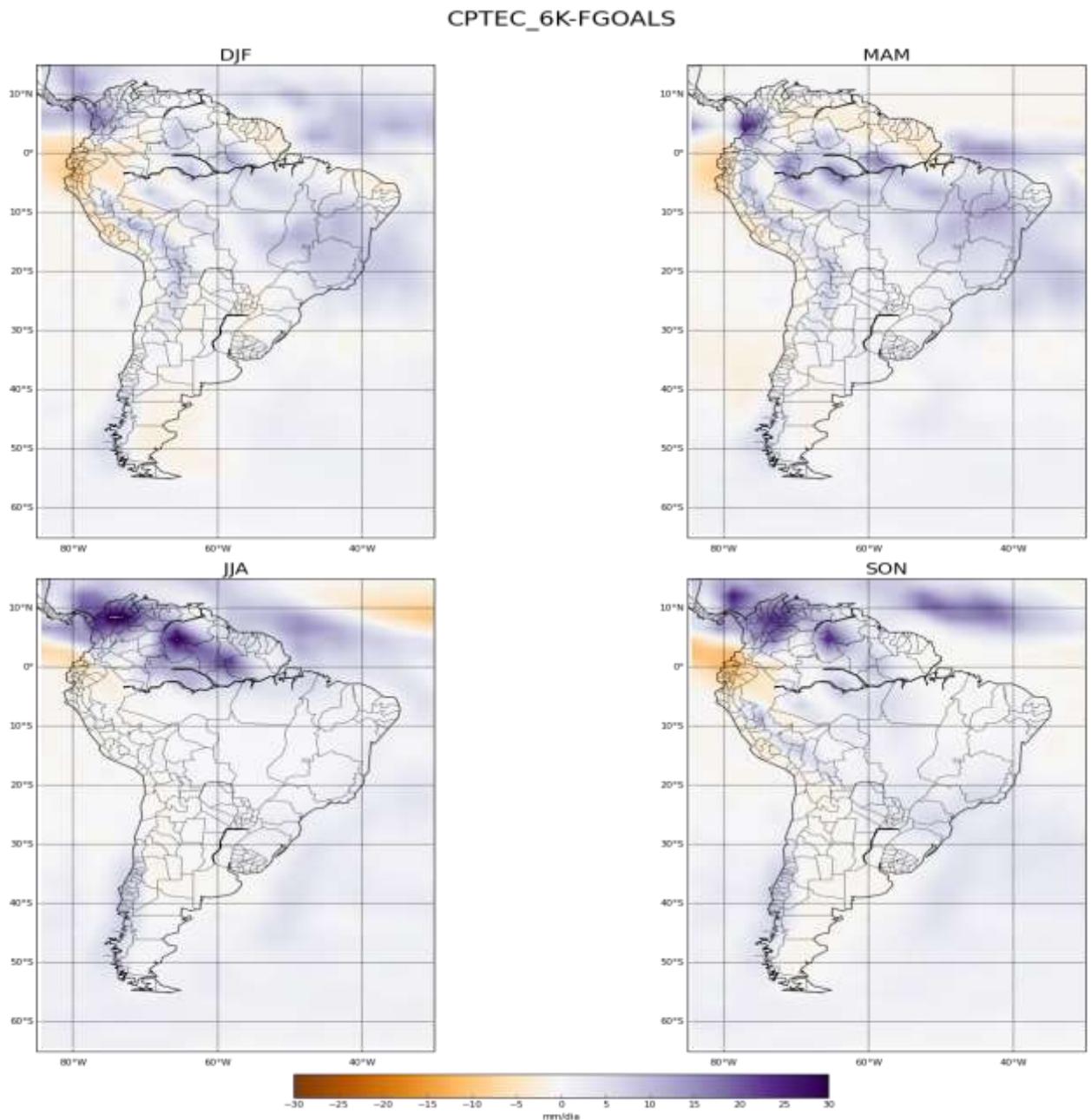


Fonte: O autor, (2016).

A Figura 12 mostra a diferença do campo de precipitação do modelo do CPTEC 6k – FGOALS-S2 para as quatro estações do ano, DJF, MAM, JJA, SON. A diferença de precipitação entre os modelos do CPTEC e FGOALS-S2, sugerem que o modelo FGOALS-S2 simulou, como um todo, mais precipitação sobre a área de estudo

comparado ao modelo do CPTEC. Com exceção do leste da região Nordeste do Brasil para a qual os modelos convergem, no primeiro semestre. Corroborando os resultados de Melo (2008) e Oliveira (2014) que mostraram que essa região experimentou períodos mais úmidos no HM, comparado ao CP. As maiores divergências entre os modelos foram encontradas na região Amazônia e Nordeste, áreas tangentes a ZCIT, sugerindo que a simulação da intensidade desse fenômeno, em ambos modelos, pode ter sido o causador dessa diferença.

Figura 12 Diferença de precipitação sazonal entre o modelo CPTEC e FGOALS-S2, para o período do HM.



Fonte: O autor, (2016).

4.3.2 HadGEM2-ES

A Figura 13 ilustra a climatologia sazonal para a precipitação do modelo que representa a dispersão média na análise do diagrama de Taylor entre todos os modelos para o campo precipitação no HM para as quatro estações do ano, DJF, MAM, JJA, SON.

É possível observar que o modelo HadGEM2-ES simula as principais características do clima da América do Sul com uma tendência a superestimar a duração dos fenômenos meteorológicos. Com média anual de 3.51mm/dia de precipitação, representa o modelo do CMIP5/PMIP3 com maior volume de precipitação anual.

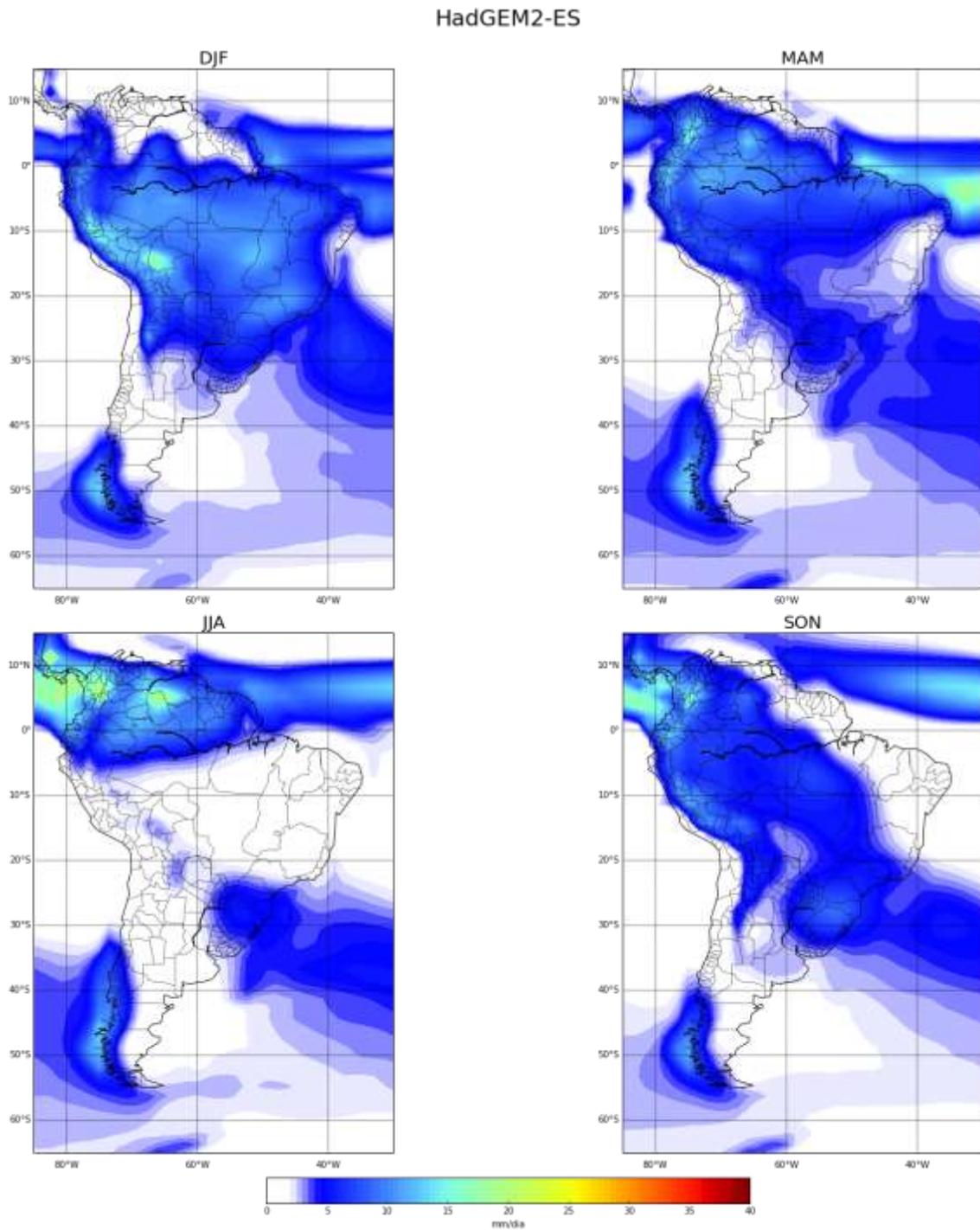
Observa-se a formação da Zona de Convergência Intertropical ZCIT, com seu período de intensidade máxima nos meses de MAM e com fácil identificação de seu posicionamento durante todas as estações do ano. A Zona de Convergência do Atlântico Sul ZCAS apresenta sua intensidade máxima nos meses de DJF, e um enfraquecimento nos meses seguintes de MAM com dissipação em JJA e apresenta indícios de uma nova formação de ZCAS nos meses de SON sugerindo um prolongamento das atividades desse fenômeno meteorológico. O HadGEM2-ES apresenta o Nordeste Brasileiro seco para os meses de JJA e SON, com exceção do sul da Bahia e oeste do Nordeste para o período. Possui uma precipitação média de aproximadamente 7.8mm/dia para os meses de DJF, MAM, sugerindo que a Zona de Convergência Intertropical ZCIT, causou mais precipitação sobre essa região no HM, comparado ao CP.

A Figura 14 mostra a diferença do campo de precipitação entre os modelos do CPTEC e HadGEM2-ES para as quatro estações do ano, DJF, MAM, JJA, SON.

A diferença de precipitação sugere que o HadGEM2-ES simulou mais precipitação no HM, que o modelo do CPTEC na região noroeste da Amazônia, exceto nos meses de MAM, sul da região nordeste e região sudeste do Brasil.

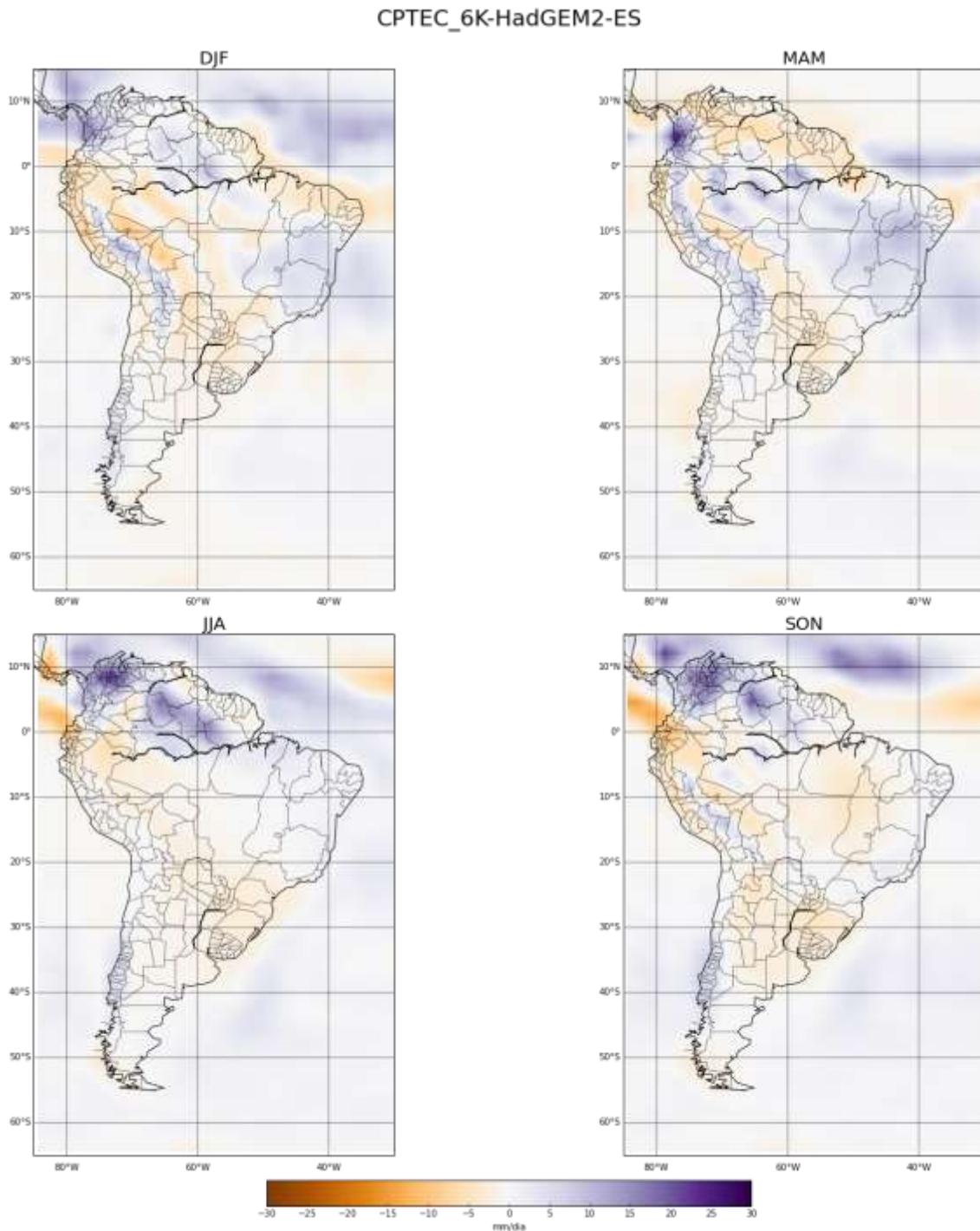
Outra grande diferença observa-se a leste da Cordilheira dos Andes, o que pode ser devido ao modelo HadGEM2-ES não conseguir simular a Corrente de Jato de baixos níveis que transporta umidade do oceano e da Amazônia para essa região. Esse resultado corrobora os de Melo (2008) os quais sugerem o enfraquecimento da corrente de jato em baixos níveis no HM.

Figura 13 precipitação média sazonal para o modelo HadGEM2-ES para o período do HM nos meses de DJF, MAM, JJA, SON.



Fonte: O autor, (2016).

Figura 14 Diferença de precipitação sazonal para o modelo CPTEC e o HadGEM2-ES, para o período do HM



Fonte: O autor, (2016).

A redução de precipitação encontrada na região da zona de convergência do Atlântico Sul (ZCAS), no período do HM comparada ao presente nas simulações do modelo do CPTEC sugere que o modelo HadGEM2-ES possui uma simulação próxima aos resultados obtidos com as simulações do modelo CPTEC para o HM, simulando o posicionamento da ZCAS

diferentemente, porém com magnitude muito próxima, seu posicionamento no modelo HadGEM2-ES se dá mais ao sul, sugerindo alísios mais intensos no HadGEM2-ES, comparado ao modelo do CPTEC.

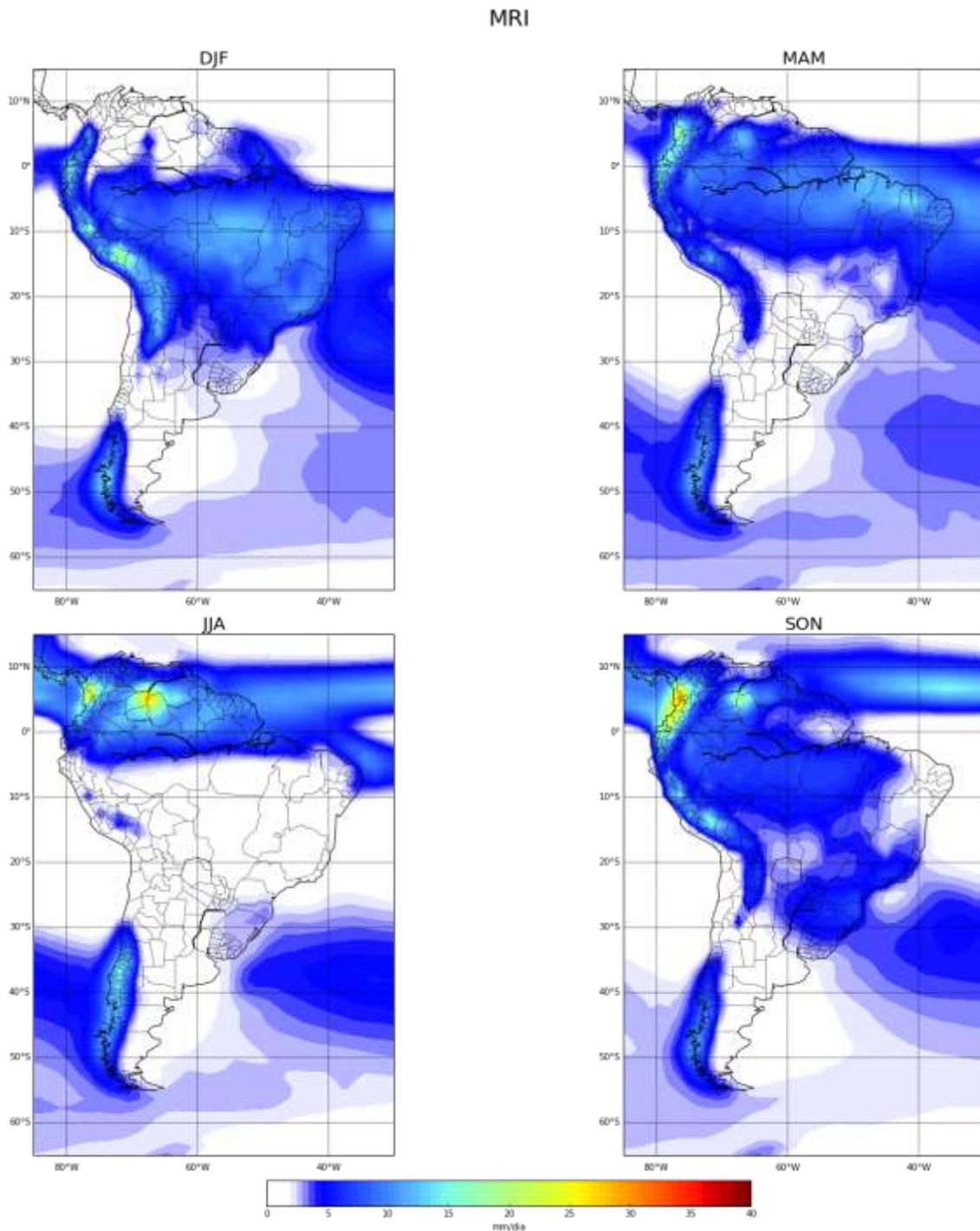
4.3.3 MRI-CGCM3

Também o modelo MRI-CGCM3 simula as principais características do clima da América do sul. Com média anual de 3.37mm/dia de precipitação, representa o modelo do CMIP5/PMIP3 com o valor próximo da média de precipitação para o conjunto dos modelos ensemble, lembrando que o diagrama de Taylor, faz uma comparação estatística quanto à amplitude dos dados analisados, referente à correlação, erro centrado na média e desvio padrão, o que não significa necessariamente que média de precipitação com valor próximo ao Ensemble, caracterizaria ser modelo mais próximo dos valores estatísticos do ensemble.

Observasse na Figura 15 o posicionamento da Zona de Convergência Intertropical ZCIT ao longo das estações do ano, com seu período de intensidade máxima nos meses de MAM. A Zona de Convergência do Atlântico Sul ZCAS apresenta sua intensidade máxima nos meses de DJF, porém com um posicionamento mais ao norte em comparação a análise com o modelo HadGEM2-ES, e que segundo Jorgetti (2008) o posicionamento da ZCAS mais ao norte pode estar relacionado a anomalias frias da temperatura na superfície do mar, no oceano Pacífico equatorial leste e anomalias quentes da TSM no Pacífico equatorial oeste. No período seguinte de MAM já é observada a dissipação da banda de nebulosidade com início de formação de ZCAS somente nos meses de SON o que sugere que as atividades desse fenômeno meteorológico podem ser identificadas por quase seis meses do ano que sugere um aumento na intensidade dos alísios aumentando o transporte de umidade da região amazônica para outras regiões do Brasil durante o ano, no HM.

O modelo apresenta o Nordeste Brasileiro seco nos meses de JJA com exceção do extremo Norte do Nordeste e nos meses seguintes SON, apresenta precipitação na região oeste do Nordeste, sendo o único dentre os modelos a apresentar alguma precipitação para os meses de JJA, SON(precipitação média de aproximadamente 8,32mm/dia) que pode ser devido a intensificação dos alísios ocasionando assim um deslocamento mais ao sul da ZCIT, no HM.

Figura 15 precipitação média sazonal para o modelo MRI-CGCM3 para o período do HM nos meses de DJF, MAM, JJA, SON.

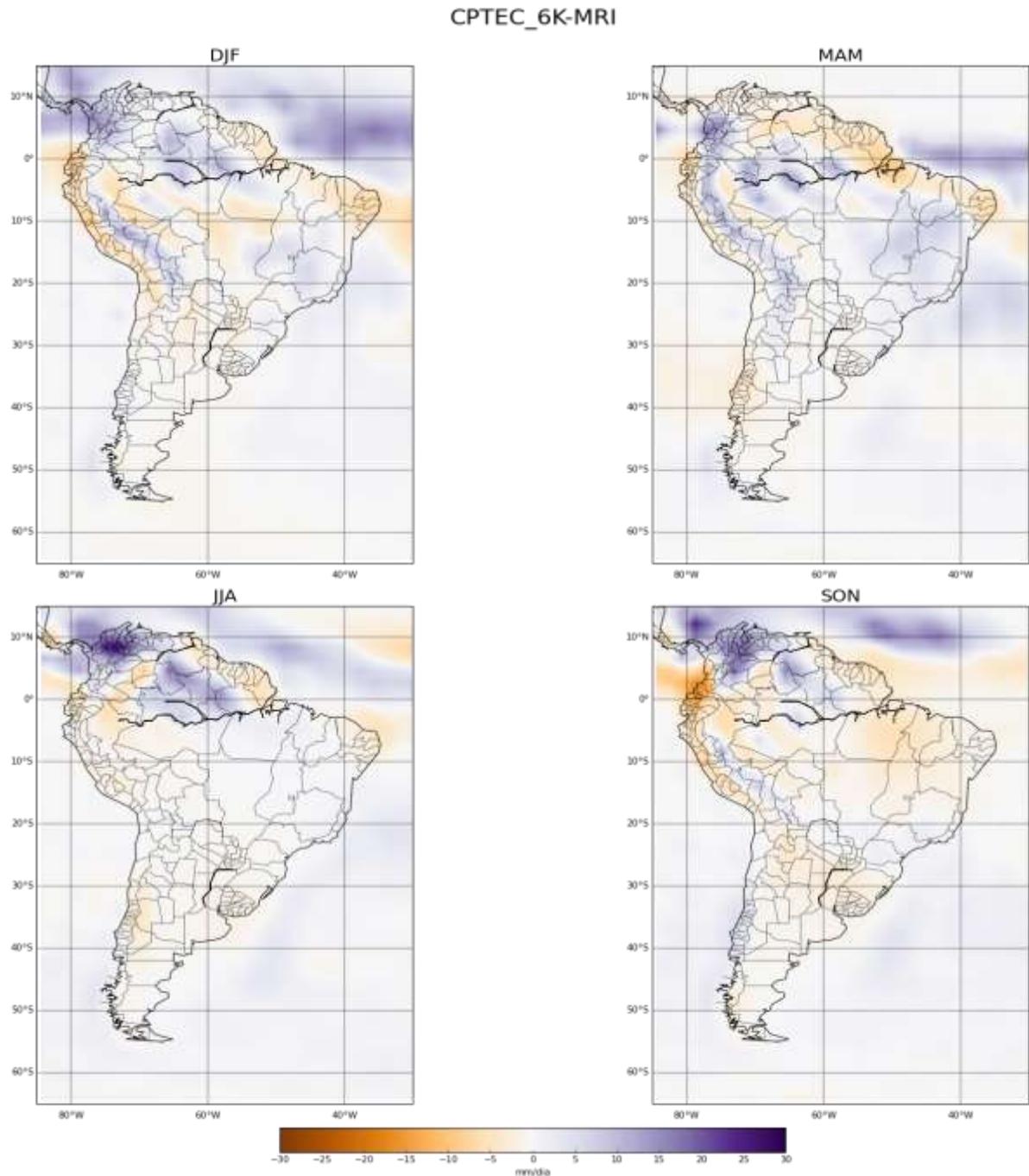


Fonte: O autor, (2016).

Na diferença de precipitação dos modelos do CPTEC e o MRI-CGCM3 (Figura 16), verifica-se que o modelo do CPTEC simulou mais precipitação, comparado ao MRI-CGCM3, , exceto na região Norte do Nordeste onde foram encontradas diferenças negativas,

sugerindo uma divergência no posicionamento ou intensidade da zona de convergência inter-tropical ZCIT nas simulações, demonstrando que o modelo MRI-CGCM3 simula a ZCIT mais ao sul em comparação ao modelo do CPTEC 6k.

Figura 16 Diferença de precipitação sazonal entre os modelos do CPTEC e MRI-CGCM3.



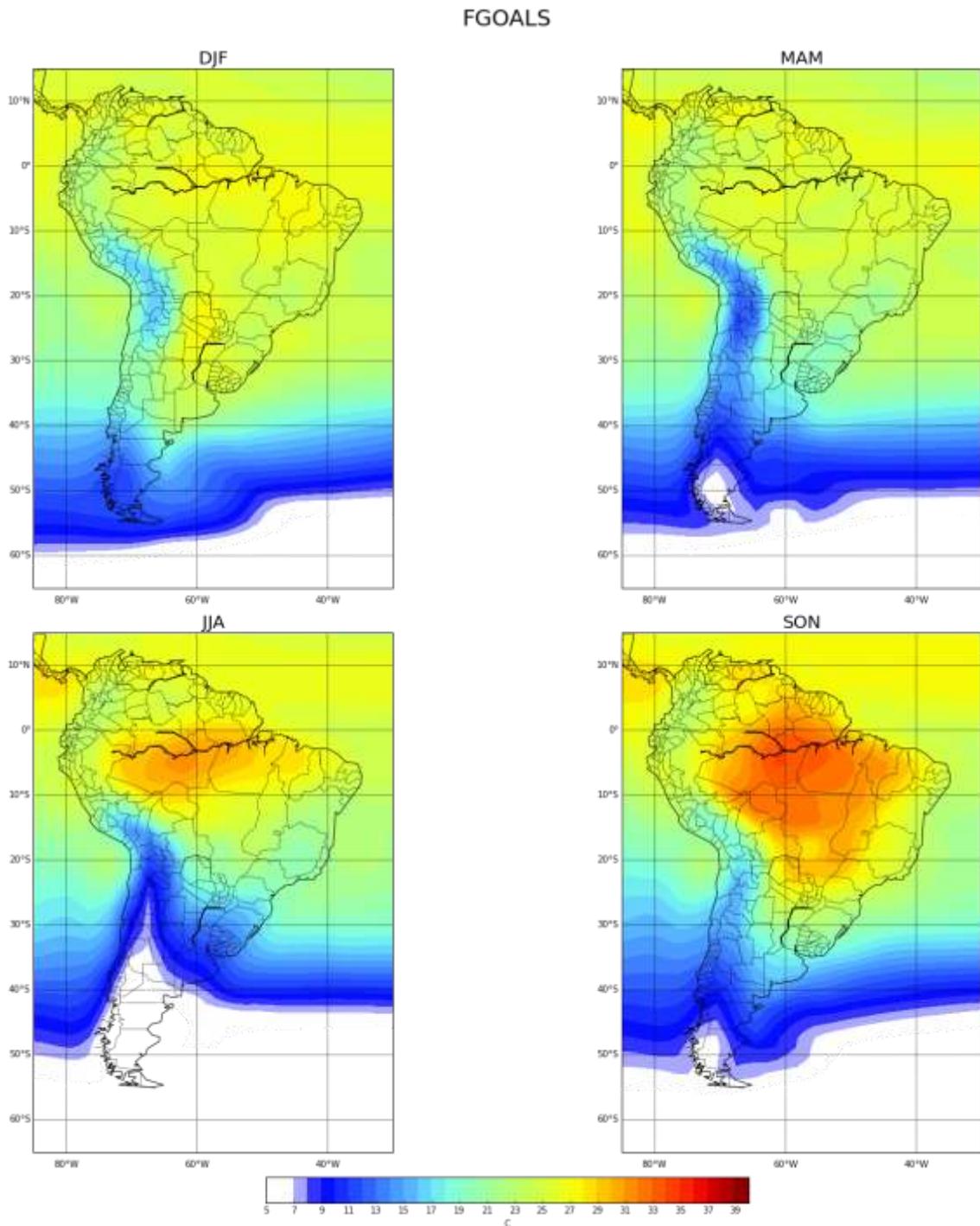
Fonte: O autor, (2016).

4.4 Temperatura no HM

4.4.1 FGOALS-S2

A Figura 17 ilustra a climatologia sazonal para a temperatura na superfície do modelo que representa uma das maiores amplitudes na análise do diagrama de Taylor, entre todos os modelos do CMIP5 HM nos meses de DJF, MAM, JJA, SON, sendo verão, outono, inverno e primavera respectivamente. Pode-se observar a representação da temperatura sobre a área de estudo, com maiores temperaturas nas regiões tropicais e menores nos polos e Cordilheira dos Andes. Verifica-se ainda, que nos meses de SON há um aumento da temperatura sobre a região tropical da América do Sul e isso pode ser explicado devido ao máximo de radiação no HM ocorrer nessa época, devido as variações dos parâmetros orbitais (Referenciar a figura do ROC). O modelo captura as variações sazonais de temperatura do ar sobre a América do sul, onde a média dos meses de DJF foi de 18,87°C, para MAM média de 16,97°C, 13,75°C para os meses de JJA, no entanto, pode-se observar um aumento de temperatura na região Norte do Brasil que está de acordo com trabalhos realizados por Liu et al. (2004) e Hartmann (1994) que sugeriram uma elevação de temperatura para esse período nessa região. Para os meses de SON a média de temperatura para a América do sul foi de 16,65°C caracterizando um aumento e mostrando o ciclo sazonal de temperatura semelhante ao encontrado por Melo (2008), que observou que a América do sul recebia mais radiação nos meses de abril a setembro para as regiões de 0° a 30°S.

Figura 17 Temperatura na superfície sazonal média para o modelo FGOALS-S2 no período do HM nos meses de DJF, MAM, JJA, SON.

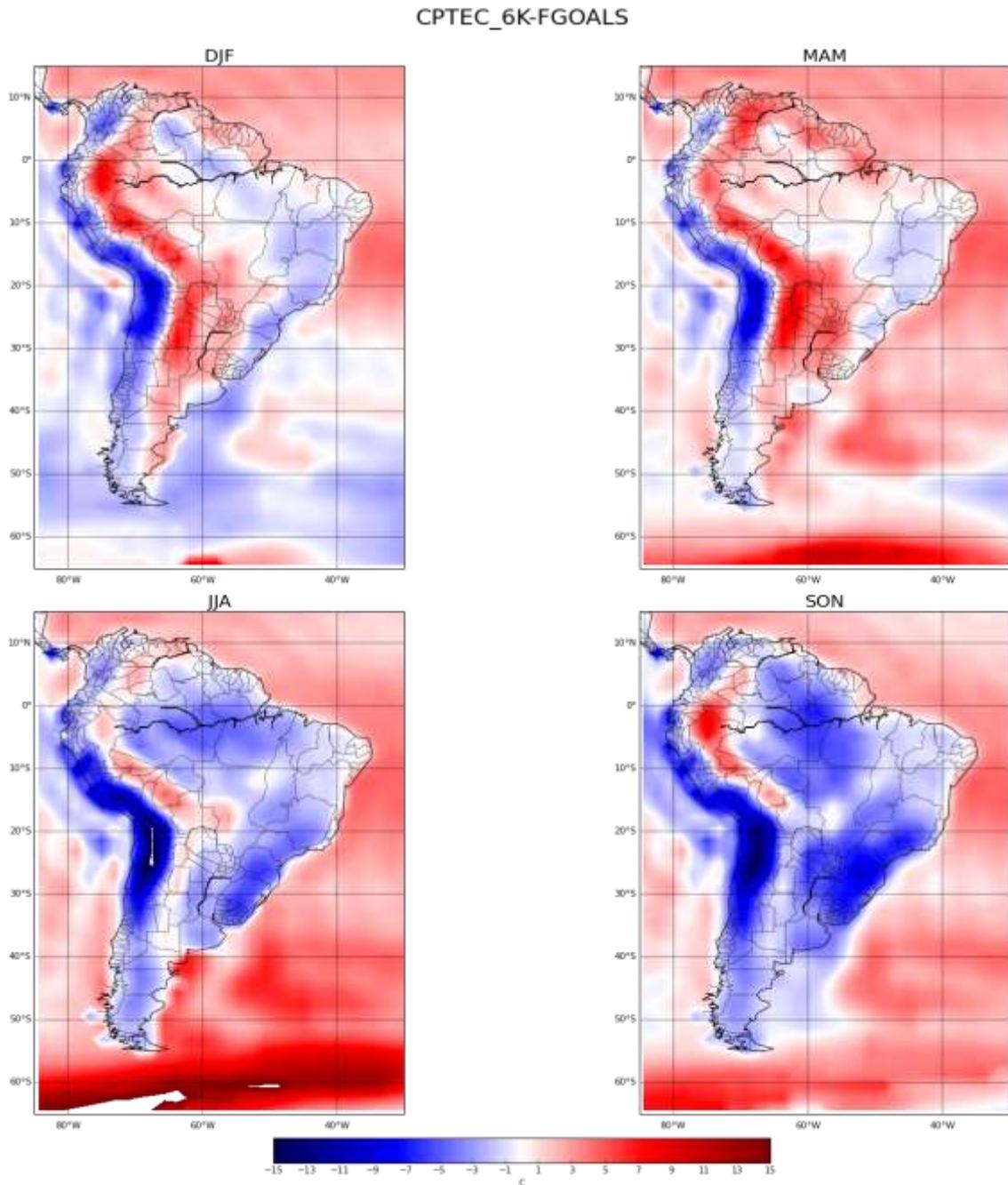


Fonte: O autor, (2016).

A Figura 18, ilustra a diferença do campo de temperatura entre o modelo do CPTEC e o FGOALS-S2, a qual sugere que o modelo FGOALS-S2 simulou TSM mais frias, comparadas as utilizadas pelo modelo do CPTEC (TSM atuais), com exceção do período do

verão austral. Sobre a América do Sul, o modelo do CPTEC simulou TSM mais frias com exceção da região leste da Cordilheira dos Andes, norte da Amazônia e leste da América do Sul de dezembro a maio.

Figura 18 Diferença sazonal de temperatura do ar na superfície para o modelo CPTEC 6k (com a parametrização de Berger) – FGOALS-S2, para o período do HM nos meses de DJF, MAM, JJA, SON.

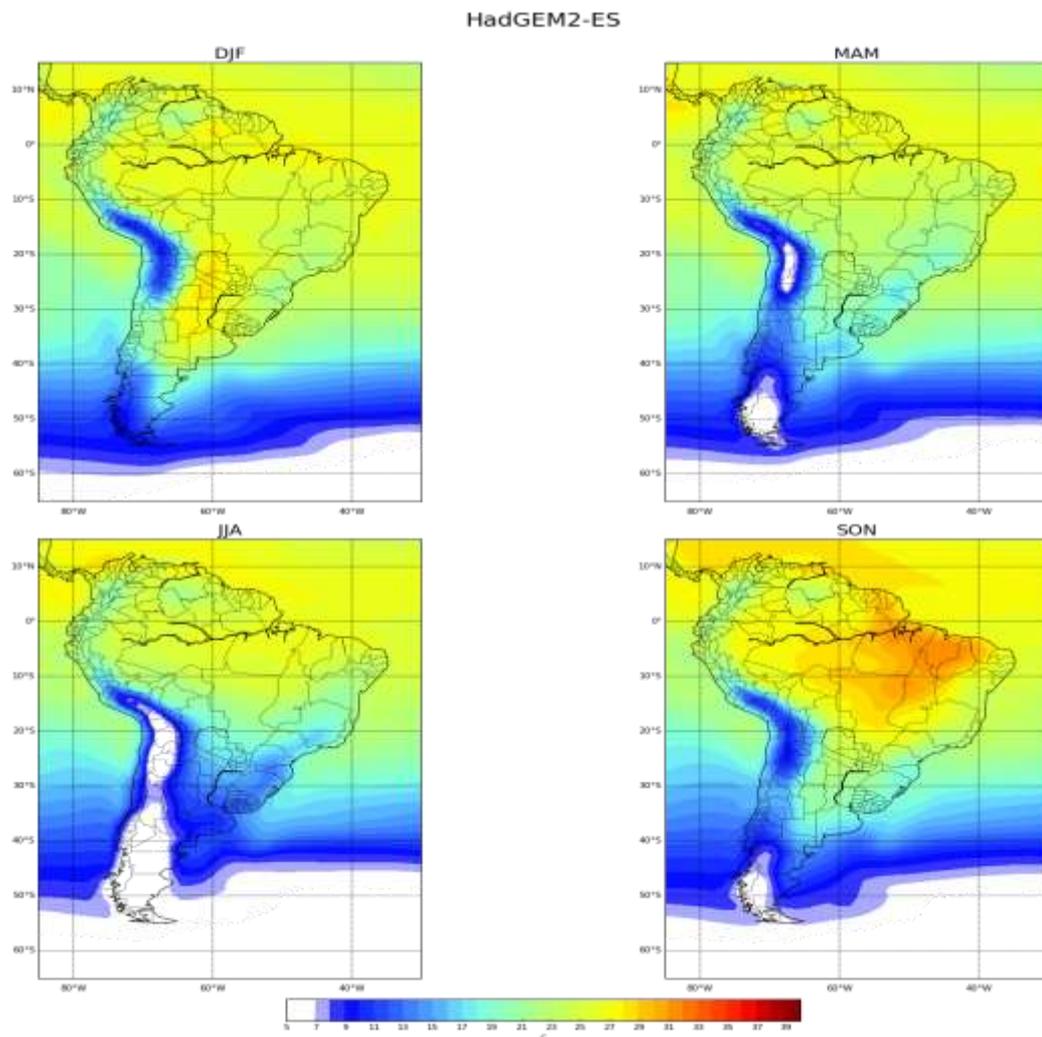


Fonte: O autor, 2016.

4.4.2 HadGEM2-ES

A Figura 19 ilustra a climatologia sazonal para a temperatura do ar na superfície do modelo que representa os valores estatísticos mais próximos do conjunto de modelos Ensemble para o período do HM nos meses de DJF, MAM, JJA, SON. Verifica-se resultados semelhantes ao modelo discutido anteriormente (FGOALS-S2) com temperatura média sobre a área em DJF de 19,25°C; para a estação de MAM com valores de 17,77°C, 15,29°C para o período de JJA. Para os meses de SON a média de temperatura da superfície para a América do sul foi de 17,31°C

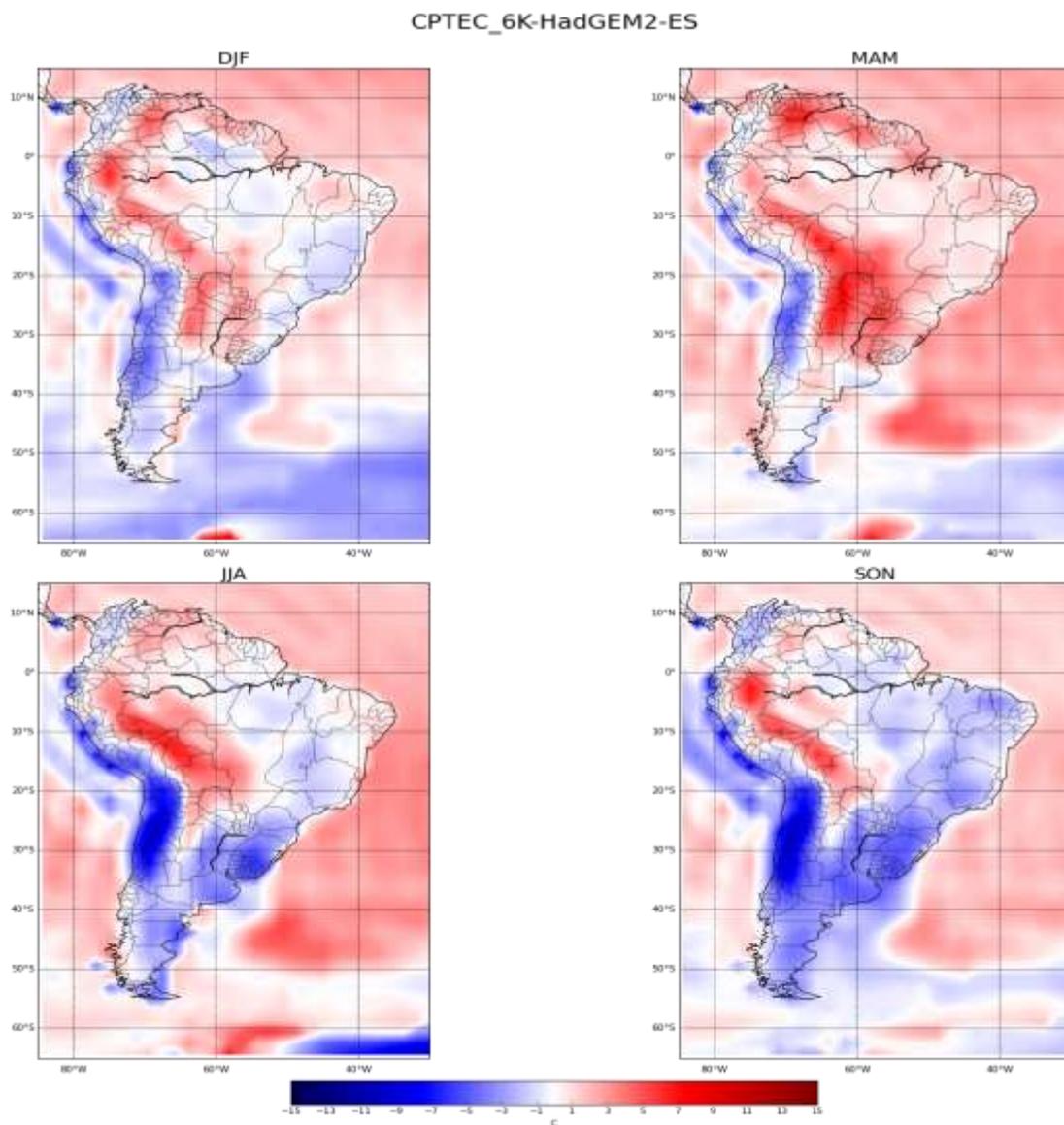
Figura 19 Temperatura sazonal do ar na superfície para o modelo HadGEM2-ES para o período do HM nos meses de DJF, MAM, JJA, SON.



Fonte: O autor, 2016.

Na Figura 20, diferença entre os modelos do CPTEC e HadGEM2-ES, observa-se que o modelo do CPTEC simulou TSM mais elevadas acima de 50° S de latitude e mais frias que o HadGEM2-ES abaixo desta latitude. Verifica-se também temperaturas mais elevadas a leste dos Andes, simuladas pelo modelo do CPTEC e diferente do resultado encontrado quando comparado ao FGOALS-S2 o CPTEC apresentou temperaturas mais elevadas sobre a América do Sul comparado ao HadGEM2-ES.

Figura 20 Diferença sazonal de temperatura do ar na superfície para o modelo CPTEC 6k (com a parametrização de Berger) – HadGEM2-ES, para o período do HM nos meses de DJF, MAM, JJA, SON.

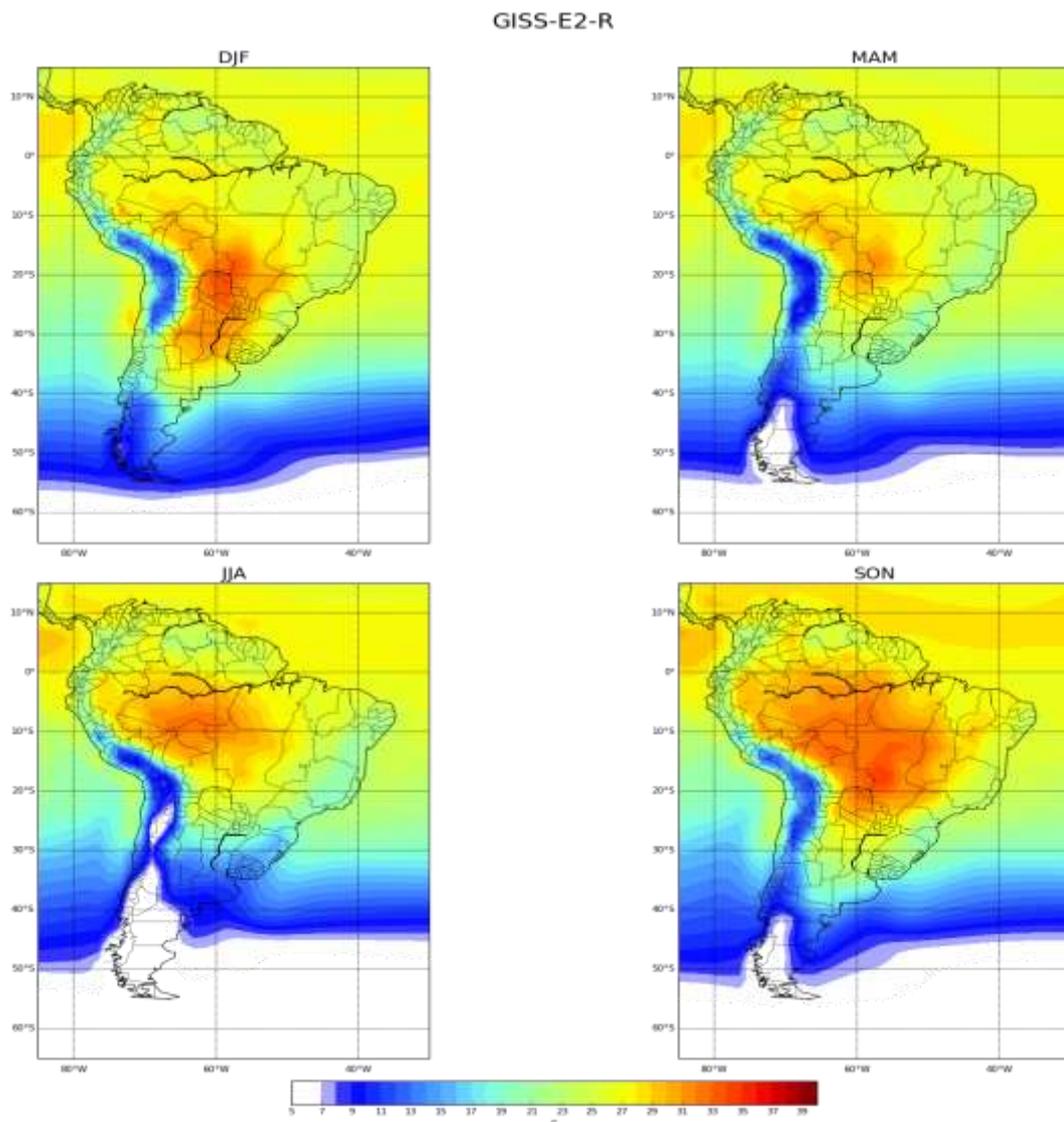


Fonte: O autor, (2016).

4.4.3 GISS-E2-R

A Figura 21 ilustra a climatologia sazonal para a temperatura do ar na superfície do modelo que representa os valores estatísticos com maior dispersão do conjunto de modelos ENSEMBLE. Pode-se observar um núcleo de maior temperatura no centro-sul da América do Sul deslocando-se para norte de DJF a JJA e expandindo-se sobre quase toda América do Sul em SON. A média as temperaturas para área em cada estação do ano são 19,41°C (DJF), 18,13°C (MAM), 15,87°C (JJA) e 17,66°C (SON), respectivamente.

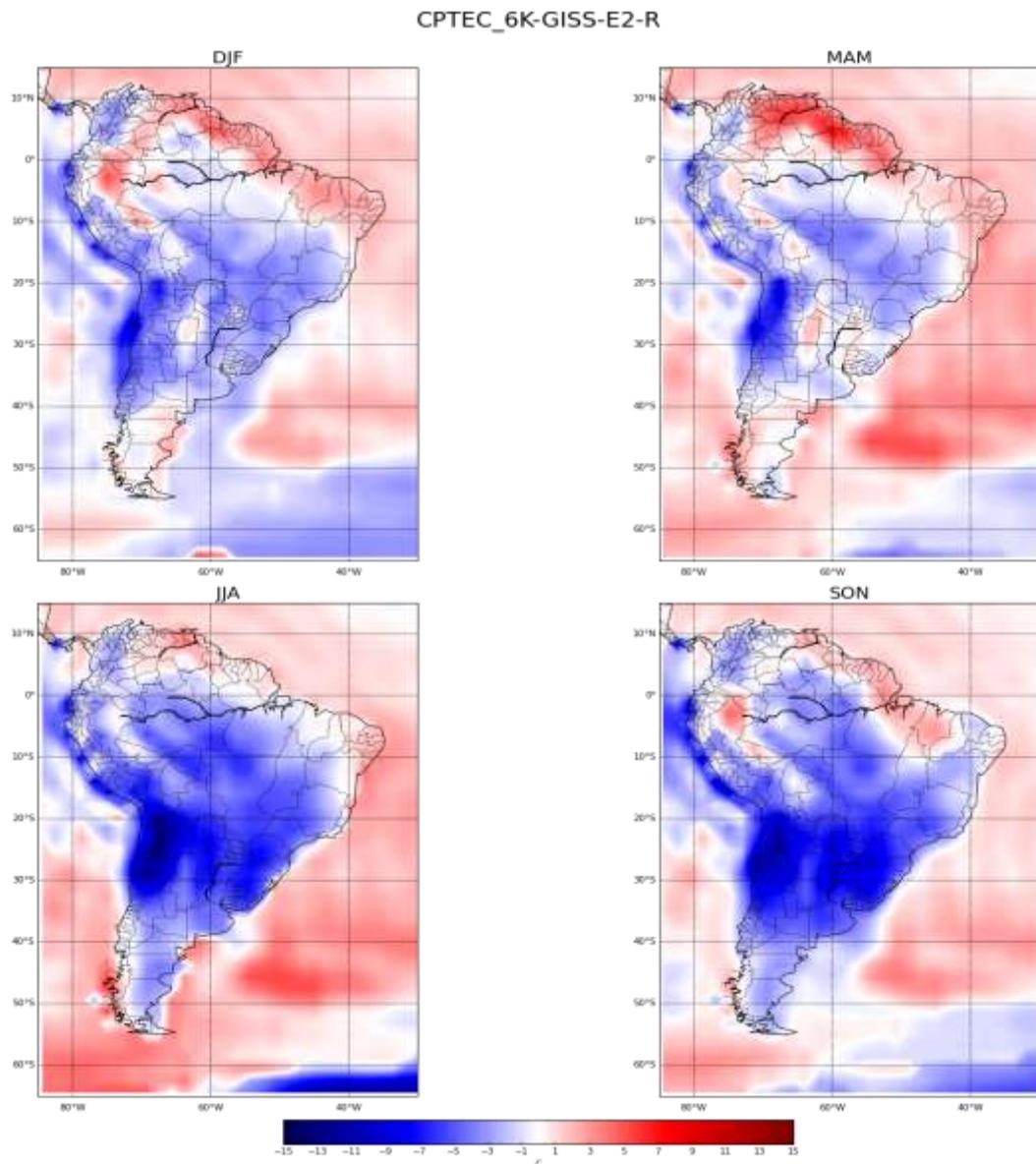
Figura 21 Temperatura sazonal do ar na superfície para o modelo GISS-E2-R para o período do HM nos meses de DJF, MAM, JJA, SON.



Fonte: O autor, (2016).

Para as diferenças entre as temperaturas simuladas pelo modelo do CPTEC e o GISS-E2-R (Figura 22) observa-se similaridade com os modelos anteriores, pois o CPTEC mostrou-se mais quente que o GISS-E2-R, sobre os oceanos, leste dos Andes e norte da região Amazônica. Comparado ao GISS-E2-R o modelo do CPTEC mostrou diferença positiva de temperatura de $0,49^{\circ}\text{C}$ e $1,51^{\circ}\text{C}$ para DJF e MAM, respectivamente para região de estudo.

Figura 22 Diferença sazonal de temperatura do ar na superfície para o modelo CPTEC 6k (com a parametrização de Berger) – GISS-E2-R, para o período do HM nos meses de DJF, MAM, JJA, SON.



Fonte: O autor, (2016).

5 Conclusões

Com o intuito de verificar se o modelo do CPTEC assemelha-se aos modelos do CMIP5, que são os modelos usados para previsão de mudanças climáticas futuras, fez-se o ENSEMBLE de 12 modelos do CMIP5 e verificou-se, através do diagrama de Taylor, qual era o mais próximo da média e quais se distanciavam mais (Máximo e Mínimo), e esses três últimos foram comparados com o modelo do CPTEC, enfatizando as variáveis de temperatura e precipitação. Concluindo-se que:

Dentre esses modelos escolhidos foi observado que para ambas as variáveis o modelo que melhor representou o conjunto de dados (ENSEMBLE) e também que mais se aproximou dos resultados do CPTEC foi o HadGEM2-ES, mostrando coerência na análise do diagrama;

O FGOALS-S2 representou uma das maiores amplitudes do diagrama para ambas variáveis analisadas. Já o MRI-CGCM3 e GISS-E2-R representaram as maiores amplitudes (com menores valores estatísticos) para precipitação e temperatura respectivamente;

O modelo HadGEM2-ES foi o que melhor conseguiu representar os padrões de grande escala para o período do Holoceno Médio comparado as simulações do CPTEC, o qual sugere que o Nordeste brasileiro encontrava-se mais frio e úmido concordando com resultados de Valdes (2000), Melo e Marengo(2008) e Dias (2009). Também representando a Zona de Convergência do Atlântico Sul, no entanto com o posicionamento mais ao Norte e menor intensidade comparada ao HadGEM2-ES e na região Amazônica o modelo do CPTEC sugere maior precipitação para os meses de MAM, que mostra que devido a maior intensidade da Zona de Convergência Intertropical os alísios poderiam estar mais intensos aumentando o transporte de umidade para essa região.

Quanto a temperatura apenas os meses de SON apresentaram maiores diferenças onde HadGEM2-ES estava ligeiramente mais quente que o do CPTEC

Os resultados sugerem que de forma geral o Modelo do CPTEC consegue simular de forma satisfatória as oscilações do campo de precipitação e temperatura, se mostrando uma boa ferramenta para simulações do Holoceno Médio e consequentemente que pode ser utilizado para simulações de clima futuro.

REFERÊNCIAS

Bao, Q., G. X. Wu, Y. M. Liu, J. Yang, Z. Z. Wang, and T. J. Zhou, 2010: An Introduction to the Coupled Model FGOALS1.1-s and Its Performance in East Asia, *Adv. Atmos. Sci.*, 27(5), 1131–1142, doi: 10.1007/s00376-010-9177-1.

Bao Q, Lin P, Zhou T et al. (2013) The Flexible Global Ocean-Atmosphere-Land System Model, spectral version 2: FGOALS-s2. *Advances in Atmospheric Sciences* 30(3): 561–576.

Barberi, M., Salgado-Labouriau, M. L., and Suguio, K.: Paleovegetation and paleoclimate of “Vereda de Aguas Emendadas”, central Brazil, *J. S. Am. Earth Sci.*, 13, 241–254, 2000

Barros, S. Inovações no Modelo Global do CPTEC (CPTEC/INPE, 2006). (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Cachoeira Paulista). <http://www.cptec.inpe.br/pad>.

Behling, H.: Investigations into the Late Pleistocene and Holocene history of vegetation and climate in Santa Catarina (S Brazil), *Veg. Hist. Archaeobot.*, 4, 127–152, 1995a.

Behling, H.: A high resolution Holocene pollen records from Lago do Pires, SE Brazil: vegetation, climate and fire history, *J. Paleolimnol.*, 14, 253–268, 1995b.

Behling, H.: Late Quaternary vegetation, climate and fire history from the tropical mountain region of Morro de Itapeva, SE Brazil, *Palaeogeogr. Palaeocli.*, 129, 407–422, 1997a.

Behling, H.: Late Quaternary vegetation, climate and fire history of the Araucaria forest and campos region from Serra Campos Gerais, Parana State (South Brazil), *Rev. Palaeobot. Palyno.*, 97, 109–121, 1997b.

Behling, H.: Late Quaternary environmental changes in the Lagoa da Curucua region (eastern Amazonia, Brazil) and evidence of Podocarpus in the Amazon lowland, *Veg. Hist. Archaeobot.*, 10, 175–183, 2001.

Behling, H. and Safford, H. D.: Late-glacial and Holocene vegetation, climate and fire dynamics in the Serra dos Orgãos, Rio de Janeiro State, southeastern Brazil, *Glob. Change Biol.*, 16, 1661–1671, doi:10.1111/j.1365-2486.2009.02029.x, 2010.

Behling, H., Pillar, V. D., Orloci, L., and Bauermann, S. G.: Late Quaternary Araucaria forest, grassland (Campos), fire and climate dynamics, studied by high-resolution pollen, charcoal and multivariate analysis of the Cambara do Sul core in southern Brazil, *Palaeogeogr. Palaeoclimatol.*, 203, 277–297, 2004

Berger, A. L. Notes and Correspondence: Long-Term Variations of Daily Insolation and Quaternary Climatic Changes. *Journal of Atmospheric Science*. v. 35, p. 2362-2367. 1978.

Berger, Andre; Loutre, M.-Fr. Insolation values for the climate of the last 10 million years. *Quaternary Science Reviews*, v. 10, n. 4, p. 297-317, 1991.

Bonatti, J. P. Modelo de circulação geral atmosférico do CPTEC. *Climanálise Especial*, 60 edição comemorativa de, v. 10, 1996.

Boville, B. A., P. R. Gent, 1996: The NCAR Climate System Model, version 1. *J. Climate*, 11, 1115–1130.

Braconnot, P.; Joussaume, J.; Harrison, S.; Hewitt, C.; Valdes, P.; Ramstein, G.; Stouffer, R.J.; Otto-Bleisner, B.L; Taylor, K.E. The second phase of the Paleoclimate Modeling Intercomparison Project (PMIP II). *Clivar Exchanges*, v. 8, p. 19–20. 2003.

Braconnot, P., Otto-Bliesner, B., Harrison, S., Joussaume, S., Peterchmitt, J.-Y., Abe-Ouchi, A., Crucifix, M., Driesschaert, E., Fichet, Th., Hewitt, C. D., Kageyama, M., Kitoh, A., Laîné, A., Loutre, M.-F., Marti, O., Merkel, U., Ramstein, G., Valdes, P., Weber, S. L., Yu, Y., and Zhao, Y.: Results of PMIP2 coupled simulations of the Mid-Holocene and Last Glacial Maximum – Part 1: experiments and large-scale features, *Clim. Past*, 3, 261–277, doi:10.5194/cp-3-261-2007, 2007a.

Braconnot, P., Otto-Bliesner, B., Harrison, S., Joussaume, S., Peterchmitt, J.-Y., Abe-Ouchi, A., Crucifix, M., Driesschaert, E., Fichet, Th., Hewitt, C. D., Kageyama, M., Kitoh, A.,

Loutre, M.-F., Marti, O., Merkel, U., Ramstein, G., Valdes, P., Weber, L., Yu, Y., and Zhao, Y.: Results of PMIP2 coupled simulations of the Mid-Holocene and Last Glacial Maximum – Part 2: feedbacks with emphasis on the location of the ITCZ and mid- and high latitudes heat budget, *Clim. Past*, 3, 279–296, doi:10.5194/cp-3-279-2007, 2007b.

Braconnot, P., Harrison, S. P., Kageyama, M., Bartlein, P. J., Masson-Delmotte, V., Abe-Ouchi, A., Otto-Bliesner, B., and Zhao, Y.: Evaluation of climate models using palaeoclimatic data, *Nature Clim. Change*, 2, 417–424, doi:10.1038/nclimate1456, 2012.

Bradley, R. S.: *Paleoclimatology: reconstructing climates of the Quaternary*, 2nd edition, Academic Press, 613 pp., 1999.

Briegleb, B. P., C. M. Bitz, E. C. Hunke, W. H. Lipscomb, M. M. Holland, J. L. Schramm, and R. E. Moritz, 2004: Scientific description of the sea ice component in the community climate system model, version three. NCAR Tech. Note NCAR/TN-463+ STR, 70pp.

Cavalcanti, Iracema FA, José A. Marengo, Prakki Satyamurty, Carlos A. Nobre, Igor Trosnikov, José Paulo Bonatti, Antonio Ocimar Manzi et al. "Global climatological features in a simulation using the CPTEC-COLA AGCM." *Journal of Climate* 15, no. 21 (2002): 2965-2988.

Coelho, L.G.; Barth, O.M. & Chaves, H.A.F. 2002. Palynological records of environmental changes in Guaratiba mangrove área, southeast Brazil, in the last 6000 years B.P. *Revista Pesquisas em Geociências* (no prelo).

Collins, W. D., P. J. Rasch, B. A. Boville, J. J. Hack, J. R. McCaa, D. L. Williamson, J. T. Kiehl, B. Briegleb, C. Bitz, S.-J. Lin, M. Zhang, and Y. Dai, 2004: Description of the NCAR Community Atmosphere Model (CAM3). Technical Report NCAR/TN- 464+STR, National Center for Atmospheric Research, Boulder, Colorado 80307-3000, 226 pp.

Cox, P.M.: Description of the TRIFFID Dynamic Global Vegetation Model Hadley Centre, Met Office, Technical Note 24, 2001

De Oliveira PE (1992) A palynological record of Late Quaternary vegetational and climatic changes in southeastern Brazil, PhD thesis, Ohio State University

De Oliveira PE, Barreto AMF, Suguio K (1999) Late Pleistocene/Holocene climatic and vegetational history of the Brazilian caatinga: the fossil dunes of the middle São Francisco River. *Palaeogeogr Palaeoclimatol Palaeoecol* 152:319–337

Dewes, C. F. Análise da variabilidade climática de um modelo do clima da América do Sul no presente e em 6 ka AP. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo – USP. 2007.

Dias, Pedro L. Silva, et al. "Mid-Holocene climate of tropical South America: a model-data approach." *Past Climate Variability in South America and Surrounding Regions*. Springer Netherlands, 2009. 259-281.

Einsele,G.; Ricken,W.; Seilacher,A. 1991. Cycles and events in stratigraphy - basic concepts and terms. In: Einsele,G.; Ricken,W.; Seilacher,A. (ed.). 1991. Cycles and events in stratigraphy. Berlin: Springer-Verlag. p. 1-19.

Garcia, M. J. ; De Oliveira, P. E.; Saraiva, R.; Siqueira, E. A Holocene vegetational and climatic record from the Atlantic rainforest belt of coastal State of São Paulo, SE Brazil. *Review of Palynology and Palaeobotany*, v. 131, p. 181-199. 2004.

Gent, P. R., and J. C. McWilliams, 1990: Isopycnal mixing in ocean circulation models. *J. Phys. Oceanogr.*, 20, 150–155.

Giorgetta et al. (2012): CMIP5 simulations of the Max Planck Institute for Meteorology (MPI-M) based on the MPI-ESM-LR model: The amip4xCO2 experiment, served by ESGF. WDCC at DKRZ. [doi:10.1594/WDCC/CMIP5.MXELa2](https://doi.org/10.1594/WDCC/CMIP5.MXELa2)

Gladstone RM, Ross I, Valdes PJ et al. (2005) Mid-Holocene NAO: A PMIP2 model inter-comparison. *Geophysical Research Letters* 32: L1677.

Gordon, H. B., et al. (2002), The CSIRO Mk3 climate system model, Tech. Pap. 60, Atmos. Res., Commonw. Sci. and Ind. Res. Org., Aspendale, Victoria, Australia.

Gordon, H. B., S. P. O'Farrell, M. A. Collier, M. R. Dix, L. D. Rotstayn, E. A. Kowalczyk, A. C. Hirst, and I. G. Watterson (2010), The CSIRO Mk3.5 Climate Model, technical report no. 21, Technical Report 021, CAWCR, Aspendale, Vic., Australia.

Grell, Georg A. Prognostic Evaluation of Assumptions Used by Cumulus Parameterizations Monthly Weather Review 1993 121: 764-787(2002).

Harrison, S. P., et al. Mid-Holocene climates of the Americas: a dynamical response to changed seasonality. *Climate Dynamics*, v. 20, p. 663-688. 2003

Harrison, S. P.; Braconnot, P.; Hewitt, C.; Stouffer, R. J. Fourth International workshop of The Palaeoclimate Modelling Intercomparison Project (PMIP): launching PMIP Phase II. *EOS*, v. 83, p. 447-447. 2002.

Hartmann, D. L. *Global physical climatology*. Academic Press, p 410. 1994.

Hazeleger, W. et al. (2012) EC-Earth V2.2: description and validation of a new seamless earth system prediction model. *Clim. Dyn.* 39(11), 2611-2629, doi: 10.1007/s00382-011-1228-5

Hourdin F, Musat I, Bony S, Braconnot P, Codron F, Dufresne JL, Fairhead L, Filiberti MA, Friedlingstein P, Grandpeix JY, Krinner G, LeVan P, Lott F (2006) The LMDZ4 general circulation model: climate performance and sensitivity to parametrized physics with emphasis on tropical convection. *Clim Dyn* 27(7-8):787-813. doi:10.1007/s00,382-006-0158-0

Imbrie, John; Imbrie, John Z. Modeling the climatic response to orbital variations. *Science*, v. 207, n. 4434, p. 943-953, 1980.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE IPCC. *Climate Change 2001: the scientific basis IPCC WG I TAR*. Cambridge: Cambridge Univ. Press. 881p.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE IPCC. *Climate Change 2007: the physical scientific basis IPCC AR4 WG I*. Cambridge: Cambridge Univ. Press, 2007. p.498

Jansen E, Overpeck J, Briffa KR et al. (2007) Paleoclimate. In: Solomon J, Qin D, Manning M et al. (eds) *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge and New York: Cambridge University Press, pp. 433–497.

Jorgetti, T. Análise de uma modelagem do clima tropical atual da América do Sul e em 6.000 BP. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo – USP. 2004.

Jorgetti, T. A Zona de Convergência do Atlântico Sul e os Processos Oceânicos do Atlântico e do Pacífico. Tese (Doutorado em Meteorologia) - Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo – USP. 2008.

Jossaume, S; Taylor, K. E. Status of the paleoclimate modeling intercomparison project . In: INTERNATIONAL AMIP SCIENTIFIC CONFERENCE, WCRP (WORLD CLIMATE RESEARCH PROGRAMME), Monterey. Proceedings Monterey: WMO, p. 425 – 430. **Journal of Climate**, v.10: 1004-1020. 1995.

Kageyama, M., Lamy, A., Abe-Ouchi, A., Braconnot, P., Cortijo, E., Crucifix, M., De Vernal, A., Guiot, J., Hewitt, C. D., Kitoh, A., Kucera, M., Marti, O., Ohgaito, R., Otto-Bliesner, B., Peltier, W. R., Rosell-Mele, A., Vettoretti, G., Weber, S. L., and Yu, Y.: Last Glacial Maximum temperatures over the North Atlantic, Europe and western Siberia: a comparison between PMIP models, MARGO sea-surface temperatures and pollen-based reconstructions, *Quaternary Sci. Rev.*, 25, 2082–2102, 2006.

Kiehl, J. T., Gent, P. R. (2004) The community climate system model, version 2, *Journal of climate*, 17(19), 3666-3682.

Ledru, M.-P., Mourguiart, P., Ceccantini, G., Turcq, B., and Sifeddine, A.: Tropical climates in the game of two hemispheres revealed by abrupt climatic change, *Geology*, 30, 275–278, 2002

LIU, Z et al. Global monsoons in the mid-Holocene and oceanic feedback. **Climate Dynamics** , v. 22, p. 157-182. 2004.

Liu, Y. M., J. Hu, B. He, Q. Bao, A. M., Duan and G. X. Wu, 2013: Seasonal evolution of the subtropical anticyclones in a climate system model FGOALS-s2. *Adv. Atmos. Sci.*, doi: 10.1007/s00376-012-2154-0.

MARCHI, A. C. **Simulação do Clima para o Holoceno Médio usando o modelo ETA**. Dissertação de Mestrado, UFAL, 2013.

Marti, O., et al., 2010: Key features of the IPSL ocean atmosphere model and its sensitivity to atmospheric resolution. *1219 Climate Dynamics*, 34, 1–26, doi:10.1007/s00382-009-0640-6

MELO, M. L. D. **Simulações de clima para o Holoceno Médio usando o MCGA do CPTEC, com ênfase sobre a América do Sul**. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Tese. 2007.

MELO, M. L. D. Simulações de clima para o Holoceno Médio usando o MCGA do CPTEC, **Meteorological Society**, v. **87**, p. 63–77, 2006a.

Melo, M. L. D. and Marengo, J. A.: The influence of changes in orbital parameters over South American climate using the CPTEC AGCM: simulation of climate during the mid-Holocene, *The Holocene*, 18, 501–516, 2008

Milankovitch, M., 1941: Canon of Insolation and the Ice-Age Problem (in German). Special Publications of the Royal Serbian Academy, Vol. 132, Israel Program for Scientific Translations, 484 pp

Molion, L.C.B.; Bernardo, S.O. Uma revisão da dinâmica das chuvas no Nordeste Brasileiro. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.17, n.1, p. 1-10, 2002.

Nozawa, T., Nagashima, T., Ogura, T., Yokohata, T., Okada, N., and Shiogama, H.: Climate change simulations with a coupled ocean-atmosphere GCM called the Model for Interdisciplinary Research on Climate: MIROC, CGER Supercomput, Monogr. Rep., 12, Cent. For Global Environ. Res., Natl. Inst. for Environ. Stud., Tsukuba, Japan, 2007.

Oleson, K.W., Dai, Y., Bonan, G., Bosilovich, M., Dickinson, R., Dirmeyer, P., Hoffman, F., Houser, P., Levis, S., Niu, G.-Y., Thornton, P., Vertenstein, M., Yang, Z.-L., and Zeng, X. 2004. Technical description of the Community Land Model (CLM). NCAR Technical Note NCAR/TN-461+STR. National Center for Atmospheric Research, Boulder, CO, 173 pp.

Parizzi, M. G., Salgado-Labouriau, M. L., and Kohler, H. C.: Genesis and environment history of Lagoa Santa, southeastern Brazil, *The Holocene*, 8, 311–321, 1998.

Oliveira, E. D. - **Simulação paleoclimática com ênfase sobre a América do Sul**. Dissertação de Mestrado, UFAL, 2015.

Pessenda, L. C. R., Aravena, R., Melfi, A. J., Telles, E. C. C., Boulet, R., Valencia, E. P. E., and Tomazello, M.: The use of carbon isotopes (^{13}C , ^{14}C) in soil to evaluate vegetation changes during the Holocene in Central Brazil, *Radiocarbon*, 38, 191–201, 1996.

Pessenda, L. C. R., Gouveia, S. E. M., Aravena, R., Boulet, R., and Valencia, E. P. E.: Holocene fire and vegetation changes in southeastern Brazil as deduced from fossil charcoal and soil carbon isotopes, *Quatern. Int.*, 114, 35–43, doi:10.1016/S1040-6182(03)00040-5, 2004a.

Pessenda, L. C. R., Ribeiro, A. S., Gouveia, S. E. M., Aravena, R., Boulet, R., and Bendassolli, J. A.: Vegetation dynamics during the late Pleistocene in the Barreirinhas region, Maranhao State, northeastern Brazil, based on carbon isotopes in soil organic matter, *Quaternary Res.*, 62, 183–193, doi:10.1016/j.yqres.2004.06.003, 2004b.

Pessenda, L. C. R., Ledru, M.-P., Gouveia, S. E. M., Aravena, R., Ribeiro, A. S., Bendassolli, J. A., and Boulet, R.: Holocene palaeoenvironmental reconstruction in northeastern Brazil inferred from pollen, charcoal and carbon isotope records, *The Holocene*, 15, 812–820, doi:10.1191/0959683605hl855ra, 2005.

Pessenda, L. C. R., De Oliveira, P. E., Mofatto, M., Medeiros, V. B., Garcia, R. J. F., Aravena, R., Bendassoli, J. A., Leite, A. Z., Saad, A. R., and Etchebehere, M. L.: The evolution of a tropical rainforest/grassland mosaic in southeastern Brazil since 28,000 ^{14}C yr BP based on

carbon isotopes and pollen records, *Quaternary Res.*, 71, 437–452, doi:10.1016/j.yqres.2009.01.008, 2009.

Prado LF, Wainer I, Chiessi CM et al. (2013) A mid-Holocene climate reconstruction for eastern South America. *Climate of the Past* 9: 2117–2133.

Roth L (1990) Palinologia de uma turfeira do Parque Nacional de Aparados da Serra, Planalto Leste do Rio Grande do Sul, Brasil. Thesis. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

Salgado-Labouriau, M. L., Casetti, V., Ferraz-Vicentini, K. R., Martin, L., Soubies, F., Suguio, K., and Turcq, B.: Late Quaternary ` vegetational and climatic changes in cerrado and palm swamp from Central Brazil, *Palaeogeogr. Palaeoclimatol.*, 128, 215–226, 1997

Schmidt, G. A., et al. (2006), Present day atmospheric simulations using GISS ModelE: Comparison to in-situ, satellite and reanalysis data, *J. Clim.*, 19, 153–192

Schmidt, G. A., et al. (2014a), Configuration and assessment of the Giss ModelE2 contributions to the CMIP5 archive, *J. Adv. Model. Earth Syst.*, 6, 141–184, doi:10.1002/2013MS000265.

Schmidt, G. A., D. T. Shindell, and K. Tsigaridis (2014b), Reconciling warming trends, *Nat. Geosci.*, 7, 158–160, doi:10.1038/ngeo2105. Shindell, D. T., R. L. Miller, G. A. Schmidt, and L. Pandolfo (1999), Simulation of recent northern winter climate trends by greenhouse-gas forcing, *Nature*, 399, 452–455, doi:10.1038/20905.

Shields, C.A., D.A. Bailey, G. Danabasoglu, M. Jochum, J.T. Kiehl, S. Levis, and S. Park (2011), the low-resolution CCSM4, *J. Clim.*, 25, 3993–4014, doi: [10.1175/JCLI-D-11-00260.1](https://doi.org/10.1175/JCLI-D-11-00260.1).

Sifeddine, A., Martin, L., Turcq, B., Volkmer-Ribeiro, C., Soubies, F., Cordeiro, R.C. and Suguio, K. 2001. Variations of the Amazon rainforest environment: a sedimentological record covering 30,000 years. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 168, 221–35.

Silva Dias M.A.F., Silva Dias P.L., Longo M, Fitzjarrald D.R., Denning A.S. (2004): River breeze circulation in eastern Amazon: observations and modelling results. *Theoretical And Applied Climatology*, v. 78

Souza, EP de. Estudo teórico e numérico da relação entre convecção e superfícies heterogêneas na região amazônica. Estudo teórico e numérico da relação entre convecção e superfícies heterogêneas na região amazônica, 1999.

Tarasova, T.A., H.M.J. Barbosa, S.N. Figueroa, Incorporation of new solar radiation scheme into CPTEC GCM. São José dos Campos: INPE/CPTEC, 44 p., 2006. (INPE-14052-NTE/371).

Taylor, K.E.: Summarizing multiple aspects of model performance in a single diagram. *J. Geophys. Res.*, 106, 7183-7192, 2001 (also see PCMDI Report 55, <http://wwwpcmdi.llnl.gov/publications/ab55.html>)

Turcq, B., Pressinotti, M. M. N., and Martin, L.: Paleohydrology and paleoclimate of the past 33,000 years at the Tamandua River, Central Brazil, *Quaternary Res.*, 47, 284–294, 1997.

Turcq, B., Albuquerque, A. L. S., Cordeiro, R. C., Sifeddine, A., Simoes Filho, F. F. L., Souza, A. G., Abrão, J. J., Oliveira, F. B. L., Silva, A. O., and Capitaneo, J.: Accumulation of organic carbon in five Brazilian lakes during the Holocene, *Sediment. Geol.*, 148, 319–342, 2002.

Valdes, P. J. South American paleoclimate model simulations: how reliable are the models *Journal of Quaternary Science*, v. 15, n. 4, p. 357-368, 2000

Voldoire, A. et al. (2012), The CNRM-CM5.1 global climate model: description and basic evaluation, *Clim. Dyn.*, 40(9-10), 2091–2121, doi:10.1007/s00382-011-1259-y.

Watanabe S, Hajima T, Sudo K et al. (2011) MIROC-ESM 2010: Model description and basic results of CMIP5-20c3m experiments. *Geoscientific Model Development* 4: 845–872.

Xin X-G, Wu T-W and Zhang J (2013) Introduction of CMIP5 experiments carried out with the climate system models of Beijing Climate Center. *Advances in Climate Change Research* 4(1): 41–49.

Yamasoe, M. A.; Correia, A. L.; Barbosa, H. M. J.; Costa, S. S.; Machado, L. A. T.; Ynoue, R. Y.; Procópio, A. S.; Silva Dias, M. A. F.; Martines, F. R.; Ceballos, J. C.; Corrêa, M. P. Forçante radiativa natural e antrópica. Primeiro Relatório de Avaliação Nacional - Avaliação Nacional do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas. [s.n.] 2012. v. 1

Yoshimura, H., and S. Yukimoto, 2008: Development of a Simple Coupler (Scup) for Earth System Modeling. *Pap. Meteor. Geophys.*, 59, 19–29

Yukimoto, S. et al. (2012), A New Global Climate Model of the Meteorological Research Institute: MRI-CGCM3-Model Description and Basic Performance, *J. Meteorol. Soc. Japan*, 90A(SI), 23–64, doi:10.2151/jmsj.2012-A02.

ANEXO

Tabela com síntese de climas encontrados no Brasil para o período do HM

Local	Latitude (°)	Longitude (°)	Condição	Citação
Águas Emendadas(CE)	15.00	47.58	Seco	Barbieri et al 2000
Aparados da Serra(RS)	29.22	50.00	Seco e quente	Roth, 1990
Baia de Sepetiba(RJ)	23.02	43.60	Úmido	Coelho et al. 2002
Barreirinhas(MA)	2.73	42.82	Seco	Pessenda et al. 2001 e 2002
Boa Vista(RR)	2.92	60.67	Seco	Simões filho et al. 1997
Cambará do Sul(RS)	29.05	50.10	Seco	Behling et al. 2004
Carajás(PA)	6.50	49.50	Seco	Siffeddine et al. 2001; Turcq et al. 1998
Cromínia (CE)	17.25	42.22	Seco	Salgado-laboriau et al. 1997
Fazenda Pinto (RS)	29.40	50.57	Quente e Seco	Behling et al 2001
Humaitá (RO)	7.52	63.03	Seco	Pessenda et al 1998
Lagoa dos Olhos (MG)	19.63	43.90	Seco	De Oliveira 1992

Lagoa Dourada (MG)	25.23	50.03	Seco	Melo et al. 2003
Lagoa Feia (CE)	47.30	15.57	Seco	Turcq 2002
Lagoa Santa (MG)	19.52	43.90	Quente e seco	Parizzi et al. 1998
Lago Caracaranã (RR)	3.85	50.78	Seco	Turcq et al 2002
Lago Pires (MG)	17.95	42.22	Seco	Behling 1995 ^a
Morro Itapeva (SP)	22.78	45.47	Seco	Behling 1997
Rondônia	12.70	66.12	Seco	Pessenda et al. 1998 e siffeddine et al 2001
Salitre (MG)	19.00	46.77	Úmido e quente	Pessenda et al. 1996;2004
Saquinho (NE)	10.40	43.22	Úmido	De Oliveira et al. 1999
Serra da Boa vista (SC)	27.70	49.88	Úmido	Behling, 1995b
Serra dos órgãos (RJ)	22.45	43.02	Aumento de umidade	Behling e safford 2010
Vale Icatu (BA)	10.40	43.22	Oscilação entre úmido e árido	De Oliveira, 1999
Volta Velha (SC)	26.07	48.63	Úmido	Behling e negrelle, 2001
Jacareí e Taubaté (SP)	23.28	45.97	Úmido e Quente	Garcia et al. 2004
Lago Caçó (MA)	2.97	43.42	Úmido	Ledru et al 2002

