



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ
INSTITUTO DE RECURSOS NATURAIS
PROGRAMA DE GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS**

**A Zona de Convergência Subtropical (ZCIT) e a
precipitação na faixa norte da Região Nordeste do Brasil
segundo os modelos globais do CMIP5**

MONOGRAFIA DE GRADUAÇÃO

Melissa Dias da Silva Oliveira

Itajubá, MG, Brasil

2018

**A Zona de Convergência Subtropical (ZCIT) e a precipitação na
faixa norte da Região Nordeste do Brasil segundo os modelos
globais do CMIP5**

por

Melissa Dias da Silva Oliveira

Monografia apresentada à comissão examinadora Programa de
Graduação em Ciências Atmosféricas da Universidade Federal
Itajubá (UNIFEI, MG), como requisito parcial para obtenção do grau
de
Bacharel em Ciências Atmosféricas.

Orientador: Dr. Roger Rodrigues Torres
Coorientadora: Dra. Mariane Mendes Coutinho

Itajubá, MG, Brasil
2018

**Universidade Federal de Itajubá
Instituto de Recursos Naturais
Programa de Graduação em Ciências Atmosféricas**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova a Monografia

**A ZONA DE CONVERGÊNCIA SUBTROPICAL (ZCIT) E A
PRECIPITAÇÃO NA FAIXA NORTE DA REGIÃO NORDESTE DO
BRASIL SEGUNDO OS MODELOS GLOBAIS DO CMIP5**

elaborada por

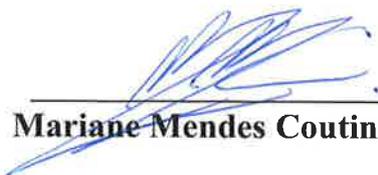
Melissa Dias da Silva Oliveira

Como requisito parcial para a obtenção do grau de
Bacharel em Ciências Atmosféricas

Comissão Examinadora:



Roger Rodrigues Torres, Dr (UNIFEI)
(Presidente/Orientador)



Mariane Mendes Coutinho, Dr^a (IAE-DCTA/ACA)



Luiz Fernando dos Santos, MSc. (UNIFEI)

Itajubá, 20 de novembro de 2018.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela saúde, força e confiança para superar as dificuldades e que me permitiu alcançar mais uma etapa tão importante da minha vida.

Ao CNPq pelo financiamento deste que partiu de um trabalho de bolsa de iniciação científica.

À Mariane Mendes Coutinho por toda orientação nos meus trabalhos científicos e principalmente neste o qual aceitou coorientar, mas que contribuiu bastante ao longo de todas as etapas do trabalho.

Ao professor Roger Rodrigues Torres obrigada pela orientação.

À minha família, amigos e professores que sempre me apoiaram e ajudaram de forma direta ou indiretamente para que eu continuasse a busca pelo meu desenvolvimento profissional.

Ao meus pais, irmãos e a toda a minha família que, com muito carinho e apoio, não mediram esforços para que eu chegasse até esta etapa da minha vida.

“Tendência não é destino e, portanto, as coisas podem ser mudadas quando a sociedade detecta uma tendência indesejada e o momento para mudá-la.”

Jaime Lerner

“Mais importante do que prever é adquirir capacidade de adaptação às mudanças. É adotar novas atitudes. É mudar a visão de mundo.”

José Paulo Silveira

“Há um tempo em que é preciso abandonar as roupas usadas, que já tem a forma do nosso corpo, e esquecer os nossos caminhos, que nos levam sempre aos mesmos lugares. É o tempo da travessia: e, se não ousarmos fazê-la, teremos ficado, para sempre, à margem de nós mesmos.”

Fernando Teixeira de Andrade

RESUMO

Monografia de Graduação
Programa de Graduação em Ciências Atmosféricas
Universidade Federal de Itajubá, MG, Brasil

A Zona de Convergência Subtropical (ZCIT) e a precipitação na faixa norte da Região Nordeste do Brasil segundo os modelos globais do CMIP5

AUTORA: Melissa Dias da Silva Oliveira
ORIENTADOR: Dr. Roger Rodrigues Torres
COORIENTADORA: Dr.^a Mariane Mendes Coutinho.
Local e Data da Defesa: Itajubá, 20 de novembro de 2018.

O objetivo deste estudo foi avaliar os modelos do *Coupled Model Intercomparison Project Phase 5* (CMIP5) quanto à habilidade em simular a precipitação associada à Zona de Convergência Subtropical (ZCIT) sobre a faixa norte da Região Nordeste do Brasil (NNE) e investigar suas projeções para o futuro. Foram analisadas as simulações de precipitação dos seguintes modelos: ACCESS1.0, ACCESS1.3, CanESM2, CNRM-CM5, CSIRO-Mk3.6, EC-EARTH, GFDL-ESM2M, HadGEM2-ES, IPSL-CM5A-LR, MIROC5, MPI-ESM-MR e NorESM1-M. Dentre esses modelos foram encontrados, por meio da comparação de seus resultados com dados observacionais, os que apresentaram os menores (os maiores) erros na simulação sazonal deste sistema meteorológico. Tais modelos foram, respectivamente, o CanESM2, o HadGEM2-ES e o IPSL-CM5A-LR (o ACCESS1.0, o ACCESS1.3 e o CSIRO-Mk3.6). Foi, também, feita a análise de fatores associados à ZCIT, como a temperatura da superfície do mar (TSM). Por fim, foram examinadas as projeções climáticas dos melhores modelos para o final do século XXI.

Palavras-chave: Clima. Regime de chuvas. *Painel Intergovernamental*. Temperatura. Oceano Atlântico.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| FIGURA 1 - Esquemática da célula de Walker..... | 2 |
| FIGURA 2 - Diagrama Esquemático da Circulação de Hadley-Walker sobre a América do Sul Tropical e o setor do Atlântico Sul Tropical..... | 3 |
| FIGURA 3 - Representação da Região Nordeste do Brasil..... | 6 |
| FIGURA 4 - Área de estudo..... | 9 |
| FIGURA 5 - Médias sazonais das simulações da precipitação (mm/dia) segundo os modelos..... | 12 |
| FIGURA 6 - Diferença em relação aos dados do GPCP para a precipitação (mm/dia) segundo os modelos..... | 14 |
| FIGURA 7 - Variação sazonal média da precipitação (mm/dia) sobre a NNE segundo os modelos..... | 16 |
| FIGURA 8 - Médias da simulação da precipitação (mm/dia) no período de DEZ/1986 a NOV/2004 segundo os modelos..... | 18 |
| FIGURA 9 - Projeção RCP 4.5 das Médias da precipitação (mm/dia) segundo os modelos..... | 19 |
| FIGURA 10 - Diferença RCP 4.5 em relação aos dados da simulação para a precipitação (mm/dia) segundo os modelos..... | 20 |
| FIGURA 11 - Projeção RCP 8.5 das Médias da precipitação (mm/dia) segundo os modelos..... | 21 |
| FIGURA 12 - Diferença RCP 8.5 em relação aos dados da simulação para a precipitação (mm/dia) segundo os modelos..... | 22 |
| FIGURA 13 - Médias da temperatura da superfície do mar (°C) em sombreado e precipitação (mm/dia) em linhas de contorno segundo os modelos..... | 23 |
| FIGURA 14 - Diferença em relação aos dados da NOAA para a temperatura da superfície do mar (°C) segundo os modelos..... | 24 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| TABELA 1 – Modelos utilizados no estudado..... | 10 |
| TABELA 2 - Resultado das estatísticas calculadas..... | 17 |

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

CMIP3 - *Coupled Model Intercomparison Project Phase 3*

CMIP5 - *Coupled Model Intercomparison Project Phase 5*

DJF - dezembro-janeiro-fevereiro

ESGF - *Earth System Grid Federation*

ESRL - *Earth System Research – Laboratory*

GPCP - *Global Precipitation Climatology Project*

HN – Hemisfério Norte

HS - Hemisfério Sul

IPCC-AR5 - *Intergovernmental Panel on Climate Change Assessment Report 5*

JJA - junho-julho-agosto

MAM - março-abril-maio

NEB – Região Nordeste do Brasil

NNE - faixa norte da Região Nordeste do Brasil

NOAA - National Oceanic and Atmospheric Administration

OMM - Organização Meteorológica Mundial

Pnuma - Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente

RCPs - *Representative Concentration Pathways*

ROL - radiação de onda longa

SON - setembro-outubro-novembro

TSM - Temperatura da Superfície do Mar

ZCA - Zona de confluência dos ventos alísios

ZCIT - Zona de Convergência Subtropical

SUMÁRIO

| | |
|---|-------------|
| LISTA DE FIGURAS..... | vii |
| LISTA DE TABELAS | viii |
| LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLO..... | ix |
| 1. INTRODUÇÃO..... | 1 |
| 2. REFERENCIAL TEÓRICO | 4 |
| 3. MATERIAL E MÉTODOS | 6 |
| 3.1. DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO..... | 6 |
| 3.2. METODOLOGIA | 8 |
| 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO | 11 |
| 5. CONCLUSÃO..... | 25 |
| 6. REFERÊNCIAS | 25 |

1. INTRODUÇÃO

O regime de precipitação da faixa norte da Região Nordeste do Brasil (NNE) está fortemente ligado à Zona de Convergência Subtropical (ZCIT), nebulosidade que se encontra próxima a região equatorial, e sua migração sazonal sobre a região do Atlântico Tropical (UVO, 1989). As regiões de maior influência deste sistema atuante no NNE são o centro e norte dos estados do Maranhão e Piauí, os estados do Ceará e Rio Grande do Norte e os sertões da Paraíba e Pernambuco (MELO; CAVALCANTI; SOUZA, 2009).

Este sistema meteorológico apresenta variabilidade interanual que impacta na qualidade da estação chuvosa do NNE. Dessa forma, em anos considerados normais, a ZCIT atinge sua posição mais ao norte, em torno de 14°N , durante agosto-setembro e a sua posição mais ao sul, em torno de 2°S , durante março-abril. Em anos chuvosos, a ZCIT pode atingir até 5°S como posição mais austral (MELO; CAVALCANTI; SOUZA, 2009). O pico de precipitação no NNE ocorre nos meses de março e abril, que é quando a ZCIT atinge as latitudes mais ao sul do seu movimento migratório meridional (UVO; NOBRE, 1989a).

Os aspectos meteorológicos de grande escala podem acentuar ou inibir o desempenho da ZCIT, visto que sua configuração está associada à circulação geral da atmosfera (MELO; CAVALCANTI; SOUZA, 2009). A circulação atmosférica sobre a região equatorial é influenciada por padrões termodinâmicos dos oceanos Pacífico e Atlântico. Em anos com anomalias positivas ou negativas da Temperatura da Superfície do Mar (TSM), a célula de Hadley, atuante no sentido meridional (ascendência sobre os trópicos e descendência em latitudes subtropicais), e a célula de Walker atuante no sentido zonal (ascendência no Pacífico Oeste e descendência no Pacífico Leste), sofrem perturbação, promovendo fortes anomalias na circulação atmosférica dos trópicos, sendo que estas são deslocadas de suas posições climatológicas (Figuras 1 e 2). Assim, a intensidade e a duração do período chuvoso sobre a região tropical também são influenciadas (FERREIRA; MELLO, 2005).

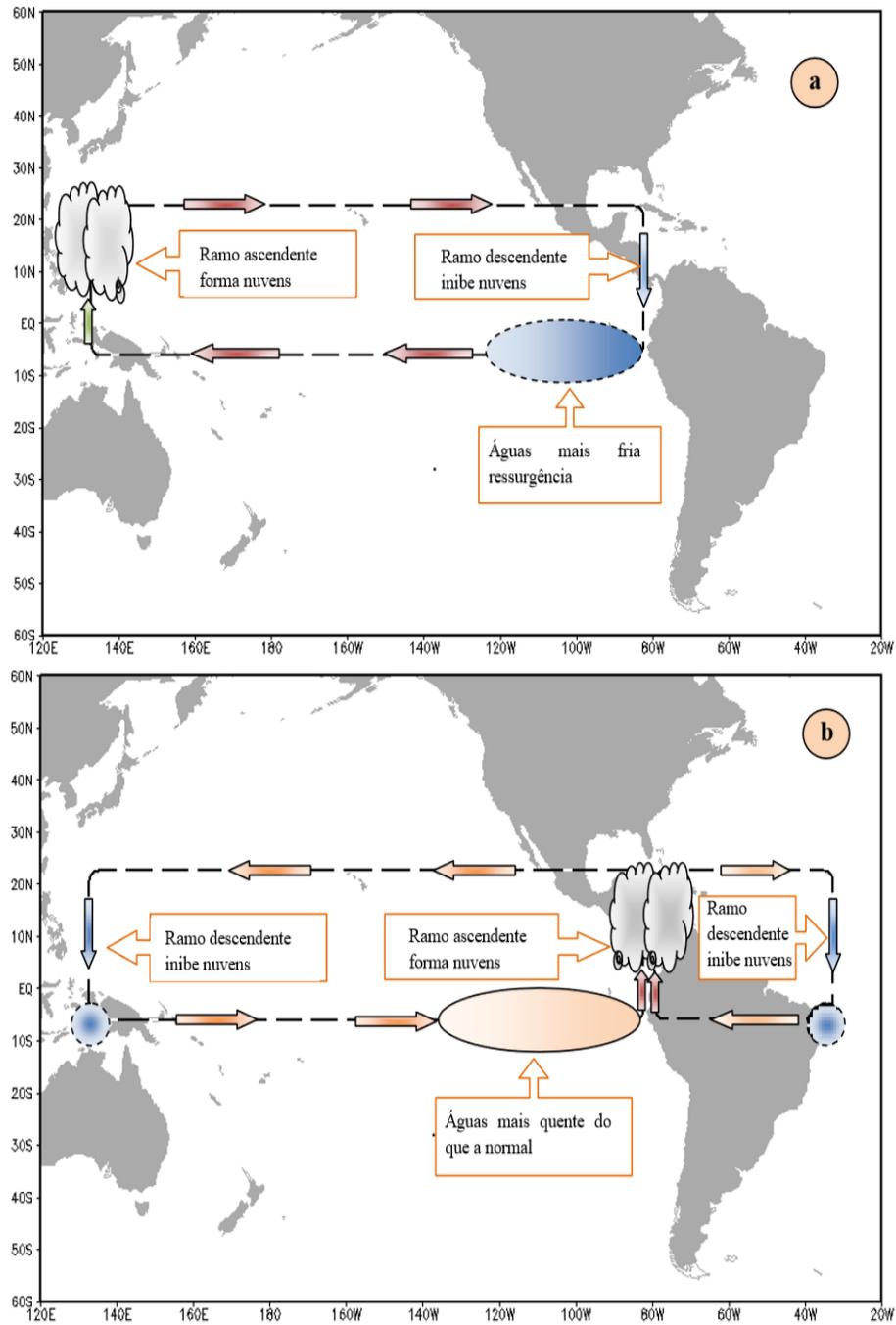


Figura 1 - Esquematização da célula de Walker, (a) Condições atmosféricas normais e (b) Modificada devido a ocorrência de condições referentes ao fenômeno El-Niño

Fonte: Santos (2011, p.18).

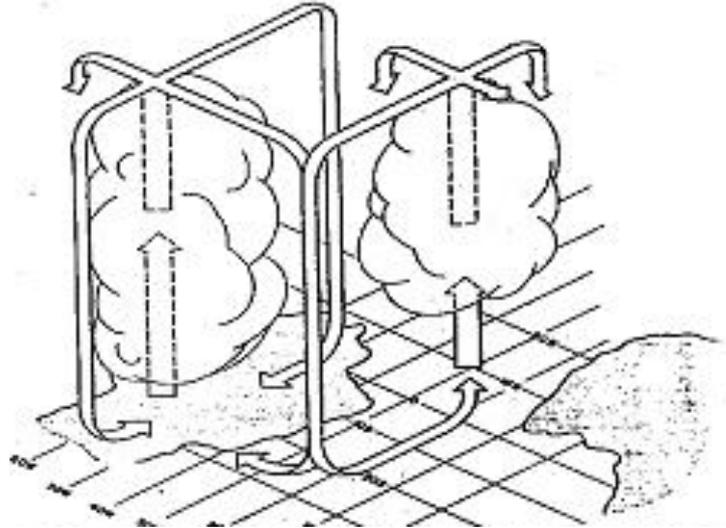


Figura 2 - Diagrama esquemático da Circulação de Hadley-Walker sobre a América do Sul Tropical e o setor do Atlântico Sul Tropical. A nebulosidade sobre o oceano representa a atividade convectiva sobre a ZCIT

Fonte: Ferreira e Mello (2005, p.18).

O impacto da variabilidade sazonal e interanual da ZCIT sobre a precipitação no NNE leva ao interesse em investigar de que modo as mudanças climáticas poderiam afetar a ZCIT e o regime de precipitação na região, com a finalidade de incentivar estratégias de adaptação e reduzir o risco associado. A importância dessa investigação é enfatizada pela vulnerabilidade que a região apresenta, principalmente devido às suas características socioeconômicas. Os resultados dos modelos reunidos pela mais recente fase do *Coupled Model Intercomparison Project Phase 5* (CMIP5), que serviu como base de dados para o mais recente (quinto) relatório de avaliação do *Intergovernmental Panel on Climate Change*, o IPCC-AR5, fornecem uma importante ferramenta para estudos de mudanças climáticas.

A simulação adequada das condições climáticas passadas fornece uma indicação da confiabilidade das projeções climáticas futuras. Assim, o primeiro passo indicado por este estudo foi encontrar, entre os modelos do CMIP5, as melhores simulações das condições climáticas passadas na região do NNE. Em seguida, foram analisadas as projeções climáticas desses modelos para o final do século XXI, buscando-se o conhecimento das mudanças esperadas para a área de estudo segundo estes modelos.

No segundo capítulo deste estudo revisou-se brevemente os trabalhos de maior relevância sobre o tema do estudo. Posteriormente, no terceiro capítulo, foram apresentadas informações sobre a área de estudo e a metodologia utilizada nas análises desenvolvidas;

enquanto que o quarto capítulo apresenta os resultados obtidos e suas discussões. Para finalizar, no quinto capítulo encontram-se as conclusões do trabalho.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

A ZCIT, visualizada em imagens de satélites como uma banda de nebulosidade ao longo da região equatorial, é um sistema que contribui para a precipitação sobre os oceanos Atlântico, Pacífico e Índico, bem como sobre áreas em sua vizinhança sobre os continentes africano, sul-americano e asiático (MELO; CAVALCANTI; SOUZA, 2009; UVO; NOBRE, 1989a). A influência deste sistema na precipitação foi estudada por Hastenrath e Heller (1977), Hastenrath e Lamb (1977), Uvo e Nobre (1989a, 1989b), Uvo et al. (1998), entre outros.

Este sistema meteorológico está inserido em uma região próxima ao Equador que apresenta a interação de um conjunto de fatores: zona de confluência dos ventos alísios (ZCA) de sudeste e nordeste; zona do cavado equatorial; zona de maiores valores da TSM; zona de máxima convergência de massa e zona de máxima cobertura de nuvens convectivas (FERREIRA, 1996; MELO; CAVALCANTI; SOUZA, 2009). Estudos como Hastenrath e Lamb (1977), Hastenrath e Heller (1977), Estoque e Douglas (1978) e Melo et al. (2000) mostraram que essas zonas não se apresentam necessariamente sobre a mesma latitude, mas sim interagindo próximas umas das outras.

Considerando-se a ampla gama de fatores que integram a constituição da ZCIT, diferentes autores acabam por escolher variáveis distintas representativas deste sistema em seus trabalhos. Por exemplo, Hastenrath e Lamb (1977) e Hastenrath e Heller (1977) consideraram o cavado equatorial, enquanto que Estoque e Douglas (1978) e Servain e Seva (1987), o deslocamento da ZCA. Liebman e Smith (1996) utilizaram a variável radiação de onda longa (ROL) para descrever o comportamento climatológico mensal da ZCIT. Já Uvo (1989) analisou a presença da banda de máxima cobertura de nuvens.

Segundo Hastenrath e Lamb (1977), durante os meses de verão (dezembro a fevereiro) no Hemisfério Sul (HS), as regiões de máxima cobertura de nuvens, precipitação e convergência de massa estão bem próximas e localizam-se ao norte da ZCA. Melo et al. (2000), considerando as longitudes de 35°W e 28°W no período de março a abril, também mostraram que a ZCA tende a ter seu posicionamento ao sul da região onde há máxima convergência horizontal dos ventos e da região de mínimos valores de ROL. Diversos autores como Hastenrath e Lamb (1977), Moura e Shukla (1981), Uvo (1989), Rao e Marques (1984),

entre outros, mostraram que a confluência dos ventos e a convergência de massa em baixos níveis, associados à ZCIT, contribuem para o transporte de umidade e o aumento da convecção sobre o NNE.

Por meio de equações primitivas, Pike (1971) encontrou que a localização da ZCIT é influenciada pelo perfil norte-sul da TSM e que a máxima cobertura de nuvens se encontra próxima ou sobre a área de temperatura máxima. Posteriormente, tal fato foi confirmado por alguns autores, por exemplo, Hasternrath e Lamb (1977) e Moura e Shukla (1981).

Durante a migração meridional sazonal da ZCIT (seção 1), seu deslocamento para posições mais ao sul durante o verão no HS está ligado à ocorrência de anos mais chuvosos no NNE, enquanto que posições mais ao norte estão relacionadas a anos mais secos (vide Moura e Shukla (1981), Servain e Seva (1987) e Uvo (1989) entre outros). De acordo com Uvo (1989), uma das características climatológicas da ZCIT é o aparecimento esporádico de uma banda dupla sobre a região do Oceano Atlântico, que ocorre principalmente durante os meses de fevereiro, março e abril, e está relacionada a anos de precipitação mais intensa sobre o NNE.

As médias globais da temperatura próxima à superfície e da TSM têm aumentado nas últimas décadas, impactando na circulação atmosférica global e em fenômenos climáticos regionais (IPCC, 2013). De forma a reunir e disponibilizar estudos acerca das mudanças climáticas foi criado em 1988, pela Organização Meteorológica Mundial (OMM) e pelo Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (Pnuma), o IPCC, que desde então já disponibilizou cinco grandes relatórios. O presente estudo utiliza dados de modelos climáticos examinados no mais recente (quinto) relatório do IPCC, que tem como base de dados os resultados reunidos pelo CMIP5.

O CMIP5 estabeleceu um protocolo para os modelos participantes executarem diferentes experimentos. O experimento denominado “histórico” fornece as condições para examinar a capacidade dos modelos em simular as condições climáticas passadas (TAYLOR; STOUFFER; MEEHL, 2012). Os modelos do CMIP5 têm demonstrado uma melhor representação do estado médio das variáveis atmosféricas, como a temperatura da superfície e a precipitação, do que suas versões anteriores apresentadas no CMIP3 (FLATO et al., 2014). Em relação especificamente à ZCIT, o viés duplo apresentado pelos modelos do CMIP3 foi reduzido no CMIP5 (HIROTA; TAKAYABU, 2013). Além disso, estudos realizados para a variável precipitação sobre a região Nordeste do Brasil, como Guimarães et al. (2016), Guimarães et al. (2013) e Silveira et al. (2013), mostraram que a maioria dos modelos do IPCC-AR5 são capazes de representar os padrões de variabilidade sazonal desta variável.

Para a investigação de mudanças climáticas futuras, o CMIP5 utilizou quatro novos cenários forçantes, denominados de *Representative Concentration Pathways* (RCPs), representantes dos possíveis futuros para emissões de gases de efeito estufa, poluentes atmosféricos e mudanças de uso da terra, sendo conhecidos como: RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0 e RCP8.5 (IPCC, 2013). Esses números que acompanham a sigla “RCP” representam uma estimativa da forçante radiativa resultante no ano de 2100, em relação às condições pré-industriais. Por exemplo, a forçante radiativa no RCP8.5 aumenta ao longo do século XXI até atingir cerca de $8,5 \text{ W m}^{-2}$ no final do século. Há, também, dois cenários intermediários, o RCP4.5 e o RCP6.0, e um cenário de redução, o RCP2.6, no qual a forçante radiativa atinge um máximo próximo ao meio do século XXI para depois diminuir chegando a $2,6 \text{ W m}^{-2}$ (TAYLOR; STOUFFER; MEEHL, 2012).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Descrição da área de estudo

A Região Nordeste do Brasil (NEB) (Figura 3), a qual está inserida a área do foco do estudo, possui uma extensão territorial total de $1.558.196 \text{ km}^2$ (KAYANO; ANDREOLI, 2009), e uma população total estimada de 57,36 milhões de habitantes (IBGE, 2017).



Figura 3- Representação da Região Nordeste do Brasil

Fonte: Francisco. 2018. “Os estados que compõem a região Nordeste”. A Região Nordeste. Acesso em 31 de maio de 2018. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/brasil/a-regiao-nordeste.htm>.

De acordo com a variedade da estrutura geológica e o relevo da região, o NEB pode ser dividido em: formações litorâneas, região sertaneja com relevo aplainado, pequenas serras isoladas e chapadas, Planalto da Borborema, Planalto Baiano e vale do rio São Francisco. Os rios da região são pertencentes às bacias isoladas de diferentes extensões, sendo a maior a do rio São Francisco. Em áreas de clima mais úmido encontram-se rios perenes, isto é, que não secam durante a estiagem, enquanto que sobre áreas mais secas encontram-se rios intermitentes, que secam durante a época de estiagem (SCHNEEBERGERS; FARAGO, 2003).

Devido à localização em baixas latitudes, o NEB apresenta valores elevados de temperatura média anual, entre 20° e 28°C. Nas áreas acima de 200 m e no litoral, as temperaturas são em torno de 24° a 26°C. As médias anuais inferiores a 20°C encontram-se nas áreas mais elevadas da Chapada Diamantina e do Planalto da Borborema (KAYANO; ANDREOLI, 2009).

É possível, de maneira geral, distinguir principalmente três tipos de clima regionais de acordo com a distribuição e intensidade da precipitação anual, que varia entre 300 e 2000 mm. A região que se estende do litoral da Bahia ao do Rio Grande do Norte apresenta o clima litorâneo úmido, com totais de chuva entre 1000 mm e 2000 mm, bem distribuídos ao longo do ano. Devido à maritimidade, essa região apresenta pequena amplitude térmica, com temperaturas médias entre 25°C e 27°C (KAYANO; ANDREOLI, 2009; SCHNEEBERGERS; FARAGO, 2003; TORRES; MACHADO, 2008). A precipitação que ocorre na faixa costeira do litoral leste não avança muito para o interior do continente devido ao Planalto da Borborema, que intercepta a passagem dos ventos úmidos. A oeste da escarpa desse planalto, as chuvas são bem escassas, sendo que sobre seu dorso existe uma região mais elevada que apresenta temperaturas menos elevadas e pluviosidade que varia de 1000-650 mm (SCHNEEBERGERS; FARAGO, 2003; TORRES; MACHADO, 2008).

Na área de transição entre a Amazônia sempre úmida e a zona mais seca tem-se o clima tropical (em áreas dos Estados da Bahia, Ceará, Maranhão e Piauí), onde as temperaturas atingem valores médios de 21°C. As chuvas se concentram no verão, com totais anuais entre 1200-2000 mm (KAYANO; ANDREOLI, 2009; SCHNEEBERGERS; FARAGO, 2003; TORRES; MACHADO, 2008). A partir desta área as precipitações vão se tornando mais escassas até atingir à semiaridez do sertão, onde se define o clima tropical semiárido (em todo o sertão nordestino). As temperaturas são elevadas durante praticamente todo o ano e as chuvas são irregulares, com índice pluviométrico inferior a 600 mm anuais (KAYANO; ANDREOLI, 2009; SCHNEEBERGERS; FARAGO, 2003).

3.2. Metodologia

O período de tempo utilizado neste estudo para investigar o desempenho dos modelos em simular a precipitação e a TSM estende-se do ano de 1979 ao ano de 2005, sendo que o ano de início é justificado pelo aprimoramento dos dados observados pela inserção de dados de satélites e o fim escolhido foi por ser o último ano dos dados das rodadas históricas. Já para examinar as projeções futuras da precipitação dos modelos para o final do século XXI, são utilizadas médias para o período de 2081 a 2099 comparadas às médias correspondentes para as simulações históricas para o período de mesma duração de 1986 a 2004, sendo que estas projeções correspondem aos cenários RCP4.5 e RCP8.5 que foram escolhidos por possuírem maior disponibilidade de modelos que produziram estes resultados.

Algumas características dos modelos do CMIP5 utilizados são apresentadas na Tabela 1. Os dados desses modelos foram obtidos por meio do *Earth System Grid Federation* (ESGF). Para fins comparativos, foram obtidos dados de precipitação do *Global Precipitation Climatology Project* (GPCP) com resolução horizontal de 2,5° x 2,5° de latitude/longitude, que têm origem na combinação de precipitação medida em superfície com a estimada por satélite; e no caso da TSM, os dados dos modelos foram comparados com os da *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA) com resolução horizontal de 2,0° x 2,0° de latitude/longitude. Ambas as séries observacionais foram disponibilizadas pelo *Earth System Research – Laboratory* (ESRL).

Os dados foram processados de modo a ficarem na mesma grade e resolução, para facilitar as comparações realizadas no estudo. Sendo assim, foram calculadas e plotadas médias trimestrais da precipitação, projeções e TSM para dezembro-janeiro-fevereiro (DJF), março-abril-maio (MAM), junho-julho-agosto (JJA) e setembro-outubro-novembro (SON), de modo a representar as diferentes estações do ano. A região examinada nas figuras estende-se da latitude de 18°S a 18°N e da longitude de 50°O a 0°. Para as séries temporais de precipitação foi utilizada a área apresentada na Figura 4, como forma de identificar os modelos que melhor simulam esta variável na região de estudo.

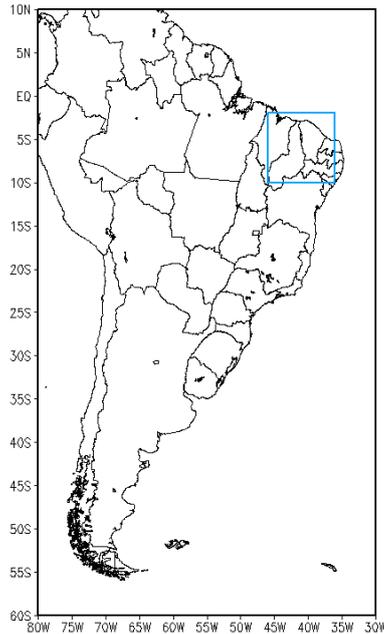


Figura 4 – Área de estudo. Coordenadas: latitude de 10°S a 2°S e longitude de 46°O a 36°O
Fonte: Autor,2018.

Foram calculadas as seguintes estatísticas para auxiliar na escolha dos modelos com melhor desempenho: Variância (1) e Desvio-padrão (2), que são medidas de dispersão dos valores simulados em relação à média (LARSON; FARBER, 2010); Coeficiente de correlação de Pearson (3), que oscila entre -1 e 1, sendo que seu sinal mostra se há uma relação positiva ou negativa entre as variáveis comparadas e sua magnitude sugere a força dessa relação (FIGUEIREDO FILHO; SILVA JÚNIOR, 2009); Raiz quadrada do quadrado médio do erro (4), que é um indicativo da precisão dos resultados; e BIAS (5), que mensura uma tendência de superestimativa ou subestimativa em relação ao observado.

$$1) \text{ var} = \frac{\sum_{i=1}^N (E_i - \bar{E})^2}{N-1}$$

$$2) \text{ dp} = \sqrt{\text{var}}$$

$$3) R = \frac{\sum_{i=1}^N [(E_i - \bar{E})(o_i - \bar{o})]}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (E_i - \bar{E})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^N (o_i - \bar{o})^2}}$$

$$4) \text{ BIAS} = \frac{\sum_{i=1}^N E_i - \sum_{i=1}^N O_i}{N}$$

$$5) \text{ RQME} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (E_i - o_i)^2}$$

Em que:

o_i – Observado.

\bar{o} – Média do observado.

E_i - Simulado.

\bar{E} – Média do simulado.

N- Número total da amostragem.

Tabela 1: Modelos utilizados no estudo.

| Modelo | INSTITUIÇÃO, país | Lat x Lon (Resolução) | Ensemble (Membros) |
|---------------|--|----------------------------------|-------------------------------|
| ACCESS1.0 | Australian Community Climate and Earth-System Simulator 1.0 –ACCESS, Austrália | 1,25x1,875 | 3 |
| ACCESS1.3 | Australian Community Climate and Earth-System Simulator 1.3 –ACCESS, Austrália | 1,25x1,875 | 3 |
| CanESM2 | Centre for Climate Modelling and Analysis –CCCMA, Canadá | 2,791x2,812 | 6 |
| CNRM-CM5 | Centre National de Recherches Meteorologiques/Centre Europeen de Recherche et Formation Avancees en Calcul Scientifique –CNRM/CERFACS, França | 1,401x1,406 | 10 |
| CSIRO-Mk3.6 | Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization/Queensland Climate Change Centre of Excellence - CSIRO-QCCCE, Austrália | 1,865 x 1,875 | 10 |
| EC-EARTH | EC-EARTH consortium , Europa | 1,1215 x 1,125 | 3 |
| GFDL-ESM2M | Geophysical Fluid dynamycs laboratory - NOAA-GFDL, USA | 2,022 x 2,5 | 1 |
| HadGEM2-ES | Met Office Hadley Centre –MOHC, Inglaterra | 1,875x1,25 | 4 |
| IPSL-CM5A-LR | Institute Pierre-Simon laplace –IPSL, França | 1,895x3,75 | 6 |
| MIROC5 | Atmosphere and Ocean Research Institute (Univ. of Tokyo), National Institute for Environmental Studies and Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology –MIROC, Japão | 1,406x1,389 | 5 |
| MPI-ESM-MR | Max Planck Institute for Meteorology –MPI-M, Alemanha | 1,865x1,875 | 3 |
| NorESM1-M | Norwegian Climate Centre –NCC, Noruega | 2,5x1,89 | 3 |

Fonte: Autor, 2018.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo são apresentados os resultados e as discussões relacionados à simulação do ciclo de precipitação sobre o NNE segundo os modelos do CMIP5 (Tabela 1), às projeções da precipitação para o final do século XXI e às simulações da TSM.

A Figura 5 mostra a precipitação associada à ZCIT. Por meio desta nota-se que os modelos e a média dos modelos conseguem de um modo geral representar a variabilidade intersazonal desse sistema meteorológico (Fig. 5: (a) a (m)) em relação ao GPCP (Fig. 5: (n)). Nota-se a migração da ZCIT ao longo do ano, sendo que nos trimestres DJF (verão no HS) e MAM este se encontra mais deslocado para o sul enquanto que em JJA (verão no HN) e SON este se encontra mais deslocado para o norte. No entanto, os modelos não concordam entre si sobre a localização dos centros de máxima precipitação.

Ainda na Fig. 5, percebe-se, também, que para a maior parte dos modelos a precipitação associada à ZCIT tende a ser mais deslocada para o sul do que mostra o observado (Fig. 5(n)). Este deslocamento da precipitação, que também fica claro considerando-se a Fig. 6, (que mostra a diferença, em relação ao dados do GPCP, da precipitação indicada pelos modelos e pela sua média), juntamente com a Fig. 5, ocorre principalmente nos trimestres DJF e MAM, que incluem o período mais chuvoso na região (março-abril). Além disso, grande parte dos modelos tendem a simular uma faixa de precipitação mais alargada na direção norte-sul e com máximos de precipitação mais intensos do que o indicado pelo GPCP, inclusive no trimestre mais chuvoso (MAM). Em geral, no trimestre de DJF, há a presença de uma banda dupla de nebulosidade que não é observada nos dados do GPCP (Fig. 5(n)).

Ressalta-se que o modelo CSIRO-Mk3.6 (Fig. 5(e)) apresenta um comportamento diferente dos demais, pois indica que a precipitação associada à ZCIT ocorre numa faixa relativamente mais estreita e deslocada para o norte em relação ao GPCP, estando afastada do NNE, para todos os trimestres.

A média dos modelos, mostrada na Figura 5(m), indica, em geral, uma distribuição da precipitação mais similar à do GPCP do que a dos modelos tomados individualmente. Através da Figura 6, fica evidente que os erros são, também, menores para essa média.

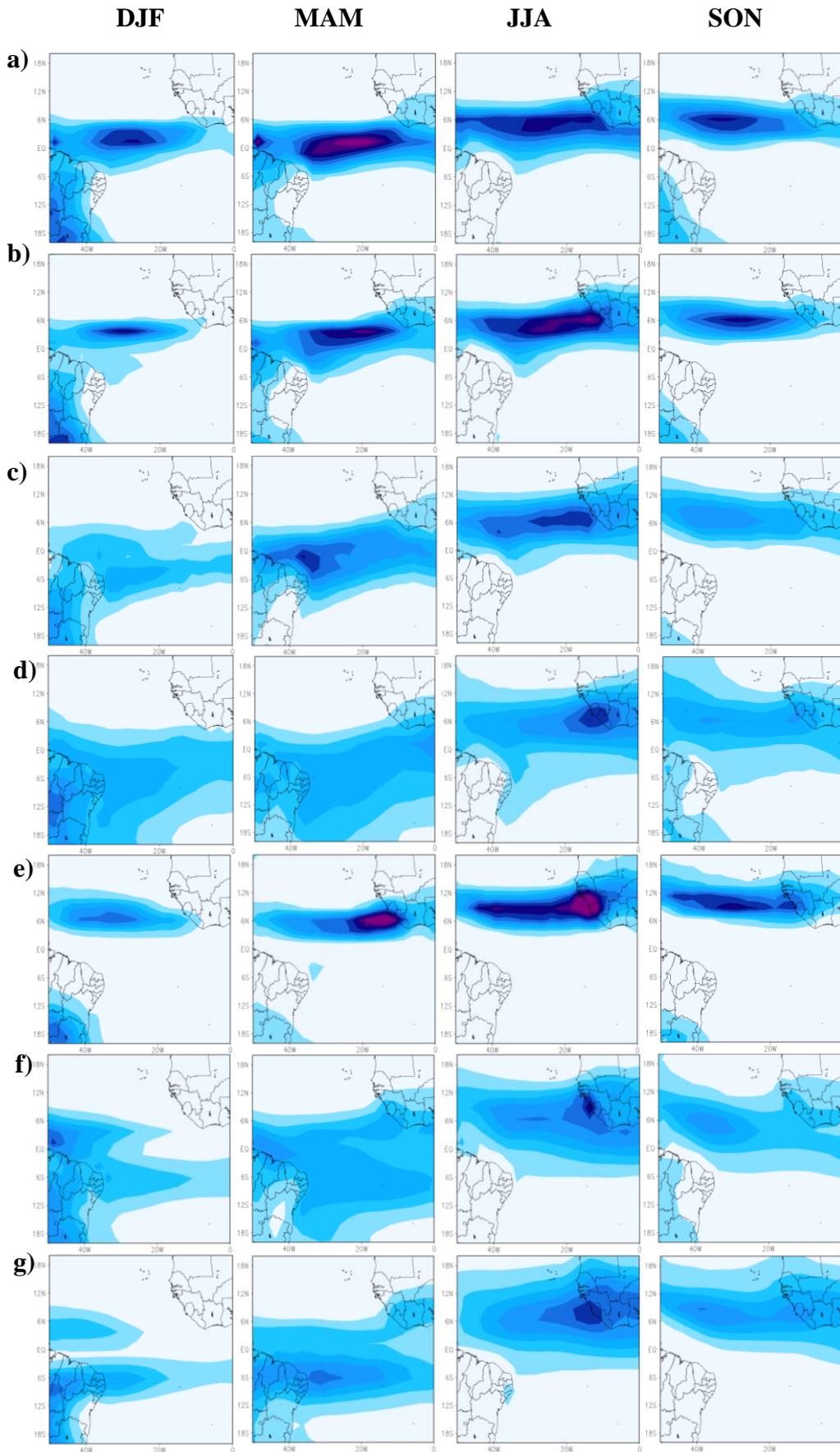


Figura 5 - Médias sazonais das simulações da precipitação (mm/dia) segundo os modelos: (a) ACCESS1-0, (b) ACCESS1-3, (c) CanESM2, (d) CNRM-CM5, (e) CSIRO-Mk3.6, (f) EC-EARTH, (g) GFDL-ESM2M, (h) HadGEM2-ES, (i) IPSL-CM5A-LR, (j) MIROC5, (k) MPI-ESM-MR, (l) NorESM1-M, (m) média dos modelos e (n) GPCP - Parte 1 (Continua)

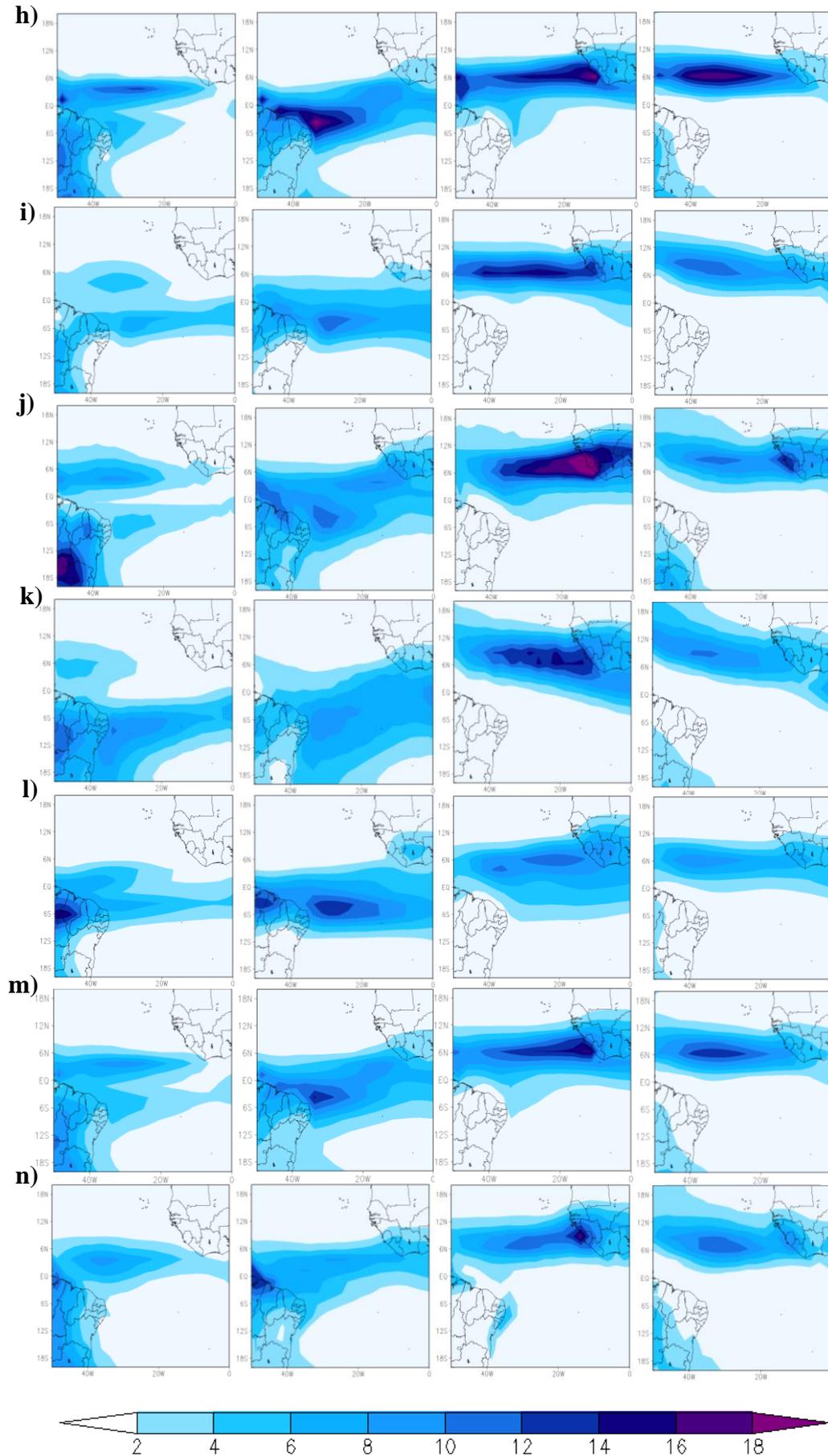


Figura 5 – Parte II (Conclusão)
Fonte: Autor, 2018.

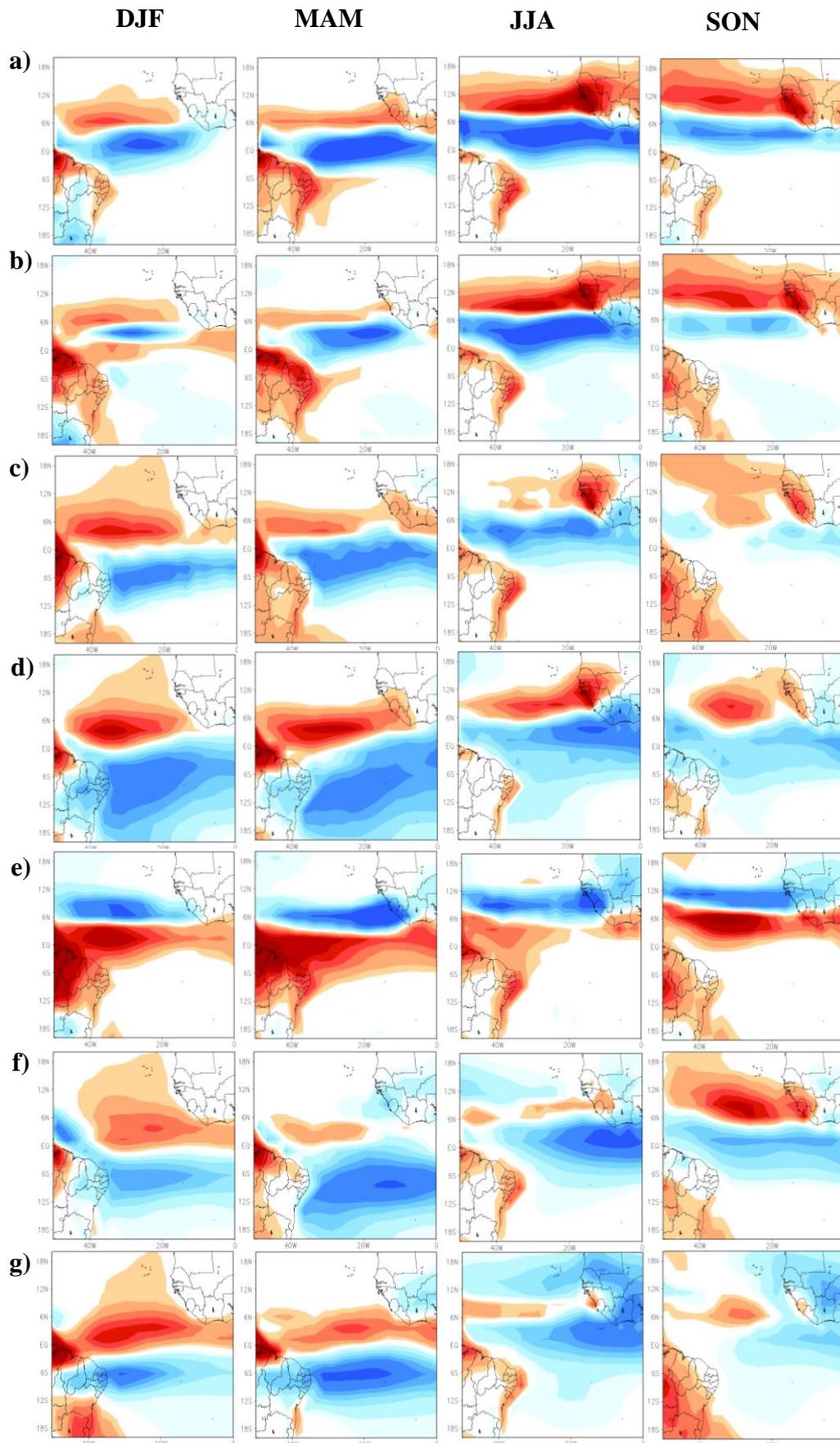


Figura 6 - Diferença em relação aos dados do GPCP para a precipitação (mm/dia) segundo os modelos: (a) ACCESS1-0, (b) ACCESS1-3, (c) CanESM2, (d) CNRM-CM5, (e) CSIRO-Mk3.6, (f) EC-EARTH, (g) GFDL-ESM2M, (h) HadGEM2-ES, (i) IPSL-CM5A-LR, (j) MIROC5, (k) MPI-ESM-MR, (l) NorESM1-M e a (m) média dos modelos – Parte I (Continua)

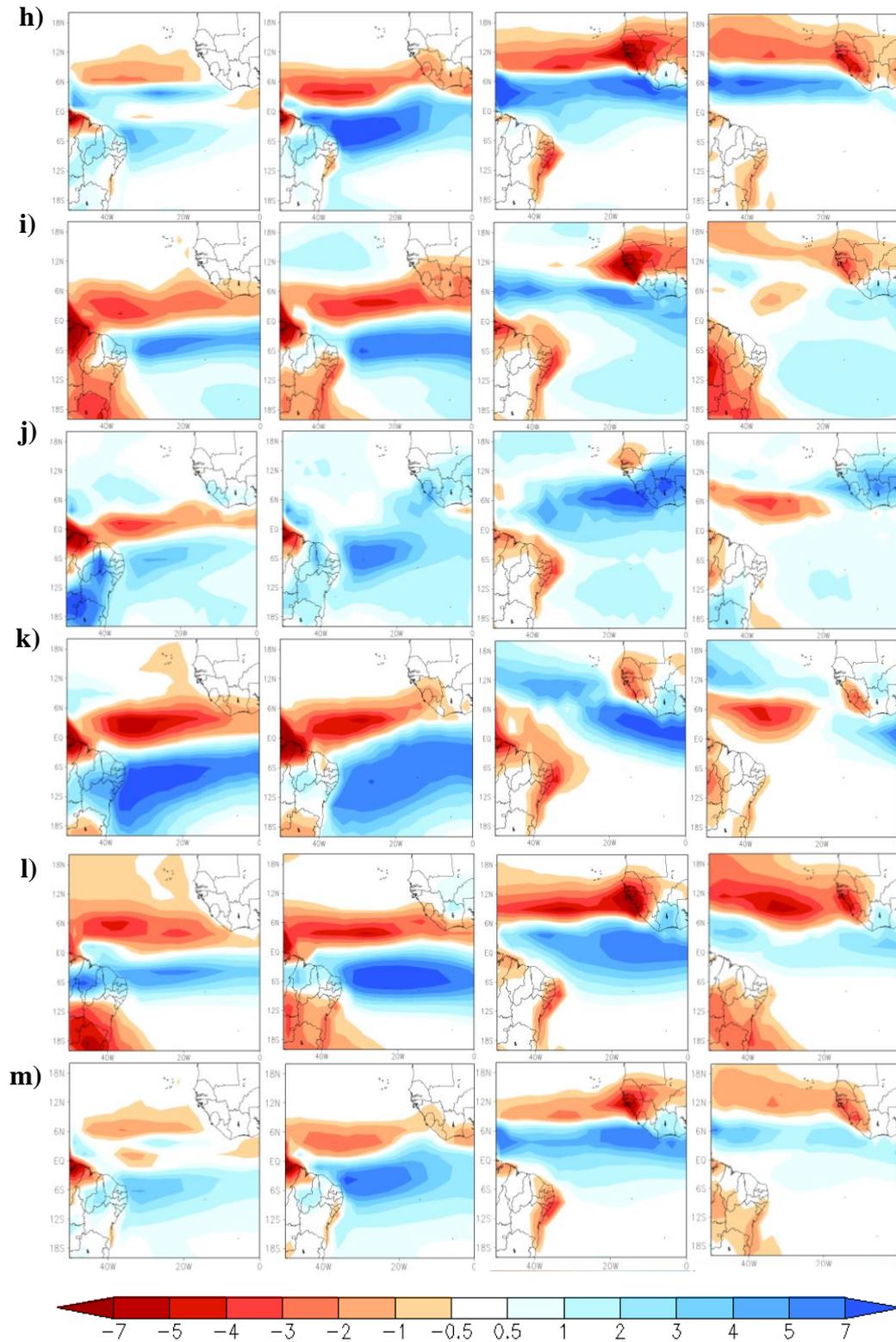


Figura 6 – Parte II (Conclusão)
Fonte: Autor,2018.

A Fig. 7 mostra a série temporal sazonal da precipitação sobre a NNE. Nota-se que os modelos que conseguem representar melhor a variabilidade da precipitação ao longo das estações do ano são o CanESM2, o HadGEM2-ES e o IPSL-CM5A-LR, enquanto que os piores em representar esta variável são o ACCESS1.0, o ACCESS1.3 e o CSIRO-Mk3.6, pois a subestimam ao longo de todas as estações do ano.

O modelo CanESM2 apresenta um valor próximo ao do GPCP para a precipitação em DJF sobre a região, porém a subestima nos demais trimestres. O HadGEM2-ES, superestima a precipitação nos trimestres mais chuvosos (DJF e MAM) e subestima nos trimestres mais secos (JJA e SON). Já o IPSL-CM5A-LR, apresenta um valor próximo ao do GPCP no período mais chuvoso do NNE (MAM) e subestima nos demais trimestres.

Ao comparar as simulações sazonais espaciais com a temporal constata-se que a precipitação presente na caixa correspondente a área escolhida não provém apenas do sistema em estudo, pois, por exemplo, identifica-se que em JJA a maioria dos modelos não possuem sensibilidade para simular a precipitação presente na região costeira que incorpora uma fração da área presente na caixa escolhida (Fig. 4).

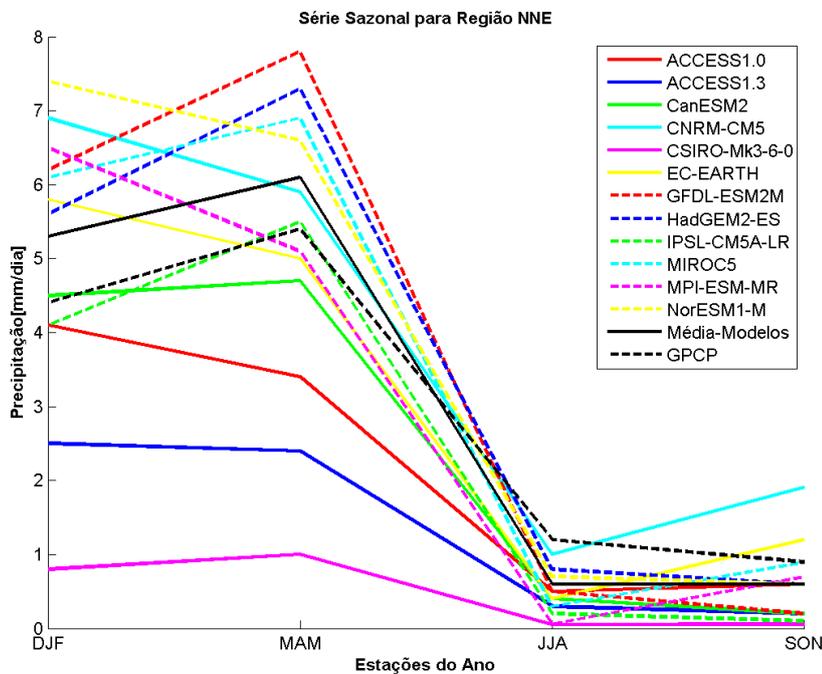


Figura 7 - Variação sazonal média da precipitação (mm/dia) sobre a NNE segundo os modelos: ACCESS1.0, ACCESS1.3, CanESM2, CNRM-CM5, CSIRO-Mk3.6, EC-EARTH, GFDL-ESM2M, HadGEM2-ES, IPSL-CM5A-LR, MIROC5, MPI-ESM-MR, NorESM1-M, média dos modelos e o dado observacional (GPCP)

Fonte: Autor,2018.

Como forma de verificar a destreza dos modelos selecionados para a área escolhida, foram analisados os resultados de algumas estatísticas descritas na seção 3.2. A Tabela 2 apresenta o resultado das estatísticas aplicadas. Nota-se que os modelos CanESM2, HadGEM2-ES e IPSL-CM5A-LR apresentam valores satisfatórios, principalmente em relação à correlação. No entanto, há modelos que apresentam valores que podem ser considerados relativamente melhores para alguns dos cálculos estatísticos, mas que ao serem analisados como mostrado na Fig. 7, revelam-se menos adequados na simulação da variabilidade da precipitação sobre o NNE.

Tabela 2: Resultado das estatísticas calculadas.

| Modelos | Variância | Desvio Padrão | R | RQME | BIAS |
|-------------------|------------------|----------------------|----------|-------------|-------------|
| ACCESS1.0 | 3,5607 | 1,8870 | 0,9454 | 1,0760 | -0,8106 |
| ACCESS1.3 | 1,6744 | 1,2940 | 0,9765 | 1,8709 | -1,6132 |
| CanESM2 | 6,0930 | 2,4684 | 0,9902 | 0,6023 | -0,5122 |
| CNRM-CM5 | 8,5866 | 2,9303 | 0,9374 | 1,3777 | 0,9907 |
| CSIRO-Mk3.6.0 | 0,2390 | 0,4888 | 0,9989 | 2,9554 | -2,4925 |
| EC-EARTH | 7,0493 | 2,6550 | 0,9429 | 0,7965 | 0,1524 |
| GFDL-ESM2M | 15,2558 | 3,9059 | 1,0000 | 1,5519 | 0,7256 |
| HadGEM2-ES | 11,2700 | 3,3571 | 0,9996 | 1,0893 | 0,6147 |
| IPSL-CM5A-LR | 7,4166 | 2,7233 | 0,9991 | 0,6137 | -0,4968 |
| MIROC5 | 11,7091 | 3,4219 | 0,9916 | 1,1655 | 0,5927 |
| MPI-ESM-MR | 10,1806 | 3,1907 | 0,9318 | 1,1600 | 0,1476 |
| NorESM1-M | 13,4391 | 3,6659 | 0,9642 | 1,5961 | 0,8574 |
| Média dos modelos | 8,6962 | 2,9489 | 0,9973 | 0,6012 | 0,1973 |

*As cores em azul destacam as estatísticas dos modelos selecionados.

Fonte: Autor, 2018.

A Fig. 8 mostra a simulação da precipitação apenas para os modelos selecionados e sua média. Dessa forma, ao fazer uma comparação com a Fig. 9 que mostra a projeção segundo o cenário RCP4.5 é perceptível que as projeções não indicam alguma variação no posicionamento deste sistema ao longo das estações do ano. O que se altera ao serem analisadas as Figs. 8 e 9 são as intensidades da precipitação.

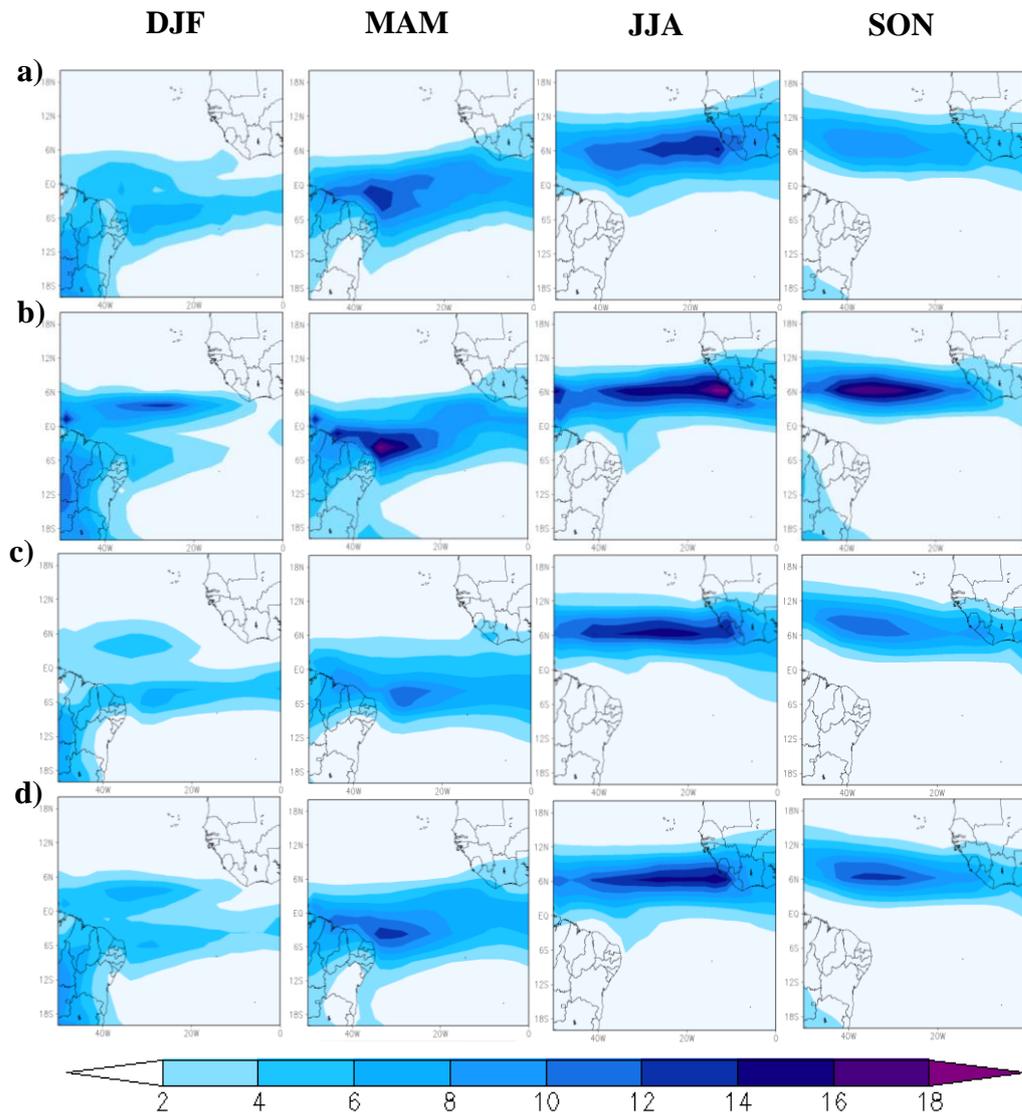


Figura 8 – Médias da simulação da precipitação (mm/dia) no período de DEZ/1986 a NOV/2004 segundo os modelos: (a) CanESM2 (1 membro), (b) HadGEM2-ES (1 membro), (c) IPSL-CM5A-LR (1 membro) e (d) média dos modelos

Fonte: Autor, 2018.

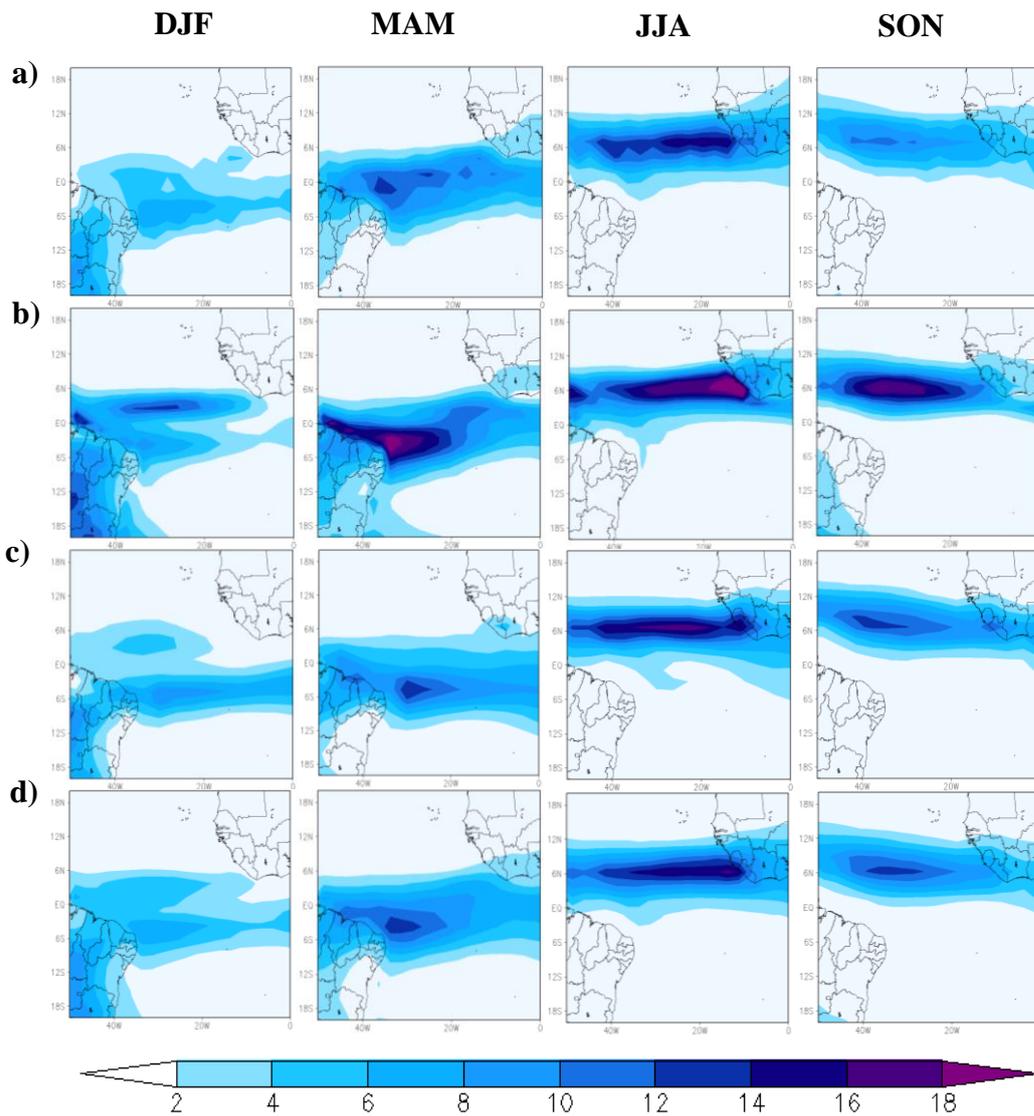


Figura 9 – Projeção RCP 4.5 das Médias da precipitação (mm/dia) segundo os modelos: (a) CanESM2 (1 membro), (b) HadGEM2-ES (1 membro), (c) IPSL-CM5A-LR (1 membro) e (d) média dos modelos

Fonte: Autor,2018.

A Fig. 10 mostra a diferença da projeção do cenário RCP4.5 e a simulação. Por meio desta observa-se que o modelo CanESM2 é o único que mostra a desintensificação da precipitação enquanto que os modelos HadGEM2-ES e IPSL-CM5A-LR exibem uma intensificação da variável, sendo que o HadGEM2-ES projeta maior magnitude de intensificação. Em comparação, a média dos modelos projeta uma pequena intensificação da precipitação.

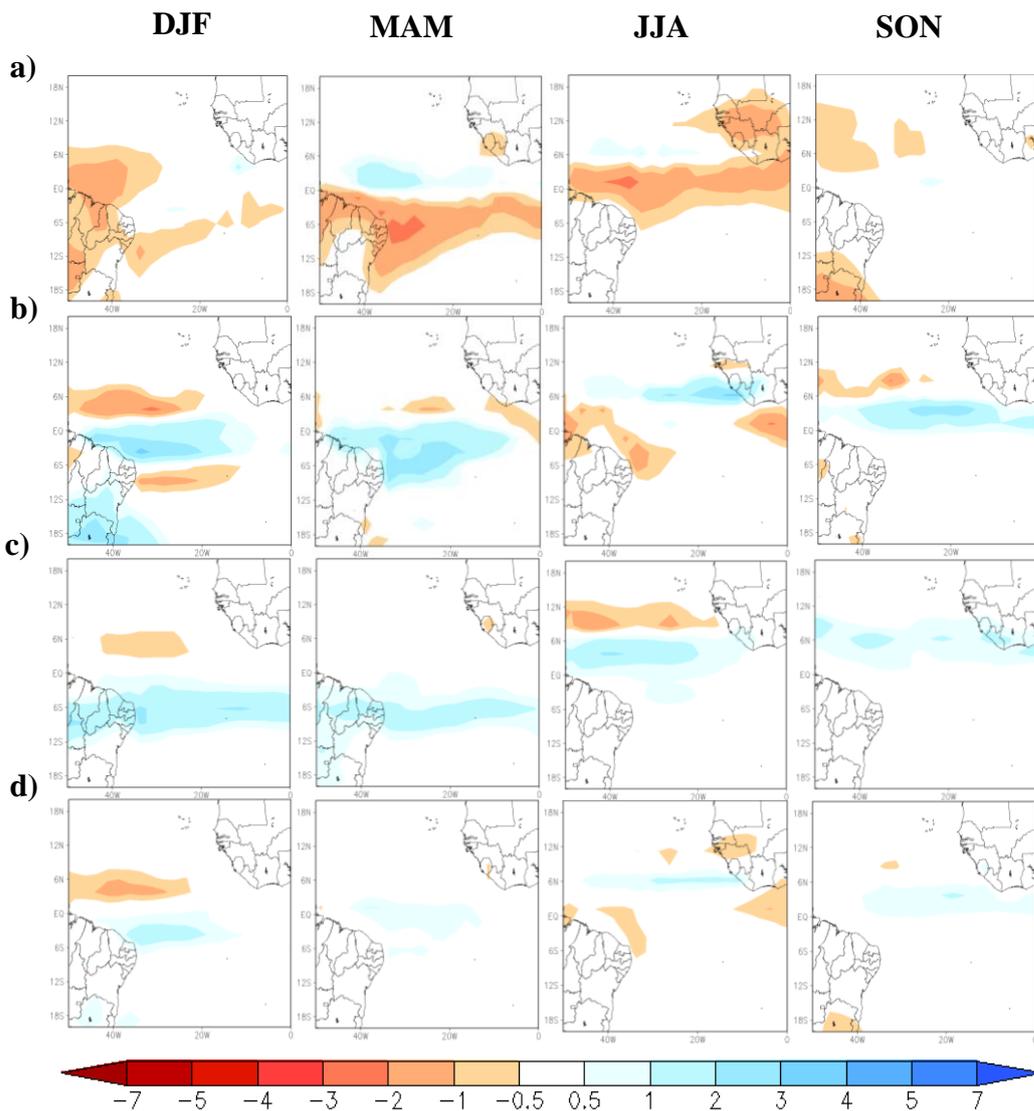


Figura 10 - Diferença RCP 4.5 em relação aos dados da simulação para a precipitação (mm/dia) segundo os modelos: (a) CanESM2 (1 membro), (b) HadGEM2-ES (1 membro), (c) IPSL-CM5A-LR (1 membro) e (d) média dos modelos

Fonte: Autor, 2018.

A Fig. 11 mostra a projeção da precipitação segundo o cenário RCP8.5 para os modelos selecionados e para a sua média. Ao ser comparada com a simulação (Figura 8), observa-se que as projeções em geral também não apresentam deslocamento do núcleo de máxima precipitação associado ao sistema meteorológico atuante sobre a região de estudo, mas sim projetam variação da intensidade da precipitação.

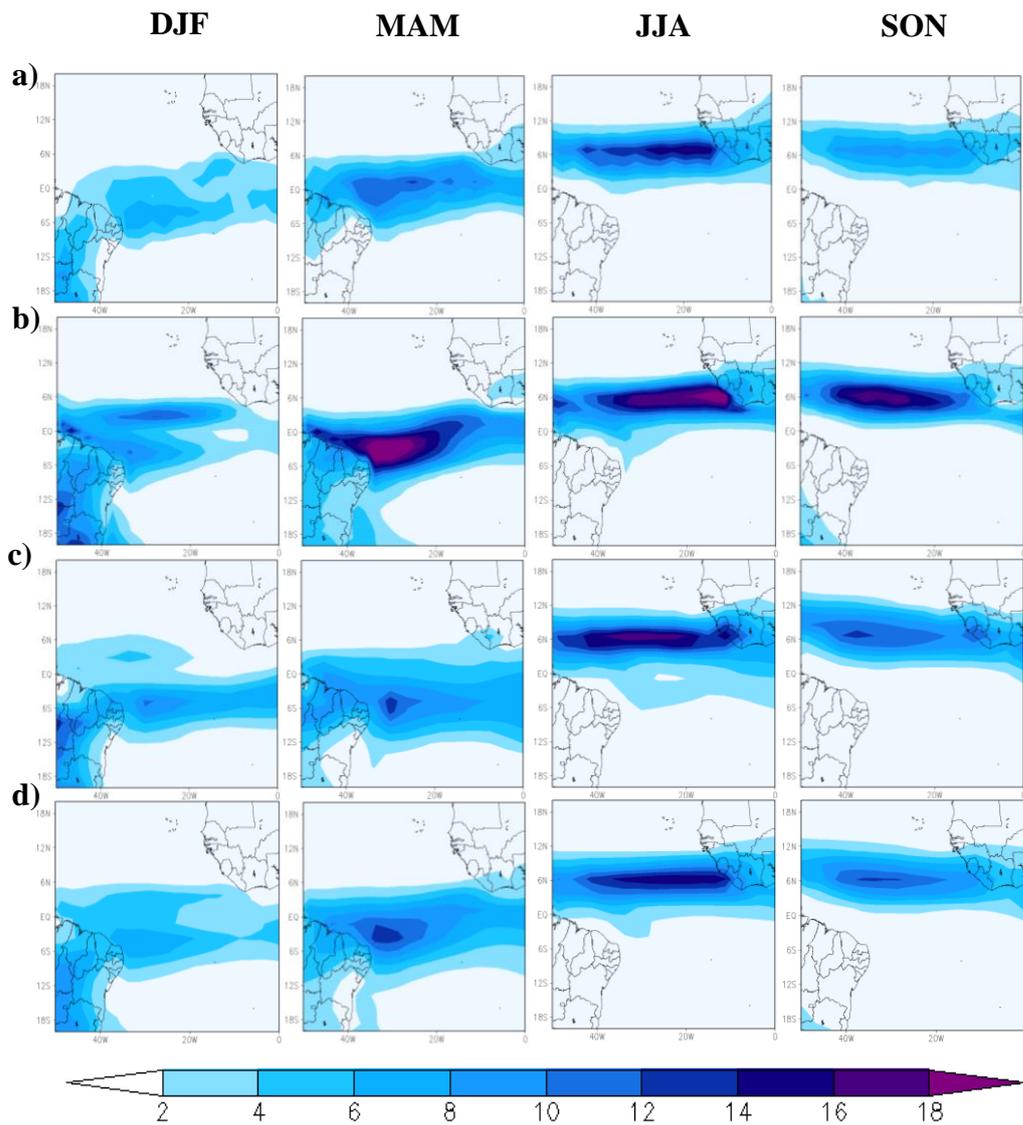


Figura 11 – Projeção RCP 8.5 das Médias da precipitação (mm/dia) segundo os modelos: (a) CanESM2 (1 membro), (b) HadGEM2-ES (1 membro), (c) IPSL-CM5A-LR (1 membro) e (d) média dos modelos

Fonte: Autor, 2018.

A partir da Fig. 12, que corresponde à diferença entre as projeções RCP8.5 e as simulações, é possível notar que os modelos HadGEM2-ES e IPSL-CM5A-LR projetam intensificação da precipitação, enquanto que no caso do modelo CanESM2 há predominância de diferenças mais negativas sobre o domínio de estudo (desintensificação). Em contrapartida, a média dos modelos ainda continua projetando pequenos aumentos na intensidade da variável em discussão.

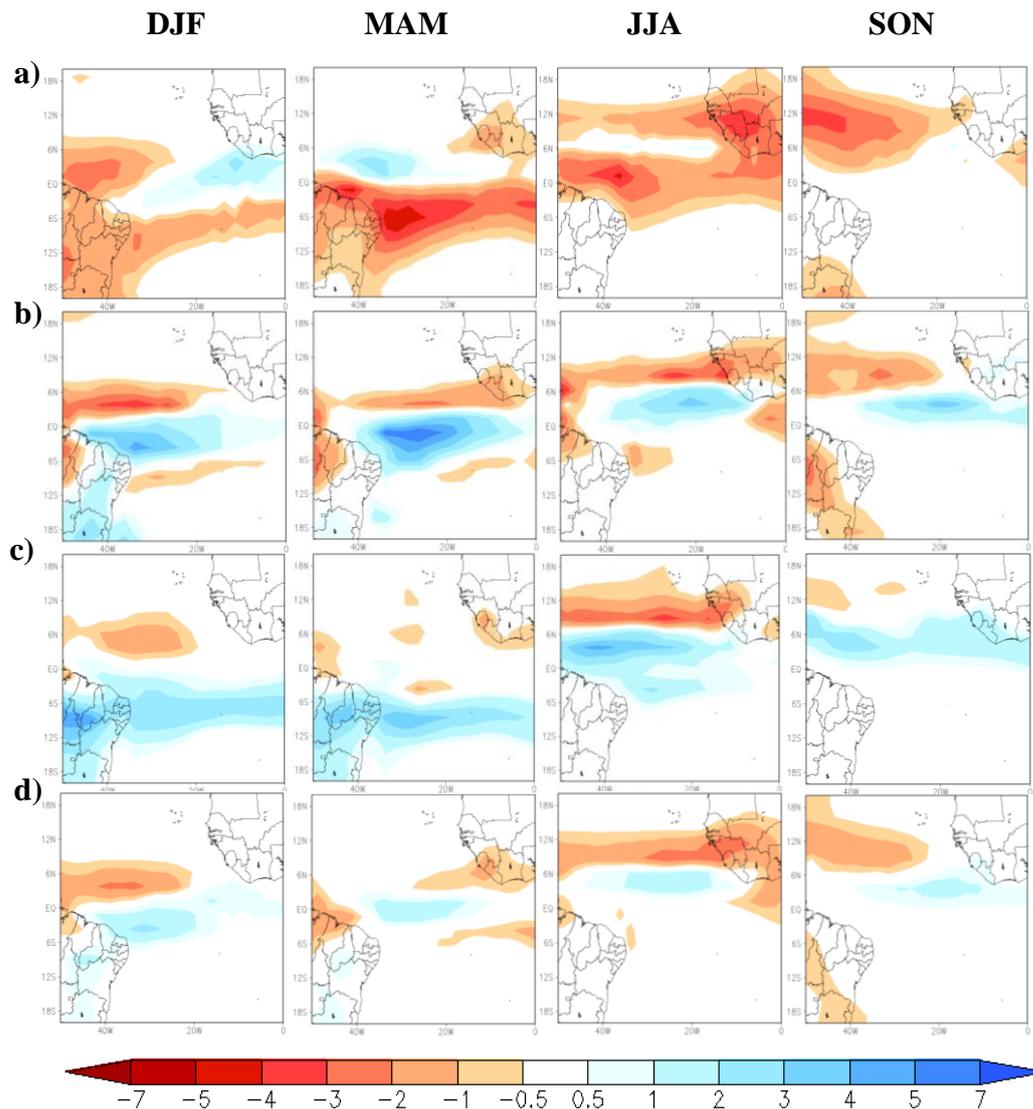


Figura 12 - Diferença RCP 8.5 em relação aos dados da simulação para a precipitação (mm/dia) segundo os modelos: (a) CanESM2 (1 membro), (b) HadGEM2-ES (1 membro), (c) IPSL-CM5A-LR (1 membro) e (d) média dos modelos

Fonte: Autor, 2018.

A Fig. 13 mostra a distribuição da TSM e da precipitação dos modelos analisados e da observação. Verifica-se que o modelo CanESM2 mostra uma magnitude maior de TSM em relação ao observado. Nota-se, também, que o aumento da TSM acompanha a migração da intensidade de radiação solar nos hemisférios ao longo das estações do ano e as linhas de precipitação, de certa forma, acompanham a variação da TSM. Em geral, os máximos de precipitação estão associados aos máximos valores de TSM.

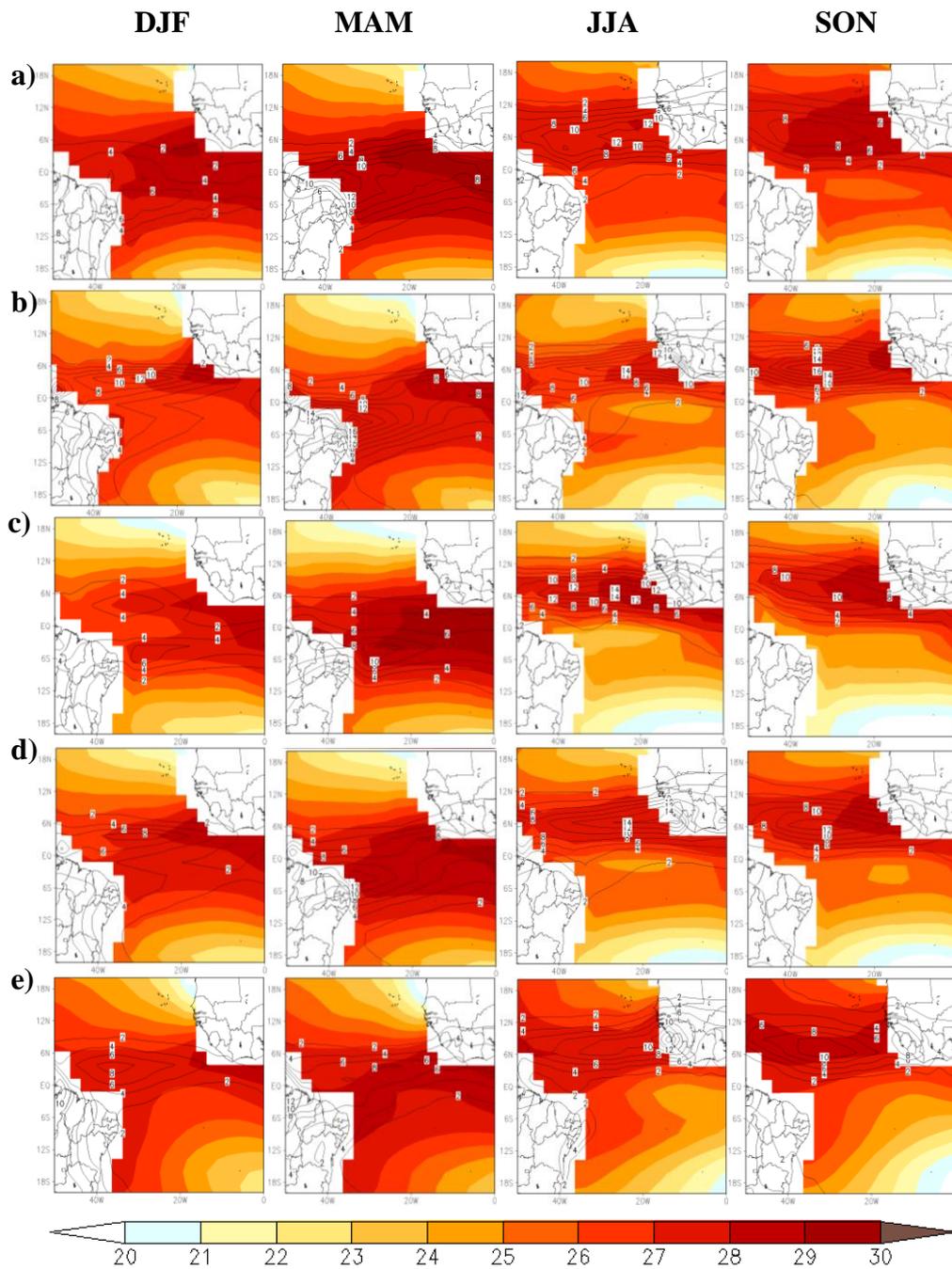


Figura 13 – Médias da temperatura da superfície do mar ($^{\circ}\text{C}$) em sombreado e precipitação (mm/dia) em linhas de contorno segundo os modelos: (a) CanESM2 (5 membros), (b) HadGEM2-ES (4 membros), (c) IPSL-CM5A-LR (6 membros), (d) média dos modelos e (e) NOAA

Fonte: Autor, 2018.

Por meio da Fig. 13, também é possível associar, a precipitação com os valores intensos de TSM simuladas pelos modelos mais a leste do domínio, que exibem a presença de uma banda dupla no trimestre de DJF sobre o Oceano Atlântico, visto que estes tendem a simular a banda mais ao sul se estendendo em direção a leste. Quanto ao trimestre mais chuvoso (MAM) a faixa de precipitação é simulada mais alargada e isto está também

relacionado a forma como os modelos simulam a TSM, com valores mais intensos em uma faixa expandida em relação ao observado.

A comparação da TSM dos modelos selecionados e da média destes com o observado pela NOAA é retratada na Fig. 14. Em geral nota-se que os modelos e a média dos modelos superestimam os valores de TSM a leste do domínio estudado próximo ao litoral da África, sendo que o modelo CanESM2 é o que mostra valores maiores de magnitude de diferença sobre uma área mais ampla. Outra observação nítida é a de que os modelos HadGEM2-ES e IPSL-CM5A-LR e a média dos modelos tendem a subestimar a TSM mais próximo à costa do Brasil nos trimestres mais secos (JJA e SON).

O modelo que melhor simulou a TSM foi o HadGEM2-ES, que apresentou erros entre $-0,5^{\circ}\text{C}$ a $0,5^{\circ}\text{C}$ a leste do domínio nos trimestres mais chuvosos (DJF e MAM), enquanto que nos trimestres mais secos (JJA e SON) subestimou a TSM, mais próximo à costa, entre $-1,5^{\circ}\text{C}$ a -1°C .

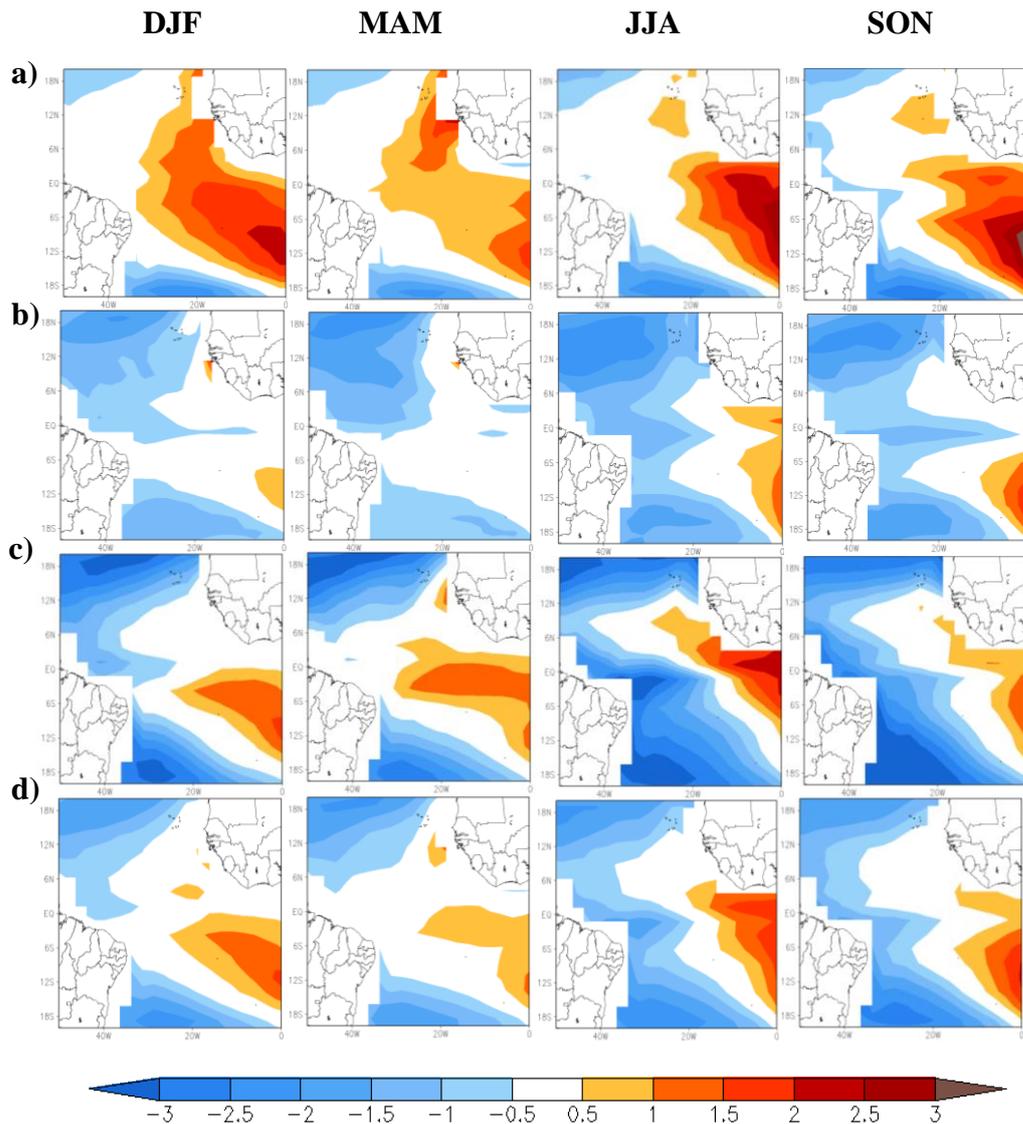


Figura 14 - Diferença em relação aos dados da NOAA para a temperatura da superfície do mar (°C) segundo os modelos: (a) CanESM2 (5 membros), (b) HadGEM2-ES (4 membros), (c) IPSL-CM5A-LR (6 membros) e (d) média dos modelos

Fonte: Autor,2018.

5. CONCLUSÃO

As análises realizadas neste estudo indicaram que os modelos investigados apresentam diferentes desempenhos para cada trimestre analisado em relação às séries observacionais. Por meio dos resultados das séries temporais das simulações de precipitação sobre o NNE pode-se escolher três modelos que se destacaram em relação aos demais: CanESM2, HadGEM2-ES e o IPSL-CM5A-LR. Por outro lado, os três piores modelos para a região foram o ACCESS1.0, o ACCESS1.3 e o CSIRO-Mk3.6.

Em relação às projeções (RCP4.5 e RCP8.5), em geral, não há indicação de deslocamento da precipitação associada à ZCIT. No entanto, o modelo CanESM2 é o único dentre os três analisados (CanESM2, HadGEM2-ES e o IPSL-CM5A-LR) que representa uma desintensificação dessa variável.

Em relação à simulação da TSM, o modelo HadGEM2-ES tem melhor desempenho em relação aos demais e a forma como os modelos simulam a precipitação está associado ao comportamento exibido pelas suas simulações dessa variável.

6. REFERÊNCIAS

ESGF - Earth System Grid Federation - Lawrence Livermore National Laboratory. Livermore, Califórnia, EUA. Disponível em: <<http://pcmdi.llnl.gov/projects/esgf-llnl>>. Acesso em: 22 mar. 2018.

ESRL - Earth System Research - Laboratory –Physical Sciences Division (GPCP). Boulder, Colorado, EUA. Disponível em:<<https://www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/data.noaa.ersst.v5.html>>. Acesso em: 22 mar. 2018.

ESRL - Earth System Research - Laboratory –Physical Sciences Division (NOAA). Boulder, Colorado, EUA. Disponível em: <<https://www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/data.gpcp.html>>. Acesso em: 1 out. 2018.

ESTOQUE, M. A.; DOUGLAS, M. Structure of the intertropical convergence zone over the GATE area. **Tellus**, New York, v. 30, n. 1, p. 55-61, 1978.

FERREIRA, A. G.; MELLO, N. G. S. Principais sistemas atmosféricos atuantes sobre a região nordeste do Brasil e a influência dos oceanos Pacífico e Atlântico no clima da região. **Revista Brasileira de Climatologia**, Curitiba, v. 1, n. 1, p. 15-28, 2005.

FERREIRA, N. S. Zona de convergência intertropical. **Boletim do Climanálise Especial - Comemoração dos 10 anos**, São Paulo, 1996.

FIGUEIREDO FILHO, D. B; SILVA JÚNIOR, J. A. Desvendando os mistérios do coeficiente de correlação de Pearson (r). **Revista Política Hoje**, Recife, v. 18, n. 1, p. 115-146, 2009.

FLATO, G. et al. Evaluation of climate models. In: STOKER, T. F. et al. **Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**, Cambridge: Ed. Cambridge University Press, 2013. p. 741-882.

GUIMARÃES, S. O. et al. Projeções de mudanças climáticas sobre o nordeste brasileiro dos modelos do CMIP5 e do CORDEX. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São José dos Campos, v. 31, n. 3, p. 337-365, 2016.

GUIMARÃES, S. O. et al. Projeções de precipitação dos modelos do CMIP5 para o cenário RCP8.5 sobre o nordeste brasileiro. **Revista Ciência e Natura**, Santa Maria, v. 35, p. 490-492, 2013.

HASTENRATH, S.; HELLER, L. Dynamics of climatic hazards in northeast Brazil. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, London, v. 103, n.435, p. 77-92, 1977.

HASTENRATH, S.; LAMB, P. Some aspects of circulation and climate over the eastern equatorial Atlantic. **Monthly Weather Review**, Boston, v. 105, n. 8, p. 1019-1023, 1977.

HIROTA, N.; TAKAYABU, Y. N. Reproducibility of precipitation distribution over the tropical oceans in CMIP5 multi-climate models compared to CMIP3. **Climate Dynamics**, New York, v. 41, n. 11-12, p. 2909–2920, 2013.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <ftp://ftp.ibge.gov.br/Estimativas_de_Populacao/Estimativas_2017/estimativa_TCU_2017_20180517.pdf>. Acesso em: 31 maio 2018.

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change, Fifth Assessment Report. Disponível em: <<http://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1>>. Acesso em: 02 jun. 2018.

KAYANO, M. T.; ANDREOLI, R. V. F. Clima da região nordeste do Brasil. In: CAVALCANTI, I. F. A. et al. (Org.). **Tempo e clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de textos, 2009. p. 213-233.

LARSON, R.; FARBER, B. **Estatística Aplicada**. 4. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2010.

LIEBMANN, B.; SMITH, C. A. Description of a complete (interpolated) outgoing longwave radiation dataset. **Bulletin of the American Meteorological Society**, New York, v. 77, n. 6, p. 1275-1277, 1996.

MELO, A. B. C.; CAVALCANTI, I. F. A.; SOUZA, P. P. Zona de convergência intertropical do Atlântico. In: CAVALCANTI, I. F. A. et al. (Org.). **Tempo e clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de textos, 2009. p. 25-41.

MELO, A. B. C. et al. Estudo climatológico da posição da ZCIT no Atlântico Equatorial e sua influência sobre o Nordeste do Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 11., 2000, Rio de Janeiro. **Anais**. Rio de Janeiro: SBMet, 2000.

MOURA, A. D.; SHUKLA, J. On the dynamics of droughts in northeast Brazil: observations, theory, and numerical experiments with a general circulation model. **Journal of the Atmospheric Sciences**, Boston, v. 38, n. 12, p. 2653-2675, 1981.

PIKE, A. C. Intertropical convergence zone studied with an interacting atmosphere and ocean model. **Monthly Weather Review**, Boston, v. 99, n. 6, p. 469-477, 1971.

RAO, V. B.; MARQUES, V. S. Water vapor characteristics over northeast Brazil during two contrasting years. **Journal of Climate Applied Meteorology**, New York, v. 23, n. 6, p. 440-444, 1984.

SCHNEEBERGER, C. A.; FARAGO, L. A. **Minimanual compacto de geografia do Brasil: teoria e prática**. 1. ed. São Paulo: Ed. Rideel, 2003.

SERVAIN, J.; SEVA, M. On relationships between tropical Atlantic sea surface temperature, wind stress and regional precipitation indices: 1964-1984. **Ocean Air Interactions**, London, v. 1, p. 183-190, 1987.

SILVEIRA, C. S. et al. Avaliação de desempenho dos modelos do CMIP5 quanto à representação dos padrões de variação da precipitação no século XX sobre a região nordeste do Brasil, Amazônia e Bacia do Prata e análise das projeções para o cenário RCP8.5. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São José dos Campos, v. 28, n. 3, 2013.

TAYLOR, K. E.; STOUFFER, R. J.; MEEHL, G. A. An overview of CMIP5 and the experiment design. **Bulletin of the American Meteorological Society**, New York, v. 93, n. 4, p. 485-498, 2012.

TORRES, F. T. P.; MACHADO, P. J. O. **Introdução à climatologia**. Ubá: Ed. Geographica, 2008.

UVO, C. B. **A Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e sua Relação com a Precipitação na Região Norte do Nordeste Brasileiro**. 1989. 99 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) –Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1989.

UVO, C. B. et al. The relationship between tropical Pacific and Atlantic SST and northeast Brazil monthly precipitation. **Journal of Climate**, London, v. 11, n. 4, p. 551-562, 1998.

UVO, C.; NOBRE, C. A. A zona de convergência intertropical (ZCIT) e a precipitação no norte do nordeste do Brasil. Parte I: A posição da ZCIT no Atlântico equatorial. **Climanálise**, Cachoeira Paulista, v. 4, n. 7, p. 34–44, 1989a.

UVO, C.; NOBRE, C. A. A zona de convergência intertropical (ZCIT) e a precipitação no norte do nordeste do Brasil. Parte II: A influência dos ventos e TSM do Atlântico tropical. **Climanálise**, Cachoeira Paulista, v. 4, n. 10, p. 39–47, 1989b.