



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



FELIPE SOUZA DOS SANTOS

DISSERTAÇÃO

**Avaliação da Variabilidade Climática no Verão Sobre a Região
Nordeste do Brasil Simuladas pelo Modelo Global BAM**

Maceió – AL

Maior de 2021

FELIPE SOUZA DOS SANTOS

DISSERTAÇÃO

**Avaliação da Variabilidade Climática no Verão Sobre a Região
Nordeste do Brasil Simuladas pelo Modelo Global BAM**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Meteorologia do Instituto de Ciências Atmosféricas da Universidade Federal de Alagoas, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Meteorologia, área de Modelagem atmosférica e concentração de Processos de Superfície Terrestre.

Orientador: Prof. Dr. Heliofábio Barros Gomes

Coorientador: Prof. Dr. Helber Barros Gomes

Maceió – AL

Maio de 2021

**Catálogo na Fonte Universidade
Federal de Alagoas Biblioteca
Central
Divisão de Tratamento Técnico**

Bibliotecário: Marcelino de Carvalho Freitas Neto – CRB-4 – 1767

S237a Santos, Felipe Souza dos.
Avaliação da variabilidade climática no verão sobre a região
Nordeste do Brasil simuladas pelo Modelo Global BAM / Felipe
Souza dos Santos. – 2021.
55 f. : il.

Orientador: Heliofábio Barros
Gomes. Co-orientador: Helber
Barros Gomes.

Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Universidade Federal de
Alagoas.
Instituto de Ciências Atmosféricas. Maceió, 2021.

Bibliografia: f. 44-53.



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

CERTIFICADO DE APRESENTAÇÃO

N.º de ordem: MET-UFAL-MS-178.

**“AVALIAÇÃO DA VARIABILIDADE CLIMÁTICA NO VERÃO SOBRE
A REGIÃO NORDESTE DO BRASIL SIMULADAS PELO MODELO
GLOBAL BAM.”**

FELIPE SOUZA DOS SANTOS

Dissertação submetida ao colegiado do Curso de Pós-Graduação em Meteorologia da Universidade Federal de Alagoas - UFAL, como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Meteorologia.

Aprovado pela Banca Examinadora composta por:

Prof. Dr. Heliofábio Barros
Gomes(Orientador)

Prof. Dr. Helber Barros Gomes
(Coorientador)

Prof. Dr. Fabrício Daniel dos Santos
Silva(Membro Interno)

Prof. Dr. Dirceu Luis
Herdies(Membro Externo)

Prof. Dr. Silvio Nilo Figueroa Rivero
(Membro
Externo)

Mai/2021

*“Nossas virtudes e nossos defeitos são
inseparáveis, assim como a força e a
matéria. Quando se separam, o homem
deixa de existir.”*

(Nikola Tesla)

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a meus pais, Manoel Tributino dos Santos e Cícera Souza da Silva, por sempre terem me apoiado e incentivado em cada escolha feita por mim, por nunca me deixar desistir e sempre lutar pelos meus sonhos, proporcionando todo suporte para que eu seguisse minhas metas.

A minha noiva Maria Karoline de Lucena Rocha, por sempre acreditar nos meus sonhos, por toda a parceria, cumplicidade, amizade, paciência e principalmente amor durante todo o período que precisei me ausentar para me dedicar ao trabalho.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, quero agradecer a Deus pelo dom da vida e por tudo que ele fez e faz em minha vida, a todos os meus professores do ICAT que me ajudaram a chegar até aqui. Gostaria de agradecer em especial ao professor Dr. Heliofábio Barros Gomes, por ter me acolhido como um pai desde do primeiro semestre da graduação, orientando e ajudando em tudo no ICAT e laboratório SENSORGEO. Ao professor Dr. Helber Barros Gomes, pela orientação, parceria, amizade e paciência.

Gostaria de agradecer também aos professores Drs. Dirceu Luis Herdies, Silvio Nilo Figueroa Rivero e José Fabrício Daniel dos Santos Silva por terem aceitado participar da Banca Examinadora.

O ICAT me proporcionou a honra de realiza mais que apenas amigos, verdadeiros irmãos, então gostaria de agradecer também por toda a ajuda, força, companherismos e amizade o Eli Moises dos Santos Silva, Laurizio Emanuel Ribeiro Alves e Ismael guidson Farias de Freitas. Agradeço ainda a um irmão que a vida e o Mestrado em Meteorologia da UFAL me trouxe, Glauber Vinícius Pinto de Barros, você tornou as tardes de ciência no SENSORGEO muito mais alegres.

A UFAL e ao Programa de Pós-Graduação em Meteorologia do ICAT por me concederem a oportunidade de formação. Em especial, gostaria de agradecer também ao projeto Desenvolvimento de modelagem do sistema Terrestre (CAPES) que é coordenado pelo, Dr. Dirceu Luis Herdies, o qual concedeu-me uma bolsa de estudo.

RESUMO

O Nordeste brasileiro (NEB) sofre com a irregularidade da distribuição das chuvas em todo o seu território. Essa variabilidade está ligada aos vários sistemas meteorológicos responsáveis pelos mecanismos que regulam a chuva e temperatura do ar, bem como ocasionam grandes problemas socioeconômicos para a população. Assim, o objetivo do presente estudo é avaliar o desempenho do modelo Atmosférico Global Brasileiro (BAM - *Brasilian atmospheric Model*) em simular a variabilidade do clima regional no NEB e as características da circulação atmosférica associadas durante os verões austrais de 2011 (La Niña), 2014 (Normal) e 2016 (El Niño). As simulações do modelo BAM foram obtidas junto ao Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos/Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (CPTEC/INPE). As análises mostram que o BAM foi hábil em simular os padrões de circulação atmosférica e temperatura do ar nos baixos e altos níveis da atmosfera sobre o NEB e a variabilidade interanual durante os verões supracitados, quando comparado as reanálises do ERA5 e MERRA2, assim como para precipitação, porém comparado às análises do GPCP. As melhores destrezas foram observadas para o campo de temperatura do ar em todas as áreas investigadas, relativo ao campo de precipitação, durante os três verões austrais. No entanto, sobre a região compreendida por grande parte da Bahia e porções sul do Piauí e leste do Tocantins (região NE2), tanto a variável precipitação como temperatura do ar apresentaram os maiores valores de BIAS e RMSE.

Palavras-chave: Variabilidade interanual, Modelo BAM, Reanálises, Nordeste do Brasil.

ABSTRACT

The Brazilian Northeast (NEB) suffers from the irregular distribution of rainfall throughout its territory. This variability is linked to the various meteorological systems responsible for the mechanisms that regulate rain and air temperature, as well as causing major socioeconomic problems for the population. Thus, the objective of the present study is to evaluate the performance of the model (BAM - *Brasilian atmospheric Model*) to simulate the variability of the regional climate in the NEB and the associated atmospheric circulation characteristics during the southern summers of 2011 (La Niña), 2014 (Normal) and 2016 (El Niño). The simulations of the BAM model were obtained from the Weather Forecast and Climate Studies Center / National Institute for Space Research (CPTEC / INPE). The analyzes show that BAM was able to simulate the patterns of atmospheric circulation and air temperature in the low and high levels of the atmosphere over the NEB and the interannual variability during the aforementioned summers, when compared to the reanalysis of ERA5 and MERRA2, as well as for precipitation, however compared to the GPCP analyzes. The best skills were observed for the air temperature field in all areas investigated, relative to the precipitation field, during the three southern summers. However, over the region comprised by a large part of Bahia and portions south of Piauí and east of Tocantins (NE2 region), both the precipitation variable and the air temperature showed the highest BIAS and RMSE values.

Keywords: Interannual variability, Model BAM, Reanalysis, Northeast of Brazil.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Mapa de localização do Nordeste Brasileiro (NEB), e distribuição de altitude (m)..	20
Figura 2 - Arquitetura funcional do modelo ERA-5.....	Erro! Indicador não definido.
Figura 3 - Campo médio sazonal do vetor vento (m/s) e intensidade (colorido) no sétimo nível sigma (~850 hPa) para os verões de 2016 (a, b, c), 2010 (d, e, f) e 2014 (g, h, i): ERA-5 (coluna esquerda), MERRA-2 (coluna central) e BAM (coluna direita). O intervalo de intensidade é de 2m/s e vetor de referência de 10 m/s.	32
Figura 4 - Campo médio sazonal do vetor vento (m/s) e intensidade (colorido) no sétimo nível sigma (~850 hPa) para os verões de 2015 (a, b, c), 2010 (d, e, f) e 2013 (g, h, i): ERA-5 (coluna esquerda), MERRA-2 (coluna central) e BAM (coluna direita).....	34
Figura 5 - Campo médio sazonal de temperatura do ar a (~850 hPa), BAM (coluna direita), ERA-5 (coluna esquerda). As unidades são em °C.....	36
Figura 6 - Campo de precipitação média sazonal. BAM (coluna esquerda), GPCP (coluna central) BIAS (coluna direita). As unidades são em mm/dia.	38
Figura 7 - Subdivisões das áreas para avaliação objetiva.....	39

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Configuração do modelo utilizado nas simulações..	22
Tabela 2 - Atributos e metadados globais associados ao ERA-5...	26
Tabela 3 - Atributos e metadados globais associados ao MERRA2..	28
Tabela 4 - Análise estatística da temperatura do ar e precipitação sazonal nas três regiões de verificação (SE1, SE2, SU1, SU2, CO1, CO2, TOT) através do erro médio (BIAS), raiz do erro médio quadrático (RMS) e coeficiente de correlação (r).....	41

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Símbolo	Descrição	Unidade
AGCM	Atmospheric Global Circulation Model	-
ASAS	Alta Subtropical do Atlântico Sul	-
AS	América do Sul	-
AER	Atmospheric and Environmental Research, Inc.	-
AB	Alta da Bolívia	-
ATSM	Anomalias de Temperatura da Superfície do Mar	°C/K
ADAS	Assimilação de Dados Atmosféricos	-
ATN	Atlântico Tropical Norte	-
ATS	Atlântico Tropical Sul	-
BRAMS	Brazilian developments on the Regional Atmospheric Modeling System	-
BAM	Atmosférico Global Brasileiro	-
BoM	Bureau of Meteorology	-
BIAS	Erro Médios	-
BNOA	Baixa do Noroeste Argentino	-
BCH	Baixa do Chaco	-
CPTEC	Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos	-
CCM	Complexos Convectivos de Mesoescala	-
CJNEB	Corrente de jato do Nordeste	-
CCN	Cloud condensation nuclei	-
CINE	Energia de Inibição de Convecção	-
CPC	Climate Prediction Center	-
CL	Centro-Leste	-
DA	Dipolo do Atlântico	-
DOL	Distúrbios Ondulatórios de Leste	-
ENOS	El niño Oscilação Sul	-
ESMs	Modelos de sistemas da Terra	-
ECMWF	European Centre for Medium-Range Weather Forecasts	-
ERA		-

ECCC	Environmental and Climate Change Canada	-
ECVs	Essential Climate Variable	-
ECMWF	European Centre for Medium-range Weather Forecasts	-
GD	Grell–Dévényi	-
GMAO	Global Modeling and Assimilation Office	-
GEOS	Goddard Earth Observing System	-
GEWEX	Global Energy and Water Cycle Exchanges	-
GCOs	Global Climate Observing System	-
IBIS	Integrated Biosphere Simulator	-
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change	-
JMA	Japan Meteorological Agency	-
NEB	<i>Nordeste Brasileiro</i>	-
NASA	<i>National Aeronautics and Space Administration</i>	-
NCEP	National Centers for Environmental Prediction	-
NOAA	<i>National Oceanic and Atmospheric Administration</i>	-
OMM	Organização Meteorológica Mundial	-
PSL	<i>Physical Sciences Laboratory</i>	-
QTCM	Quasi-equilibrium Tropical Circulation Model	-
r	Coefficiente de Correlação de Pearson	-
RMSE	Raiz Quadrada do Erro Quadrático Médio	-
ROC	Radiação de Onda Curta	-
ROL	Radiação de Onda Longa	-
SF	Sistemas Frontais	-
SEAS	Sudeste da América do Sul	-
TKE	Energia Cinética Turbulenta	-
TSM	Temperatura de Superfície do Mar	-
UW	Universidade de Washington	-
VCAN	Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis	-
ZCAS	Zona de Convergência do Atlântico Sul-	-
ZCIT	Zona de Convergência Intertropical	-
WCRP	World Climate Research Program	-
WRF	Weather Research and Forecasting	-

Sumário

LISTA DE ILUSTRAÇÕES	10
LISTA DE TABELAS	11
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	12
1. INTRODUÇÃO	15
1.1. OBJETIVOS.....	16
1.1.1.	16
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
3. DADOS E METODOLOGIA	20
3.1. Dados	20
3.2. Modelo BAM.....	22
3.2.1. Núcleo Dinâmico	23
3.2.2. Processos da camada de superfície	23
3.2.3. Microfísica de nuvens	24
3.2.4. Esquema de Radiação	24
3.2.5. Convecção.....	25
3.3. Reanálise ERA-5.....	26
3.4. GPCP	28
3.5. Processamento dos dados	29
3.6. Validação Estatística	29
4. RESULTADOS	30
4.1. Variabilidade Climática.....	30
4.1.1. Variabilidade Interanual	31

4.2. Validação do Modelo.....	39
4.2.1. Precipitação Sazonal.....	40
4.2.2. Temperatura do ar Sazonal	40
5. CONCLUSÕES.....	42
6. RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	44
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	44

1. INTRODUÇÃO

O Nordeste Brasileiro (NEB) possui uma grande extensão territorial, aproximadamente 1.600.000 km², seguido de um regime pluviométrico irregular. O NEB possui registros pluviométricos entre (800mm-1.200mm) com períodos prolongados de estiagens e secas extremas. Essa condição traz grandes impactos para a população que reside nessa região, além de problemas socioeconômicos (DOS SANTOS et al. 2017; DE OLIVEIRA, et al. 2018). Por exemplo 62% da região do NEB que está localizada no polígono das secas necessita de monitoramento constante devido a importância da chuva para as atividades agrícolas, especialmente aquelas voltadas a agricultura familiar. Algumas ferramentas como o monitor de secas projeto dirigido por um acordo de Cooperação Técnica entre a (ANA, o MI e o INMET) já foram implementadas toda via o aumento dessas informações proporcionam um monitoramento dessa região. (RODRIGUEZ et al. 2015; VIEIRA et al. 2015).

Estudos prévios investigaram como a distribuição das chuvas ocorre e quais os mecanismos associados aos padrões anômalos (BONAVITA et al. 2016; GELARO et al. 2017; ESCOBAR, 2019; KELLEY et al. 2020), a exemplo do El Niño-Oscilação Sul (ENOS), que provocam impactos na qualidade do regime de chuva dependendo de sua fase (CAVALCANTI 2012; HASTENRATH, 2012; MARENGO et al. 2017; SOUZA et al. 2018; SILVA; DOS SANTOS, 2020). Nesse sentido, estudos de modelagem numérica podem auxiliar, tanto a diagnosticar quanto prever, os impactos das variabilidades climáticas em determinada região.

Embora exista um progresso substancial nas últimas décadas no desenvolvimento de Modelos do Sistema Terrestre (ESMs; *Earth Systems Models*) e, conseqüentemente, nas simulações do atual clima global (FIGUEROA et al. 2016), ainda são observadas algumas limitações na representação de alguns processos físicos da superfície, além de fenômenos não-lineares, como por exemplo a variável precipitação (HIROTA; TAKAYABU, 2013; GROSE et al. 2014). Dentre os modelos globais que são desenvolvidos em vários centros operacionais e de pesquisas ao redor do globo, destaca-se o *Brazilian Global Atmospheric Model* (BAM), que é desenvolvido pelo Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Foram adicionadas novas parametrizações físicas e realizou ajustes visando melhorar o desempenho das previsões de tempo e clima (FIGUEROA et al. 2016). A melhor qualidade das previsões e simulações desses modelos

trará benefícios imediatos não apenas para a comunidade científica, mas também para os tomadores de decisão, como por exemplo, defesa civil, planejamentos agrícola, pesca e transporte, etc. Portanto, uma melhor compreensão da habilidade dos modelos numéricos em representar os processos dinâmicos e termodinâmicos da atmosfera, especialmente em escala regional, é essencial para um melhor conhecimento de suas eficiências/limitações e, conseqüentemente, para futuros desenvolvimentos.

1.1. OBJETIVOS

1.1.1.

Avaliar a habilidade do modelo BAM em simular a variabilidade do clima regional no NEB e analisar a sua eficiência em reproduzir as características da circulação atmosférica associadas durante os verões austrais (Dezembro-Janeiro-Fevereiro; DJF) de 2013-2014 (Normal), 2015-2016 (El Niño) e 2010-2011 (La Niña).

Especificamente este estudo abordará os seguintes itens:

- Avaliar o desempenho do modelo BAM em simular a variabilidade interanual da precipitação, temperatura e circulação atmosférica durante os verões austrais supracitados sobre a América do Sul, mas com ênfase na região do NEB;
- A partir da técnica de análise objetiva e métodos estatísticos (viés e RMSE) avaliar os resultados do modelo no intuito de validá-lo;

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O deslocamento da célula de Walker sobre a América do Sul (AS) está associado principalmente a ocorrência do fortalecimento do jato subtropical, anomalias e de um possível trem de ondas que se estende do Pacífico até o sul da América do Sul (CUSTÓDIO, 2017; VARGAS, 2017). Seu deslocamento para leste, influencia o NEB e parte da Amazônia, que são regiões que ficam sob a ação do ramo descendente dessa célula, (CAVALCANTI, 1996; VIEGAS et al. 2019). O fortalecimento do jato subtropical ocorre devido ao aquecimento anômalo na região do Pacífico Equatorial, que provoca um aumento do gradiente meridional de temperatura (sentido norte – sul) e também um transporte de momentum em altos níveis, da região de liberação de calor latente tropical, para os ventos de oeste. Sobre o NEB, observa-se a atuação de diferentes sistemas de circulação atmosférica que tornam a climatologia complexa e, assim, a precipitação possui uma má distribuição temporal e espacial no período de um ano (KAYANO E ANDREOLI, 2009).

O tipo de vegetação predominante no NEB é caatinga, mas também fazem parte a zona da mata, o agreste, os campos cerrados e a zona amazônica (DE OLIVEIRA, et al. 2018). Apesar de possuir uma vegetação resiliente é importante monitorar os mecanismos que contribuem com as chuvas no NEB, uma vez que elas são associadas com a vegetação. Por exemplo, MARENGO et al. (2016) e VIEIRA et al. (2015) documentaram que o NEB é vulnerável a atuação de extremos climáticos e que as projeções de mudanças climáticas para o próximo século indicam que a região pode ser afetada por déficit de chuvas e aumento da aridez.

Dentre os principais sistemas atmosféricos que atuam no NEB destacam-se Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCAN), Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), Distúrbios Ondulatórios de Leste (DOL), Sistemas Frontais (SF), Alta da Bolívia (AB), Linhas de Instabilidade (LI) e Complexos Convectivos de Mesoescala (CCM), além de padrões de teleconexões atmosféricas e eventos de ENSO e dipolo do Atlântico (UVO E BERNDTSSON, 1996; ALVES et al., 2006; MOSCATI; GAN, 2006; MOURA et al., 2009; REBOITA et al., 2010; ÁVILA e BRITO, 2015).

Por exemplo, a atuação da AB nos altos níveis da atmosfera modifica o padrão de circulação dos ventos e está associado com um intenso aquecimento nos baixos níveis (~850hPa), conhecida como Baixa do Chaco (BC), além de fluxos de calor sensível e latente (NUNES, 2017). A AB está dinamicamente ligada ao cavado do nordeste em (~200hPa)

(Satyamurty et al. 1998), e estes mecanismos favorecem a formação de VCANs durante o verão na AS. A AB apresenta uma alta variabilidade anual, com sua posição sobre o oeste da Amazônia Bolívia em outubro e Amazônia central em abril. Esse deslocamento está associado ao deslocamento latitudinal do Sol. De acordo com MOLION (2004), a convecção de verão na AS é decorrente de dois fenômenos, a saber: 1) processo termodinâmico, resultante do aquecimento continental pelo Sol e calor latente, liberado nos movimentos ascendentes e a divergência que se estabelece nos níveis altos (AB) e 2) processo dinâmico, relacionado com a penetração de SF do Hemisfério Sul (OLIVEIRA, 2019).

As altas Subtropicais são um dos principais mecanismo que podem interferir na dinâmica do clima do NEB. Elas estão localizadas em torno de 30° de latitude sobre os oceanos em ambos os hemisférios e estão associadas à circulação média meridional da atmosfera, surgindo devido às células de Hadley. No Atlântico Sul, a Alta Subtropical (ASAS) tem grande papel na modulação do clima da AS. No inverno, além da ASAS inibir a penetração de SFs até latitudes mais baixas, ela pode contribuir com a inversão térmica e concentração de poluentes nos principais centros urbanos das regiões sudeste e sul do Brasil (OLIVEIRA, 2019), enquanto sobre o NEB, a ASAS contribui para o regime de chuvas no litoral.

Na escala interanual, destaca-se o fenômeno oceânico-atmosférico ENOS. As fases do ENOS estão ligadas às configurações observadas sobre o oceano Pacífico Equatorial, ou seja, quando se observa anomalias negativas (positivas) de Temperatura da Superfície do Mar no Pacífico Equatorial durante 5 meses consecutivos caracteriza-se o evento de El Niño (La Niña). O impacto do ENOS na região do NEB ocorre de forma inversa, isto é, em anos de EN (LA) observa-se escassez (abundância) de chuvas. Vários trabalhos (p. ex., KOUSKY; KAYANO; CAVALCANTE, 1984; PEREIRA; REBOITA; AMBRIZZI, 2017), mostraram que durante anos de EN ocorreram as secas mais severas, (LUCENA; GOMES; SERVAIN, 2011) da mesma forma relatam que a precipitação sobre as três sub-regiões do NEB apresenta uma grande variabilidade independente dos episódios El Niño ou La Niña, com uma predominância de anos secos (chuvosos) nas sub-regiões leste e norte do NEB antes (depois) de 1976, isto é, quando os episódios de La Niña (El Niño) foram mais numerosos. Utilizando um modelo climático regional com resolução horizontal de 60 km, GOMES et al. (2019) também encontraram uma distribuição interanual da precipitação, porém, mais forte quando o Gradiente meridional (GRADM) é positivo (induzindo secas) ou negativo (períodos chuvosos) sobre a região NEB, demonstrando uma forte influência climática do Atlântico

versus o Pacífico. Combinando as influências simuladas no Pacífico e Atlântico, bem como os dados da precipitação observada no período verificou-se que, durante os anos de EN o oceano tropical é responsável pela variabilidade das chuvas sobre o NEB (especialmente as sub-regiões Norte e Leste). Por outro lado, durante episódios de La Niña o Oceano Atlântico tropical é a principal contribuição e a influência do Oceano Pacífico é relativamente modesta (NOBRE; SHUKLA 1996, MARENGO et al. 2013, 2016).

A distribuição de chuva sobre o NEB não é uniforme. Por exemplo, DA SILVA et al. (2011) mostram que a região do semiárido nordestino apresenta os menores valores de precipitação e número de dias com chuva quando comparado as regiões do litoral e agreste. A variabilidade da precipitação no NEB é menor (maior) durante o período chuvoso (seco), enquanto a maior frequência de número de dias com chuva ocorre no primeiro semestre do ano devido a, atuação da ZCIT e DOL.

Um estudo utilizando o modelo global BAM, foi desenvolvido com o intuito de avaliar as simulações climáticas desenvolvidas pelo modelo, foi executado ao longo do período 1975-2017 em duas resoluções espaciais, correspondendo a ~ 180 e ~ 100 km, ambos com 42 níveis. Nessa perspectiva, quatro conjuntos com diferentes variáveis foram rodados para cada uma das duas resoluções. Uma série de diagnósticos foi computada para avaliar a capacidade do modelo de representar a radiação do topo da atmosfera (TOA), temperatura atmosférica, circulação e características climatológicas da precipitação. O modelo apresentou resultados satisfatórios em ambas as resoluções reproduziu muitas características climatológicas como temperatura, circulação atmosférica e precipitação observadas, apesar de vários vieses identificados (COELHO et al. 2020).

REBOITA et al. (2004) utilizaram dois modelos climáticos globais (CPTEC e CFSv2) e um modelo climático regional (RegCM4) para estudar o clima sazonal em três sub-regiões distintas do NEB durante o período 1948 a 1997. Seus resultados mostraram que o modelo RegCM4 adiciona valor às previsões dos modelos climáticos globais, principalmente, quando é aninhado às saídas do modelo do CPTEC. Além disso, a região nordeste do Brasil nas duas versões do RegCM reduz o viés úmido do CPTEC produzindo previsões mais similares aos valores observados. Nessa região, o RegCM3 subestimava a temperatura do ar, enquanto o RegCM4 passa a superestimar essa variável. Já a versão mais recente do modelo do CPTEC produz previsões de temperatura do ar mais similares aos valores observados.

Na mesma perspectiva DA SILVA et al. (2020) utilizando o *Ocean Land Atmosphere Model* (OLAMv.3.3) com o objetivo de avaliar o desempenho deste modelo em relação ao melhor esquema de radiação (Chen ou Harrington) para representar a precipitação na área Setentrional do Nordeste do Brasil no período de 1982 a 2012, mostra que o modelo, para as duas parametrizações, conseguiu acompanhar a climatologia da precipitação ao longo do ciclo anual, mas subestimando as médias observadas, no entanto, o esquema Harrington se mostrou razoavelmente melhor que o Chen em muitos aspectos. DOS SANTOS GUIMARÃES et al. (2021) realizou um estudo onde avaliou o desempenho do modelo BAM versão 1.2, comparando com quatro modelos de projetos de previsão sub-sazonal a sazonal: Japan Meteorological Agency (JMA), Environmental and Climate Change Canada (ECCC), European Centre for Medium-range Weather Forecasts (ECMWF) and Australian Bureau of Meteorology (BoM), os resultados mostram que mesmo o ECMWF sendo o modelo que apresenta os maiores (menores) valores de correlação (erro quadrático médio, RMSE) entre todos os modelos examinados, o modelo do CPTEC cruza o limite de correlação bivariada de 0,5 em cerca de 19 dias ao usar a média de 4 membros do conjunto. Dessa forma, o modelo BAM provou ser competitivo em comparação com os modelos investigados.

3. DADOS e METODOLOGIA

3.1. Dados

Para esse estudo foram utilizados dados de simulações climáticas do modelo BAM durante o período de 1979 até 2016 e com resoluções espacial de 100 km (aproximadamente) e resolução temporal diário. Embora o período de dados disponível do BAM seja longo, foram utilizados apenas os verões austrais (DJF) de 2010-2011 (LA), 2013-2014 (Normal), 2015-2016 (EN), pois o intuito do trabalho é avaliar a variabilidade interanual. Além disso, como o foco está na região do NEB, mesmo o BAM cobrindo o globo inteiro, o domínio considerado para as análises dos resultados engloba toda AS e partes dos oceanos Atlântico e Pacífico (Figura 1). Para esse estudo foram utilizadas as variáveis de precipitação e temperatura do ar e componentes zonal e meridional do vento em vários níveis da atmosfera.

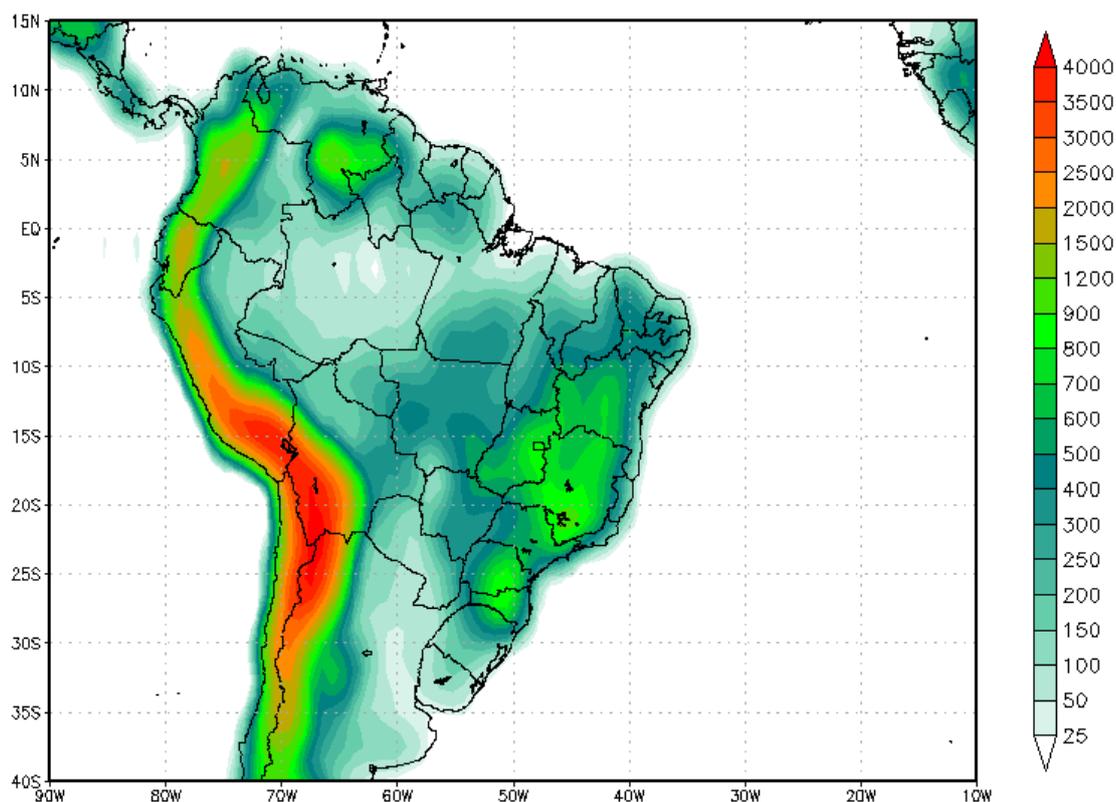


Figura 1 - Mapa de localização do Nordeste Brasileiro (NEB), distribuição de altitude (m). Fonte: Autor, 2021.

Os dados de Precipitação utilizados para comparação com os dados do BAM no presente trabalho, foram obtidos juntos ao GPCP que provém de reanálise da precipitação global dados de estações pluviométricas, satélites e observações de sondagem foram combinados para estimar a precipitação mensal em uma grade global de 2,5 graus de 1979 até o presente. Além da combinação desses conjuntos de dados, as estimativas das incertezas na análise de chuva são fornecidas como parte dos produtos do GPCP.

Os dados das componentes zonal e meridional foram obtidos pelo produto de reanálise MERRA2, no formato NetCDF4, esses dados integram um conjunto de reanálises que possui uma alta resolução espacial (0.5° de latitude por 0.625° longitude), com 42 níveis verticais de pressão, desde a superfície da Terra até a estratosfera. Os dados são calculados na mesma resolução espacial que o modelo atmosférico BAM, usando um algoritmo variacional tridimensional, com ciclos de atualização de 6 horas. Destaca-se que esta atualização é realizada por meio do sistema global de assimilação de dados da NASA, com ênfase na estimativa do ciclo hidrológico e uma vasta variedade de informações meteorológicas GELARO et al. (2017).

Na reanálise ERA5 HERBACH et al. (2020) foram utilizadas além das componentes zonal e meridional a temperatura do ar em 850hpa, os dados possuem uma resolução de 0.5x0.5° fornece estimativas de hora em hora de muitas variáveis climáticas atmosféricas, terrestres e oceânicas. Os dados cobrem a Terra em uma grade de 30 km e resolvem a atmosfera usando 137 níveis da superfície até uma altura de 80 km. O ERA5 inclui informações sobre incertezas para todas as variáveis em resoluções espaciais e temporais reduzidas. Atualizações mensais com garantia de qualidade do ERA5 (de 1979 até o presente) são publicadas em até 3 meses em tempo real. As atualizações diárias preliminares do conjunto de dados estão disponíveis para os usuários em até 5 dias em tempo real.

3.2. Modelo BAM

Nesse estudo, foi usado a mais recente versão do modelo BAM, com as mudanças o modelo recebeu um novo núcleo dinâmico e esquemas de parametrização de última geração bem diferente dos usados no modelo antigo no CPTEC, como o modelo global é utilizado para processar outros modelos do CPTEC, tais como os de previsões de tempo para América do Sul, clima sazonal, qualidade do ar, com a mudança gradualmente estas previsões ganhem maior confiabilidade e qualidade, o modelo entrou em operação 1/1/2016 após sua validação para a previsão de tempo 1-7 dias. Melhorias deverão ser percebidas, em especial, para as previsões de eventos extremos, tais como chuvas intensas, períodos de seca, eventos de El Niño (FIGUEROA et al. 2016; COELHO et al. 2021).

O novo modelo foi desenvolvido para melhorar as previsões de tempo e clima em altas resoluções no Brasil, para isso foi necessário desenvolver um modelo próprio com uma nova dinâmica (equações do movimento da atmosfera) e física (radiação, camada limite, processos de superfície, microfísica, etc.) como pode ser visto na tabela 1, mais adequadas para as condições da América do Sul, BASTARZ et al. (2015), onde o principal intuito é incrementar e melhorar as previsões do modelo, dessa maneira, aumentando a capacidade das tomadas de decisões.

Tabela 1 - Configuração do modelo utilizado nas simulações.

Dinâmica	Euleriano (Espectral)
Convecção Profunda	Arakawa Schubert Simplificado calibrada no CPTEC (HAN and PAN., 2011)
Convecção Rasa	Tiedke (Tiedke ,1989)

Microfísica	Morrison (Morrison, 2005)
Camada Limite Planetária	PBL Seca (Hostlag e Boville, 1992)
Arrasto de onda de gravidade	GMB (KIM; DOYLE, 2005)
Superfície	IBIS-2.6-CPTEC (Kubota; 2012)
Radiação de onda Curta	CliRad (TARASOVA,2007)
Radiação de onda Longa	CliRad (TARASOVA,2007)

Fonte: FIGUEROA et al. (2016), adaptado pelo autor.

O modelo BAM foi acoplado com um novo núcleo dinâmico e esquemas de parametrização de última geração diferente das parametrizações usadas no modelo antigo do CPTEC. Nas subseções a seguir, são descritos alguns processos físicos incorporados no BAM, principalmente o núcleo dinâmico e as parametrizações do modelo.

3.2.1. Núcleo Dinâmico

O BAM é um modelo espectral semi-implícito hidrostático, baseado em uma formulação U - V, com uma coordenada vertical sigma/híbrida, com um esquema semi-Lagrangiano monotônico de dois níveis para o transporte tridimensional de umidade, microfísico e com intuito de rastrear variáveis prognósticas, esse esquema de transporte, usa as opções euleriano e semi-lagrangiano para a dinâmica, é realizado na grade do modelo, com variáveis de umidade sem representação espectral. Esse núcleo dinâmico foi projetado para ser usado na previsão de clima com resoluções horizontais de 200 a 10 km, (FIGUEROA et al., 2016).

3.2.2. Processos da camada de superfície

Para analisar os processos que ocorrem na camada de superfície, foi usado um modelo dinâmico de vegetação global, o esquema usado para a superfície terrestre é o Integrated Biosphere Simulator versão 2.6 (IBIS v.2.6), descrito por FOLEY et al. (1996) e KUCHARIK et al. (2000), e que anos depois foi aprimorado no CPTEC por KUBOTA (2012).

Esse esquema representa uma ampla gama de processos, incluindo física da superfície terrestre, fisiologia de dossel, fenologia de plantas, dinâmica e competição de vegetação e ciclagem de carbono e nutrientes. Estudos usando esse esquema foram utilizados na Amazônia, por exemplo, COSTA et al. (2010), COSTA e PIRES (2007) e Cunha et al. (2013)

para o NEB. Eles mostraram a eficácia desse esquema para representar os processos físicos, fisiológicos e ecológicos que ocorrem na vegetação e nos solos.

3.2.3. Microfísica de nuvens

O esquema de Morrison para microfísica baseado na concentração prevista de gotículas e acoplamento com os espectros de núcleos de condensação de aerossol e condensação de nuvens (CCN) MORRISON et al. (2005, 2009). Este esquema prevê as razões de mistura de massa e número de cinco categorias de hidrometeoros: i) gotículas em nuvens, ii) chuva, iii) gelo nas nuvens, iv) neve e v) precipitação de neve. As distribuições de tamanho são representadas por funções gama:

$$N_x(D_x) = N_{ox} D_x^{\mu_x} \text{Exp}(-\lambda_x D_x) \quad (1)$$

Em que, D_x , é o diâmetro das partículas e N_{ox} , λ_x e μ , e são os parâmetros de interceptação, inclinação e forma da distribuição de tamanho, respectivamente. O parâmetro shape é assumido como zero ($\mu = 0$) para gelo nas nuvens e espécies de precipitação. Para gotículas de nuvens, μ é calculado em função da concentração do número de gotículas seguindo Martin et al. (1994). Os parâmetros de inclinação e interceptação são derivados da massa prevista q_x e número N_x razões de mistura e especificado μ_x . Equações para as tendências temporais de q_x e N_x são semelhantes aos de MORRISON et al. (2005), exceto a precipitação de neve, q_g e N_g são dados por REISNER et al. (1998). Esse esquema é acoplado ao esquema de mistura turbulenta, que fornece uma velocidade vertical da sub-grade para ativação de gotículas e mistura das proporções de gotículas de nuvem e número de gelo, bem como para o esquema de radiação descrito na próxima seção usando os raios previstos de efetividade de gotículas de nuvem e gelo.

3.2.4. Esquema de Radiação

O esquema de radiação de ondas curtas (ROC) e ondas longas (ROL) usado no BAM é o Modelo de Transferência Radiativa Rápida para GCMs RRTMG; IACONO et al. (2008), desenvolvido na Atmospheric and Environmental Research, Inc. (AER), que é uma versão modificada do Modelo de Transferência Radiativa Rápida RRTM; MLAWER et al. (1997). Este esquema inclui a técnica de aproximação de coluna independente de Monte Carlo (McICA) PINCUS et al. (2003), que é um método estatístico eficiente para a caracterização de nuvens de sub-grade. Os esquemas RRTMG-SW e RRTMG-LW calculam fluxos e taxas

de aquecimento para as ondas curtas (14 bandas, de 0,2 a 12,2 μm) e as ondas longas (16 bandas, de 3,1 a 1,0 μm) radiação, respectivamente.

Os efeitos da absorção gasosa e da dispersão de partículas no RRTMG-SW incluem vapor de água, dióxido de carbono, ozônio, metano, oxigênio, nitrogênio, nuvens, aerossóis e dispersão de Rayleigh, enquanto as espécies moleculares tratadas no RRTMG-LW são vapor de água e dióxido de carbono (CO_2), ozônio (O_3), metano (CH_4), óxido nitroso (NO_2), oxigênio (O_2), nitrogênio (N_2) e os halocarbonetos CFC11 e CFC12. Por outro lado, as propriedades da nuvem (profundidade ótica da nuvem, emissividade etc.) usadas neste novo modelo são semelhantes às usadas no NCAR Community Atmosphere Model (CAM 5.0) descrito por NEALE et al. (2012). As propriedades ópticas do aerossol são especificadas. Novas atualizações para o modelo já estão sendo implementadas, como aerossol climatológicos e dinâmicos no BAM que está em andamento e espera-se que esteja disponível na próxima versão do modelo.

3.2.5. Convecção

O esquema de convecção superficial no BAM é de PARK e BRETHERTON (2009), desenvolvido na Universidade de Washington (UW). O fluxo de massa da base da nuvem é calculado usando energia cinética turbulenta (TKE) e energia de inibição de convecção (CINE), e o arrastamento para as correntes de ar cumulus são calculados usando um algoritmo de classificação de fluabilidade. Dois esquemas de convecção profunda foram implementados no BAM: o esquema (Grell–Dévényi) GD de múltiplas faixas e o esquema GDM modificado desenvolvido no CPTEC / INPE. Abaixo, descrevemos brevemente o esquema GD, com foco no fluxo de massa baseado na nuvem.

Após ARAKAWA e SCHUBERT (1974), daqui em diante AS , é a função de trabalho em nuvem A é a taxa de geração de energia cinética devido ao trabalho realizado pela força de flutuação B , ou uma medida integral da força de empuxo com pesagem por um perfil de fluxo de massa normalizado η . A mudança de A pode ser escrita como:

$$\frac{\partial A(t)}{\partial t} = \left[\frac{\partial A(t)}{\partial t} \right] LS + \left[\frac{\partial A(t)}{\partial t} \right] CU^{m_b} \quad (2)$$

Em que, os subscritos LS e CU representam alterações na função de trabalho devido aos efeitos do forçamento em larga escala F e devido às nuvens convectivas K normalizado pelo fluxo de massa baseado na nuvem m_b , respectivamente. O fechamento de Grell (Grell 1993; G1) faz a suposição de quase-equilíbrio convectivo AS entre forçamento e convecção

em larga escala. Essa suposição de quase-equilíbrio do **AS** requer que $\frac{\partial A(t)}{\partial t} \ll F$. Isso significa que as tendências convectivas são rápidas em comparação com a tendência líquida ou observada, $\partial A(t)/\partial t \approx 0$; então, m_b no fechamento G1 pode ser calculado como:

$$m_b = -\frac{F}{K} = -\frac{[A'(n+1)-A(n)]}{K\Delta t} \quad (3)$$

Dessa forma, A' é a função de trabalho calculada com atualização (na etapa de tempo $n+1$), variáveis termodinâmicas ψ^{n+1} após modificações por tendências do modelo (radiação, superfície e processos e dinâmica de PBL), A é calculado a partir de variáveis termodinâmicas no estado atual ψ^n e K é calculado como em G1. O esquema GD implementado no BAM usa cinco métodos diferentes para calcular m_b . Três são fechamentos de estabilidade. Primeiro, G1 é descrito acima. Segundo, para o **AS**, o fechamento do conjunto de física GFS é usado, empregando funções de trabalho em nuvem climatológica em vez de calcular A . Terceiro, o tipo Kain – Fritsch (KF) remove a estabilidade por um período de tempo especificado usado em KAIN e FRITSCH (1992). Em seguida, o tipo Kuo usa um fechamento do tipo KRISHNAMURTI et al. (1983), relacionando a advecção vertical integrada da umidade à m_b . O fechamento final usa uma relação entre ômega de baixo nível e m_b Brown (1979). Três perturbações são aplicadas para G1, KF_type, Kuo_type e ômega, e quatro perturbações para **AS**. É permitido que eles interajam com nove membros do controle estático (três eficiências de precipitação e três pontos fortes de cap), resultando em um total de 144 membros da sub-grade.

3.3. Reanálise ERA-5

O ERA-5 é a quinta geração da reanálise do ECMWF. Atualmente, os dados são disponíveis a partir de 1950, divididos em *Climate Data Store* para o período de 1950-1978 e de 1979 até o presente. O ERA-5 substitui a versão anterior da reanálise ERA-Interim (HERSBACH et al. 2020). A reanálise combina dados de modelo com observações de todo o globo em um conjunto de dados globalmente completo e consistente usando as leis da física. Este método, chamado de assimilação de dados, é baseado no sistema usado pelos centros de previsão numérica do tempo, onde a cada tantas horas (6 horas no ECMWF) uma previsão anterior é combinada com as novas observações disponíveis de uma forma ideal para produzir uma nova melhor estimativa do estado da atmosfera, chamado de análise, a partir do qual uma previsão atualizada e melhorada é disponibilizada HERSBACH et al. (2020).

Uma representação gráfica é fornecida na Figura 2 que apresenta o diagrama de assimilação para ERA - Interim e ERA5 em relação à atmosfera, incluindo ozônio (ATMO), superfície terrestre (LAND), ondas do mar (WAVE), temperatura da superfície do mar (SST) e gelo marinho (ICE). Caixas grandes representam integrações de loop externo (trajetórias) onde os domínios indicados são acoplados. Os triângulos representam a assimilação dos dados terrestres (LDAS) e a interpolação ótima das ondas oceânicas (OI), enquanto os círculos correspondem aos loops internos 4D-Var. A assimilação de OI das ondas oceânicas é realizada apenas dentro da trajetória final. Para ERA5, a assimilação de LDAS é um exemplo de acoplamento fraco (PENNY et al. 2017) onde a influência da superfície da terra e outras observações são apenas misturadas na próxima janela de análise por meio da previsão curta acoplada da análise atual.

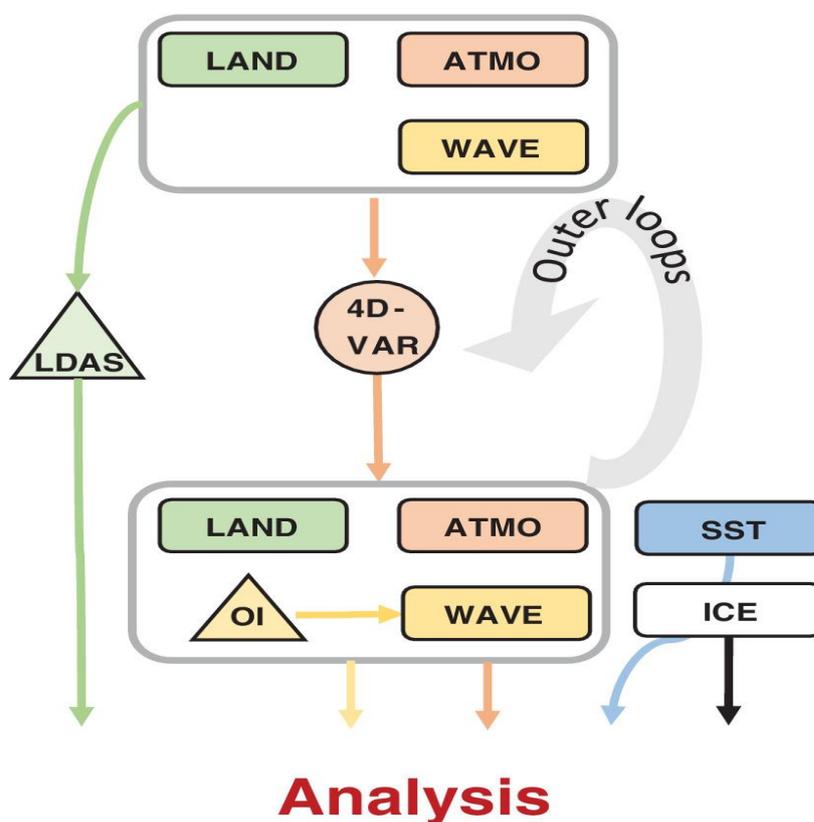


Figura 2 – Arquitetura funcional do modelo ERA-5. Fonte: HERBACH, 2020.

Os dados foram refeitos para uma grade lat-lon regular de 0,25 graus para a reanálise e 0,5 graus para a estimativa de incerteza (0,5 e 1 grau, respectivamente, para as ondas do oceano). Existem quatro subconjuntos principais: produtos horários e mensais, tanto em níveis de pressão (campos de ar superiores) quanto em níveis únicos (atmosférica, ondas oceânicas e quantidades da superfície terrestre). A entrada atual do ERA5, são dados horários

em níveis de pressão de 1979 até o presente, as principais informações estão descritas na tabela 2.

Tabela 2 - Atributos e metadados globais associados ao ERA-5.

DATA DESCRIPTION	
Data type	Gridded
Projection	Regular latitude-longitude grid
Horizontal coverage	Global
Horizontal resolution	Reanalysis: 0.25° x 0.25° (atmosphere), 0.5° x 0.5° (ocean waves) Mean, spread and members: 0.5° x 0.5° (atmosphere), 1° x 1° (ocean waves)
Temporal coverage	1979 to present
Temporal resolution	Hourly
File format	GRIB
Update frequency	Daily

Fonte: HERSBACH et al. (2020), adaptado pelo autor.

3.4. GPCP

O Projeto Global de Climatologia de Precipitação (GPCP) já existe há mais de vinte anos como parte da atividade *Global Energy and Water Cycle Exchanges* (GEWEX) no âmbito do *World Climate Research Program* (WCRP). O GPCP é formado por um consórcio internacional de pesquisadores e cientistas operacionais do governo e de universidades que fornecem conjuntos de dados, produtos e técnicas que são usados para fornecer uma análise mesclada de precipitação baseada em observação.

A análise mensal do GPCP é uma combinação cuidadosa de estimativas de precipitação baseadas em satélite que fornece a análise mais completa da precipitação disponível até o momento sobre os oceanos globais e adiciona os detalhes espaciais necessários às análises de precipitação sobre a terra (BECKER et al. 2013). As estimativas baseadas em satélite são uma combinação de estimativas de micro-ondas passivas sobre o

oceano (CHIU e CHOKNGAMWONG, 2010), estimativas de micro-ondas passivas sobre a terra (VILA et al. 2013) e estimativas de IR / sondas de micro-ondas, contribuindo em latitudes mais altas (acima de 40 ° de latitude). Mais detalhes sobre os algoritmos de entrada e dados e o processo de fusão podem ser encontrados nos documentos do GPCP (BECKER et al. 2013). Um esforço significativo é feito para tornar homogêneos os conjuntos de dados de entrada e a análise mesclada resultante durante o período de análise (1979 até o presente).

3.5. Processamento dos dados

A fim de verificar os resultados das simulações, do ponto de vista qualitativo, foi feita uma comparação entre os dados do BAM e os dados do ERA-5, MERRA2 e GPCP. Devido a resolução do modelo BAM ser diferente dos demais dados, foi aplicado um método de interpolação nos dados supracitados no intuito de modificar a resolução do ERA-5, MERRA2 e GPCP para a resolução do BAM. Para tal, foi utilizado a interpolação bilinear do *Climate Data Operators* (CDO), através da função REMAPBIL, baseado no software *Grid Analysis and Display System* (GRADS Version 2.0.2.ago.2), foi realizado os tratamentos dos dados, permitindo a visualizações e compreensão de todas as informações afim de melhor interpretar os resultados obtidos.

3.6. Validação Estatística

Para verificar a eficiência do modelo, foram calculados os seguintes cálculos estatísticos: Correlação de Pearson (r), Erro Médio (BIAS), a Raiz do Erro Quadrático Médio (RMSE), conforme descrito abaixo (WILKS, 2011).

O coeficiente de correlação de Pearson (r) possibilita medir o grau da correlação e a direção dessa correlação, este coeficiente assume valores entre -1 e 1. Ao passo que 1 significa correlação perfeita positiva entre as duas variáveis, quando -1 significa correlação negativa perfeita entre as duas variáveis, dessa forma, se uma aumenta, a outra sempre diminui e quando 0 significa que as duas variáveis não dependem linearmente uma da outra. Descrito através da Equação 04:

$$r = \frac{\sum_{t=1}^N (X_{Mi} - X'_{Mi})(X_{oi} - X'_{oi})}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (X_{Mi} - X'_{Mi})^2 \sum_{t=1}^N (X_{oi} - X'_{oi})^2}} \quad (4)$$

Onde X' indica a média em cada ponto, obtido através da Equação 05:

$$X' = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (X_i) \quad (5)$$

O BIAS, considera uma determinada variável (X) com um sub-índice (M), mostrando o valor simulado (XM) e o valor observado O (XO). Dessa forma, o BIAS para a variável de interesse (X), será calculada para determina área através da (Equação 6):

$$b = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (X_{Mi} - X_{Oi}) \quad (6)$$

No qual i representa o índice do ponto de grade e N o número total de pontos avaliados.

O RMSE calcula a dimensão dos erros, obtido de acordo com a Equação 07:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (X_{Mi} - X_{Oi})^2} \quad (7)$$

O desempenho do modelo em simular os padrões observados de precipitação é avaliado pelo cálculo do viés absoluto (precipitação simulada – observada). No presente trabalho, valores de viés entre -15 e +15 indicam boa concordância do modelo com os dados reais, enquanto valores positivos e negativos maiores do que ± 2 indicam superestimativa e subestimativa do modelo, sobre a precipitação e TST, respectivamente.

4. RESULTADOS

4.1. Variabilidade Climática

Constantes observações apontam que a variabilidade interanual da Temperatura da Superfície do Mar (TSM) nas áreas dos oceanos Pacífico Equatorial e Atlântico Tropical, associada aos fenômenos El Niño, La Niña, ou a variabilidade no oceano Atlântico Tropical Norte (ATN) e Atlântico Tropical Sul (ATS), tem forte influência no balanço hídrico e clima regional da América do Sul (SOUZA et al. 2018). Um dos mais importantes modos de variabilidade climática do acoplamento oceano-atmosfera é fenômeno El Niño-Oscilação Sul (ENOS), pois afeta a circulação atmosférica global, alterando a precipitação e temperatura do ar em diferentes níveis e lugares do planeta como, por exemplo, na América do Sul (PEREIRA et al. 2017; ANDREOLI et al., 2016).

4.1.1. Variabilidade Interanual

A Figura 3 apresenta o campo médio do vetor vento e intensidade no nível (~850 hPa) para os verões de 2010, 2013 e 2015 a partir da reanálise do ERA5 - (d, e, f) e modelo BAM - (a, b, c). Comparando os verões estudados é possível observar uma diferença na intensidade da ASAS e no escoamento de noroeste em baixos níveis a leste dos Andes (Figura 3). Quando os resultados do BAM (Figura 3a) são comparados com a reanálise ERA5 (Figura 3d) é possível observa um deslocamento tanto na ASAS quando no escoamento de noroeste. No verão de 2015, ano de ocorrência de uma El Niño esses sistemas apresentaram maior (menor) intensidade com o sistema de Alta pressão penetrando o continente e estendendo-se até o centro da AS (Figuras 3a,d), já o escoamento de noroeste ganha intensidade chegando próximo ao Norte-Nordeste do Paraguai (Figuras 3a,d). O modelo BAM (Figura 3a) conseguiu reproduzir com eficiência tanto a intensidade quanto a direção dos sistemas no verão de 2015. (PEREIRA et al. 2017) também observou que em anos de incidência de El Niño, existe uma modificação nos padrões de deslocamento das células walker e hadley, isso favorece o deslocamento e intensificação do jato de baixos níveis (JBN) a leste dos Andes da região tropical para o sudeste da AS.

Um forte gradiente é observado na reanálise ERA5 (Figura 3d) de Leste para Oeste junto com o avanço da ASAS no NEB favorecendo para a diminuição dos mecanismos de formação de nuvens afetando diretamente o regime pluviométrico. Trabalhos como MENDES (2019); DE ALMEIDA et al. (2017) e NETO et al. (2019) apontam que no NEB e Atlântico tropical o aumento do gradiente provocado pela ASAS junto com o ramo de subsidente, contribuem para intensificar os movimentos descentes e para tornar a atmosfera mais seca nessa região. MARENGO et al. (2018) já haviam relatado que durante o verão de eventos El Niño há um ramo de correntes descendentes próximo à costa da região nordeste do Brasil, fato que inibe a precipitação.

Os verões de 2010 (Figuras 3b,e) e 2013 (Figuras 3c,f), ambos sob influência de fases distintas do ENOS (La Niña e Neutro) respectivamente, não apresentam a mesma intensidade observada no verão de 2015 (Figuras 3a,d), de acordo com estudos realizados por DOS SANTOS; REBOITA, (2018) essa configuração também é observada no posicionamento e intensidade da ASAS e na ocorrência dos JBN, indica que há certa correlação linear entre a maior frequência de JBNs com episódios de El Niño. Essa relação observada entre os sistemas indica que nos eventos El Niño há intensificação dos ventos alísios de nordeste sobre o continente o que, conseqüentemente, favorece os JBNs. Associa-se a maior frequência de

JBNs com eventos de El Niño devido à maior intensidade e frequência de anomalias ciclônicas em baixos níveis da atmosfera, próximas ao sudeste da América do Sul. A principal contribuição das anomalias ciclônicas para a maior frequência dos JBNs está associada à intensificação do escoamento de noroeste, da região central da Bolívia para o sul do Brasil (SILVA et al. 2019; ESCOBAR, 2019; BORSATO; MASSOQUIM, 2018).

O estudo da variabilidade interanual da circulação atmosférica sobre a AS e Principalmente o NEB, torna-se importante visto que, a interação desses mecanismos nas diferentes escalas (tamanho e tempo), são responsáveis por interferir no regime de precipitação tanto da AS quando do NEB nas escalas sazonal e interanual (CARDOSO et al. 2019; SILVA et al. 2019). Os longos períodos de estiagem, influenciados pelo El Niño (HASTENRATH, 2012; CAVALCANTI, 2012), ocasionam danos irreparáveis à população da região, àqueles que tiram seu sustento da atividade agrícola, em especial a agricultura familiar (RODRIGUEZ et al. 2015). Os diferentes sistemas de circulação atmosférica que atuam nessa região tornam a climatologia complexa, refletindo em uma grande variabilidade climática, com eventos de precipitação variando no tempo e no espaço (SANTOS et al. 2017).

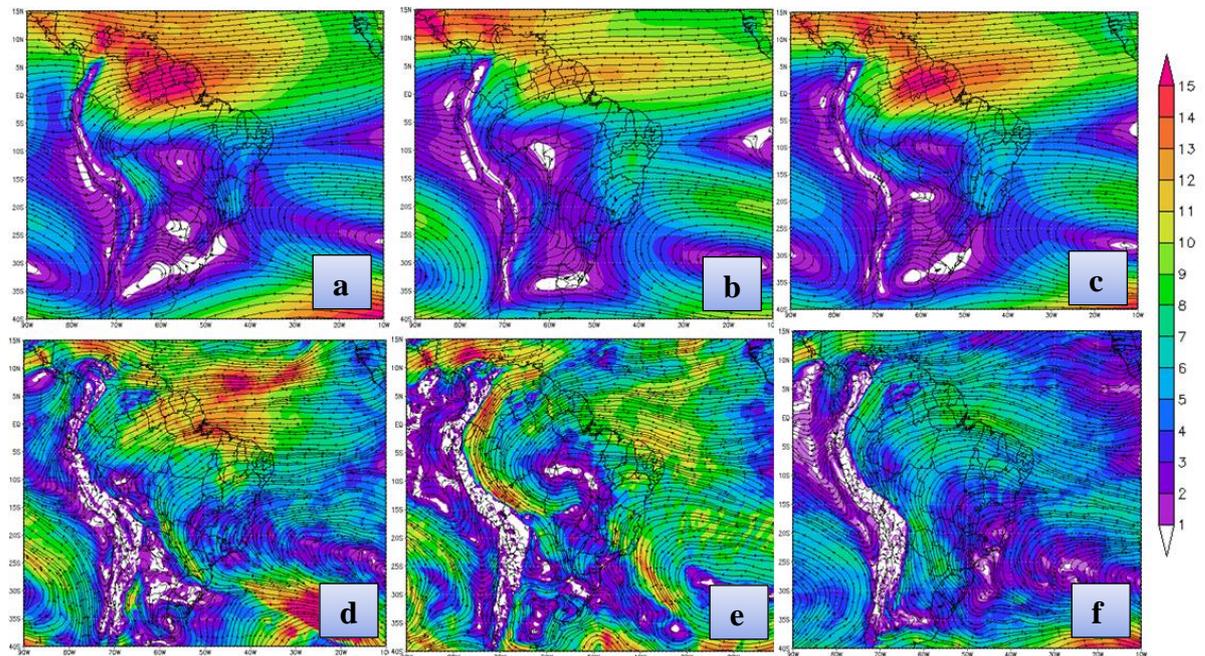


Figura 3 - Campo médio sazonal do vetor vento (m/s) e intensidade (colorido) no sétimo nível sigma (~850 hPa) para os verões de 2015/El Niño (coluna esquerda), 2010/La Niña (coluna central) e 2013/neutro (Coluna direita). BAM (a, b, c), ERA5 (d, e, f). O intervalo de intensidade é de 2m/s e vetor de referência de 10 m/s. Fonte: Autor, 2021.

De modo geral, a climatologia sinótica indica três sistemas em altos níveis típicos sobre a América do Sul: VCAN de origem extratropical, a Alta da Bolívia (AB) e o Cavado do Nordeste Brasileiro (NUNES, 2017), especialmente com relação a Alta da Bolívia e a sua interação com cavado do nordeste brasileiro, juntos compõem a climatologia de verão em altos níveis na América do Sul, (LIMA e NUNES, 2018). Nos verões estudados (Figura 4), é evidente a presença da AB e seu acoplamento com o cavado que aparece sobre o Nordeste, essa interação é bem representada pela reanálise ERA5 (Figura 4d,e,f), o modelo BAM não representou com clareza esses sistemas supracitados no verão de 2015 como mostra a (Figuras 4,c), no entanto, pode-se observa tanto no modelo quanto na reanálise um padrão bem definido com relação a ASAS sobre o oceano atlântico nos verões de 2010, 2013 e 2015. O modelo também representou com clareza um forte gradiente no campo de linhas de corrente ao Norte do Nordeste representando bem a corrente de jato do Nordeste (CJNEB). Costa et al. (2010), observou que a distribuição do CJNEB com sentido de Leste-Oeste meridional foi frequente o ano todo, e esteve associado em sua maioria ao cavado do nordeste e AB, possuindo maior (menor) intensificação no verão.

A intensidade dos ventos alísios de sudeste está diretamente associada a ASAS (CARPENEDO; AMBRIZZI, 2020), no verão a ASAS é mais fraca e retraído para leste, contribuindo com condições mais úmidas e ventos mais fracos (SUN et al. 2017; REBOITA et al. 2019). No verão de 2015 a AB foi observada mais a noroeste da AS (Figuras 4a, d), relacionado com 2010 e 2013, no entanto, para os verões (2010 e 2013) o modelo BAM (Figuras 4b,c) apresentou uma configuração da AB bem próxima da reanálise ERA5. PEREIRA (2019) em um estudo realizado no sul do Brasil aponta que a AB contribui para a precipitação nas regiões Norte e Centro-Oeste do Brasil. Segundo NUNES (2017), a posição do seu centro e a configuração deste anticiclone modifica-se ao longo do verão. O sistema está associado a esta circulação existente nos baixos níveis da atmosfera, uma região de baixa pressão e convergência do ar Baixa do Chaco (PEREIRA, 2019).

A variabilidade interanual dos três sistemas de pressão em altos níveis típicos sobre a América, AB e o Cavado do Nordeste foi bem simulada pelo BAM (Figuras 4a, b, c), com o cavado do nordeste mais intenso (menos) durante os de 2010 e 2013, sendo estes representados de forma coerente pelo modelo. O modelo BAM ainda se mostrou hábil para reproduzir a variabilidade interanual dos jatos de altos níveis (JAN) (Figura 4; coluna esquerda), onde apresenta maior intensidade em 2015.

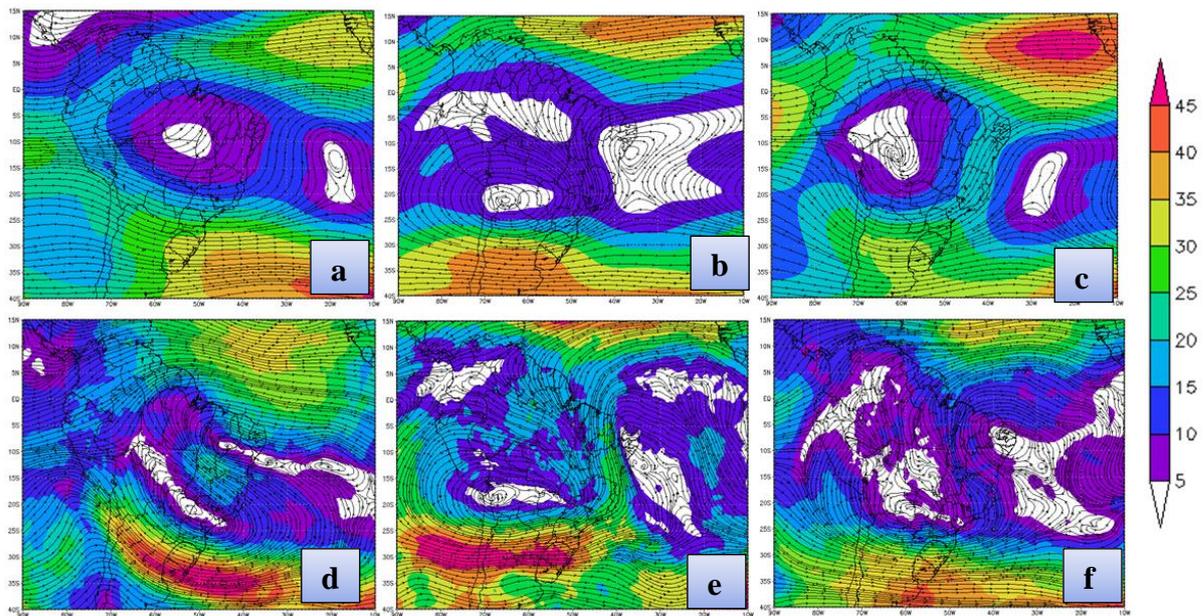


Figura 4 – Campo médio sazonal do vetor vento (m/s) e intensidade (colorido) no vigésimo nível sigma (~200 hPa) para os verões de 2015/El Niño (coluna esquerda) 2010/La Niña (coluna central) e 2013/neutro (Coluna direita). BAM (a, b, c), ERA5 (d, e, f). Fonte: Autor, 2021.

O campo Médio da temperatura do ar em 850 (hPa) é apresentado na Figura 5 ERA-5 (coluna esquerdo) e BAM (coluna direito), desta fora, pode-se observa que os maiores gradientes térmicos encontram-se nas regiões subtropical e extratropical da AS, em comparação com o verão de 2015, onde apresentou as temperaturas mais elevadas (Figuras 5a,b), 2010 foi relativamente mais frio (Figuras 5b,c). De modo geral, toda estrutura do gradiente de temperatura foi similar de forma satisfatória pelo modelo BAM (Figura 5; coluna esquerda). O verão de 2015 (Figuras 5a,b) apresenta temperaturas superiores a 21°C cobrindo uma maior extensão de área comparado com os outros verões estudados. Quando comparado com os resultados da reanálise ERA5 (coluna direita) o modelo BAM simulou essa variabilidade interanual de forma coerente (Figuras5; coluna esquerda). Contudo, as simulações da estrutura térmica reproduzidas pelo BAM foram mais (menos) intensas e com maior (menor) extensão, quando comparados a os resultados do ERA-5.

Segundo (ROCHA, 2018; DORNELES, RIQUETTI; NUNES, 2020) dois mecanismos podem ser responsáveis por esse aquecimento, A Baixa do Noroeste Argentino (BNOA) e A Baixa do Chaco (BCH), embora apareçam nos mapas médios imersas em uma grande área de baixa pressão, apresentam diferenças significativas na sua estrutura dinâmica e termodinâmica, o que inclui o tipo de massa de ar nas quais elas estão embebidas, a estrutura dinâmica e termodinâmica da atmosfera, o grau de baroclinia, a instabilidade convectiva e variabilidade diária e diurna (SELUCHI; SAULO 2012). Estudos realizado por IDALINO et

al. (2020) para a região de Aisén – Chile, aponta que a presença de anomalias de temperatura tanto positivas quanto negativas, estão ligadas ao surgimento do ENOS e alcança seus maiores picos na fase positiva e também neutra do sistema.

Analisar a temperatura em baixos níveis da atmosfera é importante, pois ela interage com outros mecanismos de média e grande escala (ROCHA 2018; GUIMARÃES e DOS REIS 2017). No NE é observado que em anos de El Niño existe um aumento na temperatura do ar nessa região, como observado na (Figuras 5a,b), por exemplo, PEREIRA; REBOITA; AMBRIZZI, (2017) mostram que esse mecanismo em SON causa anomalias positivas de precipitação no sudeste da AS e anomalias negativas entre o leste da Amazônia e nordeste do Brasil. A interação dos diversos mecanismos presentes na AS, alteram todo o regime de distribuição da temperatura do ar e precipitação, mecanismo como BNOA e BCH inserido em uma troposfera verticalmente mais estendida e apresentam uma estrutura mais barotrópica, típica de latitudes tropicais influencia tanto em alto, médio e baixos níveis os padrões de circulação da Atmosfera, acarretando nas condições do tempo no centro-norte da Argentina, sul da Bolívia, no Paraguai e nas Regiões Sul e Sudeste e em parte das Regiões Centro-Oeste e a interação com a Alta da Bolívia pode influenciar o tempo no Norte e Nordeste do Brasil (MARENGO et al. 2016; VIEIRA et al. 2015; ÁVILA; BRITO, 2015; OLIVEIRA, 2019).

Com o objetivo de identificar a variabilidade espacial dos dados de precipitação sobre a AS, a (Figuras 6; coluna direita) apresenta o erro médio para a região, observa-se que os maiores desvios estão localizados sobre a porção (Norte, Sul e parte do Oceano pacífico), regiões onde teve os menores valores de precipitação observados. (FREITAS et al. 2020) usando o modelo RegCM4.7 observou em um estudo na AS, que os maiores desvios foram observados sobre os subdomínios Amazônia e Centro-Oeste (AMZ) e SUL, onde os totais de precipitação foram mais intenso. De modo geral, as demais regiões apresentaram menores amplitudes, ou seja, desvios positivos em quase toda a AS. Observa-se ainda que a região do NEB apresentou desvios positivos em sua grande parte com exceção da porção norte do NEB onde subestimou (superestimando) os valores encontrados pelo GPCP. De acordo com ALVES; MARENGO (2010); COSTA et al. (2021) e BRITO et al. (2019), apesar do modelo simular corretamente o posicionamento dos sistemas, a precipitação associada a este sistema não consegue adentrar de forma direta ao continente, resultando em possíveis desvios negativos e positivos de precipitação no extremo norte da América do Sul durante o trimestre de DJF.

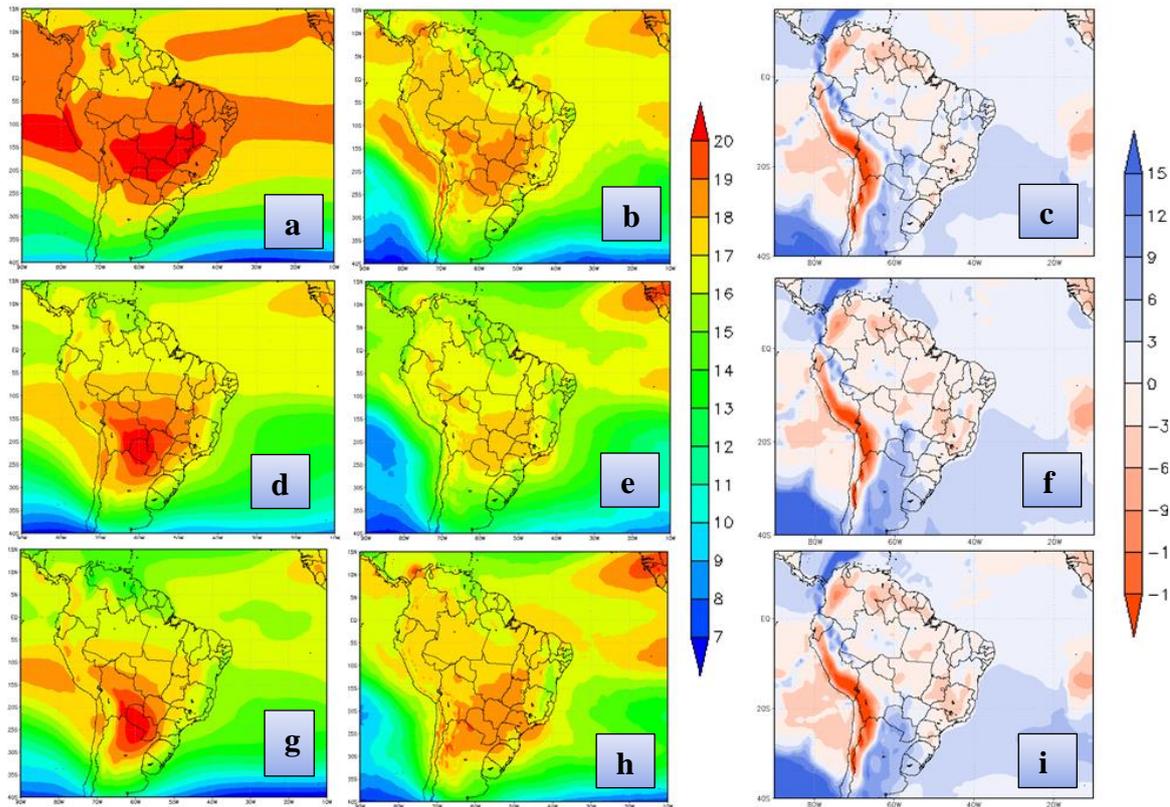


Figura 5 – Campo médio sazonal de temperatura do ar a (~ 850 hPa), para os verões de 2015 (a, b, c), 2010 (d, e, f) e 2013 (g, h, i): BAM (coluna esquerda), ERA5 (coluna central) e BIAS (coluna direita). As unidades são em $^{\circ}\text{C}$. Fonte: Autor, 2021.

A Figura 6 apresenta a precipitação média zonal e o BIAS (coluna direita) para os verões de 2010, 2013 e 2015 obtidos através do BAM (coluna esquerda) e da reanálise ERA-5 (coluna central). a variabilidade interanual da precipitação é observada principalmente sobre a ZCIT, ZCAS e nas regiões subtropicais e extratropicais da AS (Figuras 6). Durante o verão de 2010 ano de La Niña, grande parte da AS principalmente (Norte, Nordeste e Centroeste) do Brasil apresentaram valores de precipitação superiores aos anos de 2013 e 2015. Estudos como o de SOUSA et al. (2018) mostram a influência do Atlântico Tropical como modulador da precipitação nas regiões norte e nordeste da AS, mesmo coincidindo com a época de anos extremos de ENOS, enfatizando a importância das duas bacias oceânicas sobre o clima da AS. A variabilidade interanual da precipitação pelo modelo BAM (Figuras 6; coluna esquerda), está presente em praticamente todo o domínio. Os padrões foram representados de forma coerente pelo BAM, entretanto, com uma pequena variação e deslocamento abaixo dos valores da análise GPCP (Figura 6; coluna central). Por exemplo a distribuição da precipitação sobre o NEB (Figura 6,a) o modelo BAM subestima (superestimou) os valores

comparado com o GPCP, no entanto, o modelo foi eficiente em reproduzir a Banda de convecção da ZCAS, evidenciando a maior atividade convectiva localizada na região Centro-Oeste do Brasil. PEDRO et al (2020); MARRAFON; REBOITA (2020) e STEIL; DE QUADRO (2019) relatam que as principais forçantes são as anomalias de TSM no Atlântico oeste, que influenciam diretamente a localização e a intensidade da ZCAS, modulando a precipitação no Centro-Leste (CL) do Brasil e no Sudeste da América do Sul (SEAS). Entretanto, existem tendências de que a variabilidade interanual de TSM no Atlântico esteja associada às perturbações remotas, como os eventos El Niño – Oscilação Sul.

A precipitação sazonal simulada pelo BAM (Figuras 6; coluna esquerda) mostra-se menos (mais) intensa a leste dos Andes, quando comparado a análise do GPCP (Figura 6; coluna central). Apesar do modelo subestima (superestima) a precipitação nesta região, a reprodução desses máximos na climatologia do modelo é um indicativo da representação da dinâmica dessa região, de modo geral, o modelo representou de forma satisfatória os efeitos do ENOS acoplados aos sistemas atuantes no NEB, onde houve um aumento da precipitação no verão de 2010 (La Niña) e uma redução em 2015 (El Niño). Estes resultados estão em conformidade com recentes trabalhos de simulações climáticas sobre AS, como, (SOUZA et al. 2018; SILVA; DOS SANTOS, 2020; MARENGO et al. 2017) para NEB a diferença dos compostos mostra que o impacto do El Niño em reduzir a precipitação é mais intenso que o da La Niña em intensificar a precipitação. vários estudos têm evidenciado como os recursos hídricos na região Nordeste vem sendo afetados em anos com marcantes anomalias de precipitação (MARENGO et al. 2017; MARTINS et al. 2017; BRITO et al. 2018; AZEVEDO et al. 2018 e RODELL et al. 2018). Por exemplo, os efeitos observados desse sistema acabam favorecendo ou desfavorecendo as atividades convectivas, sendo assim, foi observado que na sub-região 1 (norte do NEB), em anos de EN, é bem caracterizado por anomalias negativas (período de secas) como descritas na literatura (MOLION; BERNARDO, 2002; PEZZI; CAVALCANTI, 2001). Em anos de LN, observa-se, na sub-região 1 e 2, dois períodos com impactos contrastantes, antes de 1976, com predomínio de anomalias de precipitação negativas (redução das chuvas), e após este ano, anomalias positivas (chuvas acima da média climatológica).

Com o objetivo de identificar a variabilidade espacial dos dados de precipitação sobre a AS, a (Figuras 6; coluna direita) apresenta o erro médio para a região, observa-se que os maiores desvios estão localizados sobre a porção (Norte, Sul e parte do Oceano pacífico), regiões onde teve os menores valores de precipitação observados. (FREITAS et al. 2020)

usando o modelo RegCM4.7 observou em um estudo na AS, que os maiores desvios foram observados sobre os subdomínios Amazônia e Centro-Oeste (AMZ) e SUL, onde os totais de precipitação foram mais intenso. De modo geral, as demais regiões apresentaram menores amplitudes, ou seja, desvios positivos em quase toda a AS. Observa-se ainda que a região do NEB apresentou desvios positivos em sua grande parte com exceção da porção norte do NEB onde subestimou (superestimando) os valores encontrados pelo GPCP. De acordo com ALVES; MARENGO (2010); COSTA et al. (2021) e BRITO et al. (2019), apesar do modelo simular corretamente o posicionamento dos sistemas, a precipitação associada a este sistema não consegue adentrar de forma direta ao continente, resultando em possíveis desvios negativos e positivos de precipitação no extremo norte da América do Sul durante o trimestre de DJF.

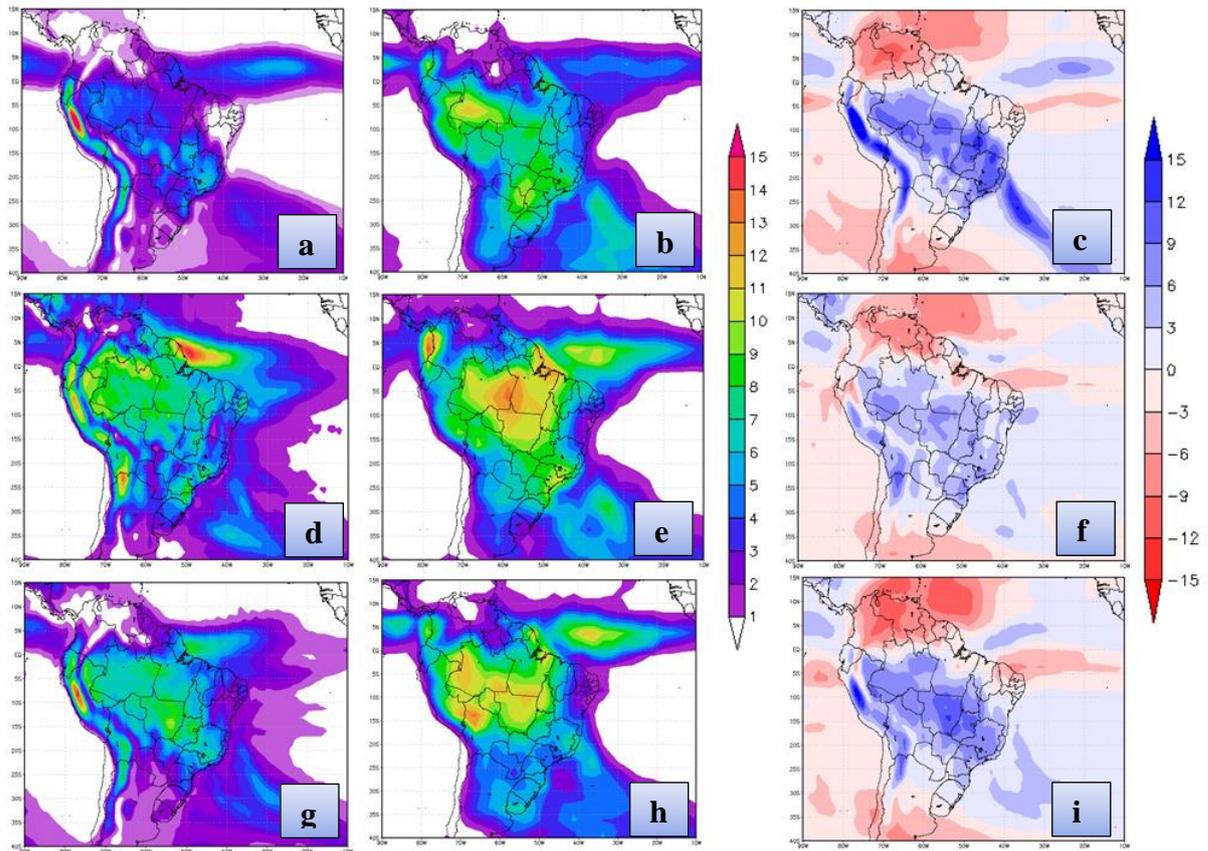


Figura 6 – Campo de precipitação média sazonal. para os verões de 2015 (a, b, c), 2010 (d, e, f) e 2013 (g, h, i): BAM (coluna esquerda), GPCP (coluna central) e BIAS (coluna direita). As unidades são em mm/dia. Fonte: Autor, 2021.

4.2. Validação do Modelo

A área de estudo é afetada anualmente por uma distribuição irregular e complexa da precipitação, com elevadas temperaturas ao longo do ano e um índice de precipitação que varia de 300 a 2000 mm conta com a presença de quatro tipos de climas bem marcantes: clima equatorial úmido, clima litorâneo úmido e clima tropical semiárido (MARENGO et al. 2017; SANTOS et al. 2017; DE OLIVEIRA, et al. 2018; GOMES; FREITAS, 2018). No intuito de avaliar a destreza em termos quantitativos entre as simulações do modelo BAM e análise do (ERA-5 e GPCP), e também a amplitude do erro entre ambos na escala de tempo interanual para todo o período (3 verões). Devido à grande área ocupada pelo NEB, é importante realizar subdivisões, pois, a região responde de maneira diferente com a influência dos diversos sistemas que atuam na região. Dessa maneira, foi utilizado o domínio com resolução de 20 km em três regiões (Figura 6): NE1 que engloba os Estados (Maranhã, Piauí e parte do Ceará e Pernambuco), NE2 (Grande parte da Bahia, uma pequena porção sul do Piauí e uma parte do leste do Tocantins), já o domínio CO1 cobre toda costa do NEB (Rio Grande do Norte, Paraíba, grande parte de Pernambuco, Alagoas, Sergipe e a Porção costeira da Bahia).

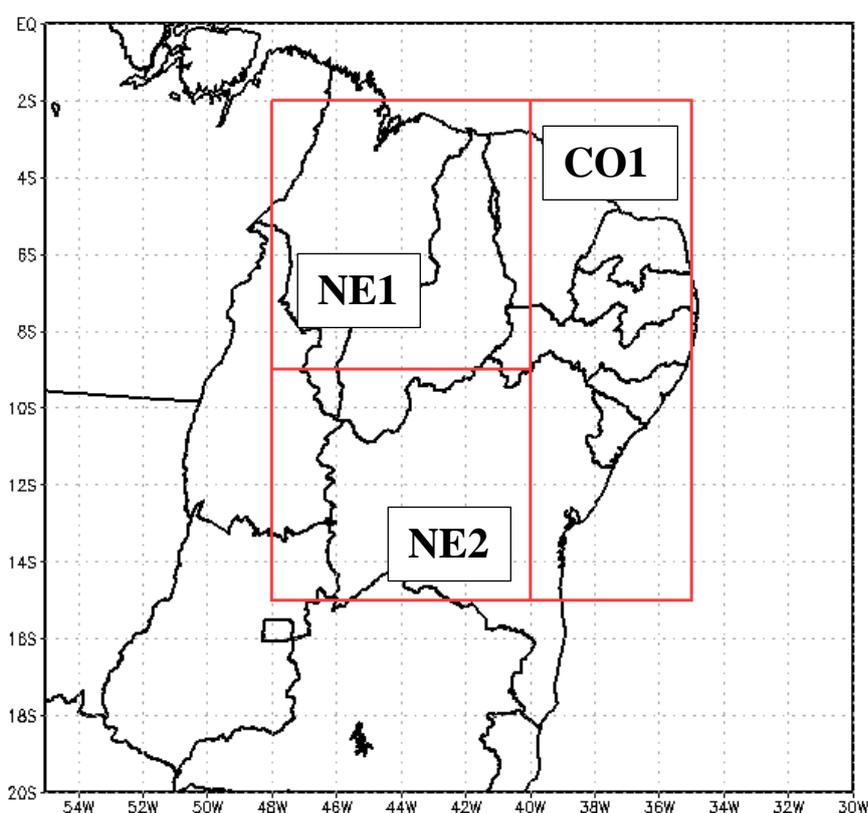


Figura 6 - Subdivisões das áreas para avaliação objetiva. NE1 (Maranhã, Piauí e parte do Ceará e Pernambuco), NE2 (Grande parte da Bahia, uma pequena porção do Piauí e uma parte do

Tocantins) e CO1 (Rio Grande do Norte, Paraíba, grande parte de Pernambuco, Alagoas, Sergipe e a Porção costeira da Bahia). Fonte: Autor, 2021.

4.2.1. Precipitação Sazonal

A tabela 4 apresenta os valores das análises estatísticas da precipitação e temperatura do ar sazonal, para as três áreas de verificação (NE1, NE2 e CO1), analisando o verão de 2010 (Tabela 4) é possível observar que, para a precipitação sazonal, o menor valor de RMS foi de 2,87mm para o domínio NE1 já para o BIAS o menor valor foi observado sobre o domínio CO1 (Tabela 4). O maior valor encontrado no RMS foi sobre toda costa do NEB, área do CO1, enquanto para o erro médio os valores mais expressivos foram na área NE2. Para o coeficiente de correlação, o melhor resultado para a correlação espacial foi observado na região NE1 com (53%). No verão de 2013, o menor valor de RMS é encontrado no domínio NE1 onde apresentou 2,48mm enquanto o BIAS este valor foi de -0,54 também para a região NE1. Por outro lado, os maiores valores RMS e BIAS foram de 4,19mm e 4,35, respectivamente para o domínio NE2, que também apresentou o maior valor do coeficiente de correlação espacial (56%), a região NE1 também apresentou uma boa correlação espacial (55%).

Em 2015, os domínios CO1 (2,97mm) e NE1 (0,02) tiveram os menores valores de RMS e BIAS, já o domínio NE2 apresentou os maiores valores tanto para o RMS (8,92mm) quanto BIAS (3,46). Além disso, é observado a melhor correlação no mesmo domínio NE2 com um valor de 52%. Este resultado corrobora com os estudos encontrados por (MENDES 2020; SOUSA et al. 2018; SOUSA et al. 2019; BRITO et al 2019 e ALVES 2018) usando modelos como WRF, RegCM-4.6.1 e QTCM encontram predominância de viés positivo, ou úmido, em grande parte da Amazônia, um maior viés positivo sobre o setor sudoeste de (centro do Peru, Bolívia e centro-sul do Brasil). As maiores correlações significativas foram observadas durante DJF (valores superiores a 0.7) são encontrados na área com o menor viés nesta estação, localizadas principalmente sobre o norte-nordeste da AS e ao longo da área de influência da ZCIT no oceano Atlântico.

4.2.2. Temperatura do ar Sazonal

Analisando a temperatura do ar sazonal (Tabela 4), nos três verões, observa-se de maneira geral que tanto o RMS como o BIAS apresentaram temperaturas inferiores a $\pm 2,5^{\circ}\text{C}$ em todas as áreas verificadas, com exceção da região NE2. Valores que são esperados para a região de acordo com a literatura (KOUSKY; KAYANO; CAVALCANTE, 1984; SALES et

al. 2015). Estudos como o de (COSTA et al. 2021; GUIMARÃES et al. 2016; RODRIGUES et al. 2019) para as sub-regiões norte e sul do NEB, observaram que na porção norte do NEB na média anual, em relação ao CRU, o RAMS apresenta valores negativos para o BIAS (-1,016 °C) comparado ao HadGEM2-ES. Já na porção sul, o modelo regional mantém o viés menos frio (-1,398 °C) comparado ao modelo global (-1,613 °C), concordando com os valores do BIAS dentro do limiar $\pm 2,5^{\circ}\text{C}$. A ocorrência de anomalias de chuva e temperatura estão associadas a ocorrência dos eventos EL Niño e La Niña e são a principal fonte de variabilidade interanual para a AS (IDALINO et al. 2020; PEREIRA et al. 2018; SOLMAN; BLÁZQUEZ 2019).

Na maior parte dos casos, observa-se que o modelo está simulando a temperatura do ar e precipitação sazonal de forma coerente, quando comparado a análise do ERA-5 e GPCP, no entanto entre a precipitação sazonal e a temperatura do ar, nota-se que o padrão espacial deste último é melhor, assim como as correlações. É importante destacar que pelas análises a região NE2 foi à área que obteve a maior destreza, tanto na precipitação como temperatura, quando comparado às outras regiões, em parte isso pode ser explicado devido sua posição geográfica, que favorece a chega de sistemas tanto da faixa tropical quanto extratropical, interferindo diretamente na sensibilidade ao esquema convectivo e resolução horizontal do modelo, o novo núcleo dinâmico e esquemas de parametrização de última geração está influenciando as maiores destrezas do modelo em função da alta resolução do mesmo.

Tabela 4 - Análise estatística da temperatura do ar e precipitação sazonal nas três regiões de verificação (NE1, NE2 e CO1) através do erro médio (BIAS), raiz do erro médio quadrático (RMS) e coeficiente de correlação (r).

Variáveis	Regiões	LA NIÑA (2010-2011)			NEUTRO (2013-2014)			EI NIÑO (2015-2016)		
		RMS	BIAS	r	RMS	BIAS	r	RMS	BIAS	r
PREC	NE1	2,87	0,51	0,53	2,48	-0,54	0,55	3,87	0,02	0,39
	NE2	2,99	7,58	0,38	4,19	4,35	0,56	8,92	3,46	0,52
	CO1	3,57	-0,53	-0,47	2,80	-1,22	-0,33	2,97	0,54	-0,02
TEMP	NE1	1,70	-0,92	0,24	2,10	-0,63	0,39	2,13	1,08	0,25
	NE2	2,79	-1,13	0,05	3,06	-1,08	0,01	3,26	0,87	-0,07
	CO1	1,99	0,51	0,01	2,02	1,22	-0,01	2,27	2,46	-0,13

Fonte: Autor (2021). Fonte: Autor, 2021.

5. CONCLUSÕES

Neste trabalho foram apresentados resultados referentes a avaliação do desempenho do modelo Atmosférico Global Brasileiro (BAM) durante os verões austrais de 2013-2014 (Normal), 2015-2016 (El Niño) e 2010-2011 (La Niña), com o intuito de simular a variabilidade do clima regional no NEB, dessa maneira, analisar a eficiência do modelo em reproduzir as características da circulação atmosférica e os padrões de precipitação e Temperatura do ar.

Em baixos níveis, é possível observar uma diferença na intensidade da ASAS, e no escoamento de noroeste em baixos níveis a leste dos Andes, o modelo BAM simulou com eficiência a variabilidade interanual nos três verões estudados quando comparado com os resultados do ERA-5. Porém no verão de 2015, ano de ocorrência de uma El Niño, tanto a ASAS quando o escoamento de noroeste apresentou maior intensidade. Tendo em vista que o sistema de Alta pressão penetra o continente e se estende até o centro da AS, já o escoamento de noroeste ganha intensidade chegando próximo ao NNE do Paraguai. Notou-se que em anos de El Niño em baixos níveis da atmosfera, esse modo de variabilidade favorece o deslocamento e intensificação do jato de baixos níveis (JBN) a leste dos Andes da região tropical para o sudeste da AS. Um forte gradiente é observado na reanálise ERA5 de Leste para Oeste junto com o avanço da ASAS no NEB, favorecendo para a diminuição dos mecanismos de formação de nuvens afetando diretamente o regime pluviométrico.

Em altos níveis a principal característica observada, é a presença da AB que está ligado ao cavado que aparece sobre o Nordeste, representado melhor pelo modelo ERA-5. O modelo BAM não representou com clareza esses sistemas supracitados no verão de 2015, no entanto, pode-se observar nos três modelos uma concordância com relação a ASAS sobre o oceano atlântico nos verões de 2010, 2013 e 2015. A climatologia sinótica indica três sistemas em altos níveis típicos sobre a América do Sul: VCAN de origem extratropical, a Alta da Bolívia (AB) e o Cavado do Nordeste Brasileiro. No verão de 2015 a AB foi observada mais a noroeste da AS, relacionado com 2010 e 2013, o sistema está associado a esta circulação existe, nos baixos níveis da atmosfera, uma região de baixa pressão e convergência do ar Baixa do Chaco. O modelo BAM ainda se mostrou hábil para reproduzir a variabilidade interanual dos jatos de altos níveis (JAN) (Figura 4; coluna direita), onde apresenta maior intensidade em 2015.

Com relação a temperatura do ar médio em 850 (hPa), em comparação com o verão de 2015, onde apresentou as temperaturas mais elevadas, 2010 foi relativamente mais frio. De modo geral, pode-se observar que os maiores gradientes térmicos se encontram nas regiões subtropical e extratropical da AS, onde a estrutura do gradiente de temperatura foi similar de forma satisfatória pelo modelo BAM. O verão de 2015 apresenta temperaturas superiores a 21°C cobrindo uma maior extensão de área comparado com os outros verões estudados. O modelo simulou essa variabilidade interanual. Contudo, as simulações da estrutura térmica reproduzidas pelo BAM foram mais intensas e com maior extensão, quando comparados a os resultados do ERA-5.

A variabilidade interanual da precipitação é observada principalmente sobre a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), Zona de convergência do Atlântico Sul (ZCAS) e nas regiões subtropicais e extratropicais da AS. Durante o verão de 2010 ano de La Niña, grande parte da AS principalmente (Norte, Nordeste e Centro-oeste) do Brasil apresentaram valores de precipitação superiores aos anos de 2013 e 2015, isso pode ser explicado pela influência do Atlântico Tropical como modulador da precipitação nas regiões norte e nordeste da AS, mesmo coincidindo com a época de anos extremos de ENOS, enfatizando a importância das duas bacias oceânicas sobre o clima da AS. A variabilidade interanual da precipitação observada pelo modelo BAM, está presente em praticamente todo o domínio. Os padrões foram representados de forma coerente pelo BAM, entretanto com uma pequena variação e deslocamento abaixo dos valores da análise GPCP. Por exemplo a distribuição da precipitação sobre o NEB, o BAM subestima os valores comparado com a reanálise, no entanto o modelo foi eficiente em reproduzir a Banda de convecção da ZCAS, evidenciando a maior atividade convectiva localizada na região Centro-Oeste do Brasil. Entretanto, existem tendências de que a variabilidade interanual de TSM no Atlântico esteja associada às perturbações remotas, como os eventos El Niño – Oscilação Sul. O modelo representou de forma satisfatória os efeitos do ENOS acoplados aos sistemas atuantes no NEB, onde houve um aumento da precipitação no verão de 2010 (La Niña) e uma redução em 2015 (El Niño).

Em adição, foram realizadas análises estatísticas da precipitação e temperatura do ar sazonal, para as três áreas de verificação (NE1, NE2 e CO1). Na maior parte dos casos, observa-se que o modelo está simulando a temperatura do ar e precipitação sazonal de forma coerente, quando comparado a análise do ERA-5 e GPCP, no entanto entre a precipitação sazonal e a temperatura do ar, nota-se que o padrão espacial deste último é melhor, assim como as correlações. É importante destacar que pelas análises a região NE2 foi à área que

obteve a maior destreza, tanto na precipitação como temperatura, quando comparado às outras regiões, em parte, isso pode ser explicado devido sua posição geográfica, que favorece a chega de sistemas tanto da faixa tropical quanto extratropical, o novo núcleo dinâmico e esquemas de parametrização aumentando a eficiência do modelo, dessa forma, interferindo diretamente na sensibilidade, esquema convectivo e a alta resolução do mesmo.

O estudo da variabilidade interanual da circulação atmosférica sobre a AS e Principalmente o NEB, torna-se importante visto que, a interação desses mecanismos nas diferentes escalas (tamanho e tempo), são responsáveis por interferir no regime de precipitação tanto da AS quando do NEB nas escalas sazonal e interanual (CARDOSO et al. 2019; SILVA et al. 2019). Estes resultados trará um suporte para os centros operacionais de meteorologia, uma vez que, o conhecimento com meses de antecedência dos padrões atmosféricos e oceânicos que possam explicar como será a evolução e possível previsão ao longo da estação chuvosa, pode-se contribuir para a melhoria do planejamento socioeconômico de cada região, minimizando os impactos de situações de eventos extremos

6. Recomendações para trabalhos futuros

A partir deste trabalho é possível o desenvolvimento de novos estudos. À implementação e análise de outras variáveis como TSM, UMIDADE, FLUXO DE CALOR SENSÍVEL E LATENTE, RADIAÇÃO DE ONDA LONGA E CURTA E EVAPOTRASPIRAÇÃO em conjunto com uma série temporal maior, trará suporte para resultados mais consistentes e previsões cada vez mais eficientes.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AZEVEDO, S.C.; Cardim, G.P.; Puga, F.; Singh, R.P. & Silva, E.A. Analysis of the 2012-2016 drought in the northeast Brazil and its impacts on the Sobradinho water reservoir. *Remote Sensing Letters*, 9(5): 439 – 447, 2018.

ALVES, J. M. B. et al. Mecanismos atmosféricos associados à ocorrência de precipitação intensa sobre o Nordeste do Brasil durante janeiro/2004. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 21, n. 1, p. 56-76, 2006.

ALVES, L. M. e MARENGO, J. A. Assessment of regional seasonal predictability using the PRECIS regional climate modeling system over South America. *Theoretical and Applied Climatology*, v. 100, p. 337–350, 2010.

ALVES, Lincoln Muniz. Análise da variabilidade climática e eventos extremos de precipitação sazonal com o modelo climático RegCM-4.6. 1 sobre o sudeste do Brasil. 2018.

ANDREOLI, R. V. et al. A influência da temperatura da superfície do mar dos Oceanos Pacífico e Atlântico na variabilidade de precipitação em Fortaleza. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.19, n.3, 337-344, 2009.

ÁVILA, P. L. R.; BRITO, J. I. Relação Entre a Oscilação Decadal do Pacífico e a Variabilidade da Precipitação de Campina Grande, PB. **Ciência e Natura**, v. 37, p. 159-162, 2015.

ANDREOLI, R.V.; OLIVEIRA, S.S.; KAYANO, M.T.; VIEGAS, J.; SOUZA, R.A.F.; CANDIDO, L.A. The influence of different El Niño types on the South American rainfall. *International Journal of Climatology*, v. 37, p. 1374-1390, 2016.

BASTARZ, Carlos Frederico; SAPUCCI, Luis Fernando; BONATTI, José Paulo. SISTEMA DE PREVISÃO POR CONJUNTO GLOBAL NO CPTEC: **ESTADO ATUAL E PLANOS FUTUROS**, 2015.

BECKER, Andreas et al. A description of the global land-surface precipitation data products of the Global Precipitation Climatology Centre with sample applications including centennial (trend) analysis from 1901–present. *Earth System Science Data*, v. 5, n. 1, p. 71-99, 2013.

BRITO, S.S.B.; Cunha, A.P.M.A.; Cunningham, C.C.; Alvalá, R.C.; Marengo, J.A. & Carvalho, M.A. Frequency, duration and severity of the drought in the Semiarid Northeast Brazil region. *International Journal of Climatology*, 23: 200-213, 2018.

BRITO, Adriane Lima et al. Avaliação do Desempenho dos Modelos HadGEM2-ES e Eta a partir de Indicadores de Extremos Climáticos de Precipitação para a Bacia Amazônica. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 34, n. 2, p. 165-177, 2019.

BONAVITA, M., Hólm, E., Isaksen, L. and Fisher, M. The evolution of the ECMWF hybrid data assimilation system. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 142(694), pp.287-303, 2016.

BORSATO, Victor Assunção; MASSOQUIM, Nair Gloria. OS SISTEMAS ATMOSFÉRICOS E OS EVENTOS CLIMÁTICOS EXTREMOS NA REGIÃO DE CAMPO MOURÃO-PR. *Revista Brasileira de Climatologia*, v. 23, 2018.

CARPENEDO, Camila Bertoletti; AMBRIZZI, Tércio. Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul Associado ao Modo Anular Sul e Impactos Climáticos no Brasil. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 35, n. 4, p. 605-613, 2020.

CAVALCANTI, Iracema FA. Episódios El Niño/Oscilação Sul durante a década de 1986 a 1996 e suas influências sobre o Brasil. *Climanálise Especial*, 1996.

CAVALCANTI, I. F. A. Large scale and synoptic features associated with extreme precipitation over South America: A review and case studies for the first decade of the 21st century. *Atmospheric Research*, v. 118, p. 27-40, 2012.

CARDOSO, Letícia Karyne da Silva et al. Aspectos climáticos das posições da zona de convergência intertropical e dos anticiclones semipermanentes do Atlântico Sul e do Pacífico Sul: relações com regimes de chuva no nordeste do Brasil. 2019.

CHIU, Long S.; CHOKNGAMWONG, Roongroj. Microwave emission brightness temperature histograms (METH) rain rates for climate studies: Remote Sensing Systems SSM/I version-6 results. *Journal of applied meteorology and climatology*, v. 49, n. 1, p. 115-123, 2010.

COSTA, Micejane da Silva et al. Vórtice ciclônico em altos níveis associados à corrente de jato no nordeste brasileiro nos anos de 1998-2007. 2010.

COSTA, MH e GF Pires: Efeitos dos cenários de desmatamento da Amazônia e do Brasil central na duração da estação seca no arco do desmatamento. *Int. J. Climatol*, v. 30, p. 1970 – 1979, 2010.

COSTA, T. C. e C. et al. Análise da degradação da caatinga no núcleo de desertificação do Seridó (RN/PB). **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, (suplemento), p. 961-974, 2007.

COSTA, Rafaela Lisboa et al. Cenários de Mudanças Climáticas para a Região Nordeste do Brasil por meio da Técnica de Downscaling Estatístico. *Revista Brasileira de Meteorologia*, n. AHEAD, 2021.

COELHO, Caio AS et al. Evaluation of climate simulations produced with the Brazilian global atmospheric model version 1.2. *Climate Dynamics*, v. 56, n. 3, p. 873-898, 2021.

CUNHA, A. P. M. A. et al. Avaliação de indicador para o monitoramento dos impactos da seca em áreas de pastagens no semiárido do Brasil. **Revista Brasileira de Cartografia**. v. 6, n. 1, p. 89-106, 2013.

CUSTÓDIO, Lady Layana Martins et al. Análise da precipitação pluvial da pré-estação e da estação chuvosa de Roraima e do leste do Nordeste do Brasil. 2017.

DA SILVA, Vicente PR et al. Análise da pluviometria e dias chuvosos na região Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, n. 2, p. 131-138, 2011.

DA SILVA, Maria Leidinice et al. Avaliação do Modelo OLAMv. 3.3 na Simulação da Precipitação sobre o Nordeste Setentrional Brasileiro. *Anuario do Instituto de Geociencias*, v. 43, n. 3, 2020.

DE OLIVEIRA, Alisson Medeiros; DE AMORIM, Rodrigo Freitas; DA SILVA COSTA, Diógenes Félix. Implicações das oscilações climáticas do Quaternário tardio na evolução da fisionomia da vegetação do semiárido do Nordeste Setentrional. **Revista de Geociências do Nordeste**, v. 4, p. 50-65, 2018.

DE ALMEIDA, Hermes Alves; MEDEIROS, Everton Araújo. Variabilidade no regime pluvial em duas mesorregiões da Paraíba e sua relação com o fenômeno El Niño Oscilação Sul. *Journal of Environmental Analysis and Progress*, p. 177-185, 2017.

DOS SANTOS, Diego Felipe; REBOITA, Michelle Simões. Jatos de baixos níveis a leste dos andes: comparação entre duas reanálises. *Revista Brasileira de Climatologia*, v. 22, 2018.

DOS SANTOS, Wagner Martins et al. Variabilidade espacial da sazonalidade da chuva no semiárido brasileiro. *Journal of Environmental Analysis and Progress*, p. 368-376, 2017.

DORNELES, Viviane Rodrigues; RIQUETTI, Nelva Bugoni; NUNES, André. Forçantes Dinâmicas e Térmicas Associadas a um Caso de Precipitação Intensa Sobre o Rio Grande do Sul, Brasil. *Revista Brasileira de Climatologia*, v. 26, 2020.

DOS SANTOS GUIMARÃES, Bruno et al. An inter-comparison performance assessment of a Brazilian global sub-seasonal prediction model against four sub-seasonal to seasonal (S2S) prediction project models. *Climate Dynamics*, v. 56, n. 7, p. 2359-2375, 2021.

- ESCOBAR, Gustavo Carlos Juan. Classificação Sinótica Durante a Estação Chuvosa do Brasil. *Anuário do Instituto de Geociências*, v. 42, n. 2, p. 421-436, 2019.
- FREITAS, Ismael Guidson Farias de et al. Downscaling Dinâmico através do Modelo RegCM para Diferentes Inicializações Utilizando Dados do CFSv2. *Revista Brasileira de Meteorologia*, n. AHEAD, 2020.
- FIGUEROA, S. N., and Coauthors: The Brazilian Global Atmospheric Model (BAM): Performance for tropical rainfall forecasting and sensitivity to convective scheme and horizontal resolution. *Wea. Forecasting*, 31, 1547–1572, 2016.
- FOLEY, JA, IC Prentice, N. Ramankutty, S. Levis, D. Pollard, S. Sitch e A. Haxeltine: Um modelo de biosfera integrado de processos de superfície terrestre, balanço de carbono terrestre e dinâmica da vegetação. *Global Biogeochem. Cycles*, v. 10, p. 603 - 628, 1996.
- GELARO, Ronald et al. The modern-era retrospective analysis for research and applications, version 2 (MERRA-2). *Journal of climate*, v. 30, n. 14, p. 5419-5454, 2017.
- GOMES, Lorena de Moura Joia; FREITAS, Ana Carolina Vasques. Alterações na Circulação de Hadley Regional e na Alta Subtropical do Atlântico Sul em um Cenário de Aquecimento Global. *Anuário do Instituto de Geociências*, v. 43, n. 3, p. 227-239, 2018.
- GUIMARÃES, Sullyandro Oliveira et al. Projeções de Mudanças Climáticas sobre o Nordeste Brasileiro dos Modelos do CMIP5 e do CORDEX. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 31, n. 3, p. 337-365, 2016.
- GUIMARÃES, Daniel P.; DOS REIS, Ruibran. Impactos do fenômeno Enos sobre a temperatura no Brasil. *Revista Espinhaço| UFVJM*, p. 34-40, 2017.
- HASTENRATH, S. Exploring the climate problems of Brazil's Nordeste: a review. *Climatic Change*, v. 112, n. 2, p. 243-251, 2012.
- HERSBACH, Hans et al. The ERA5 global reanalysis. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, v. 146, n. 730, p. 1999-2049, 2020.
- HIROTA, Nagio; TAKAYABU, Yukari N. Reproducibility of precipitation distribution over the tropical oceans in CMIP5 multi-climate models compared to CMIP3. *Climate dynamics*, v. 41, n. 11-12, p. 2909-2920, 2013.

IACONO, M. J. Delamere, E. Mlawer, M. Shephard, S. Clough e W. Collins: Forçamento radiativo por gases de efeito estufa de longa duração: Cálculos com os modelos de transferência radiativa AER. **J. Geophys. Res.** 113, 2008.

IDALINO, Filipe Daros et al. Variabilidade de precipitação e temperatura média superficial do ar no norte da região de Aisén, Chile, no período de 1950-2017. *Revista GeoUECE. Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Estadual do Ceará*, 2020. Vol. 9, nesp. 2 (2020), p. 6-23, 2020.

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

KELLEY, Maxwell et al. GISS-E2. 1: Configurations and climatology. *Journal of Advances in Modeling Earth Systems*, v. 12, n. 8, p. e2019MS002025, 2020.

KRISHNAMURTI, TN, S. Low-Nam e R. Pasch: Parametrizações do cúmulo e taxas de precipitação II. *Seg. Wea. Rev.* 111, 815 - 828, 1983.

KOUSKY, V. E.; KAYANO, M. T.; CAVALCANTE, I. F. A. A review of the southern oscillation oceanic atmospheric circulation changes and related rainfall anomalies. **Tellus**, v. 36, p. 490-504, 1984.

LIMA, Mônica Vaz; NUNES, André Becker. Comportamento climático do balanço do vento térmico na América do Sul de acordo com os eventos ENOS: Estudo preliminar. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 11, n. 03, p. 728-744, 2018.

LUCENA, Daisy Beserra; GOMES FILHO, Manoel F.; SERVAIN, Jacques. Avaliação do impacto de eventos climáticos extremos nos Oceanos Pacífico e Atlântico sobre a estação chuvosa no nordeste do Brasil. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 26, n. 2, p. 297-312, 2011.

MARENGO, J. A. Vulnerabilidade, impactos e adaptação à mudança do clima no semi-árido do Brasil. **Parcerias Estratégicas**. v, 13, n, 27, p. 149-176, 2013.

MARTINS, ESPR; MAGALHÃES, Antonio Rocha; FONTENELE, Diógenes. A seca pluri-anual de 2010–2017 no Nordeste e seus impactos. *Parc. Estrat*, v. 22, p. 17-40, 2017.

MARENGO, J. A.; CUNHA, A. P.; ALVES, L. M. A seca de 2012-15 no semiárido do Nordeste do Brasil no contexto histórico. **Climanálise (Online)**, v. 3, p. 49-54, 2016.

MARENGO, J.A.; Alves, L.M.; Alvala, R.C.S.; Cunha, A.P.; Brito, S. & Moraes, O.L.L. Climatic characteristics of the 2010-2016 drought in the semiarid Northeast Brazil region. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 23: 1-13, 2017.

MARENGO, José A. et al. Climatic characteristics of the 2010-2016 drought in the semiarid Northeast Brazil region. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, v. 90, n. 2, p. 1973-1985, 2018.

MARTINS, E.S.P.R.; Coelho, C.A.S.; Haarsma, R.; Otto, F.E.L.; King, A.; Oldenborgh, G.J.V.; Kew, S.; Philip, S.; Vasconcelos Jr., F.C. & Cullen, H. A multimethod attribution analysis of the prolonged Northeast Brazil hydrometeorological drought (2012-16). *Bulletin of the American Meteorological Society*, 99: 65-69, 2017.

MARRAFON, Vitor Hugo; REBOITA, Michelle Simões. Características da precipitação na América do Sul reveladas através de índices climáticos. *Revista brasileira de climatologia*, v. 26, 2020.

MATIOLA, Cleusa; RIBEIRO, Eduardo Augusto Werneck. ANÁLISE EXPLORATÓRIA DOS DADOS CLIMÁTICOS E SUA INFLUÊNCIA NO *Aedes aegypti*, NO MUNICÍPIO DE CHAPECÓ/SC: RESULTADOS PARCIAIS. *Hygeia-Revista Brasileira de Geografia Médica e da Saúde*, v. 15, n. 33, p. 29-41, 2019.

MENDES, Marcus Vinícius. O fenômeno El Niño oscilação Sul. *Revista Marítima Brasileira*, v. 139, n. 01/03, 2019.

MENDES, Marcus Vinícius. Relações de larga escala entre a Temperatura da Superfície do Mar do Oceano Atlântico Sul e a precipitação continental na América do Sul no período de 1901 a 2010. 2020.

MOLION, L.C.B.; BERNARDO, S.O. Uma revisão da dinâmica das chuvas no Nordeste Brasileiro. *Revista Brasileira Meteorologia*, 17(1)1-10, 2002.

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, 2004.

MORRISON, G. G. Thompson e V. Tatarskii: Impacto da microfísica das nuvens no desenvolvimento de precipitação estratiforme à direita em uma linha de instabilidade simulada: Comparação de esquemas de um e dois momentos. **Seg. Wea, Rev.** 137, p. 991 – 1007, 2009.

- MOSCATI, M. C. L.; GAN; M. A. Rainfall variability in the rainy season of semiarid zone of Northeast Brasil (NEB) and its relation to wind regime. **International Journal of Climatology**, v. 27, n. 4, p. 493-512, 2006.
- MOURA, G. B. et al. Relação entre a precipitação do leste do Nordeste do Brasil e a temperatura dos oceanos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, n. 4, p. 462-469, 2009.
- MLAWER, EJ, SJ Taubman, PD Brown, MJ Iacono e SA Clough, Transferência radiativa para atmosferas não homogêneas: RRTM, um modelo correlacionado-k validado para ondas longas. **J. Geophys. Res.** v.102, p. 16 663-16 682, 1997.
- NEALE, RB e co-autores: Descrição do NCAR Community Atmosphere Model (CAM 5.0). **NCAR Tech. Nota NCAR / TN-486 + STR**, 274, 2012.
- NETO, Nabor Figueirêdo. AVALIAÇÃO DOS IMPACTOS DO EVENTO EL NIÑO SOBRE A VEGETAÇÃO DO MUNICÍPIO DE PATOS-PB. *Revista Craibeiras de Agroecologia*, v. 4, n. 2, 2019.
- NOBRE, P.; SHUKLA, J. Variations of sea surface temperature, wind stress, and rainfall over the tropical Atlantic and South America. **Journal of Climate**, v.9, n.19, p.2464-2479, 1996.
- NUNES, André Becker. Estudo de Caso de Sistemas Meteorológicos em Altos Níveis Sobre a América do Sul: Análise Sinótica. *Anuário do Instituto de Geociências [online]*, v. 40, 2017.
- OLIVEIRA, Reumally Nunes de et al. A variabilidade da chuva na Amazônia Central: El Niño e La Niña. 2019.
- PARK, S. e CS Bretherton: Os esquemas de convecção superficial e turbulência úmida da Universidade de Washington e seu impacto nas simulações climáticas com o Modelo de Atmosfera Comunitária. **J. Clima**, v. 22, p. 3449 – 3469, 2009.
- PEREIRA, H. R.; REBOITA, M. S.; AMBRIZZI, T. Características da Atmosfera na Primavera Austral Durante o El Niño de 2015/2016. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 32, n. 2, p. 293-3010, 2017.
- PEREIRA, Vaneza Barreto. O Registro paleoclimático em um testemunho de gelo do Nevado Illimani (Bolívia) e a variabilidade da precipitação no sul do Brasil. 2019.

PEREIRA, Heloisa Ramos; REBOITA, Michelle Simões; AMBRIZZI, Tércio. Características da atmosfera na primavera austral durante o El Niño de 2015/2016. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 32, n. 2, p. 293-310, 2017.

PEREIRA, Gabriel et al. ANÁLISE DA VARIABILIDADE DA PRECIPITAÇÃO PARA O ESTADO DE MINAS GERAIS (1981-2017). *Revista Brasileira de Climatologia*, v. 1, 2018.

PEDRO, Daniele Fernanda Pazini; FREITAS, Ana Carolina Vasques; BELOTTI, Fernanda Maria. A Influência da Zona De Convergência do Atlântico Sul (Zcas) Na Ocorrência de Deslizamentos de Massa Em Belo Horizonte e Cidades Vizinhas. *Revista Brasileira de Climatologia*, v. 27, 2020.

PEZZI, L.P.; CAVALCANTI, I.F.A. The relative importance of ENSO and tropical Atlantic sea surface temperature anomalies for seasonal precipitation over South America: A numerical study. *Climate Dynamics*, 17: 205-212, 2001.

PENNY, S. G., S. AKELLA, O. Alves, C. Bishop, M. BUEHNER, M. CHEVALLIER, F. Counillon et al. Coupled data assimilation for integrated earth system analysis and prediction: Goals, challenges and recommendations. Rap. tech. 3. In World Meteorological Organization, World Weather Research Programme, International workshop on coupled data assimilation (18-21 Octobre 2016, Toulouse). 2017.

PINCUS, R. HW Barker e J.-J. Morcrette: Uma técnica rápida, flexível e aproximada para calcular a transferência radiativa em campos de nuvem não homogêneos. **J. Geophys. Res.** V. 108, p. 4376, 2003.

REBOITA, M. S. et al. Regimes de Precipitação na América do Sul: Uma revisão Bibliográfica. **Revista Brasileira De Meteorologia**. v. 25, n.1, p. 185-204, 2010.

REBOITA, Michelle S. et al. Análise sinótica e numérica de um VCAN no Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 10, n. 01, p. 041-059, 2017.

REBOITA, Michelle Simões et al. Previsão climática sazonal para o Brasil obtida através de modelos climáticos globais e regional. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 33, n. 2, p. 207-224, 2018.

REBOITA, M.S.; AMBRIZZI, T.; SILVA, B.A.; PINHEIRO, R.F.; ROCHA, R.P. The South Atlantic subtropical anticyclone: Present and future climate. *Frontiers in Earth Sciences*, v. 7, n. 8, p. 1-15, 2019.

RODRIGUEZ, R. D. G.; SINGH, V. P.; PRUSKI, F. F.; CALEGARIO, A. T. 2015. Using entropy theory to improve the definition of homogeneous regions in the semi-arid region of Brazil, *Hydrological Sciences Journal*, v. 7, p. 2096 – 2109, 2015.

RODRIGUES, Talmo Manhães de França; SENNA, Mônica Carneiro Alves; CATALDI, Marcio. Simulação dos impactos climáticos da desertificação do Nordeste brasileiro. *Engenharia Sanitaria e Ambiental*, v. 24, n. 5, p. 1037-1047, 2019.

RODELL, M.; Famiglietti, J.S.; Wiese, D.N.; Reager, J.T.; Beaudoin, H.K.; Landerer, F.W. & Lo, M.-H. Emerging trends in global freshwater availability. *Nature*, 557: 651-659, 2018.

ROCHA, Maurício Rebouças et al. A baixa do noroeste argentino e a sela da Argentina: interações com o transporte de umidade e com sistemas convectivos. 2018.

SANTOS, L. F.; GARCIA, S. R. Início e Fim da Estação Chuvosa no Estado de Minas Gerais: Comparação de Duas Metodologias Diferentes. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 31, n.1, p. 92-104, 2017.

SALES, Domingo Cassain et al. Projeções de mudanças na precipitação e temperatura no nordeste brasileiro utilizando a técnica de downscaling dinâmico. *Rev. bras. meteorol.* [online]. vol.30, n.4, pp.435-456, 2015.

SOLMAN, Silvina A.; BLÁZQUEZ, Josefina. Multiscale precipitation variability over South America: analysis of the added value of CORDEX RCM simulations. *Climate Dynamics*, v. 53, n. 3, p. 1547-1565, 2019.

SELUCHI, Marcelo Enrique and SAULO, Andrea Celeste. Baixa do Noroeste Argentino e Baixa do Chaco: características, diferenças e semelhanças. *Rev. bras. meteorol. online*, vol.27, n.1, pp.49-60, 2012.

SILVA, João Pedro Rodrigues; REBOITA, Michelle Simões; ESCOBAR, Gustavo Carlos Juan. Caracterização da Zona de Convergência do Atlântico Sul em campos atmosféricos recentes. *Revista Brasileira de Climatologia*, v. 25, 2019.

SILVA, Francillene Fernandes; DOS SANTOS, Francílio de Amorim; DOS SANTOS, Juliana Moreira. ÍNDICE DE ANOMALIA DE CHUVA (IAC) APLICADO AO ESTUDO

DAS PRECIPITAÇÕES NO MUNICÍPIO DE CARIDADE, CEARÁ, BRASIL. *Revista Brasileira de Climatologia*, v. 27, 2020.

SOUSA, Aline Corrêa de; CANDIDO, Luiz Antonio; ANDREOLI, Rita Valéria. Variabilidade interanual da precipitação e fluxo de umidade sobre a Amazônia usando o QTCM. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 33, n. 1, p. 41-56, 2018.

SOUSA, Jeanne Moreira de et al. Avaliação da Habilidade do Modelo WRF em Representar a Precipitação na Amazônia Usando Diferentes Escalas. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 34, n. 2, p. 255-273, 2019.

SUN, X.; COOK, K.H.; VIZY, E.K. The South Atlantic subtropical high: Climatology and interannual variability. *Journal of Climate*, v. 30, n. 9, p. 3279-3296, 2017.

STEIL, Monalisa; DE QUADRO, Mário Francisco Leal. Variação da temperatura da superfície do mar no oceano Atlântico sul durante episódios de zona de convergência do Atlântico sul oceânica. *Metodologias e Aprendizado*, v. 2, p. 89-94, 2019.

UVO, C. R.; BERNDTSSON, R. Regionalization and Spatial Properties of Ceará State Rainfall in Northeast Brazil. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, v. 101, n. D2, p. 4221-4233, 1996.

VARGAS, Franci Flores; VEIGA, José Augusto Paixão. Padrões atmosféricos e oceânicos associados a eventos secos na bacia amazônica nos anos de 1982/83, 2004/05 e 2009/10. *Ciência e Natura*, v. 39, n. 2, p. 423-435, 2017.

VIEGAS, Juarez et al. Caracterização dos Diferentes Tipos de El Niño e seus Impactos na América do Sul a Partir de Dados Observados e Modelados. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 34, n. 1, p. 43-67, 2019.

VILA, Daniel et al. The performance of hydrological monthly products using SSM/I–SSMI/S sensors. *Journal of Hydrometeorology*, v. 14, n. 1, p. 266-274, 2013.