UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS

CARACTERIZAÇÃO DOS FLUXOS DE UMIDADE SOBRE O SUDESTE DO BRASIL: CLIMA PRESENTE E FUTURO

Ana Caroline Penna

Itajubá/MG Agosto/2017

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS

Ana Caroline Penna

Caracterização dos Fluxos de Umidade Sobre o Sudeste do Brasil: Clima Presente e Futuro

Dissertação submetida ao Programa de Pósgraduação em Meio Ambiente e Recursos Hídricos, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Meio Ambiente e Recursos Hídricos.

Área de Concentração: Meio Ambiente e Recursos Hídricos

Orientador: Dr. Roger Rodrigues Torres

Itajubá/MG Agosto/2017

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ INSTITUTO DE RECURSOS NATURAIS PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM NÍVEL DE MESTRADO EM MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS.

Ana Caroline Penna

Caracterização dos Fluxos de Umidade sobre o Sudeste do Brasil: Clima Presente e Futuro

Dissertação aprovada por banca examinadora em 25 de agosto de 2017, conferindo ao autor o título de Mestre em Meio Ambiente e Recursos Hídricos.

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Roger Rodrigues Torres (orientador) UNIFEI – Universidade Federal de Itajubá

Profa. Dra. Sâmia Garcia Calheiros UNIFEI – Universidade Federal de Itajubá

Prof. Dr. David Mendes UFRN- Universidade Federal do Rio Grande do Norte

Prof. Dr. Cristiano Prestrelo de Oliveira UFRN- Universidade Federal do Rio Grande do Norte

Itajubá/MG

2017

DEDICATÓRIA

Dedico a meus pais

MARCIA APARECIDA PENNA e

JOÃO AMÉRICO PENNA

AGRADECIMENTOS

Primeiramente gostaria de agradecer ao meu orientador, prof. Dr. Roger Rodrigues Torres, por todo o apoio, paciência e confiança, não só sobre a orientação, mas em todas as fases do mestrado e graduação. Foi uma experiência com a qual aprendi e amadureci muito.

Agradeço aos professores do Mestrado em Meio Ambiente e Recursos Hídricos por me passarem todo o seu conhecimento e experiências, sempre estando de portas abertas em qualquer situação.

Queria agradecer às grandes amizades: Matheus Chiacchio, Clarissa Castagnino, Vanessa Siqueira, Carolina Gouveia pela paciência que tiveram comigo durante todo este período, sempre me incentivando e trazendo momentos de alegria. A presença deles é essencial para minha força de espírito.

Agradeço meu pai, João Américo Penna, por me apoiar e me incentivar a realizar planos que me fizessem feliz. Agradeço pela boa vontade em sempre me dar conselhos e carinho para que eu me tornasse uma boa pessoa. Agradeço a minha mãe, Marcia Aparecida Penna por sempre me dar colo e me reconfortar nos momentos de fraqueza, sempre fazendo eu me sentir melhor, me ensinando e dando todo o apoio que precisei. Sem eles eu não estaria vivendo esta fase.

Agradeço a Deus, por me deixar confiar de olhos fechados e sempre me guiar para os melhores caminhos com toda a força, saúde e felicidade para conseguir chegar até aqui.

Agradeço também ao suporte para o conjunto de dados do Twentieth Century Reanalysis Project versão 2c que é fornecido pelo Department of Energy, Office of Science Biological and Environmental Research (BER), e pelo National Oceanic and Atmospheric Administration Climate Program Office.

Por fim à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo auxílio financeiro e a Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI), o meu agradecimento.

RESUMO

O estudo sobre o comportamento climático do transporte de umidade sobre a América do Sul é de extrema importância, uma vez que o mesmo está associado à períodos chuvosos e de seca podendo interferir em setores como a biodiversidade, agropecuária, economia e atividades humanas em geral. Diversos estudos mostram que as regiões da América do Sul são vulneráveis às mudanças climáticas, e nesse contexto as perturbações no sistema climático interferem no comportamento do transporte de umidade, podendo causar um aumento na ocorrência de eventos extremos e interferindo, por exemplo, na disponibilidade de água. O Sudeste do Brasil se enquadra como sendo uma região em que o estudo sobre as projeções climáticas do transporte de umidade é de suma importância, uma vez que é um pólo econômico e a região mais populosa do país, possuindo grandes reservatórios hídricos para abastecimento da população e geração de energia elétrica. Os resultados das projeções climáticas para essa região podem auxiliar em medidas de adaptação e mitigação, diminuindo a sensibilidade quanto às mudanças no clima. Nesse contexto, a caracterização do transporte de umidade do clima presente (1971-2000), futuro próximo (2041-2070) e futuro distante (2071-2100) sobre a AS, com especial enfoque sobre o SEB, foi feita através da análise de 21 Modelos de Circulação Geral (MCGs) presentes no Coupled Model Intercomparison Project Phase 5 (CMIP5) e dos dados de reanálise do 20CRv2c. As projeções climáticas dos 21 modelos utilizados foram avaliadas para quatro cenários de forçantes climáticas: RCP 2.6, RCP 4.5, RCP 6.0 e RCP 8.5. O enfoque foi dado para as projeções do futuro distante, já que o sinal das mudanças apresenta uma maior magnitude. As análises foram realizadas com base em médias sazonais do cálculo do transporte de umidade integrado verticalmente. Avaliandose a média do conjunto de MCGs identificou-se que as simulações representaram bem o transporte de umidades bem como os principais sistemas meteorológicos de escala sazonal atuantes na AS, porém alguns vieses foram observados. De maneira geral a intensidade do transporte de umidade é subestimada ao longo da AS em todas as estações do ano. Os modelos subestimam a convergência de umidade principalmente sobre a região dos Andes, bacia Amazônica, Sul e Sudeste do Brasil. Já a divergência de umidade é subestimada principalmente sobre a costa do Nordeste do Brasil e Oceano Atlântico adjacente, Chile e Oceano Pacífico próximo à costa chilena. Em relação ao SEB, em todas as estações do ano, a maior inserção de umidade se dá pela borda leste, indicando que a principal fonte de umidade para a região é o Oceano Atlântico Sul. Além disso, os MCGs representam bem o sentido do fluxo de umidade ao longo dos limites laterais do SEB, porém subestimam consideravelmente o saldo do fluxo de umidade. Analisando as projeções climáticas ao longo da AS, as regiões de convergência (divergência) de umidade se mostram ainda mais convergentes (divergentes) até o fim do século. Além disso, o transporte de umidade se mostrou mais intenso em cenários futuros. Adendo a esses resultados verificou-se que os valores de umidade integrados verticalmente ao longo dos limites laterais do SEB serão maiores, concomitantemente a um maior fluxo de umidade para a região quando comparado ao clima presente. As projeções também indicam que os meses de verão continuam a serem os que possuem a maior quantidade de fluxo de umidade na região, porém o maior aumento percentual deste parâmetro será durante os meses de inverno. Levando em conta o desempenho de cada MCG, foi considerada a separação dos mesmos por tercis que melhor e pior simularam o clima atual, sendo compostos então cada tercil por sete modelos. Para cada estação do ano uma gama diferente de modelos compunham os tercis. De maneira geral, as projeções das médias dos modelos que tiveram a melhor simulação (primeiro tercil), indicam que o aumento do fluxo de umidade sobre o SEB é ainda maior quando comparado à média do conjunto de 21 modelos. Em contrapartida, as projeções das médias do terceiro tercil (modelos de pior simulação) indicam que, contraditoriamente, ocorrerá uma diminuição no fluxo de umidade. Dessa forma, pode-se dizer que esses modelos acabam por subestimar o fluxo de umidade projetado pela média de todo o conjunto. Por fim, é possível concluir que em um cenário de mudanças climáticas o transporte de umidade sobre o SEB será maior até o fim do século.

Palavras-chave: transporte de umidade, Sudeste do Brasil, mudanças climáticas, CMIP5

ABSTRACT

The study on the climate pattern of moisture transport over América do Sul is extremely important because it is associated with the rainy season and dry, and affects sectors such as biodiversity, agriculture, economy and human activities in general. Many studies show that the regions of South America are vulnerable to climate change and, in this context, disturbances in the climate system influence changes in the transport of moisture, allowing an increase in the occurrence of extreme events and interfering, for example, in the availability of water. Southeastern Brazil is a region where the study of the climatic projections of moisture transport is of great importance, since it is an economic pole and the most populous region of the country, possessing large water reservoirs to supply the population and generation of electricity. The results of the climate projections for this region can aid in adaptation and mitigation measures, reducing sensitivity to changes in climate. In this context, the characterization of the moisture transport of the present climate (1971-2000), near future (2041-2070) and distant future (2071-2100) on AS, with a special focus on SEB, was made through the analysis of 21 General Circulation Models (MCGs) present in the Coupled Model Intercomparison Project Phase 5 (CMIP5) and the 20CRv2c reanalysis data. The 21 models climatic projections were evaluated in four climatic forcing scenarios: RCP 2.6, RCP 4.5, RCP 6.0 and RCP 8.5. The distant future projections were emphasized regarding the current ones, since the signal of changes presented a greater magnitude. The analysis was carried out for the present climate and the projections based on seasonal means of vertically integrated moisture transport. The simulations are a fine representation of the transportation of humidities as well as the main seasonal scale meteorological systems operating in AS, but some biases were observed. The moisture transport intensity is usually underestimated throughout the AS during every season of the year. The models undermine the moisture convergence mainly in the Andes, Amazon Basin, South and Southeast regions of Brazil. However, the moisture divergence is underestimated mainly on the northeast coast of Brazil and the adjacent Atlantic Ocean, Chile and the Pacific Ocean near the Chilean coast. Regarding SEB, the greatest moisture insertion occurs through the eastern border at every season, indicating that the main source of moisture for the region is the South Atlantic Ocean. In addition, the MCGs represent well the direction of the moisture flow along the lateral boundaries of the SEB, but they considerably underestimate the balance of the moisture flux. Analyzing the climatic projections along the AS, the regions of convergence (divergence) of humidity are shown to be even more convergent (divergent) until the end of the century. Moreover, moisture transport was more intense in future scenarios. In addition to these results, it was verified that the values of vertically integrated moisture flow along the lateral boundaries of the SEB will be higher, concomitantly to a higher moisture flux to the region when compared to the present climate. The projections indicate that the months of summer will still be those with the highest moisture flux amount, yet the highest percentage increase of this parameter happened during winter months. To evaluate each MCG performance, they were separated into terciles representing the best and worst current climate simulation and each tercile was composed by seven models. For every season of the year, a different range of models composed each tercile. The models averages projections that showed the best simulation (first tercile), indicate that the increase of the moisture balance on the SEB is even greater if compared to the average of the 21 models set. On the other hand, the third tercile averages projections (worst simulation models) indicate that there will be a decrease in the moisture balance. Thus, it shows that these models underestimate the moisture balance projected by the set mean. All things considered, it is possible to conclude that in a climate chance scenario the moisture transport on SEB will be greater by the end of the century.

Keywords: transport of humidity, Southeastern Brazil, climate change, CMIP5

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - Média sazonal da precipitação (mm) na AS entre 1979 e 2008 com base nos dados do Global Precipitation Climatology Project. Fonte: Adaptado de Reboita et al. (2012). Figura 2.2 - Regionalização dos diferentes ciclos anuais de precipitação na AS. Fonte: Figura 2.3 - Climatologia (1981-2002) do transporte de umidade (vetores) entre Dezembro e Março na AS e regiões adjacentes. O sombreado indica a elevação (m) do terreno. A unidade Figura 2.4 - Climatologia de vento em 900 hPa (m.s⁻¹) para (a) média anual, (b) diferença entre a média de janeiro e a média anual e (c) diferença entre a média de julho e a média anual para o periodo de março de 1980 até novembro de 1993. Fonte: Zhou e Lau (1998).33 Figura 2.5 - Formação de uma ZCAS clássica entre os dias 11 a 16 de dezembro de 2005 Figura 2.6 - Modelo conceitual do jato de baixos níveis (JBN), a leste dos Andes, que transporta umidade da Amazônia para latitudes mais elevadas. Fonte: Marengo et al. (2004b). Figura 2.7 - Classificação climática para o SEB de acordo com o critério de Köppen. Fonte: Figura 2.8 - Normais climatológicas para a precipitação média anual (mm) no período compreendido entre 1961-1990 para e região SEB. Fonte: Adaptado de INMET (2016). 39 Figura 2.9 - Temperaturas médias na região SEB durante o inverno (esquerda) e verão Figura 2.10 - (a) Anomalias de precipitação (mm) para os meses de janeiro, fevereiro e marco de 2014; (b) Climatologia da precipitação para os meses de janeiro, fevereiro e março (período entre 1981 -2010). Fonte: Coelho et al. (2015)......41 Figura 2.11 - Principais processos naturais e antropogênicos influenciando o comportamento do sistema climático. Fonte: Moss et al. (2010)......45 Figura 2.12 - Mudanças projetadas para temperatura média (esquerda) e precipitação (direita) pelo CMIP5 para o cenários RCP 2.6 e RCP 8.5 para o meio e final do século XXI com base Figura 4.1 - Simulação da climatologia média sazonal e anual da precipitação pelo ensemble dos 21 MCGs (a-e), climatologia média sazonal dos dados do CRU (f-j) e o viés associado (ko). As médias são sobre o período entre 1971 até 2000. As unidades estão em mm.dia⁻¹......67 Médias sazonais climatológicas para o período entre 1971 e 2000 da **Figura 4.2** convergência (sombreado em azul) e divergência (sombreado em laranja) de umidade integrada verticalmente e o fluxo da mesma (vetores) para os dados observados (a, c, e, g) e ensemble dos 21 MCGs utilizados (b, d, f, h). As mesmas representam: DJF (a, b), MAM (c, d), JJA (e, f), SON (g, h). A unidade da convergência/divergência de umidade (sombreado) é 10⁻⁵ kg.(m².s)⁻¹. A escala dos vetores de transporte de umidade está em 400 kg.(m.s⁻¹)......70 Figura 4.3 - Transporte de umidade sobre o SEB. As setas indicam a soma ao longo dos limites laterais do SEB do fluxo de umidade integrado verticalmente médio sazonal para o período entre 1971 até 2000. As figuras à esquerda representam a observação e à direita a média dos 21 MCGs. Sazonalmente: DJF (a,b), MAM (c,d), JJA (e,f), SON (g,h). A caixa no canto direito superior mostra o valor do saldo do fluxo de umidade sobre o SEB. A unidade

Figura 4.4 - Mudança do transporte de umidade para os meses de DJF relativo a média de 21 MCGs do CMIP5 para o período entre 2071 até 2100, relativo a 1971-2000. As áreas sombreadas indicam a convergência (sombreado azul) e divergência de umidade (sombreado

laranja) para os seguintes cenários: RCP 2.6 (a), RCP 4.5 (b), RCP 6.0 (c) e RCP 8.5 (d). A
unidade da convergência/divergência de umidade está em 10 ⁻⁵ kg.(m ² .s) ⁻¹ . A escala dos
vetores de transporte de umidade está em 50 kg.(m.s ⁻¹)79
Figura 4.5 - Igual a figura 4.4, mas para MAM80
Figura 4.6 - Igual a 4.4, mas para JJA82
Figura 4.7 - Igual a 4.4, mas para SON
Figura 4.8 - Projeções do transporte de umidade sobre o SEB. As setas indicam o fluxo de
umidade integrado verticalmente ao longo dos limites laterais do SEB para os meses de DJF.
(a) Representa a média para o clima presente (1971-200). (b)(c)(d)(e) Representam as médias
para o futuro distante (2071-2100) para os cenário RCP 2.6, RCP 4.5, RCP 6.0 e RCP 8.5
respectivamente. A caixa retangular acima das figuras mostra o saldo do fluxo de umidade
sobre a região. A unidade está em 10 ³ kg.(m.s) ⁻¹
Figura 4.9 - O mesmo que a figura 4.8, mas para MAM
Figura 4.10 - O mesmo que a figura 4.8, mas para JJA
Figura 4.11 - O mesmo que a figura 4.8, mas para SON

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 - Lista de modelos do conjunto CMIP5 utilizados neste estudo com a descrição das resoluções horizontais aproximadas das simulações futuras (RCPs 2.6, 4.5, 6.0, 8.5) e históricas (historical). Os asteriscos representam a disponibilidade das simulações para os Tabela 3.2 - Convenção de sinais para o cálculo do saldo fluxo de umidade ao longo das Tabela 4.1 - Média sazonal do saldo do fluxo de umidade integrado verticalmente sobre o Tabela 4.2 - Separação por tercis dos 21 MCGs utilizados de acordo viés (valor entre parênteses) entre o saldo do fluxo de umidade sazonal simulado e o observado para o clima presente. Os valores positivos (negativos) indicam superestimação (subestimação) dos modelos. As unidades estão em kg.(m.s)⁻¹......76 Tabela 4.3 - Projeção sazonal do fluxo de umidade no SEB para todos os RCPs. A tabela contém os dados das projeções geradas através do ensemble dos modelos e as médias a partir dos modelos que melhor simularam o clima presente (primeiro tercil) e dos que pior simularam (terceiro tercil). A unidade está em kg.(m.s)⁻¹......91

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

- AR5 Fifth Assessment Report
- AS América do Sul
- ASAS Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul
- CMIP3 Coupled Model Intercomparison Project Phase 3
- CMIP5 Coupled Model Intercomparison Project Phase 5
- DJF Dezembro, Janeiro e Fevereiro
- FF Frente Fria
- GEE Gases de Efeito Estufa
- IPCC Intergovernmental Panel of Climate Change
- JBN Jatos de Baixos Níveis
- JJA Junho, Julho e Agosto
- MAM Março, Abril e Maio
- MCGs Modelos de Circulação Geral
- **RCP** Representative Concentration Pathways
- SEB Sudeste do Brasil
- SMAS Sistema de Monção da América do Sul
- SON Setembro, Outubro e Novembro
- SRES Special Report on Emissions Scenarios
- ZCAS Zona de Convergência do Atlântico Sul
- ZCIT Zona de Convergência Intertropical

1 -	INTRODUÇÃO	21
1.1 -	Objetivos Gerais e Específicos	24
2 -	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	27
2.1 - 2.1.1 - 2.1.2 - 2.1.3 -	Características do Transporte de Umidade na América do Sul Alta Subtropical da América do Sul - ASAS Sistema de Monção da América do Sul - SMAS Jatos de Baixos Níveis - JBN	27 30 31 36
2.2 - 2.2.1 -	Climatologia da Região Sudeste do Brasil Sistemas Frontais	38 43
2.3 - 2.3.1 - 2.3.2 -	Projeções de Mudanças Climáticas e Impactos na AS Projeções de mudanças nas variáveis temperatura e precipitação Projeções de mudanças em transporte de umidade	44 46 50
2.4 -	Lacunas Remanscentes	53
3 -	DADOS E METODOLOGIA	55
3.1 - 3.1.1 - 3.1.2 - 3.1.3 -	Dados CMIP5 Dados Observados Descrição da Área de Estudo	55 55 58 59
3.2 - 3.2.1 - 3.2.2 -	Metodologia Análise do Transporte de Umidade Análises das Simulações e Projeções	61 61 62
4 -	RESULTADOS E DISCUSSÕES	65
4.1 - 4.1.1 - 4.1.2 - 4.1.3 - 4.1.4 -	Simulação do Clima Presente Precipitação Observada e Simulada Transporte de Umidade Transporte de Umidade sobre o SEB Modelos que melhor simularam o transporte de umidade presente	65 65 67 71 74
4.2 - 4.2.1 - 4.2.2 - 4.2.3 -	Projeções do Clima Futuro Transporte de Umidade Transporte de Umidade sobre o SEB Projeção dos Modelos que melhor simularam o transporte de umidade	77 77 83 90
5 -	CONCLUSÃO	93
5.1 -	Sugestões para trabalhos futuros	96
REFE	RÊNCIAS	97
APÊN	DICES	105

SUMÁRIO

1 - INTRODUÇÃO

Perturbações no sistema climático podem modificar o seu estado padrão previamente conhecido, desencadeando graves consequências, impactando desde aspectos políticos, econômicos e sociais, mas principalmente a questão da biodiversidade e vulnerabilidade das nações. Essas modificações no clima podem levar a uma maior ocorrência de eventos extremos climáticos como: extremos de precipitação, dias consecutivos sem chuva, extremos de temperaturas máximas e mínimas e alteração na frequência de eventos atmosféricos em diferentes escalas. Ao se conhecer os mecanismos que regem o sistema climático e sua variabilidade, é possível fornecer subsídios para mitigação das mudanças e adaptação das populações e de toda a biodiversidade, favorecendo a diminuição da sensibilidade quanto aos impactos dessas mudanças.

Um dos parâmetros de grande influência no tempo e no clima é o transporte de umidade. A caracterização do fluxo de umidade é importante para a identificação de variações sazonais, interanuais e até decenais de sistemas atmosféricos que controlam a precipitação. Esses sistemas, por sua vez, determinam as épocas de secas, de cheias e condições severas de tempo.

Na América do Sul (AS), o relevo heterogêneo é um dos principais responsáveis por configurar o comportamento do escoamento de umidade. A Cordilheira do Andes, devido sua elevada altitude age como uma barreira para a umidade trazida pelos ventos alísios na região equatorial e, devido à sua grande extensão latitudinal, direciona a umidade da Bacia Amazônica para maiores latitudes localizadas no sul/sudeste da AS, compreendendo as regiões: Central e Sudeste do Brasil e a Bacia do Prata (MARENGO et al., 2004a; ARRAUT; SATYAMURTY, 2009). Os principais mecanismos que possibilitam esse transporte de umidade na AS são: os Jatos de Baixos Níveis (JBN), a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), estes integrando o Sistema de Monção da AS (SMAS).

A região da Bacia Amazônica, a leste dos Andes, realiza trocas significativas de massa, energia e umidade na interação superfície-atmosfera, assim como a Bacia do Prata mais ao sul do continente. Essas regiões estão diretamente conectadas através do transporte de umidade e são sensíveis às variabilidades climáticas. A conexão entre elas é dada pela combinação de vários fatores. Primeiramente, o aquecimento das águas do Oceano Atlântico Tropical age como fonte de umidade para a atmosfera e os ventos alísios de Nordeste

transportam essa umidade para dentro do continente sul-americano, sendo esta a principal fonte de umidade para a região da Bacia Amazônia (COSTA; FOLEY, 1999; ARRAUT; SATYAMURTY, 2009). Além disso, há o transporte de umidade originado da porção do Oceano Atlântico Sul, através do Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul (ASAS).

Um dos mecanismos que transporta a umidade originada pelo processo de evapotranspiração da floresta amazônica é o sistema de mesoescala de correntes de ventos em baixos níveis da atmosfera a leste dos Andes, denominada JBN (DOUGLAS; NICOLINI; SAULO, 1999), o qual cria um canal de vapor d'água no sentido da Bacia Amazônica para a Bacia do Prata. Na AS o JBN transporta a umidade através do fluxo originado dos ventos alísios, que passam sobre a Amazônia e devido à barreira topográfica dos Andes, toma sentido noroeste/sudeste. O JBN possui ciclo anual no transporte de umidade, apesar da ocorrência de episódios de JBN durante o ano todo o mesmo é mais frequente entre os meses de dezembro até fevereiro em que a principal fonte de umidade para a Bacia do Prata é resultante da Bacia Amazônica, enquanto que durante o inverno, a intensidade dos ventos alísios diminui e a proximidade da ASAS no continente colabora para a ocorrência dos JBN nesta época do ano (MARENGO et al., 2004b).

A ZCAS é outro dos principais eventos de grande escala que caracteriza o regime de chuvas ao longo da AS. A mesma ocorre predominantemente no período que vai de outubro a março. Este sistema influencia as anomalias de precipitação que ocorrem nas regiões Sudeste e Sul do Brasil (QUADRO; ABREU, 1994). Os períodos de verão em que ocorrem grandes enchentes na região Sul (CASARIM; KOUSKY, 1986) e Sudeste (CALHEIROS; SILVA DIAS, 1988) do Brasil estão frequentemente relacionadas à permanência por vários dias de um sistema de ZCAS.

Uma das principais características climáticas sobre a AS tropical é a intensa mudança sazonal da precipitação, principalmente sobre a região sudeste do continente. Essa alta variabilidade caracterizada por um período muito seco e outro chuvoso é uma das principais características do SMAS (RAMAGE, 1971), sistema este que engloba os eventos de JBN e ZCAS e está diretamente associada aos transportes de umidade sobre o continente. Sobre as regiões Sudeste e Centro-Oeste do Brasil, pode ocorrer uma convergência entre o escoamento de noroeste dos JBN com o de nordeste do ASAS, resultando na ZCAS (KOUSKY, 1988; KODAMA, 1992). Dessa forma, o SMAS é a componente mais importante dos regimes de precipitação de verão na AS, e possibilita o conhecimento sobre os períodos chuvosos.

Dessa forma ressalta-se a importância da compreensão do transporte de umidade, sua variabilidade e intensidade. O mesmo pode afetar aspectos relacionados à quantidade de fornecimento de água como: a agropecuária, consumo humano e os grandes reservatórios quanto à geração da energia elétrica. Por exemplo, no período de 2014/2015 um evento de extrema seca que não foi previsto adequadamente e atingiu a região Sudeste do Brasil (SEB) trouxe grandes prejuízos para diversos setores. Um estudo de Marengo et al. (2015) mostrou a crise hídrica na região metropolitana de São Paulo. O abastecimento de água à população ficou comprometido, algumas partes da cidade necessitaram de caminhões pipa. Esta seca afetou o nível dos mananciais, impactou áreas de turismo e lazer às margens de rios e represas, provocou um aumento nos preços dos alimentos (os preços de produtos como tomate e alface aumentou cerca de 30%) e nas tarifas de energia (a Câmara de Comercialização de Energia Elétrica do Brasil aumentou a tarifa em até 25% em 2015). Este evento resultou em um prejuízo global na época do estudo estimada em US\$ 5 bilhões segundo Munich Re (2015 apud MARENGO et al., 2015), fazendo com que fosse o quinto desastre natural mais caro do mundo em 2014. Segundo Nobre et al. (2015 apud MARENGO et al., 2015) o total acumulado de precipitação sobre o Sistema Cantareira foi o menor observado desde 1930. Além disso, a umidade que viria da Amazônia para o SEB ficou concentrada na região oeste da Amazônia, acarretando em graves inundações principalmente sobre o Acre e Rondônia, o governo do Acre estimou um prejuízo de até R\$ 203 milhões devido às cheias.

Além da compreensão dos padrões climáticos pré-estabelecidos da variabilidade e intensidade do transporte de umidade, também é importante avaliarmos o comportamento desse transporte mediante projeções de mudanças climáticas. Diversos estudos têm identificado o Brasil como uma das regiões no mundo que podem ser profundamente impactadas caso as atuais projeções de mudanças climáticas se concretizem, principalmente na sua porção tropical (BAETTIG et al., 2007; IPCC, 2007; MEEHL et al., 2007a; DIFFENBAUGH; GIORGI, 2012; TORRES et al., 2012; IPCC, 2013; SILLMANN et al., 2013a, b; TORRES; MARENGO, 2013). Esta região é vulnerável às variabilidades e extremos climáticos atuais (especialmente aqueles relacionados a enchentes, enxurradas e secas), e pode ser afetada principalmente na forma de extremos climáticos mais frequentes na iminência de um planeta mais quente (MARENGO et al., 2010a, b; RUSTICUCCI et al., 2010; DONAT et al., 2013; SILLMANN et al., 2013a, b). Com uma economia notadamente baseada na produção agrícola, altamente dependente da geração hidrelétrica, e sujeito a inúmeros problemas sociais e ambientais associados aos padrões de desenvolvimento e

urbanização, o Brasil sofre constantemente com extremos de temperatura e precipitação que causam enormes danos econômicos e sociais, tais como perdas humanas e em safras agrícolas.

Nos últimos anos, inúmeros estudos têm analisado as projeções de mudanças climáticas no Brasil e na América do Sul (BOULANGER; MARTINEZ; SEGURA, 2006; VERA et al., 2006; VERA; BOMBARDI; CARVALHO, 2009; SETH; ROJAS; RAUSCHER, 2010; TORRES; MARENGO, 2013, 2014), baseando-se principalmente nos modelos climáticos globais provenientes do Coupled Model Intercomparison Project Phase 3 (CMIP3; MEEHL et al., 2007b), e na nova geração de modelos climáticos (IPCC, 2013; BLÁZQUEZ; NUÑEZ, 2013; JOETZJER et al., 2013; JONES; CARVALHO, 2013; TORRES; MARENGO, 2014) integrantes do Coupled Model Intercomparison Project Phase 5 (CMIP5; TAYLOR et al., 2012). Os modelos climáticos globais do CMIP3 e CMIP5 constituíram a base principal de informações contidas no 4º e 5º relatórios do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (do acrônimo em inglês, IPCC), IPCC AR4 e IPCC AR5, respectivamente. Vários estudos também analisaram as projeções climáticas nessa região utilizando alguns métodos de downscalling dos resultados dos modelos climáticos globais, tais como modelos regionais climáticos (NUÑEZ; SOLMAN; CABRÉ, 2008; URRUTIA; BOULANGER; MARTINEZ; SEGURA, 2010; MARENGO et al. 2009, 2010b, 2012; CHOU et al., 2012). No entanto, análises adicionais ainda são necessárias sobre o comportamento do transporte de umidade sobre a AS mediante possíveis mudanças climáticas. Ademais, até agora nenhum estudo focou exclusivamente o transporte de umidade sobre o SEB.

1.1 - Objetivos Gerais e Específicos

Considerando a importância e a dificuldade em se prever/projetar e analisar as componentes que compõem o transporte de umidade, bem como detalhar as incertezas envolvidas, este trabalho tem como objetivo geral avaliar o comportamento da direção e da intensidade do fluxo de umidade sobre a região Sudeste do Brasil (SEB) por meio de modelos climáticos, além de avaliar as projeções climáticas futuras para a região. Os objetivos específicos se baseiam principalmente em:

• Calcular a climatologia sazonal da divergência e do transporte de umidade integrado verticalmente observado sobre a AS e região SEB, para o período entre 1971-2000;

- Comparar os resultados observados com a média das simulações de 21 MCGs pertencentes ao CMIP5 para o mesmo período;
- Projetar as possíveis mudanças sazonais na divergência de umidade e no transporte da mesma sobre a AS e SEB para o futuro próximo (2041-2070) e futuro distante (2071-2100), utilizando as projeções a partir da média dos 21 MCGs do CMIP5 para os quatro cenários de forçantesclimáticas: RCPs 2.6, 4.5, 6.0, e 8.5.

2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 - Características do Transporte de Umidade na América do Sul

A AS está situada entre as latitudes de 10° N e 60° S, e possui uma grande extensão latitudinal abrangendo áreas equatoriais bem como de latitudes médias. Além disso, o relevo é diversificado, possuindo cadeias montanhosas como a Cordilheira dos Andes na porção oeste do continente, e regiões de planícies e planaltos no restante do território. A cobertura vegetal na AS também é bastante heterogênea, possuindo uma floresta tropical úmida como a da Bacia Amazônica em contraste com regiões desérticas como o deserto do Atacama no Chile. Portanto, esses fatores proporcionam uma grande heterogeneidade nas condições de tempo e clima ao longo do continente (REBOITA et al., 2005).

Uma das principais variáveis meteorológicas que indicam as características climáticas de uma região é a precipitação. A média sazonal acumulada da mesma ao longo da AS é mostrada por meio da figura 2.1. É possível perceber que o comportamento da precipitação varia espacial e temporalmente. Os valores máximos de precipitação durante os meses de verão se localizam no sentido noroeste/sudeste e se estendem da região Amazônica até o Atlântico. Nos meses de outono e primavera os máximos se concentram no norte/noroeste do continente, porém em maiores latitudes ainda há ocorrência de precipitação. Durante os meses de inverno os máximos valores de precipitação migram para regiões equatoriais, enquanto que em maiores latitudes ocorrem as menores médias dentro do ciclo anual. Durante todo o ano a região equatorial da AS possui grandes volumes de chuva enquanto o sul é geralmente mais seco. Além disso, a intensa precipitação sobre o oceano Atlântico equatorial presente em todas as estações do ano é gerada pela denominada Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), formada pela convergência dos ventos alísios de nordeste e sudeste na região equatorial.

Já as médias mensais de precipitação ao longo do ano para diversas localidades na AS são mostradas na figura 2.2. O eixo horizontal dos gráficos representam os meses do ano e o vertical, a quantidade média de precipitação para cada mês. É possível perceber que o comportamento dos gráficos muda espacialmente, por exemplo, na região da costa do nordeste do Brasil os maiores valores de precipitação ocorrem durante os meses de inverno enquanto que sobre Sudeste e Centro-Oeste do Brasil o mesmo ocorre sobre os meses de verão. Avaliando o comportamento da precipitação ao longo dos meses, Reboita et al. (2010)



estabeleceu 8 regiões sobre a AS que possuem um padrão de precipitação similar quanto ao ciclo anual, confirmando a heterogeneidade climática sobre o continente.

Figura 2.1 - Média sazonal da precipitação (mm) na AS entre 1979 e 2008 com base nos dados do Global Precipitation Climatology Project. Fonte: Adaptado de Reboita et al. (2012).



Figura 2.2 - Regionalização dos diferentes ciclos anuais de precipitação na AS. Fonte: Reboita et al. (2010).

A distribuição de umidade e precipitação na AS ocorre de forma diferente quando comparada aos demais continentes do Hemisfério Sul, sendo ocasionado pela combinação de vários fatores. A principal fonte de umidade para a Bacia Amazônica é o Oceano Atlântico Tropical. O aquecimento das águas do Atlântico age como fonte de umidade para a atmosfera e os ventos sobre a região equatorial fazem com que ocorra um transporte de umidade predominante de leste durante todas as estações do ano (COSTA; FOLEY, 1999; ARRAUT; SATYAMURTY, 2009). Essa umidade é interceptada pela presença topográfica da Cordilheira dos Andes, que está situada na região oeste da AS e se estende da região equatorial até latitudes médias, sendo a região mais elevada do continente, com altitudes maiores do que 3.000 m (Figura 2.3). A presença dos Andes faz com que a direção dos ventos na parte norte do continente que são predominantemente de leste, passe a ser para sudeste (Figura 2.3), resultando num transporte de umidade para o mesmo sentido.



Figura 2.3 - Climatologia (1981-2002) do transporte de umidade (vetores) entre Dezembro e Março na AS e regiões adjacentes. O sombreado indica a elevação (m) do terreno. A unidade está em kg.(m's)⁻¹. Fonte: Arraut e Satyamurty (2009).

Ainda sobre a região da Bacia amazônica, a mesma realiza trocas significantes de massa, energia e umidade na interação superfície-biosfera-atmosfera. Essa interação auxilia em importantes aspectos ambientais tais como: armazenamento de carbono, transporte de aerossóis e principalmente vapor d'água. A Bacia Amazônica é um importante contribuinte na

geração e manutenção da circulação atmosférica regional e global, através da evapotranspiração e liberação de calor latente de condensação para níveis mais altos na atmosfera. Além disso, ocorre um importante processo denominado "reciclagem de umidade". Em um mecanismo de retroalimentação, a reciclagem da umidade é definida como a quantidade de água que evapora da superfície continental em um determinado local e retorna na forma de precipitação no mesmo local (BRUBAKER; ENTEKHABI; EAGLESON, 1993). Dessa forma, quantidade da reciclagem de umidade pode ser um importante indicador de processos entre a superfície e a atmosfera para o balanço hídrico.

Apesar da Bacia Amazônica se comportar como sumidouro da umidade, já que a precipitação sobre a região é maior do que a evaporação, a mesma se torna fonte de umidade para outras regiões da AS principalmente para as regiões da Bacia do Prata, Centro, Sul e Sudeste do Brasil contribuindo com a ocorrência de precipitação para essas regiões, sobretudo durante a primavera e o verão austral e interferindo na manutenção do clima das mesmas (MARENGO et al., 2004a; ARRAUT; SATYAMURTY, 2009).

2.1.1 - Alta Subtropical da América do Sul - ASAS

As altas subtropicais são sistemas de alta pressão, localizadas em média a 30° de latitude norte e sul e suas formações estão relacionadas à circulação média meridional da atmosfera, especificamente às células de Hadley (MORAN; MORGAN, 1994) que possuem um ramo descendente entre 25° e 30° de latitude. Esses sistemas se estendem verticalmente podendo chegar a mais de 10 km de altura, onde ocorre subsidência em baixos níveis de ar quente e seco, inibindo a formação de nuvens e consequentemente de chuva. As altas subtropicais que atuam no Hemisfério Norte são as do Atlântico Norte e Pacífico Norte e as que atuam no Hemisfério Sul são as do Pacífico Sul, sul do Oceano Índico e a ASAS (MORAN; MORGAN, 1994).

Vários mecanismos de grande escala promovem o transporte de umidade sobre a AS. Um dos sistemas que proporciona o transporte de umidade do Oceano Atlântico Sul e é fundamental para o clima da AS é o ASAS. Hasternrath (1985) estudou todas as altas subtropicais ao longo do globo, e especificamente sobre o ASAS verificou que durante os meses de inverno a mesma se desloca mais para norte (entre 27° S e 28° S) e a oeste (entre 12°O e 14°O). De maneira correspondente Bastos e Ferreira (2000) mostraram que o ASAS possui essa variabilidade sazonal. Essa variabilidade causa diferenças na temperatura do ar, vento e na precipitação de uma estação do ano para outra sobre o continente. Durante os meses de inverno, a temperatura da superfície sobre o continente é relativamente menor quando compara à média anual, o esfriamento sobre o continente estabiliza a atmosfera e o centro de alta pressão do ASAS migra para oeste ficando próxima ao continente e acaba por influenciar principalmente as regiões Sudeste e Nordeste do Brasil. Neste caso, os ventos associados ao ramo norte do ASAS adentram o continente perpendicularmente à costa nordeste do Brasil, intensificando o transporte de umidade do oceano para essa região, aumentando a precipitação durante esta época do ano e definindo o início da estação chuvosa. Enquanto que sobre o interior e sudeste da AS o sistema é responsável por uma persistente subsidência atmosférica e dessa forma diminui a umidade, inibindo a precipitação e bloqueando sistemas como frentes frias de avançarem do sul para maiores latitudes (BASTOS; FERREIRA, 2000).

Por outro lado, durante os meses de verão, a temperatura sobre o continente é relativamente maior quando comparada à média anual, o centro de alta pressão se desloca para leste, ficando sobre a região central do Atlântico Sul (RAO; CAVALCANTI; HADA, 1996). Apesar de o sistema ser mais bem configurado durante essa estação do ano, os ventos associados à ASAS são mais fracos sobre a AS já que o sistema está mais afastado do continente. Porém, associado ao seu movimento anticiclônico sobre o oceano, os ventos de nordeste do ramo oeste do sistema atingem a região litoral do SEB e acabam por intensificar a o transporte de umidade sobre a região e sobre o ramo oceânico da ZCAS durante esta época do ano (BASTOS; FERREIRA, 2000).

2.1.2 - Sistema de Monção da América do Sul - SMAS

A monção se define por ser um sistema meteorológico em que ocorre a reversão da direção dos ventos sobre o continente. De forma geral, se define um clima como sendo monçônico quando o vento reverte sua direção entre as estações de verão e inverno (ZHOU; LAU, 1998). Em uma região de atuação clássica de uma monção, durante os meses de verão, a direção prevalente dos ventos ocorre dos oceanos para o continente mais aquecido, enquanto que durante o inverno essa direção se inverte, ou seja, os ventos sopram da superfície que está mais fria em direção aos oceanos mais aquecidos. Em climas monçônicos, o regime de precipitação é comumente associado à verões chuvosos e invernos secos, justamente por conta da direção prevalecente dos ventos em cada época (RAO et al., 1996; KOUSKY; ROPELEWSKI, 1997; GAN; KOUSKY; ROPELEWSKI, 2004; GARCIA; KAYANO, 2009, 2013).

Uma das principais características climáticas sobre a AS tropical é a intensa mudança sazonal na precipitação e umidade. Ao contrário de outros sistemas de monção, o SMAS não apresenta o padrão clássico de reversão total dos ventos entre as estações de inverno e verão. O escoamento de noroeste/sudeste predomina durante todo o ano sobre a AS, assim como os ventos de leste sobre a região norte da AS do Atlântico Tropical. O que ocorre no continente é uma reversão das anomalias de direção do vento em baixos níveis, ou seja, quando comparadas às médias climatológicas anuais, as anomalias em cada estação do ano possuem sinais opostos. Zhou e Lau (1998) estudaram esse comportamento e observaram que a circulação média anual na atmosfera em baixos níveis é predominante de leste sobre o Atlântico Tropical e no norte da AS. Porém quando a média anual é removida de um mês de verão (janeiro) e de inverno (julho), fica evidente a inversão da circulação em baixos níveis (Figura 2.4). Esta reversão sazonal entre as anomalias de inverno e verão é uma das principais evidências da presença de um regime de monções na AS.

Um dos principais causadores do ciclo sazonal do SMAS é o aquecimento diferencial entre a região continental da AS e o Oceano Atlântico. Além disso, a grande extensão da massa continental, associada à Cordilheira do Andes na porção oeste e o Oceano Atlântico a leste se combinam para intensificar ainda mais o SMAS. Outra característica no SMAS é a presença de um anticiclone em altos níveis sobre a região do altiplano da Bolívia denominado Alta da Bolívia (SILVA DIAS; SCHUBERT; DEMARIA, 1983). Alguns outros sistemas adicionais também se fazem presentes na caracterização do SMAS, como a Baixa do Chaco (GANDU; SILVA DIAS; PEDRO, 1998), os JBN à leste dos Andes (MARENGO et al., 2004b) e a ZCAS (KODAMA, 1992).



Figura 2.4 - Climatologia de vento em 900 hPa (m.s⁻¹) para (a) média anual, (b) diferença entre a média de janeiro e a média anual e (c) diferença entre a média de julho e a média anual para o periodo de março de 1980 até novembro de 1993. Fonte: Zhou e Lau (1998).

O ciclo da precipitação gerada pelo SMAS tem um início úmido na região equatorial da Amazônia. Essa umidade migra rapidamente para as regiões leste e sudeste do Brasil entre os meses de setembro e outubro (início da primavera). O estágio em que o sistema está maduro ocorre entre o final de novembro até o final de fevereiro. Nesta fase ocorre a principal atividade convectiva sobre o Brasil, em que o SMAS está relacionado à formação da ZCAS, principal componente do SMAS. A ZCAS influencia fortemente na variabilidade e intensidade da estação chuvosa nas porções central do país e SEB. Nesta época, a banda de intensa nebulosidade e precipitação sobre o Brasil se estende da Bacia Amazônica no sentido

sudeste até a região do Oceano Atlântico (MARENGO et al., 2001; GARCIA; KAYANO, 2009, 2013).

A ZCAS se caracteriza como uma banda de nebulosidade responsável por causar grandes volumes de precipitação durante o verão da AS tropical. Esta zona de convergência se estende no sentido noroeste-sudeste ao longo do sul da Amazônia, passando pelo centro-oeste e SEB, podendo alcançar até o Oceano Atlântico Sul Tropical adjacente (Figura 2.5). A mesma possui uma característica quase estacionária, que ao atuar simultaneamente com o SMAS, garante a persistência da precipitação sobre as regiões em que atua. A precipitação decorrente do canal de umidade gerado por um evento de ZCAS é alimentada pela convergência de umidade em baixos níveis na atmosfera e flui na direção de latitudes subtropicais (KODAMA, 1992). A variabilidade da ZCAS afeta consideravelmente o clima sobre o sudeste da AS. Quadro et al. (2012) mostraram que a umidade fornecida pelo transporte de leste originada do Oceano Atlântico influencia diretamente na quantidade de umidade transportada pela ZCAS ao longo da AS, uma vez que o transporte de umidade a partir da evaporação sobre a região Amazônica não é suficiente para compor toda a umidade transportada por esse sistema. Adicionalmente, Carvalho, Jones e Liebmann (2002) concluíram que 65% dos eventos de precipitação extrema na cidade de São Paulo ocorrem quando se tem uma configuração de ZCAS intensa com grande atividade convectiva sobre a região.



Figura 2.5 - Formação de uma ZCAS clássica entre os dias 11 a 16 de dezembro de 2005 representada pela temperatura de brilho. Fonte: CLIMANÁLISE, 2005.
Existem vários estudos que objetivaram identificar o ciclo de vida do SMAS, de forma a se determinar o início, a duração e o fim da monção (KOUSKY, 1988; VERA et al., 2006; RAIA; CAVALCANTI, 2008; GARCIA; KAYANO, 2009). Raia e Cavalcanti (2008) analisaram o ciclo de vida do SMAS para compreender o início e fim da estação chuvosa em uma escala de tempo sazonal associado ao transporte de umidade, bem como as condições atmosféricas presentes. Como característica média, durante os meses de junho a agosto, ocorre um intenso transporte de umidade de sudeste sobre o Nordeste do Brasil. Esse comportamento é associado à posição do ASAS, que durante esta época do ano está mais próximo do continente sul americano. Já durante os meses de setembro a novembro, onde ocorre a fase de desenvolvimento do SMAS, primeiramente ocorre uma migração de uma intensa convecção do extremo norte do continente para a região central da Amazônia contribuindo posteriormente para um maior transporte de umidade para as regiões sudeste e central do país. Além disso, Raia e Cavalcanti (2008) mostraram que o maior transporte de umidade para dentro do continente ocorre nos meses de verão, associado a um maior fluxo de umidade da alta subtropical. Dessa forma, a precipitação se intensifica e cobre a maior parte do continente e grande parte da umidade do Atlântico Sul se desloca para as regiões sudeste da AS, contribuindo para a estação chuvosa nessa região. Por fim, durante os meses de outono ocorre a fase de dacaimento da monção, a convecção profunda torna a se concentrar sobre a região mais próxima ao equador e ocorre uma redução no transporte de umidade sobre o sul da Amazônia, leste dos Andes e SEB. Durante esta época do ano os ventos sobre a região núcleo da monção (região central do país) tornam a ser predominantemente de leste.

Segundo Kousky (1988), Marengo et al. (2001) e Raia e Cavalcanti (2008), o início do SMAS ocorre predominantemente durante o fim do mês de outubro e o fim no final de março. De forma geral o início do SMAS se dá com um aumento da convecção e precipitação na parte noroeste da Bacia Amazônica durante o começo da primavera. Em meados do mês de setembro essa convecção toma sentido sudeste e atinge a região SEB durante o mês de novembro. Dessa forma, durante o verão, a banda de nebulosidade formada sobre a região tropical da AS gera um máximo de convecção, favorecendo a precipitação. A fase de decaimento se dá no final do verão, em que a convecção profunda tende a retornar para a região equatorial.

2.1.3 - Jatos de Baixos Níveis - JBN

Os JBN ocorrem em vários continentes, e estão normalmente relacionados à presença de uma topografia elevada (STENSRUD, 1996 apud SOARES; 2009). Vários eventos de JBN ocorrem no planeta, tais como: nos Estados Unidos próximo às Montanhas Rochosas, na África com o Jato da Somália, e o Sul-Americano próximo às Cordilheiras dos Andes. Essas montanhas possuem grande extensão latitudinal, podendo se estender de regiões tropicais até altas latitudes. Dessa forma, as montanhas bloqueiam a circulação de sentido zonal na baixa troposfera gerando uma canalização dos ventos para o mesmo sentido da barreira. Os ventos zonais sobre as regiões oceânicas como o Golfo do México e o Atlântico Tropical transportam umidade para dentro do continente e os JBN distribuem a mesma para as regiões centrais dos continentes.

Os JBN são caracterizados por escoamentos intensos dos ventos e ocorrem tipicamente à leste de altas topografias. Os ventos de alta velocidade do sistema ocorrem na baixa troposfera, entre aproximadamente 1 e 2 km ou a um nível de pressão de 850 hPa, e apresentam uma extensão horizontal correspondente à escala sub-sinótica e mesoescala com uma extensão horizontal de aproximadamente 500 km (MARENGO et al., 2004b).

Bonner (1968) classificou os JBN que atuam próximos às Montanhas Rochosas nos EUA em três tipos baseando-se na intensidade máxima dos ventos e na altura em que esses máximos ocorrem. A essas variações de intensidade e altitude estão atribuídas as características de formação dos jatos, devido a heterogeneidade de ventos horizontais em baixos níveis da atmosfera. Os jatos mais comuns são aqueles que se originam devido ao ciclo térmico diurno e ocorrem durante a noite abaixo da altitude de 1 km (estes possuem pequena extensão latitudinal), e outra forma de jatos são observados posteriormente a passagens de frentes frias, frentes de brisa e frentes de rajada.

Como mencionado anteriormente, a Cordilheira dos Andes é a barreira topográfica responsável pela manutenção dos JBN da AS. Geralmente a umidade transportada pelo JBN é condensada e gera precipitação em regiões de convergência em baixos níveis atmosféricos sobre as áreas de saída dos jatos. De acordo com o escoamento, o JBN da AS transporta a umidade originada do fluxo dos ventos alísios sobre a Amazônia (adquirindo maior quantidade de umidade devido a evapotranspiração na região da floresta). Este jato possui sentido noroeste/sudeste e flui na região leste da cordilheira, se estendendo da Região

Amazônica até a Bacia do Prata. O modelo conceitual criado por Marengo et al. (2004b) e apresentado na figura 2.6 mostra a direção dos ventos pelos jatos, bem como o perfil vertical de intensidade dos ventos e de umidade. Os ventos característicos dos JBN ocorre entre aproximadamente 950 hPa e 700 hPa, sendo estes mais intensos em 850 hPa (MARENGO et al., 2004b).

Ocorrências de JBN são verificadas durante todo ano, mas são observadas em maior frequência entre os meses de dezembro a fevereiro. No estudo de Marengo et al. (2004b) foi utilizado dados de umidade da reanálise do *National Centers for Environmental Prediction* NCEP-NCAR entre os anos de 1950-2000, e dados observados a partir de 1998. Analisou-se as variações sazonais dos JBN da AS relacionadas ao transporte de umidade sobre o continente. De acordo com Marengo et al. (2004b) foi possível observar a ocorrência dos JBN durante todo o ano, sendo que o mesmo é responsável por trazer umidade da massa de ar tropical da Amazônia para as regiões centrais do continente compreendidas pelas porções sul do Brasil e norte Argentina durante os meses de verão. Durante os meses de inverno a principal fonte de umidade (menor do que nos meses quentes) transportada pelos jatos se origina de massas marítimas tropicais da ASAS.



Figura 2.6 - Modelo conceitual do jato de baixos níveis (JBN), a leste dos Andes, que transporta umidade da Amazônia para latitudes mais elevadas. Fonte: Marengo et al. (2004b).

2.2 - Climatologia da Região Sudeste do Brasil

O SEB está localizado em uma região denominada de transição de sistemas atmosféricos. Primeiramente ressalta-se sua localização cortada pelo Trópico de Capricórnio e, portanto possuindo territórios nos trópicos e subtrópicos. Além disso, a região está situada em uma área de encontro entre sistemas extratropicais e tropicais. Por isso, apresenta uma grande diversificação climática ao longo de sua área, principalmente acerca da temperatura e precipitação. De forma geral, esta região pode possuir clima quente de latitudes baixas até climas mesotérmicos temperados característicos de latitudes médias (NIMER, 1979).

Um dos fatores a ser destacado é a posição latitudinal da região, que está situada entre 14°S e 25°S; sendo assim, a mesma está localizada em uma região tropical e tropical úmida (figura 2.7). Além disso, a mesma se estende longitudinalmente desde a zona costeira atlântica até aproximadamente mil quilômetros continente adentro, e a altitude varia desde o nível médio do mar até mais de 2 km. Dessa forma, a orografia interfere nos padrões de temperatura e precipitação.



Figura 2.7 - Classificação climática para o SEB de acordo com o critério de Köppen. Fonte: Alvares et al. (2013).

Devido à sua localização, a região sofre ação dos principais sistemas atmosféricos atuantes na AS citados anteriormente: JBN, SMAS, ASAS e ZCAS. Sendo, dessa forma, uma região de encontro entre massas de ar tropicais marítimas, continentais e polares. Porém, não são somente esses fatores que interferem no tempo e no clima da região. A alta absorção de radiação em baixos níveis da atmosfera no Sudeste garante energia suficiente para que ocorram grandes movimentos convectivos locais. Muitas vezes tais fatores locais podem sobrepor os sistemas atmosféricos de maior escala. Além disso, pelo fato do SEB conter regiões costeiras, ao nível do mar, regiões serranas e regiões continentais, a altitude se torna um fator determinante do clima ao longo de sua extensão territorial.

O parâmetro que mais se destaca na região Sudeste é a precipitação, por possuir variabilidade espacial e temporal significativa. Vale ressaltar a importância da compreensão sobre o comportamento dessa variável, já que interfere diretamente em aspectos físicos, biológicos e socioeconômicos. Além disso, os regimes de precipitação são bastante influenciados por sistemas que variam desde a grande escala, mesoescala, topografia até uso da terra.

A figura 2.8 mostra as normais climatológicas geradas pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) para o Sudeste do Brasil. É possível perceber que os acumulados anuais da região Sudeste variam desde 450 mm nas porções Norte/Nordeste de Minas Gerais até 2050 mm no extremo sudeste do litoral do estado de São Paulo. Além disso, observa-se que na maior parte da região Sudeste os totais anuais se mantêm entre 1050 e 1650 mm.



Figura 2.8 - Normais climatológicas para a precipitação média anual (mm) no período compreendido entre 1961-1990 para e região SEB. Fonte: Adaptado de INMET (2016).

A região Sudeste sofre a ação das principais correntes de circulação atmosférica da AS, dadas pelas correntes polares de sul, correntes tropicais marítimas de leste e de nordeste e pelas correntes continentais de oeste e noroeste. Porém, a maior influência de sistemas sinóticos que adentram no continente ocorre através da porção Sul do país, estando sobre controle da dinâmica de sistemas frontais gerados por massas de ar polares. Todas as correntes se associam à sistemas meteorológicos desde a micro até a grande escala, além de atuar nos regimes de chuva direta ou indiretamente, através de sistemas como: ZCAS, FF e o ASAS e o Vórtice Ciclônico de Ar Superior.

Um estudo realizado por Minuzzi et al. (2007) analisou dados de 203 estações pluviométricas distribuídas pelo SEB para caracterizar o comportamento das chuvas sobre a região. Os resultados mostraram que na região Sudeste, a estação chuvosa se inicia primeiramente na região da costa de São Paulo em meados do mês de setembro; já nas regiões do Vale do Jequitinhonha e do Norte de Minas Gerais o início ocorre entre o fim de outubro e começo de novembro. Além disso, a duração do período chuvoso é maior na região litorânea do que nas demais. Conforme Alves, Marengo e Castro (2002), a estação chuvosa no Sudeste tem início mais provável em 23 de setembro e 7 de outubro (entre as pêntadas 54 e 56), e término em março; nesse período ocorrem mais de 80% do total anual de chuvas na região. Associadas a essas datas estão o ciclo sazonal das ZCAS e outras mudanças atmosféricas de grande escala.

A figura 2.9 mostra a variação espacial da temperatura média no inverno e verão na região Sudeste (NETO, 2005). Pode-se observar que tanto no inverno quando no verão as menores temperaturas são observadas na região serrana entre os estados de São Paulo e Minas Gerais, na Serra da Mantiqueira. Já as maiores temperaturas ocorrem na porção norte e nordeste da região Sudeste.



Figura 2.9 - Temperaturas médias na região SEB durante o inverno (esquerda) e verão (direita). Fonte: Adaptado de Neto (2005).

Uma motivação para os estudos do comportamento da precipitação no SEB se dá através dos impactos da variabilidade desse parâmetro sobre a região. Por exemplo, durante o período de 2014/2015 a falta de chuvas na região gerou impactos na disponibilidade de água para o consumo da população, irrigação agrícola e principalmente na geração de energia elétrica. A figura 2.10 mostra a anomalia de precipitação durante os meses de janeiro a março de 2014, no qual algumas áreas mostram um *déficit* de precipitação de até 300 mm (COELHO et al., 2015).



Figura 2.10 - (a) Anomalias de precipitação (mm) para os meses de janeiro, fevereiro e março de 2014; (b) Climatologia da precipitação para os meses de janeiro, fevereiro e março (período entre 1981 -2010). Fonte: Coelho et al. (2015).

Visando compreender as causas dessa seca de 2014, Coelho et al. (2015) analisaram as condições oceânicas e atmosféricas durante o evento, bem como diagnósticos e registros de precipitação e padrões de teleconexões. As possíveis causas encontradas não possuem escala local sobre o SEB, mas sim global. Uma atividade convectiva anômala gerou uma fonte de calor localizada na região equatorial sobre a Austrália e induziu uma teleconexão tropical por meio da célula de Walker. Esta teleconexão faz com que ocorram movimentos ascendentes sobre a região fonte de calor e, consequentemente, uma área com movimentos subsidentes a leste da fonte de calor (neste caso sobre a região centro/leste do Pacífico equatorial). Além disso, sobre a região do Pacífico se tem a célula de Hadley, responsável por uma circulação meridional. Dessa forma uma teleconexão foi criada por um padrão de ondas no formato de U, com centro alternado de anomalias de altas e baixas pressões na AS. O centro anômalo de alta pressão se situou sobre a região do Oceano Atlântico Sul, sendo que essa anomalia resultou em um bloqueio atmosférico que impediu a inserção de sistemas frontais sobre a região SEB. Além disso, a circulação anticiclônica associada a alta anômala transportou ar mais seco para o SEB e auxiliou no transporte de ar mais úmido da Amazônia para a região sul do país por meio dos JBN. Assim sendo, menos episódios de ZCAS foram observados durante o verão de 2014, contribuindo ainda mais para a precipitação abaixo do normal, configurando a extrema condição de seca que atingiu o SEB.

Pampuch et al. (2016) estudaram a relação da temperatura da superfície do mar (TSM) do Atlântico Sul para compreensão de eventos de características sinóticas e dinâmicas, como os eventos extremos de seca na região SEB. Os dados analisados compreendem as estações de transição e inverno para o período entre 1982 a 2009. Como a região SEB apresenta características muito heterogêneas quanto à precipitação, a mesma foi dividida em 5 regiões para melhor compreensão. Para o SEB deu-se que as estações que possuem maiores eventos secos são o inverno, seguido de outono e primavera. Além disso, a porção norte do SEB foi a que apresentou mais períodos secos e de longa duração, enquanto que a porção sul apresentou menos eventos secos e de curta duração. O padrão da TSM no Atlântico Sul observado durante esses eventos extremos foi do tipo tripolo, no qual foram observadas anomalias negativas, positivas e negativas, além de uma circulação anticiclônica anômala sobre o Oceano Atlântico. Outro padrão característico é a posição do ASAS, que se localiza mais próximo ao continente e impede a inserção de FF, principalmente o avanço das frentes mais a norte do SEB.

2.2.1 - Sistemas Frontais

Um sistema meteorológico de escala sinótica e rápida transição que pode interferir nas médias mensais e sazonais de temperatura e precipitação na região Sudeste é a FF. Bjerknes (1919) define frente fria como uma região onde ocorre uma transição entre ar frio e ar quente. Essa região é formada a partir de uma massa de ar polar fria que vai de encontro a uma massa tropical quente; esta situação de encontro de massas de ar se sucede claramente na região em estudo.

A FF é caracterizada pelo avanço do ar frio sob o ar quente. Nesse caso, ocorre um levantamento do ar quente e úmido a partir da massa de ar frio e seca que é mais densa e adentra sob a massa quente. Havendo umidade suficiente, adiante dessa massa de ar quente que ascende podem ocorrer: precipitação, fortes tempestades com granizos e raios. Durante a passagem da FF ocorrem movimentos convergentes em superfície e os movimentos ascendentes de ar na atmosfera se intensificam. A umidade se eleva e, como em altos níveis a temperatura é menor, essa massa de ar condensa e cai em forma de chuva, as quais geralmente são intensas, o ar resfria subitamente e os ventos se comportam como rajadas. Após a passagem da frente, como há subsidência de ar para a superfície, a pressão na mesma aumenta. Por se tratar de um movimento convergente em altos níveis a nebulosidade diminui, e a conexão da massa de ar polar com a falta de nebulosidade faz com que as temperatura se reestabeleça após o sistema se dissipar (PETTERSEN, 1956).

Andrade (2007) determinou a climatologia dos sistemas frontais que atingiram o Brasil durante 1980 a 2002. Naquele estudo foram identificadas em maior número, frentes frias que atingem as menores latitudes em meses de inverno, passando pela região Sul, Sudeste e Centro-Oeste e em alguns casos, frentes que conseguem atingir o sul da Bahia. Na estação de verão, o número de frentes que atingem o interior dessas regiões até baixas latitudes é menor. O fato das FF não conseguirem atingir latitudes menores durante o verão, também pode ser justificado devido à presença da ZCAS que atuam como uma barreira para o avanço dos sistemas frontais.

Os estudos sobre a passagem de frentes frias sobre a região SEB são muito escassos, mas alguns trabalhos sobre a região de São Paulo e Região Sul de Minas Gerais podem exemplificar algumas consequências desses sistemas. Dametto e da Rocha (2005) concluíram que sistemas frontais são responsáveis por 68% da chuva que ocorre no estado de São Paulo. Morais, Castro e Tundisi (2010) apresentou uma avaliação sobre 21 anos de dados para a Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) e concluiu-se que, em média, três FF atingem a região ao mês, sendo estas mais frequentes nos meses de março a maio e de agosto a dezembro.

Silva e Reboita (2011) verificaram que FF são responsáveis por até 65% da chuva que ocorre durante o inverno na região sul de MG, sendo então o maior responsável pelas chuvas desta estação. Em termos intra-anuais, ocorre uma variabilidade sazonal desses sistemas: a maior ocorrência de frentes frias na região ocorre durante os meses de primavera e inverno, e a menor ocorrência se dá nos meses de verão e outono.

2.3 - Projeções de Mudanças Climáticas e Impactos na AS

É clara a importância em se conhecer os padrões climáticos de cada localidade, bem como a frequência e a intensidade de sistemas atmosféricos de diversas escalas que atuam sobre as mesmas. O conhecimento e a capacidade da previsão e projeções das condições climáticas permitem um maior planejamento para a sociedade em questões principalmente agrícolas, econômicas e sociais.

Uma projeção climática tem como principal objetivo a tentativa da reprodução da evolução do clima no futuro. Essas projeções são feitas principalmente com a utilização de cenários de emissões de gases de efeito estufa (GEE), que descrevem as possíveis concentrações futuras dos mesmos, bem como de aerossóis e outros poluentes. Além desses parâmetros, os modelos climáticos também consideram informações como tipo de cobertura do solo e como as mesmas são modificadas ao longo do tempo.

Sendo as componentes do sistema climático hidrosfera, criosfera, litosfera, biosfera e atmosfera (figura 2.11), os modelos climáticos são representações de aproximações numéricas de equações matemáticas das leis da física que visam simular a evolução dessas componentes e todas suas interações e *feedbacks*.



Figura 2.11 - Principais processos naturais e antropogênicos influenciando o comportamento do sistema climático. Fonte: Moss et al. (2010).

Cada cenário de emissões fornece como resposta, cenários climáticos com forçantes diferentes. Através desses cenários climáticos é possível desenvolver estudos de vulnerabilidade, impactos e estratégias de mitigação e adaptação.

Vários estudos tiveram como objetivo analisar as projeções das mudanças climáticas na AS. Esses estudos se basearam principalmente nos MCGs utilizados no *Coupled Model Intercomparison Project Phase 3* (CMIP3; MEEHL et al., 2007b) analisados no quarto relatório de mudanças climáticas do IPCC AR4, e também dos MCGs utilizados no CMIP5 (TAYLOR; STOUFFER; MEEHL, 2012) analisados no quinto e último relatório do IPCC AR5 (IPCC, 2013).

Os modelos utilizados no IPCC AR4 foram executados utilizando os cenários do *Special Report on Emissions Scenarios* - SRES (NAKICENOVIC et al., 2000). Cada cenário do SRES representa projeções climáticas que variam de acordo com as emissões de GEE e com as condições ambientais futuras. Além disso, também são considerados os cenários socioeconômicos através do desenvolvimento da sociedade e crescimento populacional. Esses cenários são definidos como A1, A2, A1B, B1 ou B2, sendo A1 o mais pessimista e o B2 mais otimista do ponto de vista de emissões de GEE. Já no IPCC AR5, os cenários utilizados

são os RCPs em substituição ao SRES. Os RCPs (RCPs 2.6, 4.5, 6.0 e 8.5) apresentam cenários através de aumento de forçantes radiativas onde o RCP 2.6 é o mais otimista (com uma forçante radiativa de 2,6 Wm⁻² projetada para o final do século XXI) e o RCP 8.5 é o mais pessimista (com uma forçante de 8,5 Wm⁻²). Maiores detalhes serão apresentados na seção 3.1.2.

Segundo o IPCC AR5 (IPCC, 2013), as projeções de um aumento na temperatura média global quando comparada aos valores da era pré-industrial são reafirmadas com maior confiança. Quanto à causa das mudanças climáticas observadas, o quinto relatório reafirma o aumento na emissão dos GEE de forma antropogênica a partir da era pré-industrial, e atribui tal aumento como sendo a principal causa do aquecimento verificado na série climática histórica. As concentrações na atmosfera de dióxido de carbono, metano e óxido nitroso são as maiores dos últimos 800 mil anos. A emissão antrópica desses gases foi diagnosticada como sendo a, extremamente provável (95% de certeza), causa do aquecimento global observado desde o século 20.

As principais mudanças observadas associadas à influência humana incluem a tendência de diminuição de extremos de temperatura fria, aumento na ocorrência de extremos de temperatura quente, um aumento do nível médio dos mares, além de um aumento do número de eventos extremos de precipitação em algumas localidades enquanto em outras um aumento de dias secos.

O quinto relatório ainda afirma que a projeção da temperatura média global para o período entre 2081-2100 em relação ao período climatológico de 1986-2005 será entre 0,3°C até 1,7°C (cenário RCP2.6), 1,1°C até 2,6°C (RCP4.5), 1,4°C até 3,1°C (RCP6,0) e entre 2,6°C até 4,8°C (cenário RCP8.5).

2.3.1 - Projeções de mudanças nas variáveis temperatura e precipitação

Diversos estudos têm identificado inúmeros impactos das mudanças climáticas na AS. Segundo o último relatório do IPCC (IPCC, 2013), há uma tendência de mudança nas variáveis precipitação e temperatura (com alta confiança) e uma média confiança de que aumente a variabilidade e a ocorrência de eventos extremos de precipitação e temperatura sobre a região da AS. Vários autores concordam que as projeções climáticas para a AS indicam um aumento da temperatura média sobre todo o continente (IPCC, 2013; JONES; CARVALHO, 2013; TORRES; MARENGO, 2013, 2014). A diferença entre as projeções consiste na intensidade com o qual esse aquecimento é projetado e quais as regiões em que o mesmo se apresenta mais pronunciado.

Segundo as informações contidas no IPCC AR5, para toda a AS, as projeções indicam um aquecimento de até 5°C (Figura 2.12). Para a região da Amazônia o cenário RCP2.6 projeta um aumento em cerca de 0,6°C e 2°C enquanto que no RCP8.5 o aumento varia entre 3,6°C e 5,2°C. Já para o restante da AS o cenário RCP2.6 indica um aumento entre 0,6°C e 2°C enquanto que o RCP 8.5 projeta um aumento entre 2,2°C e 6°C (Magrin et al., 2014). Também é possível verificar que o maior aumento de temperatura para o fim do século ocorre na região sul da Bacia Amazônica no cenário mais pessimista (RCP 8.5).

Na figura 2.12 as áreas em cinza significam regiões em que houve grande divergência entre os modelos. Essas áreas aparecem em maior número nas projeções do cenário RCP8.5 por ser um cenário de maior forçante climática, e consequente maior discordância entre os modelos. Nas áreas onde ocorre a divergência entre os modelos, a discordância entre as mudanças da precipitação projetada é grande. Por exemplo: a precipitação para a região da Amazônia varia entre +10% até -25%; para o Nordeste do Brasil a avaliação da projeção de precipitação se torna ainda mais complexa, pois a variação entre os modelos é a maior, e mostram valores entre -30% a +30% de mudança sobre a região; por fim o menor intervalo ocorre na região da costa ocidental e no sudeste da AS com valores esperados entre +20% e -10% (sobre às médias de 1986-2005) (Magrin et al., 2014).



Figura 2.12 - Mudanças projetadas para temperatura média (esquerda) e precipitação (direita) pelo CMIP5 para o cenários RCP 2.6 e RCP 8.5 para o meio e final do século XXI com base no período entre 1986-2005. Fonte: Magrin et al. (2014).

Sobre a região da AS vários estudos analisaram a capacidade de simulação de MCGs utilizados no CMIP5 em comparação, principalmente com sua versão anterior CMIP3 (BLAZQUEZ; NUÑES, 2013; JOETZJER et al., 2013; JONES; CARVALHO, 2013; TORRES; MARENGO, 2013, 2014). Essas comparações têm a finalidade de diagnosticar as incertezas sobre as projeções climáticas.

Blazquez e Nuñez (2013) utilizaram oito modelos do CMIP3 e CMIP5 para serem comparados com a finalidade de identificar maior confiabilidade das projeções dos modelos da última versão. Segundo os autores, as diferenças entre os modelos não foram significativas, mas algumas melhorias na versão dos modelos da nova geração foram encontradas. Durante os meses de verão a variabilidade da temperatura entre os MCGs do CMIP5 foi bem menor sobre as regiões nordeste da Argentina, Paraguai e norte do Brasil para o final do século XXI. A confiabilidade da temperatura sobre esses modelos é muito alta. Embora também não existam grandes diferenças, a variabilidade da precipitação foi menor durante os meses de verão nas regiões norte e leste do Brasil nos modelos do CMIP5 (áreas de maior precipitação associada ao SMAS). A confiabilidade das projeções de precipitação, como em demais estudos, foi baixa em ambos os conjuntos de modelos. Naquele estudo, a área que apresenta maior divergência dos MCGs no CMIP5 é o sudeste da AS.

Joetzjer et al. (2013) comparou 13 modelos do CMIP3 (utilizando o cenário forçante SRES A2) e CMIP5 (utilizando o cenário forçante RCP 8.5), com principal enfoque sobre a região amazônica. Segundo os autores, foi possível perceber uma melhor simulação da relação entre a temperatura da superfície do mar com a precipitação sobre a região da bacia amazônica. O erro que induzia uma região amazônica mais seca foi reduzido no CMIP5 e, além disso, o ciclo sazonal da precipitação sobre a região foi melhor simulado. Um consenso importante que foi reforçado na última versão é o aumento da estação de seca na porção leste da Bacia Amazônica. As principais causas dessa diminuição da precipitação estão associadas a uma variabilidade que vem sendo observada do deslocamento da ZCIT mais para norte junto de um padrão El Niño mais persistente no Pacífico Equatorial.

Os sistemas de monções estão diretamente associados à precipitação, dessa forma as mudanças climáticas podem afetar diretamente a variabilidade e intensidade do SMAS bem como a distribuição da precipitação associada ao mesmo. Jones e Carvalho (2013) utilizaram simulações para o período entre 1951 até 2005 que mostraram um aquecimento significativo ao longo da região tropical da AS. Além disso, os resultados mostraram que alguns MCGs do CMIP5 representaram melhor o SMAS quando comparados à suas versões no CMIP3. Posteriormente, os autores utilizaram as projeções do cenário RCP 8.5 do CMIP5 para analisar as mudanças no ciclo de vida do SMAS (início, fim e duração) para o período de 2006 a 2100. Os resultados das projeções mostram um aumento na amplitude sazonal e na duração do SMAS, com um início adiantado e uma prorrogação do fim da monção.

A figura 2.13 mostra a comparação feita entre as projeções pelo cenário RCP 8.5 do CMIP5 para o final do século XXI (área em contorno) e a simulação histórica (sombreado em azul). As principais características deste resultado indicam uma expansão da área do SMAS para oeste sobre o Oceano Pacífico e para leste sobre o Oceano Atlântico, ambos na região equatorial. Além disso, é observada uma expansão para sudeste da região da ZCAS, alcançando latitudes subtropicais (CARVALHO; CAVALCANTI, 2016). Kitoh et al. (2013) também identificaram essa expansão na área de atuação do SMAS no cenário RCP 8.5 do CMIP5.



Figura 2.13 - Diferença de precipitação entre verão e inverno simulado durante o período 1980-2005 (sombreado) e projetado durante o período 2075-2100 (contorno) para um conjunto de cinco modelos do CMIP5. Fonte: Carvalho e Cavalcanti (2016).

2.3.2 - Projeções de mudanças em transporte de umidade

Como mostrado nos tópicos anteriores, a Amazônia é uma das principais componentes para o transporte de umidade na AS (MARENGO et al., 2004b; SOARES; MARENGO, 2009). Além disso, é uma das áreas mais vulneráveis às mudanças climáticas projetadas para o fim do século XXI (COX et al., 2004; TORRES; MARENGO, 2014). Quanto a aspectos da circulação regional, a Amazônia é uma importante fonte de umidade para as regiões sul, sudeste e central do Brasil, assim como para o norte da Argentina, incluindo a Bacia do Prata (MARENGO et al., 2004b).

Adicionalmente, estudos mostram que um aspecto importante que interfere diretamente no transporte de umidade sobre a AS é o uso do solo. A combinação do desmatamento com as mudanças climáticas afetam diretamente o ciclo hidrológico não somente no local desmatado, mas também pode interferir nas regiõesadjacentes. Além disso, os processos de *feedbacks* gerados pelo desmatamento podem afetar várias escalas temporais do ciclo hidrológico. As mudanças que ocorrem em dias e meses podem, por exemplo, ocasionar inundações inesperadas; em escala de tempo sazonal ou interanual, podem ocorrer mudanças quanto a período de cheias ou intensificação de secas; em anos ou décadas, podem ocorrer alterações nos padrões da circulação da atmosfera afetando interações oceano-atmosfera (NIJSSEN et al., 2001). O desmatamento da Amazônia, por exemplo, é um grande

contribuinte para o aumento da temperatura da superfície local assim como para a diminuição da evapotranspiração e precipitação, interferindo no processo da reciclagem de umidade (SHUKLA; NOBRE; SELLERS, 1990).

Soares e Marengo (2009) avaliaram o comportamento do fluxo de umidade juntamente com JBN na AS mediante projeções de mudanças climáticas. Neste estudo foi utilizado o modelo regional climático HadRM3P utilizando o cenário mais pessimista (A2) do SRES presente no quarto relatório do IPCC, primeiramente para a compreensão do clima atual (com base no período entre 1980 a 1989) e posteriormente projeções para o clima futuro (entre 2080 até 2089). A análise foi feita através do comportamento do fluxo de umidade sobre a Bacia Amazônica e Bacia do Prata. As projeções do modelo regional indicam um aumento na frequência e na intensidade de eventos de JBN na AS, comparado ao presente em um futuro cenário de aquecimento global. Com isso foi observado um aumento no transporte de umidade meridional a leste dos Andes na direção do sudeste da AS. Além disso, os autores contabilizaram o fluxo de umidade nas fronteiras das regiões em estudo, comparando o clima passado com o clima futuro em condições gerais e em condições de ocorrência de JBN. Através do somatório do fluxo de umidade sobre as fronteiras da Bacia Amazônica e da Bacia do Prata, identificaram que as projeções indicam um aumento do transporte de umidade sobre as regiões de entrada (bordas leste e norte) bem como nas de saída da mesma (oeste e sul), tanto em condições normais (Figura 2.14a,b) como em condições de JBN (Figura 2.14c,d).

Da mesma forma, Marengo et al. (2004b) utilizando dados de reanálise do NCEP-NCAR entre os anos de 1950 até 2000, também haviam observado uma tendência no aumento da intensidade e da frequência dos JBN. Além disso, Marengo et al. (2004b) sugerem que um aumento na intensidade dos JBN acarretaria em eventos de ZCAS mais fortes.

Com o aumento do transporte meridional de umidade, é observado um maior fluxo sobre a Bacia Amazônica e Bacia do Prata. Na região da Bacia do Prata, uma maior quantidade de umidade disponível levaria a um aumento de sistemas convectivos de mesoescala, podendo aumentar a ocorrência de extremos de precipitação no local. De forma contrária, na região da Bacia Amazônica uma maior intensidade no fluxo de umidade seria responsável por diminuir a convergência local e dessa forma, reduzir os volumes de precipitação local, principalmente sobre as regiões central e leste da Amazônia (SOARES; MARENGO, 2009). No que se refere às características nessa tendência de aumento de JBN, o aquecimento global seria responsável por um aumento significativo do gradiente meridional de temperatura, influenciando num aumento do transporte de umidade entre a região tropical e subtropical do continente na região leste dos Andes (SOARES; MARENGO, 2009).



Figura 2.14 - Componentes do fluxo de umidade integrado verticalmente ao longo dos limites laterais que delimitam as áreas da Bacia Amazônica e Bacia do Prata durante os meses de DJF. A unidade está em 10⁻⁸kg.s⁻¹. Fonte: Soares e Marengo (2009).

Coutinho et al. (2015) estudaram como as mudanças climáticas podem modificar o fluxo de umidade sobre a AS. As regiões em estudo foram Nordeste do Brasil e as bacias do Prata e Amazônica, por serem áreas que apresentam grande vulnerabilidade climática e desempenham um papel importante quanto ao balanço de umidade para toda a AS, além de serem regiões que apresentam sinais distintos de projeções pelos modelos climáticos quanto à precipitação. Coutinho et al. (2015) compararam o fluxo de umidade integrado verticalmente em dois períodos diferentes: passado (1961-1990) e futuro (2071-2100); para os meses de junho, julho e agosto (JJA) e dezembro, janeiro e fevereiro (DJF). Foram utilizados 4 modelos climáticos regionais (RCMs) do projeto *Regional Climate Change Assessment for the La Plata Basin* (CLARIS-LPB). De modo geral, na simulação do clima passado, os modelos regionais tendem a superestimar/subestimar a precipitação, dependendo da região e da época

do ano. Nos meses de verão os modelos superestimam a precipitação observada sobre o Nordeste do Brasil e subestimam a mesma durante o inverno na Bacia do Prata. Além disso, ao se comparar as projeções futuras dos RCMs com o passado, uma diminuição da precipitação é observada sobre a região Nordeste da AS. Além disso, os autores mostram que os RCMs indicam que a convergência do fluxo de umidade sobre a AS tende a ser maior no futuro.

2.4 - Lacunas Remanscentes

Algumas lacunas remanescentes foram constatadas a partir da revisão bibliográfica e dessa forma também motivaram o presente estudo. De maneira geral, poucos trabalhos quantificam o fluxo de umidade sobre a América do Sul, e os que o fazem se concentram sobre as áreas da Bacia Amazônica e Bacia do Prata ou outras regiões (SOARES; MARENGO, 2009; SETH; ROJAS; RAUSCHER, 2010; JOETZJER et al., 2013; COUTINHO et al., 2015). Nenhum estudo analisou o comportamento do fluxo de umidade sobre as região SEB em específico. É relevante estudar o transporte de umidade sobre essa região, por se tratar de um polo econômico para o Brasil e para a AS: além de ser a região mais populosa do país a mesma possui grandes áreas de agricultura e reservatórios de água para abastecimento populacional e geração de energia elétrica.

Dessa forma, além da relevância em se analisar o comportamento atual do transporte de umidade sobre essa região, o estudo das projeções de mudanças climáticas do mesmo se fazem ainda mais importantes. A maioria dos estudos que visam projetar as mudanças no transporte de umidade sobre a AS utilizam gerações desatualizadas de modelos de projeções, além de focarem em projeções de uma pequena gama de modelos ou somente um modelo (SOARES; MARENGO, 2009; SETH; ROJAS; RAUSCHER, 2010; VALVERDE; MARENGO, 2010; COUTINHO et al., 2015). Assim, o presente trabalho utilizou um conjunto de 21 MCGs presentes no mais atual relatório de mudanças climáticas, o IPCC AR5 (2013).

3 - DADOS E METODOLOGIA

3.1 - Dados

Nos tópicos subsequentes serão apresentados os dados utilizados para avaliar as simulações históricas, projeções climáticas e a área de estudo.

3.1.1 - CMIP5

Os dados de simulações e projeções climáticas utilizados neste estudo são as do conjunto de MCGs integrantes do CMIP5, fornecido pelo *Program for Climate Model Diagnosis and Intercomparison* (PCMDI). As projeções climáticas utilizadas no CMIP5 são geradas utilizando a nova geração de cenários forçantes denominados *Representative Concentration Pathways* (RCPs) em substituição aos SRES (CMIP3). Os RCPS utilizados são: RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0 e RCP8.5. Os valores numéricos das siglas representam o aumento radiativo no topo da atmosfera em W/m² para o fim do século XXI em comparação às condições pré-industriais, sendo o RCP2.6 um cenário mais otimista e o RCP8.5 mais pessimista. A figura 3.1 mostra as concentrações de CO₂, CH₄ e N₂O considerados em cada RCP (2.6, 4.5, 6.0, 8.5) representados pelas linhas coloridas. As linhas tracejadas em cinza mostram as concentrações desses mesmos gases, porém para o SRES utilizado no CMIP3, e as áreas preenchidas em cinza mostram as emissões encontradas em literaturas. É possível observar que as trajetórias de emissões referentes aos RCPs possuem valores altos, na maioria das vezes, quando comparadas às demais projeções.

A resolução horizontal dos modelos do CMIP5 é ligeiramente maior do que a dos modelos do CMIP3. Além disso, alguns dos principais aperfeiçoamentos nos MCGs do CMIP5 são: um aprimoramento no acoplamento dos oceanos, a inclusão do ciclo de carbono, e a utilização de forçantes radiativas mais completas devido, entre outras coisas, a inserção de uma modelagem mais acurada dos efeitos indiretos dos aerossóis e o uso de séries temporais das forçantes vulcânica e solar na maioria dos modelos (TAYLOR; STOUFFER; MEEHL, 2012; KNUTTI; SEDLÁCEK, 2013; SILLMANN et al., 2013a).



Figura 3.1 - Trajetórias das emissões de CO₂ (esquerda), CH₄ (centro), e N₂O (direita) referentes aos quatro cenários RCPs (2.6, 4.5, 6.0, 8.5). As áreas em cinza representam os percentis 98° (cinza claro) e 90° (cinza escuro) encontrados na literatura. As linhas tracejadas indicam quatro dos cenários SRES (A2, A1b, B2, e B1) Fonte: Van Vuuren et al. (2011).

A figura 3.2 mostra uma comparação entre as séries temporais de temperatura simulada para o século XX e projetada para o século XXI a partir dos SRES e RCPs . Os resultados gerados pelos RCPs do CMIP5 mostram um aquecimento mais intensificado para todos os cenários comparativos aos SRES do CMIP3.



Figura 3.2 - Mudança da temperatura média global (e um desvio padrão, indicado com o sombreado) relativo a 1986-2005, projetada pelos MCGs do CMIP3 utilizando os cenários SRES (esquerda), e pelos MCGs do CMIP5 utilizando os RCPs (direita). O número de MCGs utilizados para cada cenário estão indicados entre parênteses. Fonte: Knutti e Sedlácek (2013).

Neste trabalho foram utilizados 21 dos MCGs do CMIP5. Os modelos utilizados e as resoluções horizontais aproximadas de cada um deles estão presentes na tabela 3.1.

Modelo	Resolução (lat x lon)	Historical	RCP			
			2.6	4.5	6.0	8.5
FGOALS-g2	3.1°×2.8°	*	*	*	-	*
BCC-CSM1-1	$2.8^{\circ} \times 2.8^{\circ}$	*	*	*	*	*
CanESM2	$2.8^{\circ} \times 2.8^{\circ}$	*	*	*	-	*
MIROC-ESM	$2.8^{\circ} \times 2.8^{\circ}$	*	*	*	*	*
FIO-ESM	$2.8^{\circ} \times 2.8^{\circ}$	*	*	*	*	*
MIROC-ESM-CHEM	$2.8^{\circ} \times 2.8^{\circ}$	*	*	*	*	*
Giss-E2-R	$2.0^{\circ} \times 2.5^{\circ}$	*	*	*	*	*
IPSL-CM5A-LR	1.9°×3.8°	*	*	*	*	*
NorESM1-M	$1.9^{\circ} \times 2.5^{\circ}$	*	*	*	*	*
CSIRO-Mk3-6-0	1.9°×1.9°	*	*	*	*	*
MPI-ESM-LR	1.9°×1.9°	*	*	*	-	*
INMCM4	$1.5^{\circ} \times 2.0^{\circ}$	*	-	*	-	*
CNRM-CM5	$1.4^{\circ} \times 1.4^{\circ}$	*	*	*	-	*
MIROC5	$1.4^{\circ} \times 1.4^{\circ}$	*	*	*	*	*
IPSL-CM5A-MR	$1.3^{\circ} \times 2.5^{\circ}$	*	*	*	-	*
HadGEM2-CC	1.3°×1.9°	*	-	*	-	*
HadGEM2-ES	1.3°×1.9°	*	*	*	*	*
ACCESS1.0	1.3°×1.9°	*	-	*	-	*
EC-EARTH	1.1°×1.1°	*	*	*	-	*
MRI-CGCM3	1.1°×1.1°	*	*	*	*	*
CCSM4	0.9°×1.3°	*	*	*	*	*

Tabela 3.1 - Lista de modelos do conjunto CMIP5 utilizados neste estudo com a descrição das resoluções
horizontais aproximadas das projeções futuras (RCPs 2.6, 4.5, 6.0, 8.5) e simulações históricas
(historical). Os asteriscos representam a disponibilidade das simulações para os cenários.

As simulações dos modelos do CMIP5 (denominadas "*historical*") utilizadas compreendem o período entre 1971 e 2000, sendo este denominado clima presente. O *historical* será utilizado para a comparação entre os MCGs e os dados observados. Além disso, também foram utilizadas as projeções de todos os cenários RCPs para o clima do século XXI que foi divido em dois períodos: futuro próximo (2041-2070) e futuro distante (2071-2100).

As variáveis dos MCGs utilizadas com a finalidade de calcular o fluxo de umidade integrado verticalmente são: vento zonal e meridional, umidade específica (sendo estas entre a superfície e o nível de pressão de 200 hPa) e pressão ao nível médio do mar. Além dessas variáveis também foi utilizada a precipitação.

As variáveis são mensais e posteriormente compõem médias sazonais. A partir da grade original de cada modelo, para fins de intercomparação, todas as variáveis foram

interpoladas para uma grade final de resolução 2,5° de longitude e 2,5° de latitude utilizando uma interpolação bi-linear.

3.1.2 - Dados Observados

Os dados considerados como sendo observados utilizados para a comparação das simulações históricas de fluxo de umidade para o clima atual serão os dados de reanálise do *National Oceanci and Atmospheric Administration* (NOAA) - *Cooperative Institute for Research in Environmental Sciences* (CIRES) *Twentieth Century Reanalysis* (20CRv2c). Os dados do 20CRv2c são fornecidos pela NOAA / *Oceanic and Atmospheric Research* (OAR) / *Earth System Research* Laboratory (ESRL) Physical *Sciences Division* (PSD) em Boudles no Colorado (EUA) e estão disponíveis em seu site: http://www.esrl.noaa.gov/psd. A finalidade desse projeto é produzir um conjunto de dados que compreende todo o século XX através da assimilação de dados observados em superfície: pressão, temperatura e gelo marinho. Esse conjunto de dados utiliza como método o *Ensemble Filter*, que possui resolução temporal de seis horas, sendo este considerado o estado mais provável da atmosfera, além de estimar possíveis incertezas relacionadas. Os dados fornecidos pelo 20CRv2c são de primeiro de janeiro de 1851 até 31 de dezembro de 2014.

Neste trabalho foram selecionados dados mensais entre dezembro de 1970 até novembro de 2000 que posteriormente compõem as médias sazonais. Este período de tempo está associado à análise do clima presente referente ao período entre 1971 e 2000. A resolução espacial dos dados é de 2° x 2° de latitude/longitude, e 24 níveis de pressão (1000 até 10 hPa). Os dados foram interpolados para uma grade regular de 2,5° x 2,5° de latitude/longitude com a finalidade de comparação com a simulação histórica dos MCGs.

As variáveis do 20CRv2c utilizadas são: componentes zonal e meridional dos ventos, umidade específica (estas entre a superfície e o nível de 200 hPa) e pressão ao nível médio do mar.

Além disso, as simulações de precipitação dos 21 MCGs para o clima presente também serão comparadas com os dados tomados como observados fornecidos pelo *Climate Research Unit* (CRU) TS 3.0. Os dados do CRU são produzidos pelo *Climate Research Unit* – *University of East Anglia* (CRU/UEA) que fornecem os dados para o período entre 1901 até 2005, e com uma resolução de latitude e longitude de $0,5^{\circ} \ge 0,5^{\circ}$. Para este trabalho serão usadas as médias sazonais de precipitação em mm.dia⁻¹ e a resolução espacial também foi

interpolada para uma grade de 2,5° x 2,5° para as devidas comparações com as simulações dos MCGs.

3.1.3 - Descrição da Área de Estudo

A região SEB recebe umidade em grandes quantidades principalmente da Bacia Amazônica (MARENGO et al., 2004b; VERA et al., 2006; SATYAMURTY et al., 2013). Qualquer modificação no balanço hidrológico na Bacia Amazônica pode influenciar diretamente os regimes de precipitação no Sudeste.

O SEB concentra os três estados mais populosos do país (Minas Gerais, São Paulo e Rio de Janeiro). É uma região de agricultura vasta com cultivo principalmente de cana-deaçúcar, café, leite de vaca e laranja (DE CASTRO, 2014). Além disso, é o principal centro econômico do país, possuindo um parque industrial altamente diversificado. Dessa forma, o impacto das mudanças climáticas sobre o transporte de umidade nas regiões da Bacia Amazônica e SEB gera uma vulnerabilidade que afetaria fatores como: sociais, econômicos, agrícolas e biodiversidade.

A fim de compreender o processo de transporte de umidade sazonal sobre a região SEB, primeiramente a região a ser selecionada será de toda a AS e parte do Oceano Atlântico Sul. Esta área selecionada compreende as latitudes 56°S até 13°N e as longitudes 82°O até 0°. Após este processo, a área em análise passa a ser então o SEB em que os limites compreendem o retângulo delimitado pelas longitudes 52,5°O e 40°O e latitudes 25°S e 14°S (Figura 3.3).



Figura 3.3 - Área de estudo e a área que representa a região Sudeste do Brasil.

3.2 - Metodologia

3.2.1 - Análise do Transporte de Umidade

A metodologia utilizada neste estudo tem como finalidade o cálculo do transporte de umidade sobre a AS e sobre o SEB. Esta metodologia é similar à utilizada por Soares e Marengo (2009), Arraut e Satyamurty, (2009) e Coutinho et al. (2015). O transporte é calculado através da integração vertical do fluxo de umidade e utiliza as seguintes equações:

$$Q_v = \frac{1}{g} \int_{pt}^{p0} qv dp \tag{3.1}$$

$$Q_u = \frac{1}{g} \int_{pt}^{p0} qu dp \tag{3.2}$$

$$Q_t = \frac{1}{g} \int_{pt}^{p0} qV dp \tag{3.3}$$

Nas equações 3.1 a 3.3, Q_v representa o fluxo de umidade meridional, Q_u representa o fluxo de umidade zonal e Q_t representa o fluxo de umidade total, respectivamente. Em todas as equações g é a força gravitacional, q é a umidade específica, u e v são as componentes zonal e meridional do vento, V é a magnitude do vento e pt e p0 representam a pressão em 200hPa e na superfície respectivamente. A unidade dos fluxos integrados obtida em Q_v , Q_u , ou Q_t é dada por kg.(m.s)⁻¹.

Já o cômputo do fluxo de umidade nas fronteiras da região em estudo (SEB) é calculado através das seguintes equações:

$$Q_j = \int_{la1}^{la0} Q i dy \tag{3.4}$$

$$Q_k = \int_{lo1}^{lo0} Q i dx \tag{3.5}$$

Na equação 3.4, o índice *j* define a longitude, e a integração então é feita fixando a longitude e variando a latitude do ponto l_{a1} (ponto localizado mais a sul do domínio) até o ponto l_{a0} (ponto localizado mais a norte do domínio); dessa forma essa equação permite o cálculo de fluxo na borda leste ou oeste da área delimitada. Já na equação 3.5 ocorre o oposto, o índice *k* define a latitude, dessa forma a integração é feita com a latitude fixada enquanto a longitude varia do ponto l_{o1} (ponto localizado mais a oeste) até o ponto l_{o0} (ponto localizado mais a leste); a partir dessa equação é possível saber o comportamento do fluxo de umidade

nas bordas norte ou sul. Nas equações 3.4 e 3.5 o índice *i* é substituído pelo fluxo de umidade meridional (Q_v) , zonal (Q_u) ou total (Q_t) já integrado verticalmente. Neste caso, para a soma do fluxo de umidade nas bordas norte e sul somente o valor de Q_v foi acumulado fixando a latitudes 25° S (borda sul) e 14° S (borda norte) e percorrendo as longitudes 52,5°O até 40°O. E para as bordas leste e oeste foram acumulados os valores de Q_u fixando as longitudes 40°O (borda leste) e 52,5° O (borda oeste) e percorrendo as latitudes 25° S até 14° S.

A tabela 3.2 indica a convenção de sinais utilizados na região delimitada. É possível observar que o transporte de umidade sobre a região é positivo (negativo) quando seu valor nas fronteiras norte e leste são negativos (positivos) ou quando seu valor nas fronteiras sul e oeste forem positivos (negativos) (Satyamurty et al., 2013).

Tabela 3.2 - Convenção de sinais para o cálculo do saldo fluxo de umidade ao longo das fronteiras.

Norte e Leste	Sul e Oeste		
(+) Saída ou perda de fluxo	(+) Entrada ou ganho de fluxo		
(-) Entrada ou ganho de fluxo	(-) Saída ou perda de fluxo		

Além do fluxo de umidade integrado verticalmente, também foi calculada a divergência do mesmo, através da equação 3.6. Quando há divergência (convergência) de umidade o resultado da equação é positivo (negativo). A unidade da divergência de umidade é kg. $(m^2.s)^{-1}$.

$$\nabla \cdot \boldsymbol{Q} = \frac{\partial(Q_u)}{\partial x} + \frac{\partial(Q_v)}{\partial y}$$
(3.6)

3.2.2 - Análises das Simulações e Projeções

Para as comparações entre as simulações dos modelos e os dados observados, foram calculadas as médias sazonais do fluxo de umidade integrado verticalmente e da divergência do fluxo de umidade sobre os dados observados (20CRv2c) e sobre o *ensemble* do *historical* dos 21 MCGs do CMIP5. As médias foram feitas para o clima presente (compreendendo o período climatológico entre 1971 e 2000) sobre a AS e parte do Oceano Atlântico Sul. A análise dos dados nessa fase se deu a partir de comparação visual entre a média sazonal do conjunto de MCGs e dos dados observados.

Posteriormente, foi feita uma comparação do fluxo de umidade verticalmente integrado ao longo dos limites laterais do SEB entre os dados observados e do *ensemble* das simulações. Foram calculados os vieses entre os dois dados, para cada estação do ano, a partir do resultado do saldo do fluxo de umidade sobre a região (valores de fluxo de entrada de umidade menos valores de fluxo de saída de umidade).

Para analisar os dados de projeções climáticas, foram calculadas as médias sazonais do fluxo de umidade integrado verticalmente e da divergência do fluxo apartir do *ensemble* dos 21 MCGs, como também para cada modeloe, separadamente, para cada cenário de projeções climáticas: RCP 2.6, RCP 4.5, RCP 6.0 e RCP 8.5. Essas médias foram feitas para dois períodos de análises: futuro próximo (média sazonal entre os anos de 2041 e 2070) e futuro distante (média sazonal entre os anos de 2071 e 2100).

Dessa forma, as médias sazonais projetadas pelos MCGs de cada cenário climático foram subtraídas das médias sazonais do *historical*. Foram calculadas as diferenças entre futuro próximo e presente e entre futuro distante e presente, sazonalmente, sobre toda a AS.

Por fim, foram calculadas as médias sazonais do fluxo de umidade ao longo dos limites laterais do SEB, como mencionado no tópico anterior, bem como o saldo do fluxo de umidade sobre a região. As projeções do fluxo de umidade dos limites laterais não foram subtraídas do clima presente.

A fim de uma melhor análise sobre o saldo do fluxo de umidade no SEB foi feito um viés de cada modelo separadamente identificando quais modelos melhor simularam o clima presente, estes foram separados em tercis, sendo que cada tercil compõe um conjunto de sete MCGs. O primeiro tercil é composto dos modelos com menor viés e o terceiro tercil com maior viés. Após identificar quais modelos representaram melhor ou pior o clima presente, foram feitas as análises das projeções do saldo do fluxo de umidade integrado verticalmente de cada modelo e o resultado foi subtraído do *ensemble* do clima presente a fim de se avaliar o comportamento do fluxo de umidade sobre o SEB através de uma média dos modelos de melhor e pior simulação.

4 - RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nos tópicos subsequentes, primeiramente serão discutidas as simulações do *ensemble* dos 21 dos modelos utilizados no CMIP5 em comparação com os dados observados do 20CRv2c disponibilizados pelo *NCEP/NCAR* para o clima presente (1971 até 2000) para o transporte de umidade sobre a AS e o SEB. Posteriormente serão apresentadas as projeções de mudanças climáticas do transporte de umidade do mesmo *ensemble* dos 21 modelos para o final do século XXI.

4.1 - Simulação do Clima Presente

4.1.1 - Precipitação Observada e Simulada

A figura 4.1 apresenta a simulação da média sazonal e anual da precipitação através do ensemble de 21 dos MCGs utilizados no CMIP5 e o viés associado a partir dos dados observados do CRU, ambos para o mesmo período climatológico compreendido entre 1971 até 2000. Esta análise é similar à feita por Torres e Marengo (2013), que no caso utilizaram a média de 24 MCGs do CMIP5 para as médias climatológicas sazonais de precipitação para o período entre 1961 e 1990. Ainda sim os resultados são equivalentes. De forma geral, os modelos representam bem a precipitação sobre a AS, bem como o deslocamento dos maiores valores ao longo das estações do ano. Durante os meses de DJF (Figura 4.1a,f) é possível perceber que o máximo de precipitação, que se sustenta principalmente pelo regime de monção da AS e pela ZCAS, é bem representado e se concentra na região central do continente e toma sentido noroeste/sudeste, desde a região da Bacia Amazônica até o SEB. Nos meses de março, abril e maio (Figura 4.1b,g) os maiores volumes de precipitação migram para o norte da AS e tomam sentido oeste/leste, além do que a área onde ocorre precipitação menor do que 3 mm.dia⁻¹ é bem mais presente do que nos meses de verão. Já nos meses de JJA (Figura 4.1c,h), na maior parte da região, a média da precipitação atinge os menores valores variando de 1 a 3 mm.dia⁻¹ e os máximos se concentram no extremo norte do continente (região da Colômbia e Venezuela). A precipitação torna a ter sentido noroeste/sudeste durante os meses de setembro, outubro e novembro (SON) (Figura 4.1d,i), com valores que variam entre 1 e 5 mm.dia⁻¹, porém os máximos continuam sendo sobre o extremo norte da AS (até 11 mm.dia⁻¹).

Quanto ao viés da média dos MCGs em relação aos dados observados (Figura 4.1k-o), é possível perceber que o mesmo ocorre em maior intensidade em algumas localidades específicas. Os vieses que mais permanecem ao longo das estações do ano podem ser observados na média anual (Figura 4.1o). Os modelos subestimam a precipitação sobre a região das Guianas, Suriname, sul da Venezuela e sobre o Amapá em -2 a -4 mm.dia⁻¹. Além disso, sobre a região da Bacia Amazônica, leste da Colômbia e sul do Brasil também é possível observar uma subestimativa, porém em menor magnitude (-1 mm.dia⁻¹). Durante os meses de DJF e março, abril e maio (MAM) a maior subestimativa está localizada na borda nordeste do continente enquanto que nos meses de JJA esta ocorre sobre a região mais a noroeste e em SON sobre a região central do Brasil. As maiores superestimativas ocorrem sobre a região Andina, chegando até 4 mm.dia⁻¹ em alguns pontos (SETH; ROJAS; RAUSCHER, 2010; MINVIELLE; GARREAUD, 2011); este padrão só não é observado durante os meses de JJA. Na costa nordeste do Brasil também é observada um superestimativa de precipitação, sendo esta de 1 mm.dia⁻¹ na média anual, porém a mesma só é observada durante os meses de DJF e MAM (entre o intervalo de 1 até 4 mm.dia⁻¹).

Os vieses mais persistentes ocorrem principalmente sobre os Andes, bacia do Prata e bacia Amazônica e a deficiência dos modelos sobre essas regiões se deve a fatores distintos. Sobre a região dos Andes, onde ocorre uma superestimativa da precipitação, o viés pode estar associado ao fato de que os modelos possuem uma resolução espacial maior e assim não são capazes de reproduzir as condições atmosféricas (como a parametrização de cúmulus) associadas à detalhada e complexa topografia da região. Na região da bacia do Prata os modelos subestimam a precipitação pois não representam fidedignamente o transporte de vapor d'água bem como a convergência de umidade. Já a subestimativa que ocorre sobre a bacia Amazônica pode estar relacionada à deficiência dos modelos representarem a convecção cumulus, a umidade presente no solo e as interações com a superfície. Um fator em comum que justifica a deficiência dos modelos sobre a AS está relacionado à escassez de estações meteorológicas ao longo do continente, principalmente sobre a região Andina e bacia Amazônica por serem regiões inóspitas e de difícil acesso. Dessa maneira esse fator acaba modificando a qualidade dos dados observados a pode interferir na intensidade e localização dos vieses principalmente sobre essas regiões (TORRES, 2014).



Figura 4.1 - Simulação da climatologia média sazonal e anual da precipitação pelo ensemble dos 21 MCGs (ae), climatologia média sazonal dos dados do CRU (f-j) e o viés associado (k-o). As médias são sobre o período entre 1971 até 2000. As unidades estão em mm.dia⁻¹.

4.1.2 - Transporte de Umidade

Na figura 4.2 são apresentados os resultados quanto ao transporte e a divergência de umidade sazonal para o período do clima presente (1971 até 2000) dos dados observados e da média dos 21 MCGs utilizados. De forma geral, a média dos modelos representa bem a variabilidade espacial de onde há convergência ou divergência de umidade sobre toda a AS bem como o sentido do transporte de umidade integrado verticalmente em todas as estações do ano. A maior discordância entre os dados observados e os simulados ocorre sobre a intensidade dos valores da divergência e do transporte de umidade, sendo que as diferenças são maiores ou menores dependendo da estação do ano.

Durante os meses de DJF (Figura 4.2a,b) é possível observar que o transporte de umidade caracteriza bem o ASAS que se encontra na região central do Atlântico Sul e a umidade do oceano que é transportada para dentro do continente através das bordas oeste e norte do sistema. O transporte de umidade na região equatorial gerado pela ZCIT também é bem representado pelos modelos, bem como sua trajetória dentro do continente, que ao alcançar a barreira topográfica gerada pela Cordilheira dos Andes a mesma toma sentido noroeste/sudeste transportando umidade para a região sul e sudeste da AS. Ao se analisar a convergência de umidade, é possível perceber que a mesma possui os valores de máximos sobre a região onde há atuação da ZCAS, indo da Bacia Amazônica até o Atlântico Sul. No entanto ao se comparar o observado (Figura 4.1a) com a média dos modelos (Figura 4.2b) é possível observar uma diferença nas localidades de máximas divergências e convergências. Nas regiões sul da Amazônia, oeste do Centro Oeste, Sudeste do Brasil, Atlântico Sul e Equatorial e na região ao longo da América Andina os modelos subestimam os valores de convergência de umidade, enquanto que sobre a região sul e parte do interior do nordeste do Brasil ocorre uma superestimação da mesma. Já sobre a costa do nordeste do Brasil, Oceano Atlântico adjacente, e Oceano Pacífico próximo a costa do Chile a divergência de umidade é subestimada. Quanto ao sentido do transporte de umidade, os modelos representam bem a variabilidade espacial, porém ocorre uma leve subestimação na intensidade.

Sobre a média dos meses de MAM (Figura 4.2c,d), é possível observar que o transporte de umidade para maiores latitudes é menor quando comparado aos meses de verão e que os maiores valores de convergência de umidade se localizam na faixa norte do continente e sobre a região Andina. A média dos MCGs para esta estação do ano apresenta um deslocamento mais para sul da convergência de umidade sobre o Atlântico Tropical, além de subestimar a mesma sobre as regiões leste da Amazônia, sul do Peru, sul da Bolívia, centro e norte da Argentina e sudeste do Brasil. Já a divergência de umidade é mais bem representada pelos modelos, em localidade e intensidade. O transporte de umidade simulado (Figura 4.2d) quando comparado ao observado (Figura 4.2c) representa bem o sentido da mesma, mas subestimam em intensidade principalmente sobre a região a leste da Cordilheira dos Andes, contribuindo dessa forma para que a convergência de umidade não tenha sido bem representada ao longo dessa área.

Nos meses de JJA (Figura 4.2e,f) ocorre um deslocamento do centro do ASAS mais para oeste, ficando dessa forma mais próximo do continente. Esse deslocamento inibe o transporte de umidade do oceano para parte do continente, principalmente para a região sudeste do Brasil; dessa forma há menos convergência de umidade sobre esta região quando comparada às demais estações do ano. Já a redução do transporte de umidade que ocorre sobre a região central da AS está ligada ao SMAS, que nesta época do ano é caracterizado pela desintensificação dos ventos no sentido noroeste/sudeste e dessa forma diminui o transporte de umidade para maiores latitudes. Além disso, os modelos apresentam a migração clássica da ZCIT mais para norte nessa época do ano. A simulação dos modelos (Figura 4.2f) subestima em demasia a convergência de umidade e, vinculada a ela, a intensidade do transporte de umidade sobre o sul da Bolívia, extremo norte da Argentina, Paraguai e sul do Brasil quando comparada aos dados observados (Figura 4.2e). Já sobre a região da ZCIT a simulação superestima a convergência de umidade além de representá-la sobre uma área maior do que a observada, provocando também dessa forma um deslocamento mais para sul da região de divergência sobre o Atlântico. A divergência de umidade é subestimada em maior quantidade sobre a região norte do Chile e sobre o Peru e em menor quantidade sobre a costa do nordeste do Brasil.

Durante os meses de SON (Figura 4.2g,h) é possível perceber que o transporte de umidade retoma o sentido noroeste/sudeste sobre o continente, porém em menor intensidade quando comparado aos meses de DJF (que possui esse transporte mais característico) e o centro da ASAS retorna para leste sobre o oceano Atlântico, contribuindo novamente para o transporte de umidade do oceano para dentro do continente sobre a região SEB. De maneira geral, a média dos modelos (Figura 4.2h) representa bem as localidades onde há convergência ou divergência de umidade. Porém, assim como nos meses de DJF (Figura 4.2a,b) a média dos modelos (Figura 4.2h) subestima a convergência de umidade sobre a região de atuação da ZCAS, se estendendo do sul da Amazônia até o Atlântico e sobre o sul do Peru até o sul da Bolívia, bem como o transporte de umidade. Já a divergência de umidade é subestimada pela média dos modelos sobre a costa do nordeste do Brasil e sobre a região norte do Atlântico.



Figura 4.2 - Médias sazonais climatológicas para o período entre 1971 e 2000 da convergência (sombreado em azul) e divergência (sombreado em laranja) de umidade integrada verticalmente e o fluxo da mesma (vetores) para os dados observados (a, c, e, g) e *ensemble* dos 21 MCGs utilizados (b, d, f, h). As mesmas representam: DJF (a, b), MAM (c, d), JJA (e, f), SON (g, h). A unidade da convergência/divergência de umidade (sombreado) é 10⁻⁵ kg.(m².s)⁻¹. A escala dos vetores de transporte de umidade está em 400 kg.(m.s⁻¹).
4.1.3 - Transporte de Umidade sobre o SEB

A figura 4.3 mostra a somatória do fluxo de umidade integrado verticalmente ao longo das fronteiras da região delimitada pelo SEB. Durante os meses de DJF (Figuras 4.3a,b) é possível observar que através das bordas leste (oeste) e norte (sul) ocorre uma inserção (remoção) de umidade para dentro da região SEB. Dentre essas fronteiras, a maior contribuição de umidade vem dos oceanos e se faz presente na borda leste, como esperado para essa estação do ano, devido à contribuição do Atlântico e os demais sistemas atmosféricos como mostrado na sessão anterior. Sobre esta borda ocorre uma inserção de $0.96 \times 10^3 \text{ kg.(m.s)}^{-1}$ de acordo com a média observada e $0.88 \times 10^3 \text{ kg.(m.s)}^{-1}$ de acordo com a média do conjunto de modelos. Já a contribuição de umidade a partir da borda norte é a maior quando comparada às outras estações do ano, isso ocorre devido a uma maior permanência da ZCAS, além da manutenção do SMAS que garante um maior fluxo de umidade no sentido meridional para a região SEB durante esses meses. Acerca das bordas onde ocorre a remoção de umidade, a maior delas se dá na borda sul da região, isto ocorre por conta do transporte de umidade possuir mais intensidade no sentido meridional para sul do que zonal para oeste, pelos mesmos motivos da entrada de umidade pela borda norte. A média dos modelos (Figura 4.3b) representa bem o comportamento padrão desta estação quanto aos limites laterais onde há entrada ou saída de umidade na região, porém subestima a quantidade que entra ou que sai em todas as bordas.

Durante o outono (Figura 4.3c,d) ocorre menos inserção e menos remoção de umidade ao longo das fronteiras. De acordo com a média dos dados observados, ocorre entrada de umidade a partir das bordas leste e norte, já a média das simulações indica entrada de umidade somente pela borda leste, sendo esta $0,35 \times 10^3$ kg.(m.s)⁻¹ maior do que a simulada. Isso está relacionado ao transporte de umidade simulado, que não apresentam componentes para sul sobre o SEB durante o outono (Figura 4.2d), além disso, a borda leste apresenta um maior valor de entrada de umidade. A remoção de umidade pela borda oeste é de $0,65 \times 10^3$ kg.(m.s)⁻¹, superestimando a média observada que é de apenas $0,2 \times 10^3$ kg.(m.s)⁻¹.

A região SEB tem como característica um inverno seco, dessa forma o somatório ao longo das fronteiras nesta estação apresenta uma resultante com o menor valor de umidade sobre a região. Através da média observada para o período, a entrada de umidade ocorre sobre as bordas leste e oeste e para a média simulada há entrada de umidade somente pela borda leste. Na simulação e na observação a maior retirada de umidade ocorre através da borda sul (Figura 4.3e,f).

Já nos meses de SON (Figura 4.3g,h), o somatório do fluxo de umidade integrado verticalmente apresenta entrada de umidade através de todas as fronteiras sobre a região, exceto através da borda sul, para os dados observados e simulados. A maior diferença entre a observação e simulação ocorre sobre a borda oeste, em que os dados observados mostram que durante a primavera a maior inserção de umidade ocorre nesta borda $(0,6x10^3 \text{ kg.(m.s)}^{-1})$, porém a simulação subestima essa quantidade $(0,04x10^3 \text{ kg.(m.s)}^{-1})$ e apresenta a borda leste como sendo a principal fonte de umidade para dentro da região.

De forma geral, é possível concluir que durante o período entre 1971 até 2000 a maior fonte de umidade no SEB é o oceano Atlântico Sul, já que para todas as estações do ano o maior valor do somatório do fluxo de umidade integrado verticalmente ocorre através da borda leste. A posição da ASAS é o principal mecanismo que interfere na quantidade de umidade sazonalmente na região, durante os meses de verão o mesmo está mais deslocado para oeste transportando umidade do oceano, enquanto que durante os meses de inverno se desloca para oeste, diminuindo assim a quantidade de umidade sobre a borda leste. Além disso, a maior remoção de umidade em todas as estações ocorre sobre a borda sul, isso ocorre devido à componente meridional de norte ser mais intensa sobre essa região, por estar à leste dos Andes, além de contribuições do ramo oeste do ASAS.

Quanto ao saldo do fluxo de umidade, que resulta do cálculo da quantidade de umidade que entra menos a que sai pelos limites laterais, é possível perceber que tanto a média observada quanto a média dos MCGs apresentam que a maior quantidade de umidade sobre o SEB ocorre durante os meses de DJF (Figura 4.3a,b) sendo esta de $1,01\times10^3$ kg.(m.s)⁻¹ de acordo com a observação. Nas estações de transição MAM (Figura 4.3c,d) e SON (Figura 4.3g,h) o fluxo de umidade é menor, sendo de $0,34\times10^3$ kg.(m.s)⁻¹ e $0,88\times10^3$ kg.(m.s)⁻¹ respectivamente. Por fim, como esperado, os meses de JJA apresentam a menor média de fluxo de umidade, de $0,24\times10^3$ kg.(m.s)⁻¹ de acordo com a observação.

As simulações, apesar de manterem o mesmo padrão de qual estação do ano resultam com maior e menor umidade dentro da região SEB, apresentam um viés alto quando comparadas à observação (Tabela 4.1). A estação do ano em que as simulações melhor representam o saldo do fluxo de umidade é o verão, subestimando em 16% em relação à observação. Posteriormente, no inverno, a simulação subestima em 41% o saldo do fluxo. Durante as estações de transição este viés é ainda maior, subestimando em 54% e 51% durante os meses de outono e primavera respectivamente.



Figura 4.3 - Transporte de umidade sobre o SEB. As setas indicam a soma ao longo dos limites laterais do SEB do fluxo de umidade integrado verticalmente médio sazonal para o período entre 1971 até 2000. As figuras à esquerda representam a observação e à direita a média dos 21 MCGs. Sazonalmente: DJF (a,b), MAM (c,d), JJA (e,f), SON (g,h). A caixa no canto direito superior mostra o valor do saldo do fluxo de umidade sobre o SEB. A unidade está em 10³ kg.(m,s)⁻¹.

Dado	Saldo do Fluxo de Umidade	Viés					
VERÃO							
Observado	1011	-					
Ensemble Historical	846	-165 (-16%)					
OUTONO							
Observado 337		-					
Ensemble Historical	157	-181 (-54%)					
INVERNO							
Observado	241	-					
Ensemble Historical 141		-100 (-41%)					
PRIMAVERA							
Observado	879	-					
Ensemble Historical	435	-444 (-51%)					

 Tabela 4.1 - Média sazonal do saldo do fluxo de umidade integrado verticalmente sobre o SEB para o período entre 1971 até 2000. A unidade está em kg.(m.s)⁻¹.

4.1.4 - Modelos que melhor simularam o transporte de umidade presente

Como foi utilizado um conjunto com 21 MCGs do CMIP5, e esta é uma quantidade considerável de modelos, se fez necessária a avaliação separada de cada um deles a fim de descobrir se possíveis modelos apresentavam resultados discrepantes. Dessa forma, o saldo do fluxo de umidade sobre o SEB foi calculado para cada modelo separadamente e a partir daí foi feito o viés entre as médias sazonais simuladas e observadas que são apresentadas como tercis para cada estação do ano, como mostra a tabela 4.2.

Os resultados mostram que para cada estação do ano uma gama diferente de modelos representa melhor as observações de fluxo de umidade. Este resultado evidencia a dificuldade de se utilizar somente alguns modelos para simulações e projeções climáticas, uma vez que um modelo que representa bem uma estação do ano pode simular de maneira ruim outras. O primeiro tercil é composto por sete modelos que apresentaram um menor viés na simulação.

O único modelo presente no primeiro tercil em todas as estações do ano é o HadGEM2-ES, sendo que durante a primavera ele foi, dentre todos, o melhor modelo. Os modelos que aparecem no primeiro tercil em três das quatro estações são: BCC-CSM1-1 (melhor modelo para outono), HadGEM2-CC, CSIRO-Mk3-6-0 e ACCESS1.0. Já os MCGs que aparecem em metade das estações são: FGOALS-g2 (melhor modelo para inverno) e MIROC5. Por fim, os modelos que se apresentam no primeiro tercil somente em uma estação do ano são: MRI-CGCM3 (melhor modelo para o verão), FIO-ESM, IPSL-CM5A-LR,

CCSM4, INMCM4, CanESM2 e MIROC-ESM, sendo que alguns desses modelos aparecem novamente somente no último tercil, onde estão localizados os modelos com maiores vieses.

	VERÃO	VERÃO OUTONO		PRIMAVERA		
Prineiro Tercil	MRI-CGCM3 (16)	BCC-CSM1-1 (21)	FGOALS-g2 (19)	HadGEM2-ES (-229)		
	BCC-CSM1-1 (-36)	IPSL-CM5A-LR (-21)	CCSM4 (25)	CSIRO-Mk3-6-0 (-242)		
	HadGEM2-CC (61)	HadGEM2-ES (-23)	CSIRO-Mk3-6-0 (34)	ACCESS1.0 (-266)		
	MIROC5 (94)	FGOALS-g2 (-25)	IPSL-CM5A-MR (-42)	HadGEM2-CC (-280)		
	FIO-ESM (-133)	ACCESS1.0 (28)	HadGEM2-ES (45)	CanESM2 (-360)		
	ACCESS1.0 (134)	HadGEM2-CC (-45)	BCC-CSM1-1 (55)	MIROC-ESM (-394)		
	HadGEM2-ES (142)	CSIRO-Mk3-6-0 (47)	INMCM4 (-64)	MIROC5 (-398)		
Segundo Tercil	MIROC-ESM-CHEM (-148)	IPSL-CM5A-MR (-122)	ACCESS1.0 (70)	MRI-CGCM3 (-409)		
	MIROC-ESM (-160)	MIROC5 (-160)	HadGEM2-CC (72)	MIROC-ESM-CHEM (-420)		
	EC-EARTH (-173)	Giss-E2-R (-188)	IPSL-CM5A-LR (87)	BCC-CSM1-1 (-426)		
	CCSM4 (-177)	MRI-CGCM3 (-190)	CanESM2 (-126)	CCSM4 (-448)		
	IPSL-CM5A-LR (-180)	CCSM4 (-202)	NorESM1-M (-136)	IPSL-CM5A-LR (-448)		
	NorESM1-M (-212)	NorESM1-M (-203)	Giss-E2-R (-146)	FIO-ESM (-458)		
	CanESM2 (-213)	MIROC-ESM-CHEM (-243)	MIROC-ESM (-178)	CNRM-CM5 (-482)		
Terceiro Tercil	CSIRO-Mk3-6-0 (281)	MIROC-ESM (-273)	MIROC-ESM-CHEM (-192)	NorESM1-M (-487)		
	MPI-ESM-LR (-295)	CNRM-CM5 (-291)	MRI-CGCM3 (-196)	EC-EARTH (-493)		
	CNRM-CM5 (-303)	CanESM2 (-296)	CNRM-CM5 (-208)	FGOALS-g2 (-498)		
	IPSL-CM5A-MR (-331)	FIO-ESM (-326)	MIROC5 (-229)	IPSL-CM5A-MR (-533)		
	FGOALS-g2 (-432)	INMCM4 (-359)	EC-EARTH (-230)	Giss-E2-R (-643)		
	Giss-E2-R (-682)	EC-EARTH (-377)	FIO-ESM (-313)	INMCM4 (-690)		
	INMCM4 (-699)	MPI-ESM-LR (-552)	MPI-ESM-LR (-439)	MPI-ESM-LR (-691)		

 Tabela 4.2 - Separação por tercis dos 21 MCGs utilizados de acordo viés (valor entre parênteses) entre o saldo do fluxo de umidade sazonal simulado e o observado para o clima presente. Os valores positivos (negativos) indicam superestimação (subestimação) dos modelos. As unidades estão em kg.(m.s)⁻¹.

4.2 - Projeções do Clima Futuro

4.2.1 - Transporte de Umidade

Neste suptópico serão avaliadas as projeções climáticas do *ensemble* de 21 dos MCGs utilizados no CMIP5. As projeções sazonais foram analisadas para dois períodos de tempo diferentes: futuro próximo (2041-2070) e futuro distante (2071-2100); porém, somente serão mostrados neste capítulo as projeções do futuro distante, já que os resultados apresentam resultados muito similares, porém para o futuro distante os mesmos são mais relevantes em termos de magnitude. Para maiores consultas sobre os resultados do futuro próximo, as figuras com os resultados estão disponibilizadas no apêndice A do trabalho. Além disso, as projeções foram analisadas baseadas em quatro cenários de mudanças climáticas presentes no quinto relatório do IPCC: RCP 2.6, RCP 4.5, RCP 6.0 e RCP 8.5. Primeiramente será feita a análise das projeções do fluxo de umidade integrado verticalmente para a região da AS e Oceano Atlântico Sul. Em seguida serão feitas as análises sobre a região SEB.

De modo geral, as projeções de todos os cenários de mudanças climáticas indicam que as regiões que já apresentavam ser de convergência (divergência) ficam ainda mais convergentes (divergentes) e o transporte de umidade se mostra intensificado a AS em todos os cenários.

As projeções para os meses de DJF (Figura 4.4) indicam que para todos os cenários ocorre um aumento do transporte de umidade com relação ao clima presente. O padrão do ASAS é mantido sobre a região central do Atlântico Sul, a ZCIT na região equatorial bem como o escoamento de umidade a leste dos Andes. É possível perceber que a intensidade do transporte de umidade cresce à medida que a forçante dos cenários fica maior, ou seja, do cenário mais otimista (Figura 4.4a) para o mais pessimista (Figura 4.4d) o transporte de umidade fica cada vez mais intenso. Esse aumento na intensidade é mais notório justamente sobre os sistemas que mais interferem na distribuição de umidade sobre a AS. O transporte de umidade mais intenso de leste, por exemplo, originado do Oceano Atlântico equatorial contribui para uma maior entrada de umidade principalmente sobre a região da Bacia Amazônica. As projeções do IPCC AR5 (IPCC, 2013) evidenciam a intensificação dos ventos alísios em um cenário de mudanças climáticas. Este comportamento pode ser associado ao maior aquecimento do continente, aumentando o gradiente térmico oceano/continente, dessa forma a intensidade de ventos em baixos níveis também se intensificam, aumentando também

o transporte de umidade à leste dos Andes, já que com o aumento da temperatura também dos oceanos, ocorre maior evaporação e a quantidade de vapor d'água na atmosfera é maior.

Como consequência, o transporte sobre a região continental no norte da AS também passa a ser mais intenso, sendo este o local onde os modelos projetam as maiores diferenças no transporte de umidade para DJF com relação ao clima presente. Esse transporte escoa para maiores latitudes tomando o sentido noroeste/sudeste, podendo estar associado à ocorrência de JBN e ZCAS mais intensas para o futuro distante. A intensificação desses sistemas em um cenário futuro é confirmada por Ambrizzi et al. (2007), Marengo et al. (2007) e Saulo, Ruiz e Skabar. (2007), mostrando que em um cenário futuro o gradiente térmico entre pequenas e grandes latitudes acabam por intensificar esses jatos favorecendo também a convergência de umidade nas regiões de saída dos jatos, aumento a precipitação ao sul do Brasil. Apesar desse estudo fazer as análises considerando baixos e altos níveis, a intensificação dos JBN pode ser confirmada uma vez que Uccellini e Johnson (1979) e Saulo, Ruiz e Skabar (2007) mostraram que após a formação de JBN ocorre uma formação de jatos em altos níveis da atmosfera, dessa forma, em um cenário de aquecimento a intensificação dos JBN também acarreta em intensificação do transporte em altos níveis. Além disso, as projeções sobre as bordas do ASAS também mostram um aumento no transporte, contribuindo para uma maior entrada de umidade sobre a região sudeste do Brasil nesta época do ano, aumentando a convergência já existente sobre a região.

Com um aumento no transporte de umidade, os padrões de convergência ou divergência se modificam. Sobre o cenário RCP 6.0 (Figura 4.4a), no interior do Nordeste do Brasil, Colômbia, Venezuela e sobre a região Andina a mudança na convergência é a maior observada para esta época do ano e chega a ser de mais de $2x10^{-5}$ kg. $(m^2.s)^{-1}$. A convergência presente sobre o Nordeste do Brasil se estende para maiores latitudes, em menor intensidade, indo até a região sul do país. Em contrapartida, as regiões de divergência possuem um decréscimo de até $2x10^{-5}$ kg. $(m^2.s)^{-1}$ principalmente sobre a costa do nordeste do Brasil se estendendo até o Oceano Atlântico, sul da Amazônia e ao longo da região oceânica próxima à costa oeste do continente. Já para o cenário RCP 8.5 a distribuição espacial da convergência de umidade sobre o interior do nordeste se desintensifica, ficando em torno de $1,5x10^{-5}$ kg. $(m^2.s)^{-1}$. Sobre as regiões sudeste e sul do Brasil a mesma varia entre $0,5x10^{-5}$ kg. $(m^2.s)^{-1}$ e $2x10^{-5}$ kg. $(m^2.s)^{-1}$. Ainda sobre o cenário mais pessimista, os núcleos onde ocorrem as maiores diferenças são sobre o norte da Colômbia e sul do Peru. Sobre a costa do nordeste e sobre o

oceano próximo a costa oeste, a divergência diminui em relação ao cenário RCP 6.0 e a máxima divergência ocorre sobre o Oceano Atlântico Equatorial à norte do continente. O aumento da convergência de umidade sobre as regiões definidas anteriormente, também foi encontrado por Soares e Marengo (2009). Assim como Vera et al. (2006) e Bombardi e Carvalho (2009) identificaram um aumento na precipitação de verão sobre o norte dos Andes e sudeste da AS, regiões que apresentam maior convergência de umidade.



Figura 4.4 - Mudança do transporte de umidade para os meses de DJF relativo a média de 21 MCGs do CMIP5 para o período entre 2071 até 2100, relativo a 1971-2000. As áreas sombreadas indicam a convergência (sombreado azul) e divergência de umidade (sombreado laranja) para os seguintes cenários: RCP 2.6 (a), RCP 4.5 (b), RCP 6.0 (c) e RCP 8.5 (d). A unidade da convergência/divergência de umidade está em 10⁻⁵ kg.(m².s)⁻¹. A escala dos vetores de transporte de umidade está em 50 kg.(m.s⁻¹).

Durante os meses de MAM os resultados apresentam uma convergência maior de que $2x10^{-5}$ kg. $(m^2.s)^{-1}$ sobre o a Colômbia, Venezuela, norte do Nordeste do Brasil, sobre a região equatorial do Oceano Atlântico e, similar aos meses de DJF (porém sobre uma faixa mais estreita), ao longo da região Andina para o cenário RCP 6.0 (Figura 4.5c). Para essa estação do ano também é observada que a maior divergência de umidade (maior do que $2x10^{-5}$ kg. $(m^2.s)^{-1}$) ocorre sobre a costa da região Nordeste do Brasil, norte da Bolívia e ao longo da

costa do Chile. Já para o cenário RCP 8.5 (Figura 4.5d), a divergência mantem o mesmo padrão. Já a convergência de umidade é menos intensa, principalmente sobre o Nordeste do Brasil, porém ocorre uma projeção de convergência mais intensa sobre o sul e sudeste do Brasil. É possível observar que o transporte de umidade do ASAS durante esta estação do ano já não é tão bem configurado como nos meses de DJF e o centro do sistema começa a se deslocar para oeste, ficando mais próximo do continente.



Figura 4.5 - Igual a figura 4.4, mas para MAM.

Como durante o inverno a quantidade de umidade sobre o continente é menor, os cenários projetam uma diferença pequena na convergência de umidade, variando até 1×10^{-5} kg.(m².s)⁻¹ sobre a maior parte do continente, porém para o cenário RCP 6.0 (Figura 4.6c) é apresentada uma convergência maior do que 2×10^{-5} kg.(m².s)⁻¹ sobre o norte da Argentina, Atlântico equatorial e sobre as regiões da Colômbia e Venezuela. Já no cenário RCP 8.5 (Figura 4.6d) uma diferença maior na convergência de umidade é observada sobre a região da Bacia do Prata e norte da Amazônia. Sobre a divergência de umidade, é possível afirmar que a mesma é mais presente durante o inverno para todos os cenários. Levando em conta o cenário mais pessimista, a divergência de umidade sobre a costa do nordeste brasileiro adentra um

pouco mais sobre o continente e a área onde a mesma é maior do que $2x10^{-5}$ kg. $(m^2.s)^{-1}$ é mais extensa. Além disso, sobre a região sul da Argentina é possível perceber um aumento da área onde ocorre a divergência de umidade, em comparação com as outras estações do ano. Isso pode estar associado à quantidade de precipitação; por exemplo, Vera et al. (2006) identificaram uma redução de precipitação na região sul dos Andes não só durante o inverno, como em todas as estações.

O transporte de umidade mostra um mesmo padrão quanto ao sentido dos vetores nas projeções em todos os cenários, variando somente em intensidade, dessa forma ressalta-se o comportamento sobre o RCP 8.5 (Figura 4.6). Sobre este cenário, observa-se uma projeção de vetores que intensificam o giro anti-horário sobre a região de Minas Gerais, se estendendo até o oceano Atlântico. A partir desta configuração pode-se presumir uma intensificação do ASAS durante os meses de inverno e fazer com que a mesma se desloque mais para oeste no fim do século. Dessa maneira os JBN que são alimentados com a umidade vinda do Atlântico sul através do ASAS, uma vez que as projeções indicam um aumento no transporte de umidade do mesmo, resultam em um aumento na convergência sobre a região de encontro desses sistemas.



Figura 4.6 - Igual a 4.4, mas para JJA.

Por fim, nos meses de SON (Figura 4.7) para todos os cenários de mudanças climáticas é observado um mesmo padrão quanto às regiões que serão mais convergentes ou divergentes no fim do século. Dessa forma, ressalta-se a projeção feita através do cenário RCP 8.5 (Figura 4.7d). É possível observar que sobre a região sul do Brasil e norte da Argentina até a região oceânica há um grande aumento de convergência de umidade chegando a mais de $2x10^{-5}$ kg.(m².s)⁻¹. Um aumento da convergência, porém em menor escala (até $1,5x10^{-5}$ kg.(m².s)⁻¹), também é observado sobre o norte do Nordeste do Brasil, Colômbia e Venezuela sendo que para esses países, a convergência de umidade se mostra maior no cenário RCP 6.0 (Figura 4.7c), sendo esta maior do que $2x10^{-5}$ kg.(m².s)⁻¹. O transporte de umidade se mostra mais intenso e mais bem configurado sobre o continente para o cenário RCP 8.5, dessa forma justifica o transporte de umidade para a região mais a sudeste do continente, aumentando a convergência. Em contrapartida, a costa do Nordeste e norte do Chile são as regiões que apresentaram maiores divergências de umidade em todos os cenários, sendo que no RCP 6.0 e RCP 8.5 a mesma ultrapassa os $2x10^{-5}$ kg.(m².s)⁻¹ e para este último cenário a área da divergência sobre o Nordeste é ainda maior. É possível observar que o

transporte de umidade caracteriza bem o ASAS, já mais deslocado para leste em comparação aos meses de JJA, comportamento este característico para esta estação do ano.



Figura 4.7 - Igual a 4.4, mas para SON.

4.2.2 - Transporte de Umidade sobre o SEB

Neste subtópico são apresentados os resultados do *ensemeble* dos 21 MCGs do CMIP5 para as projeções das médias sazonais do fluxo de umidade integrado verticalmente ao longo dos limites laterais da região SEB. Os resultados a seguir mostram a média do *ensemble* simulado para o clima presente (1971-2000) e as projeções para o futuro distante (2071-2100) para os quatro cenários de mudanças climáticas: RCP 2.6, RCP 4.5, RCP 6.0 e RCP 8.5. Nem todos os modelos possuem as projeções para todos os cenários, portanto o *ensemble* possui uma quantidade diferente de modelos dependendo do RCP (Tabela 3.1 da metodologia). Cada projeção possui o seguinte número de modelos: RCP 2.6 possui 18 modelos, RCP 4.5 possui 21 modelos, RCP 6.0 possui 12 modelos e RCP 8.5 possui 21 modelos. Os resultados do futuro próximo (2041-2070) encontram-se no apêndice B.

Para os meses de DJF, de maneira geral é possível perceber que a principal fonte de umidade para o SEB ocorre pela borda leste e que esse transporte tende a aumentar até o fim do século. Já a borda sul é a principal saída de umidade, e a mesma também fica mais intensa nas projeções. Quanto ao saldo do fluxo de umidade sobre a região, é observado um aumento do mesmo, sendo que para o cenário RCP 2.6 (Figura 4.8b) o aumento é de 3% em relação ao clima presente (Figura 4.8a), paro o cenário RCP 4.5 (Figura 4.8c) é de 5%, para o RCP 6.0 (Figura 4.8d) o aumento é o maior observado entre os cenários sendo de 17% e por fim, para o cenário RCP 8.5 (Figura 4.8e) o mesmo é de 14%.

Durante os meses de MAM o comportamento sobre a região em estudo se modifica. A maior fonte de umidade continua sendo sobre a borda leste, porém esta passa ser a única fronteira onde ocorre inserção de umidade para dentro da região. Nesta época do ano o ASAS começa a se deslocar ficando mais próximo do continente, dessa forma os ventos zonais são mais intensos que os meridionais, e a borda oeste passa a ser a fronteira por onde há maior saída de umidade. Apesar da quantidade de umidade que entra pela borda leste ser maior durante esta época do ano quando comparada aos meses de DJF, a saída de umidade também é maior, dessa forma o fluxo de umidade é menor durante esta época do ano. Ao se comparar o clima futuro com o presente (Figura 4.9a), é possível observar que também ocorre um aumento no saldo do fluxo de umidade no futuro, exceto para o cenário RCP 2.6 (Figura 4.9b) que mostra uma diminuição de 6%. Para o cenário RCP 4.5 (Figura 4.9c) ocorre um aumento de 6%, o cenário RCP 6.0 (Figura 4.9d) para esses meses também é o que apresenta o maior aumento no saldo do fluxo, sendo de 44% e o cenário RCP 8.5 (Figura 4.9e) mostra um aumento de 38%.

Em relação aos meses de JJA (Figura 4.10), os resultados mostram que a quantidade de umidade que entra na região pela borda leste é muito menor em relação aos outros meses, mas que ainda sim é a única fronteira pela qual há inserção de umidade. Durante os meses de inverno, parte do ASAS está situada sobre a AS e dessa forma a quantidade de umidade disponível sobre o SEB é muito baixa. Entretanto, ao se comparar o fluxo de umidade sobre a região com os meses de MAM é possível observar que o resultado é bem similar, sendo até maior na maioria das projeções. Isso ocorre já que, apesar de menos umidade entrar sobre a região, o transporte de saída de umidade também é muito menor. Esta é a única estação do ano em que o cenário RCP 8.5 (Figura 4.10e) apresenta a maior projeção para o saldo do fluxo de umidade, sendo esta de 64%. O cenário RCP 2.6 (Figura 4.10b) mostra um aumento

de 14%, no RCP 4.5 (Figura 4.10c) um aumento de 36% e no RCP 6.0 (Figura 4.10e) este é de 50%.

Por fim, para os meses de SON é observado que ocorre entrada de umidade no SEB a partir das bordas leste, oeste e norte, sendo que o maior valor ocorre sobre a borda leste. Durante esta estação do ano a umidade disponível sobre a região torna a ser maior, o ASAS volta a se afastar do continente, migrando para leste e os sistemas de transporte de umidade na AS, como o SMAS e ZCAS tornam a atuar configurando o início da estação chuvosa. As projeções para o futuro distante, como em todas as estações do ano, mostram um aumento no saldo do fluxo de umidade sobre a região. O cenário RCP 2.6 mostra um aumento de 11% no fluxo de umidade, o RCP 4.5 um aumento de 20%, o RCP 6.0 mostra o maior aumento sendo este de 30% e o RCP 8.5 um aumento de 27%.

Com exceção dos meses de JJA o maior aumento do fluxo de umidade sobre o SEB ocorre no cenário RCP 6.0. Isso ocorre devido ao fato de que os MCGs que subesmtimaram o saldo do fluxo de umidade (mostrados no terceiro tercil, na tabela 4.2 no tópico 4.1.4) para o clima presente se fazem presentes em maior número nas projeções do cenário RCP 8.5 quando comparados ao RCP 6.0, contribuindo dessa forma para que a média dos modelos no cenário RCP 6.0 não seja tão subestimada e dessa forma justificando que o fluxo de umidade seja maior neste cenário.



Figura 4.8 - Projeções do transporte de umidade sobre o SEB. As setas indicam o fluxo de umidade integrado verticalmente ao longo dos limites laterais do SEB para os meses de DJF. (a) Representa a média para o clima presente (1971-200). (b)(c)(d)(e) Representam as médias para o futuro distante (2071-2100) para os cenário RCP 2.6, RCP 4.5, RCP 6.0 e RCP 8.5 respectivamente. A caixa retangular acima das figuras mostra o saldo do fluxo de umidade sobre a região. A unidade está em 10³ kg.(m.s)⁻¹.



Figura 4.9 - O mesmo que a figura 4.8, mas para MAM.



Figura 4.10 - O mesmo que a figura 4.8, mas para JJA.



Figura 4.11 - O mesmo que a figura 4.8, mas para SON.

4.2.3 - Projeção dos Modelos que melhor simularam o transporte de umidade.

A partir das analises das simulações de cada modelo separadamente (item 4.1.4), foram encontrados os modelos que melhor simularam cada estação do ano para o clima presente. Dessa forma esses mesmos modelos foram selecionados a fim de ser calculada a projeção para o saldo do fluxo de umidade sobre o SEB.

De certa forma deve-se levar em consideração o fato de que alguns dos modelos que melhor simularam o clima presente não possuem projeções para todos os cenários de mudanças climáticas. Assim, em alguns cenários e estações do ano, a média dos tercis para o balando de umidade no SEB possui uma quantidade de modelos diferentes. Para consultar as projeções sazonais do saldo do fluxo de umidade para cada modelo, separados por tercis, para todos os cenários, olhar o apêndice C.

A tabela 4.3 mostra os resultados obtidos das projeções do fluxo de umidade integrado verticalmente no SEB para o futuro distante. Ao se comparar as projeções do *ensemble* dos MCGs com as projeções do primeiro tercil é possível perceber que através dos modelos que melhor simularam o clima presente, ocorre um aumento ainda maior no fluxo de umidade observado em todas as estações do ano e para todos os cenários. Além disso, é possível observar que, contrário ao *ensemble* (que mostra os maiores aumentos no fluxo de umidade no cenário RCP 6.0), as médias do primeiro tercil mostram que o maior aumento no fluxo de umidade ocorre no cenário RCP 8.5 (exceto para os meses de JJA).

Quanto ao ciclo sazonal, as projeções do *ensemble* mostram que percentualmente o aumento do fluxo de umidade é maior durante os meses de JJA enquanto que a média do primeiro tercil mostra esse aumento durante os meses de MAM.

Já as médias das projeções dos modelos que pior simularam o clima presente (terceiro tercil), mostram que o fluxo de umidade integrado verticalmente sobre o SEB tende a ser menor para o fim do século. Além disso, é possível observar que para os meses de MAM onde o primeiro tercil mostra o maior aumento percentual no fluxo de umidade, o terceiro tercil mostra o maior decréscimo percentual do mesmo. Dessa forma, é possível perceber que os modelos que simularam de maneira mais deficiente o clima presente possuem resultados muito contraditórios quanto às projeções e podem interferir nos resultados do *ensemble*, subestimando o mesmo.

Tabela 4.3 - Projeção sazonal do fluxo de umidade no SEB para todos os RCPs. A tabela contém os dados das projeções geradas através do *ensemble* dos modelos e as médias a partir dos modelos que melhor simularam o clima presente (primeiro tercil) e dos que pior simularam (terceiro tercil). A unidade está em kg.(m.s)⁻¹.

		DJF		MAM		JJA		SON		
		Clima Presente	846		157		141		435	
Diferenç no Balanço	Ensemble	RCP 2.6	25	+3%	-7	-5%	18	+13%	58	+13%
		RCP 4.5	44	+5%	16	+10%	53	+37%	97	+22%
		RCP 6.0	146	+17%	71	+46%	74	+52%	134	+31%
		RCP 8.5	119	+14%	67	+43%	92	+65%	129	+30%
	Média Primeiro Tercil	RCP 2.6	205	+24%	228	+145%	167	+118%	192	+44%
		RCP 4.5	331	+39%	246	+157%	173	+122%	308	+71%
		RCP 6.0	280	+33%	251	+160%	203	+144%	229	+53%
		RCP 8.5	364	+43%	312	+199%	179	+127%	309	+71%
	Média Terceiro Tercil	RCP 2.6	-97	-12%	-175	-112%	-131	-93%	-83	-19%
		RCP 4.5	-132	-16%	-164	-105%	-113	-80%	-92	-21%
		RCP 6.0	22	+3%	-94	-60%	-76	-54%	-31	-7%
		RCP 8.5	-71	-8%	-137	-87%	-104	-74%	-74	-17%

5 - CONCLUSÃO

O presente trabalho analisou o comportamento do fluxo de umidade integrado verticalmente sobre a América do Sul com enfoque sobre o SEB, representando uma colaboração aos estudos relacionados às mudanças climáticas sazonais, através da utilização de 21 MCGs do CMIP5. Foram analisadas projeções climáticas a partir de quatro cenários de mudanças climáticas: RCP 2.6, RCP 4.5, RCP 6.0 e RCP 8.5. As projeções foram analisadas para o futuro próximo (2041-2070) e com mais enfoque para o futuro distante (2071-2100).

As simulações através da média dos 21 modelos para o clima presente foram comparadas com os dados observados de reanálise do 20CRv2c fornecidos pelo *NOAA-CIRES*. De maneira geral a média do conjunto de modelos simulou bem o comportamento sazonal do transporte de umidade para este período sobre a AS bem como os principais sistemas de transporte de umidade atuantes sobre a região, porém ocorrem alguns vieses significativos. Dentro do ciclo sazonal, foi observado que para a maioria das estações do ano ocorre uma subestimativa dos modelos quanto à convergência de umidade principalmente sobre a região da Amazônia, ao longo da região dos Andes (exceto para JJA) e SEB (exceto para JJA), também subestimam a mesma sobre o Oceano Atlântico Equatorial e Sul durante os meses de primavera e verão. No entanto, os modelos superestimaram a convergência de umidade sobre o Sul e interior do Nordeste do Brasil durante os meses de DJF, sobre a região norte do Nordeste durante os meses de MAM e sobre a região da ZCIT durante JJA, durante os meses de SON não foi observada superestimação de convergência de umidade sobre nenhuma área.

Já em relação à divergência de umidade, durante todas as estações do ano, os modelos subestimam a mesma sobre parte do Nordeste do Brasil e sobre o Chile bem como sobre a região do Oceano Pacífico próximo à costa chilena. Em nenhuma estação do ano foi observada a superestimação dos modelos quanto à divergência de umidade. Em relação ao transporte de umidade sobre a AS, de maneira geral a média dos 21 MCGs simulou bem o sentido e direção do mesmo, porém subestimou a intensidade desse transporte.

Em relação às projeções resultantes dos quatro cenários de diferentes forçantes é possível concluir que num cenário de mudanças climáticas, sobre a AS, as regiões que apresentaram ser de convergência (divergência) de umidade no clima presente, tendem a ser mais convergentes (divergentes) até o fim do século. As projeções da divergência/convergência de umidade apresentaram um aumento crescente no sentido do

cenário mais otimista para o mais pessimista, sendo então mais pronunciados nos cenários RCP 6.0 e RCP 8.5.

Ressaltando as regiões em que o aumento da convergência de umidade foi maior do que 2x10⁻⁵ kg.(m².s)⁻¹ em comparação à média dos MCGs do clima presente, foi possível concluir que durante os meses de DJF este acréscimo foi projetado sobre a região do interior do Nordeste do Brasil, parte do Centro Oeste e Sudeste e sobre a região dos Andes, nos meses de MAM esse aumento ocorreu sobre o extremo norte da AS, norte do Nordeste e sobre a região Andina, durante JJA sobre o extremo norte da AS, mas vale ressaltar um aumento em menor intensidade sobre o Sul do Brasil e por fim nos meses de SON sobre o Sul, parte do Sudeste e Centro-Oeste do Brasil. O aumento da convergência de umidade sobre estas regiões pode estar relacionado ao fato de que em um cenário de mudanças climáticas, ocorre um aumento da TSM do Atlântico e com isso mais umidade fica disponível na atmosfera, junto à isso o gradiente de temperatura entre continente/oceano aumenta, intensificando o transporte de umidade para dentro do continente, principalmente sobre a região norte do continente, e consequentemente um maior transporte de umidade para maiores latitudes, acelerando o escoamento em um cenário futuro através dos principais sistemas que atuam no transporte de umidade na AS: JBN, ZCAS, SMAS. A intensificação desses sistemas até o fim do século é afirmada por alguns autores, que mostram também uma maior convergência de umidade e precipitação sobre as regiões sul/sudeste na AS (VERA et al. 2006; SOARES; MARENGO, 2009; COUTINHO et al., 2015). Já o comportamento das projeções da divergência de umidade segue um padrão mais específico, sendo que para todas as estações do ano a intensificação da divergência de umidade maior do que $2x10^{-5}$ kg. $(m^2.s)^{-1}$ foi observada principalmente sobre a costa do Nordeste do Brasil, sul da Amazônia e sobre a costa do Chile.

Levando em conta o transporte de umidade ao longo dos limites laterais do SEB, constatou-se através dos dados observados para o clima presente, que pela borda leste ocorre a maior entrada de umidade no SEB ao longo do ano, exceto para a primavera. Além disso, a maior retirada de umidade ocorre através da borda sul. No entanto, ao se analisar o ciclo sazonal esse comportamento varia em intensidade. Dessa forma, através do saldo do fluxo de umidade para a região em estudo, foi possível perceber que DJF são os meses em que há maior quantidade de umidade sobre o SEB e que JJA são os meses em que há menor quantidade. Esse resultado é esperado, já que a variação sazonal de precipitação sobre o SEB é caracterizada por um verão chuvoso e um inverno seco, devido à atuação dos sistemas que transportam e bloqueiam o transporte de umidade para essa região respectivamente.

As simulações dos MCGs subestimaram em grau elevado o fluxo de umidade integrado verticalmente sobre o SEB em todas as estações do ano, sendo que o maior viés foi observado durante o outono, sendo este de -54% em relação à observação, e o menor viés durante os meses de verão (-16%).

Em concordância com as projeções do transporte de umidade sobre a AS, a projeção do transporte de umidade ao longo dos limites laterais sobre o SEB também se apresenta maior nos cenários de mudanças climáticas mais pessimistas: RCP 6.0 e RCP 8.5. Foi verificado que o maior aumento de inserção de umidade ocorre através da borda leste da região além de uma maior intensidade de retirada de umidade pela borda sul.

Através de todas as projeções foi possível constatar que o fluxo de umidade integrado verticalmente sobre o SEB será maior até o fim do século. Para os meses de DJF, MAM e SON o maior aumento no fluxo de umidade é observado através das projeções do cenário RCP 6.0, e nos meses de JJA este ocorre através do cenário RCP 8.5. Em termos percentuais, considerando os cenários de forçantes que projetaram as maiores mudanças no fluxo de umidade, foi possível concluir a partir do *ensemble* dos MCGs que os meses de inverno apresentaram o maior aumento, sendo este de 64%, em seguida do outono e primavera, com um aumento de 44% e 30% respectivamente, e por fim o menor aumento foi observado durante os meses de verão, sendo de 17%. Dessa maneira, é possível concluir que até o fim do século XXI o ciclo anual de umidade, com diferenças sazonais pronunciadas, será reduzido. Já em termos quantitativos, como esperado, as projeções para os meses de DJF possuem o maior fluxo de umidade para a região sendo este de 0,99x10³ kg.(m.s)⁻¹. Sobre os meses mais secos, os modelos apresentaram que no cenário RCP 6.0 para MAM e no cenário RCP 8.5 para JJA o fluxo de umidade sobre o SEB é o mesmo, sendo este de 0,23x10³ kg.(m.s)⁻¹.

Atrelado a quantidade de modelos utilizados nesse estudo, quando foi levada em conta a simulação de cada modelo para o fluxo de umidade de umidade do SEB, através de separação dos mesmos por tercis, que foram compostos por sete modelos que apresentaram um menor até o maior viés entre simulação e observação do clima presente, foi possível observar que uma gama de diferentes modelos melhor ou pior simulava o fluxo de umidade em cada estação do ano. A partir desse ponto, as médias das projeções de cada tercil para cada estação do ano foram feitas e conclui-se que os modelos presentes no primeiro tercil (ou seja, que apresentaram um menor viés) projetaram um aumento no fluxo de umidade sobre o SEB ainda maior quando comparadas às médias sazonais projetadas pelo *ensemble* dos 21 modelos. No entanto, as médias sazonais projetadas pelos modelos que compõem o terceiro tercil (composto dos modelos com maior viés em relação ao clima presente) projetaram uma diminuição no fluxo de umidade, resultado este não encontrado em nenhuma revisão de literatura. Dessa maneira pode-se dizer que a média de todo o conjunto pode acabar por subestimar o aumento do fluxo de umidade sobre a região em estudo.

A região SEB é caracterizada por ser uma região de difícil projeção climática por estar em uma área de transição, porém seu estudo é significativo já que possui grande vulnerabilidade às mudanças climáticas por ser um grande polo econômico do país, com intensas atividades agropecuárias além de ser a região mais populosa do Brasil. Dessa forma o conhecimento do comportamento climático sobre esta região em um cenário futuro fornece a capacidade para tomadores de decisão de medidas de mitigação e adaptação para que os impactos sejam suavizados. Através desse estudo, foi possível fornecer informações importantes para o SEB em um cenário de mudanças climáticas para o fim do século, atendendo aos objetivos propostos.

5.1 - Sugestões para trabalhos futuros

Com a intenção de dar continuidade ao presente trabalho, algumas sugestões relevantes devem ser levadas em conta:

- Comparar os *historicals* dos modelos com diferentes dados observados a fim de se analisar a possibilidade de resultados com menor viés e, dessa forma, uma melhor análise sobre as regiões onde ocorrem super/subestimavita dos modelos para o transporte de umidade.
- Analisar o fluxo de umidade integrando camadas separadamente, nível a nível, criando a possibilidade de distinguir em quais níveis o transporte de umidade é maior, bem como em quais níveis as projeções indicam uma intensificação ou desintensificação da mesma.
- Estudos relacionados ao transporte de umidade sobre a AS utilizando somente as projeções do conjunto de modelos que melhor simulam o clima presente de acordo com cada estação do ano.

REFERÊNCIAS

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; DE MORAES, G.; LEONARDO, J.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, Austria, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.

ALVES, L. M,; MARENGO, J. A.; CASTRO, C.A.C. Início das chuvas na região Sudeste do Brasil: análise climatológica. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, 12. Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu: SBMET, 2002.

AMBRIZZI, T.; ROCHA, R. P.; MARENGO, J. A.; PISNITCHENKO, I.; ALVES, L. M. **Cenários regionalizados de clima no Brasil para o Século XXI:** Projeções de clima usando três modelos regionais. Relatório 3, Ministério do Meio Ambiente - MMA, Secretaria de Biodiversidade e Florestas –SBF, Diretoria de Conservação da Biodiversidade – DCBio Mudanças Climáticas Globais e Efeitos sobre a Biodiversidade - Sub projeto: Caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do Século XXI. Brasília, 2007.

ANDRADE, K. M. Climatologia e Comportamento dos Sistemas Frontais sobre a América do Sul. Dissertação de Mestrado em Meteorologia, INPE -14056-TDI/1067, 2007

ARRAUT, J. M.; SATYAMURTY, P. Precipitation and water vapor transport in the Southern Hemisphere with emphasis on the South American region. Journal of Applied Meteorology and Climatology, v. 48, n. 9, p. 1902-1912, 2009.

BAETTIG, M. B.; WILD, M.; IMBODEN, D. M. A climate change index: Where climate change may be most prominent in the 21st century. **Geophysical Research Letters**, v. 34, p. L01705, 2007

BASTOS, C. C.; FERREIRA, N. J. Análise climatológica da alta subtropical do Atlântico Sul. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, 11. Rio de Janeiro, **Anais...** Rio de Janeiro, SBMET, 2000.

BJERKNES, J. On the structure of moving cyclones. **Monthly Weather Review**, v. 47, n. 2, p. 95-99, 1919.

BLÁZQUEZ, J.; NUÑEZ, M. N. Analysis of uncertainties in future climate projections for South America: comparison of WCRP-CMIP3 and WCRP-CMIP5 models. **Climate dynamics**, v. 41, n. 3-4, p. 1039-1056, 2013.

BOMBARDI, R. J.; CARVALHO, L. M. V. IPCC global coupled model simulations of the South America monsoon system. **Climate Dynamics**, v. 33, n. 7-8, p. 893-916, 2009.

BONNER, W. D. Climatology of the low level jet. **Monthly Weather Review**, v. 96, n. 12, p. 833-850, 1968.

BOULANGER, J. P.; MARTINEZ, F.; SEGURA, E. C. Projection of future climate change conditions using IPCC simulations, neural networks and Bayesian statistics. Part 1: temperature mean state and seasonal cycle in South America. **Climate Dynamics**, v. 27, p. 233–259, 2006

BRUBAKER, K. L.; ENTEKHABI, D.; EAGLESON, P. S. Estimation of continental precipitation recycling. **Journal of Climate**, v. 6, n. 6, p. 1077-1089, 1993.

CALHEIROS, R. V.; SILVA DIAS, P. L. Como prever melhor. Climanálise, v. 3, n. 2, p. 31-32, 1988.

CARVALHO, L. M. V.; CAVALCANTI, I. F. A. The South American Monsoon System (SMAS). In: L. M. V. CARVALHO e C. JONES (eds.). The Monsoons and Climate Change: Observations and Modeling. **Springer Climate**, p. 121-148, 2016.

CARVALHO, L. M. V.; JONES, C.; LIEBMANN, B. Extreme precipitation events in southeastern South America and large-scale convective patterns in the South Atlantic convergence zone. **Journal of Climate**, v. 15, n. 17, p. 2377-2394, 2002.

CASARIN, D. P.; KOUSKY, V. E. Anomalias de precipitação no sul do Brasil e variações na circulação atmosférica. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 1, n. 2, p. 83-90, 1986.

CHOU, S. C.; MARENGO, J. A.; LYRA, A.; SUEIRO, G.; PESQUERO, J.; ALVES, L. M., KAY, G.; BETTS, R.; CHAGAS, D.; GOMES, J.; BUSTAMANTE, J. Downscaling of South America present climate driven by 4-member HadCM3 runs. **Climate Dynamics**, v. 38, p. 635-653, 2012.

CLIMANALISE. 2005. Disponível em: http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/boletim/1205/fig24a_d.html. Acesso em: 07 abr. 2016

COELHO, C. A.; DE OLIVEIRA, C. P.; AMBRIZZI, T.; REBOITA, M. S.; CARPENEDO, C. B.; CAMPOS, J. L. P. S. The 2014 southeast Brazil austral summer drought: regional scale mechanisms and teleconnections. **Climate Dynamics**, p. 1-16, 2015.

COSTA, M. H.; FOLEY, J. A. Trends in the hydrologic cycle of the Amazon basin. **Journal** of Geophysical Research: Atmospheres, v. 104, n. D12, p. 14189-14198, 1999.

COUTINHO, M. D. L.; LIMA, K. C.; E SILVA, S.; MOISÉS, C. Regional climate simulations of the changes in the components of the moisture budget over South America. **International Journal of Climatology**, v. 36, n. 3, p. 1170-1183, 2015.

COX, P. M.; BETTS, R. A.; COLLINS, M.; HARRIS, P. P.; HUNTINGFORD, C.; JONES, C. D. Amazonian forest dieback under climate-carbon cycle projections for the 21st century. **Theoretical and applied climatology**, v. 78, n. 1-3, p. 137-156, 2004.

DAMETTO, G., DA ROCHA, R. P. Características Climáticas dos Sistemas Frontais na Cidade de São Paulo. Relatório FAPESP, 2005.

DE CASTRO, C. N. **A agropecuária na região sudeste: Limitações e desafios futuros**. Texto para Discussão, Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA), 2014.

DIFFENBAUGH, N. S.; GIORGI, F. Climate change hotspots in the CMIP5 global climate model ensemble. **Climatic Change**, v. 114, p. 813-822, 2012

DONAT, M. G.; ALEXANDER, L. V.; YANG, H.; DURRE, I.; VOSE, R.; DUNN, R. J. H.; WILLET, K. M.; AGUILAR, E.; BRUNET, M.; CAESAR, J.; HEWITSON, B.; JACK, C.; KLEIN TANK, A. M. G.; KRUGER, A. C.; MARENGO, J. A.; PETERSON, T. C.; RENOM, M.; ORIA ROJAS, C.; RUSTICUCCI, M.; SALINGER, J.; ELRAYAH, A. S.; SEKELE, S. S.; SRIVASTAVA, A. K.; TREWIN, B.; VILLARROEL, C.; VICENT, L. A.; ZHAI, P.; ZHANG, X.; KITCHINH, S. Updated analyses of temperature and precipitation

extreme indices since the beginning of the twentieth century: The HadEX2 dataset. **Journal** of Geophysical Research: Atmospheres, v. 118, n. 5, p. 2098-2118, 2013.

DOUGLAS, M. W.; NICOLINI, M.; SAULO, C. The Low-level jet at Santa Cruz, Bolivia during January-March 1998, pilot balloon observations and model comparisons. In: **Extended abstracts of the 10th symposium on global change studies**. p. 10-15, 1999

GAN, M. A.; KOUSKY, V. E.; ROPELEWSKI, C. F. The South America Monsoon Circulation and Its Relationship to Rainfall over West-Central do Brasil. Journal of Climate, v. 17, p. 47-66, 2004.

GANDU, Adilson W.; DIAS, Silva; PEDRO, L. Impact of tropical heat sources on the South American tropospheric upper circulation and subsidence. **Journal of geophysical research**, v. 103, n. D6, p. 6001-6015, 1998.

GARCIA, S. R.; KAYANO, M. T. Determination of the onset dates of the rainy season in Central Amazon with equatorially antisymmetric outgoing longwave radiation. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 97, p. 361-372, 2009.

GARCIA, S. R.; KAYANO, M. T. Some considerations on onset dates of the rainy season in Western-Central Brazil with antisymmetric outgoing longwave radiation relative to the equator. **International Journal of Climatology**, v. 33, p. 188-198, 2013.

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia.(2016) Disponível em: < http://www.inmet.gov. br /portal/index.php?r=clima /normaisClimatologicas>. Acesso em: 04 abr. 2016.

IPCC. Summary for Policymakers. In: **Climate Change 2007**: the physical science basis. contribution of working group i to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change [SOLOMON, S.; QIN, D.; MAMMING, M.; CHEN, Z.; MARQUIS, M.; AVERYT, K. B.; TIGNOR, M.; MILLER, H. L. (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2007.

IPCC. Summary for Policymakers. In: **Climate change 2013**: the physical science basis. Contribution of working group i to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. Disponível em:

http://www.climatechange2013.org/images/report/WG1AR5_SPM_FINAL.pdf>. Acesso em 10 fev. 2016.

JOETZJER, E.; DOUVILLE, H.; DELIRE, C.; CIAIS, P. Present-day and future Amazonian precipitation in global climate models: CMIP5 versus CMIP3. **Climate dynamics**, v. 41, n. 11-12, p. 2921-2936, 2013.

JONES, C.; CARVALHO, L. M. V. Climate change in the South American monsoon system: present climate and CMIP5 projections. **Journal of Climate**, v. 26, n. 17, p. 6660-6678, 2013.

KITOH, A.; ENDO, H.; KRISHNA KUMAR, K.; CAVALCANTI, I. F.; GOSWAMI, P.; ZHOU, T. Monsoons in a changing world: a regional perspective in a global context. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, v. 118, n. 8, p. 3053-3065, 2013.

KNUTTI, R.; SEDLÁČEK, J. Robustness and uncertainties in the new CMIP5 climate model projections. **Nature Climate Change**, v. 3, n. 4, p. 369-373, 2013.

KODAMA, Y. M. Large-scale common features of subtropical convergence zones (the Baiu frontal zone, the SPCZ, and the SACZ). Part II: Conditions of the circulations for generating the STCZs. **Journal of the Meteorological Society of Japan**, v. 71, p. 581-610, 1992.

KOUSKY, V. E. Pentad outgoing longwave radiation climatology for the South American sector. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 3, n. 1, p. 217-231, 1988.

KOUSKY, V. E; ROPELEWSKI, C. F. **The Tropospheric seasonally varying mean climate over the western hemisphere**. NCEP/Climate Prediction Center ATLAS No. 3, 135p, 1979.

MAGRIN, G.O.; MARENGO J. A.; BOULANGER J. P.; BUCKERIDGE M. S.; CASTELLANOS E.; POVEDA G.; SCARANO F. R.; VICUÑA S. Central and South America. In: **Climate Change 2014**: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part B: Regional Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Barros, V.R., C.B. Field, D.J. Dokken, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea, and L.L. White (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, p. 1499-1566, 2014

MARENGO, J. A.; LIEBMANN, B.; KOUSKY, V. E.; FILIZOLA, N. P.; WAINER, I. C. Onset and end of the rainy season in the Brazilian Amazon Basin. **Journal of Climate**, v. 14, n. 5, p. 833-852, 2001.

MARENGO, J. A. Interdecadal variability and trends of rainfall across the Amazon basin. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 78, n. 1-3, p. 79-96, 2004a.

MARENGO, J. A.; SOARES, W. R.; SAULO, C.; NICOLINI, M. Climatology of the lowlevel jet east of the Andes as derived from the NCEP-NCAR reanalyses: Characteristics and temporal variability. **Journal of climate**, v. 17, n. 12, p. 2261-2280, 2004b.

MARENGO, J. A., ALVEZ, L., VALVERDE, M., ROCHA, R.; LABORBE, R. Eventos extremos em cenários regionalizados de clima no Brasil e América do Sul para o Século XXI: Projeções de clima futuro usando três modelos regionais. Relatório, v. 5, p. 495-516, 2007.

MARENGO, J. A.; JONES, R.; ALVES, L. M.; VALVERDE, M. Future change of temperature and precipitation extremes in South America as derived from the PRECIS regional climate modeling system. **International Journal of Climatology**, v. 30, p. 115, 2009.

MARENGO, J. A.; RUSTICUCCI, M.; PENALBA, O.; RENOM, M. An intercomparison of observed and simulated extreme rainfall and temperature events during the last half of the twentieth century. Part 2: historical trends. **Climatic Change**, v. 98, p. 509529, 2010a.

MARENGO, J. A.; AMBRIZZI, T.; ROCHA, R. P.; ALVES, L. M.; CUADRA, S. V.; VALVERDE, M.; FERRAZ, S. E. T.; TORRES, R. R.; SANTOS, D. C. Future change of climate in South America in the late XXI century: intercomparison of scenarios from three regional climate models. **Climate Dynamics**, v. 35, p. 1073-1097, 2010b.

MARENGO, J. A.; CHOU, S. C.; KAY, G.; ALVES, L. M.; PESQUERO, J. F.; SOARES, W. R.; SANTOS, D. C.; LYRA, A. A.; SUEIRO, G.; BETTS, R.; CHAGAS, D. J.; GOMES, J. L.; BUSTAMANTE, J. F.; TAVARES, P. Development of regional future climate change scenarios in South America using the Eta CPTEC/HadCM3 climate change projections: climatology and regional analyses for the Amazon, São Francisco and the Parana River Basins. **Climate Dynamics**, v. 38, p. 1829-1848, 2012.

MARENGO, J. A., NOBRE, C. A., SELUCHI, M. E., CUARTAS, A., ALVES, L. M., MENDIONDO, E. M.; SAMPAIO, G. A seca e a crise hídrica de 2014-2015 em São Paulo. **Revista USP**, (106), p. 31-44, 2015.

MEEHL, G. A.; STOCKER, T. F.; COLLINS, W. D.; FRIESLINGSTEIN, P.; GAYE, A. T.; GREGORY, J. M.; KITOH, A.; KNUTTI, R.; MURPHY, J. M.; NODA, A.; RAPER, S. C. B; WATTERSON, I. G.; WEAVER, A. J.; ZHAO, Z-C. Global Climate Projections. In: **Climate change 2007:** The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [SOLOMON, S.; QIN, D.; MAMMING, M.; CHEN, Z.; MARQUIS, M.; AVERYT, K. B.; TIGNOR, M.; MILLER, H. L. (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2007a

MEEHL, G. A., COVEY, C., TAYLOR, K. E., DELWORTH, T., STOUFFER, R. J., LATIF, M.; MITCHELL, J. F. The WCRP CMIP3 multimodel dataset: A new era in climate change research. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 88, n. 9, 1383-1394, 2007b

MINUZZI, R. B.; SEDIYAMA, G. C.; BARBOSA, E. M.; MELO JÚNIOR, J. C. F. Climatologia do comportamento do período chuvoso da região sudeste do Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 22, n. 3, p. 338-344, 2007.

MINVIELLE, M.; GARREAUD, R. D. Projecting rainfall changes over South American altiplano. Journal of Climate, v. 24, p. 4577–4583, 2011

MORAIS, M. A.; CASTRO, W. A. C.; TUNDISI, J. G. Climatologia de frentes frias sobre a Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), e sua influência na limnologia dos reservatórios de abastecimento de água. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 25, n. 2, p. 205-217, 2010.

MORAN, J. M. and M. D. MORGAN. Meteorology - The Atmosphere and the Science of Weather. Macmillan Publish. Co., 4th ed., 520 pp, 1994.

MOSS, R. H.; EDMONDS, J. A.; HIBBARD, K. A.; MANNING, M. R.; ROSE, S. K.; VAN VUUREN, D. P.; CARTER, T. R.; EMORI, S.; KAINUMA, M.; KRAM, T.; MEEHL, G. A.; MITCHELL, J. F. B.; NAKICENOVIC, N.; RIAHI, K.; SMITH, S. J.; STOUFFER, R. J.; THOMSON, A. M.; WEYANT, J. P.; WILLBANKS, T. J. The next generation of scenarios for climate change research and assessment. **Nature**, v. 463, p. 747-756, 2010.

NAKICENOVIC, N.; ALCAMO, J.; DAVIS, G.; DE VRIES, B.; FENHANN, J.; GAFFIN, S.; GREGORY, K.; GRUBLER, A.; JUNG, T. Y.; KRAM, T.; LA ROVERE, E. L.; MICHAELIS, L.; MORI, S.; MORITA, T.; PEPPER, W.; PITCHER, H.; PRICE, L.; RIAHI, K.; ROEHRL, A.; ROGNER, H. H.; SANKOVSKI, A.; SCHLESINGER, M.; SHUKLA, P.; SMITH, S.; SWART, R.; VAN ROOIJEN, S.; VICTOR, N.; DADI, Z. Special report on emissions scenarios, Cambridge University Press, UK, 2000

NETO, J. L. S. A. Decálogo da climatologia do Sudeste Brasileiro. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 1, n. 1, 2005.

NIJSSEN, B.; O'DONNELL, G. M.; HAMLET, A. F.; LETTENMAIER, D. P. Hydrologic sensitivity of global rivers to climate change. **Climatic change**, v. 50, n. 1-2, p. 143-175, 2001.

NIMER, E. Climatologia do Brasil. Rio de Janeiro, IBGE, 1979.

NUÑEZ, M. N.; SOLMAN, S. A.; CABRÉ, M. F. Regional climate change experiments over southern South America. II: Climate change scenarios in the late twenty-first century. **Climate Dynamics**, v. 32, p. 1081-1095, 2008.

PAMPUCH, L. A.; DRUMOND; A., GIMENO, L.; AMBRIZZI, T. Anomalous patterns of SST and moisture sources in the South Atlantic Ocean associated with dry events in southeastern Brazil. **International Journal of Climatology**, v. 36, n. 15, p. 4913-4928, 2016.

PETTERSEN, S. Weather analysis and forecasting. New York, McGraw-Hill, v.1, p 498, 1956.

QUADRO, M. F. L.; ABREU, M. L. Estudos de episódios de Zonas de Convergência do Atlântico Sul sobre a América do Sul. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 8., 1994, Belo Horizonte, **Anais...** CBMET, p. 620-623, 1994.

Quadro, M. F. L. D., Dias, M. A. F. D. S., Herdies, D. L., & Gonçalves, L. G. G. D. (2012). Análise climatológica da precipitação e do transporte de umidade na região da ZCAS através da nova geração de reanálises. **Revista Brasileira de Meteorologia**, 27(2), 152-162.

RAIA, A.; CAVALCANTI, I. F. A. The life cycle of the South American monsoon system. **Journal of Climate**, v. 21, n. 23, p. 6227-6246, 2008.

RAMAGE, C. S. Monsoon Meteorology. Academic Press, New York and Lodon, 296 pp., 1971.

RAO, V. B.; CAVALCANTI, I. F. A.; HADA, K. Annual variation of rainfall over Brazil and water vapor characteristics over South America. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, v. 101, n. D21, p. 26539-26551, 1996.

REBOITA, M. S.; GAN, M. A.; DA ROCHA, R. P.; AMBRIZZI, T. Regimes de precipitação na América do Sul: uma revisão bibliográfica. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 25, n. 2, 2010.

REBOITA, M. S.; KRUSCHE, N.; AMBRIZZI, T.; ROCHA, R. P. da. Entendendo o tempo e o Clima na América do Sul. **Terrae Didática**, Campinas –SP, v. 8, n. 1, p. 34-50, 2012.

RUSTICUCCI, M.; MARENGO, J. A.; PENALBA, O.; RENOM, M. An intercomparison of observed and simulated extreme rainfall and temperature events during the last half of the twentieth century: Part 1: mean values and variability. **Climatic Change**, v. 98, p. 493-508, 2010.

SAULO, C; RUIZ, J.; SKABAR, Y. G. Synergism between the Low-Level Jet and Organized Convection at Its Exit Region. **Monthly Weather Review**, v. 135, p.1310-1326, 2007.

SETH, A.; ROJAS, M.; RAUSCHER, S. A. CMIP3 projected changes in the annual cycle of the South American Monsoon. **Climatic Change**, v. 98, p. 331-357, 2010.

SHUKLA, J.; NOBRE, C.; SELLERS, P. Amazon deforestation and climate change. Science, Washington, v. 247, n. 4948, p. 1322-1325, 1990.

SILLMANN, J.; KHARIN, V. V.; ZHANG, X.; ZWIERS, F. W.; BRONAUGH, D. Climate extremes indices in the CMIP5 multimodel ensemble: Part 1. Model evaluation in the present climate. **Journal of Geophysical Research**, v. 118, p. 1-18, 2013a.

SILLMANN, J.; KHARIN, V. V.; ZWIERS, F. W.; ZHANG, X.; BRONAUGH, D. Climate extremes indices in the CMIP5 multimodel ensemble: Part 2. Future climate projections. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, v. 118, n. 6, p. 2473-2493, 2013b.

SILVA DIAS, P.L.; SCHUBERT, W. H.; DEMARIA, M. Large-scale response of the tropical atmosphere to transient convection. **Journal of the Atmospheric Sciences**, v. 40, n. 11, p. 2689-2707, 1983.

SILVA, L. J., REBOITA, M. S. **Precipitação Associada com a Passagem de Frentes Frias no Inverno na Região Sul de Minas Gerais**. In: VI Seminário de Meio Ambiente e Energias Renováveis, Itajubá, 2011.

SOARES, W. R.; MARENGO, J. Assessments of moisture fluxes east of the Andes in South America in a global warming scenario. **International Journal of Climatology**, v. 29, n. 10, p. 1395-1414, 2009.

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

TORRES, R. R. Análise de Incertezas em projeções de mudanças climáticas na América do Sul. 2014. 270 f. Tese (Doutorado em Meteorologia) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2014.

TORRES, R. R.; LAPOLA, D. M.; MARENGO, J. A.; LOMBARDO, M. A. Socioclimatic hotspots in Brazil. **Climatic Change**, v. 115, p. 597-609, 2012

TORRES, R. R.; MARENGO, J. A. Uncertainty assessments of climate change projections over South America. **Theoretical and applied climatology**, v. 112, n. 1-2, p. 253-272, 2013.

TORRES, R. R.; MARENGO, J. A. Climate change hotspots over South America: from CMIP3 to CMIP5 multi-model datasets. **Theoretical and applied climatology**, v. 117, n. 3-4, p. 579-587, 2014.

UCCELLINI, Louis W.; JOHNSON, Donald R. The coupling of upper and lower tropospheric jet streaks and implications for the development of severe convective storms. **Monthly Weather Review**, v. 107, n. 6, p. 682-703, 1979.

VAN VUUREN, D. P.; EDMONDS, J.; KAINUMA, M.; RIAHI, K.; THOMSON, A.; HIBBARD, K.; HURTT, G. C.; KRAM, T.; KREY, V.; LAMARQUE, J. F.; MASUI, T.; MEINSHAUSEN, M.; NAKICENOVIC, N.; SMITH, S. J.; ROSE, S. K. The representative concentration pathways: an overview. **Climatic Change**, v. 109, p. 5 - 31, 2011.

VERA, C.; SILVESTRI, G.; LIEBMANN, B.; GONZÁLEZ, P. Climate change scenarios for seasonal precipitation in South America from IPCC-AR4 models. **Geophysical Research Letters**, v. 33, L13707, 2006.

VERA, C.; SILVESTRI, G. Precipitation interannual variability in South America from the WCRP-CMIP3 multi-model dataset. **Climate Dynamics**, v. 32, p. 1003-1014, 2009.

ZHOU, J; LAU, K. M. Does a monsoon climate exist over South America?. Journal of Climate, v. 11, n. 5, p. 1020-1040, 1998.

APÊNDICES

APÊNDICE A



Figura A-1 - Mudança do transporte de umidade para os meses de DJF da média dos 21 MCGs do CMIP5 para o período entre 2041 até 2070, relativo a 1971-2000. As áreas sombreadas indicam a convergência (sombreado azul) e divergência de umidade (sombreado laranja). Para os seguintes cenários: RCP 2.6 (a), RCP 4.5 (b), RCP 6.0 (c) e RCP 8.5 (d). A unidade da convergência/divergência de umidade está em 10⁻⁵ kg.(m².s)⁻¹. A escala dos vetores de transporte de umidade está em 50 kg.(m.s⁻¹).



Figura A-2 – Como a figura A-1, mas para MAM.



Figura A-3 - Como a figura A-1, mas para JJA




Figura A-4 - Como a figura A-1, mas para SON



Figura B-1 - Projeções do transporte de umidade sobre o SEB. As setas indicam o fluxo de umidade integrado verticalmente ao longo dos limites laterais do SEB para os meses de DJF. (a) Representa a média para o clima presente (1971-200). (b)(c)(d)(e) Representam as médias para o futuro distante (2041-2070) para os cenário RCP 2.6, RCP 4.5, RCP 6.0 e RCP 8.5 respectivamente. A caixa retangular acima das figuras mostra o saldo do fluxo de umidade sobre a região. A unidade está em 10^3 $kg.(m.s)^{-1}$.

301

75W

70W 65W 6ÓW 55W 5ów 45W

80

40W 35W 30%

40W 35W

800 75 zό 65W 60w 55W 50W 45W

APÊNDICE B



Figura B-2 – Igual a figura B-1, mas para MAM.



Figura B-3 - Igual a figura B-1, mas para JJA.



Figura B-4 - Igual a figura B-1, mas para SON.

APÊNDICE C

Tabela C-1 - Separação por tercis dos 21 MCGs utilizados de acordo com a diferença (valor entre parênteses) entre o fluxo de umidade sazonal projetado para o cenário RCP 2.6 e a simulação dos modelos para o clima presente. As projeções são para o futuro próximo (2041-2070) e futuro distante (2071-2100). Os valores positivos (negativos) indicam um(a) aumento (diminuição) no fluxo de umidade. A unidade está em kg.(m.s)⁻¹.

	DJ	F	MA	AM
	Próximo	Distante	Próximo	Distante
_	MRI-CGCM3 (135)	MRI-CGCM3 (188)	BCC-CSM1-1 (319)	BCC-CSM1-1 (280)
cil	BCC-CSM1-1 (104)	BCC-CSM1-1 (165)	IPSL-CM5A-LR (182)	IPSL-CM5A-LR (253)
Tei	HadGEM2-CC -	HadGEM2-CC -	HadGEM2-ES (184)	HadGEM2-ES (272)
iro	MIROC5 (286)	MIROC5 (249)	FGOALS-g2 (157)	FGOALS-g2 (146)
ime	FIO-ESM (40)	FIO-ESM (109)	ACCESS1.0 -	ACCESS1.0 -
\mathbf{Pr}	ACCESS1.0 -	ACCESS1.0 -	HadGEM2-CC -	HadGEM2-CC -
	HadGEM2-ES (348)	HadGEM2-ES (316)	CSIRO-Mk3-6-0 (242)	CSIRO-Mk3-6-0 (187)
	MIROC-ESM-CHEM (-64)	MIROC-ESM-CHEM (32)	IPSL-CM5A-MR (34)	IPSL-CM5A-MR(1)
ndo Tercil	MIROC-ESM (-20)	MIROC-ESM (-56)	MIROC5 (-30)	MIROC5 (-72)
	EC-EARTH (27)	EC-EARTH (5)	Giss-E2-R (-11)	Giss-E2-R (-86)
	CCSM4 (54)	CCSM4 (82)	MRI-CGCM3 (-14)	MRI-CGCM3 (-5)
gur	IPSL-CM5A-LR (59)	IPSL-CM5A-LR (95)	CCSM4 (35)	CCSM4 (33)
Se	NorESM1-M (0)	NorESM1-M (-11)	NorESM1-M (-5)	NorESM1-M (-52)
	CanESM2 (-189)	CanESM2 (-143)	MIROC-ESM-CHEM (-18)	MIROC-ESM-CHEM (-35)
	CSIRO-Mk3-6-0 (445)	CSIRO-Mk3-6-0 (379)	MIROC-ESM (-18)	MIROC-ESM (-53)
cil	MPI-ESM-LR (-91)	MPI-ESM-LR (-75)	CNRM-CM5 (-169)	CNRM-CM5 (-155)
Teı	CNRM-CM5 (-163)	CNRM-CM5 (-146)	CanESM2 (-72)	CanESM2 (-72)
iro	IPSL-CM5A-MR (-51)	IPSL-CM5A-MR (-3)	FIO-ESM (-190)	FIO-ESM (-167)
srce	FGOALS-g2 (-244)	FGOALS-g2 (-256)	INMCM4 -	INMCM4 -
Τe	Giss-E2-R (-500)	Giss-E2-R (-483)	EC-EARTH (-230)	EC-EARTH (-180)
	INMCM4 -	INMCM4 -	MPI-ESM-LR (-425)	MPI-ESM-LR (-424)
	JJA		SON	
	JJ.	A	SC	<u>DN</u>
	JJ. Próximo	A Distante	SC Próximo	DN Distante
	JJ. Próximo FGOALS-g2 (128)	A Distante FGOALS-g2 (125)	Próximo HadGEM2-ES (356)	DN Distante HadGEM2-ES (305)
srcil	JJ. Próximo FGOALS-g2 (128) CCSM4 (149)	A Distante FGOALS-g2 (125) CCSM4 (145)	SC Próximo HadGEM2-ES (356) CSIRO-Mk3-6-0 (247)	DN Distante HadGEM2-ES (305) CSIRO-Mk3-6-0 (268)
Tercil	JJ. Próximo FGOALS-g2 (128) CCSM4 (149) CSIRO-Mk3-6-0 (190)	A Distante FGOALS-g2 (125) CCSM4 (145) CSIRO-Mk3-6-0 (217)	SC Próximo HadGEM2-ES (356) CSIRO-Mk3-6-0 (247) ACCESS1.0 -	DN Distante HadGEM2-ES (305) CSIRO-Mk3-6-0 (268) ACCESS1.0 -
eiro Tercil	JJ. Próximo FGOALS-g2 (128) CCSM4 (149) CSIRO-Mk3-6-0 (190) IPSL-CM5A-MR (112)	A Distante FGOALS-g2 (125) CCSM4 (145) CSIRO-Mk3-6-0 (217) IPSL-CM5A-MR (103)	SC Próximo HadGEM2-ES (356) CSIRO-Mk3-6-0 (247) ACCESS1.0 - HadGEM2-CC -	DN Distante HadGEM2-ES (305) CSIRO-Mk3-6-0 (268) ACCESS1.0 - HadGEM2-CC -
rimeiro Tercil	JJ. Próximo FGOALS-g2 (128) CCSM4 (149) CSIRO-Mk3-6-0 (190) IPSL-CM5A-MR (112) HadGEM2-ES (229)	A Distante FGOALS-g2 (125) CCSM4 (145) CSIRO-Mk3-6-0 (217) IPSL-CM5A-MR (103) HadGEM2-ES (230)	SC Próximo HadGEM2-ES (356) CSIRO-Mk3-6-0 (247) ACCESS1.0 - HadGEM2-CC - CanESM2 (139)	DN Distante HadGEM2-ES (305) CSIRO-Mk3-6-0 (268) ACCESS1.0 - HadGEM2-CC - CanESM2 (109)
Primeiro Tercil	JJ. Próximo FGOALS-g2 (128) CCSM4 (149) CSIRO-Mk3-6-0 (190) IPSL-CM5A-MR (112) HadGEM2-ES (229) BCC-CSM1-1 (148)	A Distante FGOALS-g2 (125) CCSM4 (145) CSIRO-Mk3-6-0 (217) IPSL-CM5A-MR (103) HadGEM2-ES (230) BCC-CSM1-1 (182)	SC Próximo HadGEM2-ES (356) CSIRO-Mk3-6-0 (247) ACCESS1.0 - HadGEM2-CC - CanESM2 (139) MIROC-ESM (172)	DN Distante HadGEM2-ES (305) CSIRO-Mk3-6-0 (268) ACCESS1.0 - HadGEM2-CC - CanESM2 (109) MIROC-ESM (156)
Primeiro Tercil	JJ. Próximo FGOALS-g2 (128) CCSM4 (149) CSIRO-Mk3-6-0 (190) IPSL-CM5A-MR (112) HadGEM2-ES (229) BCC-CSM1-1 (148) INMCM4 -	A Distante FGOALS-g2 (125) CCSM4 (145) CSIRO-Mk3-6-0 (217) IPSL-CM5A-MR (103) HadGEM2-ES (230) BCC-CSM1-1 (182) INMCM4 -	SC Próximo HadGEM2-ES (356) CSIRO-Mk3-6-0 (247) ACCESS1.0 - HadGEM2-CC - CanESM2 (139) MIROC-ESM (172) MIROC5 (98)	DN Distante HadGEM2-ES (305) CSIRO-Mk3-6-0 (268) ACCESS1.0 - HadGEM2-CC - CanESM2 (109) MIROC-ESM (156) MIROC5 (120)
1 Primeiro Tercil	JJ. Próximo FGOALS-g2 (128) CCSM4 (149) CSIRO-Mk3-6-0 (190) IPSL-CM5A-MR (112) HadGEM2-ES (229) BCC-CSM1-1 (148) INMCM4 - ACCESS1.0 -	A Distante FGOALS-g2 (125) CCSM4 (145) CSIRO-Mk3-6-0 (217) IPSL-CM5A-MR (103) HadGEM2-ES (230) BCC-CSM1-1 (182) INMCM4 - ACCESS1.0 -	SC Próximo HadGEM2-ES (356) CSIRO-Mk3-6-0 (247) ACCESS1.0 - HadGEM2-CC - CanESM2 (139) MIROC-ESM (172) MIROC5 (98) MRI-CGCM3 (110)	DN Distante HadGEM2-ES (305) CSIRO-Mk3-6-0 (268) ACCESS1.0 - HadGEM2-CC - CanESM2 (109) MIROC-ESM (156) MIROC5 (120) MRI-CGCM3 (143)
ercil Primeiro Tercil	JJ. Próximo FGOALS-g2 (128) CCSM4 (149) CSIRO-Mk3-6-0 (190) IPSL-CM5A-MR (112) HadGEM2-ES (229) BCC-CSM1-1 (148) INMCM4 - ACCESS1.0 - HadGEM2-CC -	A Distante FGOALS-g2 (125) CCSM4 (145) CSIRO-Mk3-6-0 (217) IPSL-CM5A-MR (103) HadGEM2-ES (230) BCC-CSM1-1 (182) INMCM4 - ACCESS1.0 - HadGEM2-CC -	SC Próximo HadGEM2-ES (356) CSIRO-Mk3-6-0 (247) ACCESS1.0 - HadGEM2-CC - CanESM2 (139) MIROC-ESM (172) MIROC5 (98) MIROC-ESM-CHEM (170)	DN Distante HadGEM2-ES (305) CSIRO-Mk3-6-0 (268) ACCESS1.0 - HadGEM2-CC - CanESM2 (109) MIROC-ESM (156) MIROC5 (120) MRI-CGCM3 (143) MIROC-ESM-CHEM (156)
Tercil Primeiro Tercil	JJ. Próximo FGOALS-g2 (128) CCSM4 (149) CSIRO-Mk3-6-0 (190) IPSL-CM5A-MR (112) HadGEM2-ES (229) BCC-CSM1-1 (148) INMCM4 - ACCESS1.0 - HadGEM2-CC - IPSL-CM5A-LR (216)	A Distante FGOALS-g2 (125) CCSM4 (145) CSIRO-Mk3-6-0 (217) IPSL-CM5A-MR (103) HadGEM2-ES (230) BCC-CSM1-1 (182) INMCM4 - ACCESS1.0 - HadGEM2-CC - IPSL-CM5A-LR (215)	SC Próximo HadGEM2-ES (356) CSIRO-Mk3-6-0 (247) ACCESS1.0 - HadGEM2-CC - CanESM2 (139) MIROC-ESM (172) MIROC5 (98) MRI-CGCM3 (110) MIROC-ESM-CHEM (170) BCC-CSM1-1 (76)	DN Distante HadGEM2-ES (305) CSIRO-Mk3-6-0 (268) ACCESS1.0 - HadGEM2-CC - CanESM2 (109) MIROC-ESM (156) MIROC5 (120) MRI-CGCM3 (143) MIROC-ESM-CHEM (156) BCC-CSM1-1 (86)
ndo Tercil Primeiro Tercil	JJ. Próximo FGOALS-g2 (128) CCSM4 (149) CSIRO-Mk3-6-0 (190) IPSL-CM5A-MR (112) HadGEM2-ES (229) BCC-CSM1-1 (148) INMCM4 - ACCESS1.0 - HadGEM2-CC - IPSL-CM5A-LR (216) CanESM2 (124)	A Distante FGOALS-g2 (125) CCSM4 (145) CSIRO-Mk3-6-0 (217) IPSL-CM5A-MR (103) HadGEM2-ES (230) BCC-CSM1-1 (182) INMCM4 - ACCESS1.0 - HadGEM2-CC - IPSL-CM5A-LR (215) CanESM2 (108)	SC Próximo HadGEM2-ES (356) CSIRO-Mk3-6-0 (247) ACCESS1.0 - HadGEM2-CC - CanESM2 (139) MIROC-ESM (172) MIROC5 (98) MRI-CGCM3 (110) MIROC-ESM-CHEM (170) BCC-CSM1-1 (76) CCSM4 (25)	DN Distante HadGEM2-ES (305) CSIRO-Mk3-6-0 (268) ACCESS1.0 - HadGEM2-CC - CanESM2 (109) MIROC-ESM (156) MIROC5 (120) MRI-CGCM3 (143) MIROC-ESM-CHEM (156) BCC-CSM1-1 (86) CCSM4 (17)
sgundo Tercil Primeiro Tercil	JJ. Próximo FGOALS-g2 (128) CCSM4 (149) CSIRO-Mk3-6-0 (190) IPSL-CM5A-MR (112) HadGEM2-ES (229) BCC-CSM1-1 (148) INMCM4 - ACCESS1.0 - HadGEM2-CC - IPSL-CM5A-LR (216) CanESM2 (124) NorESM1-M (-13)	A Distante FGOALS-g2 (125) CCSM4 (145) CSIRO-Mk3-6-0 (217) IPSL-CM5A-MR (103) HadGEM2-ES (230) BCC-CSM1-1 (182) INMCM4 - ACCESS1.0 - HadGEM2-CC - IPSL-CM5A-LR (215) CanESM2 (108) NorESM1-M (-50)	SC Próximo HadGEM2-ES (356) CSIRO-Mk3-6-0 (247) ACCESS1.0 - HadGEM2-CC - CanESM2 (139) MIROC-ESM (172) MIROC5 (98) MRI-CGCM3 (110) MIROC-ESM-CHEM (170) BCC-CSM1-1 (76) CCSM4 (25) IPSL-CM5A-LR (62)	DN Distante HadGEM2-ES (305) CSIRO-Mk3-6-0 (268) ACCESS1.0 - HadGEM2-CC - CanESM2 (109) MIROC-ESM (156) MIROC5 (120) MRI-CGCM3 (143) MIROC-ESM-CHEM (156) BCC-CSM1-1 (86) CCSM4 (17) IPSL-CM5A-LR (52)
Segundo Tercil Primeiro Tercil	JJ. Próximo FGOALS-g2 (128) CCSM4 (149) CSIRO-Mk3-6-0 (190) IPSL-CM5A-MR (112) HadGEM2-ES (229) BCC-CSM1-1 (148) INMCM4 - ACCESS1.0 - HadGEM2-CC - IPSL-CM5A-LR (216) CanESM2 (124) NorESM1-M (-13) Giss-E2-R (-49)	A Distante FGOALS-g2 (125) CCSM4 (145) CSIRO-Mk3-6-0 (217) IPSL-CM5A-MR (103) HadGEM2-ES (230) BCC-CSM1-1 (182) INMCM4 - ACCESS1.0 - HadGEM2-CC - IPSL-CM5A-LR (215) CanESM2 (108) NorESM1-M (-50) Giss-E2-R (-50)	SC Próximo HadGEM2-ES (356) CSIRO-Mk3-6-0 (247) ACCESS1.0 - HadGEM2-CC - CanESM2 (139) MIROC-ESM (172) MIROC5 (98) MRI-CGCM3 (110) MIROC-ESM-CHEM (170) BCC-CSM1-1 (76) CCSM4 (25) IPSL-CM5A-LR (62) FIO-ESM (-6)	DN Distante HadGEM2-ES (305) CSIRO-Mk3-6-0 (268) ACCESS1.0 - HadGEM2-CC - CanESM2 (109) MIROC-ESM (156) MIROC5 (120) MRI-CGCM3 (143) MIROC-ESM-CHEM (156) BCC-CSM1-1 (86) CCSM4 (17) IPSL-CM5A-LR (52) FIO-ESM (60)
Segundo Tercil Primeiro Tercil	JJ. Próximo FGOALS-g2 (128) CCSM4 (149) CSIRO-Mk3-6-0 (190) IPSL-CM5A-MR (112) HadGEM2-ES (229) BCC-CSM1-1 (148) INMCM4 - ACCESS1.0 - HadGEM2-CC - IPSL-CM5A-LR (216) CanESM2 (124) NorESM1-M (-13) Giss-E2-R (-49) MIROC-ESM (-44)	A Distante FGOALS-g2 (125) CCSM4 (145) CSIRO-Mk3-6-0 (217) IPSL-CM5A-MR (103) HadGEM2-ES (230) BCC-CSM1-1 (182) INMCM4 - ACCESS1.0 - HadGEM2-CC - IPSL-CM5A-LR (215) CanESM2 (108) NorESM1-M (-50) Giss-E2-R (-50) MIROC-ESM (17)	SC Próximo HadGEM2-ES (356) CSIRO-Mk3-6-0 (247) ACCESS1.0 - HadGEM2-CC - CanESM2 (139) MIROC-ESM (172) MIROC5 (98) MRI-CGCM3 (110) MIROC-ESM-CHEM (170) BCC-CSM1-1 (76) CCSM4 (25) IPSL-CM5A-LR (62) FIO-ESM (-6) CNRM-CM5 (-18)	DN Distante HadGEM2-ES (305) CSIRO-Mk3-6-0 (268) ACCESS1.0 - HadGEM2-CC - CanESM2 (109) MIROC-ESM (156) MIROC5 (120) MRI-CGCM3 (143) MIROC-ESM-CHEM (156) BCC-CSM1-1 (86) CCSM4 (17) IPSL-CM5A-LR (52) FIO-ESM (60) CNRM-CM5 (64)
Segundo Tercil Primeiro Tercil	JJ. Próximo FGOALS-g2 (128) CCSM4 (149) CSIRO-Mk3-6-0 (190) IPSL-CM5A-MR (112) HadGEM2-ES (229) BCC-CSM1-1 (148) INMCM4 - ACCESS1.0 - HadGEM2-CC - IPSL-CM5A-LR (216) CanESM2 (124) NorESM1-M (-13) Giss-E2-R (-49) MIROC-ESM (-44)	A Distante FGOALS-g2 (125) CCSM4 (145) CSIRO-Mk3-6-0 (217) IPSL-CM5A-MR (103) HadGEM2-ES (230) BCC-CSM1-1 (182) INMCM4 - ACCESS1.0 - HadGEM2-CC - IPSL-CM5A-LR (215) CanESM2 (108) NorESM1-M (-50) Giss-E2-R (-50) MIROC-ESM (17) MIROC-ESM-CHEM (-8)	SC Próximo HadGEM2-ES (356) CSIRO-Mk3-6-0 (247) ACCESS1.0 - HadGEM2-CC - CanESM2 (139) MIROC-ESM (172) MIROC5 (98) MRI-CGCM3 (110) MIROC-ESM-CHEM (170) BCC-CSM1-1 (76) CCSM4 (25) IPSL-CM5A-LR (62) FIO-ESM (-6) CNRM-CM5 (-18) NorESM1-M (-1)	DN Distante HadGEM2-ES (305) CSIRO-Mk3-6-0 (268) ACCESS1.0 - HadGEM2-CC - CanESM2 (109) MIROC-ESM (156) MIROC5 (120) MRI-CGCM3 (143) MIROC-ESM-CHEM (156) BCC-CSM1-1 (86) CCSM4 (17) IPSL-CM5A-LR (52) FIO-ESM (60) CNRM-CM5 (64) NorESM1-M (15)
rcil Segundo Tercil Primeiro Tercil	JJ. Próximo FGOALS-g2 (128) CCSM4 (149) CSIRO-Mk3-6-0 (190) IPSL-CM5A-MR (112) HadGEM2-ES (229) BCC-CSM1-1 (148) INMCM4 - ACCESS1.0 - HadGEM2-CC - IPSL-CM5A-LR (216) CanESM2 (124) NorESM1-M (-13) Giss-E2-R (-49) MIROC-ESM (-44) MIROC-ESM (-44)	A Distante FGOALS-g2 (125) CCSM4 (145) CSIRO-Mk3-6-0 (217) IPSL-CM5A-MR (103) HadGEM2-ES (230) BCC-CSM1-1 (182) INMCM4 - ACCESS1.0 - HadGEM2-CC - IPSL-CM5A-LR (215) CanESM2 (108) NorESM1-M (-50) Giss-E2-R (-50) MIROC-ESM (17) MIROC-ESM-CHEM (-8) MRI-CGCM3 (-40)	SC Próximo HadGEM2-ES (356) CSIRO-Mk3-6-0 (247) ACCESS1.0 - HadGEM2-CC - CanESM2 (139) MIROC-ESM (172) MIROC5 (98) MRI-CGCM3 (110) MIROC-ESM-CHEM (170) BCC-CSM1-1 (76) CCSM4 (25) IPSL-CM5A-LR (62) FIO-ESM (-6) CNRM-CM5 (-18) NorESM1-M (-1) EC-EARTH (-62)	Distante HadGEM2-ES (305) CSIRO-Mk3-6-0 (268) ACCESS1.0 - HadGEM2-CC - CanESM2 (109) MIROC-ESM (156) MIROC5 (120) MRI-CGCM3 (143) MIROC-ESM-CHEM (156) BCC-CSM1-1 (86) CCSM4 (17) IPSL-CM5A-LR (52) FIO-ESM (60) CNRM-CM5 (64) NorESM1-M (15) EC-EARTH (-24)
Tercil Segundo Tercil Primeiro Tercil	JJ. Próximo FGOALS-g2 (128) CCSM4 (149) CSIRO-Mk3-6-0 (190) IPSL-CM5A-MR (112) HadGEM2-ES (229) BCC-CSM1-1 (148) INMCM4 - ACCESS1.0 - HadGEM2-CC - IPSL-CM5A-LR (216) CanESM2 (124) NorESM1-M (-13) Giss-E2-R (-49) MIROC-ESM (-44) MIROC-ESM (-44) MIROC-ESM (-73) CNRM-CM5 (-97)	A Distante FGOALS-g2 (125) CCSM4 (145) CSIRO-Mk3-6-0 (217) IPSL-CM5A-MR (103) HadGEM2-ES (230) BCC-CSM1-1 (182) INMCM4 - ACCESS1.0 - HadGEM2-CC - IPSL-CM5A-LR (215) CanESM2 (108) NorESM1-M (-50) Giss-E2-R (-50) MIROC-ESM (17) MIROC-ESM-CHEM (-8) MRI-CGCM3 (-40) CNRM-CM5 (-99)	SC Próximo HadGEM2-ES (356) CSIRO-Mk3-6-0 (247) ACCESS1.0 - HadGEM2-CC - CanESM2 (139) MIROC-ESM (172) MIROC5 (98) MRI-CGCM3 (110) MIROC-ESM-CHEM (170) BCC-CSM1-1 (76) CCSM4 (25) IPSL-CM5A-LR (62) FIO-ESM (-6) CNRM-CM5 (-18) NorESM1-M (-1) EC-EARTH (-62) FGOALS-g2 (-46)	Distante HadGEM2-ES (305) CSIRO-Mk3-6-0 (268) ACCESS1.0 - HadGEM2-CC - CanESM2 (109) MIROC-ESM (156) MIROC5 (120) MRI-CGCM3 (143) MIROC-ESM-CHEM (156) BCC-CSM1-1 (86) CCSM4 (17) IPSL-CM5A-LR (52) FIO-ESM (60) CNRM-CM5 (64) NorESM1-M (15) EC-EARTH (-24) FGOALS-g2 (-79)
eiro Tercil Segundo Tercil Primeiro Tercil	JJ. Próximo FGOALS-g2 (128) CCSM4 (149) CSIRO-Mk3-6-0 (190) IPSL-CM5A-MR (112) HadGEM2-ES (229) BCC-CSM1-1 (148) INMCM4 - ACCESS1.0 - HadGEM2-CC - IPSL-CM5A-LR (216) CanESM2 (124) NorESM1-M (-13) Giss-E2-R (-49) MIROC-ESM (-44) MIROC-ESM-CHEM (15) MRI-CGCM3 (-73) CNRM-CM5 (-97) MIROC5 (-92)	A Distante FGOALS-g2 (125) CCSM4 (145) CSIRO-Mk3-6-0 (217) IPSL-CM5A-MR (103) HadGEM2-ES (230) BCC-CSM1-1 (182) INMCM4 - ACCESS1.0 - HadGEM2-CC - IPSL-CM5A-LR (215) CanESM2 (108) NorESM1-M (-50) Giss-E2-R (-50) MIROC-ESM (17) MIROC-ESM-CHEM (-8) MRI-CGCM3 (-40) CNRM-CM5 (-99) MIROC5 (-118)	SC Próximo HadGEM2-ES (356) CSIRO-Mk3-6-0 (247) ACCESS1.0 - HadGEM2-CC - CanESM2 (139) MIROC-ESM (172) MIROC5 (98) MRI-CGCM3 (110) MIROC-ESM-CHEM (170) BCC-CSM1-1 (76) CCSM4 (25) IPSL-CM5A-LR (62) FIO-ESM (-6) CNRM-CM5 (-18) NorESM1-M (-1) EC-EARTH (-62) FGOALS-g2 (-46) IPSL-CM5A-MR (-55)	Distante HadGEM2-ES (305) CSIRO-Mk3-6-0 (268) ACCESS1.0 - HadGEM2-CC - CanESM2 (109) MIROC-ESM (156) MIROC5 (120) MRI-CGCM3 (143) MIROC-ESM-CHEM (156) BCC-CSM1-1 (86) CCSM4 (17) IPSL-CM5A-LR (52) FIO-ESM (60) CNRM-CM5 (64) NorESM1-M (15) EC-EARTH (-24) FGOALS-g2 (-79) IPSL-CM5A-MR (-48)
erceiro Tercil Segundo Tercil Primeiro Tercil	JJ. Próximo FGOALS-g2 (128) CCSM4 (149) CSIRO-Mk3-6-0 (190) IPSL-CM5A-MR (112) HadGEM2-ES (229) BCC-CSM1-1 (148) INMCM4 - ACCESS1.0 - HadGEM2-CC - IPSL-CM5A-LR (216) CanESM2 (124) NorESM1-M (-13) Giss-E2-R (-49) MIROC-ESM (-44) MIROC-ESM-CHEM (15) MRI-CGCM3 (-73) CNRM-CM5 (-97) MIROC5 (-92) EC-EARTH (-100)	A Distante FGOALS-g2 (125) CCSM4 (145) CSIRO-Mk3-6-0 (217) IPSL-CM5A-MR (103) HadGEM2-ES (230) BCC-CSM1-1 (182) INMCM4 - ACCESS1.0 - HadGEM2-CC - IPSL-CM5A-LR (215) CanESM2 (108) NorESM1-M (-50) Giss-E2-R (-50) MIROC-ESM (17) MIROC-ESM-CHEM (-8) MRI-CGCM3 (-40) CNRM-CM5 (-99) MIROC5 (-118) EC-EARTH (-92)	SC Próximo HadGEM2-ES (356) CSIRO-Mk3-6-0 (247) ACCESS1.0 - HadGEM2-CC - CanESM2 (139) MIROC-ESM (172) MIROC5 (98) MRI-CGCM3 (110) MIROC-ESM-CHEM (170) BCC-CSM1-1 (76) CCSM4 (25) IPSL-CM5A-LR (62) FIO-ESM (-6) CNRM-CM5 (-18) NorESM1-M (-1) EC-EARTH (-62) FGOALS-g2 (-46) IPSL-CM5A-MR (-55) Giss-E2-R (-200)	Distante HadGEM2-ES (305) CSIRO-Mk3-6-0 (268) ACCESS1.0 - HadGEM2-CC - CanESM2 (109) MIROC-ESM (156) MIROC5 (120) MRI-CGCM3 (143) MIROC-ESM-CHEM (156) BCC-CSM1-1 (86) CCSM4 (17) IPSL-CM5A-LR (52) FIO-ESM (60) CNRM-CM5 (64) NorESM1-M (15) EC-EARTH (-24) FGOALS-g2 (-79) IPSL-CM5A-MR (-48) Giss-E2-R (-143)
Terceiro Tercil Segundo Tercil Primeiro Tercil	JJ. Próximo FGOALS-g2 (128) CCSM4 (149) CSIRO-Mk3-6-0 (190) IPSL-CM5A-MR (112) HadGEM2-ES (229) BCC-CSM1-1 (148) INMCM4 - ACCESS1.0 - HadGEM2-CC - IPSL-CM5A-LR (216) CanESM2 (124) NorESM1-M (-13) Giss-E2-R (-49) MIROC-ESM (-44) MIROC-ESM-CHEM (15) MRI-CGCM3 (-73) CNRM-CM5 (-97) MIROC5 (-92) EC-EARTH (-100) FIO-ESM (-211)	A Distante FGOALS-g2 (125) CCSM4 (145) CSIRO-Mk3-6-0 (217) IPSL-CM5A-MR (103) HadGEM2-ES (230) BCC-CSM1-1 (182) INMCM4 - ACCESS1.0 - HadGEM2-CC - IPSL-CM5A-LR (215) CanESM2 (108) NorESM1-M (-50) Giss-E2-R (-50) MIROC-ESM (17) MIROC-ESM-CHEM (-8) MRI-CGCM3 (-40) CNRM-CM5 (-99) MIROC5 (-118) EC-EARTH (-92) FIO-ESM (-243)	SC Próximo HadGEM2-ES (356) CSIRO-Mk3-6-0 (247) ACCESS1.0 - HadGEM2-CC - CanESM2 (139) MIROC-ESM (172) MIROC5 (98) MRI-CGCM3 (110) MIROC-ESM-CHEM (170) BCC-CSM1-1 (76) CCSM4 (25) IPSL-CM5A-LR (62) FIO-ESM (-6) CNRM-CM5 (-18) NorESM1-M (-1) EC-EARTH (-62) FGOALS-g2 (-46) IPSL-CM5A-MR (-55) Giss-E2-R (-200) INMCM4 -	Distante HadGEM2-ES (305) CSIRO-Mk3-6-0 (268) ACCESS1.0 - HadGEM2-CC - CanESM2 (109) MIROC-ESM (156) MIROC5 (120) MRI-CGCM3 (143) MIROC-ESM-CHEM (156) BCC-CSM1-1 (86) CCSM4 (17) IPSL-CM5A-LR (52) FIO-ESM (60) CNRM-CM5 (64) NorESM1-M (15) EC-EARTH (-24) FGOALS-g2 (-79) IPSL-CM5A-MR (-48) Giss-E2-R (-143) INMCM4 -

	DJF		MAM	
	Próximo	Distante	Próximo	Distante
	MRI-CGCM3 (196)	MRI-CGCM3 (123)	BCC-CSM1-1 (258)	BCC-CSM1-1 (296)
cil	BCC-CSM1-1 (194)	BCC-CSM1-1 (226)	IPSL-CM5A-LR (198)	IPSL-CM5A-LR (228)
Ter	HadGEM2-CC (406)	HadGEM2-CC (340)	HadGEM2-ES (197)	HadGEM2-ES (150)
iro	MIROC5 (270)	MIROC5 (290)	FGOALS-g2 (189)	FGOALS-g2 (198)
ime	FIO-ESM (122)	FIO-ESM (124)	ACCESS1.0 (228)	ACCESS1.0 (253)
Pr	ACCESS1.0 (393)	ACCESS1.0 (366)	HadGEM2-CC (181)	HadGEM2-CC (158)
	HadGEM2-ES (457)	HadGEM2-ES (519)	CSIRO-Mk3-6-0 (233)	CSIRO-Mk3-6-0 (195)
	MIROC-ESM-CHEM (-102)	MIROC-ESM-CHEM (-106)	IPSL-CM5A-MR (40)	IPSL-CM5A-MR (9)
Tercil	MIROC-ESM (-86)	MIROC-ESM (-125)	MIROC5 (-25)	MIROC5 (-11)
	EC-EARTH (-58)	EC-EARTH (28)	Giss-E2-R (-45)	Giss-E2-R (-4)
opt	CCSM4 (28)	CCSM4 (109)	MRI-CGCM3 (-41)	MRI-CGCM3 (-14)
Ingo	IPSL-CM5A-LR (140)	IPSL-CM5A-LR (120)	CCSM4 (60)	CCSM4 (49)
Š	NorESM1-M (-9)	NorESM1-M (44)	NorESM1-M (-17)	NorESM1-M (-21)
	CanESM2 (-133)	CanESM2 (-209)	MIROC-ESM-CHEM (12)	MIROC-ESM-CHEM (-3)
	CSIRO-Mk3-6-0 (443)	CSIRO-Mk3-6-0 (419)	MIROC-ESM (-20)	MIROC-ESM (2)
cil	MPI-ESM-LR (-26)	MPI-ESM-LR (-52)	CNRM-CM5 (-132)	CNRM-CM5 (-139)
Ter	CNRM-CM5 (-86)	CNRM-CM5 (-136)	CanESM2 (-61)	CanESM2 (-61)
iro	IPSL-CM5A-MR (-26)	IPSL-CM5A-MR (75)	FIO-ESM (-144)	FIO-ESM (-201)
erce	FGOALS-g2 (-226)	FGOALS-g2 (-246)	INMCM4 (-139)	INMCM4 (-176)
Ē	Giss-E2-R (-517)	Giss-E2-R (-486)	EC-EARTH (-187)	EC-EARTH (-172)
	INMCM4 (-475)	INMCM4 (-495)	MPI-ESM-LR (-382)	MPI-ESM-LR (-400)
	JJ	A	SC	DN
	Próximo	Distante	Próximo	Distante
	FGOALS-g2 (118)	FGOALS-g2 (121)	HadGEM2-ES (349)	HadGEM2-ES (347)
srcil	CCSM4 (161)	CCSM4 (167)	CSIRO-Mk3-6-0 (288)	CSIRO-Mk3-6-0 (257)
υTe	CSIRO-Mk3-6-0 (216)	CSIRO-Mk3-6-0 (200)	ACCESS1.0 (416)	ACCESS1.0 (440)
eirc	IPSL-CM5A-MR (132)	IPSL-CM5A-MR (149)	HadGEM2-CC (367)	HadGEM2-CC (386)
rim.	HadGEM2-ES (173)	HadGEM2-ES (186)	CanESM2 (88)	CanESM2 (102)
4	BCC-CSM1-1 (212)	BCC-CSM1-1 (159)	MIROC-ESM (158)	MIROC-ESM (179)
	INMCM4 (6)	INMCM4 (54)	MIROC5 (162)	MIROC5 (137)
	ACCESS1.0 (299)	ACCESS1.0 (294)	MRI-CGCM3 (172)	MRI-CGCM3 (206)
erci	HadGEM2-CC (204)	HadGEM2-CC (195)	MIROC-ESM-CHEM (152)	MIROC-ESM-CHEM (149)
0 T.6	IPSL-CM5A-LR (221)	IPSL-CM5A-LR (225)	BCC-CSM1-1 (103)	BCC-CSM1-1 (185)
inde	CanESM2 (63)	CanESM2 (133)	CCSM4 (21)	CCSM4 (52)
egu	NorESM1-M (-9)	NorESM1-M (3)	IPSL-CM5A-LR (92)	IPSL-CM5A-LR (97)
S	Giss-E2-R (-36)	Giss-E2-R (-48)	FIO-ESM (56)	FIO-ESM (67)
	MIROC-ESM (45)	MIROC-ESM (56)	CNRM-CM5 (63)	CNRM-CM5 (67)
	MIROC-ESM-CHEM (54)	MIROC-ESM-CHEM (71)	NorESM1-M (-22)	NorESM1-M (-20)
rcil	MRI-CGCM3 (-39)	MRI-CGCM3 (-39)	EC-EARTH (-62)	EC-EARTH (-18)
Te	CNRM-CM5 (-91)	CNRM-CM5 (-86)	FGOALS-g2 (-23)	FGOALS-g2 (-51)
eirc	MIROC5 (-86)	MIROC5 (-87)	IPSL-CM5A-MR (-43)	IPSL-CM5A-MR (-30)
erc	EC-EARTH (-63)	EC-EARTH (-75)	Giss-E2-R (-125)	Giss-E2-R (-148)
L	FIO-ESM (-246)	FIO-ESM (-240)	INMCM4 (-271)	INMCM4 (-231)
1	MPI-ESM-LR (-356)	MPI-ESM-LR (-338)	MPI-ESM-LR (-123)	MPI-ESM-LR (-145)

Tabela C-2 – Igual a tabela C-1, mas para o cenário RCP 4.5.

	DJF		MAM	
	Próximo	Distante	Próximo	Distante
	MRI-CGCM3 (214)	MRI-CGCM3 (180)	BCC-CSM1-1 (268)	BCC-CSM1-1 (261)
C:	BCC-CSM1-1 (177)	BCC-CSM1-1 (158)	IPSL-CM5A-LR (215)	IPSL-CM5A-LR (230)
Ter	HadGEM2-CC -	HadGEM2-CC -	HadGEM2-ES (206)	HadGEM2-ES (255)
iro	MIROC5 (248)	MIROC5 (320)	FGOALS-g2 -	FGOALS-g2 -
ime	FIO-ESM (164)	FIO-ESM (153)	ACCESS1.0 -	ACCESS1.0 -
\mathbf{Pr}	ACCESS1.0 -	ACCESS1.0 -	HadGEM2-CC -	HadGEM2-CC -
	HadGEM2-ES (398)	HadGEM2-ES (591)	CSIRO-Mk3-6-0 (248)	CSIRO-Mk3-6-0 (257)
Tercil	MIROC-ESM-CHEM (-47)	MIROC-ESM-CHEM (-59)	IPSL-CM5A-MR -	IPSL-CM5A-MR -
	MIROC-ESM (-65)	MIROC-ESM (-36)	MIROC5 (9)	MIROC5 (20)
	EC-EARTH -	EC-EARTH -	Giss-E2-R(1)	Giss-E2-R (-24)
opi	CCSM4 (94)	CCSM4 (120)	MRI-CGCM3 (25)	MRI-CGCM3 (-6)
gur	IPSL-CM5A-LR (133)	IPSL-CM5A-LR (206)	CCSM4 (52)	CCSM4 (48)
Se	NorESM1-M (30)	NorESM1-M (76)	NorESM1-M (-38)	NorESM1-M (4)
	CanESM2 -	CanESM2 -	MIROC-ESM-CHEM (-25)	MIROC-ESM-CHEM (0)
	CSIRO-Mk3-6-0 (417)	CSIRO-Mk3-6-0 (524)	MIROC-ESM (-38)	MIROC-ESM (-33)
5	MPI-ESM-LR -	MPI-ESM-LR -	CNRM-CM5 -	CNRM-CM5 -
Ter	CNRM-CM5 -	CNRM-CM5 -	CanESM2 -	CanESM2 -
iro	IPSL-CM5A-MR -	IPSL-CM5A-MR -	FIO-ESM (-153)	FIO-ESM (-154)
erce	FGOALS-g2 -	FGOALS-g2 -	INMCM4 -	INMCM4 -
Τe	Giss-E2-R (-532)	Giss-E2-R (-480)	EC-EARTH -	EC-EARTH -
	INMCM4 -	INMCM4 -	MPI-ESM-LR -	MPI-ESM-LR -
	JJA		SON	
	JJ	A	SC	<u>DN</u>
	JJ Próximo	A Distante	SC Próximo	DN Distante
	JJ Próximo FGOALS-g2 -	A Distante FGOALS-g2 -	Próximo HadGEM2-ES (314)	DN Distante HadGEM2-ES (371)
rcil	JJ Próximo FGOALS-g2 - CCSM4 (164)	A Distante FGOALS-g2 - CCSM4 (167)	SC Próximo HadGEM2-ES (314) CSIRO-Mk3-6-0 (248)	DN Distante HadGEM2-ES (371) CSIRO-Mk3-6-0 (250)
Tercil	JJ Próximo FGOALS-g2 - CCSM4 (164) CSIRO-Mk3-6-0 (185)	A Distante FGOALS-g2 - CCSM4 (167) CSIRO-Mk3-6-0 (211)	SC Próximo HadGEM2-ES (314) CSIRO-Mk3-6-0 (248) ACCESS1.0 -	DN Distante HadGEM2-ES (371) CSIRO-Mk3-6-0 (250) ACCESS1.0 -
eiro Tercil	JJ Próximo FGOALS-g2 - CCSM4 (164) CSIRO-Mk3-6-0 (185) IPSL-CM5A-MR -	A Distante FGOALS-g2 - CCSM4 (167) CSIRO-Mk3-6-0 (211) IPSL-CM5A-MR -	Próximo HadGEM2-ES (314) CSIRO-Mk3-6-0 (248) ACCESS1.0 - HadGEM2-CC -	DN Distante HadGEM2-ES (371) CSIRO-Mk3-6-0 (250) ACCESS1.0 - HadGEM2-CC -
rimeiro Tercil	JJ Próximo FGOALS-g2 - CCSM4 (164) CSIRO-Mk3-6-0 (185) IPSL-CM5A-MR - HadGEM2-ES (197)	A Distante FGOALS-g2 - CCSM4 (167) CSIRO-Mk3-6-0 (211) IPSL-CM5A-MR - HadGEM2-ES (224)	Próximo HadGEM2-ES (314) CSIRO-Mk3-6-0 (248) ACCESS1.0 - HadGEM2-CC - CanESM2 -	DN Distante HadGEM2-ES (371) CSIRO-Mk3-6-0 (250) ACCESS1.0 - HadGEM2-CC - CanESM2 -
Primeiro Tercil	JJ Próximo FGOALS-g2 - CCSM4 (164) CSIRO-Mk3-6-0 (185) IPSL-CM5A-MR - HadGEM2-ES (197) BCC-CSM1-1 (207)	A Distante FGOALS-g2 - CCSM4 (167) CSIRO-Mk3-6-0 (211) IPSL-CM5A-MR - HadGEM2-ES (224) BCC-CSM1-1 (208)	SC Próximo HadGEM2-ES (314) CSIRO-Mk3-6-0 (248) ACCESS1.0 - HadGEM2-CC - CanESM2 - MIROC-ESM (143)	DN Distante HadGEM2-ES (371) CSIRO-Mk3-6-0 (250) ACCESS1.0 - HadGEM2-CC - CanESM2 - MIROC-ESM (175)
Primeiro Tercil	JJ Próximo FGOALS-g2 - CCSM4 (164) CSIRO-Mk3-6-0 (185) IPSL-CM5A-MR - HadGEM2-ES (197) BCC-CSM1-1 (207) INMCM4 -	A Distante FGOALS-g2 - CCSM4 (167) CSIRO-Mk3-6-0 (211) IPSL-CM5A-MR - HadGEM2-ES (224) BCC-CSM1-1 (208) INMCM4 -	SC Próximo HadGEM2-ES (314) CSIRO-Mk3-6-0 (248) ACCESS1.0 - HadGEM2-CC - CanESM2 - MIROC-ESM (143) MIROC5 (147)	DN Distante HadGEM2-ES (371) CSIRO-Mk3-6-0 (250) ACCESS1.0 - HadGEM2-CC - CanESM2 - MIROC-ESM (175) MIROC5 (121)
Primeiro Tercil	JJ Próximo FGOALS-g2 - CCSM4 (164) CSIRO-Mk3-6-0 (185) IPSL-CM5A-MR - HadGEM2-ES (197) BCC-CSM1-1 (207) INMCM4 - ACCESS1.0 -	A Distante FGOALS-g2 - CCSM4 (167) CSIRO-Mk3-6-0 (211) IPSL-CM5A-MR - HadGEM2-ES (224) BCC-CSM1-1 (208) INMCM4 - ACCESS1.0 -	SC Próximo HadGEM2-ES (314) CSIRO-Mk3-6-0 (248) ACCESS1.0 - HadGEM2-CC - CanESM2 - MIROC-ESM (143) MIROC5 (147) MRI-CGCM3 (180)	Distante HadGEM2-ES (371) CSIRO-Mk3-6-0 (250) ACCESS1.0 - HadGEM2-CC - CanESM2 - MIROC-ESM (175) MIROC5 (121) MRI-CGCM3 (210)
rcil Primeiro Tercil	JJ Próximo FGOALS-g2 - CCSM4 (164) CSIRO-Mk3-6-0 (185) IPSL-CM5A-MR - HadGEM2-ES (197) BCC-CSM1-1 (207) INMCM4 - ACCESS1.0 - HadGEM2-CC -	A Distante FGOALS-g2 - CCSM4 (167) CSIRO-Mk3-6-0 (211) IPSL-CM5A-MR - HadGEM2-ES (224) BCC-CSM1-1 (208) INMCM4 - ACCESS1.0 - HadGEM2-CC -	SC Próximo HadGEM2-ES (314) CSIRO-Mk3-6-0 (248) ACCESS1.0 - HadGEM2-CC - CanESM2 - MIROC-ESM (143) MIROC5 (147) MRI-CGCM3 (180) MIROC-ESM-CHEM (122)	DN Distante HadGEM2-ES (371) CSIRO-Mk3-6-0 (250) ACCESS1.0 - HadGEM2-CC - CanESM2 - MIROC-ESM (175) MIROC5 (121) MRI-CGCM3 (210) MIROC-ESM-CHEM (171)
Tercil Primeiro Tercil	JJ Próximo FGOALS-g2 - CCSM4 (164) CSIRO-Mk3-6-0 (185) IPSL-CM5A-MR - HadGEM2-ES (197) BCC-CSM1-1 (207) INMCM4 - ACCESS1.0 - HadGEM2-CC - IPSL-CM5A-LR (221)	A Distante FGOALS-g2 - CCSM4 (167) CSIRO-Mk3-6-0 (211) IPSL-CM5A-MR - HadGEM2-ES (224) BCC-CSM1-1 (208) INMCM4 - ACCESS1.0 - HadGEM2-CC - IPSL-CM5A-LR (271)	SC Próximo HadGEM2-ES (314) CSIRO-Mk3-6-0 (248) ACCESS1.0 - HadGEM2-CC - CanESM2 - MIROC-ESM (143) MIROC5 (147) MRI-CGCM3 (180) MIROC-ESM-CHEM (122) BCC-CSM1-1 (90)	DN Distante HadGEM2-ES (371) CSIRO-Mk3-6-0 (250) ACCESS1.0 - HadGEM2-CC - CanESM2 - MIROC-ESM (175) MIROC5 (121) MRI-CGCM3 (210) MIROC-ESM-CHEM (171) BCC-CSM1-1 (169)
ndo Tercil Primeiro Tercil	JJ Próximo FGOALS-g2 - CCSM4 (164) CSIRO-Mk3-6-0 (185) IPSL-CM5A-MR - HadGEM2-ES (197) BCC-CSM1-1 (207) INMCM4 - ACCESS1.0 - HadGEM2-CC - IPSL-CM5A-LR (221) CanESM2 -	A Distante FGOALS-g2 - CCSM4 (167) CSIRO-Mk3-6-0 (211) IPSL-CM5A-MR - HadGEM2-ES (224) BCC-CSM1-1 (208) INMCM4 - ACCESS1.0 - HadGEM2-CC - IPSL-CM5A-LR (271) CanESM2 -	SC Próximo HadGEM2-ES (314) CSIRO-Mk3-6-0 (248) ACCESS1.0 - HadGEM2-CC - CanESM2 - MIROC-ESM (143) MIROC5 (147) MRI-CGCM3 (180) MIROC-ESM-CHEM (122) BCC-CSM1-1 (90) CCSM4 (15)	Distante HadGEM2-ES (371) CSIRO-Mk3-6-0 (250) ACCESS1.0 - HadGEM2-CC - CanESM2 - MIROC-ESM (175) MIROC5 (121) MRI-CGCM3 (210) MIROC-ESM-CHEM (171) BCC-CSM1-1 (169) CCSM4 (39)
egundo Tercil Primeiro Tercil	JJ Próximo FGOALS-g2 - CCSM4 (164) CSIRO-Mk3-6-0 (185) IPSL-CM5A-MR - HadGEM2-ES (197) BCC-CSM1-1 (207) INMCM4 - ACCESS1.0 - HadGEM2-CC - IPSL-CM5A-LR (221) CanESM2 - NorESM1-M (1)	A Distante FGOALS-g2 - CCSM4 (167) CSIRO-Mk3-6-0 (211) IPSL-CM5A-MR - HadGEM2-ES (224) BCC-CSM1-1 (208) INMCM4 - ACCESS1.0 - HadGEM2-CC - IPSL-CM5A-LR (271) CanESM2 - NorESM1-M (10)	SC Próximo HadGEM2-ES (314) CSIRO-Mk3-6-0 (248) ACCESS1.0 - HadGEM2-CC - CanESM2 - MIROC-ESM (143) MIROC5 (147) MRI-CGCM3 (180) MIROC-ESM-CHEM (122) BCC-CSM1-1 (90) CCSM4 (15) IPSL-CM5A-LR (89)	DN Distante HadGEM2-ES (371) CSIRO-Mk3-6-0 (250) ACCESS1.0 - HadGEM2-CC - CanESM2 - MIROC-ESM (175) MIROC5 (121) MRI-CGCM3 (210) MIROC-ESM-CHEM (171) BCC-CSM1-1 (169) CCSM4 (39) IPSL-CM5A-LR (116)
Segundo Tercil Primeiro Tercil	JJ Próximo FGOALS-g2 - CCSM4 (164) CSIRO-Mk3-6-0 (185) IPSL-CM5A-MR - HadGEM2-ES (197) BCC-CSM1-1 (207) INMCM4 - ACCESS1.0 - HadGEM2-CC - IPSL-CM5A-LR (221) CanESM2 - NorESM1-M (1) Giss-E2-R (-56)	A Distante FGOALS-g2 - CCSM4 (167) CSIRO-Mk3-6-0 (211) IPSL-CM5A-MR - HadGEM2-ES (224) BCC-CSM1-1 (208) INMCM4 - ACCESS1.0 - HadGEM2-CC - IPSL-CM5A-LR (271) CanESM2 - NorESM1-M (10) Giss-E2-R (-6)	SC Próximo HadGEM2-ES (314) CSIRO-Mk3-6-0 (248) ACCESS1.0 - HadGEM2-CC - CanESM2 - MIROC-ESM (143) MIROC5 (147) MRI-CGCM3 (180) MIROC-ESM-CHEM (122) BCC-CSM1-1 (90) CCSM4 (15) IPSL-CM5A-LR (89) FIO-ESM (48)	DN Distante HadGEM2-ES (371) CSIRO-Mk3-6-0 (250) ACCESS1.0 - HadGEM2-CC - CanESM2 - MIROC-ESM (175) MIROC5 (121) MRI-CGCM3 (210) MIROC-ESM-CHEM (171) BCC-CSM1-1 (169) CCSM4 (39) IPSL-CM5A-LR (116) FIO-ESM (46)
Segundo Tercil Primeiro Tercil	JJ Próximo FGOALS-g2 - CCSM4 (164) CSIRO-Mk3-6-0 (185) IPSL-CM5A-MR - HadGEM2-ES (197) BCC-CSM1-1 (207) INMCM4 - ACCESS1.0 - HadGEM2-CC - IPSL-CM5A-LR (221) CanESM2 - NorESM1-M (1) Giss-E2-R (-56) MIROC-ESM (13)	A Distante FGOALS-g2 - CCSM4 (167) CSIRO-Mk3-6-0 (211) IPSL-CM5A-MR - HadGEM2-ES (224) BCC-CSM1-1 (208) INMCM4 - ACCESS1.0 - HadGEM2-CC - IPSL-CM5A-LR (271) CanESM2 - NorESM1-M (10) Giss-E2-R (-6) MIROC-ESM (99)	SC Próximo HadGEM2-ES (314) CSIRO-Mk3-6-0 (248) ACCESS1.0 - HadGEM2-CC - CanESM2 - MIROC-ESM (143) MIROC5 (147) MRI-CGCM3 (180) MIROC-ESM-CHEM (122) BCC-CSM1-1 (90) CCSM4 (15) IPSL-CM5A-LR (89) FIO-ESM (48) CNRM-CM5 -	DN Distante HadGEM2-ES (371) CSIRO-Mk3-6-0 (250) ACCESS1.0 - HadGEM2-CC - CanESM2 - MIROC-ESM (175) MIROC5 (121) MRI-CGCM3 (210) MIROC-ESM-CHEM (171) BCC-CSM1-1 (169) CCSM4 (39) IPSL-CM5A-LR (116) FIO-ESM (46) CNRM-CM5 -
Segundo Tercil Primeiro Tercil	JJ Próximo FGOALS-g2 - CCSM4 (164) CSIRO-Mk3-6-0 (185) IPSL-CM5A-MR - HadGEM2-ES (197) BCC-CSM1-1 (207) INMCM4 - ACCESS1.0 - HadGEM2-CC - IPSL-CM5A-LR (221) CanESM2 - NorESM1-M (1) Giss-E2-R (-56) MIROC-ESM (13) MIROC-ESM-CHEM (23)	A Distante FGOALS-g2 - CCSM4 (167) CSIRO-Mk3-6-0 (211) IPSL-CM5A-MR - HadGEM2-ES (224) BCC-CSM1-1 (208) INMCM4 - ACCESS1.0 - HadGEM2-CC - IPSL-CM5A-LR (271) CanESM2 - NorESM1-M (10) Giss-E2-R (-6) MIROC-ESM (99) MIROC-ESM-CHEM (85)	SC Próximo HadGEM2-ES (314) CSIRO-Mk3-6-0 (248) ACCESS1.0 - HadGEM2-CC - CanESM2 - MIROC-ESM (143) MIROC5 (147) MRI-CGCM3 (180) MIROC-ESM-CHEM (122) BCC-CSM1-1 (90) CCSM4 (15) IPSL-CM5A-LR (89) FIO-ESM (48) CNRM-CM5 - NorESM1-M (-49)	Distante HadGEM2-ES (371) CSIRO-Mk3-6-0 (250) ACCESS1.0 - HadGEM2-CC - CanESM2 - MIROC-ESM (175) MIROC5 (121) MRI-CGCM3 (210) MIROC-ESM-CHEM (171) BCC-CSM1-1 (169) CCSM4 (39) IPSL-CM5A-LR (116) FIO-ESM (46) CNRM-CM5 - NorESM1-M (63)
rcil Segundo Tercil Primeiro Tercil	JJ Próximo FGOALS-g2 - CCSM4 (164) CSIRO-Mk3-6-0 (185) IPSL-CM5A-MR - HadGEM2-ES (197) BCC-CSM1-1 (207) INMCM4 - ACCESS1.0 - HadGEM2-CC - IPSL-CM5A-LR (221) CanESM2 - NorESM1-M (1) Giss-E2-R (-56) MIROC-ESM (13) MIROC-ESM-CHEM (23) MRI-CGCM3 (-35)	A Distante FGOALS-g2 - CCSM4 (167) CSIRO-Mk3-6-0 (211) IPSL-CM5A-MR - HadGEM2-ES (224) BCC-CSM1-1 (208) INMCM4 - ACCESS1.0 - HadGEM2-CC - IPSL-CM5A-LR (271) CanESM2 - NorESM1-M (10) Giss-E2-R (-6) MIROC-ESM (99) MIROC-ESM-CHEM (85) MRI-CGCM3 (-64)	SC Próximo HadGEM2-ES (314) CSIRO-Mk3-6-0 (248) ACCESS1.0 - HadGEM2-CC - CanESM2 - MIROC-ESM (143) MIROC5 (147) MRI-CGCM3 (180) MIROC-ESM-CHEM (122) BCC-CSM1-1 (90) CCSM4 (15) IPSL-CM5A-LR (89) FIO-ESM (48) CNRM-CM5 - NorESM1-M (-49) EC-EARTH -	DN Distante HadGEM2-ES (371) CSIRO-Mk3-6-0 (250) ACCESS1.0 - HadGEM2-CC - CanESM2 - MIROC-ESM (175) MIROC5 (121) MRI-CGCM3 (210) MIROC-ESM-CHEM (171) BCC-CSM1-1 (169) CCSM4 (39) IPSL-CM5A-LR (116) FIO-ESM (46) CNRM-CM5 - NorESM1-M (63) EC-EARTH -
Tercil Segundo Tercil Primeiro Tercil	JJ Próximo FGOALS-g2 - CCSM4 (164) CSIRO-Mk3-6-0 (185) IPSL-CM5A-MR - HadGEM2-ES (197) BCC-CSM1-1 (207) INMCM4 - ACCESS1.0 - HadGEM2-CC - IPSL-CM5A-LR (221) CanESM2 - NorESM1-M (1) Giss-E2-R (-56) MIROC-ESM (13) MIROC-ESM-CHEM (23) MRI-CGCM3 (-35) CNRM-CM5 -	A Distante FGOALS-g2 - CCSM4 (167) CSIRO-Mk3-6-0 (211) IPSL-CM5A-MR - HadGEM2-ES (224) BCC-CSM1-1 (208) INMCM4 - ACCESS1.0 - HadGEM2-CC - IPSL-CM5A-LR (271) CanESM2 - NorESM1-M (10) Giss-E2-R (-6) MIROC-ESM (99) MIROC-ESM-CHEM (85) MRI-CGCM3 (-64) CNRM-CM5 -	SC Próximo HadGEM2-ES (314) CSIRO-Mk3-6-0 (248) ACCESS1.0 - HadGEM2-CC - CanESM2 - MIROC-ESM (143) MIROC5 (147) MRI-CGCM3 (180) MIROC-ESM-CHEM (122) BCC-CSM1-1 (90) CCSM4 (15) IPSL-CM5A-LR (89) FIO-ESM (48) CNRM-CM5 - NorESM1-M (-49) EC-EARTH - FGOALS-g2 -	Distante HadGEM2-ES (371) CSIRO-Mk3-6-0 (250) ACCESS1.0 - HadGEM2-CC - CanESM2 - MIROC-ESM (175) MIROC5 (121) MRI-CGCM3 (210) MIROC-ESM-CHEM (171) BCC-CSM1-1 (169) CCSM4 (39) IPSL-CM5A-LR (116) FIO-ESM (46) CNRM-CM5 - NorESM1-M (63) EC-EARTH - FGOALS-g2 -
eiro Tercil Segundo Tercil Primeiro Tercil	JJ Próximo FGOALS-g2 - CCSM4 (164) CSIRO-Mk3-6-0 (185) IPSL-CM5A-MR - HadGEM2-ES (197) BCC-CSM1-1 (207) INMCM4 - ACCESS1.0 - HadGEM2-CC - IPSL-CM5A-LR (221) CanESM2 - NorESM1-M (1) Giss-E2-R (-56) MIROC-ESM (13) MIROC-ESM (13) MIROC-ESM-CHEM (23) MRI-CGCM3 (-35) CNRM-CM5 - MIROC5 (-88)	A Distante FGOALS-g2 - CCSM4 (167) CSIRO-Mk3-6-0 (211) IPSL-CM5A-MR - HadGEM2-ES (224) BCC-CSM1-1 (208) INMCM4 - ACCESS1.0 - HadGEM2-CC - IPSL-CM5A-LR (271) CanESM2 - NorESM1-M (10) Giss-E2-R (-6) MIROC-ESM (99) MIROC-ESM (99) MIROC-ESM-CHEM (85) MRI-CGCM3 (-64) CNRM-CM5 - MIROC5 (-92)	SC Próximo HadGEM2-ES (314) CSIRO-Mk3-6-0 (248) ACCESS1.0 - HadGEM2-CC - CanESM2 - MIROC-ESM (143) MIROC5 (147) MRI-CGCM3 (180) MIROC-ESM-CHEM (122) BCC-CSM1-1 (90) CCSM4 (15) IPSL-CM5A-LR (89) FIO-ESM (48) CNRM-CM5 - NorESM1-M (-49) EC-EARTH - FGOALS-g2 - IPSL-CM5A-MR -	Distante HadGEM2-ES (371) CSIRO-Mk3-6-0 (250) ACCESS1.0 - HadGEM2-CC - CanESM2 - MIROC-ESM (175) MIROC5 (121) MRI-CGCM3 (210) MIROC-ESM-CHEM (171) BCC-CSM1-1 (169) CCSM4 (39) IPSL-CM5A-LR (116) FIO-ESM (46) CNRM-CM5 - NorESM1-M (63) EC-EARTH - FGOALS-g2 - IPSL-CM5A-MR -
erceiro Tercil Segundo Tercil Primeiro Tercil	JJ Próximo FGOALS-g2 - CCSM4 (164) CSIRO-Mk3-6-0 (185) IPSL-CM5A-MR - HadGEM2-ES (197) BCC-CSM1-1 (207) INMCM4 - ACCESS1.0 - HadGEM2-CC - IPSL-CM5A-LR (221) CanESM2 - NorESM1-M (1) Giss-E2-R (-56) MIROC-ESM (13) MIROC-ESM-CHEM (23) MRI-CGCM3 (-35) CNRM-CM5 - MIROC5 (-88) EC-EARTH -	A Distante FGOALS-g2 - CCSM4 (167) CSIRO-Mk3-6-0 (211) IPSL-CM5A-MR - HadGEM2-ES (224) BCC-CSM1-1 (208) INMCM4 - ACCESS1.0 - HadGEM2-CC - IPSL-CM5A-LR (271) CanESM2 - NorESM1-M (10) Giss-E2-R (-6) MIROC-ESM (99) MIROC-ESM-CHEM (85) MRI-CGCM3 (-64) CNRM-CM5 - MIROC5 (-92) EC-EARTH -	SC Próximo HadGEM2-ES (314) CSIRO-Mk3-6-0 (248) ACCESS1.0 - HadGEM2-CC - CanESM2 - MIROC-ESM (143) MIROC5 (147) MRI-CGCM3 (180) MIROC-ESM-CHEM (122) BCC-CSM1-1 (90) CCSM4 (15) IPSL-CM5A-LR (89) FIO-ESM (48) CNRM-CM5 - NorESM1-M (-49) EC-EARTH - FGOALS-g2 - IPSL-CM5A-MR - Giss-E2-R (-162)	Distante HadGEM2-ES (371) CSIRO-Mk3-6-0 (250) ACCESS1.0 - HadGEM2-CC - CanESM2 - MIROC-ESM (175) MIROC5 (121) MRI-CGCM3 (210) MIROC-ESM-CHEM (171) BCC-CSM1-1 (169) CCSM4 (39) IPSL-CM5A-LR (116) FIO-ESM (46) CNRM-CM5 - NorESM1-M (63) EC-EARTH - FGOALS-g2 - IPSL-CM5A-MR - Giss-E2-R (-125)
Terceiro Tercil Segundo Tercil Primeiro Tercil	JJ Próximo FGOALS-g2 - CCSM4 (164) CSIRO-Mk3-6-0 (185) IPSL-CM5A-MR - HadGEM2-ES (197) BCC-CSM1-1 (207) INMCM4 - ACCESS1.0 - HadGEM2-CC - IPSL-CM5A-LR (221) CanESM2 - NorESM1-M (1) Giss-E2-R (-56) MIROC-ESM (13) MIROC-ESM-CHEM (23) MRI-CGCM3 (-35) CNRM-CM5 - MIROC5 (-88) EC-EARTH - FIO-ESM (-217)	A Distante FGOALS-g2 - CCSM4 (167) CSIRO-Mk3-6-0 (211) IPSL-CM5A-MR - HadGEM2-ES (224) BCC-CSM1-1 (208) INMCM4 - ACCESS1.0 - HadGEM2-CC - IPSL-CM5A-LR (271) CanESM2 - NorESM1-M (10) Giss-E2-R (-6) MIROC-ESM (99) MIROC-ESM-CHEM (85) MRI-CGCM3 (-64) CNRM-CM5 - MIROC5 (-92) EC-EARTH - FIO-ESM (-234)	SC Próximo HadGEM2-ES (314) CSIRO-Mk3-6-0 (248) ACCESS1.0 - HadGEM2-CC - CanESM2 - MIROC-ESM (143) MIROC5 (147) MRI-CGCM3 (180) MIROC-ESM-CHEM (122) BCC-CSM1-1 (90) CCSM4 (15) IPSL-CM5A-LR (89) FIO-ESM (48) CNRM-CM5 - NorESM1-M (-49) EC-EARTH - FGOALS-g2 - IPSL-CM5A-MR - Giss-E2-R (-162) INMCM4 -	Distante HadGEM2-ES (371) CSIRO-Mk3-6-0 (250) ACCESS1.0 - HadGEM2-CC - CanESM2 - MIROC-ESM (175) MIROC5 (121) MRI-CGCM3 (210) MIROC-ESM-CHEM (171) BCC-CSM1-1 (169) CCSM4 (39) IPSL-CM5A-LR (116) FIO-ESM (46) CNRM-CM5 - NorESM1-M (63) EC-EARTH - FGOALS-g2 - IPSL-CM5A-MR - Giss-E2-R (-125) INMCM4 -

Tabela C-3 – Igual a tabela C-1, mas para o cenário RCP 6.0

	D.	IF	MA	AM
	Próximo	Distante	Próximo	Distante
	MRI-CGCM3 (151)	MRI-CGCM3 (346)	BCC-CSM1-1 (331)	BCC-CSM1-1 (342)
cil	BCC-CSM1-1 (263)	BCC-CSM1-1 (323)	IPSL-CM5A-LR (209)	IPSL-CM5A-LR (319)
Ter	HadGEM2-CC (345)	HadGEM2-CC (397)	HadGEM2-ES (599)	HadGEM2-ES (649)
iro.	MIROC5 (301)	MIROC5 (352)	FGOALS-g2 (185)	FGOALS-g2 (210)
ime	FIO-ESM (193)	FIO-ESM (209)	ACCESS1.0 (265)	ACCESS1.0 (254)
\mathbf{Pr}	ACCESS1.0 (355)	ACCESS1.0 (485)	HadGEM2-CC (221)	HadGEM2-CC (233)
	HadGEM2-ES (314)	HadGEM2-ES (436)	CSIRO-Mk3-6-0 (249)	CSIRO-Mk3-6-0 (174)
Tercil	MIROC-ESM-CHEM (64)	MIROC-ESM-CHEM (-6)	IPSL-CM5A-MR (36)	IPSL-CM5A-MR (54)
	MIROC-ESM (-28)	MIROC-ESM (-6)	MIROC5 (-23)	MIROC5 (-34)
	EC-EARTH (-3)	EC-EARTH (69)	Giss-E2-R (-9)	Giss-E2-R (-17)
, ob	CCSM4(92)	CCSM4 (234)	MRI-CGCM3(-55)	MRI-CGCM3 (106)
gun	IPSI - CM5A - IR(195)	IPSL-CM5A-LR (306)	CCSM4 (41)	CCSM4 (66)
Seg	NorESM1-M (69)	NorESM1-M (52)	NorFSM1-M (-22)	NorFSM1-M (-44)
	$C_{\text{an}} \text{ESM1-} \text{M}(0)$	$C_{20} = C_{20} = C_{20}$	MIROC-ESM-CHEM (-66)	MIROC-ESM-CHEM (51)
	$CSIRO_M k_{3-6-0}(384)$	$CSIRO_Mk_{3-6-0}(437)$	MIROC-ESM (-50)	MIROC-ESM (68)
il	MDI ESM I P (31)	MDI ESM I P (08)	CNPM CM5 (105)	CNPM CM5 (114)
erc	CNPM CM5 (138)	CNPM CM5 (02)	ConESM2 (42)	ConESM2 (62)
Γo	$\mathbf{DSL} \ \mathbf{CM5A} \ \mathbf{MD} \ (04)$	$\frac{1}{1000} \frac{1}{1000} \frac{1}{1000$	EIO ESM(207)	EIO ESM(104)
ceii	$ECOALS \approx 2(252)$	$\frac{11}{2} \frac{1}{2} 1$	$\mathbf{PIO}-\mathbf{ESW}(-207)$	$\mathbf{NNCM4}(-194)$
Ter	FGUALS-g2(-252)	FGUALS-g2(-252)	EC = ADTU(214)	EC = ADTU(201)
	GISS-E2-R(-4/1)	GISS-E2-R(-521)	EC-EARTH(-214)	EC-EARTH(-201)
	INMCM4 (-463)	INMCM4 (-435)	MPI-ESMI-LR (-388)	MPI-ESMI-LR (-393)
		/ •		JIN
	Drávimo	A Distanta	Drávimo	Distorto
	Próximo ECOALS x2 (138)	Distante ECOALS e2 (121)	Próximo	Distante
ii	Próximo FGOALS-g2 (138)	Distante FGOALS-g2 (121)	Próximo HadGEM2-ES (200) CSIPO M/2 6 0 (274)	Distante HadGEM2-ES (241)
ercil	Próximo FGOALS-g2 (138) CCSM4 (187) CSIPO M/3 6 0 (200)	Distante FGOALS-g2 (121) CCSM4 (208)	Próximo HadGEM2-ES (200) CSIRO-Mk3-6-0 (274)	Distante HadGEM2-ES (241) CSIRO-Mk3-6-0 (297)
ro Tercil	Próximo FGOALS-g2 (138) CCSM4 (187) CSIRO-Mk3-6-0 (200)	Distante FGOALS-g2 (121) CCSM4 (208) CSIRO-Mk3-6-0 (306) IPSL_CM5A_MP (121)	Próximo HadGEM2-ES (200) CSIRO-Mk3-6-0 (274) ACCESS1.0 (445) HadCEM2 CC (200)	Distante HadGEM2-ES (241) CSIRO-Mk3-6-0 (297) ACCESS1.0 (586) HadCEM2 CC (452)
neiro Tercil	Próximo FGOALS-g2 (138) CCSM4 (187) CSIRO-Mk3-6-0 (200) IPSL-CM5A-MR (138) U-4CEM2 ES (06)	Distante FGOALS-g2 (121) CCSM4 (208) CSIRO-Mk3-6-0 (306) IPSL-CM5A-MR (131) LodCEM2 ES (180)	Próximo HadGEM2-ES (200) CSIRO-Mk3-6-0 (274) ACCESS1.0 (445) HadGEM2-CC (399)	Distante HadGEM2-ES (241) CSIRO-Mk3-6-0 (297) ACCESS1.0 (586) HadGEM2-CC (452)
Primeiro Tercil	Próximo FGOALS-g2 (138) CCSM4 (187) CSIRO-Mk3-6-0 (200) IPSL-CM5A-MR (138) HadGEM2-ES (96) PCC CSM1 1 (214)	Distante FGOALS-g2 (121) CCSM4 (208) CSIRO-Mk3-6-0 (306) IPSL-CM5A-MR (131) HadGEM2-ES (189) PCC_CSM1 1 (242)	Próximo HadGEM2-ES (200) CSIRO-Mk3-6-0 (274) ACCESS1.0 (445) HadGEM2-CC (399) CanESM2 (138)	Distante HadGEM2-ES (241) CSIRO-Mk3-6-0 (297) ACCESS1.0 (586) HadGEM2-CC (452) CanESM2 (246) MBOCC ESM (182)
Primeiro Tercil	JJ Próximo FGOALS-g2 (138) CCSM4 (187) CSIRO-Mk3-6-0 (200) IPSL-CM5A-MR (138) HadGEM2-ES (96) BCC-CSM1-1 (214) DMCM4 (48)	Distante FGOALS-g2 (121) CCSM4 (208) CSIRO-Mk3-6-0 (306) IPSL-CM5A-MR (131) HadGEM2-ES (189) BCC-CSM1-1 (243)	Próximo HadGEM2-ES (200) CSIRO-Mk3-6-0 (274) ACCESS1.0 (445) HadGEM2-CC (399) CanESM2 (138) MIROC-ESM (192)	Distante HadGEM2-ES (241) CSIRO-Mk3-6-0 (297) ACCESS1.0 (586) HadGEM2-CC (452) CanESM2 (246) MIROC-ESM (183) MIROC5 (159)
Primeiro Tercil	JJ Próximo FGOALS-g2 (138) CCSM4 (187) CSIRO-Mk3-6-0 (200) IPSL-CM5A-MR (138) HadGEM2-ES (96) BCC-CSM1-1 (214) INMCM4 (48)	Distante FGOALS-g2 (121) CCSM4 (208) CSIRO-Mk3-6-0 (306) IPSL-CM5A-MR (131) HadGEM2-ES (189) BCC-CSM1-1 (243) INMCM4 (58)	Próximo HadGEM2-ES (200) CSIRO-Mk3-6-0 (274) ACCESS1.0 (445) HadGEM2-CC (399) CanESM2 (138) MIROC-ESM (192) MIROC5 (178)	Distante HadGEM2-ES (241) CSIRO-Mk3-6-0 (297) ACCESS1.0 (586) HadGEM2-CC (452) CanESM2 (246) MIROC-ESM (183) MIROC5 (158)
il Primeiro Tercil	JJ Próximo FGOALS-g2 (138) CCSM4 (187) CSIRO-Mk3-6-0 (200) IPSL-CM5A-MR (138) HadGEM2-ES (96) BCC-CSM1-1 (214) INMCM4 (48) ACCESS1.0 (301) HadGEM2-CC (200)	Distante FGOALS-g2 (121) CCSM4 (208) CSIRO-Mk3-6-0 (306) IPSL-CM5A-MR (131) HadGEM2-ES (189) BCC-CSM1-1 (243) INMCM4 (58) ACCESS1.0 (396) HadGEM2-CC (220)	Próximo HadGEM2-ES (200) CSIRO-Mk3-6-0 (274) ACCESS1.0 (445) HadGEM2-CC (399) CanESM2 (138) MIROC-ESM (192) MIROC5 (178) MRI-CGCM3 (217)	Distante HadGEM2-ES (241) CSIRO-Mk3-6-0 (297) ACCESS1.0 (586) HadGEM2-CC (452) CanESM2 (246) MIROC-ESM (183) MIROC5 (158) MRI-CGCM3 (265)
ercil Primeiro Tercil	JJ Próximo FGOALS-g2 (138) CCSM4 (187) CSIRO-Mk3-6-0 (200) IPSL-CM5A-MR (138) HadGEM2-ES (96) BCC-CSM1-1 (214) INMCM4 (48) ACCESS1.0 (301) HadGEM2-CC (249)	Distante FGOALS-g2 (121) CCSM4 (208) CSIRO-Mk3-6-0 (306) IPSL-CM5A-MR (131) HadGEM2-ES (189) BCC-CSM1-1 (243) INMCM4 (58) ACCESS1.0 (396) HadGEM2-CC (329)	Próximo HadGEM2-ES (200) CSIRO-Mk3-6-0 (274) ACCESS1.0 (445) HadGEM2-CC (399) CanESM2 (138) MIROC-ESM (192) MIROC5 (178) MRI-CGCM3 (217) MIROC-ESM-CHEM (164) PCG CSM1 1 (165)	Distante HadGEM2-ES (241) CSIRO-Mk3-6-0 (297) ACCESS1.0 (586) HadGEM2-CC (452) CanESM2 (246) MIROC-ESM (183) MIROC5 (158) MRI-CGCM3 (265) MIROC-ESM-CHEM (190) DCC CSM1 1 (190)
o Tercil Primeiro Tercil	JJ Próximo FGOALS-g2 (138) CCSM4 (187) CSIRO-Mk3-6-0 (200) IPSL-CM5A-MR (138) HadGEM2-ES (96) BCC-CSM1-1 (214) INMCM4 (48) ACCESS1.0 (301) HadGEM2-CC (249) IPSL-CM5A-LR (269)	Distante FGOALS-g2 (121) CCSM4 (208) CSIRO-Mk3-6-0 (306) IPSL-CM5A-MR (131) HadGEM2-ES (189) BCC-CSM1-1 (243) INMCM4 (58) ACCESS1.0 (396) HadGEM2-CC (329) IPSL-CM5A-LR (299)	Próximo HadGEM2-ES (200) CSIRO-Mk3-6-0 (274) ACCESS1.0 (445) HadGEM2-CC (399) CanESM2 (138) MIROC-ESM (192) MIROC5 (178) MRI-CGCM3 (217) MIROC-ESM-CHEM (164) BCC-CSM1-1 (165)	Distante HadGEM2-ES (241) CSIRO-Mk3-6-0 (297) ACCESS1.0 (586) HadGEM2-CC (452) CanESM2 (246) MIROC-ESM (183) MIROC5 (158) MRI-CGCM3 (265) MIROC-ESM-CHEM (190) BCC-CSM1-1 (184)
undo Tercil Primeiro Tercil	Próximo FGOALS-g2 (138) CCSM4 (187) CSIRO-Mk3-6-0 (200) IPSL-CM5A-MR (138) HadGEM2-ES (96) BCC-CSM1-1 (214) INMCM4 (48) ACCESS1.0 (301) HadGEM2-CC (249) IPSL-CM5A-LR (269) CanESM2 (136)	Distante FGOALS-g2 (121) CCSM4 (208) CSIRO-Mk3-6-0 (306) IPSL-CM5A-MR (131) HadGEM2-ES (189) BCC-CSM1-1 (243) INMCM4 (58) ACCESS1.0 (396) HadGEM2-CC (329) IPSL-CM5A-LR (299) CanESM2 (273)	Próximo HadGEM2-ES (200) CSIRO-Mk3-6-0 (274) ACCESS1.0 (445) HadGEM2-CC (399) CanESM2 (138) MIROC-ESM (192) MIROC5 (178) MRI-CGCM3 (217) MIROC-ESM-CHEM (164) BCC-CSM1-1 (165) CCSM4 (47)	Distante HadGEM2-ES (241) CSIRO-Mk3-6-0 (297) ACCESS1.0 (586) HadGEM2-CC (452) CanESM2 (246) MIROC-ESM (183) MIROC5 (158) MRI-CGCM3 (265) MIROC-ESM-CHEM (190) BCC-CSM1-1 (184) CCSM4 (39)
Segundo Tercil Primeiro Tercil	JJ Próximo FGOALS-g2 (138) CCSM4 (187) CSIRO-Mk3-6-0 (200) IPSL-CM5A-MR (138) HadGEM2-ES (96) BCC-CSM1-1 (214) INMCM4 (48) ACCESS1.0 (301) HadGEM2-CC (249) IPSL-CM5A-LR (269) CanESM2 (136) NorESM1-M (-19)	Distante FGOALS-g2 (121) CCSM4 (208) CSIRO-Mk3-6-0 (306) IPSL-CM5A-MR (131) HadGEM2-ES (189) BCC-CSM1-1 (243) INMCM4 (58) ACCESS1.0 (396) HadGEM2-CC (329) IPSL-CM5A-LR (299) CanESM2 (273) NorESM1-M (26)	Próximo HadGEM2-ES (200) CSIRO-Mk3-6-0 (274) ACCESS1.0 (445) HadGEM2-CC (399) CanESM2 (138) MIROC-ESM (192) MIROC5 (178) MRI-CGCM3 (217) MIROC-ESM-CHEM (164) BCC-CSM1-1 (165) CCSM4 (47) IPSL-CM5A-LR (101)	Distante HadGEM2-ES (241) CSIRO-Mk3-6-0 (297) ACCESS1.0 (586) HadGEM2-CC (452) CanESM2 (246) MIROC-ESM (183) MIROC5 (158) MRI-CGCM3 (265) MIROC-ESM-CHEM (190) BCC-CSM1-1 (184) CCSM4 (39) IPSL-CM5A-LR (208)
Segundo Tercil Primeiro Tercil	Próximo FGOALS-g2 (138) CCSM4 (187) CSIRO-Mk3-6-0 (200) IPSL-CM5A-MR (138) HadGEM2-ES (96) BCC-CSM1-1 (214) INMCM4 (48) ACCESS1.0 (301) HadGEM2-CC (249) IPSL-CM5A-LR (269) CanESM2 (136) NorESM1-M (-19) Giss-E2-R (-31)	Distante FGOALS-g2 (121) CCSM4 (208) CSIRO-Mk3-6-0 (306) IPSL-CM5A-MR (131) HadGEM2-ES (189) BCC-CSM1-1 (243) INMCM4 (58) ACCESS1.0 (396) HadGEM2-CC (329) IPSL-CM5A-LR (299) CanESM2 (273) NorESM1-M (26) Giss-E2-R (-22)	Próximo HadGEM2-ES (200) CSIRO-Mk3-6-0 (274) ACCESS1.0 (445) HadGEM2-CC (399) CanESM2 (138) MIROC-ESM (192) MIROC5 (178) MRI-CGCM3 (217) MIROC-ESM-CHEM (164) BCC-CSM1-1 (165) CCSM4 (47) IPSL-CM5A-LR (101) FIO-ESM (43)	Distante HadGEM2-ES (241) CSIRO-Mk3-6-0 (297) ACCESS1.0 (586) HadGEM2-CC (452) CanESM2 (246) MIROC-ESM (183) MIROC5 (158) MRI-CGCM3 (265) MIROC-ESM-CHEM (190) BCC-CSM1-1 (184) CCSM4 (39) IPSL-CM5A-LR (208) FIO-ESM (98)
Segundo Tercil Primeiro Tercil	JJ Próximo FGOALS-g2 (138) CCSM4 (187) CSIRO-Mk3-6-0 (200) IPSL-CM5A-MR (138) HadGEM2-ES (96) BCC-CSM1-1 (214) INMCM4 (48) ACCESS1.0 (301) HadGEM2-CC (249) IPSL-CM5A-LR (269) CanESM2 (136) NorESM1-M (-19) Giss-E2-R (-31) MIROC-ESM (12)	Distante FGOALS-g2 (121) CCSM4 (208) CSIRO-Mk3-6-0 (306) IPSL-CM5A-MR (131) HadGEM2-ES (189) BCC-CSM1-1 (243) INMCM4 (58) ACCESS1.0 (396) HadGEM2-CC (329) IPSL-CM5A-LR (299) CanESM2 (273) NorESM1-M (26) Giss-E2-R (-22) MIROC-ESM (104)	Próximo HadGEM2-ES (200) CSIRO-Mk3-6-0 (274) ACCESS1.0 (445) HadGEM2-CC (399) CanESM2 (138) MIROC-ESM (192) MIROC5 (178) MRI-CGCM3 (217) MIROC-ESM-CHEM (164) BCC-CSM1-1 (165) CCSM4 (47) IPSL-CM5A-LR (101) FIO-ESM (43) CNRM-CM5 (59)	Distante HadGEM2-ES (241) CSIRO-Mk3-6-0 (297) ACCESS1.0 (586) HadGEM2-CC (452) CanESM2 (246) MIROC-ESM (183) MIROC5 (158) MRI-CGCM3 (265) MIROC-ESM-CHEM (190) BCC-CSM1-1 (184) CCSM4 (39) IPSL-CM5A-LR (208) FIO-ESM (98) CNRM-CM5 (83)
Segundo Tercil Primeiro Tercil	JJ Próximo FGOALS-g2 (138) CCSM4 (187) CSIRO-Mk3-6-0 (200) IPSL-CM5A-MR (138) HadGEM2-ES (96) BCC-CSM1-1 (214) INMCM4 (48) ACCESS1.0 (301) HadGEM2-CC (249) IPSL-CM5A-LR (269) CanESM2 (136) NorESM1-M (-19) Giss-E2-R (-31) MIROC-ESM (12) MIROC-ESM-CHEM (-7)	Distante FGOALS-g2 (121) CCSM4 (208) CSIRO-Mk3-6-0 (306) IPSL-CM5A-MR (131) HadGEM2-ES (189) BCC-CSM1-1 (243) INMCM4 (58) ACCESS1.0 (396) HadGEM2-CC (329) IPSL-CM5A-LR (299) CanESM2 (273) NorESM1-M (26) Giss-E2-R (-22) MIROC-ESM (104)	Próximo HadGEM2-ES (200) CSIRO-Mk3-6-0 (274) ACCESS1.0 (445) HadGEM2-CC (399) CanESM2 (138) MIROC-ESM (192) MIROC5 (178) MRI-CGCM3 (217) MIROC-ESM-CHEM (164) BCC-CSM1-1 (165) CCSM4 (47) IPSL-CM5A-LR (101) FIO-ESM (43) CNRM-CM5 (59) NorESM1-M (-41)	Distante HadGEM2-ES (241) CSIRO-Mk3-6-0 (297) ACCESS1.0 (586) HadGEM2-CC (452) CanESM2 (246) MIROC-ESM (183) MIROC5 (158) MRI-CGCM3 (265) MIROC-ESM-CHEM (190) BCC-CSM1-1 (184) CCSM4 (39) IPSL-CM5A-LR (208) FIO-ESM (98) CNRM-CM5 (83) NorESM1-M (12)
rcil Segundo Tercil Primeiro Tercil	JJ Próximo FGOALS-g2 (138) CCSM4 (187) CSIRO-Mk3-6-0 (200) IPSL-CM5A-MR (138) HadGEM2-ES (96) BCC-CSM1-1 (214) INMCM4 (48) ACCESS1.0 (301) HadGEM2-CC (249) IPSL-CM5A-LR (269) CanESM2 (136) NorESM1-M (-19) Giss-E2-R (-31) MIROC-ESM (12) MIROC-ESM-CHEM (-7) MRI-CGCM3 (-29)	Distante FGOALS-g2 (121) CCSM4 (208) CSIRO-Mk3-6-0 (306) IPSL-CM5A-MR (131) HadGEM2-ES (189) BCC-CSM1-1 (243) INMCM4 (58) ACCESS1.0 (396) HadGEM2-CC (329) IPSL-CM5A-LR (299) CanESM2 (273) NorESM1-M (26) Giss-E2-R (-22) MIROC-ESM (104) MRI-CGCM3 (-5)	Próximo HadGEM2-ES (200) CSIRO-Mk3-6-0 (274) ACCESS1.0 (445) HadGEM2-CC (399) CanESM2 (138) MIROC-ESM (192) MIROC5 (178) MRI-CGCM3 (217) MIROC-ESM-CHEM (164) BCC-CSM1-1 (165) CCSM4 (47) IPSL-CM5A-LR (101) FIO-ESM (43) CNRM-CM5 (59) NorESM1-M (-41) EC-EARTH (13)	Distante HadGEM2-ES (241) CSIRO-Mk3-6-0 (297) ACCESS1.0 (586) HadGEM2-CC (452) CanESM2 (246) MIROC-ESM (183) MIROC5 (158) MRI-CGCM3 (265) MIROC-ESM-CHEM (190) BCC-CSM1-1 (184) CCSM4 (39) IPSL-CM5A-LR (208) FIO-ESM (98) CNRM-CM5 (83) NorESM1-M (12) EC-EARTH (23)
Tercil Segundo Tercil Primeiro Tercil	JJ Próximo FGOALS-g2 (138) CCSM4 (187) CSIRO-Mk3-6-0 (200) IPSL-CM5A-MR (138) HadGEM2-ES (96) BCC-CSM1-1 (214) INMCM4 (48) ACCESS1.0 (301) HadGEM2-CC (249) IPSL-CM5A-LR (269) CanESM2 (136) NorESM1-M (-19) Giss-E2-R (-31) MIROC-ESM (12) MIROC-ESM-CHEM (-7) MRI-CGCM3 (-29) CNRM-CM5 (-104)	Distante FGOALS-g2 (121) CCSM4 (208) CSIRO-Mk3-6-0 (306) IPSL-CM5A-MR (131) HadGEM2-ES (189) BCC-CSM1-1 (243) INMCM4 (58) ACCESS1.0 (396) HadGEM2-CC (329) IPSL-CM5A-LR (299) CanESM2 (273) NorESM1-M (26) Giss-E2-R (-22) MIROC-ESM (104) MIROC-ESM-CHEM (127) MRI-CGCM3 (-5) CNRM-CM5 (-106)	Próximo HadGEM2-ES (200) CSIRO-Mk3-6-0 (274) ACCESS1.0 (445) HadGEM2-CC (399) CanESM2 (138) MIROC-ESM (192) MIROC5 (178) MRI-CGCM3 (217) MIROC-ESM-CHEM (164) BCC-CSM1-1 (165) CCSM4 (47) IPSL-CM5A-LR (101) FIO-ESM (43) CNRM-CM5 (59) NorESM1-M (-41) EC-EARTH (13) FGOALS-g2 (-58)	Distante HadGEM2-ES (241) CSIRO-Mk3-6-0 (297) ACCESS1.0 (586) HadGEM2-CC (452) CanESM2 (246) MIROC-ESM (183) MIROC5 (158) MRI-CGCM3 (265) MIROC-ESM-CHEM (190) BCC-CSM1-1 (184) CCSM4 (39) IPSL-CM5A-LR (208) FIO-ESM (98) CNRM-CM5 (83) NorESM1-M (12) EC-EARTH (23) FGOALS-g2 (-61)
eiro Tercil Segundo Tercil Primeiro Tercil	JJ Próximo FGOALS-g2 (138) CCSM4 (187) CSIRO-Mk3-6-0 (200) IPSL-CM5A-MR (138) HadGEM2-ES (96) BCC-CSM1-1 (214) INMCM4 (48) ACCESS1.0 (301) HadGEM2-CC (249) IPSL-CM5A-LR (269) CanESM2 (136) NorESM1-M (-19) Giss-E2-R (-31) MIROC-ESM (12) MIROC-ESM-CHEM (-7) MRI-CGCM3 (-29) CNRM-CM5 (-104) MIROC5 (-105)	Distante FGOALS-g2 (121) CCSM4 (208) CSIRO-Mk3-6-0 (306) IPSL-CM5A-MR (131) HadGEM2-ES (189) BCC-CSM1-1 (243) INMCM4 (58) ACCESS1.0 (396) HadGEM2-CC (329) IPSL-CM5A-LR (299) CanESM2 (273) NorESM1-M (26) Giss-E2-R (-22) MIROC-ESM (104) MIROC-ESM-CHEM (127) MRI-CGCM3 (-5) CNRM-CM5 (-106) MIROC5 (-59)	Próximo HadGEM2-ES (200) CSIRO-Mk3-6-0 (274) ACCESS1.0 (445) HadGEM2-CC (399) CanESM2 (138) MIROC-ESM (192) MIROC5 (178) MRI-CGCM3 (217) MIROC-ESM-CHEM (164) BCC-CSM1-1 (165) CCSM4 (47) IPSL-CM5A-LR (101) FIO-ESM (43) CNRM-CM5 (59) NorESM1-M (-41) EC-EARTH (13) FGOALS-g2 (-58) IPSL-CM5A-MR (-35)	Distante HadGEM2-ES (241) CSIRO-Mk3-6-0 (297) ACCESS1.0 (586) HadGEM2-CC (452) CanESM2 (246) MIROC-ESM (183) MIROC5 (158) MRI-CGCM3 (265) MIROC-ESM-CHEM (190) BCC-CSM1-1 (184) CCSM4 (39) IPSL-CM5A-LR (208) FIO-ESM (98) CNRM-CM5 (83) NorESM1-M (12) EC-EARTH (23) FGOALS-g2 (-61) IPSL-CM5A-MR (21)
erceiro Tercil Segundo Tercil Primeiro Tercil	JJ Próximo FGOALS-g2 (138) CCSM4 (187) CSIRO-Mk3-6-0 (200) IPSL-CM5A-MR (138) HadGEM2-ES (96) BCC-CSM1-1 (214) INMCM4 (48) ACCESS1.0 (301) HadGEM2-CC (249) IPSL-CM5A-LR (269) CanESM2 (136) NorESM1-M (-19) Giss-E2-R (-31) MIROC-ESM (12) MIROC-ESM-CHEM (-7) MRI-CGCM3 (-29) CNRM-CM5 (-104) MIROC5 (-105) EC-EARTH (-61)	Distante FGOALS-g2 (121) CCSM4 (208) CSIRO-Mk3-6-0 (306) IPSL-CM5A-MR (131) HadGEM2-ES (189) BCC-CSM1-1 (243) INMCM4 (58) ACCESS1.0 (396) HadGEM2-CC (329) IPSL-CM5A-LR (299) CanESM2 (273) NorESM1-M (26) Giss-E2-R (-22) MIROC-ESM (104) MIROC-ESM-CHEM (127) MRI-CGCM3 (-5) CNRM-CM5 (-106) MIROC5 (-59) EC-EARTH (-88)	Próximo HadGEM2-ES (200) CSIRO-Mk3-6-0 (274) ACCESS1.0 (445) HadGEM2-CC (399) CanESM2 (138) MIROC-ESM (192) MIROC5 (178) MRI-CGCM3 (217) MIROC-ESM-CHEM (164) BCC-CSM1-1 (165) CCSM4 (47) IPSL-CM5A-LR (101) FIO-ESM (43) CNRM-CM5 (59) NorESM1-M (-41) EC-EARTH (13) FGOALS-g2 (-58) IPSL-CM5A-MR (-35) Giss-E2-R (-116)	Distante HadGEM2-ES (241) CSIRO-Mk3-6-0 (297) ACCESS1.0 (586) HadGEM2-CC (452) CanESM2 (246) MIROC-ESM (183) MIROC5 (158) MRI-CGCM3 (265) MIROC-ESM-CHEM (190) BCC-CSM1-1 (184) CCSM4 (39) IPSL-CM5A-LR (208) FIO-ESM (98) CNRM-CM5 (83) NorESM1-M (12) EC-EARTH (23) FGOALS-g2 (-61) IPSL-CM5A-MR (21) Giss-E2-R (-67)
Terceiro Tercil Segundo Tercil Primeiro Tercil	JJ Próximo FGOALS-g2 (138) CCSM4 (187) CSIRO-Mk3-6-0 (200) IPSL-CM5A-MR (138) HadGEM2-ES (96) BCC-CSM1-1 (214) INMCM4 (48) ACCESS1.0 (301) HadGEM2-CC (249) IPSL-CM5A-LR (269) CanESM2 (136) NorESM1-M (-19) Giss-E2-R (-31) MIROC-ESM (12) MIROC-ESM-CHEM (-7) MRI-CGCM3 (-29) CNRM-CM5 (-104) MIROC5 (-105) EC-EARTH (-61) FIO-ESM (-196)	Distante FGOALS-g2 (121) CCSM4 (208) CSIRO-Mk3-6-0 (306) IPSL-CM5A-MR (131) HadGEM2-ES (189) BCC-CSM1-1 (243) INMCM4 (58) ACCESS1.0 (396) HadGEM2-CC (329) IPSL-CM5A-LR (299) CanESM2 (273) NorESM1-M (26) Giss-E2-R (-22) MIROC-ESM (104) MIROC-ESM-CHEM (127) MRI-CGCM3 (-5) CNRM-CM5 (-106) MIROC5 (-59) EC-EARTH (-88) FIO-ESM (-230)	Próximo HadGEM2-ES (200) CSIRO-Mk3-6-0 (274) ACCESS1.0 (445) HadGEM2-CC (399) CanESM2 (138) MIROC-ESM (192) MIROC5 (178) MRI-CGCM3 (217) MIROC-ESM-CHEM (164) BCC-CSM1-1 (165) CCSM4 (47) IPSL-CM5A-LR (101) FIO-ESM (43) CNRM-CM5 (59) NorESM1-M (-41) EC-EARTH (13) FGOALS-g2 (-58) IPSL-CM5A-MR (-35) Giss-E2-R (-116) INMCM4 (-248)	Distante HadGEM2-ES (241) CSIRO-Mk3-6-0 (297) ACCESS1.0 (586) HadGEM2-CC (452) CanESM2 (246) MIROC-ESM (183) MIROC5 (158) MRI-CGCM3 (265) MIROC-ESM-CHEM (190) BCC-CSM1-1 (184) CCSM4 (39) IPSL-CM5A-LR (208) FIO-ESM (98) CNRM-CM5 (83) NorESM1-M (12) EC-EARTH (23) FGOALS-g2 (-61) IPSL-CM5A-MR (21) Giss-E2-R (-67) INMCM4 (-233)

Tabela C-4 – Igual a tabela C-1, mas para o cenário RCP 8.5