



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

**PROJEÇÕES DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS
GLOBAIS: ANÁLISE DE CONFIABILIDADE DOS
MODELOS CLIMÁTICOS DO CMIP5**

MONOGRAFIA DE GRADUAÇÃO

Diogo Malagutti Gonçalves Marietto

Itajubá, MG, Brasil

2017

PROJEÇÕES DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS GLOBAIS: ANÁLISE DE CONFIABILIDADE DOS MODELOS CLIMÁTICOS DO CMIP5

por

Diogo Malagutti Gonçalves Marietto

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

Orientador: Dr. Roger Rodrigues Torres

Itajubá, MG, Brasil

2017

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

A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova a
Monografia

**PROJEÇÕES DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS GLOBAIS:
ANÁLISE DA CONFIABILIDADE DOS MODELOS CLIMÁTICOS
DO CMIP5**

elaborada por

Diogo Malagutti Gonçalves Marietto

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

Comissão Examinadora:



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



Michelle Simões Reboita, Dr^a. (UNIFEI)



Luiz Fernando Santos, MSc. (INPE)

Itajubá, 17 de novembro de 2017.

AGRADECIMENTOS

Ao orientador, Prof. Dr. Roger Rodrigues Torres, pelo acompanhamento, orientação e amizade.

A Universidade Federal de Itajubá e todo seu corpo docente, além da direção e a administração, que realizam seu trabalho com tanto amor e dedicação, trabalhando incansavelmente para que nós, alunos, possamos contar com um ensino de extrema qualidade.

Aos meus pais, por não medirem esforços para que eu pudesse levar meus estudos adiante.

Aos meus amigos, por confiarem em mim e estarem do meu lado em todos os momentos da vida.

A todos que direta ou indiretamente fizeram parte da minha formação, o meu muito obrigado.

A meus pais, familiares e amigos, que me incentivaram, apoiaram e sempre acreditaram em mim e nos meus sonhos.

“A história da humanidade e nossa relação com a Terra podem ser vistas como uma aventura contínua ou uma tragédia envolta em um mistério. A escolha é nossa.”

Al Gore

PROJEÇÕES DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS GLOBAIS: ANÁLISE DE CONFIABILIDADE DOS MODELOS CLIMÁTICOS DO CMIP5.

AUTOR: DIOGO MALAGUTTI GONÇALVES MARIETTO

ORIENTADOR: DR. ROGER RODRIGUES TORRES

Local e Data da Defesa: Itajubá, 17 de novembro de 2017.

Cada vez mais as mudanças climáticas são assunto do dia-a-dia, o que ressalta a importância dos estudos sobre o tema. Este trabalho tem como objetivo analisar as incertezas relacionadas às mudanças climáticas sobre toda a região continental do globo projetadas pelos modelos pertencentes ao CMIP5 para os cenários forçantes RCP4.5 e RCP8.5. Para essa análise, foi utilizado o método Média de Confiabilidade do Conjunto (do inglês REA), o qual utiliza-se de dois parâmetros para balancear os modelos com melhor desempenho: o parâmetro do viés e o da distância à média do conjunto. As projeções indicam um aumento de temperatura para os dois cenários avaliados, com esse aumento podendo chegar até os 6°C, como em grande parte do Hemisfério Norte nos cenários do RCP8.5. A região mais afetada da América do Sul será o centro-oeste e norte do Brasil e a Bolívia. As mudanças na precipitação apresentam um padrão diferente com relação à temperatura, com acréscimos e decréscimos sendo dependentes da região do planeta e época do ano. As regiões de maior confiabilidade são encontradas para a variável temperatura no cenário RCP8.5, principalmente para o Brasil, Estados Unidos e Rússia e para a precipitação, em geral, a confiabilidade dos modelos é baixa para ambos os cenários. Com o método REA, percebe-se que a média simples costuma superestimar os valores em relação à média REA. Por fim, apesar das incertezas associadas às variáveis, as mudanças no clima terrestre são evidentes.

Palavras-chave: Mudanças Climáticas. Incertezas. CMIP5. Temperatura. Precipitação.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - Média REA para a temperatura.....	15
FIGURA 2 - Média REA para a temperatura.....	25
FIGURA 3 - Média normal para a temperatura.....	27
FIGURA 4 – Média simples menos a média REA para a variável temperatura média do ar.....	28
FIGURA 5 - Parâmetro Rb sazonal para temperatura.....	30
FIGURA 6 - Parâmetro Rd sazonal para temperatura.....	32
FIGURA 7 - Variável $\delta_{\Delta\xi}$ sazonal para temperatura.....	34
FIGURA 8 - Parâmetro ρ sazonal para temperatura.....	36
FIGURA 9 - Média REA para a precipitação.....	38
FIGURA 10 - Média normal para a precipitação.....	40
FIGURA 4 – Média simples menos a média REA para a variável precipitação.....	41
FIGURA 12 - Parâmetro Rb sazonal para precipitação.....	43
FIGURA 13 - Parâmetro Rd sazonal para precipitação.....	45
FIGURA 14 -Variável $\delta_{\Delta\xi}$ sazonal para precipitação.....	47
FIGURA 15 -Parâmetro ρ sazonal para precipitação.....	48

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - Conjunto de modelos do CMIP5.....	19
TABELA 2 – Lista de parâmetros utilizados nos cálculos.....	21

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

IPCC - Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas.

SRES - Relatório Especial de Cenários de Emissões.

SYR – Relatório de Síntese.

GCM – Modelo de Circulação Geral.

CMIP5 – Projeto de Intercomparação de Modelos Acoplados Fase 5.

PDF – Função de Densidade de Probabilidade.

CDF - Função de Distribuição Cumulativa.

REA – Média de Confiabilidade do Conjunto.

RCPPs – *Representative Concentration Pathways*.

IPCC AR5 – 5º Relatório de Avaliação do IPCC.

ξ - Variável Climática.

$\Delta\xi$ – Variação Média para uma Variável Climática.

R_i – Fator de Confiança do Modelo.

$R_{B,i}$ – Parâmetro de confiabilidade baseado no viés.

$B_{\xi,i}$ – Viés.

$R_{D,i}$ - Parâmetro de confiabilidade baseado na distância.

$D_{\xi,i}$ – Distância.

$\delta_{\Delta\xi}$ – Mudança média do REA.

ρ – Confiabilidade do conjunto.

DJF – Dezembro, janeiro e fevereiro.

MAM – Março, abril e maio.

JJA – Junho, julho e agosto.

SON – Setembro, outubro e novembro.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	viii
LISTA DE TABELAS.....	ix
LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS.....	x
1. INTRODUÇÃO	12
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	15
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	18
3.1. DADOS	18
3.2. MÉDIA DE CONFIABILIDADE DO CONJUNTO	20
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	23
4.1. TEMPERATURA	23
4.2. PRECIPITAÇÃO	37
5. CONCLUSÕES	49
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	50

1. INTRODUÇÃO

Com o avanço da ciência e tecnologia nos últimos tempos foi possível um melhor entendimento do sistema climático, facilitando as análises das possíveis causas e consequências das mudanças climáticas atuais e futuras. Apesar desse avanço, as incertezas relacionadas às projeções de mudanças climáticas, obtidas por modelos numéricos, ainda são grandes e quando analisadas em escalas regionais tendem a ter uma maior incerteza associada. De acordo com Giorgi (2005) e Knutti et al. (2010), as fontes dessas incertezas são inúmeras e já são associadas logo no início do processo de modelagem; dessa forma, só aumentam conforme o processo evolui. Os fatores causadores dessas incertezas podem ser: comportamento estocástico e não-linear do sistema climático (variabilidade interna do sistema climático, como por exemplo o El Niño), aspectos das forçantes naturais e de origem antropogênica (emissão de gases por vulcões, emissões de gases do efeito estufa e aerossóis, etc.), falta de conhecimento sobre os parâmetros iniciais e de fronteira, e erros associados ao modelo numérico e/ou desconhecimento do funcionamento de algumas componentes dos sistema climático (Giorgi, 2005; Collins, 2007; Tebaldi e Knutti, 2007; Knutti et al., 2010).

Para amenizar essas incertezas, algumas técnicas são utilizadas, tais como: uso de múltiplos modelos com diferentes configurações (Collins, 2007; Tebaldi e Knutti, 2007) e conjuntos de modelos com física perturbada (Murphy et al., 2007). Esses conjuntos de modelos usam inúmeros cenários de emissão de gases do efeito estufa e aerossol, como os indicados pelo Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (do inglês, IPCC) no Relatório Especial de Cenários de Emissões (do inglês, SRES), os quais tentam cobrir todo o alcance de emissões futuras em diferentes cenários de não-invertençãogovernamental (Nakicenovic et al., 2000).

Como as mudanças climáticas têm uma incerteza intrínseca associada (Giorgi, 2005), então, estatísticas devem ser usadas para efetuar análises sobre o clima futuro. O grau de incerteza está intrinsecamente associado com a variável que está sendo estudada e às escalas de espaço/tempo utilizadas. Apesar da complexidade do sistema climático, se analisado em grandes escalas (espacial e temporal), é possível obter uma projeção mais confiável (Knutti, 2008).

De acordo com o 5º Relatório do IPCC (IPCC, 2014), é evidente que a influência humana no sistema climático é presente e crescente, com impactos sobre todos os continentes e oceanos. Muitas das mudanças observadas a partir de 1950 nunca foram observadas anteriormente. O IPCC indica, com 95% de certeza, que a ação antropogênica é a principal causa do aquecimento global. Ainda, quanto mais o homem interfere no clima, maiores os riscos de impactos severos sobre as comunidades e ecossistemas, podendo causar mudanças de longa duração em todas as componentes do sistema climático (IPCC, 2014).

Muitos estudos têm analisado as mudanças climáticas sobre o globo utilizando os Modelos de Circulação Geral (do inglês, GCMs) da 5ª geração do Projeto de Intercomparação de Modelos Acoplados (do inglês, CMIP5) (Ahlström et al., 2012; Taylor et al., 2012; Diffenbaugh e Giorgi, 2012; Knutti e Sedláček, 2013; Dufresne et al., 2013). Tais estudos indicam que cada modelo apresenta um melhor ou pior desempenho dependendo da região e estação analisada (Torres e Marengo, 2014).

Um método comum de congregar os resultados das projeções de um conjunto de modelos é fazer uma média simples dos inúmeros modelos, na qual todos os membros recebem o mesmo peso. Esse método é útil para aproximar os resultados da média observada e é melhor que qualquer modelo analisado separadamente (Ebert, 2001). Outras técnicas propostas para lidar com as diferentes projeções climáticas é separar os modelos de melhor performance dos de pior performance por região (dando pesos dependendo das performances obtidas pelos modelos) e usar aproximações estatísticas, em que os resultados dos inúmeros modelos geraria uma função de densidade de probabilidade ou a função de distribuição cumulativa (PDF ou CDF, respectivamente). (Wigley e Raper, 2001; Giorgi e Mearns, 2002; 2003; Greene et al., 2006; Murphy et al., 2007; Tebaldi et al., 2005; Giorgi, 2005; Collins, 2007; Xu et al., 2010).

Neste estudo será utilizado outro método estatístico, o método de médias de confiabilidade do conjunto (do inglês, *Reliability Ensemble Averaging* - REA) apresentado por Giorgi e Mearns (2002; 2003), que consiste na “confiabilidade” de cada modelo, a qual é determinada por dois critérios: pela habilidade do modelo em reproduzir a série histórica (1961-1990) (critério de desempenho do modelo); e o grau de convergência de um único modelo comparado com a média do conjunto de modelos para o tempo futuro

(2071-2100) (critério de convergência). Este método permite uma avaliação da média da projeção climática do conjunto de modelos, calcular a variação da incerteza associada e gerar resultados probabilísticos. Por conta da facilidade de aplicar este método é que o mesmo será utilizado nessa pesquisa para avaliar as incertezas associadas às mudanças climáticas ao redor do globo.

Visto que a complexidade do que foi citado anteriormente é grande e na necessidade de entender as incertezas associadas às mudanças climáticas projetadas ao longo de todo o globo, esta pesquisa visa avaliar as incertezas relacionadas às projeções de mudanças climáticas utilizando o método REA para analisar os modelos com os *Representative Concentration Pathways* (RCPs) do CMIP5.

Portanto, este trabalho tem como objetivo analisar, por meios estatísticos, as projeções para as mudanças relacionadas às variáveis temperatura média do ar e precipitação ao longo de todo o globo e as suas incertezas associadas ao comportamento dos modelos.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A preocupação com a influência do homem nas mudanças climáticas resultou em vários estudos para avaliar a ação de gases do efeito estufa no sistema climático (IPCC, 1996). O sistema climático consiste de cinco componentes principais que interagem entre si: a atmosfera, a hidrosfera, a criosfera, a litosfera, e a biosfera. O sistema climático é influenciado, conforme o tempo, pela sua própria dinâmica e por forçantes externas (Moss et al., 2010). Segundo Torres e Marengo (2014), o termo “mudança climática” tem relação com uma variação no estado do clima em resposta a uma alteração no sistema climático, e que pode ser identificada como uma mudança no valor médio ou na variabilidade de suas variáveis, com duração longa, normalmente num período acima de décadas. Assim como para o sistema climático, as mudanças climáticas podem ser atribuídas à variabilidade natural do sistema e também quando a atuação de forçantes externas (IPCC, 2007; Hegerl et al., 2007).

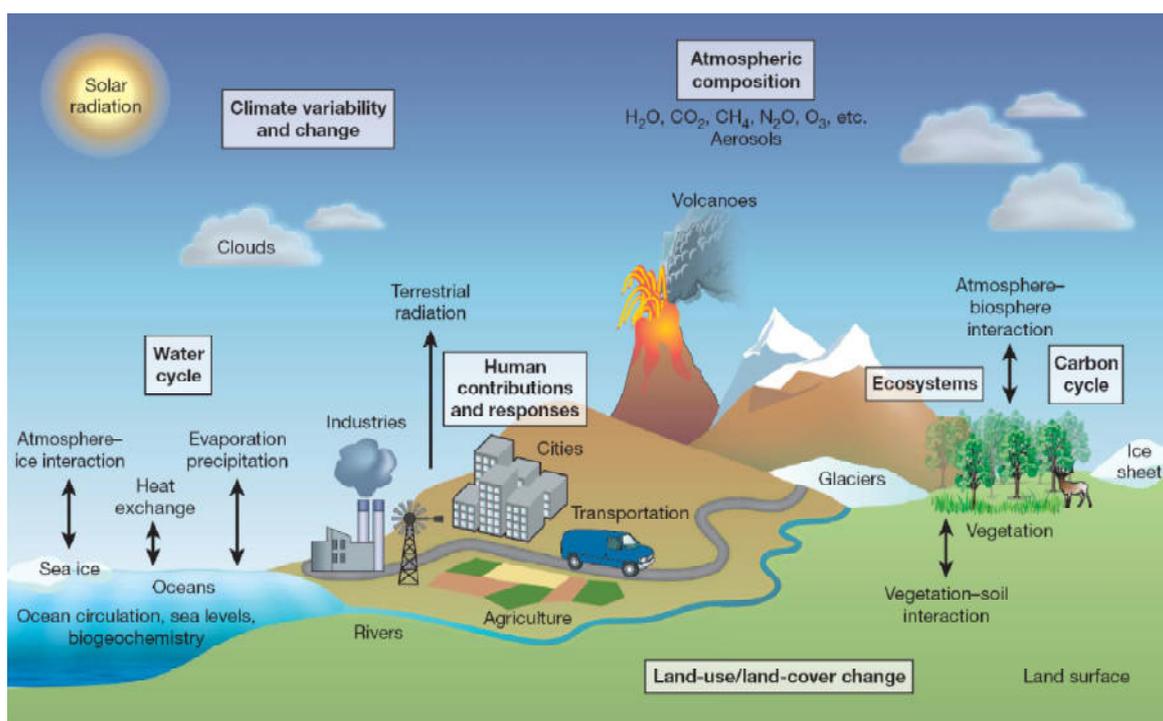


Figura 1 - Principais processos naturais e antropogênicos influenciando o sistema climático.
Fonte: Moss et al. 2010.

A Terra, desde sua formação, vem sofrendo inúmeras mudanças em seu clima devido à variabilidade natural de seu sistema (deriva dos continentes, variação na estrutura e composição de sua atmosfera, variação nos parâmetros orbitais e erupções vulcânicas) (Torres e Marengo, 2014). Essas variações ocorrem na escala de tempo de milhares de anos, a não ser pelas erupções vulcânicas. Isso significa que é uma escala de tempo muito maior que a da vida dos seres humanos, para que os mesmos percebam essas flutuações no clima. Segundo Marengo (2001), as emissões excessivas de dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4) e óxido nitroso (N_2O) podem provocar mudanças permanentes e irreversíveis no clima. Isso pode significar que a ação antropogênica vem se sobressaindo à variabilidade natural no que diz respeito à variação climática. De acordo com o Quarto Relatório de Avaliação do IPCC, a elevação na temperatura média do ar observada a partir da segunda metade do século XX pode ser devido a ação humana. Ainda, os níveis de CO_2 tiveram um aumento em volume de 280 partes por milhão (ppm) no período anterior a revolução industrial (1860) para 360 ppm no início do século XXI (Marengo, 2001), ultrapassando o valor de 400 ppm nos dias atuais (IPCC, 2014). Para que haja um discernimento entre os efeitos causados pelas inúmeras forçantes externas e pela variabilidade natural do sistema climático é necessário que seja feita uma comparação com certos cuidados entre as mudanças observadas e aquelas esperadas como resultado de determinados fatores que influenciam no clima (Torres e Marengo, 2014).

As mudanças climáticas abrangem vários aspectos, como: economia, ciência e política (Nordhaus, 1994). Lidar com os desafios do aquecimento global é uma tarefa assustadora para cientistas e economistas, os quais são responsáveis por entender as mudanças futuras, e para os tomadores de decisão, que são os políticos, para equilibrar riscos e custos.

Apesar do avanço da ciência e tecnologia, os processos que ocorrem na atmosfera ainda não são produzidos de forma fidedigna em laboratórios, então os cientistas utilizam modelos numéricos, tais como os modelos climáticos, para entender os possíveis comportamentos desse sistema com relação a suas forçantes. Segundo Torres e Marengo (2014), um modelo climático é formado por um sistema de equações diferenciais discretizadas de alta complexidade que representam as leis físicas, químicas, e biológicas que ditam o comportamento do sistema climático e suas relações. Por conta desse sistema ser altamente complexo, por conter inúmeros processos não-lineares e estocásticos, e

inúmeros processos ainda desconhecidos ou pouco entendidos pelos cientistas, tais modelos são representações aproximadas da realidade desses sistemas. Ainda, mesmo com o avanço da tecnologia e do entendimento da dinâmica dos sistemas nos últimos anos, o que faz com que haja um avanço na implementação de processos físicos, químicos e biológicos nesses modelos, ainda há um grande gasto computacional, o qual inibe o processamento em alta resolução (quando processado para o globo, a ordem da resolução é por volta das centenas de quilômetros) (Giorgi, 2005; Collins, 2007; Räisänen, 2007; Annan e Hargreaves, 2010). Dito isso, os GCMs, não possuem uma representação totalmente fidedigna do clima que é observado e não possibilitam um detalhamento em menor escala (regional), que são fatores importantes nos estudos de adaptação, impacto e vulnerabilidade (Torres e Marengo, 2014).

Ir em direção a algo desconhecido não significa que não há nada a se fazer com relação ao gerenciamento de recursos naturais. As abordagens indeterministas baseiam o planejamento em uma suposição de que informações sobre o futuro não são adequadamente conhecidas, e planejam, em vez disso, diretamente pela incerteza (Millar, 2007).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Dados

Este estudo utiliza simulações e projeções de precipitação e de temperatura média do ar próximo a superfície gerada por 24 modelos (Tabela 1) utilizados no CMIP5 (Taylor et al., 2012) para os RCPs 2.6, 4.5, 6.0 e 8.5, que correspondem a uma forçante radiativa de 2,6, 4,5, 6,0 e 8,5 Wm^{-2} com dados médios mensais. Tais modelos foram usados no 5º Relatório de Avaliação do IPCC (IPCC AR5, IPCC, 2013).

Simulações da série histórica e projeções usando quatro diferentes cenários de emissão são resultados que serão utilizados para as médias sazonais para os períodos de 1961-1990 (série histórica) e 2071-2100 (projeções). Neste estudo, o termo mudanças será utilizado para designar a diferença entre as projeções menos a série histórica. Todas as simulações feitas para o século XX são comparadas com as temperaturas da superfície e precipitação pertencente ao conjunto de dados do CRU TS 3.0, com resolução de 0,5°, (Mitchell e Jones, 2005) produzida pela *Climate Research Unit of University of East Anglia*.

As resoluções dos modelos utilizados variam de aproximadamente 1° a 5° de latitude/longitude aproximadamente (Tabela 1), e por motivos de comparação, todos os dados foram interpolados para uma grade regular de 2.5° x 2.5° de latitude/longitude.

Tabela 1 - Lista de modelos do conjunto CMIP5 utilizados neste estudo, com a descrição das resoluções horizontais aproximadas, e número de rodadas das simulações futuras (RCPs 2.6, 4.5, 6.0, 8.5) e históricas.

Modelos	Resolução	Histórico	RCP			
			2.6	4.5	6.0	8.5
FGOALS-g2	3.1 ° x 2.8 °	4	1	1	-	1
BCC-CSM1-1	2.8 ° x 2.8 °	3	1	1	1	1
CanESM2	2.8 ° x 2.8 °	5	5	5	-	5
MIROC-ESM	2.8 ° x 2.8 °	3	1	1	1	1
FIO-ESM	2.8 ° x 2.8 °	1	1	1	1	1
MIROC-ESM-CHEM	2.8 ° x 2.8 °	1	1	1	1	1
GFDL-CM3	2.0 ° x 2.5 °	5	1	1	1	1
GFDL-ESM2G	2.0 ° x 2.5 °	1	1	1	1	-
Giss-E2-R	2.0 ° x 2.5 °	5	1	5	1	1
GFDL-ESM2M	2.0 ° x 2.5 °	1	1	1	1	1
IPSL-CM5A-LR	1.9 ° x 3.8 °	4	1	3	1	3
NorESM1-M	1.9 ° x 2.5 °	3	1	1	1	1
CSIRO-Mk3-6-0	1.9 ° x 1.9 °	10	10	10	10	10
MPI-ESM-LR	1.9 ° x 1.9 °	3	3	3	-	3
INMCM4	1.5 ° x 2.0 °	1	-	1	-	1
CNRM-CM5	1,4 ° x 1,4 °	1	1	1	-	1
MIROC5	1.4 ° x 1.4 °	1	1	1	1	1
IPSL-CM5A-MR	1.3 ° x 2.5 °	1	1	1	-	1
HadGEM2-CC	1.3 ° x 1.9 °	1	-	1	-	1
HadGEM2-ES	1.3 ° x 1.9 °	4	1	1	1	4
ACCESS1.0	1.3 ° x 1.9 °	1	-	1	-	1
EC-EARTH	1.1 ° x 1.1 °	1	1	1	-	1
MRI-CGCM3	1.1 ° x 1.1 °	5	1	1	1	1
CCSM4	0.9 ° x 1.3 °	6	5	5	5	5

3.2 Médias de Confiabilidade do Conjunto

Pelo método REA (Giorgi e Mearns, 2002; 2003), a variação média para uma dada variável climática ξ ($\Delta\xi$) projetada por uma série de modelos é dada pela média ponderada pela mudança projetada ($\Delta\xi_i$) de cada modelo pertencente ao conjunto, dado por:

$$\Delta\xi = \frac{\sum_i R_i \Delta\xi_i}{\sum_i R_i} \quad (1)$$

em que R_i é o fator de confiança do modelo, o qual é definido por:

$$R_i = [(R_{B,i})^m \times (R_{D,i})^n]^{\frac{1}{m \times n}} = \left\{ \left[\frac{\varepsilon_\xi}{\text{abs}(B_{\xi,i})} \right]^m \left[\frac{\varepsilon_\xi}{\text{abs}(D_{\xi,i})} \right]^n \right\}^{\frac{1}{m \times n}} \quad (2)$$

Na equação 2, $R_{B,i}$ é um fator que mede o grau de confiança do modelo com base no seu viés ($B_{\xi,i}$), o qual é calculado a partir do que o modelo simulou para o clima presente e a média climatológica dos dados observados, ou seja, quanto maior o viés, menor a confiabilidade do modelo com relação à simulação feita para a série histórica. O $R_{D,i}$ é o critério com relação à distância ($D_{\xi,i}$) entre o que foi projetado pelo modelo e a média do conjunto, essa distância é calculada utilizando um método iterativo. Primeiramente, $D_{\xi,i}$ é uma estimativa entre a distância do que cada modelo projetou e a média das mudanças do conjunto, após isso, esses valores são utilizados para calcular as Eqs. (3) e (4) para obter a primeira média REA, a qual é utilizada para calcular os novos valores de $D_{\xi,i}$, e assim se repete essas iterações (Giorgi e Mearns, 2002). Foram realizadas 200 iterações. Os parâmetros m e n , apresentados por Giorgi e Mearns (2002) são para balancear os dois critérios (de viés e distância) de uma maneira diferente. Neste trabalho serão fixados em $m=n=1$, dando assim o mesmo peso para ambos os critérios, pois não há uma certeza de qual critério influencia mais na análise dos resultados (Giorgi e Mearns, 2002).

Tabela 2 – Lista de parâmetros, mostrando o símbolo, como calcular e o que significa.

Símbolo	Cálculo	Definição
$R_{B,i}$	$\left[\frac{\varepsilon_{\xi}}{abs(B_{\xi,i})} \right]^m$	Mede o grau de confiança do modelo com base no seu viés.
$R_{D,i}$	$\left[\frac{\varepsilon_{\xi}}{abs(D_{\xi,i})} \right]^n$	Mede o grau de confiança do modelo com base na distância entre o que foi projetado pelo modelo e a média do conjunto.
ε_{ξ}	Calcula-se a série temporal observada de temperatura média e precipitação. Após isso, calcula-se a média móvel para 30 anos a fim de remover as tendências e estima-se a diferença entre os valores máximos e mínimos dessa média móvel de 30 anos.	Variabilidade natural interna do sistema climático.
$B_{\xi,i}$	É dado pela diferença entre o que cada modelo simulou e a média climatológica observada.	Viés entre o que foi simulado por cada modelo e a média climatológica observada.
$D_{\xi,i}$	$\Delta\xi_i - \Delta\xi$	Distância entre o que foi projetado por cada modelo e a média das projeções do conjunto.

O critério de convergência é baseado no fato de que, para um dado cenário de emissões, se as mudanças climáticas projetadas obtidas por diferentes modelos não são tão discrepantes, estas mudanças são ditas mais confiáveis. Assim, a média dos modelos tem uma chance maior de convergir para as condições do período futuro a ser observado (2071-2100 neste estudo). Vale lembrar, assim como dito por Giorgi e Mearns (2002), que a média obtida pelo método REA para as projeções é apenas uma estimativa do clima futuro, já que as condições futuras são desconhecidas. Além disso, deve-se lembrar que a média REA envolve uma probabilidade de acontecimento, dado um cenário, e não uma certeza.

Como feito por Giorgi e Mearns (2002) e Torres e Marengo (2014), após a remoção da tendência linear dos dados, a variabilidade natural, da temperatura e precipitação, foi estimada para cada ponto de grade a partir da diferença entre os máximos e mínimos valores do período observado entre 1901-2000.

Adicionalmente, pode-se calcular as incertezas relacionadas com a mudança média do REA ($\delta_{\Delta\xi}$) e confiabilidade do conjunto (ρ):

$$\delta_{\Delta\xi} = \left[\frac{\sum_i Ri (\Delta\xi_i - \Delta\xi)^2}{\sum_i Ri} \right]^{1/2} \quad (3)$$

e

$$\rho = \frac{\sum_i Ri^2}{\sum_i Ri} \quad (4)$$

Ainda, de acordo com Giorgi e Mearns (2003), os critérios de confiabilidade podem ser usados para calcular a probabilidade das mudanças climáticas, baseando-se pelo conjunto de modelos do GCM. Entretanto, é muito subjetivo afirmar isso, já que há muitas variáveis que influenciam no sistema climático, tornando a complexidade da projeção ainda maior e tornando suscetível a erros. Também é subjetivo o quão bem um modelo projeta as mudanças climáticas já que não há dados para comprovar a eficácia do mesmo. Assim, para dar continuidade, algumas hipóteses devem ser assumidas: i) assumir que os modelos conseguem projetar o clima futuro, ii) que essas projeções estejam dentro do limite de incertezas; e também considerar que todos os modelos são independentes (Torres e Marengo, 2014).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Temperatura da Superfície

A Figura 2 apresenta a média REA das projeções para os cenários forçantes RCP4.5 e RCP8.5. Esses cenários foram escolhidos pelos seguintes motivos: o cenário RCP4.5 representa um padrão de emissões mais possível de se atingir, caso algumas medidas sejam tomadas; o cenário RCP8.5 representa o futuro cenário de emissões, caso mantenha-se o padrão de emissões de hoje em dia, ou seja, com nenhuma medida sendo tomada. As mudanças projetadas para a temperatura são apenas de aumento para todo o globo.

Para os meses de temperaturas mais amenas no Hemisfério Norte (DJF e SON), as projeções mostram valores mais altos de aumento na temperatura, principalmente no norte dos continentes onde esses valores podem ultrapassar os 5°C no RCP4.5. Para o segundo cenário (RCP 8.5) o padrão é o mesmo, porém com intensidades muito maiores, em que a maior parte do Hemisfério Norte pode enfrentar aumentos de 6°C ou mais, em todas as épocas do ano. Os maiores valores de aumento na temperatura para o Hemisfério Norte são encontrados no norte dos continentes.

Sobre a África, no cenário RCP4.5, as projeções mostram um aumento de 2°C à 4°C, sendo os valores mais altos no período de JJA e SON. O padrão para o RCP 8.5 segue o mesmo do cenário anterior, porém, com valores mais altos no aumento da temperatura, podendo atingir até os 6°C.

A Austrália e a América do Sul apresentam um comportamento bastante semelhante para ambos os cenários. Para o cenário RCP4.5, há um aumento gradativo na temperatura de dezembro para novembro, sendo este mais evidente no centro-oeste e noroeste da América do Sul, podendo chegar até os 3.5°C em algumas regiões. No cenário RCP8.5, as áreas com os maiores aumentos apresentam-seas mesmas avaliada para o cenário anterior, entretanto, com valores mais altos, com aumentos de temperatura em torno dos 6°C nas regiões mais críticas. A região menos afetada por este aumento projetado será a Argentina, com valores em torno de 2.5-4°C.

A Antártida também está sujeita a um aumento de temperatura, e o período que mais sofrerá com valores mais elevados será o de MAM, para ambos os cenários avaliados, podendo ultrapassar os valores de 5°C.

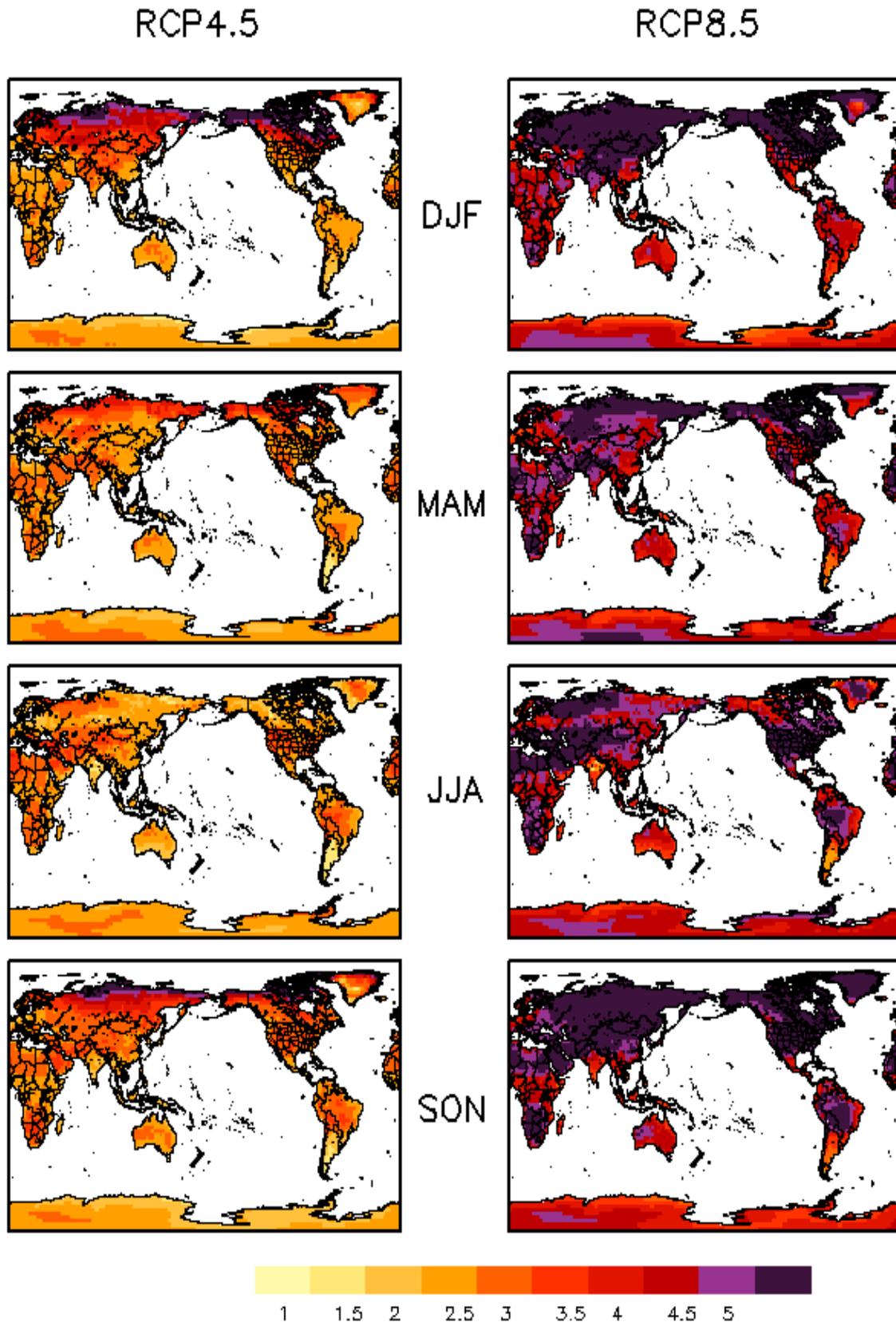


Figura 2 – Média REA para a temperatura dos 24 modelos pertencentes ao CMIP5.

Na figura 3 é apresentada a média simples, sem a utilização do método REA. O padrão é o mesmo analisado na figura anterior, porém, as magnitudes são diferentes.

Para o cenário RCP4.5, em sua grande maioria, a média simples excede a média REA, principalmente para o Hemisfério Norte. Em alguns locais, como o leste da América do Norte e o norte da Rússia, essa diferença pode chegar aos 0,5°C.

Para o RCP8.5, o padrão já não é mais o mesmo. Há áreas em que a média simples é menor que a média REA e áreas em que a média simples é mais elevada do que a média REA. Para os períodos de DJF e MAM, a média simples é maior do que a média REA em quase todas as regiões do planeta, exceto pelo centro e norte da África, sul da América do Norte, centro-oeste da América do Sul e Antártida. Já para os meses de JJA e SON, esse padrão de aumento de temperatura em algumas regiões e diminuição em outras também é presente, entretanto, com uma magnitude de 0.5°C.

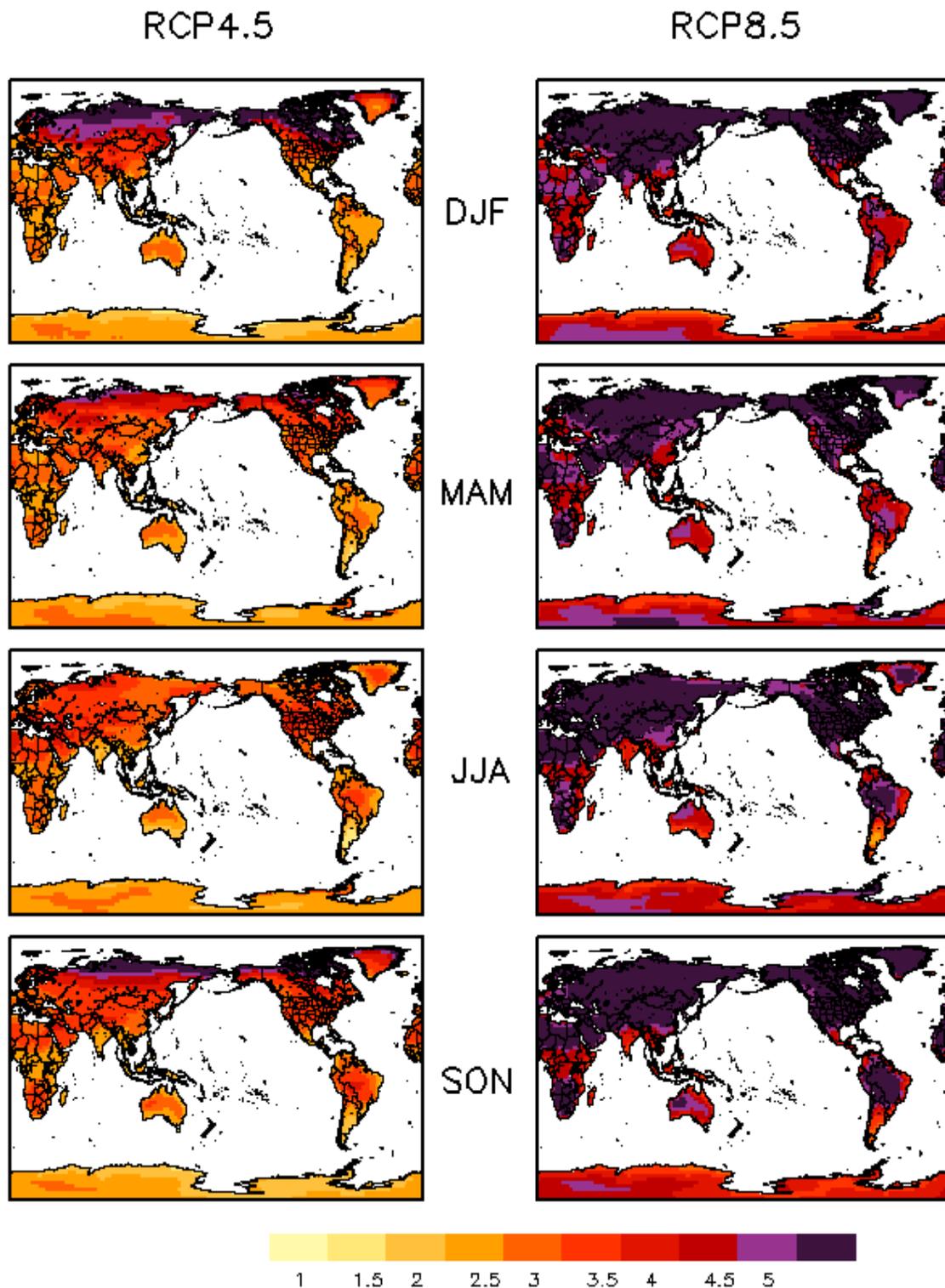


Figura 3 – Média simples para a temperatura dos 24 modelos pertencentes ao CMIP5.

A Figura 4 apresenta a diferença entre a média REA menos a média simples, o que facilita analisar a diferença entre as duas. Para o cenário RCP4.5 a média simples superestima a média REA em quase todo o globo, com essa diferença podendo chegar à 0,5°C. Para o segundo cenário, RCP8.5, nos períodos de MAM, JJA e SON a média

simples subestima a média REA nas regiões do norte e sul da África, México, uma parte da Europa e da Ásia e centro-oeste e norte da América do Sul.

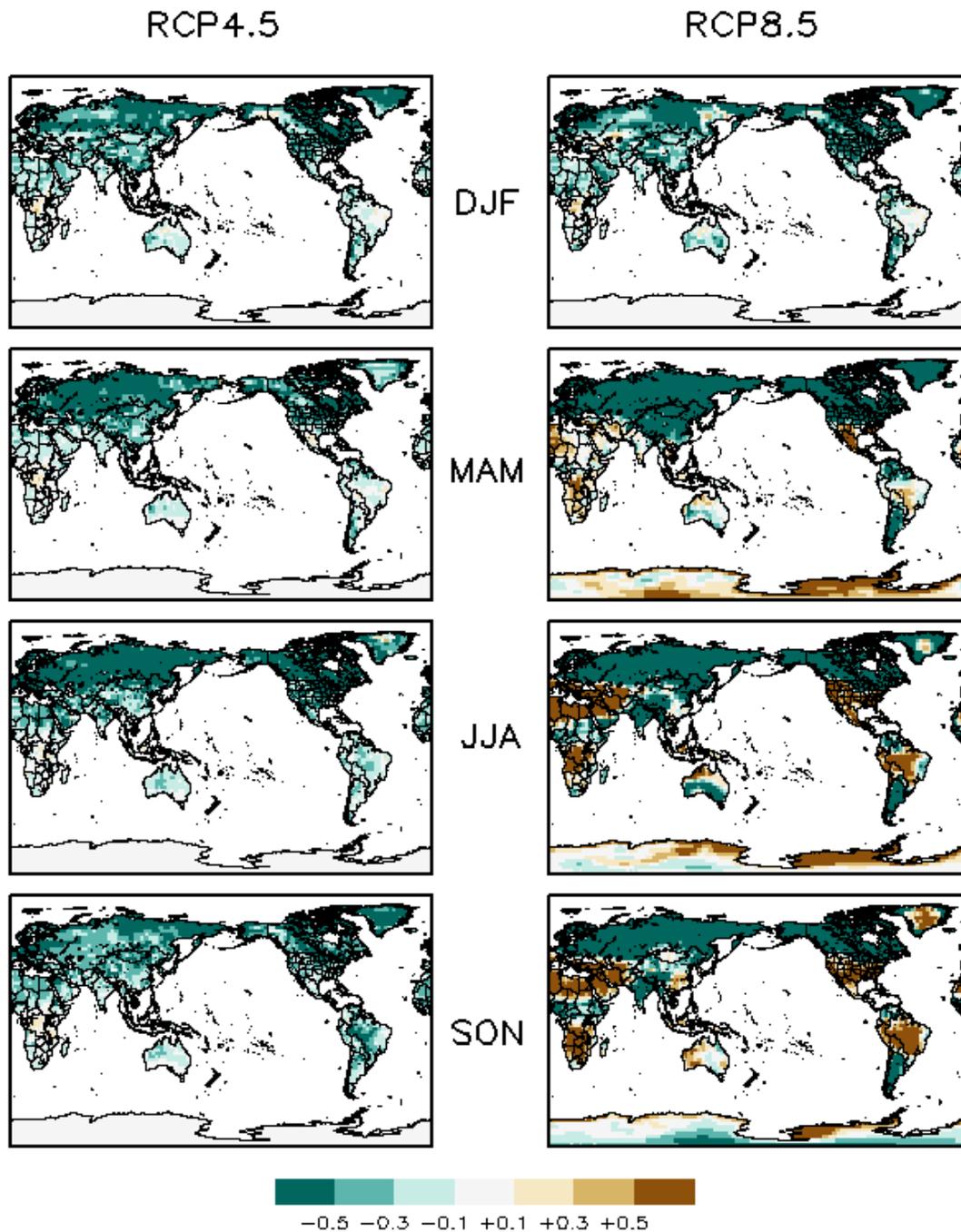


Figura 4 – Média simples menos a média REA para a variável temperatura média do ar.

A Figura 5 apresenta a confiabilidade do conjunto dos modelos em representar a variável temperatura do ar próximo a superfície para cada região do planeta. Quanto maior o valor do parâmetro R_B , que vai de zero à um, melhor a performance do conjunto

em representar o clima presente (1961-1990). No geral, há uma boa representação dos modelos para a climatologia do período, com ênfase para Europa e América do Norte, exceto pela Groenlândia, em que na maior parte do ano a representação foi menor que 0,3 para grande parte do território.

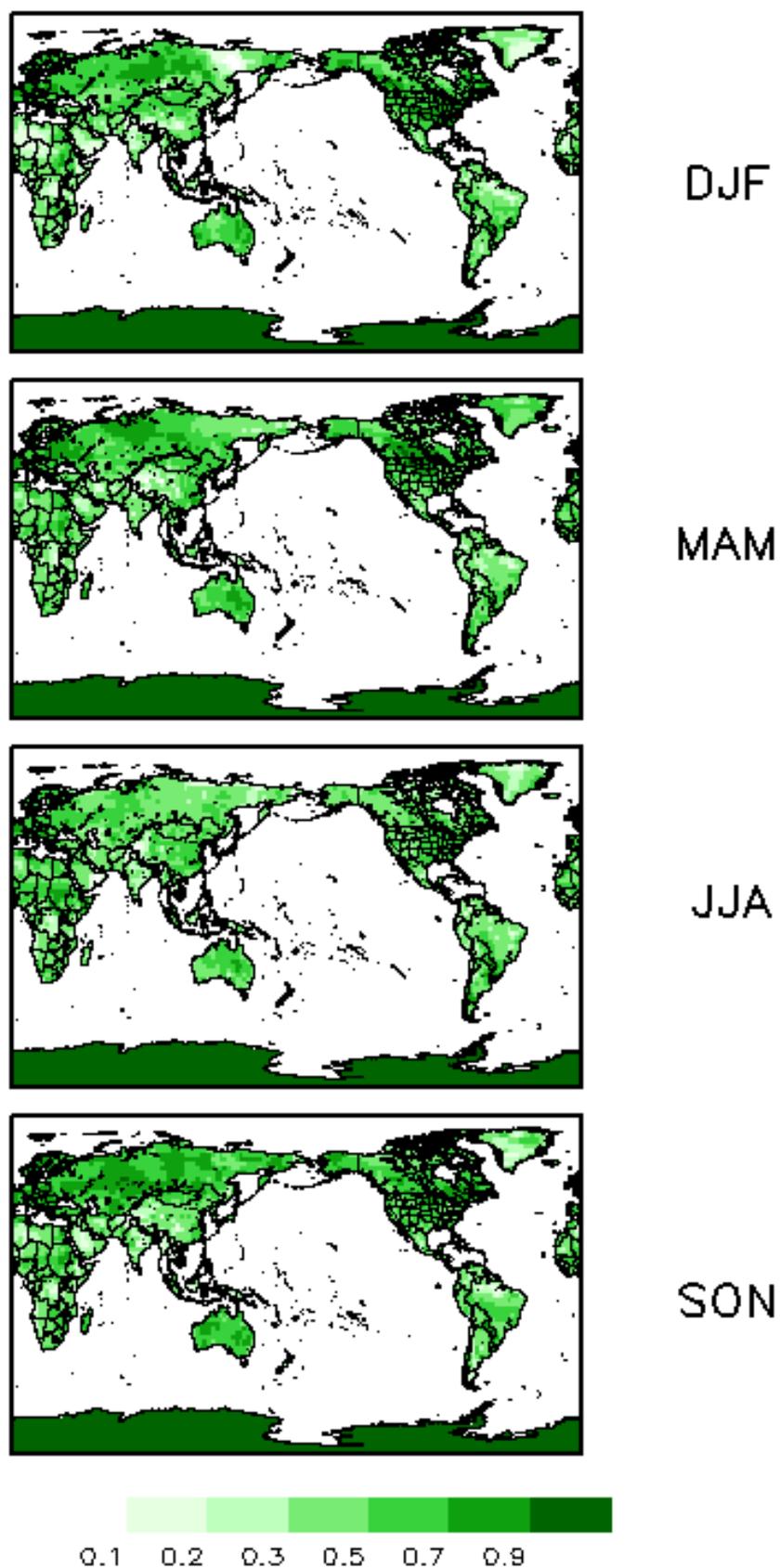


Figura 5– Parâmetro R_B sazonal, obtido através das simulações dos 24 modelos do CMIP5 para o período entre 1961-1990.

O parâmetro R_D (Figura 6) mede a distância entre a projeção dos modelos e a média do conjunto. Em tese, quanto maior essa distância, menor a capacidade do modelo em representar o clima futuro. O parâmetro R_D é inversamente proporcional à distância entre o que foi projetado pelo modelo e a média de projeções do conjunto.

Os valores mais altos, como no parâmetro R_B , continuam sendo vistos na América do Norte e na Europa (Figura 6), porém com uma menor intensidade neste caso. Para o cenário RCP8.5, nota-se uma significativa perda de confiabilidade nos resultados obtidos, se comparados aos do cenário RCP4.5. Um dos motivos para a distância ter aumentado tanto entre o que foi projetado e a média dos modelos, pode ser o fato de que o segundo caso é um cenário mais extremo, de maiores taxas de emissões de gases de efeito estufa.

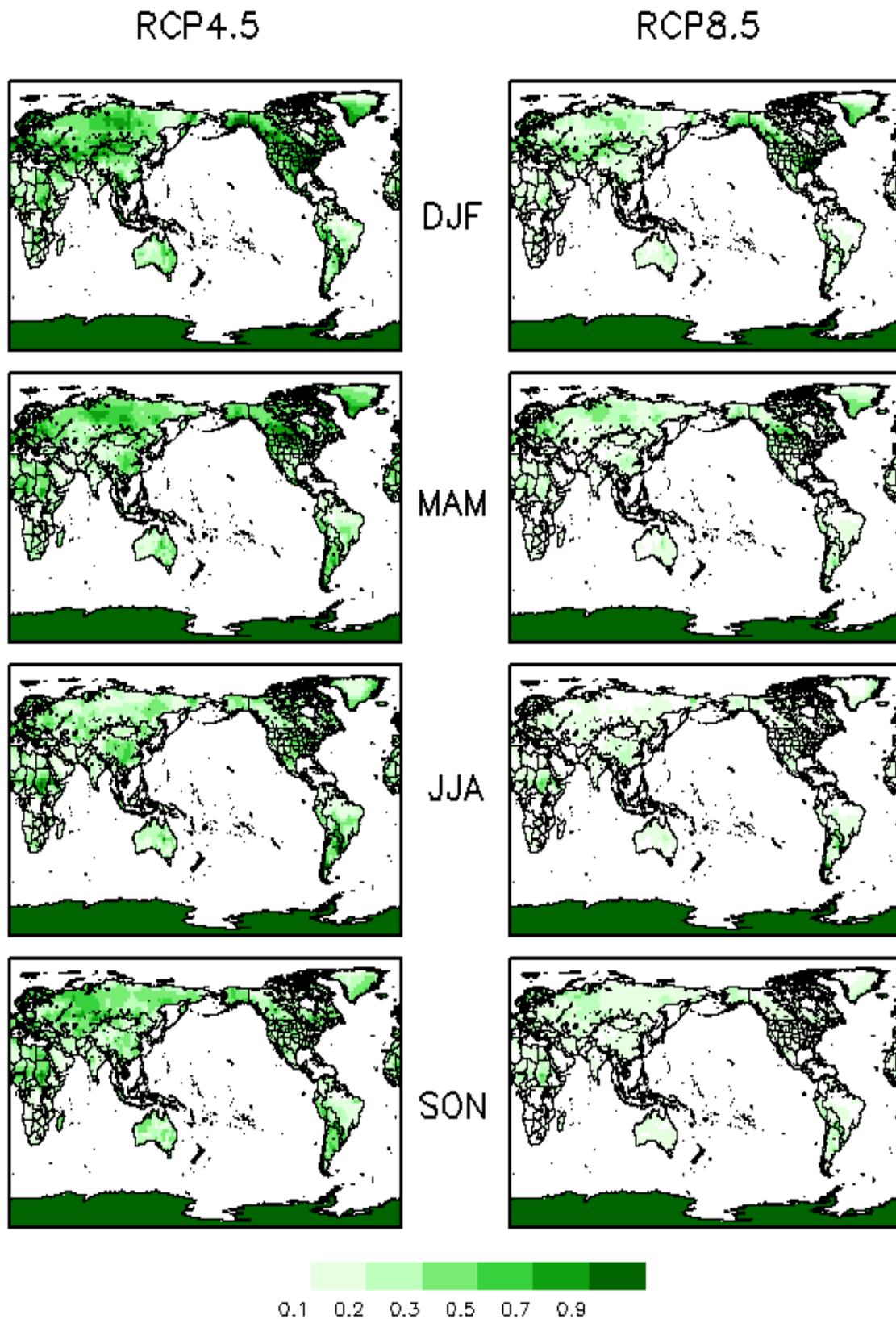


Figura 6 – Parâmetro R_D sazonal, obtido através das projeções feitas pelos 24 modelos do CMIP5 para o período entre 2071-2100.

O $\delta_{\Delta\xi}$ (Figura 7) mostra o intervalo de incertezas dos modelos para representar a variável temperatura em cada ponto de grade no planeta. Quanto menor valor apresentado, maiores são as chances de que o resultado apresentado pelo modelo seja o mais próximo das temperaturas futuras, ou seja, mais os modelos concordam da magnitude ou sinal da mudança.

Pode-se ver que a representação para a temperatura é mais confiável sobre o Hemisfério Sul, ou seja, no Hemisfério Norte os modelos discordam bastante entre si, um dos motivos disso ocorrer, pode ser pelo fato da continentalidade no Hemisfério Norte ser maior, e como a capacidade térmica da terra é menor, a variação diurna da temperatura é maior, levando também a uma incerteza maior.

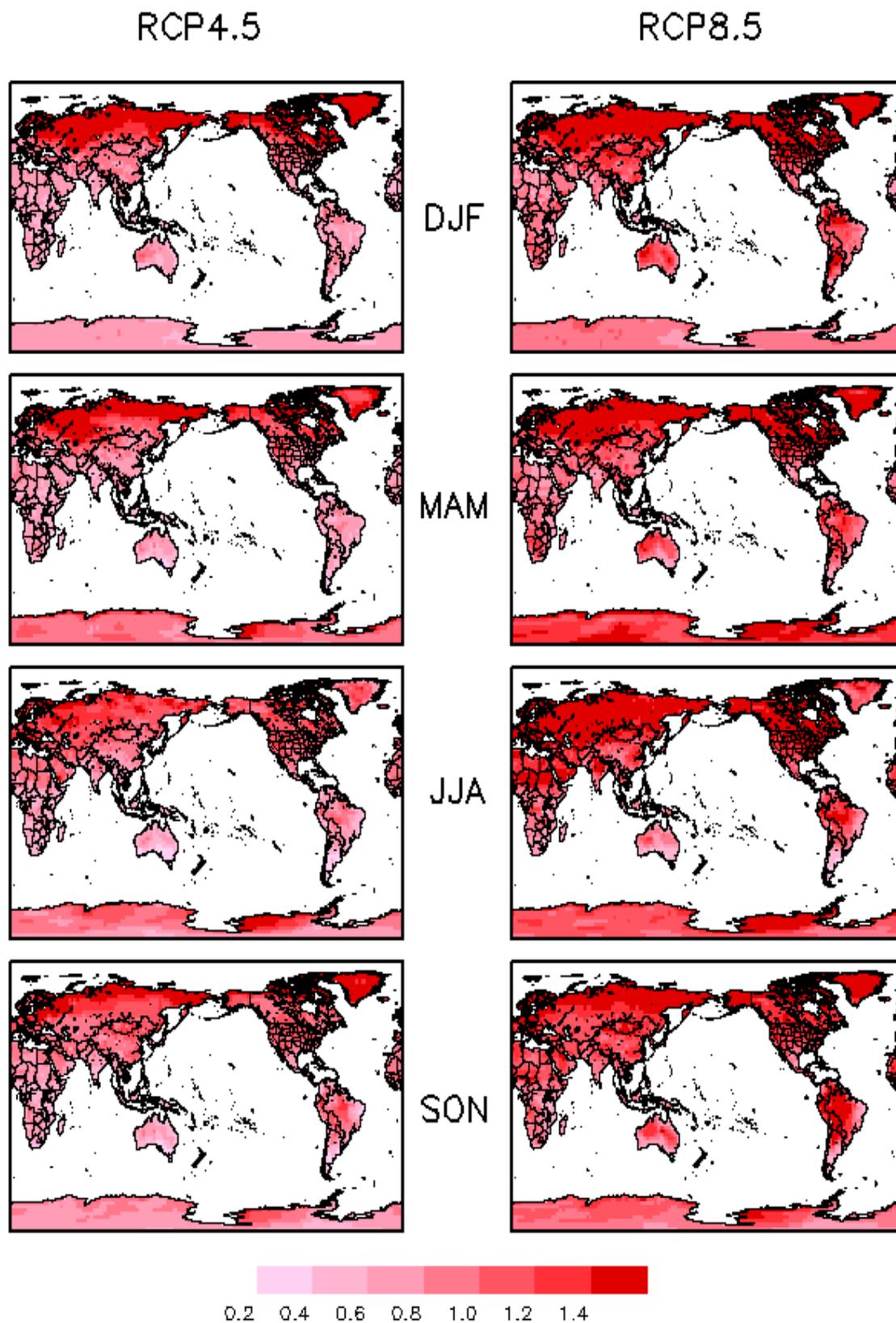


Figura 7 – Variável $\Delta\xi$ sazonal, calcula as incertezas relacionadas com a mudança média REA.

O parâmetro ρ (Figura 8) tem os maiores valores observados no Hemisfério Norte, com destaque para Europa e América do Norte, como nos parâmetros anteriores.

A confiabilidade do conjunto no RCP8.5 é em média menor para todo o globo se comparada ao RCP4.5 (Figura 8).

A América do Sul nos períodos de DJF e MAM (Figura 8), praticamente não apresenta valores de confiabilidade em nenhum dos dois cenários estudados, o que gera dificuldade na análise da variável temperatura no sul do continente americano. Já para os períodos de JJA e SON, há um valor um pouco mais expressivo para essa região do globo.

Grande parte dos Estados Unidos, Canadá, Ásia, Rússia e o restante da Europa apresentam valores mais elevados de confiabilidade em todas as épocas do ano e para os dois cenários (Figura 8).

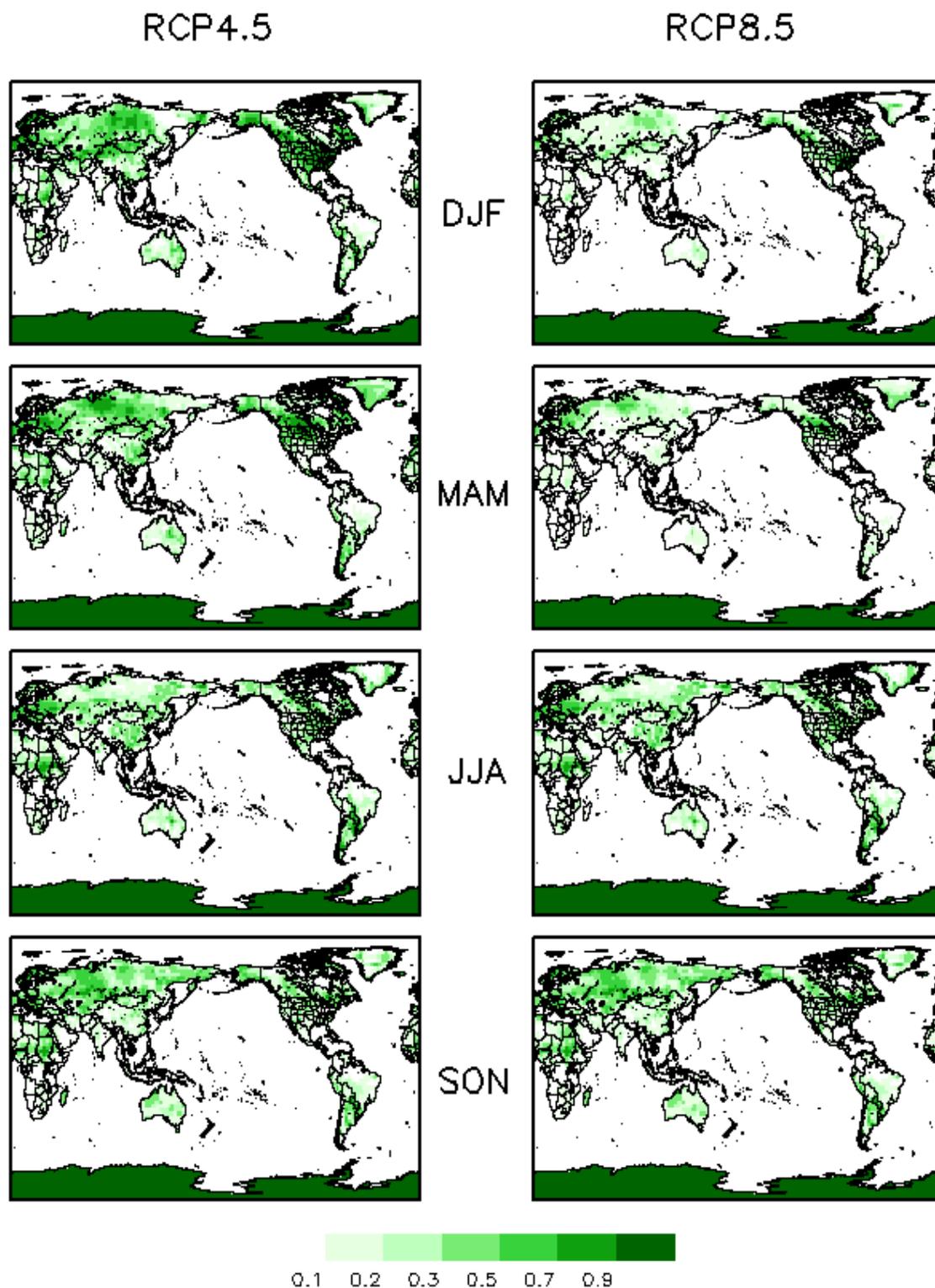


Figura 8– Parâmetro ρ sazonal, obtido através das simulações feitas pelos 24 modelos do CMIP5 para o período entre 2071-2100 avalia a confiabilidade do conjunto de modelos.

4.2 Precipitação

Na Figura 9, cenário de RCP4.5 para o período de DJF, pode-se identificar um aumento de precipitação projetado de 0,5mm/dia para toda a Rússia, Canadá, norte dos Estados Unidos, centro da África, faixa litorânea oeste e leste da América do Sul. Além disso, as projeções apresentam uma diminuição de 0,5mm/dia em precipitação no Oriente Médio, sul do continente africano, sul da Argentina e norte da América do Sul. Em outras regiões não há alteração ou uma alteração representativa.

Na Figura 9, no período de MAM do primeiro cenário, o padrão é praticamente o mesmo da análise anterior. Há um aumento projetado de 0,5mm/dia de precipitação sobre a China e o norte da Oceania e há uma diminuição de precipitação na faixa entre o norte e o nordeste brasileiro. Nas demais localidades não há variação no regime de precipitação.

Para o cenário RCP4.5 no período de JJA (Figura 9), verifica-se o aumento de precipitação projetada para grande parte da Ásia, norte da Oceania, Oriente Médio e norte do continente Americano. Agora o déficit de precipitação é visível em outras partes do planeta que antes não havia, como Estados Unidos, Austrália e Europa.

Para SON no cenário RCP4.5 (Figura 9), há a região central da África com aumento de precipitação e o sul com déficit; Estados Unidos não apresenta alteração no regime pluviométrico e grande parte da América do Sul apresenta déficit da variável, exceto pela região sul do Brasil, esta que apresenta aumento no seu regime de precipitação.

Para o cenário de maior forçante (RCP8.5), os padrões seguem os mesmos do cenário anterior (RCP4.5), contudo, com maior intensidade nos valores da precipitação para cada região.

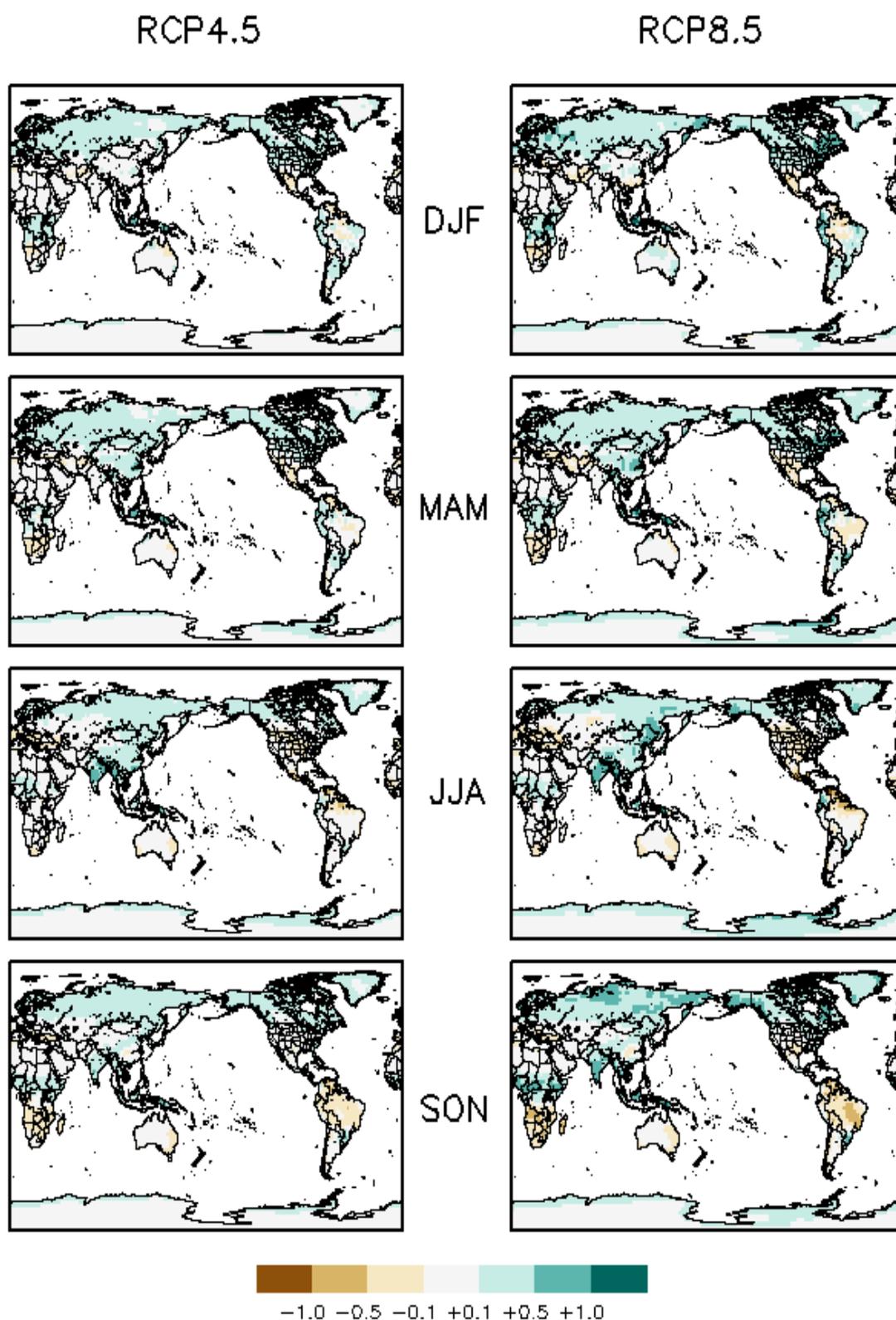


Figura 9– Média REA para a precipitação dos 24 modelos pertencentes ao CMIP5.

Para o RCP4.5, a diferença entre a média REA e a média simples é mínima. Já para o segundo cenário, há grandes diferenças. Para o período de DJF, a média

simples supera a média REA no norte da América do Sul e região central do continente africano e subestima no sul da América do Norte e litoral do Brasil.

Para os meses de MAM, a média simples supera a média REA na região central da África, centro-oeste e nordeste brasileiro, Austrália, Europa e Rússia e subestima na China e Oriente Médio, sul da América do Norte e sul da África.

Para os períodos de JJA e SON, a média simples superestima a média REA na Rússia ocidental, Austrália, América do Sul, Estados Unidos e região central da África e subestima na Rússia Oriental, sul da América do Norte, China, Oriente Médio, sul e norte da África.

Os valores dessas diferenças podem chegar a mais de 0,5 mm/dia, dependendo da região e da época do ano.

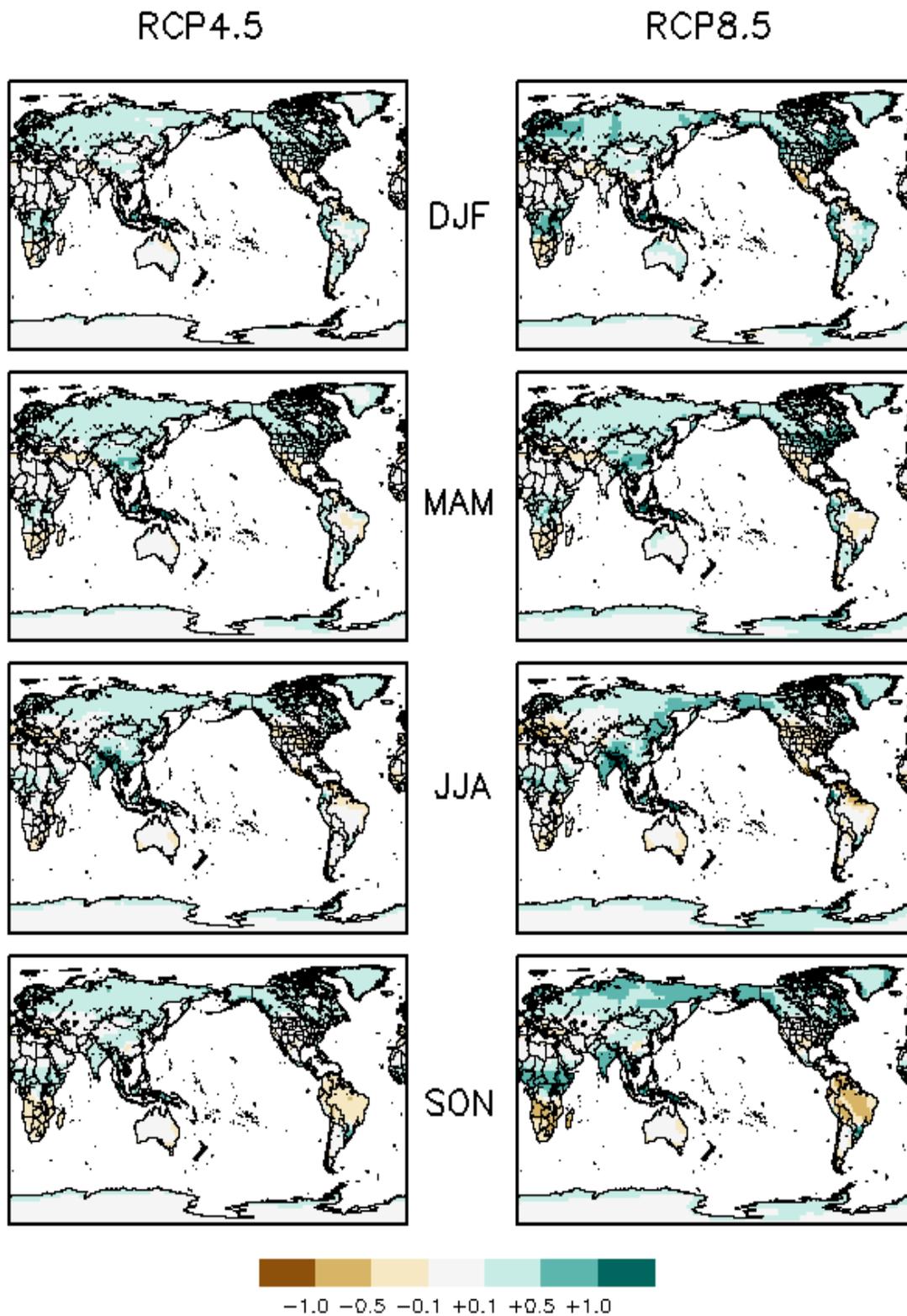


Figura 10– Média simples para a precipitação dos 24 modelos pertencentes ao CMIP5.

Na Figura 11, percebe-se que para o primeiro cenário, RCP4.5, não há grandes diferenças entre a média simples e a média REA. Para o cenário RCP8.5, as maiores diferenças são observadas a partir de MAM, JJA e SON para América do Sul, Estados Unidos, Rússia, Europa, sul e centro da África e sul da Ásia.

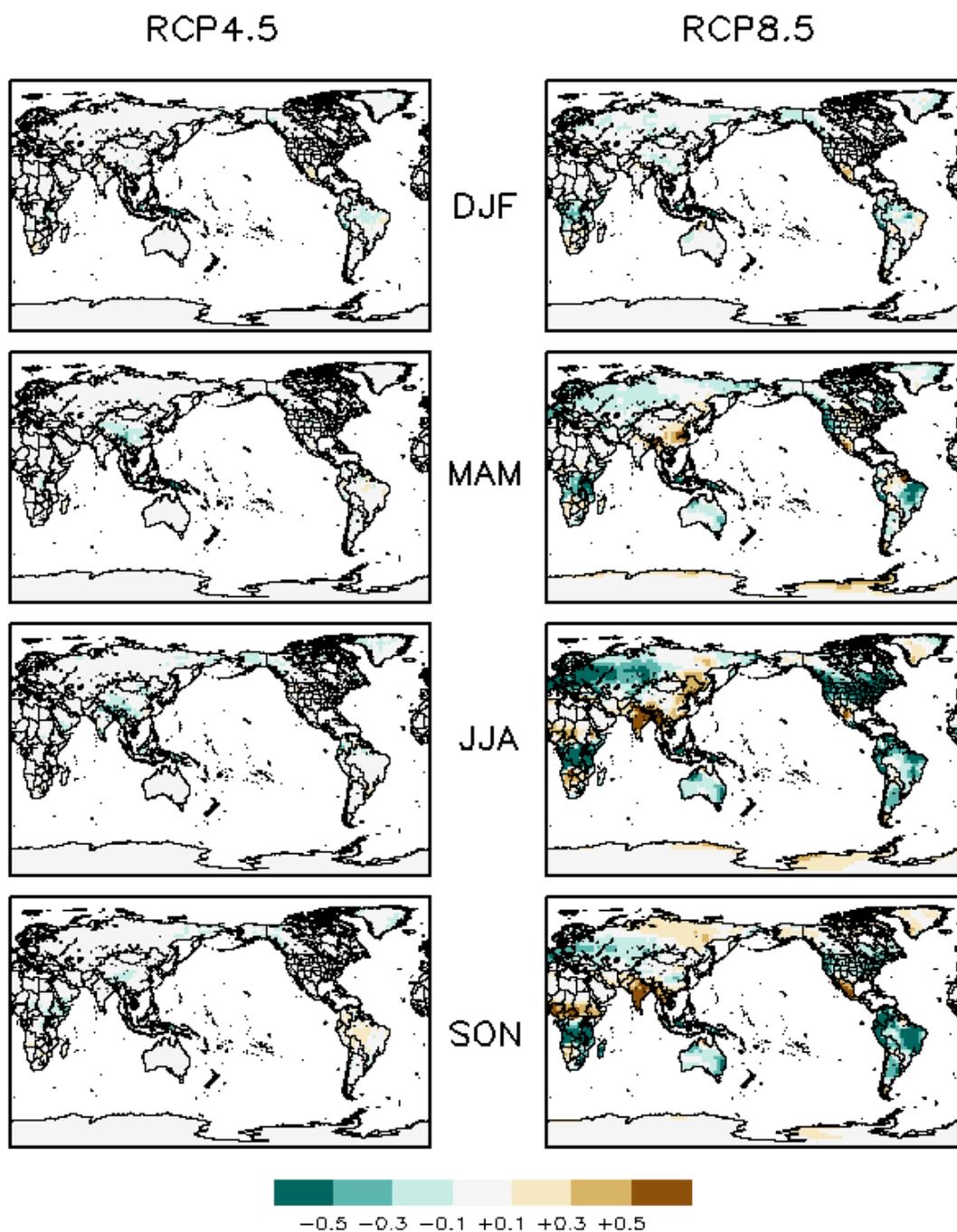


Figura 11 – Média simples menos a média REA para a variável precipitação.

Como dito anteriormente para a Figura 2, a Figura 12 mostra a capacidade dos modelos em representar o clima presente.

Os modelos tiveram boas representações para a maior parte do globo, exceto pela Groenlândia, centro da China e norte da África em todas as épocas do ano e uma pequena região da floresta amazônica do Brasil no período de SON.

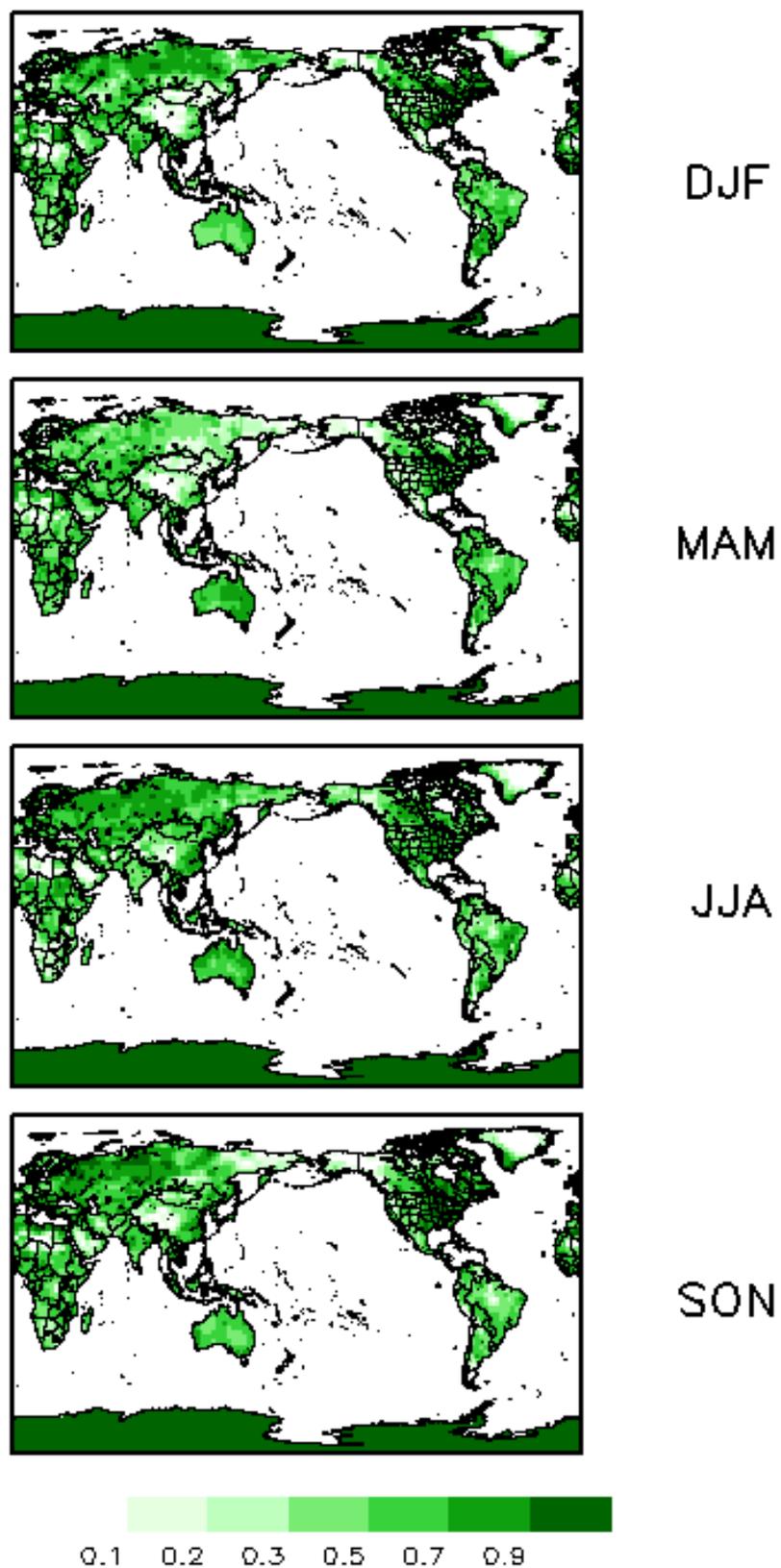


Figura 12– Parâmetro R_B sazonal, obtido através das simulações feitas pelos 24 modelos do CMIP5 para o período entre 1961-1990.

Na figura 13, no primeiro cenário, a distância entre as projeções dos modelos e a média das projeções é pequena, fazendo com que o parâmetro R_D tenha valores elevados para a maior parte do planeta. Os períodos de MAM e JJA tiveram valores mais altos em relação às outras regiões. Os Estados Unidos e o Canadá atingem valores próximos de 1 em todo os períodos. África, Europa, Ásia e Oceania também obtiveram resultados relevantes em todas as ocasiões (Figura 13). O mesmo ocorre para o cenário RCP8.5, com uma menor intensidade nos valores de R_d (Figura 13). Antártida apresenta o valor de 1 para todos os períodos em ambos os cenários (Figura 13).

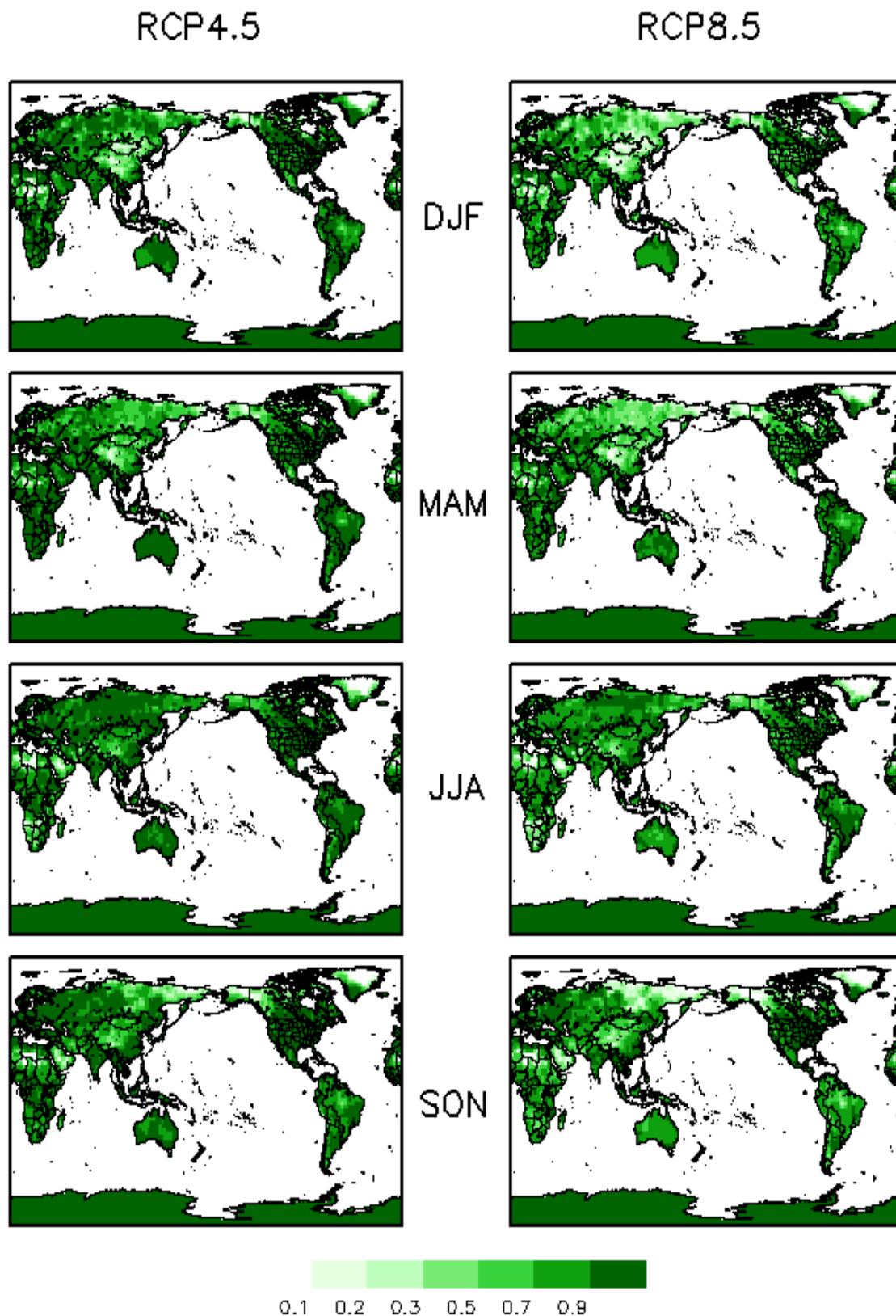


Figura 13– Parâmetro R_D sazonal, obtido através das simulações feitas pelos 24 modelos do CMIP5 para o período entre 2071-2100.

Assim como dito para a figura 7, a figura 14 representa o intervalo de incertezas dos modelos, nesse caso para a precipitação.

A melhor representação para o primeiro cenário é sobre o Hemisfério Norte, principalmente nos meses de DJF e MAM.

Para o segundo cenário (RCP8.5), há uma maior discordância entre os modelos, principalmente sobre o nordeste da América do Sul e sul da Ásia.

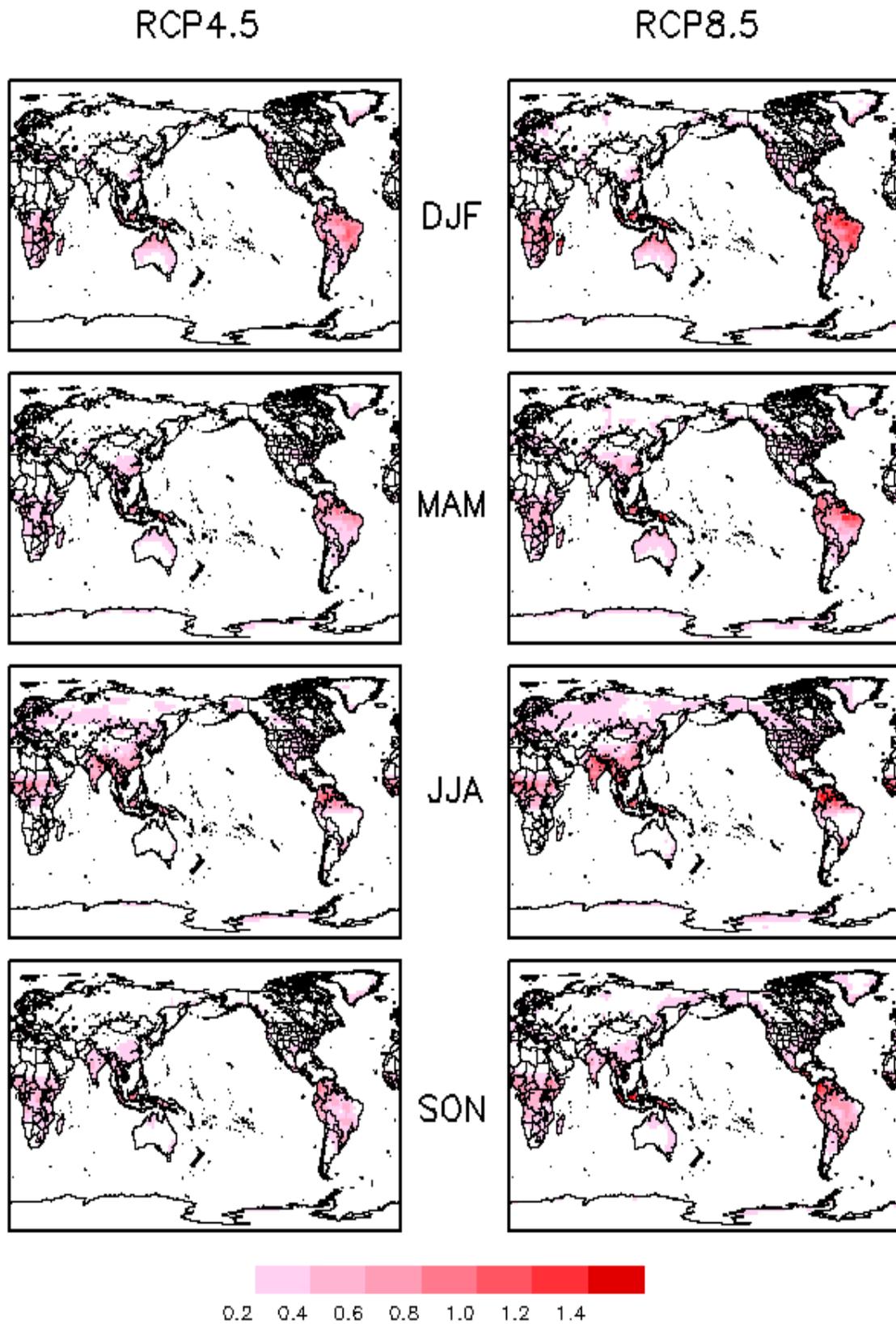


Figura 14– Variável $\delta_{\Delta\xi}$ sazonal, calcula as incertezas relacionadas com a mudança média do REA.

Na figura 15, os cenários apresentam características bem parecidas, com valores elevados em quase todas as regiões, exceto pelo centro da China, Groenlândia e norte da África.

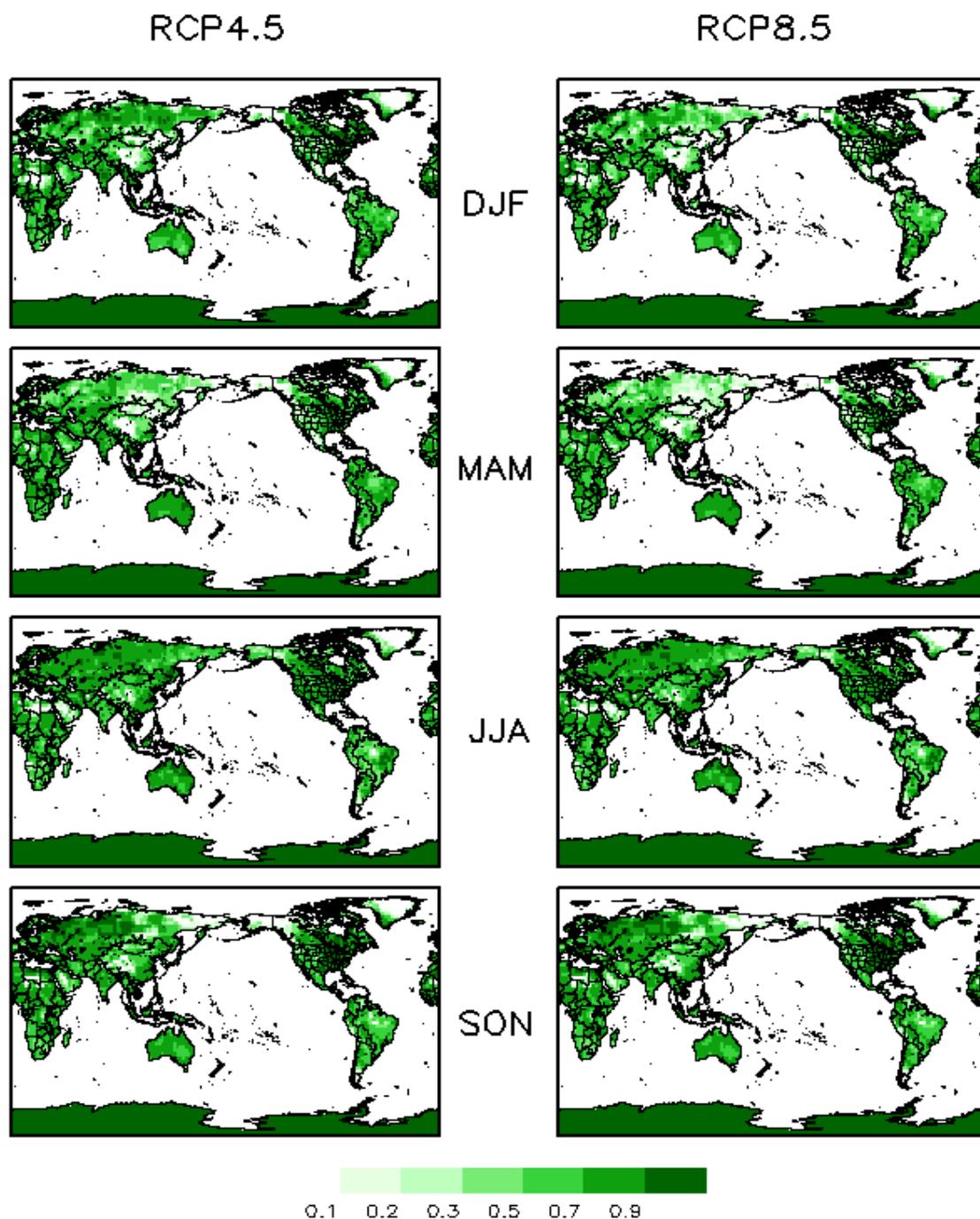


Figura 15– Parâmetro ρ sazonal, obtido através das simulações feitas pelos 24 modelos do CMIP5 para o período entre 2071-2100 avalia a confiabilidade do conjunto de modelos.

5. CONCLUSÕES

O objetivo deste trabalho foi realizar um estudo sobre as incertezas relacionadas às mudanças climáticas, o que pode dizer muito sobre o futuro do planeta.

Os modelos representam melhor a temperatura, apesar da divergência entre os modelos ser maior, se comparadas às relacionadas a precipitação. Isso pode ser pelo fato da temperatura ser uma variável mais contínua no espaço e no tempo, e melhor representada nos modelos climáticos. Também nota-se uma incerteza menor relacionada ao Hemisfério Norte, o que pode ser pelo fato de que a maioria dos modelos utilizados neste trabalho são produzidos no Hemisfério Norte, auxiliando na calibração destes modelos, o que deixa menos suscetível a erros. Percebe-se que a média simples tende a superestimar a média REA.

Por fim, o aumento de temperatura observado nos dois cenários, RCP4.5 e RCP 8.5, indica que o futuro no planeta Terra será realmente mais quente, independente das ações de mitigação que possam ser tomadas atualmente e nos próximos anos. Já a precipitação não apresenta um padrão de acréscimo ou decréscimo, sendo esta dependente da região e época do ano que está sendo analisada.

Para trabalhos futuros, sugere-se avaliar valores considerados confiáveis para os parâmetros R_B e R_D e analisar quais modelos tem melhor representação para cada região e época do ano.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AHLSTRÖM, Anders et al. Robustness and uncertainty in terrestrial ecosystem carbon response to CMIP5 climate change projections. **Environmental Research Letters**, v. 7, n. 4, p. 044008, 2012.

ANNAN, J. D., HARGREAVES, J. C. Reliability of the CMIP3 ensemble. **Geophysical Research Letters**, v. 37, L02703, 2010.

COLLINS, M. Ensembles and probabilities: a new era in the prediction of climate change. **Philosophical Transactions of the Royal Society A**, v. 365, p. 1957 - 1970, 2007.

DIFFENBAUGH, Noah S.; GIORGI, Filippo. Climate change hotspots in the CMIP5 global climate model ensemble. **Climatic change**, v. 114, n. 3-4, p. 813-822, 2012.

DUFRESNE, J.-L. et al. Climate change projections using the IPSL-CM5 Earth System Model: from CMIP3 to CMIP5. **Climate Dynamics**, v. 40, n. 9-10, p. 2123-2165, 2013.

EBERT, E. E. Ability of a poor man's ensemble to predict the probability and distribution of precipitation. **Monthly Weather Review**, v. 129, p. 2461-2480, 2001

GIORGI, F.; MEARNS, L. O. Calculation of average, uncertainty range, and reliability of regional climate changes from AOGCM simulations via the "Reliability Ensemble Averaging" (REA) method. **Journal of Climate**, v. 15, p. 1141-1158, 2002.

GIORGI, F.; MEARNS, L. O. Probability of regional climate change calculated using the Reliability Ensemble Averaging (REA) method. **Geophysical Research Letters**, v. 30, n.12, p. 1629, 2003.

GIORGI, F. Climate change prediction. **Climatic Change**, v. 73, p. 239-265, 2005.

GREENE, A. M.; GODDARD, L.; UPMANU, L. Probabilistic multi-model regional temperature change projections. **Journal of Climate**, v. 19, p. 4326-4343, 2006.

HEGERL, G. C.; ZWIERS, F. W.; BRACONNOT, P.; GILLET, N. P.; LUO, Y.; MARENGO, J. A.; NICHOLLS, N.; PENNER, J. E.; STOTT, P. A. Understanding and Attributing Climate Change. In: SOLOMON, S.; QIN, D.; MAMMING, M.; CHEN, Z.; MARQUIS, M.; AVERYT, K. B.; TIGNOR, M.; MILLER, H. L. (eds.). **Climate change 2007: the physical science basis**. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2007.

IPCC, 1996: *Climate Change 1996: The Science of Climate Change*. Cambridge University Press, 453 pp.

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/uploads/WGIAR5-SPM_Approved27Sep2013.pdf. Acesso em 28.05.2017.

IPCC, 2014: Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.) √

KNUTTI, R. Should we believe model predictions of future climate change? **Philosophical Transactions of the Royal Society A**, v. 366, p. 4647-4664, 2008.

KNUTTI, R.; FURRER, R.; TEBALDI, C.; CERMAK, J.; MEEHL, G. A. Challenges in combining projections from multiple climate models. **Journal of Climate**, v. 23, p. 2739-2758, 2010.

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

MARENGO, JOSÉ ANTONIO. MUDANÇAS CLIMÁTICAS GLOBAIS E REGIONAIS: AVALIAÇÃO DO CLIMA ATUAL DO BRASIL E PROJEÇÕES DE CENÁRIOS CLIMÁTICOS DO TI po. 2001.

Millar, Constance I., Nathan L. Stephenson, and Scott L. Stephens. "Climate change and forests of the future: managing in the face of uncertainty." *Ecological applications* 17.8 (2007): 2145-2151.

MITCHELL, Timothy D.; JONES, Philip D. An improved method of constructing a database of monthly climate observations and associated high-resolution grids. **International journal of climatology**, v. 25, n. 6, p. 693-712, 2005.

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.

MURPHY, J. M.; BOOTH, B. B. B.; COLLINS, M.; HARRIS, G. R.; SEXTON, D. M.H.; WEBB, M. J. A methodology for probabilistic predictions of regional climate change from perturbed physics ensembles. **Philosophical Transactions of the Royal Society A**, v. 365, p. 1993-2028, 2007.

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.; ROEHL, 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.

NORDHAUS, William D. **Managing the global commons: the economics of climate change**. Cambridge, MA: MIT press, 1994.

RÄISÄNEN, J. How reliable are climate models?. **Tellus**, v. 59, p. 2 - 29, 2007.

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

TEBALDI, C.; SMITH, R. L.; NYCHKA, D.; MEARNNS, L. O. Quantifying uncertainty in projections of regional climate change: a bayesian approach to the analysis of multi-model ensembles. **Journal of Climate**, v. 18, p. 1524-1540, 2005.

TEBALDI, C.; KNUTTI, R. The use of the multi-model ensemble in probabilistic climate projections. **Philosophical Transactions of the Royal Society A**, v. 365, p. 2053-2075, 2007.

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

WIGLEY, T. M.; RAPER, S. C. Interpretation of high projections for global-mean warming. **Science**, v. 293, p. 451-454, 2001.

XU, Y.; XUEJIE, G.; GIORGI, F. Upgrades to the reliability ensemble averaging method for producing probabilistic climate change projections. **ClimateResearch**, v. 41, p. 61-81, 2010.