

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
INSTITUTO DE PESQUISAS HIDRÁULICAS E ESCOLA DE ENGENHARIA  
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL

**VALIDAÇÃO DE MODELOS CLIMÁTICOS GLOBAIS E ANÁLISE DE  
PROJEÇÕES FUTURAS PARA O RIO GRANDE DO SUL**

Letícia Tábita Naitzel

Porto Alegre, 26 de fevereiro de 2021

Letícia Tábita Naitzel

**VALIDAÇÃO DE MODELOS CLIMÁTICOS GLOBAIS E ANÁLISE DE  
PROJEÇÕES FUTURAS PARA O RIO GRANDE DO SUL**

Trabalho de Conclusão apresentado ao Curso de Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS como parte da exigência para a obtenção do título de Engenheira Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Anderson Ruhoff

Co-orientador: Prof. Dr. Juan Martín Bravo

Porto Alegre, 26 de fevereiro de 2021



Letícia Tábita Naitzel

**VALIDAÇÃO DE MODELOS CLIMÁTICOS GLOBAIS E ANÁLISE DE  
PROJEÇÕES FUTURAS PARA O RIO GRANDE DO SUL**

Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Rio Grande do Sul defendido e aprovado em 26/02/2021, como parte da exigência para obtenção do título de Engenheira Ambiental.

Banca examinadora:

.....  
Prof. Dr. Francisco Eliseu Aquino  
(Instituto de Geociências / Centro Polar e Climático – UFRGS)

.....  
Prof. Dr. Fernando Mainardi Fan  
(Instituto de Pesquisas Hidráulicas – UFRGS)

.....  
Doutorando João Paulo Lyra Fialho Brêda  
(Instituto de Pesquisas Hidráulicas – UFRGS)

Conceito: .....

Porto Alegre, 26 de fevereiro de 2021

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente aos meus pais e às minhas irmãs, por todo apoio e incentivo, por estarem presentes durante toda minha jornada acadêmica mesmo de longe. Obrigada por representarem tão bem o significado da palavra “família”.

Ao meu orientador, prof. Dr. Anderson Ruhoff, e ao co-orientador, prof. Dr. Juan Martín Bravo, por todo conhecimento trocado e por estarem sempre dispostos a fazer reuniões virtuais frente às novas circunstâncias de ensino devido à pandemia.

Ao pessoal do grupo de pesquisa em que tive minha primeira experiência de iniciação científica e onde pude entrar em contato com a área de mudanças climáticas. Obrigada especialmente a Gláucia, Rafael Cavalcanti, Itza, Matheus Tavares e ao professor David da Motta Marques por todo aprendizado e por compartilharem os dias comigo no “Cafofó”.

À banca examinadora, Francisco Aquino, Fernando Fan e João Paulo Brêda. Obrigada por terem aceitado o convite e enriquecerem meu trabalho com seus conhecimentos.

À Companhia de Pesquisas de Recursos Minerais, CPRM, por toda experiência que obtive com manipulação de dados fluviométricos da Rede Hidrometeorológica Nacional, especialmente ao Francisco Marcuzzo, que me orientou durante o período em que estive lá.

Ao Centro Alemão de Cálculo Alemão, DKRZ, por disponibilizar os dados dos modelos climáticos globais que foram utilizados no presente estudo.

Ao Rafael Becker, meu parceiro de caminhada e de vida, que me acompanhou de perto durante a realização deste trabalho e me deu todo suporte emocional necessário para seguir sempre em frente e tornar meus dias mais divertidos. Obrigada por tudo!

À Larissa, minha irmã gêmea, e ao Grégory, meu primo, por não apenas me darem suporte emocional, mas também me auxiliarem com partes técnicas do trabalho que envolviam o design de apresentação dos resultados.

Aos meus amigos de coração, entre eles Murilo, Miguel, Tiago, Maurício, Carol e Bárbara, por serem meu apoio e tornarem meus dias mais leves durante os desafios da vida.

Aos meus colegas de curso, que acabaram se tornando amigos queridos também. Obrigada Pietra, Natan, Gabriela e Geraldine por me acompanharem durante a caminhada e compartilharem comigo tantos momentos, fazendo até as horas de estudo se tornarem horas de risada e muita troca de vivências.

À querida UFRGS, pela oportunidade que me proporcionou através de uma vaga, e aos professores, por todo o conhecimento fornecido para realizar o curso de graduação que sempre quis. Obrigada por tornarem todos os meus sonhos possíveis!

Por fim, agradeço a Deus por todas as oportunidades recebidas.

## RESUMO

Mudanças climáticas são um assunto cada vez mais presente em pautas não apenas ambientais, como também políticas, acadêmicas e sociais. Isso porque as consequências da alteração no clima são evidentes desde escalas locais até globais, abrangendo distúrbios no balanço hídrico e energético do planeta, alterações na disponibilidade de água e na dinâmica dos ecossistemas terrestres e aquáticos, afetando diretamente a produção agrícola, a produção de energia hidrelétrica, e até mesmo a dispersão de doenças transmitidas por vetores. Os modelos climáticos são muito importantes para fazer projeções sobre o futuro que o clima pode tomar considerando diferentes cenários. O presente trabalho consistiu em validar projeções de 22 Modelos Climáticos Globais (MCG) para as regiões geomorfológicas do Rio Grande do Sul e analisar as respectivas projeções futuras de cada região a partir da aplicação do método de *delta change*, considerando tanto o conjunto de todos os modelos climáticos analisados na validação, quanto o conjunto de modelos que obtiveram o melhor desempenho no período atual, para as variáveis climáticas consideradas (precipitação, radiação solar incidente e temperatura). Para o primeiro objetivo do presente estudo, foi analisada a capacidade dos MCG, oriundos da Quinta Fase do Projeto de Intercomparação de Modelos Acoplados (CMIP5), de representar o clima atual (1961-2005) do Rio Grande do Sul como um todo, bem como de cada região geomorfológica separadamente. Para isso, as medidas de erro RMSE, BIAS e  $r^2$  foram calculadas considerando médias mensais observadas, obtidas das estações meteorológicas convencionais do INMET, e simuladas, oriundas de projeções do período atual de MCG. Posteriormente, os valores obtidos para cada medida de erro foram submetidos a um procedimento de ranqueamento. Os conjuntos de modelos com melhor desempenho no clima atual, obtidos para cada região geomorfológica e cada variável climática, foram considerados na geração das projeções futuras, as quais foram geradas a partir do cálculo do *delta change* para um futuro próximo (2011-2055) e um futuro distante (2056-2100). Comparativamente, também foi considerado o conjunto de todos os modelos climáticos analisados inicialmente na validação. Para essas projeções, foram considerados dois cenários de emissão de gases de efeito estufa que representam os limites aos quais as regiões estariam submetidas: RCP 2.6 (mitigação rigorosa) e RCP 8.5 (cenário com a maior concentração de gases). Os resultados apresentam uma concordância dos modelos climáticos em relação ao aumento de temperatura uniforme ao longo do ano, em todas as regiões geomorfológicas, que varia de 1 °C, no futuro distante do RCP 2.6, a 3 °C, no futuro distante do RCP 8.5. Para radiação solar incidente, não foi possível observar um padrão predominante de aumento ou diminuição, havendo grande variabilidade nas projeções, tanto entre os MCG para um mesmo mês, quanto entre meses consecutivos para um mesmo modelo. As projeções de alterações na precipitação, embora também haja grande dispersão nos resultados, são predominantemente positivas em todas as regiões, com maior aumento projetado para os meses de outono, chegando a 7,34% e a 19,25% no futuro distante dos cenários RCP 2.6 e RCP 8.5, respectivamente. Não é possível afirmar efetivamente que o conjunto de modelos com melhor desempenho na representação do clima atual representará de forma mais acurada o clima futuro, mas o presente trabalho apresenta evidências que enriquecem as discussões acerca dessa temática.

**Palavras-chave:** Mudanças climáticas, *delta change*, CMIP5

## ABSTRACT

Studies about climate changes have been increasingly present not only in environmental, but also in political, academic and social topics. That is because the consequences of climate change are each day more evident, from local scale to global scale, encompassing disturbances in the planet's hydric and energetic balance, to alterations in water availability and in the dynamics of terrestrial and aquatic ecosystems. It affects agricultural productions directly, as well as hydroelectric power generation and even spread of diseases by vectors. Climate models are important to project the future of the climate in different scenarios. The work described in this paper consists of validating projections in 22 Global Climate Models (GCM) for geomorphological regions in Rio Grande do Sul, southern Brazil, and analyzing the respective future projections of each region with the application of the delta change method. It considers the full set of climate models that were analyzed in the validation, as well as the set of models that obtained the best performance in the current period, for the considered climate variables (precipitation, incident solar radiation and temperature). For the first goal of the study, the GCM originated from the Coupled Model Intercomparison Project Phase 5 (CMIP5) were taken for analysis, and the capacity of representing the current climate (1961-2005) in each geomorphological region of Rio Grande do Sul was observed, as well as the capacity of representation in the State as a whole. To achieve this, the error measurements RMSE, BIAS and  $r^2$  were calculated taking into consideration observed monthly averages, obtained from meteorological stations of INMET, and simulated, originated in projections of the present period of GCM. Subsequently, the values obtained for each error measurement were submitted to a ranking process. The sets of models with better performance in the present climate, obtained for each geomorphological region and each climate variable, were considered in the generation of future projections, which were generated using the delta change calculation for a near future (2011-2055) and a distant future (2056-2100). Comparatively, the set of all climate models analyzed at the start of the validation was considered. For these projections, two scenarios of greenhouse gases emission were considered, which represent the limits to which the regions would be submitted to: RCP 2.6 (rigorous mitigation) and RCP 8.5 (scenario with the most gas concentration). The results show a concordance of the climate models with respect to the uniform increase of temperature throughout the year, in all geomorphological regions, which varies from 1 °C (in the distant future of RCP 2.6), to 3 °C (in the distant future of RCP 8.5). For incident solar radiation, it was not possible to observe a pattern in increase or decrease, having a great variability in projections, both in GCM for the same month, as well as in consecutive months for the same model. The projections of alterations in precipitation, in spite of having a great dispersion in the results, are predominantly positive in every region, with a greater increase projected for autumn months, reaching 7,34% and 19,25% in the distant future of RCP 2.6 and RCP 8.5 scenarios, respectively. Is not possible to state effectively that the set of models with better performance in the representation of the current climate will more accurately represent the future climate. However, this work presents evidences that enrich the discussions about this theme.

**Key words:** Climate changes, delta change, CMIP5

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Resumo das mudanças observadas no clima e outros fatores ambientais em regiões representativas da América Central e do Sul. Adaptado de IPCC (2013).....	40
<b>Figura 2.</b> Localização das estações meteorológicas convencionais do INMET em cada região geomorfológica do Rio Grande do Sul. ....	44
<b>Figura 3.</b> Fluxograma de atividades para a validação dos modelos climáticos – Parte I. ....	46
<b>Figura 4.</b> Fluxograma de atividades para a validação dos modelos climáticos – Parte II.....	49
<b>Figura 5.</b> Fluxograma de atividades para obter as projeções futuras dos modelos climáticos. ....	52
<b>Figura 6.</b> Medidas de erro (RMSE, BIAS e $r^2$ ) considerando médias mensais simuladas e observadas para as variáveis climáticas consideradas no estudo .....	57
<b>Figura 7.</b> Histórico observado e simulado (por ambos os conjuntos de MCG analisados) considerando médias mensais do Rio Grande do Sul no período de 1961 a 2005 .....	66
<b>Figura 8.</b> Histórico observado e simulado (por ambos os conjuntos de MCG analisados) considerando médias mensais de cada região geomorfológica do RS no período de 1961 a 2005. ....	67
<b>Figura 9.</b> Distribuição da precipitação média anual (mm) para o Rio Grande do Sul .....	68
<b>Figura 10.</b> Projeções de alterações na precipitação comparando cenários (RCP 2.6 e RCP 8.5) e futuros (próximo, de 2011 a 2055, e distante, de 2056 a 2100) entre si para cada região geomorfológica.....	71
<b>Figura 11.</b> Projeções de alterações na radiação solar incidente comparando cenários (RCP 2.6 e RCP 8.5) e futuros (próximo, de 2011 a 2055, e distante, de 2056 a 2100) entre si para cada região geomorfológica.....	72
<b>Figura 12.</b> Projeções de alterações na temperatura comparando cenários (RCP 2.6 e RCP 8.5) e futuros (próximo, de 2011 a 2055, e distante, de 2056 a 2100) entre si para cada região geomorfológica.....	73
<b>Figura 13.</b> Projeções futuras de precipitação com remoção de viés para cada região geomorfológica e cada futuro/cenário considerado.....	84



<b>Figura 14.</b> Projeções futuras de radiação solar incidente com remoção de viés para cada região geomorfológica e cada futuro/cenário considerado.....	85
<b>Figura 15.</b> Projeções futuras de temperatura com remoção de viés para cada região geomorfológica e cada futuro/cenário considerado.....	86
<b>Figura 16.</b> Projeções futuras de precipitação para cada região geomorfológica do RS e cada conjunto de modelos climáticos analisado .....	88
<b>Figura 17.</b> Projeções futuras de radiação solar incidente na superfície terrestre para cada região geomorfológica do RS e cada conjunto de modelos climáticos analisado .....	89
<b>Figura 18.</b> Projeções futuras de temperatura para cada região geomorfológica do RS e cada conjunto de modelos climáticos analisado. ....	90

## LISTA DE QUADROS

<b>Quadro 1.</b> Caracterização das unidades geomorfológicas do Rio Grande do Sul.....	42
<b>Quadro 2.</b> Estações meteorológicas convencionais do INMET utilizadas para validação das projeções dos modelos climáticos para o período atual (1961-2005). ....	43
<b>Quadro 3.</b> Características dos modelos utilizados para validação no cenário atual e análise de projeções futuras.....	45
<b>Quadro 4.</b> Exemplo hipotético de ranqueamento de modelos.....	50
<b>Quadro 5.</b> Exemplo hipotético do processo ranqueamento geral dos modelos climáticos .....	50
<b>Quadro 6.</b> Estações meteorológicas convencionais do INMET localizadas dentro de cada região geomorfológica do Rio Grande do Sul .....	52
<b>Quadro 7.</b> Ranqueamento dos MCG para cada variável climática, com respectivos valores da soma dos rankings individuais de RMSE, BIAS e $r^2$ .....	61
<b>Quadro 8.</b> Ranqueamento geral dos modelos somando-se os rankings obtidos para cada variável climática individualmente.....	62
<b>Quadro 9.</b> Melhores modelos definidos após ranqueamento para precipitação, radiação solar incidente e temperatura em cada região geomorfológica .....	63
<b>Quadro 10.</b> Exemplo de valores de <i>delta change</i> calculados para o futuro distante do cenário RCP 8.5 na região do Planalto Meridional .....	80

## LISTA DE SIGLAS

AOGCM	Modelos de Circulação Geral Atmosfera-Oceano ( <i>Atmosphere–Ocean General Circulation Models</i> )
AR4	Quarto Relatório do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) ( <i>IPCC Fourth Assessment Report</i> )
AR5	Quinto Relatório do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) ( <i>IPCC Fifth Assessment Report</i> )
AR6	Sexto Relatório do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) ( <i>IPCC Sixth Assessment Report</i> )
BDMEP	Banco de Dados Meteorológicos do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET)
BIAS	Viés
CCM	Complexos Convectivos de Mesoescala
CMIP	Projeto de Intercomparação de Modelos Acoplados ( <i>Coupled Models Intercomparison Project</i> )
CMIP5	Fase 5 do Projeto de Intercomparação de Modelos Acoplados ( <i>Fifth phase of the Coupled Model Intercomparison Project</i> )
COP21	21ª Conferência das Partes
DKRZ	Centro Alemão de Cálculo Climático ( <i>Deutsches Klimarechenzentrum</i> )
EMIC	Modelos do Sistema Terrestre de Complexidade Intermediária ( <i>Earth System Models of Intermediate Complexity</i> )
ESM	Modelos do Sistema Terrestre ( <i>Earth System Models</i> )
EUA	Estados Unidos da América
FAR	Primeiro Relatório do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) ( <i>IPCC First Assessment Report</i> )
GEE	Gases de Efeito Estufa
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

IPCC	Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas ( <i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i> )
IPPR	Instituto de Pesquisa de Políticas Públicas ( <i>Institute for Public Policy Research</i> )
MCG	Modelos Climáticos Globais
MGB-IPH	Modelo de Grandes Bacias – Instituto de Pesquisas Hidráulicas
NOAA	Administração Oceânica e Atmosférica Nacional ( <i>National Oceanic and Atmospheric Administration</i> )
PBMC	Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas
PIB	Produto Interno Bruto
RCM	Modelos Climáticos Regionais ( <i>Regional Climate Models</i> )
RCP	Caminhos Representativos de Concentração ( <i>Representative Concentration Pathways</i> )
RMSE	Erro de Raiz Quadrada Média ( <i>Root-Mean-Square Error</i> )
RS	Rio Grande do Sul
SAR	Segundo Relatório do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) ( <i>IPCC Second Assessment Report</i> )
TAR	Terceiro Relatório do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) ( <i>IPCC Third Assessment Report</i> )
UNCED	Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento ( <i>United Nations Conference on Environment and Development</i> ou <i>Earth Summit</i> )
UNEP	Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente ( <i>United Nations Environment Programme</i> )
UNFCCC	Convenção das Nações Unidas para as Mudanças Climáticas ( <i>United Nations Framework Convention on Climate Change</i> )
WCRP	Programa Mundial de Pesquisa Climática ( <i>World Climate Research Programme's</i> )
WGCM	Grupo de Trabalho sobre Modelagem Acoplada ( <i>Working Group on Coupled Modelling</i> )
WMO	Organização Meteorológica Mundial ( <i>World Meteorological Organization</i> )

## LISTA DE TABELAS

- Tabela 1.** *Buffers* aplicados (em graus) a cada modelo climático global em cada região geomorfológica devido à sua resolução espacial.....53
- Tabela 2.** Ranqueamento de modelos climáticos através das medidas de erro RMSE, BIAS e  $r^2$  considerando médias mensais de precipitação para todo Rio Grande do Sul.....58
- Tabela 3.** Ranqueamento de modelos climáticos através das medidas de erro RMSE, BIAS e  $r^2$  considerando médias mensais de radiação solar incidente para todo Rio Grande do Sul. ....59
- Tabela 4.** Ranqueamento de modelos climáticos através das medidas de erro RMSE, BIAS e  $r^2$  considerando médias mensais de temperatura para todo Rio Grande do Sul.....60
- Tabela 5.** Médias mensais observadas de precipitação, radiação solar incidente e temperatura para cada região geomorfológica do RS considerando o período de 1961 a 2005.....65
- Tabela 6.** Projeções de alterações na precipitação (em %) para cada futuro/cenário e cada região geomorfológica, considerando a mediana do conjunto geral de modelos (G) e do conjunto de melhores modelos (M).....77
- Tabela 7.** Projeções de alterações na radiação solar incidente (em  $W/m^2$ ) para cada futuro/cenário e cada região geomorfológica, considerando a mediana do conjunto geral de modelos (G) e do conjunto de melhores modelos (M).....79
- Tabela 8.** Projeções de alterações na temperatura (em  $^{\circ}C$ ) para cada futuro/cenário e cada região geomorfológica, considerando a mediana do conjunto geral de modelos (G) e do conjunto de melhores modelos (M).....82

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	17
<b>2 OBJETIVOS</b> .....	20
2.1 Objetivos Gerais.....	20
2.2 Objetivos Específicos.....	20
<b>3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	22
3.1 Estudo das mudanças climáticas pelo IPCC .....	22
3.2 Modelagem climática .....	25
3.2.1 Tipos de modelos climáticos .....	25
3.2.2 Limitações do aprimoramento de modelos.....	26
3.2.3 Projetos de intercomparação de modelos climáticos .....	27
3.3 Validação dos modelos climáticos .....	28
3.4 Projeções futuras.....	31
3.5 Mudanças climáticas e seus impactos.....	32
3.5.1 Impactos no mundo .....	32
3.5.2 Impactos no Brasil.....	35
3.5.3 Impactos no Rio Grande do Sul .....	38
<b>4 METODOLOGIA</b> .....	41
4.1 Área de estudo.....	41
4.2 Variáveis climáticas consideradas .....	42
4.3 Dados observados .....	43
4.4 Dados simulados .....	44
4.4.1 Cenários de mudanças climáticas considerados.....	44
4.4.2 Períodos considerados (atual e futuro).....	44
4.4.3 Modelos Climáticos Globais considerados .....	45
4.5 Estratégia Metodológica .....	46
4.5.1 Validação de Modelos Climáticos Globais no Rio Grande do Sul.....	46
4.5.2 Projeções futuras de Modelos Climáticos Globais nas regiões geomorfológicas do Rio Grande do Sul.....	51
<b>5 RESULTADOS</b> .....	55
5.1 Validação dos Modelos Climáticos Globais .....	55

5.1.1	Medidas de erro .....	55
5.1.2	Ranqueamento de modelos .....	58
5.1.3	Histórico simulado e observado .....	64
5.2	Projeções Futuras dos Modelos Climáticos Globais .....	64
5.2.1	Projeções futuras de variáveis climáticas: <i>delta change</i> .....	70
5.2.2	Projeções futuras de variáveis climáticas para cada futuro e cenário .....	83
5.2.3	Projeções futuras de variáveis climáticas: uma visão geral .....	87
<b>6</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	<b>91</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>94</b>
	<b>APÊNDICES</b> .....	<b>109</b>
	<b>APÊNDICE A:</b> Ranqueamento de modelos climáticos através das medidas de erro RMSE, BIAS e $r^2$ considerando médias mensais de precipitação para cada região geomorfológica do RS.....	<b>110</b>
A.1	Ranqueamento de precipitação para Cuesta do Haedo .....	110
A.2	Ranqueamento de precipitação para Depressão Central .....	111
A.3	Ranqueamento de precipitação para Escudo Cristalino .....	112
A.4	Ranqueamento de precipitação para Planalto Meridional.....	113
A.5	Ranqueamento de precipitação para Planície Costeira .....	114
	<b>APÊNDICE B:</b> Ranqueamento de modelos climáticos através das medidas de erro RMSE, BIAS e $r^2$ considerando médias mensais de radiação solar incidente para cada região geomorfológica do RS .....	<b>115</b>
B.1	Ranqueamento de radiação solar incidente para Cuesta do Haedo .....	115
B.2	Ranqueamento de radiação solar incidente para Depressão Central .....	116
B.3	Ranqueamento de radiação solar incidente para Escudo Cristalino .....	117
B.4	Ranqueamento de radiação solar incidente para Planalto Meridional.....	118
B.5	Ranqueamento de radiação solar incidente para Planície Costeira .....	119
	<b>APÊNDICE C:</b> Ranqueamento de modelos climáticos através das medidas de erro RMSE, BIAS e $r^2$ considerando médias mensais de temperatura para cada região geomorfológica do RS.....	<b>120</b>
C.1	Ranqueamento de temperatura para Cuesta do Haedo .....	120
C.2	Ranqueamento de temperatura para Depressão Central .....	121
C.3	Ranqueamento de temperatura para Escudo Cristalino .....	122
C.4	Ranqueamento de temperatura para Planalto Meridional .....	123
C.5	Ranqueamento de temperatura para Planície Costeira .....	124
	<b>APÊNDICE D:</b> Ranqueamento geral dos modelos climáticos somando-se os rankings obtidos para cada variável climática individualmente .....	<b>125</b>
D.1	Ranqueamento geral para Cuesta do Haedo.....	125

D.2	Ranqueamento geral para Depressão Central.....	125
D.3	Ranqueamento geral para Escudo Cristalino .....	126
D.4	Ranqueamento geral para Planalto Meridional .....	126
D.5	Ranqueamento geral para Planície Costeira.....	127
<b>APÊNDICE E:</b>	Projeções de alterações na precipitação comparando as regiões geomorfológicas entre si, para cada cenário e futuro considerados.....	128
<b>APÊNDICE F:</b>	Projeções de alterações na radiação solar incidente comparando as regiões geomorfológicas entre si, para cada cenário e futuro considerados.....	129
<b>APÊNDICE G:</b>	Projeções de alterações na temperatura comparando as regiões geomorfológicas entre si, para cada cenário e futuro considerados.....	130
<b>APÊNDICE H:</b>	Projeções de alterações na precipitação calculadas mensalmente para cada futuro/cenário e cada região geomorfológica considerada – mediana do conjunto geral de modelos (G) e do conjunto de melhores modelos (M) .....	131
H.1	Projeções de alterações para Cuesta do Haedo .....	131
H.2	Projeções de alterações para Depressão Central .....	132
H.3	Projeções de alterações para Escudo Cristalino .....	133
H.4	Projeções de alterações para Planalto Meridional.....	134
H.5	Projeções de alterações para Planície Costeira .....	135
<b>APÊNDICE I:</b>	Projeções de alterações na radiação solar incidente calculadas mensalmente para cada futuro/cenário e cada região geomorfológica considerada – mediana do conjunto geral de modelos (G) e do conjunto de melhores modelos (M).....	136
I.1	Projeções de alterações para Cuesta do Haedo .....	136
I.2	Projeções de alterações para Depressão Central.....	136
I.3	Projeções de alterações para Escudo Cristalino.....	137
I.4	Projeções de alterações para Planalto Meridional .....	137
I.5	Projeções de alterações para Planície Costeira .....	138
<b>APÊNDICE J:</b>	Projeções de alterações na radiação solar incidente calculadas mensalmente para cada futuro/cenário e cada região geomorfológica considerada – mediana do conjunto geral de modelos (G) e do conjunto de melhores modelos (M).....	139
J.1	Projeções de alterações para Cuesta do Haedo.....	139
J.2	Projeções de alterações para Depressão Central.....	139
J.3	Projeções de alterações para Escudo Cristalino .....	140
J.4	Projeções de alterações para Planalto Meridional .....	140
J.5	Projeções de alterações para Planície Costeira.....	141
<b>APÊNDICE K:</b>	Projeções futuras de precipitação simuladas para cada futuro/cenário e cada região geomorfológica considerada – médias do conjunto geral de modelos (G) e do conjunto de melhores modelos (M) .....	142
K.1	Projeções futuras para Cuesta do Haedo .....	142



K.2 Projeções futuras para Depressão Central .....	142
K.3 Projeções futuras para Escudo Cristalino .....	143
K.4 Projeções futuras para Planalto Meridional .....	143
K.5 Projeções futuras para Planície Costeira .....	144
<b>APÊNDICE L:</b> Projeções futuras de radiação solar incidente simuladas para cada futuro/cenário e cada região geomorfológica considerada – médias do conjunto geral de modelos (G) e do conjunto de melhores modelos (M) .....	145
L.1 Projeções futuras para Cuesta do Haedo .....	145
L.2 Projeções futuras para Depressão Central .....	145
L.3 Projeções futuras para Escudo Cristalino .....	146
L.4 Projeções futuras para Planalto Meridional .....	146
L.5 Projeções futuras para Planície Costeira.....	147
<b>APÊNDICE M:</b> Projeções futuras de temperatura simuladas para cada futuro/cenário e cada região geomorfológica considerada – médias do conjunto geral de modelos (G) e do conjunto de melhores modelos (M) .....	148
M.1 Projeções futuras para Cuesta do Haedo .....	148
M.2 Projeções futuras para Depressão Central .....	148
M.3 Projeções futuras para Escudo Cristalino .....	149
M.4 Projeções futuras para Planalto Meridional.....	149
M.5 Projeções futuras para Planície Costeira .....	150

## 1 INTRODUÇÃO

As mudanças climáticas causadas por atividades antrópicas estão diretamente relacionadas com o aumento da emissão de gases de efeito estufa (GEE), com o desmatamento, a criação de ilhas de calor, entre outros (NOBRE; SAMPAIO; SALAZAR, 2007), e têm sido um assunto cada vez mais em pauta no mundo. Essas mudanças afetam diretamente o balanço hídrico dos ecossistemas aquáticos e os ciclos biogeoquímicos nas bacias hidrográficas (STOCKER *et al.*, 2013), o uso da terra e a erosão do solo pela água (BORRELLI *et al.*, 2020), as doenças transmitidas por vetores ou por veiculação hídrica e as respiratórias (BARCELLOS *et al.*, 2009), e a disponibilidade hídrica para produção de energia hidrelétrica (LIMA; COLISCHONN; MARENGO, 2014) e para produção agrícola (KOGO; KUMAR; KOECH, 2020; ALBERTO *et al.*, 2006; STRECK; ALBERTO, 2006). Além disso, o efeito das mudanças climáticas é observado sobre doenças de plantas (GARRETT *et al.*, 2021; TREBICKI, 2020; GÓMEZ; PADRÓN; MEULENERT, 1999; SCHERM; YANG, 1995) e sobre a distribuição, especiação e ciclo de vida de ecossistemas vegetais (BERGENGREN; WALISER; YUNG, 2011; BERGENGREN *et al.*, 2001), os quais são importantes sumidouros naturais de carbono (LE QUÉRÉ *et al.*, 2009; PRENTICE *et al.*, 2007) e influenciam significativamente o balanço energético terrestre. Estudos apontam que propriedades da superfície terrestre (vegetação, tipo de solo, quantidade de água) afetam diretamente o clima, principalmente através de alterações do albedo e da evapotranspiração, provocando efeitos climáticos profundos (POTTER *et al.*, 2019; FISCHER *et al.*, 2007; SENEVIRATNE *et al.*, 2006). Porém, o albedo tem sido alterado significativamente muito devido aos efeitos climáticos, criando um *feedback* positivo no clima.

Modelos climáticos são ferramentas primordiais para fazer previsões sobre o estado futuro do clima (DELWORTH *et al.*, 2012). Eles consistem em modelos numéricos que representam os processos físicos e químicos da atmosfera e todas as suas interações com os outros componentes do sistema terrestre (hidrosfera, criosfera, litosfera e ciclos

biogeoquímicos) a partir da utilização de equações básicas, como conservação de massa e energia, termodinâmica, hidrostática e continuidade (LIMA; COLLISCHONN; MARENGO, 2014; SAMPAIO; DIAS, 2014). Os Modelos Climáticos Globais (MCG) são limitados pelo atual conhecimento físico e pela representação matemática incompleta de componentes dos sistemas terrestres (FLATO *et al.*, 2013). Por isso, o uso de diversos modelos em um conjunto (*ensemble*) geralmente torna-se útil para avaliar a variabilidade entre os modelos do sistema terrestre, podendo-se quantificar as incertezas das projeções futuras considerando vários cenários de vários modelos (HOMSI *et al.*, 2020; LUTZ *et al.*, 2016; P BMC, 2014; BRANKOVIC; PALMER; FERRANTI, 1994). O Projeto de Intercomparação de Modelos Acoplados (CMIP, *Coupled Models Intercomparison Project*), por exemplo, foi criado com o intuito de comparar continuamente os MCG e corrigir erros globais encontrados, aumentando a credibilidade das projeções (EYRING *et al.*, 2016). No presente trabalho, foram utilizados dados de modelos oriundos da Fase 5 desse projeto (CMIP5), os quais foram desenvolvidos de 2010 a 2014 e são resumidos no Quinto Relatório do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, *Intergovernmental Panel on Climate Change*), o AR5.

Apesar de haver essa análise envolvendo multi-modelos para aprimorar cada vez mais as projeções, é necessário realizar uma validação dos modelos para a região de interesse, a fim de analisar o quanto esses modelos estão conseguindo representar o clima atual (RAJU; KUMAR, 2020; BONAN; BONAN, 2015). Para isso, são usadas observações de variáveis climáticas e calculadas métricas para quantificar o desempenho dos modelos climáticos (BAKER; TAYLOR, 2016).

Em função de mudanças climáticas projetadas para os períodos futuros, torna-se importante o uso de métodos para calcular possíveis anomalias climáticas e assim, fazer projeções futuras de variáveis que impactam diretamente o meio ambiente e diversos setores socioeconômicos e estruturais. Um desses métodos é o *delta change*, o qual corresponde a uma anomalia entre valores estimados pelos modelos climáticos no período futuro em relação ao período atual (DAI *et al.*, 2020; HAY; WILBY; LEAVESLEY, 2000). Essas projeções futuras de variáveis climatológicas, no AR5, são baseadas nos chamados “Caminhos Representativos de Concentração” (RCP, *Representative Concentration Pathways*). Foram desenvolvidos, ao todo, quatro cenários, projetados para atingir um alvo de forçante radiativa de GEE (em W/m<sup>2</sup>) até o final de 2100 (GETTELMAN; ROOD, 2016): um cenário de mitigação rigorosa (RCP 2.6), dois cenários intermediários (RCP 4.5 e RCP 6.0) e um cenário com altas emissões de GEE (RCP 8.5) (IPCC, 2014).

Este estudo busca validar os MCG oriundos do CMIP5 para o clima de todo estado do Rio Grande do Sul e de suas regiões geomorfológicas considerando as variáveis climatológicas precipitação, temperatura e radiação solar incidente, bem como analisar as alterações projetadas do conjunto (*ensemble*) de modelos para essas mesmas regiões. Essa análise é importante, pois possibilita avaliar quais são os modelos que melhor representaram o clima do Estado no período histórico e, assim, utilizar seus dados em simulações de projetos hidráulicos, hidrossanitários, ecológicos e agroindustriais, bem como para gestão de recursos hídricos e Planos de Bacia Hidrográfica. O Rio Grande do Sul, por exemplo, participa da iniciativa *Regions Adapt*, um programa internacional criado em 2015 durante a 21ª Conferência das Partes (COP21) para trocar experiências e qualificar as ações de adaptação às mudanças climáticas. Além disso, é possível avaliar quais são os futuros projetados para cada região geomorfológica nos cenários de maior e menor emissão de GEE, auxiliando em tomadas de decisão em relação ao uso do solo, a atividades agrícolas, à gestão de recursos hídricos, a precauções no sistema de saúde, além de ser útil quando se trata de estudos de impacto ambiental na construção infraestruturas hidráulicas de pequeno e grande porte. Entendendo-se a direção das projeções, é possível minimizar possíveis impactos (REYER *et al.*, 2017).

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 Objetivos Gerais

I. Validar um conjunto de Modelos Climáticos Globais (MCG) oriundos da Fase 5 do Projeto de Intercomparação de Modelos Acomplados (CMIP5) para o estado do Rio Grande do Sul e para suas regiões geomorfológicas, considerando as variáveis climatológicas precipitação, temperatura do ar a 2 m de altura e radiação solar incidente na superfície terrestre, no período de 1961 a 2005;

II. Estimar as mudanças projetadas no clima considerando as mesmas variáveis climáticas em cada região geomorfológica do Rio Grande do Sul para o período futuro próximo (2011-2055) e distante (2056-2100), tanto no cenário RCP 2.6 quanto no RCP 8.5, através de projeções futuras do conjunto geral de MCG estudados e do conjunto de modelos com melhor desempenho na representação do clima atual.

### 2.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos referentes à validação dos MCG, para cada região geomorfológica e para o Rio Grande do Sul como um todo, são:

a) verificar se o período atual dos MCG (1961-2005) retrata de forma consistente aquele observado nas estações meteorológicas convencionais do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) no Rio Grande do Sul;

b) avaliar estatisticamente as projeções dos modelos para o clima atual, considerando médias mensais das séries temporais históricas (1961 – 2005) simuladas por cada modelo climático e observadas pelas estações meteorológicas do INMET, para cada variável climática considerada;

c) elaborar um ranqueamento de acurácia dos modelos climáticos na representação do clima atual, em cada região e no RS como um todo, para cada variável climática e considerando as três variáveis concomitantemente.

Em relação às projeções futuras dos MCG, os objetivos específicos, aplicados tanto para o conjunto geral de todos os MCG analisados quanto para os conjuntos de modelos com melhor desempenho em representar o clima atual, são:

a) estimar as anomalias climáticas nos cenários RCP 2.6 e RCP 8.5 para cada variável considerada (precipitação, radiação solar incidente e temperatura) e cada futuro analisado (próximo e distante) nas diferentes regiões analisadas;

b) gerar projeções futuras com remoção de viés para cada região e variável considerada, no futuro próximo (2011-2055) e no futuro distante (2056-2100), em ambos os cenários estudados.

### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo apresenta uma revisão de trabalhos relacionados ao tema desta pesquisa. Primeiramente, é apresentado um histórico de estudo de mudanças climáticas no mundo, desde a criação do IPCC, grupos de trabalho e todos os relatórios desenvolvidos até então (Capítulo 3.1). Após, são descritos alguns conceitos relacionados à modelagem de clima (Capítulo 3.2): os tipos de modelos climáticos existentes, as limitações para aprimorá-los, o Projeto de Intercomparação de Modelos criado para aperfeiçoar as simulações, e os cenários considerados nas projeções climáticas futuras dos modelos climáticos. Os dois tópicos seguintes (Capítulos 3.3 e 3.4) trazem uma breve contextualização do que se pretende realizar no presente estudo. No primeiro, são apresentados diversos trabalhos relacionados à validação de modelos climáticos, mostrando como e por que é importante validá-los. No segundo, são descritas as diferentes métricas disponíveis atualmente para realizar projeções futuras de MCG, enfocando no cálculo do *delta change*, anomalia climática utilizada nesta pesquisa. Por fim, tem-se uma breve explanação de estudos científicos abordando mudanças climáticas no mundo, no Brasil e no Rio Grande do Sul.

#### 3.1 Estudo das mudanças climáticas pelo IPCC

Em 1988, a Organização Meteorológica Mundial (WMO, *World Meteorological Organization*) e o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (UNEP, *United Nations Environment Programme*) estabeleceram o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas, com o intuito de avaliar e interpretar o conhecimento científico acerca de mudanças climáticas que estava sendo desenvolvido naquela época (UNEP; WMO, 1988). A partir desse esforço de pesquisa, foi possível estabelecer conexões entre a variabilidade climática e as atividades antrópicas e criar cenários de mudanças climáticas até o fim do século XXI

(TANAJURA; GENZ; ARAÚJO, 2010), gerando periodicamente relatórios abrangentes e de fácil compreensão, acessíveis a todos (IPEA, 2007).

Existem três grandes grupos de trabalho no IPCC: O Grupo I se concentra no estudo de aspectos físicos do clima e as alterações climáticas; o Grupo II trata dos impactos das mudanças climáticas nos sistemas naturais e socioeconômicos e da adaptação às consequências dessas mudanças; por fim, o Grupo III avalia opções de mitigação de mudanças climáticas (MASSON-DELMOTTE, 2014). Desde sua criação, o IPCC divulgou 5 relatórios, sendo o primeiro em 1992 (FAR, *First Assessment Report*), o segundo em 1995 (SAR, *Second Assessment Report*), o terceiro em 2001 (TAR, *Third Assessment Report*), o quarto em 2007 (AR4, *Fourth Assessment Report*) e o último em 2014 (AR5, *Fifth Assessment Report*).

O FAR serviu como base científica para a Convenção das Nações Unidas para as Mudanças Climáticas (UNFCCC, *United Nations Framework Convention on Climate Change*), um tratado ambiental adotado em maio de 1992 com o intuito de combater o aquecimento global através de esforços políticos internacionais. Logo já havia inscrições abertas para sua primeira conferência: a Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (UNCED, *United Nations Conference on Environment and Development* ou *Earth Summit*), ocorrida em junho de 1992 no Rio de Janeiro (GRUBB *et al.*, 2019), ficando conhecida como Rio 92. Nesse primeiro relatório, é afirmada a existência do efeito estufa natural, bem como o aumento substancial da concentração de GEE (dióxido de carbono, metano, CFCs e óxido de nitrogênio) através de emissões geradas por atividades antrópicas, resultando em um aumento da temperatura média global da atmosfera.

No SAR, houve progressos consideráveis no entendimento de mudanças climáticas desde 1990, alertando-se para aumento da incidência de eventos extremos em algumas regiões (IPCC, 1995). Esse relatório contribuiu consideravelmente para as negociações que levaram à adoção do Protocolo de Kyoto pela UNFCCC em 1997, um acordo que estabeleceu metas de redução de emissões dos gases causadores de efeito estufa pelos países desenvolvidos (BREIDENICH, 1998), vistos como os maiores responsáveis pela intensificação do aquecimento global. O TAR evidenciou ainda mais a influência humana nas mudanças climáticas e concluiu que os aumentos de temperatura ao longo do século XXI poderiam ser consideravelmente maiores do que se pensava até então (IPCC, 2001).

O AR4 foi lançado em 2007 como o maior e mais detalhado relatório de mudanças climáticas escrito desde a criação do IPCC, sendo produzido por milhares de autores, editores e revisores de dezenas de países. Também foi o relatório mais enfático ao ser o primeiro a afirmar que o aquecimento global é provocado por atividades antrópicas (IPEA, 2007), afetando



ecossistemas em todo o mundo (IPCC, 2007). Nele, há uma avaliação minuciosa das mudanças climáticas no passado e suas causas, além de uma análise separada para cada continente (IPCC, 2010). No AR5, o mais atual relatório de avaliação de base física do IPCC (STOCKER *et al.*, 2013), foram propostos 4 cenários futuros, os quais são baseados em projeções de desenvolvimento socioeconômico correlacionados às respectivas emissões de GEE. Segundo o IPCC (2014), esses cenários são conhecidos como Caminhos Representativos de Concentração (RCPs, *Radiative Forcing Pathways*) e incluem um cenário de mitigação rigoroso (RCP 2.6), dois cenários intermediários (RCP 4.5 e RCP 6.0) e um cenário com emissões muito altas de GEE (RCP 8.5). O valor de cada um se refere ao incremento da força radiativa na atmosfera em W/m<sup>2</sup> estimado para o final de 2100 comparado com o período pré-industrial (VAN VUUREN *et al.*, 2011).

O sexto relatório (AR6, *Sixth Assessment Report*) está em andamento e tem previsão de lançamento em junho de 2022, mas três Relatórios Especiais já foram divulgados pelo IPCC: “Aquecimento global de 1,5 °C” (em outubro de 2018), “Mudança climática e Terra” (em agosto de 2019) e “Oceano e Criosfera em um Clima em Mudança” (em setembro de 2019). O primeiro foi divulgado pelo IPCC em resposta ao convite contido na decisão da 21<sup>a</sup> Conferência das Partes (COP21) da UNFCCC para adoção do Acordo de Paris. O IPCC aceitou o convite em abril de 2016 e preparou um relatório contendo os impactos do aquecimento global de 1,5 °C acima dos níveis pré-industriais e vias de emissão globais de GEE relacionadas, a fim de fortalecer a resposta global à ameaça das mudanças climáticas, o desenvolvimento sustentável e os esforços para erradicar a pobreza (IPCC, 2018). O segundo trata das interligações entre desertificação, degradação da terra, segurança alimentar e os fluxos dos GEE em ecossistemas terrestres, apresentando opções de gestão sustentável do uso da terra em relação à adaptação e à mitigação das mudanças climáticas, tais como produção sustentável de alimentos, manejo florestal aprimorado, manejo de carbono orgânico do solo, conservação de ecossistemas, desmatamento reduzido, entre outros (IPCC, 2019a). O último, mas não menos importante, traz uma abordagem sobre a importância dos oceanos e das áreas congeladas para o sistema climático, para o suporte aos ecossistemas endêmicos dessas regiões, e para a população, tanto de forma direta quanto indiretamente (suprimento de comida e água, energia renovável, benefícios para saúde e bem-estar, turismo, comércio e transporte), evidenciando as consequências negativas potenciais do aquecimento global (IPCC, 2019b).

## 3.2 Modelagem climática

Modelar o clima consiste em representar matematicamente o sistema climático terrestre, o que inclui a representação do comportamento da atmosfera, da criosfera (todo o gelo e neve existente na superfície terrestre), da hidrosfera e da litosfera, bem como de suas interações, a fim de se obter previsões em várias escalas de tempo (LIMA; COLLISCHONN; MARENGO, 2014). Existem vários modelos climáticos, desde simples modelos de balanço de energia até complexos Modelos do Sistema Terrestre (ESM, *Earth System Models*). Quanto mais complexos os modelos, maior o custo computacional associado e o tempo de simulação necessário (IPCC, 2014). Visando minimizar as incertezas às quais os modelos estão submetidos e as limitações de aprimoramento, surgiram os Projetos de Intercomparação de Modelos Acoplados. Os tipos de modelos existentes, os desafios para aprimorá-los e uma descrição dos CMIP são apresentados a seguir.

### 3.2.1 Tipos de modelos climáticos

Segundo FLATO *et al.* (2013), modelos climáticos são as principais ferramentas para analisar a resposta do sistema climático frente a várias forçantes e para fazer projeções climáticas em escalas de tempo sazonal a decadal. Os principais modelos existentes são os Modelos de Circulação Geral Atmosfera-Oceano (AOGCM, *Atmosphere–Ocean General Circulation Models*), os Modelos do Sistema Terrestre (ESM, *Earth System Models*), os Modelos do Sistema Terrestre de Complexidade Intermediária (EMIC, *Earth System Models of Intermediate Complexity*) e os Modelos Climáticos Regionais (RCM, *Regional Climate Models*).

Os AOGCM foram os modelos climáticos “padrão” utilizados no AR4, publicado em 2007 (FLATO *et al.*, 2013). Sua função é compreender a dinâmica dos componentes físicos do sistema climático (atmosfera, oceano, terra e gelo marinho) e fazer projeções baseadas em emissões futuras de GEE e forçantes radioativas. Eles continuam sendo amplamente utilizados, sendo particularmente executados em aplicações de previsão climática sazonal a decadal quando os *feedbacks* biogeoquímicos não são relevantes. Esses modelos conseguem simular de forma satisfatória temperaturas quentes extremas, surtos de ar frio e dias de geada (RANDALL *et al.*, 2007).

Os ESM são os modelos atuais mais complexos e ultrapassam os AOGCM por incluírem a representação de vários ciclos biogeoquímicos, como o ciclo do carbono, do enxofre ou do ozônio (FLATO, 2011). Por apresentarem ferramentas mais abrangentes para simular respostas passadas e futuras do clima frente a forçantes externas, esses modelos são utilizados

quando os *feedbacks* biogeoquímicos desempenham um papel importante (BONAN; BONAN, 2015).

Os EMIC, como o nome já diz, são modelos que, apesar de possuírem componentes relevantes do sistema terrestre (como mantos de gelo, que não estão presentes em todos os ESM), apresenta-os de maneira idealizada ou com resolução mais grosseira do que dos modelos descritos acima. Dessa forma, são mais utilizados para entender *feedbacks* climáticos em escala de tempo milenar ou quando são necessárias integrações longas de modelos ou conjuntos grandes (CLAUSSEN *et al.*, 2002; PETOUKHOV *et al.*, 2005).

Por fim, os RCM são modelos com uma área limitada em que as representações dos processos climáticos ocorridos na superfície atmosférica e terrestre são semelhantes às aquelas executadas pelos AOGCM, mas geralmente sem considerar a interação com o oceano e o gelo marinho (FLATO *et al.*, 2013). Os RCM comumente são utilizados para simulações de modelos climáticos globais utilizando *downscaling* em alguma região específica para fornecer informações mais detalhadas (SOUZA *et al.*, 2014; RUMMUKAINEN, 2010).

### 3.2.2 Limitações do aprimoramento de modelos

A complexidade da representação de cada processo do sistema climático é limitada pelas observações (incompletas ou inexistentes), pelos recursos computacionais e pelo conhecimento atual (RANDALL *et al.*, 2007). Além disso, sabe-se que a variabilidade natural dos processos físicos e químicos da atmosfera global são de natureza caótica, de forma que o clima pode ser sensível a mudanças mínimas não mensuradas pelos modelos (SOUZA *et al.*, 2014). A escolha de processos físicos realmente relevantes para a modelagem da escala espaço-temporal em questão é de suma importância para diminuir a complexidade do modelo e, conseqüentemente, o requerimento computacional (HURRELL *et al.*, 2009). As implementações numéricas escolhidas resultam no que é chamado de “resolução do modelo”, sendo que essa resolução finita implica na representação de certos processos através de parametrizações (FLATO *et al.*, 2013). Segundo Flato *et al.* (2013), as parametrizações são incluídas em todos os componentes de modelos (atmosfera, oceano, terra e gelo marinho) para representar processos que não podem ser resolvidos explicitamente, e são validadas tanto isoladamente quanto no contexto de todo modelo.

Além das parametrizações, novos componentes e acoplamentos têm sido inseridos desde o AR4 para aumentar a complexidade da representação dos processos climáticos, como por exemplo o ciclo do carbono (TJIPUTRA *et al.*, 2013, 2010; CHRISTIAN *et al.*, 2010; JUNGCLAUS *et al.*, 2010; SCHURGERS *et al.*, 2008), o ciclo do metano e o *permafrost*

(KHVOROSTYANOV *et al.*, 2008a, 2008b; VOLODIN, 2008), as partículas de aerossóis (LIU *et al.*, 2012; BAUER *et al.*, 2008), a mudança no uso e cobertura da terra (BELLASSEN *et al.*, 2011, 2010; ARORA; BOER, 2010; SMITH *et al.*, 2010a, 2010b; OLESON *et al.*, 2008), os modelos de dinâmica global da vegetação inseridos em ESM (OSTLE *et al.*, 2009; SITCH *et al.*, 2008; CRAMER *et al.*, 2001), e importantes interações químico-climáticas e a ligação estratosfera-troposfera (SPARC, 2010; MONTZKA, 2011). Fatores antrópicos como desmatamento e queimadas ainda são fontes de incerteza dos modelos climáticos (PBMC, 2014).

Modelos climáticos possuem incertezas em suas formulações e em sua condição inicial. Sendo assim, uma simulação individual apresenta apenas um dos possíveis caminhos para o qual o clima pode seguir. Ou seja, *ensembles* de vários modelos climáticos ou até mesmo de simulações de um único modelo podem representar de forma mais adequada o clima futuro, mas ambas as soluções para validação dos modelos implicam em custos (FLATO *et al.*, 2013). Uma das soluções encontradas é o CMIP, descrito a seguir.

### 3.2.3 Projetos de intercomparação de modelos climáticos

Visando testar a habilidade dos modelos de simular o clima observado, em 1995, o Grupo de Trabalho sobre Modelagem Acoplada (WGCM, *Working Group on Coupled Modelling*) do Programa Mundial de Pesquisa Climática (WCRP, *World Climate Research Programme's*) criou o Projeto de Intercomparação de Modelos Acoplados (CMIP).

A ideia desse projeto é utilizar experimentos comuns para todos os modelos para testar o quanto eles conseguem representar o clima. Quando os centros de modelagem fazem isso, é possível comparar os resultados não apenas com as observações, mas com outros modelos, e assim explorar a gama de comportamentos dos modelos, bem como isolar pontos fortes e fracos de diferentes modelos em um cenário controlado. Dessa forma, através de experimentos idealizados, pode-se observar as diferenças entre os modelos, distinguindo erros específicos de modelos individuais e erros que são universais e devem ser o foco prioritário nas melhorias dos modelos climáticos (FLATO *et al.*, 2013). Com base nos protocolos do CMIP5 e de avaliações prévias, os experimentos de clima foram divididos em 3 fases: a primeira abrangendo o período de 1850 a 2005, ou seja, desde o início da fase industrial moderna até o período atual no momento de elaboração das pesquisas (VAN VUUREN *et al.*, 2011); a segunda fase cobrindo o período futuro de 2006 a 2100, o qual é descrito pelo conjunto de RCP (MOSS *et al.*, 2010); e a terceira é descrita por um conjunto correspondente de “Caminhos de Concentração de Extensão” (MEINSHAUSEN *et al.*, 2011).

Esse projeto está atualmente em sua sexta fase (CMIP6), mas houveram 3 fases anteriores: *CMIP Phases 1 and 2* (desenvolvido 1996), CMIP3 (criado durante 2005 e 2006), que motivou o desenvolvimento do AR4, e o CMIP5 (preparado durante o período de 2010 a 2014), cujas informações são resumidas no AR5. A quinta fase do projeto (CMIP5) inclui um conjunto de experimentos muito mais abrangente de modelos do que aquele disponível antes do CMIP3, cujos resultados foram apresentados no AR4 (MEEHL *et al.*, 2007). Além disso, o conjunto de modelos do CMIP5 também inclui previsões de décadas e experimentos de longo prazo utilizando ESM e AOGCM (TAYLOR; STOUFFER; MEEHL, 2012). O CMIP6 apresenta uma expansão substancial em relação ao CMIP5, tanto em termos do número de grupos de modelagem participantes e de experimentos diferentes conduzidos, quanto em termos de número de cenários futuros examinados (TOKARSKA *et al.*, 2020; HAUSFATHER, 2019). Enquanto o CMIP5 propôs quatro cenários de acordo com diferentes emissões de GEE, chamados de “Caminhos Representativos de Concentração” (ver tópico 3.1), o CMIP6 explora melhor os possíveis futuros do clima em uma situação “sem política climática”, totalizando oito cenários, denominados “Caminhos Socioeconômicos Compartilhados” (SSP, *Shared Socioeconomic Pathways*). Apesar disso, no presente trabalho foram considerados os modelos do CMIP5 porque as mudanças projetadas por eles são semelhantes às aquelas simuladas pelo conjunto de modelos do CMIP6 (HIRABAYASHI *et al.*, 2021).

### 3.3 Validação dos modelos climáticos

Diferente do que ocorre nas previsões de tempo, que são produzidas regularmente e cujos modelos podem ser rapidamente testados a partir do que realmente acontece na atmosfera, nas simulações de mudanças climáticas, há uma dificuldade muito maior de validar a modelagem. Isso acontece porque os modelos são utilizados para fazer projeções sobre o estado futuro do clima em escalas de tempo de décadas, e nem sempre existem análogos precisos do passado para se fazer simulações históricas e aumentar a confiança dos futuros projetados a longo prazo (RANDALL *et al.*, 2007). Desde o TAR, muitos esforços têm sido feitos para melhorar o desempenho dos modelos, sendo que erros na simulação da média mensal, na distribuição global da precipitação, na pressão ao nível do mar e na temperatura do ar na superfície diminuíram consideravelmente. Além disso, a intercomparação de modelos permitiu um crescimento na comunicação entre os grupos de modelagem, a identificação e correção de erros mais rapidamente e um registro mais completo e sistemático da modelagem (GETTELMAN; ROOD, 2016).

Os modelos climáticos são testados a nível de sistema, e seus resultados são comparados às observações para que possam ser validados. Porém, tais testes podem revelar problemas cuja fonte é geralmente escondida pela complexidade dos modelos. Por isso, é importante testar os modelos a nível de componente, isolando componentes particulares e testando sua resposta independentemente do modelo completo (RANDALL *et al.*, 2007). O desenvolvimento de métricas robustas para validar os modelos climáticos ainda está em seu estágio inicial, mas vários trabalhos já evidenciam resultados promissores para métricas quantitativas a nível de componente. Shukla *et al.* (2006) utilizaram a entropia relativa para mensurar a fidelidade do modelo: um pequeno valor dessa métrica indica que a distribuição de um determinado modelo está próxima do observado. Eles descobriram uma relação inversa entre entropia relativa e a sensibilidade do modelo para dobrar a concentração de CO<sub>2</sub>, ou seja, modelos que apresentaram o erro mais baixo no século 20 produziram os valores mais altos de aquecimento global no século 21 pela duplicação de CO<sub>2</sub>.

Su *et al.* (2013) analisaram um conjunto de 24 MCG do CMIP5 para validar a temperatura e a precipitação na região oriental do Platô Tibetano, utilizando observações de 1961 a 2005. A partir de medidas estatísticas como BIAS, RMSE e coeficiente de correlação, eles mostraram que os modelos representaram relativamente bem os padrões de temperatura, com algum viés frio em alguns meses do ano. Para precipitação, a maior parte dos modelos superestimou as médias anuais observadas, e apenas metade dos modelos conseguiu representar o padrão sazonal observado. Randall *et al.*, 2007 e Bader *et al.* (2008) chegaram à mesma conclusão de que os modelos globais conseguem capturar bem as características do clima a longo prazo, porém muitas incertezas surgem em escalas regionais e menores, e muitos erros ocorrem em regiões de mudanças drásticas na elevação. Miao *et al.* (2014) avaliaram a temperatura da superfície terrestre intra-anual, anual e decadal do norte da Eurásia no período de 1901 a 2005 utilizando três tipos de métodos de *ensemble* de modelos. Os resultados mostram que a maior parte dos MCG superestimam a média anual de temperatura, e a diferença entre os dados simulados e observados ocorre principalmente durante a temporada de inverno.

Baker e Taylor (2016) desenvolveram uma estrutura para validar métricas de desempenho de modelos climáticos, visto que não existia até então um conjunto padrão de métricas a serem utilizadas para facilitar a intercomparação de modelos. Knutti *et al.* (2006), utilizando um conjunto físico perturbado, compararam a relação entre a sensibilidade climática de modelos e a amplitude do ciclo sazonal na temperatura regional, concluindo que modelos com maior sensibilidade climática tendem a superestimar o ciclo sazonal comparado com as observações. Em algumas regiões do globo, a confiabilidade das projeções é prejudicada pela

falta de recursos, como apresenta o estudo de Rowell *et al.* (2016), que trata da ampla disparidade entre os modelos na magnitude de precipitação e mudança de temperatura na África. Outro fator que tem questionado a credibilidade das predições de precipitação dos MCG é o relevo (BONILLA-OVALLOS; MESA SÁNCHEZ, 2017). Um estudo mais recente (HAUSFATHER *et al.*, 2020) identificou trabalhos publicados entre 1970 e 2007 sobre o desempenho de modelos climáticos ao projetar futuras mudanças na temperatura média global da superfície terrestre. Eles concluíram que os modelos examinados são hábeis para predizer as mudanças na temperatura média, e a maioria deles mostrou um aquecimento consistente com o observado, principalmente quando as diferenças entre forçamentos projetados em modelos e estimados observacionalmente foram levados em consideração. Um estudo de Koutsouyanes (2020), por sua vez, concluiu que as predições de aumento de precipitação dos modelos do CMIP5 a partir de 1990-2000 não são confirmadas pelas observações do satélite GPCP. Inclusive, há uma série de estudos que afirmam que as projeções futuras de hidroclima se mostram discordantes da realidade quando comparados com dados reais do passado recente (depois que as previsões foram lançadas) ou mesmo dados anteriores (já conhecidos no momento da previsão) (KOUTSOYIANNIS *et al.*, 2008, 2011; ANAGNOSTOPOULOS *et al.*, 2010).

No Brasil, ainda existem poucos estudos realizados sobre validação de modelos climáticos globais. Tanajura, Genz e Araújo (2010) validaram a simulação do clima presente do modelo atmosférico regional HadRM3P aninhado no modelo global HadAM3, no período de 1960 a 1990, para o estado da Bahia. Os resultados do modelo regional foram comparados aos dados diários observados de 29 estações meteorológicas do INMET, e foi constatado que o modelo conseguiu representar de forma acurada os principais padrões do ciclo sazonal de precipitação, temperatura e umidade relativa a 2 m em quase todo o estado da Bahia. Ao longo do litoral, a magnitude da precipitação foi menor do que a observada, e o modelo não produziu nenhuma precipitação no semiárido e oeste da Bahia durante os meses de inverno. Um estudo mais recente de Oliveira, Pedrollo e Castro (2014) avaliou os dados de precipitação, evapotranspiração e vazão na Bacia do Rio Ijuí-RS simulados pelo modelo Eta CPTEC/HadCM3, no período de 1976 a 1990, em comparação com os dados observados. As diferenças entre os valores chegaram a erros de 20%, concluindo-se que essas incertezas associadas ao modelo podem, também, serem refletidas nas projeções futuras em relação à disponibilidade hídrica.

### 3.4 Projeções futuras

Embora os modelos climáticos devam ser avaliados com base na precisão das formulações da física dos modelos, não se pode esperar que os modeladores projetem com precisão futuras emissões e mudanças associadas em forçantes externas, que dependem do comportamento humano, das mudanças tecnológicas e do crescimento econômico e populacional (HAUSFATHER *et al.*, 2020). Além disso, o *feedback* de vapor d'água é o mais importante *feedback* para aumentar a sensibilidade climática dos modelos, mas a resposta de nuvens convectivas densas para o aquecimento global ainda é uma fonte substancial de incertezas nas projeções, já que os modelos possuem diferentes respostas para a simulação de nuvens e precipitação tropical (RANDALL *et al.*, 2007). A aplicação de projeções de modelos climáticos envolve o risco de muitos vieses consideráveis. Por isso, Teutschbein e Seibert (2012) desenvolveram uma revisão sobre métodos de correção de viés disponíveis, demonstrando como eles podem ser usados para corrigir desvios de séries de temperatura e precipitação simuladas por modelos. Os métodos de correção de viés são assumidos como estacionários, ou seja, o algoritmo de correção e sua parametrização para as condições climáticas atuais também são válidos para as condições futuras. Os métodos revisados nesse trabalho foram o escalonamento linear, o escalonamento de intensidade local, a transformação exponencial, o escalonamento da variância, o mapeamento quantil-quantil e o *delta change*.

A abordagem de escalonamento linear de precipitação e temperatura (LENDERINK; BUIHAND; VAN DEURSEN, 2007) utiliza valores de correção mensais baseados nas diferenças entre valores observados e simulados do período atual, fazendo com que os valores corrigidos das simulações concordem perfeitamente com as médias mensais observadas. Já o escalonamento de intensidade local, proposto por Schmidli, Frei e Vidale (2006), leva em conta não apenas a escala linear, mas também a frequência e intensidade de dias chuvosos nas séries temporais. A transformação exponencial, por sua vez, está baseada em uma correção de forma exponencial (LEANDER *et al.*, 2008; LEANDER; BUIHAND, 2007), podendo ser utilizada especificamente no ajuste das estatísticas de variação de uma série temporal de precipitação, já que o escalonamento linear leva em conta apenas um viés na média. Como o escalonamento de intensidade local e a transformação exponencial estão limitados ao uso para séries temporais de precipitação, Chen *et al.* (2011) e Chen, Brissette e Leconte (2011) desenvolveram uma métrica correspondente para corrigir a média e a variância de séries de temperatura. O mapeamento quantil-quantil foi desenvolvido para corrigir a função cumulativa de probabilidade dos valores simulados pelos modelos regionais a fim de que esta concorde com a função cumulativa de



probabilidade dos dados observados, o que pode ser feito criando uma função de transferência, tanto de temperatura quanto de precipitação (SENNIKOV; BETHERS, 2009).

A ideia da abordagem de *delta change*, diferente das métricas descritas anteriormente, é usar a mudança futura simulada pelos modelos (anomalia) para perturbar os dados observados, ao invés de usar as simulações de condições futuras dos modelos diretamente (TEUTSCHBEIN; SEIBERT, 2012). Isso implica que esse método não pode ser validado pela execução do controle, porque este corresponde ao clima observado, o que daria, portanto, simulações perfeitas por definição. Sendo assim, as anomalias entre o controle (período atual) e os cenários futuros são sobrepostas às séries temporais observadas, o que geralmente é feito mensalmente (HAY; WILBY; LEAVESLEY, 2000).

O conjunto de cenários utilizado para fazer projeções é apresentado no quinto relatório do IPCC. São os chamados “Caminhos de Concentração Representativos” (RCP, *Representative Concentration Pathways*), havendo um cenário de mitigação rigorosa (RCP 2.6), dois cenários intermediários (RCP 4.5 e RCP 6.0) e um cenário com altas concentrações de GEE (RCP 8.5) (IPCC, 2014). Cada cenário de RCP foi projetado para atingir um alvo de forçante radiativa específica de GEE em uma data específica (GETTELMAN; ROOD, 2016), com base em diferentes rumos que a sociedade pode tomar (tamanho da população, atividade econômica, estilo de vida, uso de energia, padrões de uso da terra, tecnologia e políticas ambientais). O número atribuído ao nome de cada RCP diz respeito ao valor da forçante radiativa de estabilização (em  $W/m^2$ ) ao final do ano de 2100 em relação às condições pré-industriais. Esse valor está diretamente relacionado aos níveis de  $CO_2$  e outros GEEs na atmosfera. Sendo assim, as concentrações equivalentes de  $CO_2$  no ano de 2100 para o RCP 2.6, RCP 4.5 e RCP 8.5 são 421 ppm, 538 ppm e 936 pm, respectivamente (MEINSHAUSEN *et al.*, 2011). Segundo dados do Escritório de Pesquisa e Exploração Oceânica da Administração Oceânica e Atmosférica Nacional (NOAA, *National Oceanic and Atmospheric Administration*), a concentração de  $CO_2$  equivalente em 2020 já é de 412,5 ppm.

### **3.5 Mudanças climáticas e seus impactos**

A seguir, são descritos trabalhos acerca dos mais diversos impactos que as mudanças climáticas têm causado no mundo, no Brasil e no Rio Grande do Sul.

#### **3.5.1 Impactos no mundo**

Eventos extremos como secas, enchentes, furacões, ciclones extratropicais, ondas de calor e frio estão cada vez mais frequentes e intensos no mundo, muito devido às mudanças

climáticas, causando várias perdas de vida e prejuízos econômicos em todas as partes (*NATIONAL ACADEMIES OF SCIENCES, ENGINEERING AND MEDICINE*, 2016). Um estudo do Instituto de Pesquisa de Políticas Públicas (IPPR, *Institute for Public Policy Research*) afirma que, desde 1950, o número de enchentes ao redor do mundo aumentou 15 vezes, eventos de temperaturas extremas 20 vezes, e os incêndios se tornaram sete vezes mais frequentes (LAYBOURN; BAXTER, 2019). Apenas em 2018, ocorreram eventos climáticos extremos por todo o mundo, podendo-se citar os furacões Michael e Florence na costa dos EUA, os tufões Jebi e Trami no Japão, incêndios na Califórnia, a tempestade Emma, a onda de frio “Besta do Leste” na Europa (OVERLAND *et al.*, 2020), extensas enchentes na Índia e na China e o desmatamento crescente na Amazônia. A severidade dos eventos climáticos extremos depende fortemente do nível de exposição e vulnerabilidade a esses eventos, o que varia conforme fatores econômicos, sociais, geográficos, demográficos, culturais, institucionais e governamentais (IPCC, 2012). A influência das mudanças climáticas tende a ser cada vez mais evidente à medida que condições meteorológicas extremas atinjam áreas geográficas maiores. Antes da Revolução Industrial, os níveis de dióxido de carbono na atmosfera foram mantidos quase constantes na faixa de 280 ppm através de um equilíbrio biogeoquímico, porém, em 2007, a concentração de CO<sub>2</sub> na atmosfera atingiu o nível de 3,5 milhões de anos atrás, ultrapassando 400 ppm (HASHIMOTO, 2019).

Diversos estudos (NORDHAUS, 2017; HITZ; SMITH, 2004) revisaram a literatura para analisar o que os trabalhos sobre mudanças climáticas globais estimam de impactos no mundo. O IPCC realizou várias pesquisas sobre os impactos econômicos gerais das mudanças climáticas desde o SAR até o AR5. O principal impacto é, sem dúvidas, o aumento da temperatura média global do ar na superfície, que atingiu seu quarto valor mais alto em 2018 se comparado a todo período desde 1880 (NASA; NOAA, 2019). Segundo um relatório especial do IPCC, um aquecimento acima de 2 °C em relação às condições pré-industriais levaria a centenas de milhões de pessoas na pobreza, destruiria os recifes de coral e deixaria alguns países incapazes de se adaptar às mudanças (IPCC, 2018). Os demais impactos são decorrentes desse último, afetando os mais diversos setores: agricultura, recursos hídricos, saúde humana, energia, produtividade dos ecossistemas terrestres e marinhos, silvicultura, biodiversidade e produtividade dos ecossistemas marinhos. A Organização Mundial da Saúde elegeu a poluição do ar como o maior risco ambiental à saúde global (WHO, 2018). Richter e Semenov (2005) e Zhang e Liu (2005) mostraram que poderá ocorrer um efeito negativo do clima sobre o crescimento de culturas, aumentando o risco de perdas de safras no mundo.

No final de 2019, na China, foi reportado o surgimento de uma doença ocasionada por um novo coronavírus (SARS-CoV-2) e que ficou conhecida como COVID-19 (ZHU *et al.*, 2020). Pela rapidez de transmissão, o vírus atingiu o mundo inteiro em questão de meses, gerando uma pandemia que tem provocado diversos impactos não apenas socioeconômicos, como também ambientais (LENZEN *et al.*, 2020). Tal fato impulsionou a pesquisa em doenças infecciosas emergentes e seus vínculos com a perda de biodiversidade, atividades humanas e questões de sustentabilidade (DOBSON *et al.*, 2020). Muitos pesquisadores já apontam para um declínio global nas emissões de GEE, embora possam ser apenas melhorias de curto prazo (CORLETT *et al.*, 2020). Segundo Helm (2020), a utilização de carvão para geração de energia recuou acentuadamente na China, especialmente nos primeiros meses da pandemia, havendo um grande declínio na emissão de GEE em fevereiro de 2020 (cerca de 20%), mas um incremento nesses níveis a partir de março, quando a quarentena foi revogada. Ainda segundo o autor, não apenas as usinas de carvão contribuíram para a diminuição da poluição do ar, mas também o acentuado decaimento do transporte terrestre e aéreo, e conseqüentemente, a queima de óleo. Estima-se que a redução de emissões de CO<sub>2</sub> tenha chegado a 250 milhões de toneladas (LENZEN *et al.*, 2020). Essas reduções de emissões relacionadas à energia não ocorreram, no entanto, nas emissões agrícolas, as quais não parecem estar significativamente afetadas até agora. Mesmo assim, essas breves mudanças já enfatizam a gravidade dos impactos antropogênicos em todo o mundo.

As emissões de dióxido de nitrogênio (NO<sub>2</sub>) caíram quase pela metade em várias cidades da Europa (EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY, 2020). Especialistas afirmam que essa redução é a maior já experimentada em todos os tempos em termos de redução de emissões industriais (WATTS & KOMMENDA, 2020). As maiores áreas metropolitanas dos EUA apresentaram reduções significativas nos níveis de NO<sub>2</sub>, poluente emitido principalmente pela queima de combustíveis fósseis (diesel, gasolina, carvão) (NASA's SVS, 2020). Embora não seja um gás de efeito estufa, esse poluente se origina das mesmas atividades industriais que são responsáveis por uma grande parte do carbono do mundo e que impulsionam o aquecimento global. WANG *et al.* (2020) avaliaram as mudanças no índice de qualidade do ar e na concentração de seis poluentes atmosféricos (PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>10</sub>, CO, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub> e O<sub>3</sub>) no norte da China durante o surto de COVID-19. Com a redução de emissões nos setores industriais secundários e de transporte, foi constatado que a qualidade do ar melhorou, apesar de não eliminar totalmente a poluição do ar. Os resultados mostram que a redução do setor de transporte foi responsável pelas reduções de emissão de NO<sub>2</sub>, enquanto os setores industriais secundários estiveram relacionados à diminuição da concentração de PM<sub>2.5</sub>, CO e SO<sub>2</sub>. O estudo

indicou um aumento na concentração de ozônio, o que foi explicado pelas cargas mais baixas de partículas finas no ar, as quais seriam um sumidouro menos eficaz para os radicais livres, os responsáveis pela produção de O<sub>3</sub> (LI *et al.*, 2019).

Existe uma correlação direta entre o Produto Interno Bruto (PIB) e as emissões de gases de efeito estufa. O *lockdown*, uma das medidas mais extremas geradas pela pandemia, e a consequente queda simultânea no PIB e nas emissões evidenciaram essa correlação, indicando que não é possível atingir as metas do Acordo de Paris de limitar o aquecimento a 1,5 °C enquanto o PIB e a população continuarem a crescer (HELM, 2020). Essas observações devem motivar ainda mais o debate e a reflexão sobre se o crescimento do consumo é compatível com a limitação do aquecimento global e a proteção do meio ambiente em geral, e se as tecnologias “verdes” podem ser suficientemente rápidas para reduzir os impactos ambientais desse maior consumo. As consequências a longo prazo ainda são difíceis de serem previstas. Com o declínio das emissões a curto prazo, seria mais fácil atingir as metas de carbono para 2030 se houvesse um crescimento menor no PIB (HELM, 2020). A dúvida que fica é se os governos, diretamente afetados pelo vírus ou pela redução global das atividades econômicas, conseguiriam manter essas políticas de mudança climática a médio prazo e, assim, limitar os aumentos nos preços de energia, transporte e alimentação. A pandemia reduzirá, ao que tudo indica, as emissões a curto prazo, mas o surto de uma doença e o desemprego associado não são uma maneira saudável de deter a mudança climática; pelo contrário, as recessões são geralmente seguidas de fortes rebotes (WORLAND, 2020).

### **3.5.2 Impactos no Brasil**

Vários eventos extremos ocorreram no Brasil desde o início deste século e merecem destaque, tais como o furacão Catarina em março de 2004; as secas históricas da Amazônia em 2005, 2010 e 2016, e as enchentes em 2009, 2012 e 2014 (MARENGO, 2014); as secas no sul do país em 2004, 2005, 2006 e 2012, e as enchentes de 2009, 2010 e 2011; e a seca de 2012 a 2017 no sertão do Nordeste, sendo a pior já registrada na história do Brasil. Um estudo de Chaves, Collins e Marques (2008) avaliou a temperatura do ar a 2 m de altura para a América do Sul através de dados de reanálise e concluiu que houve um aumento em todo o território, especialmente na parte norte da região amazônica, no Nordeste do Brasil e no leste da Cordilheira dos Andes. Os mesmos resultados são encontrados nos trabalhos de Ambrizzi *et al.* (2007) e Marengo *et al.* (2007), em que os aumentos de temperatura em regiões da Amazônia e Nordeste foram de 6 °C e 3,5 °C para os cenários A2 e B2 do AR4 do IPCC, respectivamente. Emanuel (2005) avaliou a destruição crescente de ciclones tropicais nos últimos 30 anos

baseado na dissipação total de sua energia, integrado ao longo de sua vida útil. Essa tendência se deve a vidas mais longas e maiores intensidades, o que, segundo o estudo, está diretamente relacionado ao aumento da temperatura da superfície do mar tropical e ao aquecimento global.

Os impactos do aumento da temperatura do ar são relevantes em vários setores, havendo estudos sobre como as mudanças climáticas afetaram a agricultura, a saúde e a geração de energia hidrelétrica no Brasil. Assad *et al.* (2004) avaliaram os efeitos de um aumento da temperatura média do ar de 1 °C, 3 °C e 5,8 °C aliado a um incremento de 15% da precipitação na cafeicultura brasileira. O estudo levou em conta o cultivo de café arábica nos estados de Goiás, Minas Gerais, São Paulo e Paraná. Mantendo-se as características genéticas e cultivares do café, os resultados apontam para uma redução de áreas aptas superior a 95% na maior parte das localidades caso o aumento de temperatura chegue a 5,8 °C. Barcellos *et al.* (2009) estudaram o impacto das mudanças climáticas sobre as doenças infecciosas no Brasil, especialmente aquelas de veiculação hídrica, as transmitidas por vetores e as respiratórias. Constataram que eventos extremos, condições atmosféricas atípicas, queimadas, inversões térmicas e alterações sazonais de temperatura e de chuva podem influenciar diretamente a incidência de tais doenças, embora a saúde humana dependa de outros fatores como vulnerabilidade individual e coletiva. Scianni (2014) estudou o efeito das mudanças climáticas sobre a geração da energia hidrelétrica no Brasil, apontando para os riscos da indisponibilidade de água em quantidades satisfatórias para atender à demanda de energia elétrica. No trabalho, são usados modelos climáticos globais do IPCC e modelos hidrológicos que relacionam chuva e vazão para quantificar a energia assegurada nas principais bacias do país.

Segundo Nobre (2014), as perdas causadas por eventos extremos são cada vez maiores não apenas devido ao aquecimento global, mas devido ao constante e intensivo desmatamento da região amazônica. A circulação das células de Hadley explica a simetria na biodiversidade do mundo: grandes florestas na linha do Equador, e dois grandes desertos na linha dos trópicos. No Brasil, país continental cuja extensão vai além do trópico de Capricórnio, a tendência à desertificação é contrariada pela presença dos chamados “rios voadores” ou “rios atmosféricos” oriundos da Amazônia. Esse conceito, introduzido por Newell *et al.* (1992), diz respeito ao transporte de grandes quantidades de água (superiores ao valor transportado pelo Rio Amazonas) na forma de vapor, que cai na forma de precipitação, durante o verão, sobre o quadrilátero afortunado. Esse processo é o responsável por não haver um deserto na região centro-sul do Brasil, tornando-se tão importante a ponto de virar alvo de estudo por outros pesquisadores posteriormente (ARRAUT *et al.*, 2012; SPRACKLEN; ARNOLD; TAYLOR, 2012; MARENGO *et al.*, 2004). Não apenas a floresta amazônica é importante para atenuar os

efeitos do aquecimento global, como também outras formações florestais, como é o caso da Mata Atlântica. Um estudo de Wanderley *et al.* (2019) analisou a relação entre a temperatura da superfície terrestre e áreas antropizadas em uma região de Mata Atlântica, concluindo que um aumento de 25% de área não florestada resulta em um aumento de aproximadamente 1 °C na região.

O desmatamento é uma ameaça ambiental, visto que reduz a reciclagem da umidade da vegetação para a atmosfera, além de reduzir o volume de água transportado por rios aéreos. Os impactos de um desmatamento total ou parcial da Amazônia podem ser sentidos tão longe quanto os EUA ou a China (LAWRENCE; VANDECAR, 2015), pois diminuiria a água na atmosfera, o que significa menos chuva e, conseqüentemente, maior dificuldade para o cultivo de alimentos. Somando-se as previsões de redução de precipitação e aumento do período de seca na maior parte da Amazônia (projetadas pelos modelos climáticos globais) às reduções de umidade previstas como resposta ao desmatamento, existe, ao que tudo indica, uma suscetibilidade de “savanização” de parte da Amazônia (LOVEJOY; NOBRE, 2018; SOUZA *et al.*, 2014; NOBRE; SAMPAIO; SALAZAR, 2007). Além disso, quando a floresta é sujeita a períodos atipicamente secos, aumenta o risco de ocorrência de queimadas que podem destruir grandes áreas de vegetação e liberar fumaça e vários outros poluentes atmosféricos, afetando não só a população, como também o início da estação chuvosa e a quantidade de chuva na região (MARENGO *et al.*, 2018; ANDREAE *et al.*, 2004). Durante a seca de 2016 na Amazônia, o número de incêndios cresceu 36% em relação aos 12 meses anteriores (ARAGÃO *et al.*, 2018). A nuvem de fumaça que atingiu a capital de São Paulo em agosto de 2019, que pode ser visualizada no Banco de Dados de Queimadas do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), foi o resultado de uma frente fria associada ao transporte de fumaça oriunda das queimadas na floresta Amazônica (PRIZIBISCZKI, 2019). Tal evento evidencia que as conseqüências geradas pelas queimadas na Amazônia podem se estender a centenas de quilômetros. E essas queimadas são resultantes não apenas da fragmentação florestal e do aquecimento global, mas são intensificadas principalmente por duas atividades antrópicas: a prática agrícola predominante na região, uma tradição milenar que utiliza fogo e nem sempre é realizada de forma controlada, e o desmatamento realizado através de queimadas para expandir as fronteiras agropastoris, uma das principais preocupações para o aquecimento global nas últimas décadas. Ao que tudo indica, não estamos tão longe de um ponto de ruptura da estabilidade climática e ecológica das florestas tropicais da Amazônia, afetando o globo como um todo (MARENGO *et al.*, 2018).

Vários estudos envolvendo modelos climáticos globais também foram realizados para avaliar os impactos das mudanças climáticas nas bacias hidrográficas. Bravo *et al.* (2013) utilizaram projeções de MCG no Modelo de Grandes Bacias (MGB-IPH) para analisar os impactos das mudanças climáticas nas vazões da Bacia do Alto Uruguai. Como houve grande dispersão nas projeções de precipitação, metade dos resultados do modelo utilizado indicaram projeções de aumento de vazão do rio, e a outra metade indicou projeções de diminuição de vazão. Brêda *et al.* (2020), seguindo metodologia semelhante, utilizaram dados dos MCG oriundos do CMIP5 para analisar as mudanças na precipitação, evapotranspiração e vazão de rios em toda América do Sul, concluindo que há a tendência de aumento das descargas na Bacia do Rio Uruguai em ambos os cenários analisados (RCP 4.5 e RCP 8.5), e grande redução na vazão média anual nas bacias de Orinoco, Tocantins e Amazonas. Sorribas *et al.* (2016) analisaram os efeitos das mudanças na vazão dos rios e nas inundações causadas na bacia amazônica através do modelo hidrológico-hidráulico MGB-IPH, utilizando projeções de modelos climáticos do CMIP5. Cenários futuros de modelos indicam um aumento na vazão média e máxima em grandes rios que drenam os Andes orientais no noroeste da Amazônia, e uma diminuição das descargas dos rios das bacias situadas ao leste do Amazonas. De modo geral, existe uma expectativa consensual da comunidade científica brasileira e internacional em relação à diminuição significativa das chuvas em grande parte do centro-norte-nordeste do território brasileiro, com aumento dos eventos extremos de secas e estiagens prolongadas principalmente nos biomas da Amazônia, Cerrado e Caatinga (SOUZA *et al.*, 2014). Enquanto isso, trabalhos avaliando os impactos de mudanças climáticas na região Sul apontam para um aumento de precipitação e vazões, conforme descrito a seguir.

### **3.5.3 Impactos no Rio Grande do Sul**

No Sul do Brasil e norte da Argentina, tendências de aumento das vazões de rios e da frequência de chuvas fortes no verão e no inverno foram observadas desde meados do século XX (MARENGO, 2014; MARENGO; VALVERDE, 2007). O mesmo é observado em um resumo ilustrativo presente no AR5 do IPCC (2013) para regiões representativas da América Central e do Sul (IPCC, 2013), como pode ser visto na Figura 1. Verifica-se que, para a região 7, onde se encontra o Rio Grande do Sul, existe a tendência de aumento de precipitação e vazões de rios, além de um aumento na temperatura do ar. Esse aquecimento sistemático da região sul já havia sido estudado muito antes do lançamento do AR5, por Marengo e Camargo (2007), os quais analisaram as temperaturas máximas e mínimas no Sul do Brasil durante o período de 1960 a 2002 e detectaram tendências positivas nessas variáveis em níveis anual e sazonal. Além

disso, as análises sugerem um aquecimento mais intenso no inverno em comparação com o verão, o que pode estar relacionado com o aumento do número de dias quentes no inverno. Também foram realizados estudos do impacto das mudanças climáticas na agricultura, avaliando os efeitos tanto sobre o balanço hídrico do solo (ALBERTO *et al.*, 2006; STRECK; ALBERTO, 2006) quanto sobre o desenvolvimento vegetal (STRECK *et al.*, 2006). Outras pesquisas realizadas sobre o impacto das mudanças climáticas na agricultura para a região Sul do Brasil são de Pandolfo *et al.* (2008), Machado (2009), Campos (2011) e Bork (2016).

Eventos extremos como os Complexos Convectivos de Mesoescala (CCM) estão cada vez mais frequentes no RS devido a anomalias na circulação atmosférica antártica (ANGONESE *et al.*, 2018; SCHOSSLER *et al.*, 2018a, 2018b). Esses eventos atmosféricos estão relacionados a tempestades severas, ocorrendo mais frequentemente nos meses mais quentes do ano (maio a outubro), principalmente no norte da Argentina, Bolívia, Paraguai e Sul do Brasil (VELASCO; FRITSCH, 1987). Cerca de 30% dos CCM que ocorrem na América do Sul atuam sobre o estado do Rio Grande do Sul, sendo responsáveis por boa parte da quantidade de precipitação que ocorre no território gaúcho (MORAES, 2016). Um estudo de caso de abril de 2011 é descrito por Moraes e Aquino (2018), descrevendo um evento de CCM que provocou a precipitação de 43% do volume de chuvas do mês em apenas 19 horas e 30 minutos, mostrando seu alto potencial de destruição. Junior *et al.* (2018) analisaram a composição isotópica da precipitação do Rio Grande do Sul para avaliar a origem da umidade em eventos normais e extremos de chuva, visto que o estado está localizado em uma região de encontro de massas de ar continental tropical e marítima subpolar. Os resultados mostraram que existe uma variação sazonal das fontes de umidades dos eventos de precipitação. Moraes *et al.* (2020) estudaram as diferenças entre os complexos CCM ocorridos no Sul do Brasil, concluindo que eles duram mais tempo (3 horas a mais) e se possuem uma extensão máxima média cerca de 50.000 km<sup>2</sup> a mais que os outros eventos que ocorrem nas regiões subtropicais da América do Sul. Isso se deve principalmente ao fato de existirem duas fontes potenciais de umidade na gênese dos CCM do Sul do Brasil: um sistema de circulação que traz umidade da Bacia Amazônica e a presença de um anticiclone na porção sudoeste do Atlântico Sul.

Além do trabalho realizado por Brêda *et al.* (2020), outros estudos avaliaram os impactos das mudanças climáticas nas bacias hidrográficas situadas na região sul do Brasil. Schuster, Fan e Collischonn (2020) analisaram o impacto das mudanças climáticas projetadas por modelos do CMIP5 na disponibilidade hídrica de bacias hidrográficas situadas na área de contribuição à Laguna dos Patos. Utilizando o modelo MCG-IPH e considerando os dois cenários extremos de emissão (RCP 2.6 e RCP8.5), a autora concluiu que existe a tendência de



aumento das vazões dessas bacias em ambos os cenários. Adam *et al.* (2014), utilizando o modelo hidrológico MGB, estudaram os impactos nas vazões máximas da Bacia do Rio Paraná, concluindo que, apesar de discrepâncias consideráveis encontradas para diferentes modelos e períodos de retorno considerados, existe um aumento das inundações máximas simuladas na maior parte dos pontos de controle. Tejasdas *et al.* (2016), com base em projeções de precipitação oriundos dos MCG do AR4, obtiveram resultados semelhantes para as vazões da Lagoa Mangueira, utilizando o modelo hidrológico IPH II. O Primeiro Relatório de Avaliação Nacional desenvolvido pelo Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas (PBMC) também aponta para um aumento da precipitação tanto no Bioma Mata Atlântica (porção sul) quanto no Bioma Pampa, variando de 5% a 10% até 2040, e de 15% a 20% até 2070 (SOUZA *et al.*, 2014). Essas tendências acentuam-se ainda mais para o final do século (2071-2100), com um clima 25% a 30% mais chuvoso no Bioma Mata Atlântica, e 35% a 40% mais chuvoso no Bioma Pampa. Em relação à temperatura, o clima regional deve ser 1 °C mais quente até 2040, chegando a um aumento de 2,5 °C a 3 °C no final do século (2071-2100), em ambos os biomas. O trabalho de Vianna, Aquino e Matzenauer (2006) comparou espacial e temporalmente a chuva no Rio Grande do Sul, apontando para um aumento de 8% na precipitação anual do estado, comparando o período mais recente (1975-2004) em relação ao anterior (1945-1974).

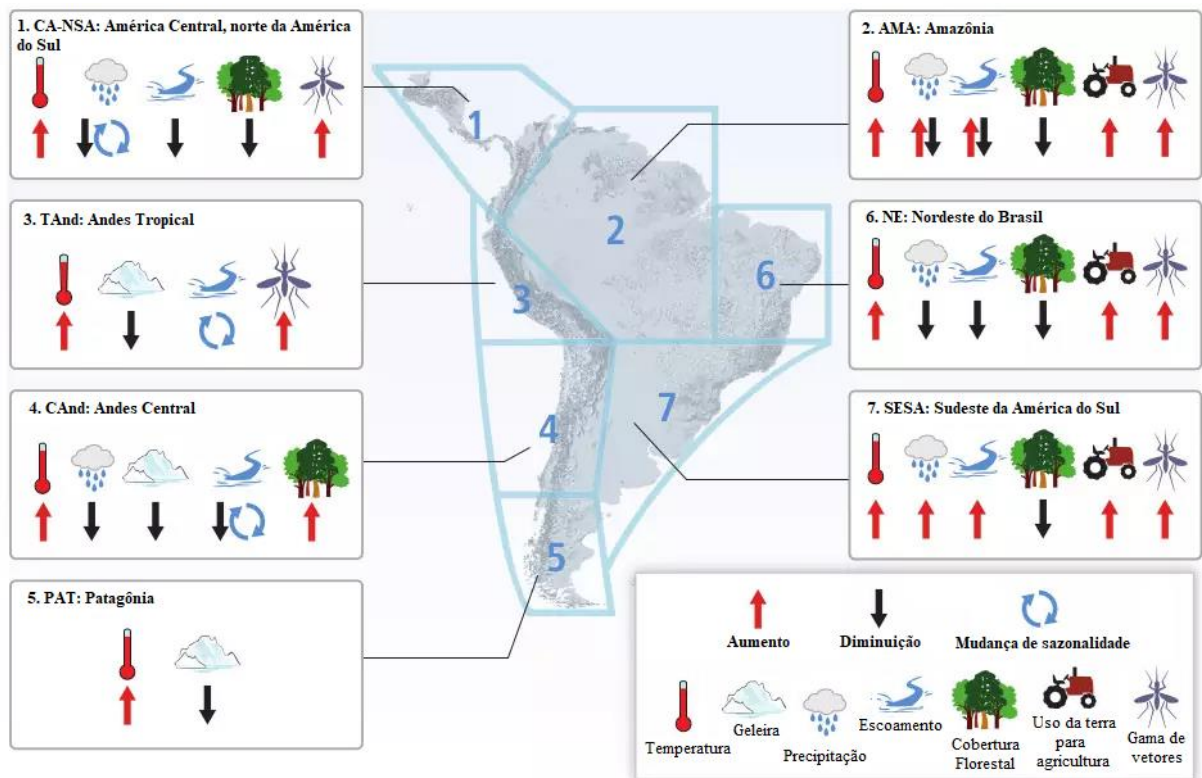


Figura 1. Resumo das mudanças observadas no clima e outros fatores ambientais em regiões representativas da América Central e do Sul. Adaptado de IPCC (2013).

## 4 METODOLOGIA

### 4.1 Área de estudo

O presente estudo de mudanças climáticas foi realizado para o Rio Grande do Sul, estado do Brasil localizado no extremo sul do país. Segundo a classificação de Köppen, o Rio Grande do Sul apresenta clima dos tipos Cfa e Cfb, com precipitação bem distribuída ao longo do ano, variando de 100 a 170 mm mensais (ALVARES *et al.*, 2013). Segundo dados do INMET, a normal climatológica mais recente (1981 a 2010) de temperatura média compensada anual para o estado é de 18,1 °C, e de precipitação acumulada anual é de aproximadamente 1650 mm. Durante o verão, há o predomínio do Anticiclone do Atlântico Sul juntamente com a intensificação do centro de baixa pressão do Chaco (VALENTE; AQUINO, 2018). Nos meses de abril a setembro, predominam as frentes frias, devido à intensificação da frente polar, formada pelo contato entre massas de ar polar e tropical (TUBELIS; NASCIMENTO, 1980).

Para avaliar o quanto os modelos climáticos representaram o clima no período histórico e para uma análise das projeções futuras do clima, foram consideradas as cinco unidades geomorfológicas do território classificadas por Müller Filho (1970): Cuesta do Haedo, Depressão Central, Escudo Cristalino, Planalto Meridional e Planície Costeira, as quais são apresentadas no Quadro 1. A localização de cada região pode ser visualizada na Figura 2, onde elas são apresentadas juntamente com as estações meteorológicas convencionais do INMET. Unidades geomorfológicas são definidas por um conjunto de características altimétricas e fisionômicas semelhantes de relevo, as quais podem ser explicadas por fatores paleoclimáticos e por condicionantes litológicas e estruturais (IBGE, 2009).

Quadro 1. Caracterização das unidades geomorfológicas do Rio Grande do Sul.  
Adaptado de Guasseli *et al.* (2006).

<b>Unidade geomorfológica</b>	<b>Variação altimétrica</b>	<b>Formação geológica</b>	<b>Cobertura vegetal</b>
<b>Cuesta do Haedo</b>	80 a 360 m	Baixo planalto com relevo monoclinal com front voltado para leste.	Campos limpos, campos sujos e orizicultura.
<b>Depressão Central</b>	100 a 300 m	Sedimentos mesozóicos da Bacia do Paraná, com colinas de topo ora plano ora convexo	Campos e áreas de cultivos diversificados (arroz, feijão, hortifrutigranjeiros, milho, tabaco)
<b>Escudo Cristalino</b>	200 a 600 m	Rochas pré-cambrianas, altamente falhadas e dobradas	Campos sujos associados a áreas de floresta e a pequenas lavouras de subsistência, e campos mistos nas áreas baixas com relevo plano ondulado
<b>Planalto Meridional</b>	700 a 1389 m	Rochas vulcânicas com superfície ondulada	Florestas, campos e áreas de cultivo (arroz, soja, milho e trigo)
<b>Planície Costeira</b>	0 a 200 m	Vasta extensão areal com diferentes ambientes de sedimentação (marinhos, lagunares e alúvio-coluvionares).	Dunas, lagoas, cultivo intensivo de arroz e cultivos variados

#### 4.2 Variáveis climáticas consideradas

No presente estudo, foram consideradas as variáveis precipitação mensal acumulada (mm), radiação solar incidente na superfície terrestre ( $W/m^2$ ) e temperatura do ar a 2 m de altura ( $^{\circ}C$ ).

Para que um modelo represente de forma acurada a distribuição de temperatura observada, muitos processos devem ser adequadamente representados, sendo o principal deles a influência externa da radiação solar incidente (FLATO *et al.*, 2013). A simulação da precipitação é um teste mais rigoroso para os modelos, pois depende de processos que devem ser parametrizados, principalmente a nível regional, em que a heterogeneidade da superfície (vegetação, topografia, áreas litorâneas) tem maior influência (SOUZA *et al.*, 2014; NEELIN *et al.*, 2010; ROUGIER *et al.*, 2009). Entretanto, em alguns modelos, melhorias consideráveis foram alcançadas com o aumento da resolução (DELWORTH *et al.*, 2012) e com representações aprimoradas de processos como a convecção em *grids* mais detalhados (NEALE; RICHTER; JOCHUM, 2008). A qualidade das simulações da precipitação anual média no conjunto do CMIP5 melhorou em relação ao CMIP3, sendo que a correlação entre a média observada e a simulada cresceu de 0,77 no AR4 para 0,82 no AR5 (IPCC, 2014).

### 4.3 Dados observados

Os dados observados foram extraídos do BDMEP, o Banco de Dados Meteorológicos do INMET. Ao todo, são 18 estações localizadas dentro do Rio Grande do Sul, as quais são apresentadas no mapa da Figura 2 com seu código de acordo com a WMO. A cidade em que cada estação está localizada e demais informações são fornecidas no Quadro 2. Pode-se perceber que todas as estações possuem dados disponíveis na plataforma somente a partir de 1961, sendo essa a data inicial do período atual considerado no presente estudo.

Quadro 2. Estações meteorológicas convencionais do INMET utilizadas para validação das projeções dos modelos climáticos para o período atual (1961-2005). Adaptado da Plataforma do INMET.

<b>Cidade</b>	<b>Código WMO</b>	<b>Latitude (°)</b>	<b>Longitude (°)</b>	<b>Altitude (m)</b>	<b>Dados a partir de</b>
<b>Bagé</b>	83980	-31.33	-54.1	242.31	jan/61
<b>Bento Gonçalves</b>	83941	-29.15	-51.51	640	jan/61
<b>Bom Jesus</b>	83919	-28.66	-50.43	1047.5	fev/61
<b>Caxias do Sul</b>	83942	-29.16	-51.2	759.6	jan/61
<b>Cruz Alta</b>	83912	-28.63	-53.6	472.5	jan/61
<b>Encruzilhada do Sul</b>	83964	-30.53	-52.51	427.75	jan/61
<b>Iraí</b>	83881	-27.18	-53.23	247.1	jan/61
<b>Lagoa Vermelha</b>	83916	-28.21	-51.5	840	jan/61
<b>Passo Fundo</b>	83914	-28.21	-52.4	684.05	jan/61
<b>Pelotas</b>	83985	-31.78	-52.41	13	jan/61
<b>Porto Alegre</b>	83967	-30.05	-51.16	46.97	jan/61
<b>Rio Grande</b>	83995	-32.03	-52.11	2.46	jan/61
<b>Santa Maria</b>	83936	-29.7	-53.7	95	jan/61
<b>Santa Vitória do Palmar</b>	83997	-33.51	-53.35	24.01	jan/61
<b>Santana do Livramento</b>	83953	-30.83	-55.6	328	jan/61
<b>São Luiz Gonzaga</b>	83907	-28.4	-55.01	245.11	jan/61
<b>Torres</b>	83948	-29.35	-49.73	4.66	jan/61
<b>Uruguaiana</b>	83927	-29.75	-57.08	62.31	jan/61

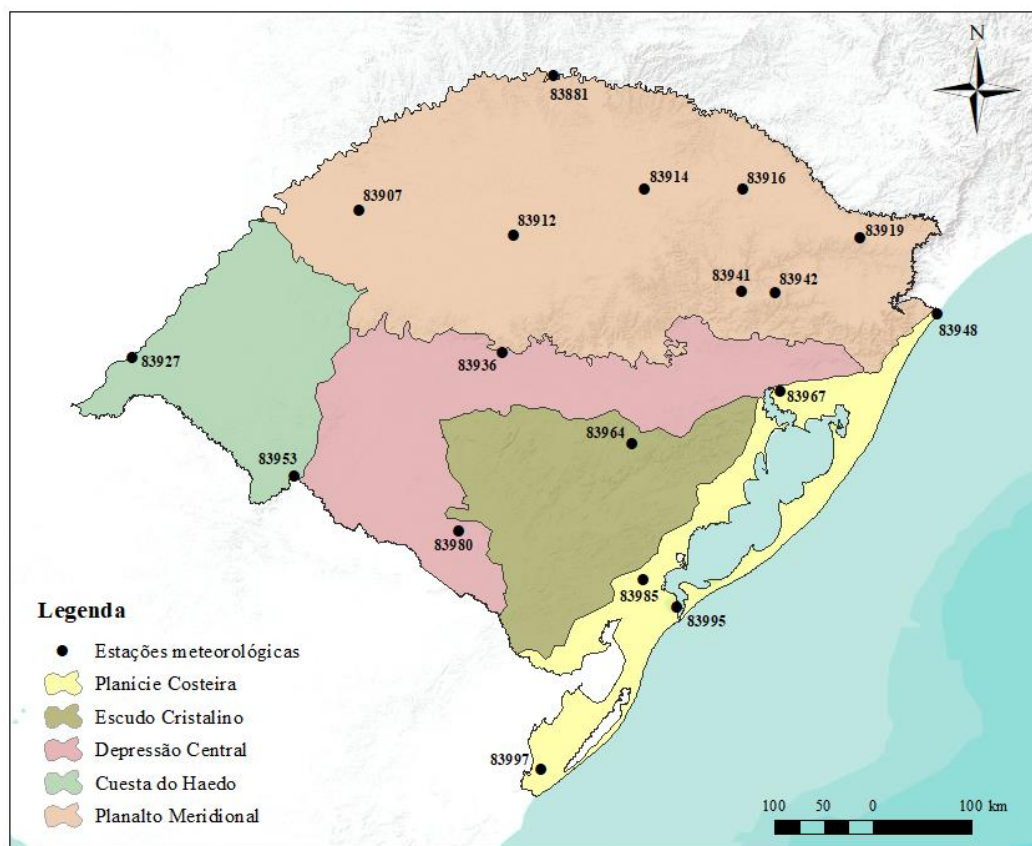


Figura 2. Localização das estações meteorológicas convencionais do INMET em cada região geomorfológica do Rio Grande do Sul.

#### 4.4 Dados simulados

##### 4.4.1 Cenários de mudanças climáticas considerados

Para obter as projeções futuras do clima em cada região, foram considerados os dois cenários extremos de emissões de gases do AR5: o cenário de mitigação rigorosa, RCP 2.6, e o cenário RCP 8.5, com elevadas concentrações de GEE. Ambos foram utilizados pois indicam a variabilidade à qual as diferentes regiões geomorfológicas do RS estarão sujeitas num período futuro.

##### 4.4.2 Períodos considerados (atual e futuro)

Os dados disponíveis na plataforma do INMET iniciam em 1961 para as estações meteorológicas instaladas no RS, e o período atual dos modelos climáticos do CMIP5 finda em 2005. Portanto, o período atual considerado no presente estudo vai de 1961 até 2005, totalizando 45 anos. É por esse motivo que, para estimar o *delta change*, foram determinados dois períodos futuros de mesmo intervalo (45 anos): o “futuro próximo”, de 2011 a 2055, e o “futuro distante”, de 2056 a 2100.

#### 4.4.3 Modelos Climáticos Globais considerados

O Quadro 3 apresenta os 22 modelos climáticos considerados, os quais são oriundos do CMIP5, desenvolvido pelo WCRP, e foram disponibilizados pelo Centro Alemão de Cálculo Climático (DKRZ, *Deutsches Klimarechenzentrum*). Esses modelos foram selecionados por serem os únicos que continham, simultaneamente, dados das três variáveis climáticas consideradas para os períodos histórico, de 1951 a 2005, e futuro, de 2011 até 2100, nos cenários RCP 2.6 e RCP 8.5.

Quadro 3. Características dos modelos utilizados para validação no cenário atual e análise de projeções futuras.

Adaptado de DKRZ (2017).

Modelo	Instituição	País	Resolução (°)	
			Lat <sup>1</sup>	Lon <sup>2</sup>
<b>bcc-csm1.1</b>	Beijing Climate Center (BCC)	China	2,7906	2,8125
<b>bcc-csm1.1m</b>			1,1215	1,125
<b>BNU-ESM</b>			2,7906	2,8125
<b>CanESM2</b>	Canadian Centre for Climate Modelling and Analysis (CCCma)	Canadá	2,7906	2,8125
<b>CESM1-CAM5</b>	National Center for Atmospheric Research (NCAR)	EUA	0,9424	1,25
<b>CESM1-WACCM</b>			1,8848	2,5
<b>CNRM-CM5</b>	Centre National de Recherches Météorologiques (CNRM-CERFACS)	França	1,4008	1,40625
<b>CSIRO-Mk3-6-0</b>	Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization (CSIRO)	Austrália	1,8653	1,875
<b>FGOALS-g2</b>	Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences (LSAG-CESS)	China	2,7906	2,8125
<b>FIO-ESM</b>	The First Institute of Oceanography, SOA (FIO)	China	2,7906	2,8126
<b>GISS-E2-H</b>	NASA Goddard Institute for Space Studies (NASA-GISS)	EUA	2	2,5
<b>GISS-E2-R</b>			2	2,5
<b>IPSL-CM5A-LR</b>	Institut Pierre Simon Laplace (IPSL)	França	1,8947	3,75
<b>IPSL-CM5A-MR</b>			1,2676	2,5
<b>MIROC5</b>	Atmosphere and Ocean Research Institute (The University of Tokyo), National Institute for Environmental Studies, and Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology (MIROC)	Japão	1,4008	1,40625
<b>MIROC-ESM</b>			2,7906	2,8125
<b>MIROC-ESM-CHEM</b>			2,7906	2,8125
<b>MPI-ESM-LR</b>	Max Planck Institute for Meteorology (MPI-M)	Alemanha	1,8653	1,875
<b>MPI-ESM-MR</b>			1,8653	1,875
<b>MRI-CGCM3</b>	Meteorological Research Institute (MRI)	Japão	1,12148	1,125
<b>NorESM1-M</b>	Bjerknes Centre for Climate Research, Norwegian Meteorological Institute (NCC)	Noruega	1,8947	2,5
<b>NorESM1-ME</b>	Bjerknes Centre for Climate Research, Norwegian Meteorological Institute (NCC)		1,8947	2,5

<sup>1</sup>Lat: latitude

<sup>2</sup>Lon: longitude

## 4.5 Estratégia Metodológica

A estratégia metodológica específica de cada parte deste estudo (Validação dos Modelos e Projeções Futuras) é apresentada nos tópicos a seguir de forma detalhada.

### 4.5.1 Validação de Modelos Climáticos Globais no Rio Grande do Sul

Para validar os MCG, foi necessário processar tanto dados observados quanto dados simulados pelos modelos, como pode ser visto na Figura 3, em azul e verde, respectivamente. Os dados observados foram extraídos do BDMEP, para o período de 1961 a 2005. As variáveis disponibilizadas que foram utilizadas são precipitação mensal (em mm), temperatura do ar a 2 m de altura (em °C) e insolação (em horas), sendo essa última convertida em radiação solar incidente na superfície terrestre (em W/m<sup>2</sup>), como demonstrado a seguir. Ressalta-se que todos os procedimentos descritos nesse tópico foram realizados tanto para o Rio Grande do Sul quanto para suas unidades geomorfológicas.

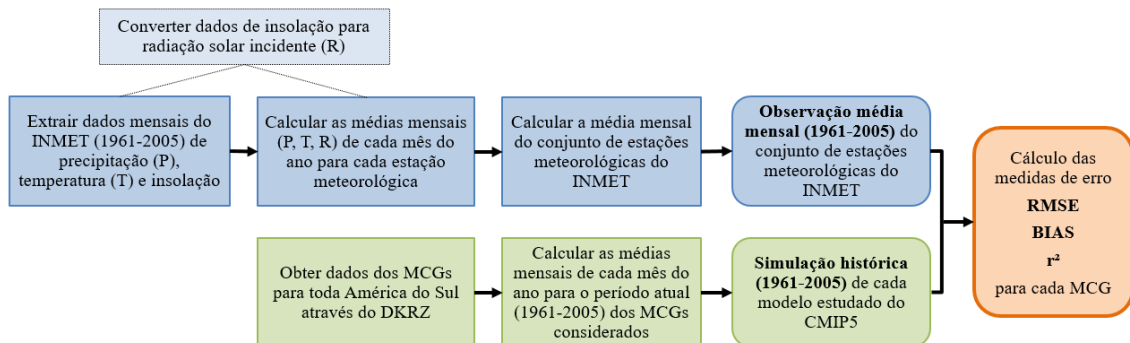


Figura 3. Fluxograma de atividades para a validação dos modelos climáticos – Parte I. Em azul, estão as etapas de manipulação dos dados observados e, em verde, a manipulação dos dados simulados pelos modelos para obter o resultado parcial destacado em laranja.

A partir da Equação 1 (SHUTTLEWORTH, 2012), determinou-se a radiação solar incidente na superfície terrestre, em W/m<sup>2</sup>, a partir da insolação ( $n$ ), em horas.

$$S_{sup} = \left[ a_s + \left( \frac{n}{N} \right) b_s \right] S_{toa} \quad (1)$$

onde  $n$  = insolação (em horas),  $N$  é a duração do dia ou fotoperíodo (em horas),  $S_{toa}$  é a radiação solar incidente no topo da atmosfera, e  $a_s$  e  $b_s$  são valores calibrados localmente. Na ausência desses últimos dados, utilizou-se a referência padrão:  $a_s = 0.25$  e  $b_s = 0.50$ , aplicável para um amplo espectro de condições climáticas (SHUTTLEWORTH, 2012).

O fotoperíodo foi calculado pela Equação 2:

$$N = \frac{24}{\pi} \omega_s \quad (2)$$

onde  $\omega_s$  é o ângulo solar (em rad), calculado através da Equação 3.

$$\omega_s = \arccos(-\tan \phi \cdot \tan \delta) \quad (3)$$

Nessa Equação,  $\phi$  é a latitude (em radianos) e  $\delta$  é a declinação solar (em radianos), calculada a partir da Equação 4.

$$\delta = 0.4093 \sin\left(\frac{2\pi}{365} D_y - 1.405\right) \quad (4)$$

onde  $D_y$  é o dia juliano (*day of the year*).

Por fim, a radiação solar incidente no topo da atmosfera (em W/m<sup>2</sup>) foi calculada de acordo com a Equação 5.

$$S_{toa} = \frac{S_0 d_r}{\pi} (\omega_s \cdot \sin \phi \cdot \sin \delta + \cos \phi \cdot \cos \delta \cdot \sin \omega_s) \quad (5)$$

onde  $S_0$  é a constante solar ( $S_0 = 1365,8$  W/m<sup>2</sup>), e  $d_r$  é o fator de excentricidade (Equação 6), que corrige o valor da energia solar recebida a qual varia devido ao efeito da excentricidade da órbita da Terra.

$$d_r = 1 + 0.033 \cos\left(\frac{2\pi}{365} D_y\right) \quad (6)$$

Os dados de radiação solar incidente foram obtidos mensalmente para cada estação meteorológica convencional do INMET. Após essa etapa, foram calculadas as médias mensais de cada mês do ano para o período histórico considerado (1961 a 2005), para cada variável climática considerada (precipitação, radiação solar incidente e temperatura) e cada estação meteorológica. Na sequência, foi calculada a média de cada mês do ano, de cada variável climática, para o conjunto de estações meteorológicas localizadas no Rio Grande do Sul.

Simultaneamente à manipulação dos dados observados, foi feito o processamento dos dados simulados pelos MCG. Primeiramente, foi solicitado ao DKRZ os dados de todos os modelos climáticos do CMIP5 para o *grid* da América do Sul. A partir daí, foram realizadas as médias mensais de cada mês do ano para o mesmo período atual de dados observados (1961-2005), para cada MCG considerado neste estudo. Para isso, foi necessário utilizar uma rotina



do MATLAB, visto que a resolução de cada MCG varia, ou seja, cada modelo abrange um número diferente de pontos cujas coordenadas se situam dentro da área de estudo.

Com as médias mensais de cada mês do ano para o período histórico observado e simulado, foi possível calcular a raiz quadrada do erro quadrático médio (RMSE), o viés (BIAS) e o coeficiente de determinação ( $r^2$ ), para cada MCG e cada variável climática, assim como é mostrado no fim do fluxograma da Figura 3. Essas medidas de erro podem ser calculadas pelas Equações 7, 8 e 9, respectivamente.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (E_i - O_i)^2} \quad (7)$$

$$BIAS = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (E_i - O_i) \quad (8)$$

$$r^2 = \left( \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})(E_i - \bar{E})}{\sqrt{(\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2)(\sum_{i=1}^n (E_i - \bar{E})^2)}} \right)^2 \quad (9)$$

onde  $n$  é correspondente a cada mês do ano, variando de 1 a 12,  $O_i$  é o dado observado do mês  $i$ ,  $E_i$  é o dado estimado por cada modelo no mês  $i$ ,  $\bar{O}$  é a média dos dados observados para todos os meses do ano, e  $\bar{E}$  é a média estimada de cada MCG para todos os meses do ano.

A partir do cálculo das medidas de erro para cada modelo, foi possível chegar aos resultados, assim como pode ser visto na Figura 4. Inicialmente, foram gerados gráficos de barras para cada medida de erro calculada e cada variável climática, sendo o resultado de cada modelo representado por uma barra. As barras foram organizadas em ordem decrescente de desempenho, facilitando a visualização de quais são os modelos com melhores resultados para cada variável climática e cada medida de erro considerada. Esse tipo de gráfico foi gerado excepcionalmente apenas para as médias de todo o território do Rio Grande do Sul por se tratar de uma ferramenta de análise complementar, a qual auxiliou na visualização e entendimento dos procedimentos posteriores de ranqueamento dos modelos climáticos.

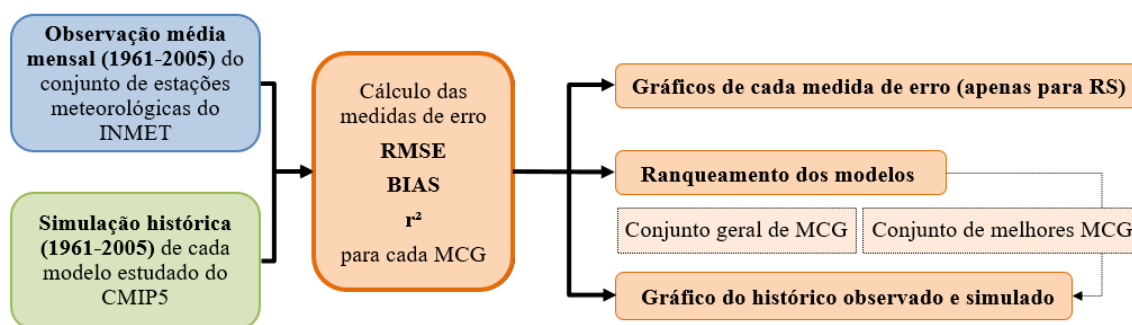


Figura 4. Fluxograma de atividades para a validação dos modelos climáticos – Parte II. Os dados observados estão destacados em azul, e os simulados, em verde. Os resultados obtidos a partir desses dados são apresentados em laranja.

Para analisar a acurácia dos modelos climáticos em representar o clima na área de estudo do presente trabalho, foi utilizado o processo de ranqueamento descrito por Wigley (2008). Essa técnica consiste em organizar os modelos na ordem do melhor ao pior resultado para cada uma das métricas de erro consideradas, como é apresentado um exemplo hipotético no Quadro 4. O primeiro terço de modelos recebe valor igual a 1 no ranqueamento individual (de cada medida de erro considerada), o segundo terço recebe valor 0 (zero), e o último terço recebe valor igual a -1. Por fim, para cada modelo climático, os 3 valores obtidos no ranqueamento parcial de cada métrica considerada são somados, chegando a um valor final para o ranqueamento. Esse valor é organizado em ordem decrescente, sendo que maiores valores são referentes aos modelos que melhor representaram o clima atual, em cada variável climática considerada. No presente estudo, considerou-se 22 modelos para validação, portanto, os sete primeiros (primeiro terço) do ranqueamento parcial receberam valor igual a 1, os sete últimos (último terço) receberam valor igual a -1, e os oito restantes, intermediários (segundo terço), receberam valor igual a 0 (zero).

Além do ranqueamento por variável climática, foi realizada uma análise qualitativa geral dos modelos climáticos, como exemplificado no Quadro 5. Para cada variável (precipitação, radiação solar incidente e temperatura – PREC, RAD e TEMP), todos os modelos que tiveram o ranqueamento final com valor igual a 3 ou 2 foram considerados os “melhores” modelos e receberam a cor verde. O conjunto de “piores” modelos foi aquele cujos modelos apresentaram valor igual a -3 ou -2 no ranqueamento, recebendo a cor vermelha. Por fim, os modelos intermediários, com valor de ranqueamento variando entre -1 e 1, receberam a cor laranja. Dessa forma, o ranqueamento geral dos modelos climáticos foi calculado somando-se os ranqueamentos obtidos por cada variável climática, como apresentado no quadro abaixo. A

partir da análise é possível visualizar concomitantemente os resultados da acurácia dos modelos individualmente (por variável) e o resultado geral, quando o ranqueamento individual é somado para cada modelo, obtendo-se assim um ranqueamento dos modelos em um contexto geral.

Quadro 4. Exemplo hipotético de ranqueamento de modelos.

Ranqueamento individual <sup>1</sup>	RMSE	R	BIAS	R	r <sup>2</sup>	R	Ranqueamento dos modelos	
<b>1</b>	Modelo F	1	Modelo A	1	Modelo C	1	Modelo C	<b>3</b>
<b>2</b>	Modelo C	1	Modelo C	1	Modelo F	1	Modelo F	<b>2</b>
<b>3</b>	Modelo E	1	Modelo D	1	Modelo H	1	Modelo D	<b>1</b>
<b>4</b>	Modelo A	0	Modelo B	0	Modelo D	0	Modelo H	<b>1</b>
<b>5</b>	Modelo H	0	Modelo J	0	Modelo J	0	Modelo A	<b>0</b>
<b>6</b>	Modelo B	0	Modelo H	0	Modelo I	0	Modelo E	<b>0</b>
<b>7</b>	Modelo D	0	Modelo F	0	Modelo E	0	Modelo B	<b>-1</b>
<b>8</b>	Modelo G	-1	Modelo E	-1	Modelo A	-1	Modelo J	<b>-1</b>
<b>9</b>	Modelo I	-1	Modelo G	-1	Modelo G	-1	Modelo I	<b>-2</b>
<b>10</b>	Modelo J	-1	Modelo I	-1	Modelo B	-1	Modelo G	<b>-3</b>

<sup>1</sup>Ranqueamento individual se refere ao ranqueamento dos modelos para cada medida de erro individualmente

Quadro 5. Exemplo hipotético do processo ranqueamento geral dos modelos climáticos. A cor verde representa modelos climáticos com bom desempenho para a variável climática em questão; a cor vermelha, modelos com desempenho insatisfatório; e a cor laranja, modelos com desempenho mediano.

Modelo	PREC <sup>1</sup>	RAD <sup>2</sup>	TEMP <sup>3</sup>	SOMA
<b>B</b>	3	0	2	5
<b>D</b>	3	-1	3	5
<b>C</b>	2	3	-1	4
<b>F</b>	1	2	1	4
<b>H</b>	1	-2	2	1
<b>G</b>	-3	1	1	-1
<b>A</b>	0	-1	-1	-2
<b>J</b>	-2	3	-3	-2
<b>I</b>	-3	2	-2	-3
<b>E</b>	-2	-3	-2	-7

<sup>1</sup>PREC: Precipitação mensal acumulada

<sup>2</sup>RAD: Radiação solar incidente na superfície terrestre

<sup>3</sup>TEMP: Temperatura do ar a 2 m de altura

Com os resultados dos conjuntos de melhores modelos para cada região geomorfológica do RS e cada variável climática considerada no presente estudo, foram gerados gráficos comparando as médias mensais de cada mês do ano do histórico observado com as médias do histórico simulado, tanto pelo conjunto inicial de modelos climáticos estudados, quanto pelo conjunto de melhores modelos obtido através do ranqueamento. O mesmo procedimento foi realizado com as médias mensais de todo o território gaúcho. Dessa maneira, foi possível verificar visualmente qual conjunto de modelos conseguiu representar com maior acurácia as variáveis climáticas no Rio Grande do Sul e em suas regiões geomorfológicas.

#### **4.5.2 Projeções futuras de Modelos Climáticos Globais nas regiões geomorfológicas do Rio Grande do Sul**

Na Figura 5, está um fluxograma das atividades realizadas para obter as projeções futuras dos MCG em cada região geomorfológica do RS. Assim como realizado no tópico 4.5.1, as etapas que envolvem a manipulação de dados observados estão em azul, e de dados simulados, em verde. Os dados observados, como já mencionado, foram obtidos mensalmente para o período de 1961 a 2005, e são provenientes das estações meteorológicas convencionais do INMET situadas na área de estudo. No BDMEP, estão disponíveis dados de precipitação mensal acumulada (mm), temperatura do ar a 2 m de altura (°C) e insolação (horas), a qual foi convertida em radiação solar incidente na superfície terrestre ( $W/m^2$ ) utilizando as Equações 1 a 6 descritas no item 4.5.1. A partir daí, para cada estação meteorológica, foram calculadas as médias mensais de cada mês do ano para o período atual (1961-2005). Na sequência, foram calculadas as médias mensais observadas para cada uma das regiões geomorfológicas. Para isso, foi necessário averiguar quais estações estavam localizadas dentro de cada região, conforme é apresentado no Quadro 6.

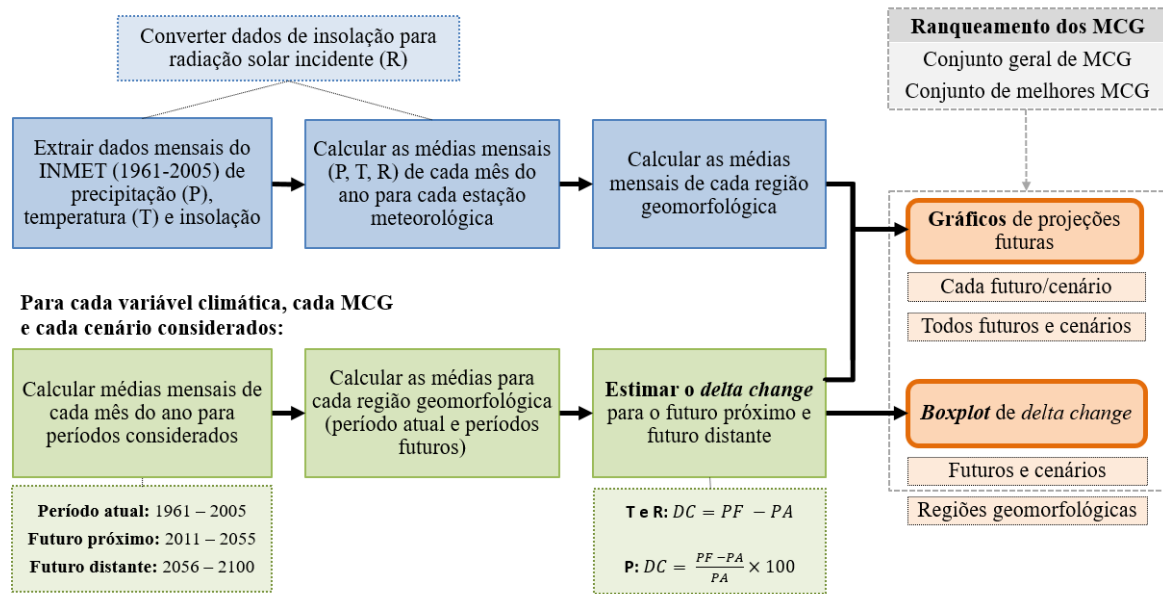


Figura 5. Fluxograma de atividades para obter as projeções futuras dos modelos climáticos. Em azul, estão as etapas de manipulação dos dados observados e, em verde, a manipulação dos dados simulados pelos modelos para obter os resultados destacados em laranja. P, R e T são precipitação, radiação solar incidente e temperatura, respectivamente.

Quadro 6. Estações meteorológicas convencionais do INMET localizadas dentro de cada região geomorfológica do Rio Grande do Sul. Adaptado da Plataforma do INMET.

Região geomorfológica	Estação INMET	OMM
Cuesta do Haedo	Santana do Livramento	83953
	Uruguaiana	83927
Depressão central	Bagé	83980
	Santa Maria	83936
Escudo Cristalino	Encruzilhada do Sul	83964
Planalto Meridional	Bento Gonçalves	83941
	Bom Jesus	83919
	Caxias do Sul	83942
	Cruz Alta	83912
	Iraí	83881
	Lagoa Vermelha	83916
	Passo Fundo	83914
	São Luiz Gonzaga	83907
Planície Costeira	Pelotas	83985
	Porto Alegre	83967
	Rio Grande	83995
	Santa Vitória do Palmar	83997
	Torres	83948

Após a obtenção dos dados simulados pelos MCG do CMIP5 para toda a América do Sul, como já mencionado no item 4.5.1, foram realizadas 3 etapas para chegar aos resultados das projeções futuras. Essas etapas são descritas na sequência e são válidas para cada variável climática, cada MCG e cada cenário considerados no presente estudo. Inicialmente foram geradas as médias mensais de cada mês do ano para os períodos considerados: atual (1961-2005), futuro próximo (2011-2055) e futuro distante (2056-2100). Após essa etapa, foram calculadas as médias mensais de todos os períodos considerados para cada região geomorfológica. Para executar essa tarefa, foi necessário utilizar uma rotina que buscava pontos próximos à cada região geomorfológica quando o modelo climático não possuía nenhum ponto dentro da região devido à sua resolução mais grosseira. Os *buffers* que foram aplicados a cada modelo em cada região podem ser vistos na Tabela 1.

Tabela 1. *Buffers* aplicados (em graus) a cada modelo climático global em cada região geomorfológica devido à sua resolução espacial.

<b>Modelo</b>	<b>Cuesta do Haedo</b>	<b>Depressão Central</b>	<b>Escudo Cristalino</b>	<b>Planalto Meridional</b>	<b>Planície Costeira</b>
bcc-csm1.1	0	0,4	0	0	0,5
bcc-csm1.1m	0	0	0	0	0
BNU-ESM	0,3	0	0	0	0,3
CanESM2	0	0	0	0	0
CESM1-CAM5	0	0	0	0	0
CESM1-WACCM	0	0,4	0	0	0,5
CNRM-CM5	0	0,4	0	0	0,5
CSIRO-Mk3-6-0	0	0,4	0	0	0,5
FGOALS-g2	0	0,4	0	0	0,2
FIO-ESM	0	0,4	0	0	0,2
GISS-E2-H	0	0,5	0	0	0,3
GISS-E2-R	0	0	0	0	0,2
IPSL-CM5A-LR	0	0,4	0	0	0,5
IPSL-CM5A-MR	0	0,4	0	0	0,5
MIROC5	0	0	0	0	0
MIROC-ESM	0	0	0	0	0
MIROC-ESM-CHEM	0	0	0	0	0
MPI-ESM-LR	0	0	0	0	0
MPI-ESM-MR	0,3	0	0	0	0,3
MRI-CGCM3	0,3	0	0	0	0,3
NorESM1-M	0	0	0	0	0
NorESM1-ME	0	0,4	0	0	0,5

A terceira etapa consistiu em calcular o *delta change* (VAN ROOSMALEN *et al.*, 2010) de cada modelo climático para cada variável e cada cenário, em ambos os futuros considerados (próximo e distante). Para temperatura e radiação solar incidente, o *delta change* (DC) pode ser calculado através da Equação 10.

$$DC = PF - PA \quad (10)$$

onde PF é a média mensal de cada mês do ano para o período futuro (próximo ou distante), e PA é a média mensal de cada mês do ano para o período atual (1961-2005).

Para precipitação, o *delta change* é calculado em forma de porcentagem, assim como demonstrado na Equação 11.

$$DC = \frac{PF-PA}{PA} \times 100 \quad (11)$$

Após essas três etapas concluídas, foi possível gerar gráficos dos resultados mensais de *delta change* para cada cenário e cada futuro estudado, considerando tanto o conjunto inicial dos 22 modelos climáticos quanto o conjunto de modelos climáticos com melhor desempenho no ranqueamento (para cada variável climática e cada região geomorfológica). Também foram gerados gráficos da forma *boxplot* comparando as regiões geomorfológicas entre si em cada cenário e futuro, para cada variável climática. Além disso, gráficos dos futuros projetados foram gerados sob duas perspectivas: a primeira considerando cada futuro e cenário separadamente, em que foi apresentado o desvio padrão dos conjuntos de modelos climáticos considerados (conjunto geral e dos melhores modelos); e a segunda, considerando as projeções futuras de todos os futuros e cenários em um só gráfico, para cada região e variável climática. Esses gráficos de futuros projetados consistem em atribuir o valor de *delta change* de cada futuro considerado ao valor do período atual observado, removendo assim o viés dos modelos climáticos, assim como é apresentado na Equação 12, para precipitação, e na Equação 13, para radiação solar incidente e temperatura.

$$Proj_{fut,i} = O_i(1 + DC_i) \quad (12)$$

$$Proj_{fut,i} = O_i + DC_i \quad (13)$$

onde  $Proj_{fut,i}$  representa a projeção futura da variável climática no mês  $i$ ,  $O_i$  é o valor da média mensal histórica no mês  $i$  (na unidade da variável climática em questão), e  $DC_i$  é o valor de *delta change* calculado para o mês  $i$  (na unidade da variável para radiação solar incidente e temperatura, e em porcentagem para precipitação).

## 5 RESULTADOS

### 5.1 Validação dos Modelos Climáticos Globais

Nos tópicos a seguir, serão apresentados os resultados das medidas de erro calculadas, do ranqueamento dos modelos climáticos considerados, e das médias mensais históricas (1961 a 2005) simuladas e observadas para o RS e para cada região geomorfológica separadamente.

#### 5.1.1 Medidas de erro

Os gráficos de barra da Figura 6 apresentam os modelos climáticos em ordem de desempenho em cada medida de erro calculada (RMSE, BIAS e  $r^2$ ) considerando as médias mensais observadas e simuladas de precipitação, radiação solar incidente na superfície terrestre e temperatura. Os valores de RMSE e BIAS são apresentados na unidade da variável climática analisada, enquanto os valores do  $r^2$  são adimensionais.

Para precipitação, o erro quadrático médio variou de 24 mm (para o modelo MIROC-ESM-CHEM) até 67 mm (GISS-E2-H), sendo o RMSE médio igual a 49,4 mm. Houve um salto considerável nos valores entre 40 e 50 mm. Já o viés apresentou valores variando de -12,4 mm (para o modelo MPI-ESM-LR) a -55,7 mm (NorESM1-ME), e uma média igual a -32,1 mm. Houve apenas um valor positivo, igual a 17,8 mm (para o modelo CESM1-WACCM). Esse valor foi o quarto com melhor desempenho entre os modelos, considerando apenas essa medida de erro. O coeficiente de determinação apresentou valores relativamente baixos, sendo o melhor valor igual a 0,46 (para o modelo MIROC-ESM), e o menor igual a 0,000115 (CESM1-CAM5). Esses valores mais baixos ocorrem porque os modelos tendem a representar a precipitação de forma sazonal, fato que não ocorre no Rio Grande do Sul, onde as chuvas são bem distribuídas ao longo do ano. Pode-se perceber que os modelos variam seu desempenho conforme a medida de erro analisada, como, por exemplo, o



modelo MRI-CGCM3, que está entre os melhores considerando RMSE e BIAS, mas aparece como um dos últimos considerando o coeficiente de determinação.

Para radiação solar incidente, o RMSE variou gradualmente de 7,43 W/m<sup>2</sup> (CESM1-WACCM) a 49,27 W/m<sup>2</sup> (GISS-E2-R), sendo a média dos valores obtidos igual a 26,03 W/m<sup>2</sup>. O viés apresentou apenas dois valores negativos (para os modelos BNU-ESM e bcc-csm1.1m), e os demais foram todos positivos, chegando até a 46,12 W/m<sup>2</sup> (para o modelo GISS-E2-R, que apresentou pior desempenho para RMSE também). A média ficou em 20,76 W/m<sup>2</sup>. O coeficiente de determinação teve valores muito próximos a 1 devido à sazonalidade presente na região do Rio Grande do Sul para essa variável climática, contrariamente ao que ocorre com precipitação. Essa sazonalidade também é visível para a temperatura do ar, e o formato dos gráficos de barra de todas as medidas de erro analisadas ficou muito semelhante ao que ocorreu com radiação solar. O RMSE variou gradativamente de 0,52 °C (para o modelo bcc-csm1.1m) a 4,10 °C (FGOALS-g2), apenas com um aumento considerável nos valores dos últimos modelos (aqueles de pior desempenho) se comparado com radiação solar. O RMSE médio de temperatura foi igual a 1,50 °C. O viés apresentou valores negativos apenas em dois modelos, como ocorreu para radiação, mas somente um modelo é o mesmo (bcc-csm1.1m), sendo o outro o modelo CNRM-CM5. A variação foi de 0,06 °C (para o modelo CanESM2) a 4,06 °C (FGOALS-g2, o mesmo modelo de pior desempenho para RMSE de temperatura), sendo a média igual a 1,10 °C. Assim como ocorreu para precipitação, os modelos variaram de desempenho conforme a medida de erro analisada.

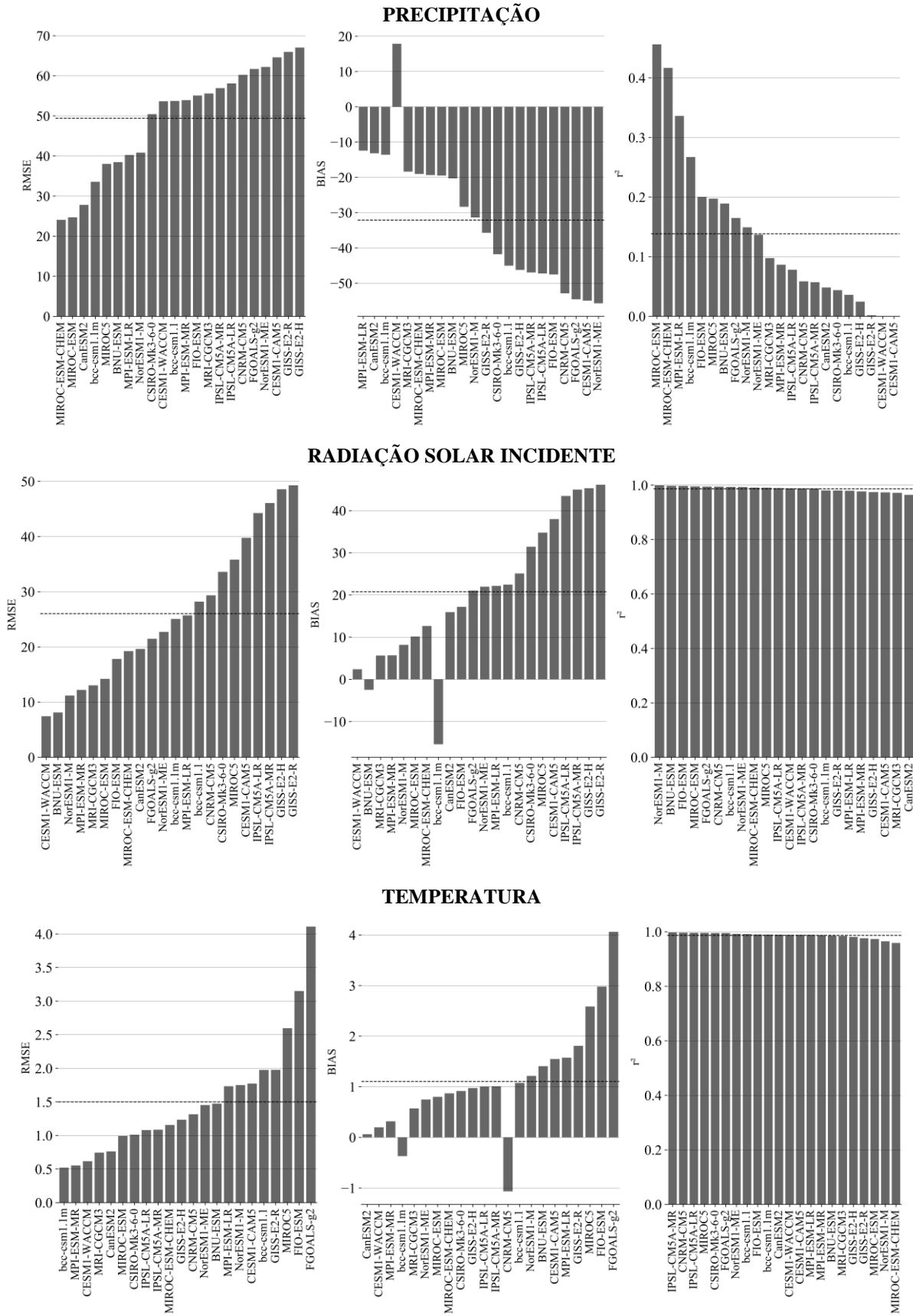


Figura 6. Medidas de erro (RMSE, BIAS e r²) considerando médias mensais simuladas e observadas para as variáveis climáticas consideradas no estudo. As linhas pontilhadas correspondem à média do conjunto geral de modelos climáticos.

### 5.1.2 Ranqueamento de modelos

O ranqueamento dos modelos para todo o Rio Grande do Sul para as variáveis climáticas precipitação, radiação solar incidente e temperatura é apresentado na Tabela 2, Tabela 3 e Tabela 4, respectivamente. Em cada tabela, os modelos são apresentados na ordem de seu desempenho para cada medida de erro considerada no estudo. O primeiro terço de modelos recebeu valor igual a 1 para o ranqueamento, o último terço recebeu valor igual a -1, e os 8 modelos restantes, com valores medianos de desempenho, receberam valor zero.

Tabela 2. Ranqueamento de modelos climáticos através das medidas de erro RMSE, BIAS e  $r^2$  considerando médias mensais de precipitação para todo Rio Grande do Sul.

Modelo	RMSE	R	Modelo	BIAS	R	Modelo	$r^2$	R
MIROC-ESM-CHEM	24,0699	1	MPI-ESM-LR	-12,4355	1	MIROC-ESM	0,4560	1
MIROC-ESM	24,7038	1	CanESM2	-13,193	1	MIROC-ESM-CHEM	0,4167	1
CanESM2	27,8117	1	bcc-csm1.1m	-13,5997	1	MPI-ESM-LR	0,3360	1
bcc-csm1.1m	33,5608	1	CESM1-WACCM	17,8478	1	bcc-csm1.1m	0,2671	1
MIROC5	38,0261	1	MRI-CGCM3	-18,3938	1	FIO-ESM	0,2003	1
BNU-ESM	38,4683	1	MIROC-ESM-CHEM	-19,0547	1	MIROC5	0,1973	1
MPI-ESM-LR	40,2353	1	MPI-ESM-MR	-19,3697	1	BNU-ESM	0,1891	1
NorESM1-M	40,8252	0	MIROC-ESM	-19,5047	0	FGOALS-g2	0,1649	0
CSIRO-Mk3-6-0	50,4295	0	BNU-ESM	-20,3072	0	NorESM1-M	0,1492	0
CESM1-WACCM	53,6413	0	MIROC5	-28,3647	0	NorESM1-ME	0,1368	0
bcc-csm1.1	53,7340	0	NorESM1-M	-31,3855	0	MRI-CGCM3	0,0976	0
MPI-ESM-MR	53,9238	0	GISS-E2-R	-35,7247	0	MPI-ESM-MR	0,0865	0
FIO-ESM	55,0661	0	CSIRO-Mk3-6-0	-41,7863	0	IPSL-CM5A-LR	0,0780	0
MRI-CGCM3	55,5941	0	bcc-csm1.1	-45,0547	0	CNRM-CM5	0,0586	0
IPSL-CM5A-MR	56,9168	0	GISS-E2-H	-46,2522	0	IPSL-CM5A-MR	0,0572	0
IPSL-CM5A-LR	58,0857	-1	IPSL-CM5A-MR	-46,9747	-1	CanESM2	0,0483	-1
CNRM-CM5	60,2310	-1	IPSL-CM5A-LR	-47,2588	-1	CSIRO-Mk3-6-0	0,0438	-1
FGOALS-g2	61,6951	-1	FIO-ESM	-47,528	-1	bcc-csm1.1	0,0359	-1
NorESM1-ME	62,2049	-1	CNRM-CM5	-52,8797	-1	GISS-E2-H	0,0246	-1
CESM1-CAM5	64,5974	-1	FGOALS-g2	-54,5655	-1	GISS-E2-R	0,0017	-1
GISS-E2-R	65,9598	-1	CESM1-CAM5	-54,9555	-1	CESM1-WACCM	0,0001	-1
GISS-E2-H	67,0354	-1	NorESM1-ME	-55,7113	-1	CESM1-CAM5	0,0001	-1

Tabela 3. Ranqueamento de modelos climáticos através das medidas de erro RMSE, BIAS e  $r^2$  considerando médias mensais de radiação solar incidente para todo Rio Grande do Sul.

<b>Modelo</b>	<b>RMSE</b>	<b>R</b>	<b>Modelo</b>	<b>BIAS</b>	<b>R</b>	<b>Modelo</b>	<b><math>r^2</math></b>	<b>R</b>
CESM1-WACCM	7,4331	1	CESM1-WACCM	2,3901	1	NorESM1-M	0,9991	1
BNU-ESM	8,1238	1	BNU-ESM	-2,4799	1	BNU-ESM	0,9974	1
NorESM1-M	11,1752	1	MRI-CGCM3	5,6334	1	FIO-ESM	0,9970	1
MPI-ESM-MR	12,2000	1	MPI-ESM-MR	5,6951	1	MIROC-ESM	0,9953	1
MRI-CGCM3	13,0319	1	NorESM1-M	8,1809	1	FGOALS-g2	0,9946	1
MIROC-ESM	14,2136	1	MIROC-ESM	10,1434	1	CNRM-CM5	0,9945	1
FIO-ESM	17,8162	1	MIROC-ESM-CHEM	12,6551	1	bcc-csm1.1	0,9935	1
MIROC-ESM-CHEM	19,2331	0	bcc-csm1.1m	-15,3949	0	NorESM1-ME	0,9931	0
CanESM2	19,6344	0	CanESM2	15,9292	0	MIROC-ESM-CHEM	0,9908	0
FGOALS-g2	21,4712	0	FIO-ESM	17,1876	0	MIROC5	0,9906	0
NorESM1-ME	22,7083	0	FGOALS-g2	21,0417	0	IPSL-CM5A-LR	0,9893	0
bcc-csm1.1m	25,0569	0	NorESM1-ME	21,9709	0	CESM1-WACCM	0,9881	0
MPI-ESM-LR	25,7121	0	MPI-ESM-LR	22,1617	0	IPSL-CM5A-MR	0,9881	0
bcc-csm1.1	28,2011	0	bcc-csm1.1	22,4617	0	CSIRO-Mk3-6-0	0,9879	0
CNRM-CM5	29,3384	0	CNRM-CM5	25,1026	0	bcc-csm1.1m	0,9807	0
CSIRO-Mk3-6-0	33,6000	-1	CSIRO-Mk3-6-0	31,4426	-1	GISS-E2-R	0,9802	-1
MIROC5	35,8145	-1	MIROC5	34,7751	-1	MPI-ESM-LR	0,9795	-1
CESM1-CAM5	39,7631	-1	CESM1-CAM5	37,9784	-1	MPI-ESM-MR	0,9768	-1
IPSL-CM5A-LR	44,2528	-1	IPSL-CM5A-LR	43,4734	-1	GISS-E2-H	0,9744	-1
IPSL-CM5A-MR	46,0696	-1	IPSL-CM5A-MR	44,9826	-1	CESM1-CAM5	0,9734	-1
GISS-E2-H	48,5669	-1	GISS-E2-H	45,3034	-1	MRI-CGCM3	0,9717	-1
GISS-E2-R	49,2684	-1	GISS-E2-R	46,1201	-1	CanESM2	0,9644	-1

Tabela 4. Ranqueamento de modelos climáticos através das medidas de erro RMSE, BIAS e  $r^2$  considerando médias mensais de temperatura para todo Rio Grande do Sul.

Modelo	RMSE	R	Modelo	BIAS	R	Modelo	$r^2$	R
bcc-csm1.1m	0,5201	1	CanESM2	0,0616	1	IPSL-CM5A-MR	0,9973	1
MPI-ESM-MR	0,5528	1	CESM1-WACCM	0,1991	1	CNRM-CM5	0,9966	1
CESM1-WACCM	0,6164	1	MPI-ESM-MR	0,3174	1	IPSL-CM5A-LR	0,9960	1
MRI-CGCM3	0,7441	1	bcc-csm1.1m	-0,3709	1	MIROC5	0,9959	1
CanESM2	0,7619	1	MRI-CGCM3	0,5724	1	CSIRO-Mk3-6-0	0,9954	1
MIROC-ESM	0,9925	1	NorESM1-ME	0,7483	1	FGOALS-g2	0,9953	1
CSIRO-Mk3-6-0	1,0106	1	MIROC-ESM	0,8008	1	NorESM1-ME	0,9920	1
IPSL-CM5A-LR	1,0795	0	MIROC-ESM-CHEM	0,8699	0	bcc-csm1.1	0,9915	0
IPSL-CM5A-MR	1,0852	0	CSIRO-Mk3-6-0	0,9166	0	FIO-ESM	0,9900	0
MIROC-ESM-CHEM	1,1561	0	GISS-E2-H	0,9741	0	bcc-csm1.1m	0,9897	0
GISS-E2-H	1,2338	0	IPSL-CM5A-LR	1,0049	0	CanESM2	0,9893	0
CNRM-CM5	1,3150	0	IPSL-CM5A-MR	1,0083	0	CESM1-WACCM	0,9888	0
NorESM1-ME	1,4519	0	CNRM-CM5	-1,0667	0	CESM1-CAM5	0,9888	0
BNU-ESM	1,4727	0	bcc-csm1.1	1,0758	0	MPI-ESM-LR	0,9887	0
MPI-ESM-LR	1,7327	0	NorESM1-M	1,2149	0	MPI-ESM-MR	0,9880	0
NorESM1-M	1,7492	-1	BNU-ESM	1,4066	-1	BNU-ESM	0,9856	-1
CESM1-CAM5	1,7719	-1	CESM1-CAM5	1,5483	-1	MRI-CGCM3	0,9843	-1
bcc-csm1.1	1,9752	-1	MPI-ESM-LR	1,5749	-1	GISS-E2-H	0,9809	-1
GISS-E2-R	1,9763	-1	GISS-E2-R	1,8091	-1	GISS-E2-R	0,9761	-1
MIROC5	2,5961	-1	MIROC5	2,5858	-1	MIROC-ESM	0,9734	-1
FIO-ESM	3,1502	-1	FIO-ESM	2,9791	-1	NorESM1-M	0,9651	-1
FGOALS-g2	4,1086	-1	FGOALS-g2	4,0608	-1	MIROC-ESM-CHEM	0,9588	-1

Ao final desse procedimento, os valores obtidos por cada modelo nas medidas de erro foram somados, e os modelos foram organizados em ordem decrescente, ou seja, de maior valor (melhor desempenho) para menor, para cada variável climática, como pode ser visto no Quadro 7. Vale ressaltar que foi considerado como modelo com bom desempenho aquele cuja soma dos rankings individuais resultou em 3, 2 ou até mesmo 1. Porém, a soma com o resultado igual a 1 só foi considerada como critério para considerar um modelo bom quando suas parcelas eram dois valores igual a 1 e o terceiro igual a -1 ( $1 + 1 - 1 = 1$ ). O mesmo foi feito para elencar os modelos com desempenho não satisfatório: todos aqueles cuja soma resultasse em -3, -2 ou -1 (quando a soma é dada por duas parcelas igual a -1 e uma igual a 1). Dessa maneira, foi possível separar os modelos em três terços aproximadamente: desempenho bom (verde), desempenho mediano (laranja) e desempenho não satisfatório (vermelho).

Quadro 7. Ranqueamento dos MCG para cada variável climática, com respectivos valores da soma dos rankings individuais de RMSE, BIAS e  $r^2$ .

PRECIPITAÇÃO		RADIAÇÃO SOLAR		TEMPERATURA	
bcc-csm1.1m	3	BNU-ESM	3	bcc-csm1.1m	2
MIROC-ESM-CHEM	3	MIROC-ESM	3	CanESM2	2
MPI-ESM-LR	3	NorESM1-M	3	CESM1-WACCM	2
BNU-ESM	2	CESM1-WACCM	2	CSIRO-Mk3-6-0	2
MIROC5	2	FIO-ESM	2	MPI-ESM-MR	2
MIROC-ESM	2	MPI-ESM-MR	1	NorESM1-ME	2
CanESM2	1	MRI-CGCM3	1	MIROC-ESM	1
MPI-ESM-MR	1	bcc-csm1.1	1	MRI-CGCM3	1
MRI-CGCM3	1	CNRM-CM5	1	CNRM-CM5	1
CESM1-WACCM	0	FGOALS-g2	1	IPSL-CM5A-LR	1
FIO-ESM	0	MIROC-ESM-CHEM	1	IPSL-CM5A-MR	1
NorESM1-M	0	bcc-csm1.1m	0	bcc-csm1.1	-1
bcc-csm1.1	-1	NorESM1-ME	0	GISS-E2-H	-1
CSIRO-Mk3-6-0	-1	CanESM2	-1	MIROC-ESM-CHEM	-1
IPSL-CM5A-MR	-1	MPI-ESM-LR	-1	MPI-ESM-LR	-1
CNRM-CM5	-2	CSIRO-Mk3-6-0	-2	FGOALS-g2	-1
FGOALS-g2	-2	IPSL-CM5A-LR	-2	MIROC5	-1
GISS-E2-H	-2	IPSL-CM5A-MR	-2	BNU-ESM	-2
GISS-E2-R	-2	MIROC5	-2	CESM1-CAM5	-2
IPSL-CM5A-LR	-2	CESM1-CAM5	-3	FIO-ESM	-2
NorESM1-ME	-2	GISS-E2-H	-3	NorESM1-M	-2
CESM1-CAM5	-3	GISS-E2-R	-3	GISS-E2-R	-3

A partir desse quadro, pode-se perceber que alguns modelos possuem bom desempenho para determinada variável, mas não são satisfatórios para outra. Por exemplo, o modelo BNU-ESM é considerado bom para precipitação e radiação solar, mas está com um valor negativo no ranqueamento de temperatura; o modelo MIROC5 é bom para precipitação, mediano para temperatura, e não satisfatório para radiação solar incidente; o modelo NorESM1-M é considerado mediano para precipitação, satisfatório para radiação solar incidente e insatisfatório para temperatura; e assim sucessivamente. Porém, quando se trata de utilizar dados de variáveis climáticas na entrada de outros modelos de simulação de eventos ambientais, é preciso haver coerência na escolha de um mesmo modelo ou conjunto de modelos para todas as variáveis consideradas. Dessa forma, foi realizado um ranqueamento geral considerando as três variáveis climáticas consideradas no presente estudo, e os resultados são apresentados no Quadro 8. As cores são as mesmas àquelas atribuídas aos modelos no Quadro 7. O modelo MIROC-ESM obteve um bom desempenho nas três variáveis climáticas consideradas, sendo que a soma dos rankings individuais foi igual a 6. O modelo BNU-ESM

ficou com um valor alto no ranqueamento geral, apesar de não ser muito satisfatório para temperatura, pois obteve valores bons para radiação solar e precipitação. Esse tipo de análise utilizando cores para diferenciar os desempenhos dos modelos é muito importante para avaliar de forma dinâmica e visual quais deles serão considerados para determinada simulação em outro modelo.

Quadro 8. Ranqueamento geral dos modelos somando-se os rankings obtidos para cada variável climática individualmente. A cor verde representa modelos climáticos com bom desempenho para a variável climática em questão; a cor vermelha, modelos com desempenho insatisfatório; e a cor laranja, modelos com desempenho mediano.

Modelo	PREC	RAD	TEMP	SOMA
MIROC-ESM	2	3	1	6
bcc-csm1.1m	3	0	2	5
CESM1-WACCM	0	2	2	4
MPI-ESM-MR	1	1	2	4
BNU-ESM	2	3	-2	3
MIROC-ESM-CHEM	3	1	-1	3
MRI-CGCM3	1	1	1	3
CanESM2	1	-1	2	2
MPI-ESM-LR	3	-1	-1	1
NorESM1-M	0	3	-2	1
CNRM-CM5	-2	1	1	0
FIO-ESM	0	2	-2	0
NorESM1-ME	-2	0	2	0
bcc-csm1.1	-1	1	-1	-1
CSIRO-Mk3-6-0	-1	-2	2	-1
MIROC5	2	-2	-1	-1
FGOALS-g2	-2	1	-1	-2
IPSL-CM5A-MR	-1	-2	1	-2
IPSL-CM5A-LR	-2	-2	1	-3
GISS-E2-H	-2	-3	-1	-6
CESM1-CAM5	-3	-3	-2	-8
GISS-E2-R	-2	-3	-3	-8

<sup>1</sup>PREC: Precipitação mensal acumulada

<sup>2</sup>RAD: Radiação solar incidente na superfície terrestre

<sup>3</sup>TEMP: Temperatura do ar a 2 m de altura

O mesmo ranqueamento foi realizado para cada região geomorfológica do Rio Grande do Sul, considerando os mesmos critérios para definir modelos com desempenho bom, mediano e insatisfatório. O Quadro 9 apresenta um resumo com apenas os melhores modelos para cada variável climática e cada região. As tabelas completas de ranqueamento dos MCG para

precipitação, radiação solar incidente e temperatura em cada região podem ser visualizados no APÊNDICE A, APÊNDICE B e APÊNDICE C, respectivamente. Os quadros de ranqueamento geral (considerando as 3 variáveis concomitantemente) são apresentados no APÊNDICE D.

Quadro 9. Melhores modelos definidos após ranqueamento para precipitação, radiação solar incidente e temperatura em cada região geomorfológica.

<b>Regiões geomorfológicas</b>	<b>Precipitação</b>	<b>Radiação solar incidente</b>	<b>Temperatura</b>
<b>Cuesta do Haedo</b>	bcc-csm1.1m (2) BNU-ESM (2) CanESM2 (2) MIROC5 (2) MIROC-ESM (1) MIROC-ESM-CHEM (1) MPI-ESM-LR (1)	bcc-csm1.1m (3) BNU-ESM (3) MIROC-ESM (3) MPI-ESM-MR (2) NorESM1-M (2) CESM1-WACCM (1) MRI-CGCM3 (1)	CanESM2 (3) CNRM-CM5 (3) bcc-csm1.1m (2) NorESM1-ME (2) CESM1-WACCM (1) MPI-ESM-MR (1) MRI-CGCM3 (1)
<b>Depressão Central</b>	MIROC-ESM (3) MIROC-ESM-CHEM (3) bcc-csm1.1m (2) CESM1-WACCM (2) MIROC5 (2) CanESM2 (1)	BNU-ESM (3) FGOALS-g2 (3) FIO-ESM (3) NorESM1-M (3) CESM1-WACCM (2) MPI-ESM-MR (2) MRI-CGCM3 (1)	CSIRO-Mk3-6-0 (3) IPSL-CM5A-LR (3) IPSL-CM5A-MR (3) BNU-ESM (2) GISS-E2-H (1)
<b>Escudo Cristalino</b>	CanESM2 (3) CESM1-WACCM (2) bcc-csm1.1m (1) BNU-ESM (1) MIROC-ESM-CHEM (1) MPI-ESM-LR (1)	BNU-ESM (3) FIO-ESM (3) CESM1-WACCM (2) FGOALS-g2 (2) MIROC-ESM (2) NorESM1-M (2) MPI-ESM-MR (1) MRI-CGCM3 (1)	IPSL-CM5A-LR (3) IPSL-CM5A-MR (3) bcc-csm1.1m (2) CanESM2 (2) CESM1-WACCM (2) CSIRO-Mk3-6-0 (2) NorESM1-ME (2)
<b>Planalto Meridional</b>	bcc-csm1.1m (3) MIROC-ESM (3) MIROC-ESM-CHEM (3) MPI-ESM-LR (3) BNU-ESM (2) CanESM2 (2) MIROC5 (2)	BNU-ESM (3) MIROC-ESM (3) CESM1-WACCM (2) NorESM1-M (2) CanESM2 (1) MPI-ESM-MR (1) MRI-CGCM3 (1)	CanESM2 (3) CNRM-CM5 (3) bcc-csm1.1m (2) CESM1-WACCM (2) MIROC-ESM (1) MIROC-ESM-CHEM (1)
<b>Planície Costeira</b>	CanESM2 (3) BNU-ESM (2) MIROC-ESM-CHEM (2) NorESM1-M (2) bcc-csm1.1m (1)	bcc-csm1.1m (3) BNU-ESM (3) MIROC-ESM (3) MPI-ESM-MR (2) NorESM1-M (2) CESM1-WACCM (1) MRI-CGCM3 (1)	CSIRO-Mk3-6-0 (3) IPSL-CM5A-LR (3) IPSL-CM5A-MR (3) NorESM1-ME (3) NorESM1-M (2) GISS-E2-R (1)



Pode-se perceber que existem alguns modelos que obtiveram desempenho bom no ranqueamento geral para quase todas as regiões, como é o caso do CESM1-WACCM, BNU-ESM, do bcc-csm.1m e do CanESM2. A quantidade de modelos em cada região e variável varia devido ao valor que os mesmos recebem no ranqueamento. Porém, os critérios adotados para avaliar os modelos e dividi-los conforme seu desempenho, como já descrito anteriormente para o ranqueamento de todo o Rio Grande do Sul, implicam em divisões em que aproximadamente um terço dos modelos está em cada categoria de desempenho. Os melhores modelos para cada variável, em cada região, serão utilizados posteriormente para gerar as projeções futuras em cada região geomorfológica.

### **5.1.3 Histórico simulado e observado**

Para corroborar os resultados da validação dos modelos climáticos realizada através do ranqueamento, foram gerados gráficos de histórico considerando as médias mensais de 1961 a 2005, tanto para o Rio Grande do Sul como um todo, quanto para cada região geomorfológica, conforme é apresentado na Figura 7 e na Figura 8, respectivamente. Nessas figuras, são apresentadas as médias mensais de cada mês do ano das estações meteorológicas do INMET presentes em cada região (dados observados - linha preta); médias mensais de cada mês do ano do histórico simulado pelo conjunto de modelos climáticos do CMIP5 considerado nesse estudo (linha cinza); e, por fim, as médias mensais de cada mês do ano do histórico simulado pelo conjunto de melhores modelos climáticos (linha azul para precipitação, laranja para radiação solar incidente, e vermelha para temperatura). Vale ressaltar que o conjunto de MCG com melhor desempenho varia conforme a variável climática em questão e a região geomorfológica considerada, assim como é apresentado no Quadro 7 para o RS, e Quadro 9 para as regiões. As médias mensais observadas de cada mês do ano (período de 1961 a 2005) para precipitação, radiação solar incidente e temperatura, calculadas para cada região geomorfológica e para o RS, são apresentadas na Tabela 5. A radiação solar incidente e a temperatura, conforme já supracitado, são variáveis climáticas que possuem sazonalidade marcante no Rio Grande do Sul e possuem valores semelhantes para todas as regiões do Estado comparando-se uma mesma estação do ano. Porém a chuva é bastante heterogênea, sendo que as maiores contribuições de precipitação anual são oriundas da região norte, principalmente do Planalto Meridional, conforme pode ser visto na Figura 9.

Tabela 5. Médias mensais observadas de precipitação, radiação solar incidente e temperatura para cada região geomorfológica do RS considerando o período de 1961 a 2005.

PRECIPITAÇÃO (mm)						
	Cuesta do Haedo	Depressão Central	Escudo Cristalino	Planalto Meridional	Planície Costeira	RS
JAN	111,77	130,17	115,09	145,92	96,88	125,04
FEV	132,52	118,58	121,23	145,19	113,78	130,77
MAR	132,59	116,05	116,06	130,65	119,23	125,26
ABR	130,34	126,64	103,18	114,14	84,89	108,59
MAI	105,88	116,58	104,63	112,98	85,30	104,44
JUN	81,16	122,65	139,03	133,09	106,60	119,13
JUL	82,60	137,15	144,30	130,20	110,22	120,92
AGO	85,66	116,56	121,24	141,25	119,03	125,05
SET	111,29	124,89	125,77	153,26	119,46	134,53
OUT	140,84	141,41	136,74	174,82	102,72	145,19
NOV	107,23	103,62	107,47	133,91	89,67	113,82
DEZ	127,88	126,47	118,80	149,73	97,60	128,52
RADIAÇÃO SOLAR INCIDENTE (W/m <sup>2</sup> )						
	Cuesta do Haedo	Depressão Central	Escudo Cristalino	Planalto Meridional	Planície Costeira	RS
JAN	275,39	262,20	256,33	255,96	267,95	262,16
FEV	247,48	238,77	231,29	240,84	242,21	241,20
MAR	210,72	203,14	201,72	208,23	203,67	206,31
ABR	164,00	158,53	154,82	168,66	162,49	164,54
MAI	124,65	119,24	121,17	130,65	123,70	126,26
JUN	97,42	95,34	98,30	106,43	98,18	101,45
JUL	109,95	102,39	104,68	115,77	105,66	110,21
AGO	139,51	129,02	128,55	140,98	132,75	136,51
SET	180,40	168,78	159,90	173,29	166,63	170,98
OUT	225,65	216,01	203,46	214,36	212,13	214,57
NOV	264,92	254,57	247,13	249,11	253,38	252,55
DEZ	279,50	270,47	264,36	262,20	273,09	268,19
TEMPERATURA (°C)						
	Cuesta do Haedo	Depressão Central	Escudo Cristalino	Planalto Meridional	Planície Costeira	RS
JAN	275,39	262,20	256,33	255,96	267,95	262,16
FEV	247,48	238,77	231,29	240,84	242,21	241,20
MAR	210,72	203,14	201,72	208,23	203,67	206,31
ABR	164,00	158,53	154,82	168,66	162,49	164,54
MAI	124,65	119,24	121,17	130,65	123,70	126,26
JUN	97,42	95,34	98,30	106,43	98,18	101,45
JUL	109,95	102,39	104,68	115,77	105,66	110,21
AGO	139,51	129,02	128,55	140,98	132,75	136,51
SET	180,40	168,78	159,90	173,29	166,63	170,98
OUT	225,65	216,01	203,46	214,36	212,13	214,57
NOV	264,92	254,57	247,13	249,11	253,38	252,55
DEZ	279,50	270,47	264,36	262,20	273,09	268,19

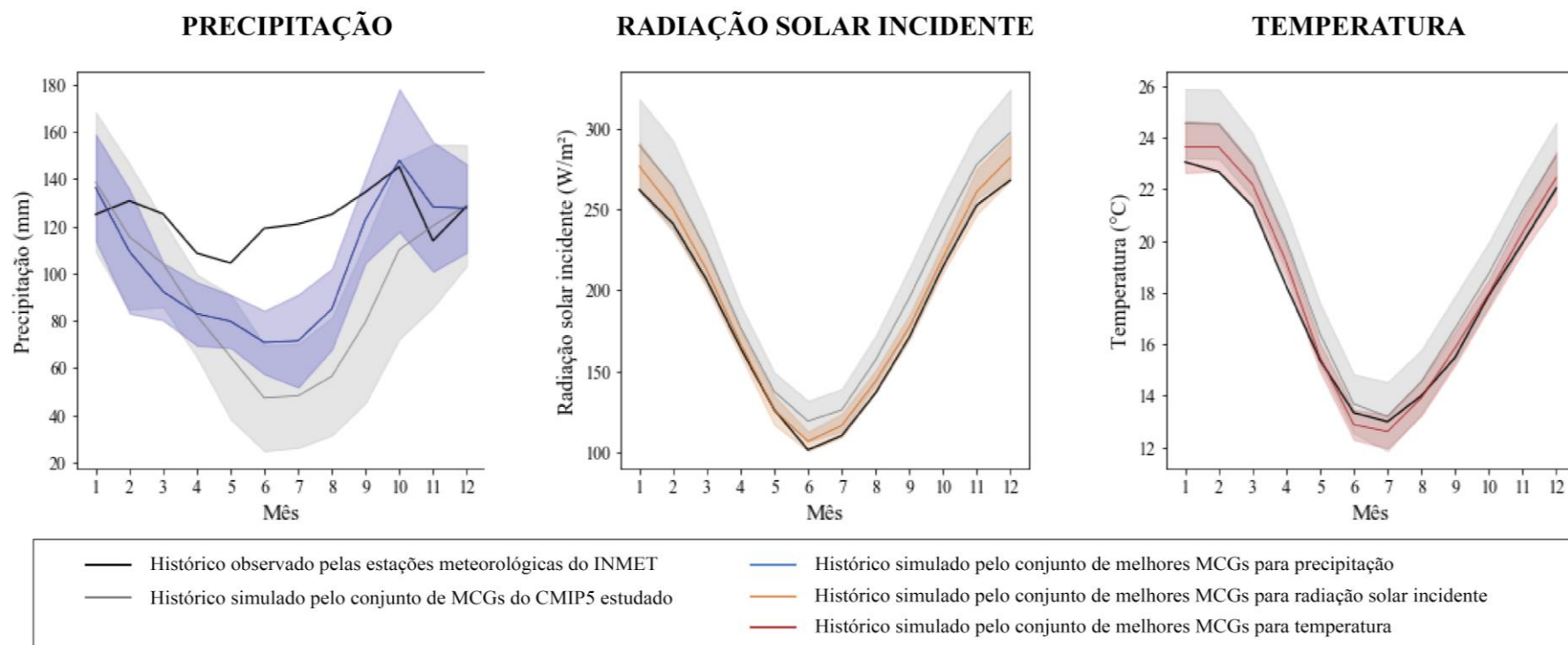


Figura 7. Histórico observado e simulado (por ambos os conjuntos de MCG analisados) considerando médias mensais do Rio Grande do Sul no período de 1961 a 2005. A área sombreada no histórico simulado representa o desvio padrão do conjunto de modelos em questão.

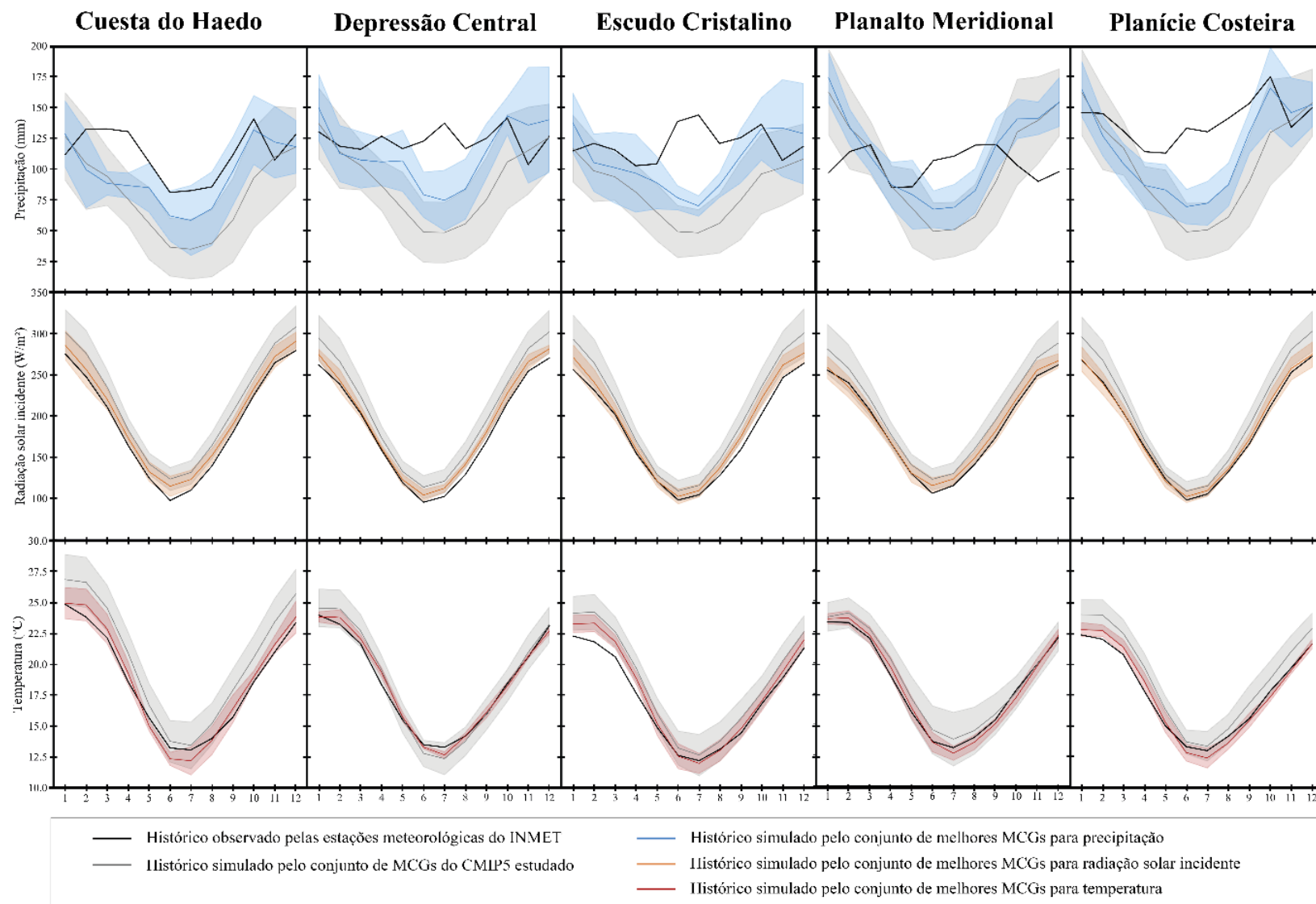


Figura 8. Histórico observado e simulado (por ambos os conjuntos de MCG analisados) considerando médias mensais de cada região geomorfológica do RS no período de 1961 a 2005. A sombra no histórico simulado representa o desvio padrão do conjunto de modelos em questão.

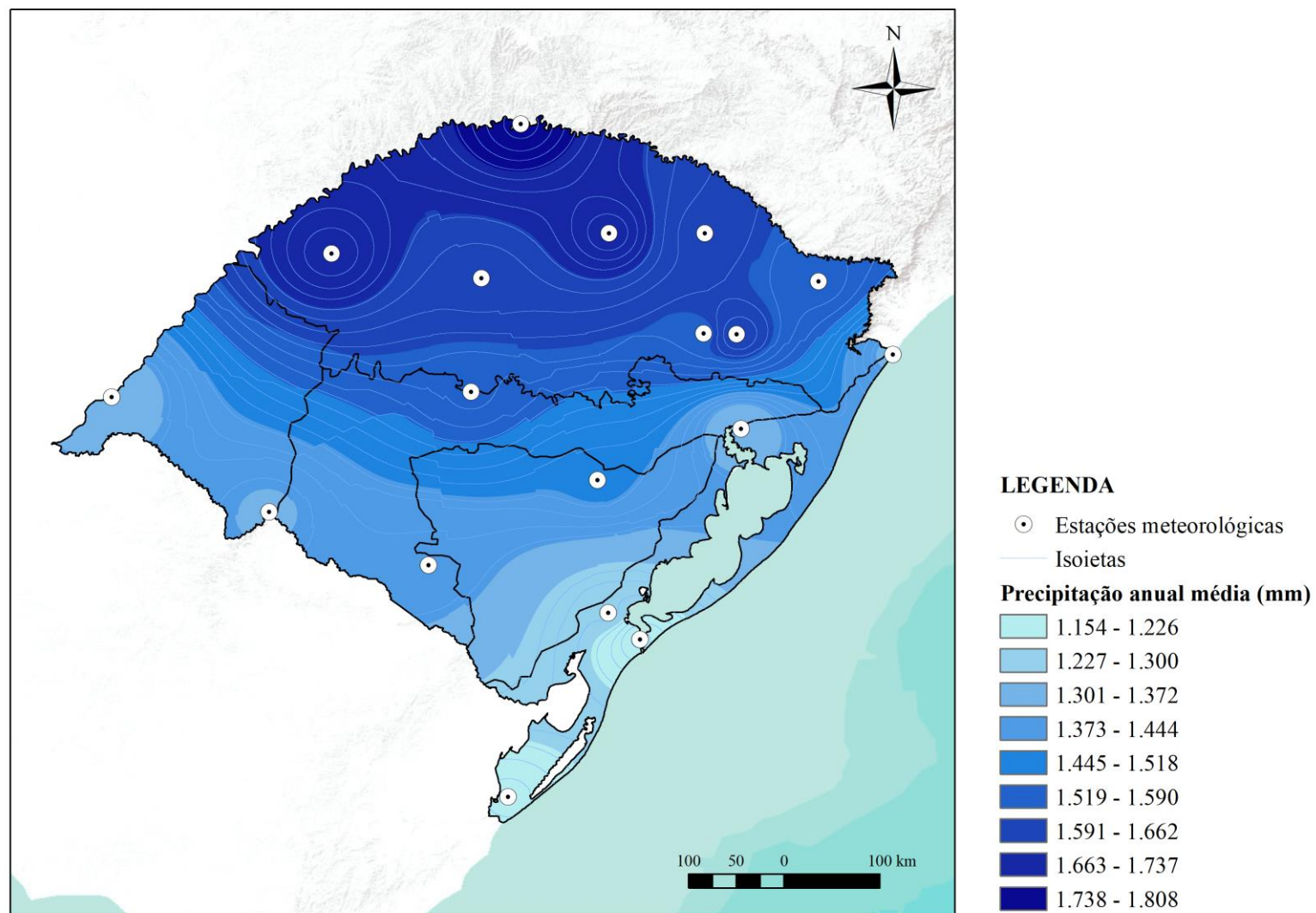


Figura 9. Distribuição da precipitação média anual (mm) para o Rio Grande do Sul. Fonte dos dados pluviométricos: BDMEP.

Pode-se perceber que, tanto para as médias do RS quanto para as médias de cada região geomorfológica, os resultados do conjunto de modelos climáticos com melhor desempenho aproximaram-se mais dos dados observados. Ou seja, os gráficos mostram de forma visual que os modelos que apresentaram um desempenho melhor no ranqueamento são aqueles cujas médias mensais estão mais próximas das médias históricas observadas se comparado ao conjunto de todos os 22 MCG do CMIP5 considerados no estudo. Além disso, o desvio padrão do conjunto de melhores modelos, representado pela sombra da linha colorida (azul para precipitação, laranja para radiação solar incidente, e vermelha para temperatura), é menor que a sombra da linha cinza, o que demonstra que existe uma discrepância menor quando selecionamos um conjunto com características semelhantes.

Considerando a variável precipitação nas diferentes regiões geomorfológicas, percebe-se que, embora os modelos representem a chuva com uma sazonalidade marcante no histórico simulado, essa curva sazonal tende a ser mais suave quando selecionamos apenas os modelos que obtiveram melhor desempenho no ranqueamento. Mesmo assim, a sazonalidade ainda é evidente, o que é característico de climas tropicais, que se estendem aproximadamente até o estado de São Paulo (ALVARES *et al.*, 2013). Porém, pela resolução grosseira dos modelos climáticos globais (que chega até 2,8 graus), essa sazonalidade na precipitação acaba se estendendo até a região sul do Brasil. Possivelmente, os MCG simulam satisfatoriamente a influência da umidade oriunda da Amazônia, mas não simulam adequadamente os sistemas frontais vindos do Sul do continente e que atingem o Rio Grande do Sul. Assim, possivelmente as chuvas frontais que ocorrem durante os meses de inverno na região Sul do Brasil acabam não sendo adequadamente representadas. Pesquisas anteriores já apontaram que os fenômenos que ocasionam chuvas convectivas e orográficas em escalas pequena e intermediária não são considerados por modelos climáticos globais (MESA, 2006), entretanto, as frentes frias que ocorrem no sul do Brasil possivelmente também estão subestimadas pelos modelos de escala global.

Já a Planície Costeira, por ter a menor área, foi a região que precisou utilizar a maior quantidade de *buffers* para obter pontos de modelos próximos (ver Tabela 1, no tópico 4.5.2), sendo que apenas oito modelos climáticos apresentaram pontos de grade dentro dessa região geomorfológica. Além disso, por ser uma região litorânea, alguns desses pontos de *buffers* localizam-se em áreas oceânicas, em que os processos simulados são mais complexos do que aqueles de regiões continentais, tanto por levar em consideração constituintes menores (sal, por exemplo) quanto por considerar todas as camadas limite (não apenas aquela que entra em

contato com a atmosfera), a topografia complexa dos oceanos e o movimento dos redemoinhos que se formam com as correntes de superfície (GETTELMAN; ROOD, 2016).

Para radiação solar incidente na superfície terrestre, o conjunto de MCG com melhor desempenho que mais se aproximou do observado foi aquele da Planície Costeira, sendo que as linhas se sobrepõem em alguns pontos do gráfico. Em todas as regiões, para todos os meses do ano, o conjunto de todos os modelos estudados tende a superestimar a radiação solar incidente em relação ao observado. Já para temperatura, não foi possível visualizar um padrão no histórico simulado. O conjunto de todos os modelos apresentou um desvio padrão maior e não se aproximou tanto do observado, embora tenha seguido a tendência sazonal de cada região. Já o conjunto de melhores MCG tendeu a superestimar a temperatura nos meses de verão e subestimar nos meses de inverno.

## **5.2 Projeções Futuras dos Modelos Climáticos Globais**

A partir da validação dos modelos climáticos globais descrita, são apresentados os resultados das projeções futuras para cada região geomorfológica, considerando tanto o conjunto de todos os MCG do CMIP5 considerados no presente estudo, quanto o conjunto contendo apenas os modelos com melhor desempenho para cada variável climática e cada região, os quais foram apresentados no Quadro 9.

### **5.2.1 Projeções futuras de variáveis climáticas: *delta change***

Foram gerados gráficos com os resultados do *delta change* calculado em cada região geomorfológica, para cada variável climática, comparando cenários (RCP 2.6 e RCP 8.5) e futuros (próximo, de 2011 a 2055, e distante, de 2056 a 2100) entre si em um mesmo gráfico. Além dos gráficos para o conjunto de todos os modelos estudados, foram gerados também os gráficos considerando apenas o conjunto de melhores modelos para cada variável e região. Os resultados para precipitação, radiação solar incidente e temperatura são apresentados na Figura 10, Figura 11 e Figura 12, respectivamente. Nos apêndices, são apresentados gráficos de *delta change* com uma abordagem diferente, em que são comparadas as regiões geomorfológicas entre si, em cada cenário e cada futuro estudado, para precipitação, radiação solar incidente e temperatura (APÊNDICE E, APÊNDICE F e APÊNDICE G, respectivamente).

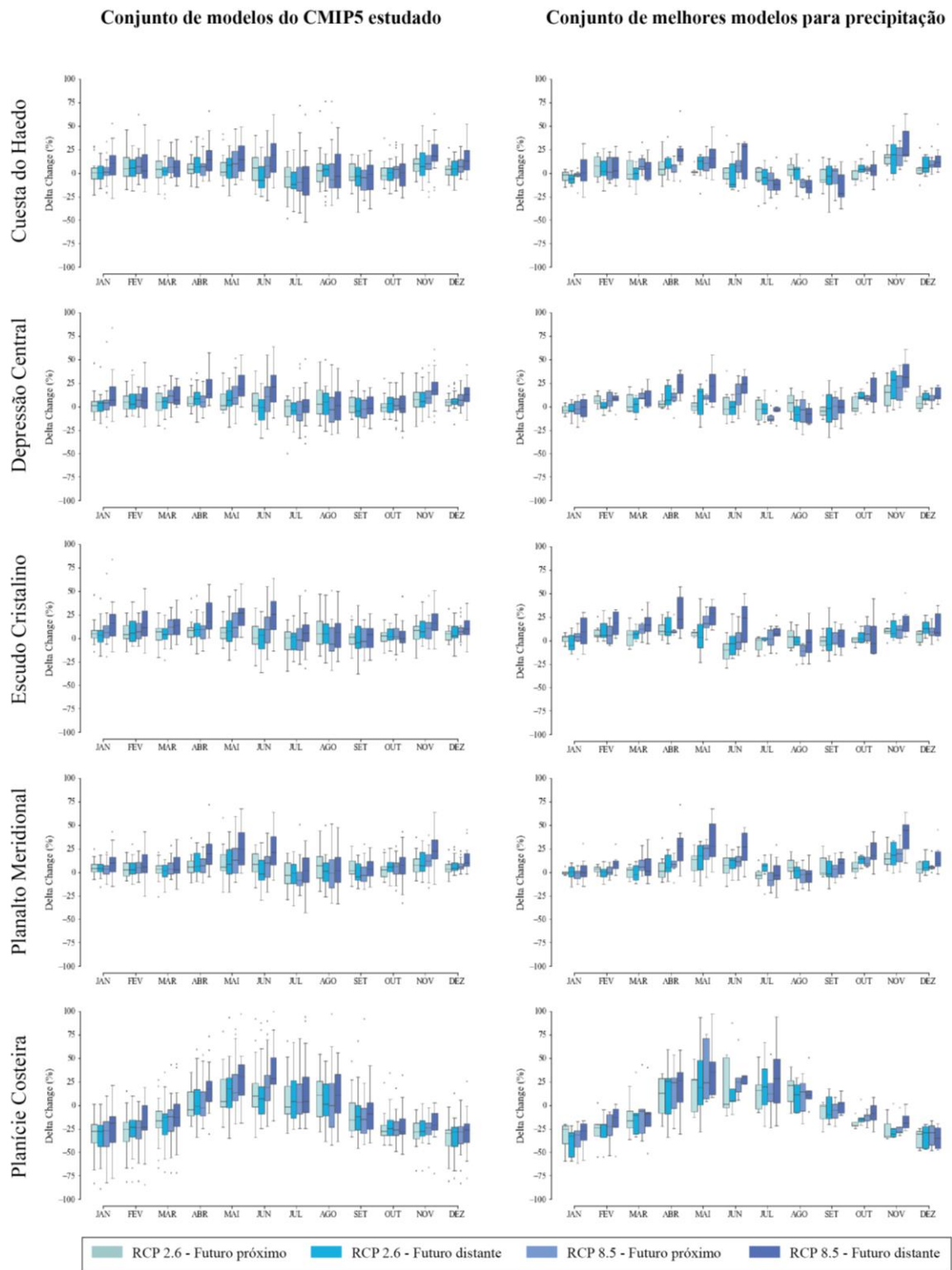


Figura 10. Projeções de alterações na precipitação comparando cenários (RCP 2.6 e RCP 8.5) e futuros (próximo, de 2011 a 2055, e distante, de 2056 a 2100) entre si para cada região geomorfológica. Ao lado esquerdo, temos os gráficos considerando o conjunto de todos os modelos do CMIP5 do estudo; ao lado direito, apenas o conjunto de modelos com melhor desempenho para precipitação em cada região.



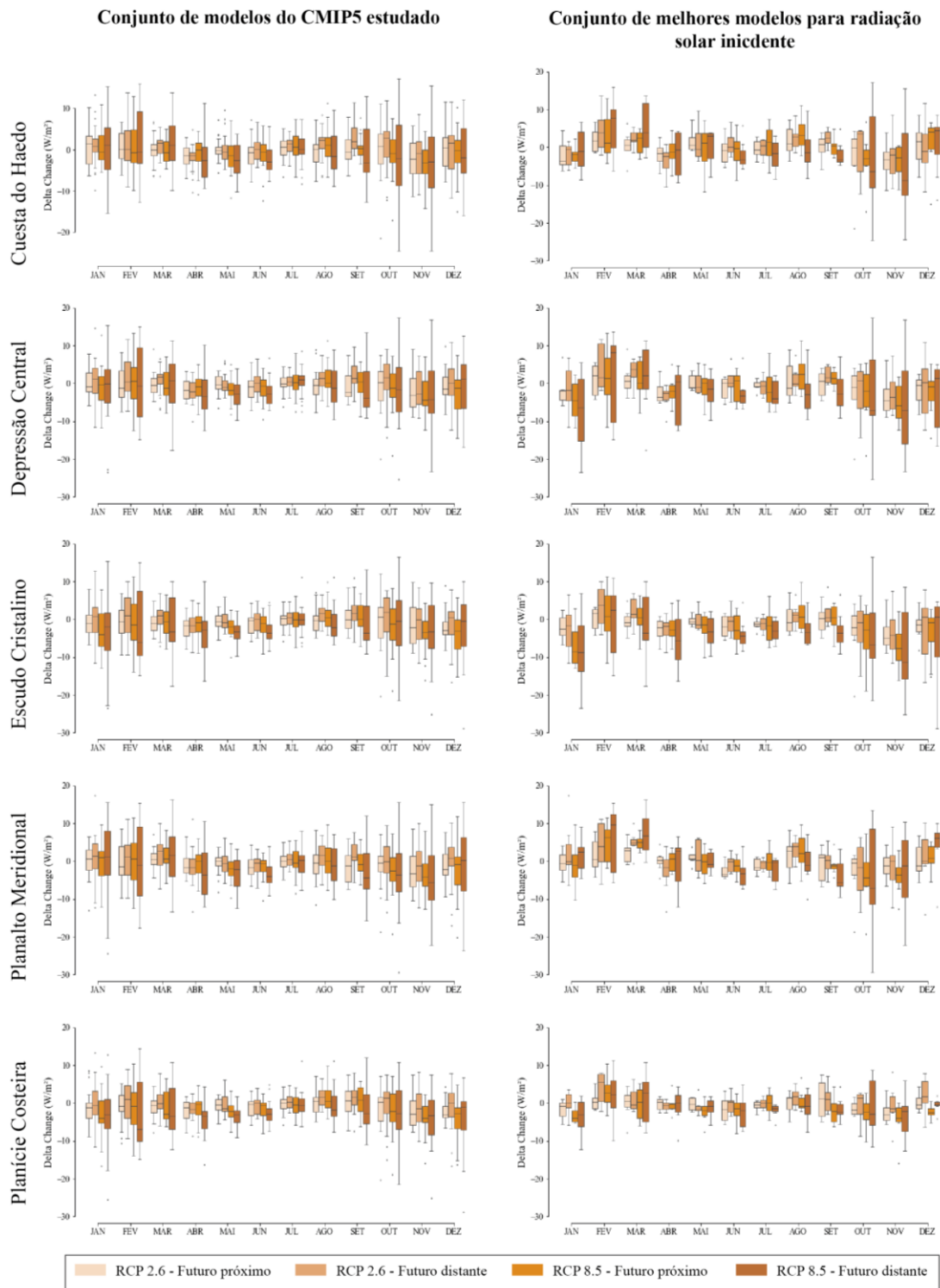


Figura 11. Projeções de alterações na radiação solar incidente comparando cenários (RCP 2.6 e RCP 8.5) e futuros (próximo, de 2011 a 2055, e distante, de 2056 a 2100) entre si para cada região geomorfológica. Ao lado esquerdo, temos os gráficos considerando o conjunto de todos os modelos do CMIP5 do estudo; ao lado direito, apenas o conjunto de modelos com melhor desempenho para radiação solar em cada região.

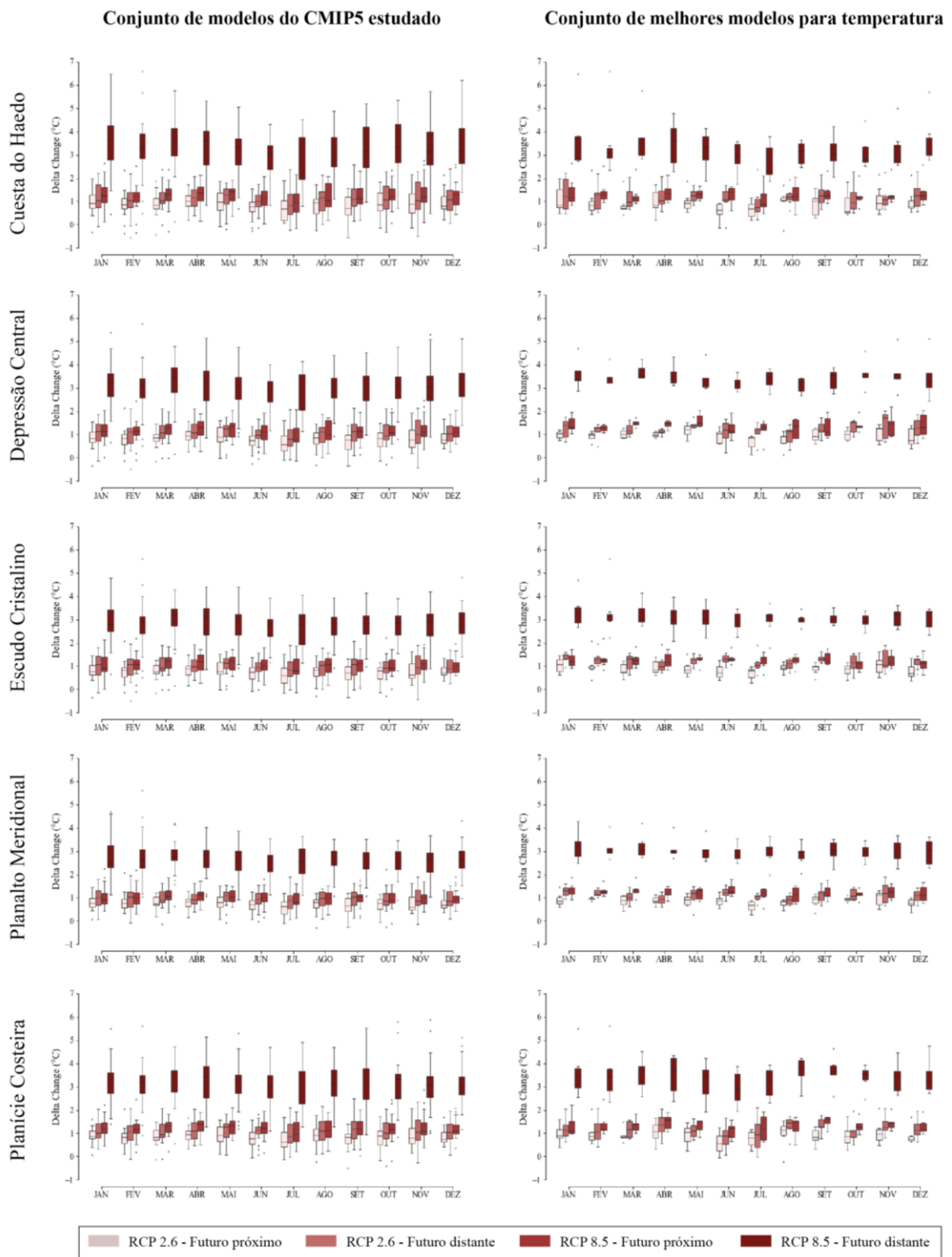


Figura 12. Projeções de alterações na temperatura comparando cenários (RCP 2.6 e RCP 8.5) e futuros (próximo, de 2011 a 2055, e distante, de 2056 a 2100) entre si para cada região geomorfológica. Ao lado esquerdo, temos os gráficos considerando o conjunto de todos os modelos do CMIP5 do estudo; ao lado direito, apenas o conjunto de modelos com melhor desempenho para temperatura em cada região.

Para todas as variáveis climáticas e regiões geomorfológicas, percebe-se que a dispersão é maior no futuro distante, de ambos os cenários considerados, mas mais evidentemente no cenário RCP 8.5. Além disso, comparando-se os resultados do conjunto de todos os modelos do CMIP5 estudado com o conjunto de melhores modelos (para cada região e variável), o intervalo interquartil diminui consideravelmente em ambos os futuros e cenários considerados. Esses resultados são mais evidentes para temperatura, mas são perceptíveis nas demais variáveis climáticas analisadas.

Analisando os resultados de precipitação (Figura 10), o *delta change* varia ao longo de todos os meses do ano para praticamente todas as regiões, em todos os futuros e cenários, tanto para o conjunto de todos os modelos quanto para o conjunto de modelos com melhor desempenho, não havendo uma tendência de aumento ou diminuição definida, como já foi observado em estudo anterior (NAITZEL *et al.*, 2018). Esse resultado só não é válido para a região da Planície Costeira, em que existe uma tendência clara de diminuição da precipitação nos meses de verão, em ambos os conjuntos de modelos analisados. Vale ressaltar que essa é a menor região geomorfológica do RS e, por consequência, a que apresentou maior dispersão dos resultados projetados pelos MCG, o que pode ser visto tanto pela maior quantidade de *outliers* (valores discrepantes representados pelos pontos) quanto pela amplitude interquartil, se comparado com as demais regiões. Esse fato pode ter relação com a quantidade de modelos que necessitaram de *buffers* para definirem pontos que representassem essa região. Como é uma área litorânea, alguns pontos de MCG que precisaram de *buffers* caíram no Oceano Atlântico. Em áreas oceânicas, as forçantes (nuvens, transferência radiativa e de calor, correntes) não ocorrem apenas verticalmente como é simulado em áreas continentais em que são considerados apenas processos atmosféricos, mas também horizontalmente, ou seja, são aplicadas as equações de movimento para fluido (água) em uma esfera giratória para obter os movimentos de redemoinhos, em três dimensões (GETTELMAN & ROOD, 2016). No APÊNDICE E, é possível visualizar diretamente o quanto a região da Planície Costeira se destaca das outras nos resultados de precipitação, principalmente nos meses de verão.

Para radiação solar incidente na superfície terrestre (Figura 11), o intervalo interquartil é ligeiramente menor nos meses de inverno, em ambos os conjuntos de MCG analisados. O mesmo ocorre com os valores de máximos e mínimos mensais, que são mais extremos nos meses de verão. Ou seja, essa maior variabilidade nessa estação demonstra uma maior discordância dos modelos climáticos em relação ao aumento ou diminuição de radiação solar. Os modelos climáticos que projetam aumento na incidência de radiação solar possivelmente simulam um clima futuro mais seco no verão para a região em questão, em função de uma

menor cobertura de nuvens e menor disponibilidade de umidade atmosférica. Já os MCG que projetam uma diminuição na radiação solar provavelmente simulam um clima mais úmido no verão, com maior cobertura de nuvens e mais vapor d'água na atmosfera, ou ainda maior quantidade de aerossóis e material particulado. No inverno, os modelos climáticos simulam um clima similar ao atual, por isso a amplitude interquartílica é menor. Comparando os conjuntos de MCG entre si, em todas as regiões, pode-se notar que os valores de máximos e mínimos mensais são menos extremos nos meses de inverno para o conjunto de melhores modelos. Nos resultados de temperatura (Figura 12), fica bem evidente a diferença entre os conjuntos de modelos considerados: quando são selecionados apenas os modelos de melhor desempenho, os intervalos interquartílicos são consideravelmente menores (isto significa que a dispersão dos resultados é menor). A mediana é relativamente maior para cada futuro e cada cenário no conjunto de melhores modelos.

Para complementar a discussão, foram calculadas as medianas de *delta change* para cada estação do ano e para o período anual, considerando ambos futuros e cenários avaliados no presente estudo, tanto para o conjunto geral de modelos (G) quanto para o conjunto de melhores modelos (M). Nas Tabelas 6, 7 e 8 podem ser visualizados os valores para precipitação, radiação solar incidente e temperatura, respectivamente. As tabelas com todos os valores mensais, para as 3 variáveis climáticas, são apresentadas do APÊNDICE H ao APÊNDICE J.

Para precipitação, a anomalia foi estimada em porcentagem e, para calcular as estatísticas apresentadas na Tabela 6 para cada período, os valores mensais de chuva foram ponderados pelas médias mensais observadas. A partir dos gráficos da Figura 10, percebe-se que os valores de *delta change* calculados para chuva variam sem um padrão visível para cada mês, cenário, futuro, conjunto de MCG e região geomorfológica analisados. Por exemplo, na região da Cuesta do Haedo, no futuro distante do RCP 8.5, a anomalia calculada para junho, junho e agosto é de 28,58%, -11,75% e -15,99%, respectivamente (ver tabela completa no APÊNDICE H). Ponderando esses valores pela média mensal observada dessa região, a anomalia calculada para a estação do inverno é de 1,52% (Tabela 6), não condizente com os valores calculados mês a mês, porque a anomalia positiva acaba sendo compensada pela negativa. A partir da Tabela 6, observa-se que a maior redução projetada é para a estação de inverno, para ambos os conjuntos de modelos climáticos estudados (geral, G, e melhores modelos, M), em todas as regiões geomorfológicas, exceto na Planície Costeira, onde a maior redução é para os meses de verão, variando de -27,31% (futuro próximo do cenário RCP 2.6) a -22,50% (futuro distante do cenário RCP 8.5) para o conjunto geral de MCG. Analisando as demais regiões no período do inverno e para o mesmo conjunto de modelos climáticos, os

valores variam de 1,27% (Cuesta do Haedo) a 4,11% (Planalto Meridional) no futuro próximo do RCP 2.6; de -4,17% (Cuesta do Haedo) a 3,17% (Escudo Cristalino) no futuro distante desse mesmo cenário; de -3,60% (Cuesta do Haedo) a 0,68% (Escudo Cristalino) no futuro próximo do RCP 8.5; e de 2,54% (Cuesta do Haedo) a 13,17% (Escudo Cristalino).

Já a maior projeção de aumento de precipitação ocorre no período do outono para todas as regiões, exceto, novamente, para a região da Planície Costeira, onde o maior aumento é nos meses de inverno, variando de 4,08% (futuro distante do RCP 2.6) a 14,11% (futuro distante do RCP 8.5) no conjunto geral de modelos. Nas demais regiões, considerando o mesmo conjunto, os valores variam de 3,19% (Depressão Central) a 6,98% (Escudo Cristalino) no futuro próximo do cenário RCP 2.6; de 5,04% (Cuesta do Haedo) a 7,30% (Depressão Central) no futuro distante desse mesmo cenário; de 7,61% (Cuesta do Haedo) a 10,82% (Escudo Cristalino) no futuro próximo do cenário RCP 8.5; e de 11,20% (Cuesta do Haedo) a 20,01% (Escudo Cristalino) no futuro distante desse cenário.

Comparando os conjuntos de modelos entre si, também não é possível encontrar um padrão para cada região, futuro, cenário ou estação do ano. Percebe-se que, para o período do outono, os maiores valores de anomalia foram obtidos pelo conjunto de melhores modelos para todas as regiões, salvo poucas exceções (futuro próximo do RCP 2.6 nas regiões da Cuesta do Haedo e Depressão Central, por exemplo). Para a Planície Costeira, as anomalias positivas projetadas para o período do inverno, em todos os futuros e cenários, são maiores para o conjunto de modelos com melhor desempenho na representação do clima atual. Nos meses de verão, as anomalias negativas também são maiores para o conjunto de melhores modelos, exceto no futuro próximo do RCP 2.6. Entretanto, para uma mesma estação do ano, considerando o mesmo futuro e cenário de determinada região, a anomalia possui sinais opostos para os conjuntos analisados. Por exemplo, para o período de inverno no Planalto meridional, no futuro distante do RCP 2.6, a anomalia é negativa para o conjunto geral de modelos (-0,58%), e positiva para o conjunto de melhores modelos (7,03%).

Além de todos os detalhes discutidos, destaca-se que as anomalias projetadas para cada mês por ambos os conjuntos de MCG apresentam valores mais elevados do que aqueles calculados para as estações do ano. Considerando o cenário de maior emissão de GEE (RCP 8.5), os valores mensais projetados pelo conjunto de melhores modelos climáticos para precipitação variam de -21,40% a 28,58% para a região da Cuesta do Haedo; de -13,68% a 31,04% para a Depressão Central; de -11,15% a 28,99% para o Escudo Cristalino; de -8,20% a 44,32% para o Planalto Meridional; e de -35,05% a 35,01% para a Planície Costeira.

Tabela 6. Projeções de alterações na precipitação (em %) para cada futuro/cenário e cada região geomorfológica, considerando a mediana do conjunto geral de modelos (G) e do conjunto de melhores modelos (M).

<b>Cuesta do Haedo</b>										
<b>Período</b>	<b>OUTONO</b>		<b>INVERNO</b>		<b>PRIMAVERA</b>		<b>VERÃO</b>		<b>ANUAL</b>	
<b>Conjunto MCG</b>	<b>G</b>	<b>M</b>	<b>G</b>	<b>M</b>	<b>G</b>	<b>M</b>	<b>G</b>	<b>M</b>	<b>G</b>	<b>M</b>
<b>FP - RCP 2.6</b>	3,18	1,49	1,19	1,78	0,95	1,26	3,30	3,17	2,16	1,92
<b>FD - RCP 2.6</b>	5,58	6,32	-5,06	-4,39	1,55	6,85	3,57	0,49	1,41	2,32
<b>FP - RCP 8.5</b>	7,90	8,42	-3,13	-3,26	3,05	8,52	5,00	2,54	3,21	4,06
<b>FD - RCP 8.5</b>	11,84	12,84	3,31	0,28	5,89	0,11	8,83	4,81	7,47	4,51
<b>Depressão Central</b>										
<b>Período</b>	<b>OUTONO</b>		<b>INVERNO</b>		<b>PRIMAVERA</b>		<b>VERÃO</b>		<b>ANUAL</b>	
<b>Conjunto MCG</b>	<b>G</b>	<b>M</b>	<b>G</b>	<b>M</b>	<b>G</b>	<b>M</b>	<b>G</b>	<b>M</b>	<b>G</b>	<b>M</b>
<b>FP - RCP 2.6</b>	3,18	0,95	1,53	-0,47	2,38	2,59	3,48	2,05	2,64	1,28
<b>FD - RCP 2.6</b>	7,34	8,40	0,00	-3,76	1,47	12,16	3,72	1,14	3,13	4,49
<b>FP - RCP 8.5</b>	8,41	9,32	-0,30	-0,95	2,36	9,63	6,11	3,87	4,14	5,47
<b>FD - RCP 8.5</b>	13,43	17,02	7,42	4,26	4,54	14,36	8,98	6,43	8,59	10,52
<b>Escudo Cristalino</b>										
<b>Período</b>	<b>OUTONO</b>		<b>INVERNO</b>		<b>PRIMAVERA</b>		<b>VERÃO</b>		<b>ANUAL</b>	
<b>Conjunto MCG</b>	<b>G</b>	<b>M</b>	<b>G</b>	<b>M</b>	<b>G</b>	<b>M</b>	<b>G</b>	<b>M</b>	<b>G</b>	<b>M</b>
<b>FP - RCP 2.6</b>	7,09	8,32	1,93	-1,96	4,00	3,71	4,45	5,49	4,37	3,89
<b>FD - RCP 2.6</b>	7,02	6,52	3,16	-0,72	1,49	1,82	3,71	4,43	3,85	3,01
<b>FP - RCP 8.5</b>	10,78	12,89	0,24	-3,66	2,97	5,26	6,68	6,29	5,17	5,20
<b>FD - RCP 8.5</b>	19,25	22,78	12,46	9,59	6,36	6,35	12,36	11,97	12,61	12,67
<b>Planalto Meridional</b>										
<b>Período</b>	<b>OUTONO</b>		<b>INVERNO</b>		<b>PRIMAVERA</b>		<b>VERÃO</b>		<b>ANUAL</b>	
<b>Conjunto MCG</b>	<b>G</b>	<b>M</b>	<b>G</b>	<b>M</b>	<b>G</b>	<b>M</b>	<b>G</b>	<b>M</b>	<b>G</b>	<b>M</b>
<b>FP - RCP 2.6</b>	4,66	5,71	4,15	3,18	3,93	5,85	3,43	2,16	4,04	4,22
<b>FD - RCP 2.6</b>	5,51	6,39	-0,66	7,32	2,73	10,45	3,51	1,64	2,77	6,45
<b>FP - RCP 8.5</b>	7,92	13,08	0,00	0,38	5,08	10,51	4,54	1,47	4,39	6,36
<b>FD - RCP 8.5</b>	15,62	18,88	8,43	7,33	11,30	24,06	8,63	5,82	11,00	14,02
<b>Planície Costeira</b>										
<b>Período</b>	<b>OUTONO</b>		<b>INVERNO</b>		<b>PRIMAVERA</b>		<b>VERÃO</b>		<b>ANUAL</b>	
<b>Conjunto MCG</b>	<b>G</b>	<b>M</b>	<b>G</b>	<b>M</b>	<b>G</b>	<b>M</b>	<b>G</b>	<b>M</b>	<b>G</b>	<b>M</b>
<b>FP - RCP 2.6</b>	-5,55	7,57	6,27	12,92	-23,86	-18,62	-27,47	-26,43	-12,65	-6,14
<b>FD - RCP 2.6</b>	1,00	11,29	4,15	11,81	-21,33	-18,48	-26,46	-27,33	-10,66	-5,68
<b>FP - RCP 8.5</b>	-0,51	13,82	7,28	17,37	-21,62	-15,15	-26,24	-27,73	-10,27	-2,92
<b>FD - RCP 8.5</b>	11,72	17,13	14,46	22,53	-19,52	-8,53	-22,65	-24,68	-3,99	1,61

FP: Futuro próximo (2011-2055)

FD: Futuro distante (2056-2100)

Para radiação solar incidente, observando os gráficos da Figura 11 e os resultados quantitativos apresentados na Tabela 7 (e também no APÊNDICE I), percebe-se que as projeções para ambos os conjuntos de modelos analisados ficam próximas de zero. Isso ocorre porque existe uma grande variabilidade no *delta change* calculado para cada modelo em cada mês do ano, conforme é exemplificado no Quadro 10, para o futuro distante do RCP 8.5 na região do Planalto Meridional. Nesse quadro, é possível observar os máximos e mínimos encontrados dentro de um mesmo mês (duas últimas linhas), e os máximos e mínimos para cada modelo ao longo do ano (duas últimas colunas). Percebe-se que não existe um padrão definido de aumento ou diminuição dessa variável para determinada estação do ano, sendo que, para um mesmo modelo, a anomalia alterna entre valores positivos e negativos em meses consecutivos. Da mesma forma, também não é possível encontrar um padrão entre os modelos para um mesmo mês do ano. Por exemplo, em janeiro, os valores variam de  $-24,37 \text{ W/m}^2$  a  $15,46 \text{ W/m}^2$ , fazendo com que a mediana resulte em  $1,14 \text{ W/m}^2$ . Ou seja, as anomalias negativas projetadas por alguns modelos climáticos acabam sendo compensadas pelas anomalias positivas de outros modelos, não havendo concordância em relação às projeções de radiação solar incidente. Essa situação se repete nas outras regiões geomorfológicas do RS, em todos os futuros e cenários considerados, não sendo possível encontrar um padrão predominante de alteração para essa variável climática.

Tabela 7. Projeções de alterações na radiação solar incidente (em W/m<sup>2</sup>) para cada futuro/cenário e cada região geomorfológica, considerando a mediana do conjunto geral de modelos (G) e do conjunto de melhores modelos (M).

<b>Cuesta do Haedo</b>										
Período	OUTONO		INVERNO		PRIMAVERA		VERÃO		ANUAL	
Conjunto MCG	G	M	G	M	G	M	G	M	G	M
<b>FP - RCP 2.6</b>	-0,56	-0,08	0,00	-0,16	-0,67	-0,85	0,63	-0,14	-0,15	-0,31
<b>FD - RCP 2.6</b>	-0,15	-0,26	1,24	1,10	1,28	1,27	0,76	0,82	0,78	0,73
<b>FP - RCP 8.5</b>	-0,79	0,84	0,33	1,44	-1,28	-1,73	-0,52	1,12	-0,57	0,42
<b>FD - RCP 8.5</b>	-1,41	2,03	-1,44	-2,01	-2,73	-6,10	-0,47	3,76	-1,51	-0,58
<b>Depressão Central</b>										
Período	OUTONO		INVERNO		PRIMAVERA		VERÃO		ANUAL	
Conjunto MCG	G	M	G	M	G	M	G	M	G	M
<b>FP - RCP 2.6</b>	-0,87	-1,36	-0,46	-0,62	-1,68	-1,64	-1,18	-0,10	-1,05	-0,93
<b>FD - RCP 2.6</b>	-0,51	0,04	0,59	-0,21	0,06	-0,46	0,58	-0,03	0,18	-0,16
<b>FP - RCP 8.5</b>	-1,22	-0,60	-0,14	0,32	-1,78	-2,09	-0,31	-1,32	-0,86	-0,92
<b>FD - RCP 8.5</b>	-1,79	0,37	-0,96	-3,34	-3,17	-5,59	0,08	1,03	-1,46	-1,88
<b>Escudo Cristalino</b>										
Período	OUTONO		INVERNO		PRIMAVERA		VERÃO		ANUAL	
Conjunto MCG	G	M	G	M	G	M	G	M	G	M
<b>FP - RCP 2.6</b>	-1,14	-1,25	-0,16	-1,29	-0,52	-2,31	-1,55	-0,75	-0,84	-1,40
<b>FD - RCP 2.6</b>	-0,54	-0,58	0,66	-0,11	1,15	-1,47	0,70	0,93	0,49	-0,31
<b>FP - RCP 8.5</b>	-1,19	-1,22	-0,26	-1,23	-1,54	-3,28	-2,80	-2,87	-1,45	-2,15
<b>FD - RCP 8.5</b>	-3,06	-4,15	-2,00	-3,58	-2,52	-7,20	-2,81	-1,90	-2,60	-4,21
<b>Planalto Meridional</b>										
Período	OUTONO		INVERNO		PRIMAVERA		VERÃO		ANUAL	
Conjunto MCG	G	M	G	M	G	M	G	M	G	M
<b>FP - RCP 2.6</b>	-0,33	1,25	-0,68	-0,77	-1,64	-0,24	-0,92	-0,43	-0,89	-0,05
<b>FD - RCP 2.6</b>	0,09	1,19	0,47	1,18	-0,06	-0,42	1,17	1,31	0,42	0,81
<b>FP - RCP 8.5</b>	-0,45	1,84	-0,33	0,22	-2,55	-3,04	0,25	2,08	-0,77	0,28
<b>FD - RCP 8.5</b>	-1,38	2,83	-1,67	-1,52	-4,52	-4,67	0,15	6,07	-1,85	0,68
<b>Planície Costeira</b>										
Período	OUTONO		INVERNO		PRIMAVERA		VERÃO		ANUAL	
Conjunto MCG	G	M	G	M	G	M	G	M	G	M
<b>FP - RCP 2.6</b>	-0,80	0,05	0,04	0,40	-0,71	-1,31	-1,68	-0,46	-0,79	-0,33
<b>FD - RCP 2.6</b>	-1,05	-0,99	0,64	0,79	0,56	0,26	0,11	2,28	0,06	0,59
<b>FP - RCP 8.5</b>	-1,85	0,37	-0,28	-0,89	-1,76	-2,94	-2,50	-1,91	-1,60	-1,34
<b>FD - RCP 8.5</b>	-3,33	-0,36	-1,78	-1,96	-2,93	-3,13	-3,67	0,25	-2,93	-1,30

FP: Futuro próximo (2011-2055)

FD: Futuro distante (2056-2100)



Quadro 10. Exemplo de valores de *delta change* de radiação solar incidente calculados para o futuro distante do cenário RCP 8.5 na região do Planalto Meridional.

Modelo	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	MÍNIMO (Modelo)	MÁXIMO (Modelo)
bcc-csm1.1	2,66	-5,43	-2,16	-4,93	0,48	-4,68	3,8	-5,53	-3,96	-7,47	-8,19	-3,33	-8,19	3,8
bcc-csm1.1m	13,6	7,76	3,4	10,58	2,49	-1,48	0,3	-0,63	-0,2	-1,77	0,6	8,55	-1,77	13,6
BNU-ESM	4,76	-2,07	8,81	2,66	2,18	4,02	0,51	7,02	-2,43	13,49	10,37	3,33	-2,43	13,49
CanESM2	2,67	-5,58	1,1	-0,62	-0,82	-5,59	0,02	-1	-9,44	-8,16	-3,78	6,49	-9,44	6,49
CESM1-CAM5	9,11	7,32	5,81	-3,54	-6,74	-1,24	1,02	-1,93	-5,59	-6,89	-1,68	0,83	-6,89	9,11
CESM1-WACCM	2,52	12,7	5,04	-12,03	-1,59	-1,79	-7,5	-3,5	-5,61	-29,38	-22,24	-12,02	-29,38	12,7
CNRM-CM5	1,87	0,11	2,12	-2,64	-1,85	2,2	5,62	4,83	4,94	2,21	1,94	4,72	-2,64	5,62
CSIRO-Mk3-6-0	-0,03	0,68	-4,84	-4,37	0,15	-8,33	0,61	-5,35	-9,37	-4,8	-8,95	-20,86	-20,86	0,68
FGOALS-g2	-20,28	-14,03	-13,37	-10,51	-12,46	-5,25	-4,03	-7,94	-15,79	-16,27	-12,27	-6,67	-20,28	-4,03
FIO-ESM	-24,37	-17,6	-10,38	-9,54	-5,52	-5,58	-7,65	-4,21	-7,92	-10,05	-17,93	-23,64	-24,37	-4,21
GISS-E2-H	15,46	14,79	9,91	1,45	0,28	-1,46	2,97	2,61	9,94	11,02	15,05	14,39	-1,46	15,46
GISS-E2-R	9,81	11,14	4,09	1,48	-2,4	-0,51	2,96	4,22	12,11	15,6	9,45	15,44	-2,4	15,6
IPSL-CM5A-LR	-3,14	-14,06	-6,43	-11,36	-9,48	-9,06	-1,01	-1,37	-7,32	-4,05	-7,5	-7,8	-14,06	-1,01
IPSL-CM5A-MR	-8,82	-12,25	-6,15	-3,7	-5,26	-5,21	1,76	1,88	-1,83	-3,24	-8,19	-10,06	-12,25	1,88
MIROC5	-4,83	-2,72	-0,43	-6,61	-6,62	-5,25	-3,06	4,47	2,52	-3,18	-8,1	-7,67	-8,1	4,47
MIROC-ESM	9,03	12,23	-0,31	-10,1	-3,85	-6,89	0,86	1,24	1,01	-14,6	-15,36	9,92	-15,36	12,23
MIROC-ESM-CHEM	9,73	0,46	11,51	5,02	-6,42	-1,54	7,91	3,59	7,08	-8,83	-10,57	-6,32	-10,57	11,51
MPI-ESM-LR	-2,29	-10,2	-1,06	-5,81	-7,23	0,61	-0,02	-6,64	-9,96	0,07	-14,05	-8,92	-14,05	0,61
MPI-ESM-MR	-4,58	9,61	13,69	4,08	3,19	-1,89	-3,08	3,52	-6,09	3,53	5,12	8,31	-6,09	13,69
MRI-CGCM3	0,29	15,33	16,32	6,54	2,4	-3,28	-0,28	-1,64	3,17	13,51	6,1	6,08	-3,28	16,32
NorESM1-M	-3,68	-3,57	6,65	3	-1,66	-7,29	-7,4	-10	-6,85	-7,17	-1,22	4,02	-10	6,65
NorESM1-ME	0,4	-11,26	-4,62	-11,47	-10,05	-5,5	-2,33	-5,86	-4,58	2,01	-2,52	-0,23	-11,47	2,01
<b>MEDIANA</b>	1,14	-0,98	1,61	-3,62	-2,13	-3,98	0,16	-1,19	-4,27	-3,65	-5,64	0,30		
<b>MÍNIMO (mês)</b>	-24,37	-17,6	-13,37	-12,03	-12,46	-9,06	-7,65	-10	-15,79	-29,38	-22,24	-23,64		
<b>MÁXIMO (mês)</b>	15,46	15,33	16,32	10,58	3,19	4,02	7,91	7,02	12,11	15,6	15,05	15,44		

Para temperatura (Figura 12 e Tabela 8), o valor da anomalia é aproximadamente constante ao longo do ano em cada cenário/futuro, para cada região geomorfológica. Portanto, analisando a mediana para todos os meses de forma geral (período anual), a anomalia é maior para o conjunto de todos os modelos, para todos os futuros e cenários, em todas as regiões. Essa afirmativa só não é válida para a região da Cuesta do Haedo, em que o *delta change* é ligeiramente menor para o conjunto de todos os modelos no futuro próximo do RCP 2.6 e no futuro distante do RCP 8.5. Na região do Planalto Meridional, por exemplo, considerando o futuro distante do cenário RCP 8.5, a mediana anual para o conjunto de todos os modelos é de 3,19 °C, e, para o conjunto de melhores modelos, sobe para 3,48 °C. A mediana anual dos valores de aumento de temperatura para as regiões geomorfológicas do RS, considerando o conjunto de todos MCG, variam de 0,74 °C (Planície Costeira) a 0,87 °C (Cuesta do Haedo) no futuro próximo do cenário RCP 2.6; de 0,96 °C (Planície Costeira) a 1,07° C (Cuesta do Haedo e Planalto Meridional) no futuro distante do RCP 2.6; de 0,99 °C (Planície Costeira) a 1,21 °C (Cuesta do Haedo) no futuro próximo do pior cenário; e de 2,65 °C (Planície Costeira) a 3,30 °C (Cuesta do Haedo) no futuro distante desse mesmo cenário. Percebe-se que, de forma geral, a região da Planície Costeira apresentou os valores mais baixos de anomalia de temperatura em todas as projeções futuras, enquanto que a Cuesta do Haedo obteve os valores mais elevados em quase todos futuros e cenários.

Tabela 8. Projeções de alterações na temperatura (em °C) para cada futuro/cenário e cada região geomorfológica, considerando a mediana do conjunto geral de modelos (G) e do conjunto de melhores modelos (M).

<b>Cuesta do Haedo</b>										
<b>Período</b>	<b>OUTONO</b>		<b>INVERNO</b>		<b>PRIMAVERA</b>		<b>VERÃO</b>		<b>ANUAL</b>	
<b>Conjunto MCG</b>	<b>G</b>	<b>M</b>	<b>G</b>	<b>M</b>	<b>G</b>	<b>M</b>	<b>G</b>	<b>M</b>	<b>G</b>	<b>M</b>
<b>FP - RCP 2.6</b>	0,95	0,83	0,81	0,79	0,83	0,84	0,88	0,82	0,87	0,82
<b>FD - RCP 2.6</b>	1,16	1,08	1,00	1,00	1,08	1,10	1,05	1,26	1,07	1,11
<b>FP - RCP 8.5</b>	1,38	1,26	1,05	1,17	1,18	1,21	1,25	1,23	1,21	1,22
<b>FD - RCP 8.5</b>	3,55	3,48	3,06	2,82	3,22	2,92	3,37	3,01	3,30	3,06
<b>Depressão Central</b>										
<b>Período</b>	<b>OUTONO</b>		<b>INVERNO</b>		<b>PRIMAVERA</b>		<b>VERÃO</b>		<b>ANUAL</b>	
<b>Conjunto MCG</b>	<b>G</b>	<b>M</b>	<b>G</b>	<b>M</b>	<b>G</b>	<b>M</b>	<b>G</b>	<b>M</b>	<b>G</b>	<b>M</b>
<b>FP - RCP 2.6</b>	0,91	1,08	0,72	0,94	0,80	1,05	0,83	0,92	0,81	1,00
<b>FD - RCP 2.6</b>	1,14	1,22	0,97	1,17	1,03	1,46	1,09	1,32	1,06	1,29
<b>FP - RCP 8.5</b>	1,31	1,48	0,96	1,27	1,10	1,29	1,13	1,30	1,13	1,34
<b>FD - RCP 8.5</b>	3,30	3,39	2,94	3,30	3,09	3,50	3,09	3,28	3,11	3,37
<b>Escudo Cristalino</b>										
<b>Período</b>	<b>OUTONO</b>		<b>INVERNO</b>		<b>PRIMAVERA</b>		<b>VERÃO</b>		<b>ANUAL</b>	
<b>Conjunto MCG</b>	<b>G</b>	<b>M</b>	<b>G</b>	<b>M</b>	<b>G</b>	<b>M</b>	<b>G</b>	<b>M</b>	<b>G</b>	<b>M</b>
<b>FP - RCP 2.6</b>	0,82	0,81	0,73	0,83	0,72	0,99	0,78	0,90	0,76	0,88
<b>FD - RCP 2.6</b>	1,02	1,18	0,95	1,14	0,98	1,17	1,01	1,33	0,99	1,21
<b>FP - RCP 8.5</b>	1,22	1,23	0,97	1,31	1,05	1,16	1,00	1,19	1,06	1,22
<b>FD - RCP 8.5</b>	3,10	3,02	2,82	3,04	2,88	3,10	2,83	3,24	2,91	3,10
<b>Planalto Meridional</b>										
<b>Período</b>	<b>OUTONO</b>		<b>INVERNO</b>		<b>PRIMAVERA</b>		<b>VERÃO</b>		<b>ANUAL</b>	
<b>Conjunto MCG</b>	<b>G</b>	<b>M</b>	<b>G</b>	<b>M</b>	<b>G</b>	<b>M</b>	<b>G</b>	<b>M</b>	<b>G</b>	<b>M</b>
<b>FP - RCP 2.6</b>	0,91	0,99	0,78	0,84	0,84	0,90	0,83	0,84	0,84	0,89
<b>FD - RCP 2.6</b>	1,11	1,22	1,04	1,11	1,08	1,20	1,04	1,11	1,07	1,16
<b>FP - RCP 8.5</b>	1,35	1,48	1,11	1,31	1,16	1,45	1,15	1,15	1,19	1,35
<b>FD - RCP 8.5</b>	3,39	3,62	3,03	3,33	3,20	3,56	3,16	3,40	3,19	3,48
<b>Planície Costeira</b>										
<b>Período</b>	<b>OUTONO</b>		<b>INVERNO</b>		<b>PRIMAVERA</b>		<b>VERÃO</b>		<b>ANUAL</b>	
<b>Conjunto MCG</b>	<b>G</b>	<b>M</b>	<b>G</b>	<b>M</b>	<b>G</b>	<b>M</b>	<b>G</b>	<b>M</b>	<b>G</b>	<b>M</b>
<b>FP - RCP 2.6</b>	0,80	0,89	0,72	0,81	0,68	1,01	0,76	0,87	0,74	0,89
<b>FD - RCP 2.6</b>	0,98	1,05	0,95	1,07	0,93	1,17	0,97	1,18	0,96	1,12
<b>FP - RCP 8.5</b>	1,08	1,25	0,94	1,22	0,98	1,16	0,96	1,17	0,99	1,20
<b>FD - RCP 8.5</b>	2,76	3,02	2,62	2,98	2,62	3,05	2,59	3,09	2,65	3,03

FP: Futuro próximo (2011-2055)

FD: Futuro distante (2056-2100)

### 5.2.2 Projeções futuras de variáveis climáticas para cada futuro e cenário

A seguir, são apresentados gráficos de projeções sazonais para cada futuro e cenário, em cada região geomorfológica. Cada gráfico apresenta a média mensal histórica observada de cada mês do ano (linha preta) e as médias mensais simuladas para as projeções futuras, tanto pelo conjunto de todos os modelos climáticos do CMIP5 considerados (linha cinza), quanto pelo conjunto de modelos com melhor desempenho para cada região e variável em questão apresentados no Quadro 9 (linha colorida, variando conforme a variável climática). A área sombreada das projeções futuras representa o desvio padrão dos conjuntos. Os resultados para precipitação, radiação solar incidente e temperatura são apresentados nas Figuras 13, 14 e 15, respectivamente. Cada figura foi montada sistematicamente de modo a capacitar a comparação entre os futuros e cenários dentro de uma mesma região (horizontalmente), e as regiões entre si para cada futuro/cenário (verticalmente).

A partir desses gráficos, é possível notar que o desvio padrão do conjunto de modelos com melhor desempenho praticamente não varia em relação ao conjunto de todos os modelos climáticos considerados nesse estudo. Para precipitação (Figura 13), essa diferença é um pouco mais perceptível, sendo a sombra azul ligeiramente menor que a sombra cinza em alguns meses do ano, e em outros, relativamente maior. Porém, essas diferenças parecem ocorrer de forma dispersa para diferentes futuros, cenários e regiões, não havendo, portanto, uma tendência definida dos conjuntos de modelos analisados para projetar a precipitação no período futuro.

Já para radiação solar incidente na superfície terrestre (Figura 14), os desvios dos conjuntos de MCG estão praticamente sobrepostos, especialmente no futuro próximo de ambos os cenários, em que aumenta a precisão das projeções futuras. Quando se trata de projetar futuros mais distantes, a dispersão dos modelos tende a aumentar, sendo possível distinguir melhor as sombras cinza e laranja. Mas ainda assim, não é possível identificar um padrão, ou seja, o desvio do conjunto de melhores modelos de radiação solar por vezes é menor e em alguns meses é maior do que o conjunto de todos os MCG do CMIP5 estudado.

Para temperatura (Figura 15), já é diferente. As sombras do conjunto de modelos climáticos com melhor desempenho são relativamente menores em quase todos os meses do ano para as regiões da Depressão Central, do Escudo Cristalino e da Planície Costeira, considerando os gráficos de ambos os futuros e cenários. Na região da Cuesta do Haedo e do Planalto Meridional, o conjunto de melhores modelos apresentou desvio padrão relativamente menor na maior parte do ano apenas no futuro distante do RCP 8.5.

Embora o desvio padrão do conjunto de modelos com melhor desempenho seja ocasionalmente menor do que do desvio do conjunto de todos os modelos climáticos estudados,

vale ressaltar que as áreas sombreadas de ambos os conjuntos estão majoritariamente sobrepostas, ou seja, os valores do conjunto de melhores MCG estão quase todos contidos dentro do conjunto de todos os modelos, e vice-versa.

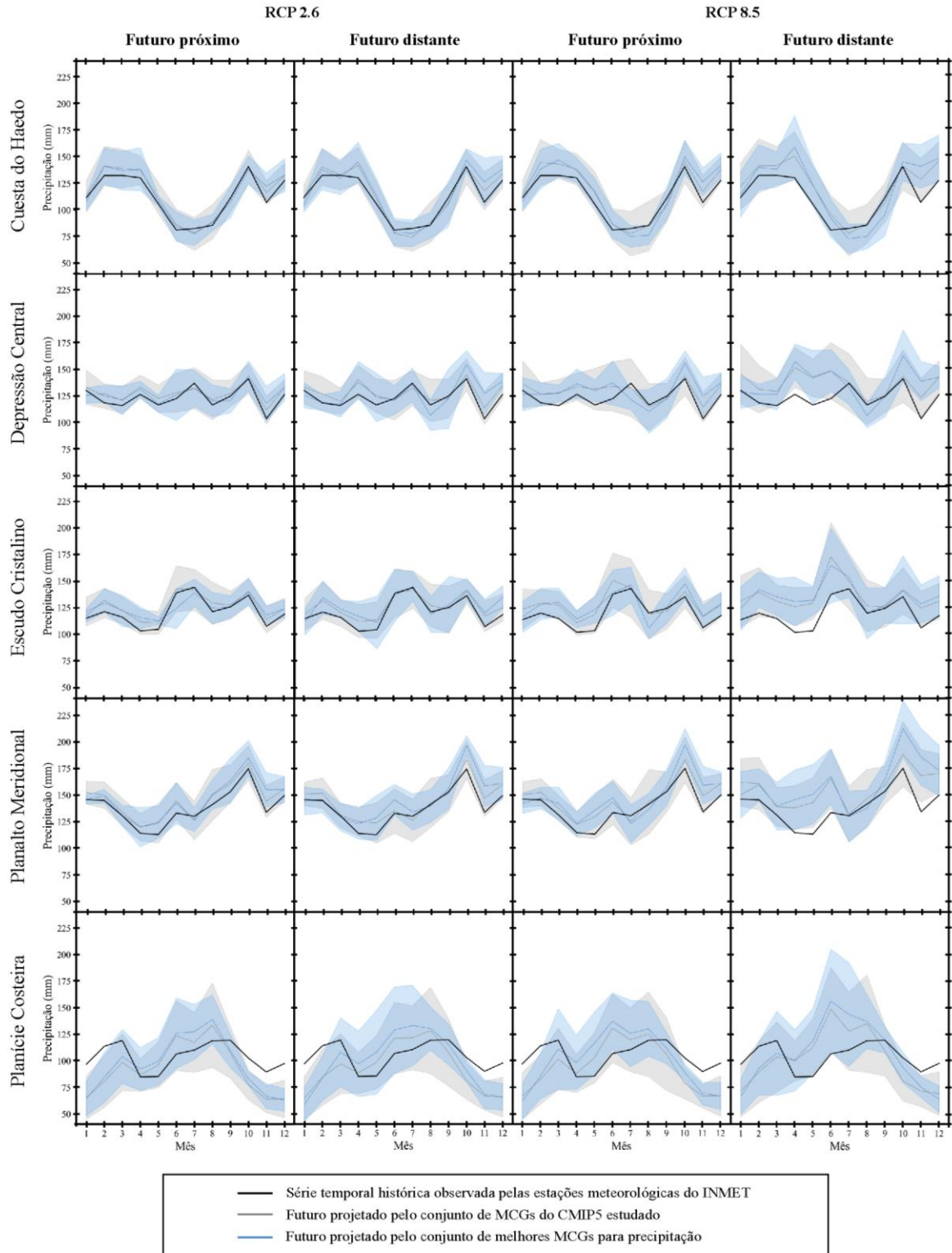


Figura 13. Projeções futuras de precipitação com remoção de viés para cada região geomorfológica e cada futuro/cenário considerado. A área sombreada representa o desvio padrão de cada conjunto analisado.

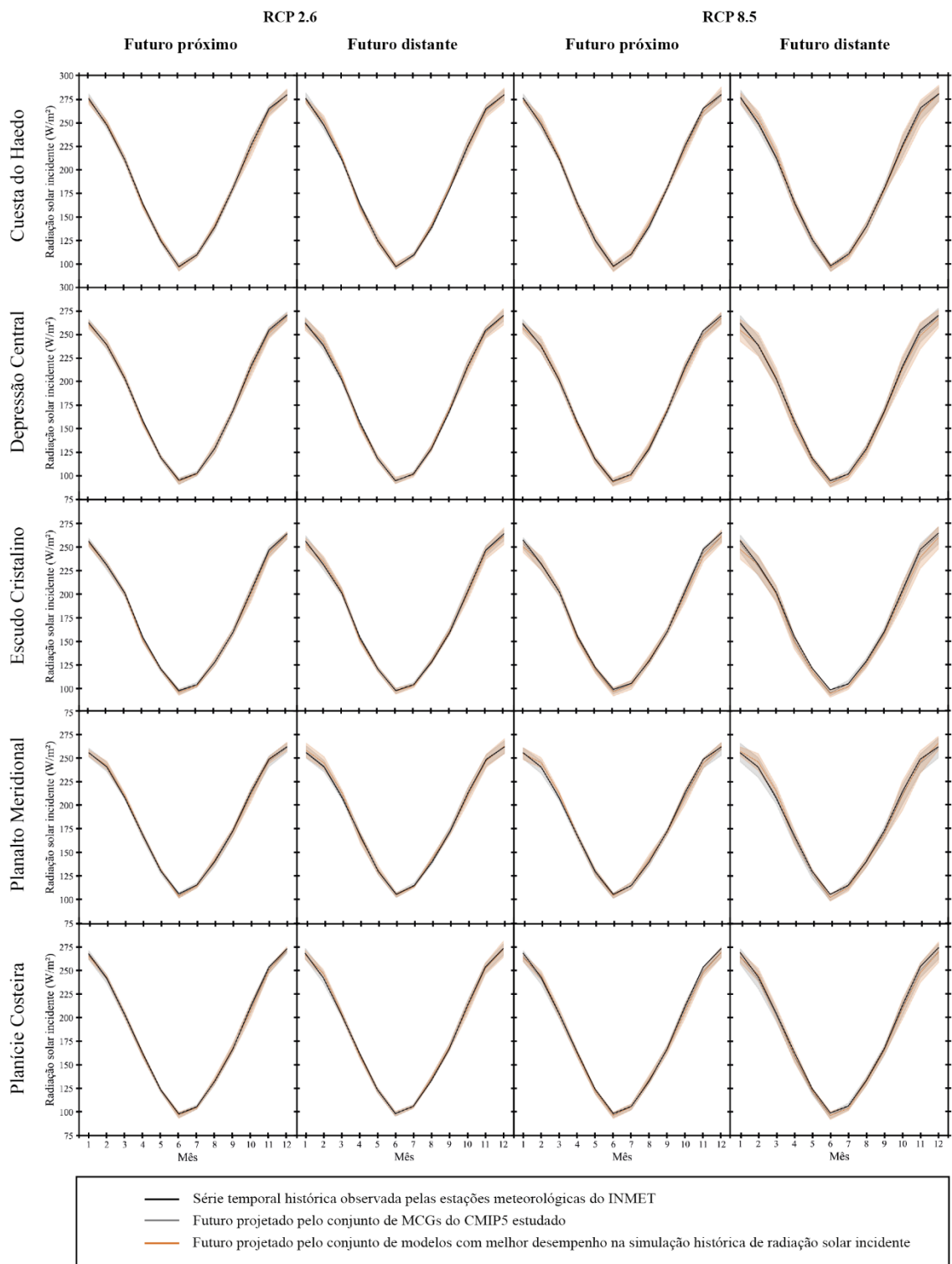


Figura 14. Projeções futuras de radiação solar incidente com remoção de viés para cada região geomorfológica e cada futuro/cenário considerado. A área sombreada representa o desvio padrão de cada conjunto analisado.

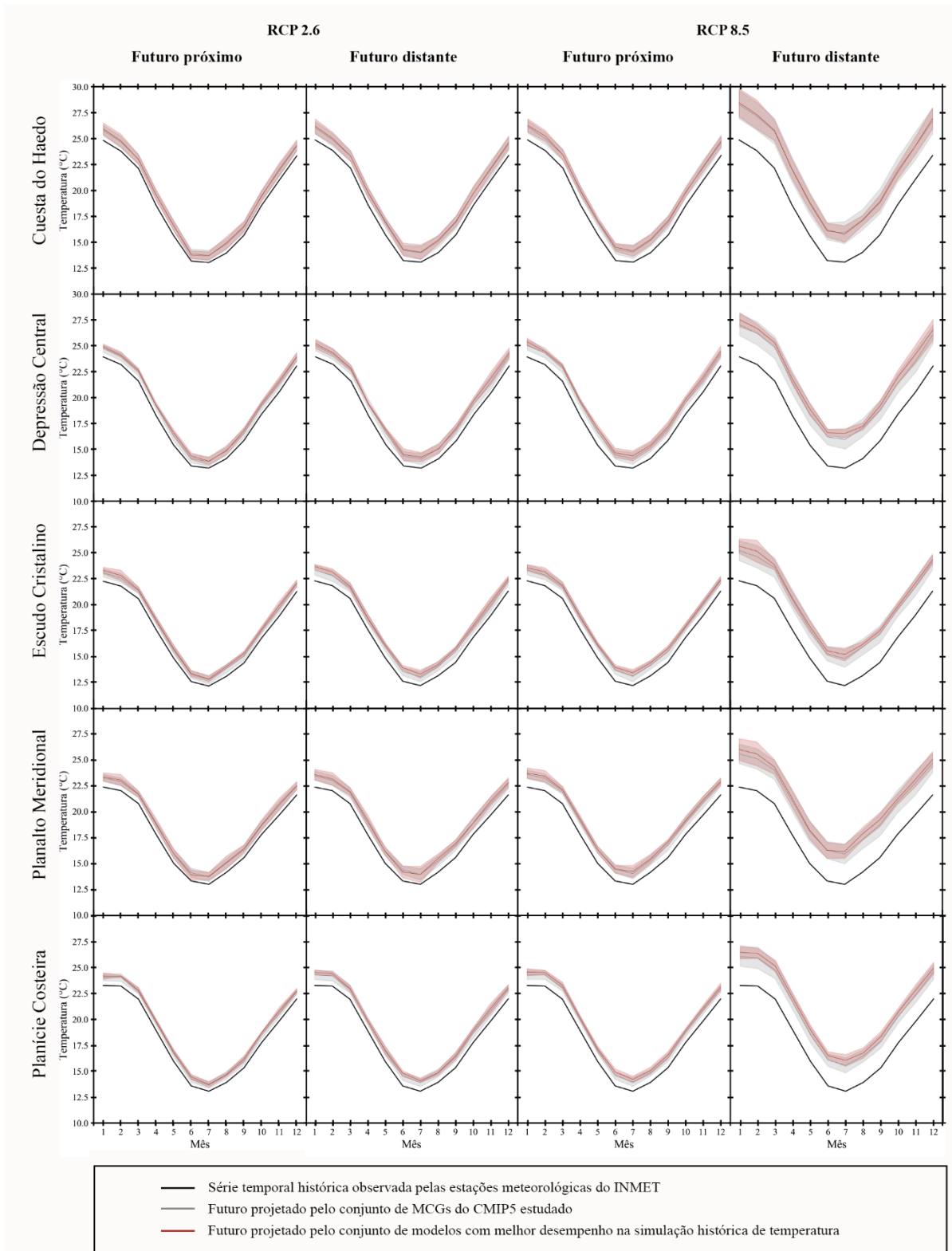


Figura 15. Projeções futuras de temperatura com remoção de vies para cada região geomorfológica e cada futuro/cenário considerado. A área sombreada representa o desvio padrão de cada conjunto analisado.

### 5.2.3 Projeções futuras de variáveis climáticas: uma visão geral

As Figuras 16, 17 e 18 apresentam a média das projeções futuras simuladas pelos conjuntos de modelos climáticos em cada região geomorfológica para precipitação, radiação solar incidente e temperatura, respectivamente. Do lado esquerdo, são apresentados os resultados do conjunto de todos os modelos do CMIP5 considerados nesse estudo e, ao lado direito, estão os resultados obtidos considerando apenas o conjunto de melhores modelos climáticos para cada região e variável, conforme apresentado no Quadro 9. Em cada gráfico, há cinco linhas de médias mensais: uma do histórico observado da região em questão, e uma de cada futuro (próximo, de 2011 a 2055, e distante, de 2056 a 2100) e cenário (RCP 2.6 e RCP 8.5) simulados pelos conjuntos de MCG analisados. Esses futuros projetados foram gerados a partir do *delta change*, que retira o viés do período futuro simulado pelos modelos climáticos.

Para precipitação (Figura 16), as projeções futuras simuladas pelo conjunto de melhores modelos apresentam o mesmo padrão que aquelas simuladas pelo conjunto geral de todos os modelos estudados, mas os picos do primeiro conjunto, tanto positivos quanto negativos, parecem mais distantes do observado. Já para radiação solar incidente (Figura 17), analisando-se o conjunto de todos os modelos analisados do CMIP5, não é possível diferenciar o histórico observado das médias mensais futuras simuladas pelos modelos climáticos, em ambos os futuros (próximo e distante) e cenários (RCP 2.6 e RCP8.5). Já no conjunto de melhores modelos, é possível ver as linhas um pouco mais distantes do observado em alguns meses, embora essa diferença seja bem tênue. Para temperatura (Figura 18), em todas as regiões, é possível perceber que o conjunto de modelos com melhor desempenho apresenta médias mensais relativamente maiores que o conjunto de todos os modelos estudados, mas com o mesmo padrão sazonal, conforme já supracitado. Os dados utilizados para gerar esses gráficos de precipitação, radiação solar incidente e temperatura podem ser vistos no APÊNDICE K, APÊNDICE L e APÊNDICE M, respectivamente.



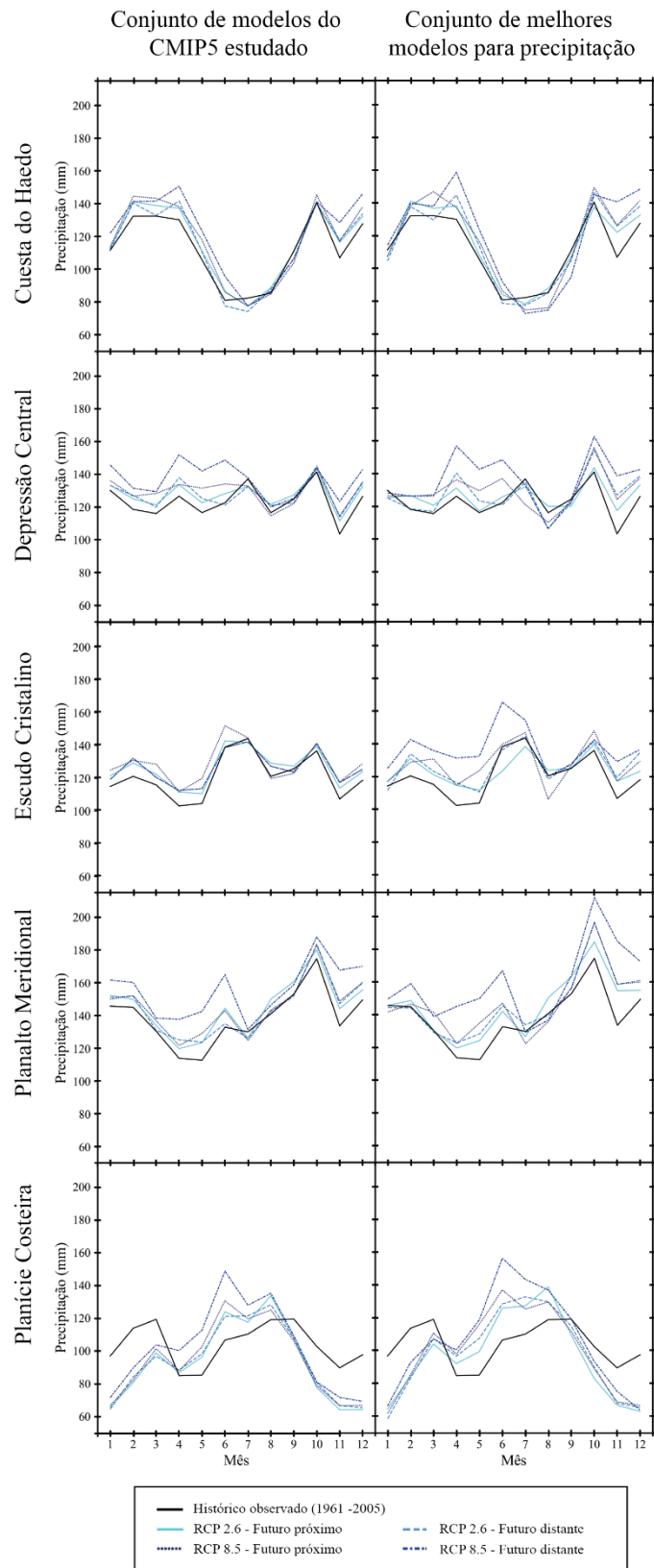


Figura 16. Projeções futuras de precipitação para cada região geomorfológica do RS e cada conjunto de modelos climáticos analisado. Em cada gráfico, existem médias mensais para ambos os cenários (RCP 2.6 e RCP 8.5) e ambos os futuros considerados (futuro próximo, de 2011 a 2055, e futuro distante, de 2056 a 2100).

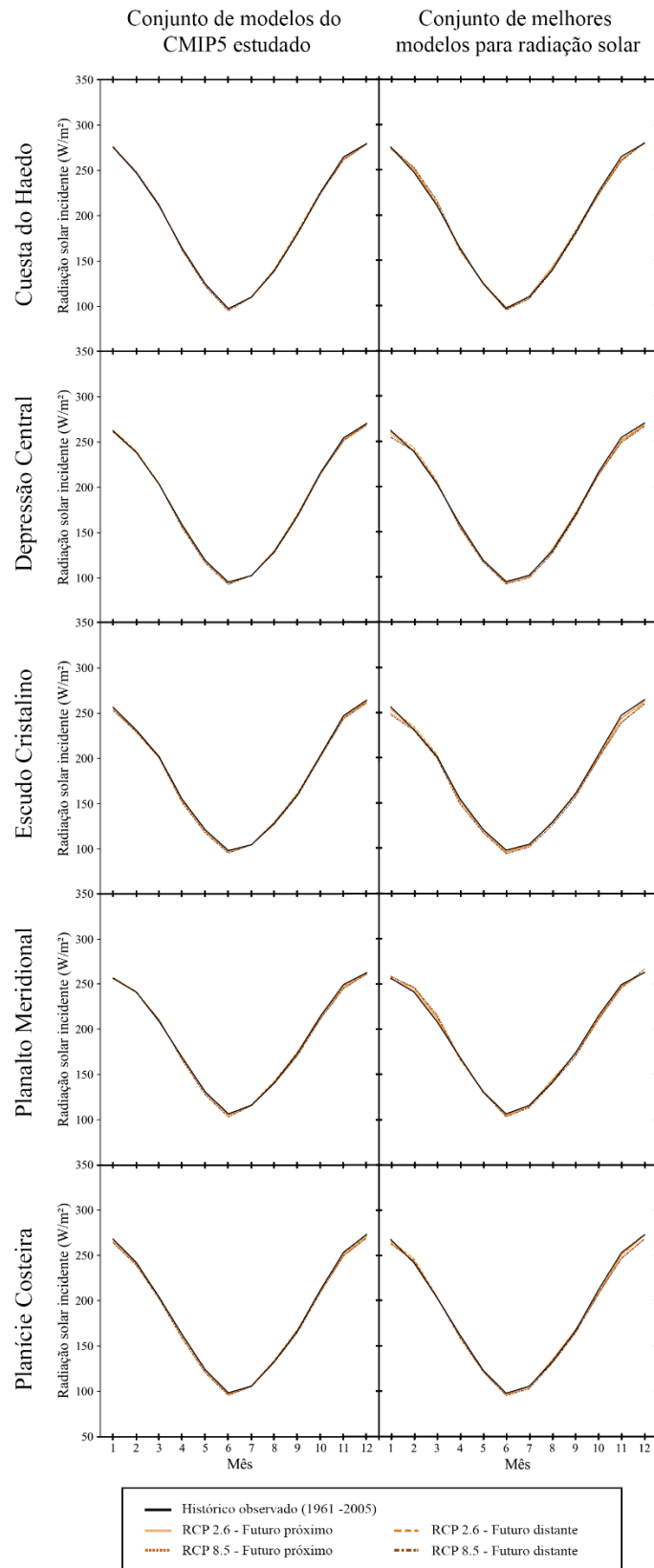


Figura 17. Projeções futuras de radiação solar incidente na superfície terrestre para cada região geomorfológica do RS e cada conjunto de modelos climáticos analisado. Em cada gráfico, existem médias mensais para ambos os cenários (RCP 2.6 e RCP 8.5) e ambos os futuros considerados (futuro próximo, de 2011 a 2055, e futuro distante, de 2056 a 2100).

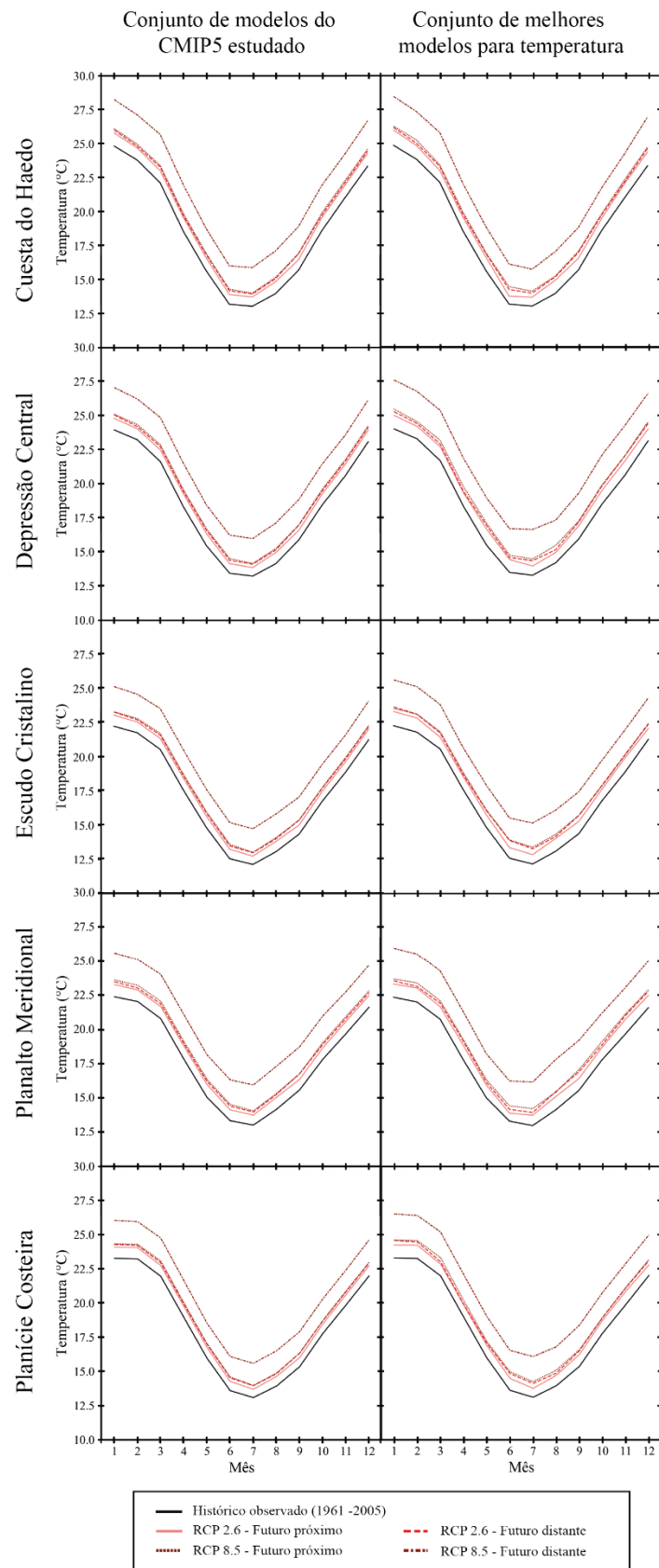


Figura 18. Projeções futuras de temperatura para cada região geomorfológica do RS e cada conjunto de modelos climáticos analisado. Em cada gráfico, existem médias mensais para ambos os cenários (RCP 2.6 e RCP 8.5) e ambos os futuros considerados (futuro próximo, de 2011 a 2055, e futuro distante, de 2056 a 2100).

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O intuito do presente estudo foi conciliar a validação dos Modelos Climáticos Globais para as regiões geomorfológicas do Rio Grande do Sul à aplicação do método de *delta change* para gerar as respectivas projeções futuras de cada região, considerando tanto o conjunto de todos os modelos climáticos analisados na validação, quanto o conjunto de modelos que obtiveram o melhor desempenho, para cada variável climática considerada (precipitação, radiação solar incidente e temperatura).

Mudanças climáticas são assunto cada vez mais presente em pautas políticas, acadêmicas, empresariais e econômicas, em todas as partes do globo. Por isso, torna-se importante utilizar simulações futuras do clima em diferentes cenários para projetar os possíveis impactos dessas mudanças climáticas nas mais diferentes esferas de decisões. A ideia de explorar as projeções não apenas um conjunto aleatório de modelos, como também um conjunto de modelos com melhor desempenho em representar o clima atual, é interessante para abordar diferentes caminhos para os quais o clima pode seguir. Além disso, fazer um ranqueamento geral de modelos considerando mais de uma variável climática se torna necessário para utilizar dados de entrada de um mesmo conjunto de MCG em um modelo hidráulico, hidrológico, biológico, entre outros.

Analisando a parte de validação dos modelos climáticos considerados no estudo, pode-se perceber que o desempenho de cada um varia conforme a medida de erro e a variável climática em questão. Sendo assim, os conjuntos de melhores modelos de cada região geomorfológica, tanto aqueles que consideram apenas uma variável climática quanto aqueles que consideraram todas as variáveis analisadas concomitantemente, são compostos por MCG diferentes. Para cada região, comparando-se o histórico simulado pelo conjunto de modelos com melhor desempenho às médias mensais históricas simuladas pelo conjunto de todos os MCG analisados, percebe-se que o primeiro se aproximou mais das médias observadas, o que

já era esperado, visto que esse conjunto é composto apenas por modelos selecionados, que melhor representaram o clima atual.

Analisando as projeções de alterações climáticas apresentadas nos gráficos de *delta change*, em todas as regiões e para todas as variáveis climáticas consideradas, foi possível perceber que a dispersão no conjunto de melhores modelos foi consideravelmente menor do que aquela obtida pelo conjunto geral de todos os modelos. Percebe-se que há um consenso entre modelos climáticos de que a temperatura irá aumentar aproximadamente 1 °C no futuro distante do cenário RCP 2.6, chegando a aproximadamente 3 °C no futuro distante do cenário RCP 8.5, para todas as regiões. Esses resultados já eram esperados, visto que todos os trabalhos revisados no presente estudo já apontavam para um aumento de temperatura na região Sul do Brasil (CAMPOS, 2011; CHAVES; COLLINS; MARQUES, 2008; MARENGO; CAMARGO, 2007). Para radiação solar incidente, não foi possível encontrar um padrão predominante de aumento ou diminuição, visto que as anomalias mensais projetadas variam muito entre os MCG para um mesmo mês do ano. Esse fato pode estar intimamente relacionado com o *feedback* de vapor d'água, o mais importante para aumentar a sensibilidade climática dos modelos, mas que ainda é uma fonte substancial de incertezas nas projeções, já que os modelos possuem diferentes respostas para a simulação de nuvens convectivas e precipitação tropical (SOUZA *et al.*, 2014; RANDALL *et al.*, 2007). Para precipitação, os modelos climáticos também discordam bastante, mas predomina um aumento nos meses de outono para todas as regiões geomorfológicas, de até 19,25% no futuro distante do cenário RCP 8.5. Outros trabalhos que analisaram a precipitação e escoamento nas bacias hidrográficas utilizando o modelo MGB-IPH concluíram que existe uma tendência de aumento das vazões no sul do Brasil (BREDA *et al.*, 2020; SCHUSTER; FAN; COLLISCHONN, 2020; ADAM *et al.*, 2014). O Primeiro Relatório de Avaliação Nacional desenvolvido pelo PBMC também sugere que haverá um aumento da precipitação tanto no Bioma Mata Atlântica (porção sul) quanto no Bioma Pampa (SOUZA *et al.*, 2014). A região da Planície Costeira, apesar de projetar aumento no outono, apresenta projeções marcantes de maior aumento no inverno, chegando a 14,46% no futuro distante do cenário RCP 8.5, e maior diminuição nos meses de verão, chegando a -26,46% no futuro distante do cenário RCP 2.6.

Observando os futuros projetados pelos conjuntos de modelos estudados (geral e melhor desempenho) para cada variável climática em cada futuro/cenário isoladamente, o desvio padrão divergiu mais na precipitação, possivelmente pelo fato de ser, dentre as variáveis climáticas estudadas, a mais complexa e difícil de ser simulada por um conjunto de modelos climáticos globais. Para radiação solar, o desvio padrão foi muito similar, o que pode ser

explicado pelo fato de os modelos climáticos divergirem bastante em relação às anomalias projetadas tanto no conjunto geral de modelos quanto no conjunto de melhor desempenho, conforme supracitado. Na visão geral, observando as projeções de todos os futuros e cenários em um mesmo gráfico, percebe-se que, para temperatura, o conjunto de melhores modelos apresentou valores um pouco maiores se comparado ao conjunto geral de modelos climáticos.

Não é possível afirmar efetivamente que o conjunto de modelos que melhor representou o clima atual representará de forma mais acurada o clima futuro, mas o presente trabalho contribui para as discussões acerca dessa temática. Dessa forma, os objetivos apresentados na seção de introdução da presente monografia foram concluídos com êxito. Todas as análises propostas foram realizadas, tanto da parte de validação dos modelos climáticos quanto das projeções futuras. Para trabalhos futuros, serão considerados cálculos estatísticos para verificar se o conjunto de todos os modelos é significativamente diferente do conjunto de melhor desempenho em cada região e para cada variável climática. Além disso, é considerada a possibilidade de aplicar os dados de ambos os conjuntos de modelos climáticos em algum modelo hidrológico como MGB-IPH, a fim de comparar se existe diferença nos resultados da simulação. Em relação à radiação solar incidente, destaca-se a importância de realizar estudos envolvendo a modelagem da nebulosidade, considerada uma das principais fontes de incerteza das projeções futuras dessa variável climática.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADAM, Katiúcia N. *et al.* Climate change and floods in Paraná River Basin. *In: 6th International Conference On Flood Management - ICFM6, 2014, São Paulo*. Proceedings of the 6th International Conference on Flood Management, 2014. v. 1. p. 1-10. Disponível em: <http://eventos.abrh.org.br/icfm6/proceedings/papers/PAP014788.pdf>
- ALBERTO, Cleber Maus *et al.* Água no solo e rendimento do trigo, soja e milho associados ao El Niño Oscilação Sul. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira*, [S. l.], v. 41, n. 7, p. 1067–1075, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/s0100-204x2006000700001>
- ALVARES, Clayton Alcarde *et al.* Köppen’s climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>
- AMBRIZZI, Tércio *et al.* Cenários regionalizados de clima no Brasil para o Século XXI: Projeções de clima usando três modelos regionais. **Ministério Do Meio Ambiente-MMA, Secretaria De Biodiversidade E Florestas–SBF, Diretoria De Conservação Da Biodiversidade**, 2007.
- ANAGNOSTOPOULOS, G. G. *et al.* A comparison of local and aggregated climate model outputs with observed data. *Hydrological Sciences Journal–Journal des Sciences Hydrologiques*, v. 55, n. 7, p. 1094-1110, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/02626667.2010.513518>
- ANDREAE, Meinrat O. *et al.* Smoking Rain Clouds over the Amazon. *Science*, [S. l.], v. 303, n. 5662, p. 1337–1342, 2004. Disponível em: <https://doi.org/10.1126/science.1092779>
- ANGONESE, Kauana Cramer *et al.* Estudo da influência do modo anular do hemisfério sul sobre anomalias de precipitação regionais no Rio Grande do Sul. [S. l.], n. November, 2018.
- ARAGÃO, Luiz E. O. C. *et al.* 21st Century drought-related fires counteract the decline of Amazon deforestation carbon emissions. *Nature communications*, v. 9, n. 1, p. 1-12, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41467-017-02771-y>
- ARORA, V. K.; BOER, G. J. Uncertainties in the 20th century carbon budget associated with land use change. *Global Change Biology*, [S. l.], v. 16, n. 12, p. 3327–3348, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2010.02202.x>

ARRAUT, Josefina Moraes *et al.* Aerial rivers and lakes: Looking at large-scale moisture transport and its relation to Amazonia and to subtropical rainfall in South America. **Journal of Climate**, [S. l.], v. 25, n. 2, p. 543–556, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1175/2011JCLI4189.1>

ASSAD, Eduardo Delgado *et al.* Impacto das mudanças climáticas no zoneamento agroclimático do café no Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, [S. l.], v. 39, n. 11, p. 1057–1064, 2004. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/s0100-204x2004001100001>

BADER, David C. *et al.* Climate Models: An Assessment of Strengths and Limitations - Synthesis and Assessment Product 3.1. **Geological and Atmospheric Sciences Reports**, New York (MENDELEY)/Washington (PDF), n. 7, 2008.

BAKER, Noel C.; TAYLOR, Patrick C. A framework for evaluating climate model performance metrics. **Journal of Climate**, [S. l.], v. 29, n. 5, p. 1773–1782, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-15-0114.1>

BARCELLOS, Christovam *et al.* Mudanças climáticas e ambientais e as doenças infecciosas: cenários e incertezas para o Brasil. **Epidemiologia e Serviços de Saúde**, [S. l.], v. 18, n. 3, p. 285–304, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.5123/s1679-49742009000300011>

BAUER, S. E. *et al.* MATRIX (Multiconfiguration Aerosol TRacker of mIXing state): An aerosol microphysical module for global atmospheric models. **Atmospheric Chemistry and Physics**, [S. l.], v. 8, n. 20, p. 6003–6035, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.5194/acp-8-6003-2008>

BDMEP - Banco de Dados Meteorológicos do INMET. Dados Históricos. Disponível em: <<https://bdmep.inmet.gov.br/>>. Acesso em 12 de maio de 2019.

BELLASSEN, Valentin *et al.* Modelling forest management within a global vegetation model-Part 1: Model structure and general behaviour. **Ecological Modelling**, [S. l.], v. 221, n. 20, p. 2458–2474, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2010.07.008>

BELLASSEN, V. *et al.* Modelling forest management within a global vegetation model-Part 2: Model validation from a tree to a continental scale. **Ecological Modelling**, [S. l.], v. 222, n. 1, p. 57–75, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2010.08.038>

BERGENGREN, Jon C. *et al.* Modeling global climate-vegetation interactions in a doubled CO<sub>2</sub> world. **Climatic Change**, [S. l.], v. 50, n. 1–2, p. 31–75, 2001. Disponível em: <https://doi.org/10.1023/A:1010609620103>

BERGENGREN, Jon C.; WALISER, Duane E.; YUNG, Yuk L. Ecological sensitivity: A biospheric view of climate change. **Climatic Change**, [S. l.], v. 107, n. 3, p. 433–457, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10584-011-0065-1>

BONAN, Gordon; BONAN, Gordon. CHAPTER 25 · Terrestrial Ecosystems and Earth System Models. *In: Ecological Climatology: Concepts and Applications*. Cambridge University Press, 2015. p. 453–482. Disponível em: <https://doi.org/10.1017/cbo9781107339200.026>

BONILLA-OVALLOS, Carlos Andrés; MESA SÁNCHEZ, Oscar José. Validación de la precipitación estimada por modelos climáticos acoplados del proyecto de intercomparación CMIP5 en Colombia. **Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales**, [S. l.], v. 41, n. 158, p. 107–118, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.18257/raccefyn.427>



- BORRELLI, Pasquale *et al.* Land use and climate change impacts on global soil erosion by water (2015-2070). **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 117, n. 36, p. 21994-22001, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1073/pnas.2001403117>
- BORK, Carina Krüger *et al.* Projeções de temperatura e precipitação na Bacia do Rio Taquari-Antas, RS. **Revista Brasileira de Engenharia e Sustentabilidade**, v. 2, n. 2, p. 25-37, 2016.
- BRANKOVIC, C.; PALMER, T. N.; FERRANTI, L. Predictability of seasonal atmospheric variations. **Journal of Climate**, [S. l.], v. 7, n. 2, p. 217-237, 1994. Disponível em: [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(1994\)007<0217:POSAV>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(1994)007<0217:POSAV>2.0.CO;2)
- BRAVO, Juan Martín *et al.* Impact of projected climate change on hydrologic regime of the Upper Paraguay River basin. **Climatic Change**, [S. l.], v. 127, n. 1, p. 27-41, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10584-013-0816-2>
- BRÊDA, João Paulo Lyra Fialho *et al.* Climate change impacts on South American water balance from a continental-scale hydrological model driven by CMIP5 projections. **Climatic Change**, [S. l.], v. 159, n. 4, p. 503-522, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10584-020-02667-9>
- BREIDENICH, Clare *et al.* The Kyoto protocol to the United Nations framework convention on climate change. **The American Journal of International Law**, v. 92, n. 2, p. 315-331, 1998.
- CAMPOS, Claudia Guimarães Camargo. Padrões climáticos atuais e futuros de temperatura do ar na região sul do Brasil e seus impactos nos cultivos de pêssego e de nectarina em Santa Catarina. **Tese de Doutorado (Curso de Pós-graduação em Meteorologia)**. INPE, São José dos Campos, 191 p., 2011.
- CHAVES, Rosane Rodrigues; COLLINS, Jennifer; MARQUES, Valdo da Silva. Summertime temperature variability in South America between 1948-2007. **CLIVAR Exchanges**, [S. l.], v. 13, p. 19-20, 2008.
- CHEN, Jie *et al.* Overall uncertainty study of the hydrological impacts of climate change for a Canadian watershed. **Water Resources Research**, [S. l.], v. 47, n. 12, p. 1-16, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1029/2011WR010602>
- CHEN, Jie; BRISSETTE, François P.; LECONTE, Robert. Uncertainty of downscaling method in quantifying the impact of climate change on hydrology. **Journal of Hydrology**, [S. l.], v. 401, n. 3-4, p. 190-202, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2011.02.020>
- CHRISTIAN, J. R. *et al.* The global carbon cycle in the Canadian Earth system model (CanESM1): Preindustrial control simulation. **Journal of Geophysical Research: Biogeosciences**, [S. l.], v. 115, n. 3, p. 1-20, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1029/2008JG000920>
- CLAUSSEN, M. *et al.* Earth system models of intermediate complexity: Closing the gap in the spectrum of climate system models. **Climate Dynamics**, [S. l.], v. 18, n. 7, p. 579-586, 2002. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00382-001-0200-1>
- CORLETT, Richard T. *et al.* Impacts of the coronavirus pandemic on biodiversity conservation. **Biological Conservation**, v. 246, p. 8-11, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2020.108571>

CRAMER, Wolfgang *et al.* Global response of terrestrial ecosystem structure and function to CO<sub>2</sub> and climate change: results from six dynamic global vegetation models. **Global change biology**, [S. l.], v. 7, n. 4, p. 357-373, 2001. Disponível em: <https://doi.org/10.1046/j.1365-2486.2001.00383.x>

DAI, C. *et al.* A multimodel assessment of drought characteristics and risks over the Huang-Huai-Hai River basin, China, under climate change. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 141, p. 601-613, 2020.

DELWORTH, Thomas L. *et al.* Simulated climate and climate change in the GFDL CM2.5 high-resolution coupled climate model. **Journal of Climate**, [S. l.], v. 25, n. 8, p. 2755–2781, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-11-00316.1>

DKRZ, *Deutsches Klimarechenzentrum*. IPCC AR5 Data on Storage Media. Disponível em: < [https://www.dkrz.de/daten-en/wdcc/projects\\_cooperations/ipcc-data/order-ipcc-data-on-dvd/ipcc-ar5-data-on-dvd](https://www.dkrz.de/daten-en/wdcc/projects_cooperations/ipcc-data/order-ipcc-data-on-dvd/ipcc-ar5-data-on-dvd) > Acesso em 03 de fevereiro de 2020.

DOBSON, Andrew P. *et al.* Ecology and economics for pandemic prevention. **Science**, v. 369, n. 6502, p. 379-381, 2020.

EMANUEL, Kerry. Increasing destructiveness of tropical cyclones over the past 30 years. **Nature**, [S. l.], v. 436, n. 7051, p. 686–688, 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/nature03906>

EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY. **Air pollution goes down as Europe takes hard measures to combat coronavirus**, March 25th, 2020, modified April 7th, 2020. Disponível em: <https://www.eea.europa.eu/highlights/airpollution-goes-down-as>

EYRING, Veronika *et al.* Overview of the Coupled Model Intercomparison Project Phase 6 (CMIP6) experimental design and organization. **Geoscientific Model Development**, [S. l.], v. 9, n. 5, p. 1937–1958, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.5194/gmd-9-1937-2016>

FISCHER, Erich M. *et al.* Contribution of land-atmosphere coupling to recent European summer heat waves. **Geophysical Research Letters**, [S. l.], v. 34, n. 6, p. 1–6, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1029/2006GL029068>

FLATO, Gregory M. *et al.* Evaluation of climate models. In: **Climate Change 2013: the Physical Science Basis. Working Group I Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Cambridge University Press, 2014. p. 741–866. Disponível em: <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.020>

FLATO, Gregory M. Earth system models: An overview. **Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change**, [S. l.], v. 2, n. 6, p. 783–800, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/wcc.148>

GARRETT, Karen A. *et al.* Plant pathogens as indicators of climate change. In: **Climate change**. Elsevier, 2021. p. 499-513. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821575-3.00024-4>

GETTELMAN, A.; ROOD, R. B. **Demystifying Climate Models: A Users Guide to Earth System Models**. Springer Nature, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/978-3-662-48959-8>

GLOBAL MONITORING LABORATORY - NOAA. Trends in Atmospheric Carbon Dioxide. Última atualização: 5 de agosto de 2020. Disponível em: < <https://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/> > Acesso em 11 de agosto de 2020.

GÓMEZ, G.; PADRÓN, J.; MEULENERT, A. Influencia del evento meteorológico El Niño-Oscilación Sur sobre epifitotias del tizón tardío de la papa y el moho azul del tabaco en Cuba. **Fitosanidad**, [S. l.], v. 3, n. 3, p. 21-26, 1999.

GRUBB, Michael *et al.* **The Earth Summit Agreements: A Guide and Assessment: An Analysis of the Rio'92 UN Conference on Environment and Development**. Routledge, 2019.

GUASSELLI, Laurindo Antônio *et al.* Macrozoneamento do estado do Rio Grande do Sul. **Pesquisas em Geociências**. Porto Alegre, RS. Vol. 33, n. 1 (2006), p. 3-11, 2006.

HASHIMOTO, Koji. Global temperature and atmospheric carbon dioxide concentration. In: **Global Carbon Dioxide Recycling**. Springer, Singapore, 2019. p. 5-17. Disponível em: [https://doi.org/10.1007/978-981-13-8584-1\\_3](https://doi.org/10.1007/978-981-13-8584-1_3)

HAUSFATHER, Zeke. CMIP6: the next generation of climate models explained. **Climate Modelling**. Última atualização: 02 de dezembro de 2019. Disponível em: <<https://www.carbonbrief.org/cmip6-the-next-generation-of-climate-models-explained>>. Acesso em 09 de maio de 2021.

HAUSFATHER, Zeke *et al.* Evaluating the Performance of Past Climate Model Projections. **Geophysical Research Letters**, [S. l.], v. 47, n. 1, p. 1–10, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1029/2019GL085378>

HAY, Lauren E.; WILBY, Robert L.; LEAVESLEY, George H. A comparison of delta change and downscaled GCM scenarios for three mountainous basins in the United States. **Journal of the American Water Resources Association**, [S. l.], v. 36, n. 2, p. 387–397, 2000. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1752-1688.2000.tb04276.x>

HELM, Dieter. The Environmental Impacts of the Coronavirus. **Environmental & Resource Economics**, [S. l.], v. 76, n. 1, p. 21–38, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10640-020-00426-z>

HIRABAYASHI, Yukiko *et al.* Global exposure to flooding from the new CMIP6 climate model projections. **Scientific reports**, v. 11, n. 1, p. 1-7, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41598-021-83279-w>

HITZ, Samuel; SMITH, Joel. Estimating global impacts from climate change. **Global Environmental Change**, [S. l.], v. 14, n. 3, p. 201–218, 2004. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2004.04.010>

HOMSI, Rajab *et al.* Precipitation projection using a CMIP5 GCM ensemble model: a regional investigation of Syria. **Engineering Applications of Computational Fluid Mechanics**, v. 14, n. 1, p. 90-106, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/19942060.2019.1683076>

HURRELL, James *et al.* A unified modeling approach to climate system prediction. **Bulletin of the American Meteorological Society**, [S. l.], v. 90, n. 12, p. 1819–1832, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1175/2009BAMS2752.1>

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manual técnico de geomorfologia**. Rio de Janeiro, 2009.

INMET, Instituto Nacional de Meteorologia. Normais Climatológicas do Brasil. Disponível em: <<https://portal.inmet.gov.br/normais>>. Acesso em 08 de dezembro de 2020.

INPE, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Banco de Dados de Queimadas. Programa Queimadas. Disponível em: <<http://queimadas.dgi.inpe.br/queimadas/bdqueimadas/>>. Acesso em 04 de agosto de 2020.

IPCC. IPCC Second Assessment Climate Change 1995. A Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. 1995.

IPCC. Climate Change 2001: The Scientific Basis. **Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Cambridge University Press, v. 881. 2001.

IPCC. 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, 2007.

IPCC. Understanding climate change: 22 years of IPCC assessment. 2010. Disponível em: <[https://seors.unfccc.int/applications/seors/attachments/get\\_attachment?code=NJ0H2EGS7WUTDXF7BTG0N2JEDO2LC2I4](https://seors.unfccc.int/applications/seors/attachments/get_attachment?code=NJ0H2EGS7WUTDXF7BTG0N2JEDO2LC2I4)>. Acesso em 26 de junho de 2020.

IPCC. Summary for Policymakers. *In: **Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change***. Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, NY, USA, pp. 1-19. 2012.

IPCC. Fifth Assessment Report: Climate Change 2013. Cambridge University Press, 2013.

IPCC. Climate Change 2014: Synthesis Report. **Contributions of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. IPCC, Geneva, Switzerland, v. 151. 2014.

IPCC. Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty. 2018.

IPCC. Climate Change and Land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems. 2019 a.

IPCC, 2019b: Summary for Policymakers. In: IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate. 2019 b.

IPEA. O que é IPCC?. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. **Revista Desafios do Desenvolvimento**. Ano 4, Edição 34, 2007. Acesso em: [https://www.ipea.gov.br/desafios/index.php?option=com\\_content&view=article&id=2134:catid=28&Itemid=23](https://www.ipea.gov.br/desafios/index.php?option=com_content&view=article&id=2134:catid=28&Itemid=23)

JUNGCLAUS, J. H. *et al.* Climate and carbon-cycle variability over the last millennium. **Climate of the Past**, [S. l.], v. 6, n. 5, p. 723–737, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.5194/cp-6-723-2010>

JUNIOR, José Celso Griebler *et al.* Composição isotópica da precipitação do Rio Grande do Sul: Investigar a origem da umidade em eventos normais e extremos de precipitação. **Os Desafios da Geografia Física na Fronteira do Conhecimento**, [S. l.], v.1, p. 2660-2665, 2017.

KHVOROSTYANOV, Dimitry V. *et al.* Vulnerability of permafrost carbon to global warming. Part I: Model description and role of heat generated by organic matter decomposition. **Tellus, Series B: Chemical and Physical Meteorology**, [S. l.], v. 60 B, n. 2, p. 250–264, 2008 a. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1600-0889.2007.00333.x>

KHVOROSTYANOV, Dimitry V. *et al.* Vulnerability of permafrost carbon to global warming. Part II: Sensitivity of permafrost carbon stock to global warming. **Tellus, Series B: Chemical and Physical Meteorology**, [S. l.], v. 60 B, n. 2, p. 265–275, 2008 b. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1600-0889.2007.00336.x>

KNUTTI, Reto *et al.* Constraining climate sensitivity from the seasonal cycle in surface temperature. **Journal of Climate**, [S. l.], v. 19, n. 17, p. 4224–4233, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1175/JCLI3865.1>

KOGO, Benjamin Kipkemboi; KUMAR, Lalit; KOECH, Richard. Climate change and variability in Kenya: a review of impacts on agriculture and food security. **Environment, Development and Sustainability**, p. 1-21, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10668-020-00589-1>

KOUTSOYIANNIS, Demetris *et al.* On the credibility of climate predictions. **Hydrological Sciences Journal**, v. 53, n. 4, p. 671-684, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1623/hysj.53.4.671>

KOUTSOYIANNIS, Demetris *et al.* Scientific dialogue on climate: is it giving black eyes or opening closed eyes? Reply to “A black eye for the Hydrological Sciences Journal” by D. Huard. **Hydrological Sciences Journal**, v. 56, n. 7, p. 1334-1339, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/02626667.2011.610759>

KOUTSOYIANNIS, Demetris. Revisiting the global hydrological cycle: is it intensifying?. **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 24, n. 8, p. 3899-3932, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.5194/hess-24-3899-2020>

LAYBOURN-LANGTON, Laurie. This is a crisis: Facing up to the age of environmental breakdown. Institute for Public Policy Research (IPPR), 2019.

LE QUÉRÉ, Corinne *et al.* Trends in the sources and sinks of carbon dioxide. **Nature Geoscience**, [S. l.], v. 2, n. 12, p. 831–836, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/ngeo689>

LEANDER, Robert *et al.* Estimated changes in flood quantiles of the river Meuse from resampling of regional climate model output. **Journal of Hydrology**, [S. l.], v. 351, n. 3–4, p. 331–343, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2007.12.020>

LEANDER, Robert; BUIHAND, T. Adri. Resampling of regional climate model output for the simulation of extreme river flows. **Journal of Hydrology**, [S. l.], v. 332, n. 3–4, p. 487–496, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2006.08.006>

LENDERINK, Geert; BUIHAND, Adri; VAN DEURSEN, Willem. Estimates of future discharges of the river Rhine using two scenario methodologies: direct versus delta approach. **Hydrology and Earth System Sciences**, [S. l.], v. 11, n. 3, p. 1145–1159, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.5194/hess-11-1145-2007>

LENZEN, Manfred *et al.* Global socio-economic losses and environmental gains from the Coronavirus pandemic. **PloS one**, [S. l.], v. 15, n. 7, p. 1-13, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0235654>

- LI, Ke *et al.* Anthropogenic drivers of 2013–2017 trends in summer surface ozone in China. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, [S. l.], v. 116, n. 2, p. 422–427, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1073/pnas.1812168116>
- LIMA, José W. M.; COLLISCHONN, Walter; MARENGO, José A. **Efeito das Mudanças Climáticas na Geração de Energia Elétrica**. Hunter Books Editora, São Paulo : AES Tietê, 2014.
- LIU, Xiaohong *et al.* Toward a minimal representation of aerosols in climate models: Description and evaluation in the Community Atmosphere Model CAM5. **Geoscientific Model Development**, [S. l.], v. 5, n. 3, p. 709–739, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.5194/gmd-5-709-2012>
- LOVEJOY, Thomas E.; NOBRE, Carlos. Amazon tipping point. 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1126/sciadv.aat2340>
- LUTZ, Arthur F. *et al.* Selecting representative climate models for climate change impact studies: an advanced envelope-based selection approach. **International Journal of Climatology**, v. 36, n. 12, p. 3988–4005, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/joc.4608>
- MACHADO, L. N. Estimativa dos impactos gerados pelas mudanças no Estado de Santa Catarina. **TCC (Graduação em Agronomia)**. Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Agrárias, Florianópolis, 2009.
- MARENGO, José A. *et al.* Climatology of the low-level jet east of the Andes as derived from the NCEP-NCAR reanalyses: Characteristics and temporal variability. **Journal of Climate**, [S. l.], v. 17, n. 12, p. 2261–2280, 2004. Disponível em: [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(2004\)017<2261:COTLJE>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(2004)017<2261:COTLJE>2.0.CO;2)
- MARENGO, José A. *et al.* Caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do século XXI. **MMA-Mudanças climáticas globais e efeitos sobre a biodiversidade–MMA-Brasília**, 2007.
- MARENGO, José A.; CAMARGO, Claudia C. Surface air temperature trends in Southern Brazil for 1960–2002. **International Journal of Climatology**, [S. l.], v. 28, n. 7, p. 893–904, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/joc>
- MARENGO, Jose A.; VALVERDE, Maria C. Caracterização do clima no Século XX e Cenário de Mudanças de clima para o Brasil no Século XXI usando os modelos do IPCC-AR4. **Revista Multiciência**, [S. l.], n. 8, p. 5–28, 2007.
- MARENGO, José A. O futuro clima do Brasil. **Revista USP**, [S. l.], n. 103, p. 25, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.11606/issn.2316-9036.v0i103p25-32>
- MARENGO, José A. *et al.* Changes in climate and land use over the Amazon region: current and future variability and trends. **Frontiers in Earth Science**, v. 6, p. 228, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/feart.2018.00228>
- MASSON-DELMOTTE, Valerie. The IPCC; Le GIEC. França, 2014.
- MEEHL, Gerald A. *et al.* The WCRP CMIP3 multi-model dataset: a new era in climate change research Bulletin of the American Meteorological Society. **Bulletin of the American Meteorological Society**, [S. l.], v. 88, n. 9, p. 1383–1394, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1175/BAMS-88-9-1383>

MEINSHAUSEN, Malte *et al.* The RCP greenhouse gas concentrations and their extensions from 1765 to 2300. **Climatic Change**, [S. l.], v. 109, n. 1, p. 213–241, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10584-011-0156-z>

MESA, Oscar José. ¿ ADÓNDE VA A CAER ESTE GLOBO? Acerca del futuro de la Tierra. **Avances en recursos hidráulicos**, n. 14, 2006.

MIAO, Chiyuan *et al.* Assessment of CMIP5 climate models and projected temperature changes over Northern Eurasia. **Environmental Research Letters**, [S. l.], v. 9, n. 5, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1088/1748-9326/9/5/055007>

MONTZKA, S. A. *et al.* Scientific Assessment of Ozone Depletion: 2010, Global Ozone Research and Monitoring Project. **WMO, Geneva, Switzerland**, v. 516, 2011.

MORAES, Flávia Dias de Souza; AQUINO, Francisco Eliseu. Desastres no Rio Grande do Sul Associados a Complexos Convectivos de Mesoescala: Estudo de caso do evento que ocorreu entre 22 e 23 de abril de 2011. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, [S. l.], v. 7, p. 111-134, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.19177/rgsa.v7e02018111-134>

MORAES, Flávia Dias de Souza. Ambiente atmosférico favorável ao desenvolvimento de Complexos Convectivos de Mesoescala no Sul do Brasil. **Dissertação de Mestrado (Curso de Pós-graduação em Geografia)**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Geociências, Porto Alegre, 2016.

MORAES, Flávia Dias de Souza *et al.* Atmospheric characteristics favorable for the development of mesoscale convective complexes in southern Brazil. **Climate Research**, v. 80, n. 1, p. 43-58, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3354/cr01595>

MOSS, Richard H. *et al.* The next generation of scenarios for climate change research and assessment. **Nature**, [S. l.], v. 463, n. 7282, p. 747–756, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/nature08823>

MÜLLER FILHO, I. L. Notas para o estudo da geomorfologia do Rio Grande do Sul, Brasil. **Publicação especial**, v. 1, 1970.

NAITZEL, Letícia *et al.* Projeções de Mudanças Climáticas baseadas em *ensemble* de Modelos Climáticos Globais na Região da Lagoa Mangueira. **Anais do XXIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**. ABRH, 2019.

NASA; NOAA. 2018 fourth warmest year in continued warming trend, according to NASA, NOAA. **Global Climate Change - News**, February 6, 2019. Disponível em: <https://climate.nasa.gov/news/2841/2018-fourth-warmest-year-in-continued-warming-trend-according-to-nasa-noaa/> Acesso em 25 de julho de 2020.

NASA's SVS (Scientific Visualization Studio). Reductions in Pollution Associated with Decreased Fossil Fuel Use Resulting from COVID-19 Mitigation. June 24, 2020. Disponível em: <https://svs.gsfc.nasa.gov/4810>. Acesso em 25 de julho de 2020.

NATIONAL ACADEMIES OF SCIENCES, ENGINEERING, AND MEDICINE. **Attribution of Extreme Weather Events in the Context of Climate Change**. National Academies Press, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.17226/21852>

NEALE, Richard B.; RICHTER, Jadwiga H.; JOCHUM, Markus. The impact of convection on ENSO: From a delayed oscillator to a series of events. **Journal of Climate**, [S. l.], v. 21, n. 22, p. 5904–5924, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1175/2008JCLI2244.1>

NEELIN, J. David *et al.* Considerations for parameter optimization and sensitivity in climate models. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, [S. l.], v. 107, n. 50, p. 21349–21354, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1073/pnas.1015473107>

NEWELL, Reginald E. *et al.* Tropospheric rivers? – A pilot study. **Geophysical Research Letters**, v. 19, n. 24, p. 2401-2404, 1992.

NOAA Office of Ocean Exploration and Research. Despite pandemic shutdowns, carbon dioxide and methane surged in 2020. Última atualização: 07 de abril de 2021. Disponível em: < <https://research.noaa.gov/article/ArtMID/587/ArticleID/2742/Despite-pandemic-shutdowns-carbon-dioxide-and-methane-surged-in-2020> >. Acesso em 08 de abril de 2021.

NOBRE, Anthonio Donato. O Futuro Climático da Amazônia. **Relatório de Avaliação Científica**. São José dos Campos, São Paulo, 2014.

NOBRE, Carlos A.; SAMPAIO, Gilvan; SALAZAR, Luis. Mudanças climáticas e Amazônia. **Ciência e Cultura**, [online], v. 59, n. 3, p. 22-27, 2007. ISSN 2317-6660.

NOBRE, Carlos A.; SELLERS, Piers J.; SHUKLA, Jagadish. Amazonian Deforestation and Regional Climate Change. **Journal of climate**, [S. l.], v. 4, n. 10, p. 957-988, 1991. Disponível em: [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(1991\)004<0957:adarcc>2.0.co;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(1991)004<0957:adarcc>2.0.co;2)

NORDHAUS, William D.; MOFFAT, Andrew. **A survey of global impacts of climate change: replication, survey methods, and a statistical analysis**. National Bureau of Economic Research, 2017.

OLESON, Keith W. *et al.* An urban parameterization for a global climate model. Part 1: Formulation and evaluation for two cities. **Journal of Applied Meteorology and Climatology**, [S. l.], v. 47, n. 4, p. 1038–1060, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1175/2007JAMC1597.1>

OLIVEIRA, Guilherme Garcia de; PEDROLLO, Olavo Correa; CASTRO, Nilza Maria Dos Reis. As incertezas associadas às condições climáticas obtidas pelo modelo eta CPTec/HADCM3: Avaliação comparativa entre os dados simulados e observados de precipitação, evapotranspiração e vazão na bacia hidrográfica do rio Ijuí, Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, [S. l.], v. 30, n. 1, p. 101–121, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0102-778620140041>

OSTLE, Nicholas J. *et al.* Integrating plant-soil interactions into global carbon cycle models. **Journal of Ecology**, [S. l.], v. 97, n. 5, p. 851–863, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2745.2009.01547.x>

OVERLAND, James *et al.* The Polar Vortex and Extreme Weather: The Beast from the East in Winter 2018. **Atmosphere**, v. 11, n. 6, p. 664, 2020.

PANDOLFO, Cristina *et al.* Impacto das mudanças climáticas nas horas de frio, graus-dias e amplitude térmica do ar para a videira (*Vitis vinifera* L.) Var. Cabernet sauvignon, no Estado de Santa Catarina. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 16, n. 3, p. 267-274, 2008.

PBMC - Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas. Base científica das mudanças climáticas. **Contribuição do grupo de trabalho**, v. 1, 2014. Disponível em: [http://www.pbmc.coppe.ufrj.br/index.php/pt/publicacoes/relatorios-pbmc/item/base-cientifica-das-mudancas-climaticas-volume-1-completo?category\\_id=18](http://www.pbmc.coppe.ufrj.br/index.php/pt/publicacoes/relatorios-pbmc/item/base-cientifica-das-mudancas-climaticas-volume-1-completo?category_id=18)



PETOUKHOV, Vladimir *et al.* EMIC Intercomparison Project (EMIP-CO2): Comparative analysis of EMIC simulations of climate, and of equilibrium and transient responses to atmospheric CO<sub>2</sub> doubling. **Climate Dynamics**, [S. l.], v. 25, n. 4, p. 363–385, 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00382-005-0042-3>

POTTER, Stefano *et al.* Climate change decreases the cooling effect from postfire albedo in boreal North America. **Global change biology**, v. 26, n. 3, p. 1592-1607, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/gcb.14888>

PRENTICE, I. Colin *et al.* CHAPTER 15 · Dynamic Global Vegetation Modeling: Quantifying Terrestrial Ecosystem Responses to Large-Scale Environmental Change. *In: Terrestrial ecosystems in a changing world*. Springer, Berlin, Heidelberg, 2007. p. 175-192.

PRIZIBISCZKI, Cristiane. Pesquisadores descrevem fenômeno que escureceu SP e sua relação com as queimadas na Amazônia. **O Eco**, 22 de agosto de 2019. Disponível em: <<https://www.oeco.org.br/noticias/pesquisadores-descrevem-fenomeno-que-escureceu-sp-e-sua-relacao-com-as-queimadas-na-amazonia/>>. Acesso em: 04 de agosto de 2020.

RAJU, Komaragiri Srinivasa; KUMAR, Dasika Nagesh. Review of approaches for selection and ensembling of GCMs. **Journal of Water and Climate Change**, v. 11, n. 3, p. 577-599, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.2166/wcc.2020.128>

RANDALL, David A. *et al.* Climate Models and Their Evaluation. *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*. Cambridge University Press, 2007. p. 589-662.

REYER, Christopher P. O. *et al.* Climate change impacts in Latin America and the Caribbean and their implications for development. **Regional Environmental Change**, [S. l.], v. 17, n. 6, p. 1601–1621, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10113-015-0854-6>

RICHTER, G. M.; SEMENOV, M. A. Modelling impacts of climate change on wheat yields in England and Wales: Assessing drought risks. **Agricultural Systems**, [S. l.], v. 84, n. 1, p. 77–97, 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2004.06.011>

ROUGIER, Jonathan *et al.* Analyzing the climate sensitivity of the HadSM3 climate model using ensembles from different but related experiments. **Journal of Climate**, [S. l.], v. 22, n. 13, p. 3540–3557, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1175/2008JCLI2533.1>

ROWELL, David P. *et al.* Can climate projection uncertainty be constrained over Africa using metrics of contemporary performance? **Climatic Change**, [S. l.], v. 134, n. 4, p. 621–633, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10584-015-1554-4>

RUMMUKAINEN, Markku. State-of-the-art with regional climate models. **Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change**, v. 1, n. 1, p. 82-96, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/wcc.8>

SAMPAIO, Gilvan; DIAS, Pedro Leite da Silva. Evolução dos Modelos Climáticos e de Previsão de Tempo e Clima. **Revista USP**, [S. l.], n. 103, p. 41, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.11606/issn.2316-9036.v0i103p41-54>

SCHERM, H.; YANG, X. B. Interannual variations in wheat rust development in China and the United States in relation to the El Niño/Southern Oscillation. **Phytopathology**, [S. l.], v. 85, n. 9, p. 970-976, 1995. Disponível em: <https://doi.org/10.1094/Phyto-85-970>

SCHMIDLI, Jürg; FREI, Christoph; VIDALE, Pier Luigi. Downscaling from GCM precipitation: A benchmark for dynamical and statistical downscaling methods. **International Journal of Climatology**, [S. l.], v. 26, n. 5, p. 679–689, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/joc.1287>

SCHOSSLER, Venisse *et al.* Precipitation anomalies in the Brazilian southern coast related to the SAM and ENSO climate variability modes. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, [S. l.], v. 23, 2018 a. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/2318-0331.231820170081>

SCHOSSLER, Venisse *et al.* Anomalias da Circulação Atmosférica Antártica na primavera de 2016 como indutoras de uma ciclogênese explosiva no Rio Grande do Sul. **Revista de Geografia-PPGEO-UFJF**, v. 8, n. 2, p. 54-64, 2018., 2018 b.

SCHURGERS, G. *et al.* Long-term effects of biogeophysical and biogeochemical interactions between terrestrial biosphere and climate under anthropogenic climate change. **Global and Planetary Change**, [S. l.], v. 64, n. 1–2, p. 26–37, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2008.01.009>

SCHUSTER, Raíza Cristóvão; FAN, Fernando Mainardi; COLLISCHONN, Walter. Scenarios of climate change effects in water availability within the Patos Lagoon's Basin. **RBRH**, v. 25, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/2318-0331.252020190061>

SCIANNI, Luciana Alvim. Avaliação Preliminar do Efeito das Mudanças Climáticas na Geração de Energia Elétrica. **Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal de Itajubá**, Itajubá, 2014.

SENEVIRATNE, Sonia I. *et al.* Land-atmosphere coupling and climate change in Europe. **Nature**, [S. l.], v. 443, n. 7108, p. 205–209, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/nature05095>

SENNIKOV, J.; BETHERS, U. Statistical downscaling method of regional climate model results for hydrological modelling. *In: 18th World IMACS Congress and MODSIM 2009 - International Congress on Modelling and Simulation: Interfacing Modelling and Simulation with Mathematical and Computational Sciences, Proceedings*, Austrália, p. 3962–3968, 2009.

SHUKLA, Jagadish *et al.* Climate model fidelity and projections of climate change. **Geophysical Research Letters**, [S. l.], v. 33, n. 7, p. 3–6, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1029/2005GL025579>

SHUTTLEWORTH, W. James. **Terrestrial hydrometeorology**. John Wiley & Sons, 2012.

SITCH, Stephan *et al.* Evaluation of the terrestrial carbon cycle, future plant geography and climate-carbon cycle feedbacks using five Dynamic Global Vegetation Models (DGVMs). **Global Change Biology**, [S. l.], v. 14, n. 9, p. 2015–2039, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2008.01626.x>

SMITH, P. C. *et al.* European-wide simulations of croplands using an improved terrestrial biosphere model: 2. Interannual yields and anomalous CO<sub>2</sub> fluxes in 2003. **Journal of Geophysical Research: Biogeosciences**, [S. l.], v. 115, n. G4, p. 1–14, 2010 a. Disponível em: <https://doi.org/10.1029/2009JG001041>

SMITH, P. C. *et al.* European-wide simulations of croplands using an improved terrestrial biosphere model: Phenology and productivity. **Journal of Geophysical Research: Biogeosciences**, [S. l.], v. 115, n. G1, p. 1–14, 2010 b. Disponível em: <https://doi.org/10.1029/2008jg000800>

SORRIBAS, Mino Viana *et al.* Projections of climate change effects on discharge and inundation in the Amazon basin. **Climatic Change**, [S. l.], v. 136, n. 3–4, p. 555–570, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10584-016-1640-2>

SOUZA, Everaldo Barreiro de *et al.* Mudanças ambientais de curto e longo prazo: projeções, reversibilidade e atribuição. **Base científica das mudanças climáticas. Contribuição do Grupo de Trabalho 1 do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas ao Primeiro Relatório da Avaliação Nacional sobre Mudanças Climáticas**, pgs. 320-346, 2014. Disponível em: [http://www.pbmc.coppe.ufrj.br/documentos\\_publicos/GT1/GT1\\_volume\\_completo\\_cap9.pdf](http://www.pbmc.coppe.ufrj.br/documentos_publicos/GT1/GT1_volume_completo_cap9.pdf)

SPARC. **SPARC Report on the Evaluation of Chemistry-Climate Models**, edited by: Eyring, V., Shepherd, TG, and Waugh, DW. SPARC report, 2010.

SPRACKLEN, D. V.; ARNOLD, S. R.; TAYLOR, C. M. Observations of increased tropical rainfall preceded by air passage over forests. **Nature**, [S. l.], v. 489, n. 7415, p. 282–285, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/nature11390>

STOCKER, Thomas F. *et al.* Climate change 2013: the physical science basis. **Working Group I Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**, [S. l.], v. 1535. 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324>

STRECK, Nereu Augusto *et al.* Simulação do desenvolvimento da batata cultivar asterix em cinco cenários de mudanças climáticas em Santa Maria, RS. **Bragantia**, [S. l.], v. 65, n. 4, p. 693–702, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/s0006-87052006000400021>

STRECK, Nereu Augusto; ALBERTO, Cleber Maus. Simulação do impacto da mudança climática sobre a água disponível do solo em agroecossistemas de trigo, soja e milho em Santa Maria, RS. **Ciência Rural**, [S. l.], v. 36, n. 2, p. 424–433, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/s0103-84782006000200011>

SU, Fengge *et al.* Evaluation of the global climate models in the CMIP5 over the Tibetan Plateau. **Journal of Climate**, [S. l.], v. 26, n. 10, p. 3187–3208, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-12-00321.1>

TANAJURA, Clemente Augusto Souza; GENZ, Fernando; ARAÚJO, Heráclio Alves de. Mudanças Climáticas e Recursos Hídricos na Bahia: validação da modelagem do clima presente do HadRM3P e comparação com os cenários A2 e B2 para 2070-2100. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 25, n. 3, p. 345-358, 2010.

TAYLOR, Karl E.; STOUFFER, Ronald J.; MEEHL, Gerald A. An overview of CMIP5 and the experiment design. **Bulletin of the American Meteorological Society**, [S. l.], v. 93, n. 4, p. 485–498, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-11-00094.1>

TEUTSCHBEIN, Claudia; SEIBERT, Jan. Bias correction of regional climate model simulations for hydrological climate-change impact studies: Review and evaluation of different methods. **Journal of Hydrology**, [S. l.], v. 456–457, p. 12–29, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2012.05.052>

- TJIPUTRA, J. F. *et al.* Bergen earth system model (BCM-C): Model description and regional climate-carbon cycle feedbacks assessment. **Geoscientific Model Development**, [S. l.], v. 3, n. 1, p. 123–141, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.5194/gmd-3-123-2010>
- TJIPUTRA, J. F. *et al.* Evaluation of the carbon cycle components in the Norwegian Earth System Model (NorESM). **Geoscientific Model Development**, [S. l.], v. 6, n. 2, p. 301–325, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.5194/gmd-6-301-2013>
- TOKARSKA, Katarzyna B. *et al.* Past warming trend constrains future warming in CMIP6 models. **Science Advances**, v. 6, n. 12, p. eaaz9549, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1126/sciadv.aaz9549>
- TREBICKI, Piotr. Climate change and plant virus epidemiology. **Virus research**, p. 198059, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.virusres.2020.198059>
- TUBELIS, Antônio; NASCIMENTO, Fernando J. L. do. Meteorologia Descritiva-Fundamentos e Aplicações Brasileiras. São Paulo, Ed. **Livraria Nobel**, pp198-213, 1980.
- UNEP, United Nations Environment Programme; WMO, World Meteorological Organization. United Nations General Assembly Resolution 43/53 of 6 December 1988. In: **Resolutions adopted on the reports of the Second Committee**. Forty-third session, 1988. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2019/02/UNGA43-53.pdf>
- VALENTE, Pedro Teixeira; AQUINO, Francisco Eliseu. Registros Históricos E Reanálises Nas Anomalias De Precipitação Do Rio Grande Do Sul De 1901 a 1960. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, [S. l.], v. 7, p. 447, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.19177/rgsa.v7e02018447-462>
- VAN ROOSMALEN, Lieke *et al.* An intercomparison of regional climate model data for hydrological impact studies in Denmark. **Journal of Hydrology**, v. 380, n. 3-4, p. 406-419, 2010.
- VAN VUUREN, Detlef P. *et al.* The representative concentration pathways: An overview. **Climatic Change**, [S. l.], v. 109, n. 1-2, p. 5, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10584-011-0148-z>
- VELASCO, Ines; FRITSCH, J. Michael. Mesoscale convective complexes in the Americas. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, [S. l.], v. 92, n. D8, p. 9591–9613, 1987. Disponível em: <https://doi.org/10.1029/JD092iD08p09591>
- VIANA, Denilson Ribeiro; AQUINO, Francisco Eliseu; MATZENAUER, Ronaldo. Comportamento espaçotemporal da precipitação no Rio Grande do Sul entre 1945-1974 e 1975-2004. In: **Congresso Brasileiro De Agrometeorologia**. 2006.
- VOLODIN, E. M. Methane cycle in the INM RAS climate model. **Izvestiya - Atmospheric and Ocean Physics**, [S. l.], v. 44, n. 2, p. 153–159, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1134/S0001433808020023>
- WANDERLEY, Raianny L. N. *et al.* Relationship between land surface temperature and fraction of anthropized area in the Atlantic forest region, Brazil. **PLoS ONE**, [S. l.], v. 14, n. 12, p. 1–19, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0225443>
- WANG, Yichen *et al.* Changes in air quality related to the control of coronavirus in China: Implications for traffic and industrial emissions. **The Science of the total environment**, [S. l.], v. 731, n. December 2019, p. 139133, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139133>

WATTS, Jonathan; KOMMENDA, Niko. Coronavirus pandemic leading to huge drop in air pollution. **The Guardian**, [S. l.], v. 23, p. 2–5, 2020. Disponível em: <https://www.theguardian.com/environment/2020/mar/23/coronavirus-pandemic-leading-to-huge-drop-in-air-pollution>

WHO, World Health Organization. **A healthier humanity: the WHO investment case for 2019-2023**. World Health Organization, 2018.

WIGLEY, T.M.L. (2008). MAGICC/SCENGEN 5.3: User Manual (version 2). **National Center for Atmospheric Research**. Colorado, USA. 81 pp.

WORLAND, Justin. 2020 Is Our Last, Best Chance to Save the Planet. **TIME**, July 9th, 2020. Disponível em: <<https://time.com/5864692/climate-change-defining-moment/>>. Acesso em 21 de julho de 2020.

ZHANG, X. C.; LIU, W. Z. Simulating potential response of hydrology, soil erosion, and crop productivity to climate change in Changwu tableland region on the Loess Plateau of China. **Agricultural and Forest Meteorology**, [S. l.], v. 131, n. 3–4, p. 127–142, 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2005.05.005>

ZHU, Na *et al.* A novel coronavirus from patients with pneumonia in China, 2019. **New England Journal of Medicine**, [S. l.], v. 382, n. 8, p. 727–733, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1056/NEJMoa2001017>

**APÊNDICES**

**APÊNDICE A: Ranqueamento de modelos climáticos através das medidas de erro RMSE, BIAS e  $r^2$  considerando médias mensais de precipitação para cada região geomorfológica do RS**

**A.1 Ranqueamento de precipitação para Cuesta do Haedo**

Modelo	RMSE	R	Modelo	BIAS	R	Modelo	$r^2$	R	Ranqueamento de precipitação	
MIROC-ESM	24,5388	1	MIROC-ESM	-5,4655	1	MIROC5	0,6487	1	bcc-csm1.1m	2
MIROC-ESM-CHEM	26,4286	1	MPI-ESM-LR	-5,5205	1	FGOALS-g2	0,6115	1	BNU-ESM	2
bcc-csm1.1m	31,8758	1	MIROC-ESM-CHEM	-7,3272	1	bcc-csm1.1m	0,6069	1	CanESM2	2
BNU-ESM	35,4311	1	CESM1-WACCM	8,1953	1	IPSL-CM5A-MR	0,5665	1	MIROC5	2
MPI-ESM-LR	37,2876	1	MRI-CGCM3	-8,2439	1	IPSL-CM5A-LR	0,5201	1	MIROC-ESM	1
MIROC5	37,3584	1	BNU-ESM	-11,0172	1	CanESM2	0,4781	1	MIROC-ESM-CHEM	1
CanESM2	39,9701	1	MPI-ESM-MR	-11,6489	1	CESM1-CAM5	0,4774	1	MPI-ESM-LR	1
NorESM1-M	41,8707	0	bcc-csm1.1m	-19,0764	0	MRI-CGCM3	0,4763	0	CESM1-WACCM	1
MPI-ESM-MR	48,4134	0	GISS-E2-R	-24,088	0	CSIRO-Mk3-6-0	0,4762	0	IPSL-CM5A-LR	1
CESM1-WACCM	48,5589	0	MIROC5	-34,1505	0	MPI-ESM-MR	0,4361	0	IPSL-CM5A-MR	1
IPSL-CM5A-MR	48,8983	0	CanESM2	-35,7355	0	FIO-ESM	0,4345	0	MPI-ESM-MR	1
IPSL-CM5A-LR	49,6307	0	NorESM1-M	-37,1489	0	NorESM1-M	0,4151	0	MRI-CGCM3	1
MRI-CGCM3	50,5030	0	IPSL-CM5A-LR	-41,5689	0	bcc-csm1.1	0,3764	0	CSIRO-Mk3-6-0	0
CSIRO-Mk3-6-0	50,8941	0	IPSL-CM5A-MR	-41,908	0	BNU-ESM	0,3667	0	NorESM1-M	0
GISS-E2-R	56,2510	0	CSIRO-Mk3-6-0	-45,8997	0	CESM1-WACCM	0,3623	0	GISS-E2-R	-1
CESM1-CAM5	58,1641	-1	CESM1-CAM5	-52,733	-1	GISS-E2-H	0,3511	-1	CESM1-CAM5	-1
FIO-ESM	60,5237	-1	FIO-ESM	-55,228	-1	CNRM-CM5	0,3274	-1	FGOALS-g2	-1
bcc-csm1.1	60,7556	-1	bcc-csm1.1	-56,363	-1	NorESM1-ME	0,3257	-1	bcc-csm1.1	-2
CNRM-CM5	65,9320	-1	NorESM1-ME	-62,0172	-1	GISS-E2-R	0,3120	-1	FIO-ESM	-2
NorESM1-ME	65,9528	-1	CNRM-CM5	-62,4805	-1	MPI-ESM-LR	0,1442	-1	CNRM-CM5	-3
FGOALS-g2	66,0636	-1	FGOALS-g2	-63,0264	-1	MIROC-ESM	0,0957	-1	GISS-E2-H	-3
GISS-E2-H	71,0330	-1	GISS-E2-H	-63,7972	-1	MIROC-ESM-CHEM	0,0047	-1	NorESM1-ME	-3

## A.2 Ranqueamento de precipitação para Depressão Central

Modelo	RMSE	R	Modelo	BIAS	R	Modelo	r <sup>2</sup>	R	Ranqueamento de precipitação	
MIROC-ESM	18,4500	1	MIROC-ESM	-3,9206	1	MIROC-ESM-CHEM	0,13961	1	MIROC-ESM	3
MIROC-ESM-CHEM	20,0583	1	MIROC-ESM-CHEM	-8,1115	1	MIROC-ESM	0,09233	1	MIROC-ESM-CHEM	3
CanESM2	32,8125	1	MPI-ESM-LR	-12,389	1	CESM1-WACCM	0,05873	1	bcc-csm1.1m	2
bcc-csm1.1m	38,6761	1	bcc-csm1.1m	-15,4065	1	GISS-E2-R	0,03702	1	CESM1-WACCM	2
NorESM1-M	42,0176	1	CESM1-WACCM	20,2819	1	MIROC5	0,03617	1	MIROC5	2
MIROC5	42,3366	1	CanESM2	-22,739	1	MPI-ESM-MR	0,01911	1	CanESM2	1
BNU-ESM	43,1256	1	MRI-CGCM3	-25,6115	1	GISS-E2-H	0,01814	1	BNU-ESM	1
MPI-ESM-LR	45,3181	0	BNU-ESM	-26,894	0	CESM1-CAM5	0,01803	0	MPI-ESM-LR	1
CSIRO-Mk3-6-0	50,1893	0	MPI-ESM-MR	-28,2898	0	MPI-ESM-LR	0,01421	0	MPI-ESM-MR	1
MPI-ESM-MR	54,0711	0	NorESM1-M	-31,1198	0	bcc-csm1.1	0,01410	0	MRI-CGCM3	1
bcc-csm1.1	54,9319	0	GISS-E2-H	-32,2015	0	IPSL-CM5A-LR	0,01299	0	bcc-csm1.1	0
MRI-CGCM3	56,5494	0	MIROC5	-33,589	0	IPSL-CM5A-MR	0,01169	0	GISS-E2-H	0
CESM1-WACCM	56,8215	0	CSIRO-Mk3-6-0	-38,3331	0	MRI-CGCM3	0,01102	0	GISS-E2-R	0
IPSL-CM5A-MR	57,9137	0	GISS-E2-R	-40,0831	0	bcc-csm1.1m	0,01006	0	NorESM1-M	0
IPSL-CM5A-LR	59,9375	0	bcc-csm1.1	-44,6873	0	BNU-ESM	0,00768	0	CSIRO-Mk3-6-0	-1
CNRM-CM5	60,2347	-1	IPSL-CM5A-MR	-46,9306	-1	NorESM1-M	0,00589	-1	IPSL-CM5A-LR	-1
FIO-ESM	62,9387	-1	IPSL-CM5A-LR	-47,8298	-1	CSIRO-Mk3-6-0	0,00297	-1	IPSL-CM5A-MR	-1
NorESM1-ME	63,5675	-1	CNRM-CM5	-50,814	-1	CNRM-CM5	0,00106	-1	CESM1-CAM5	-2
GISS-E2-R	64,3364	-1	NorESM1-ME	-54,754	-1	FGOALS-g2	0,00045	-1	CNRM-CM5	-3
FGOALS-g2	66,3041	-1	FIO-ESM	-55,8923	-1	CanESM2	0,00038	-1	FGOALS-g2	-3
GISS-E2-H	66,5568	-1	FGOALS-g2	-57,5081	-1	FIO-ESM	0,00036	-1	FIO-ESM	-3
CESM1-CAM5	78,2394	-1	CESM1-CAM5	-71,784	-1	NorESM1-ME	0,00028	-1	NorESM1-ME	-3



### A.3 Ranqueamento de precipitação para Escudo Cristalino

Modelo	RMSE	R	Modelo	BIAS	R	Modelo	r <sup>2</sup>	R	Ranqueamento de precipitação	
MIROC-ESM-CHEM	34,6151	1	bcc-csm1.1m	-11,0691	1	GISS-E2-R	0,3630	1	CanESM2	3
CanESM2	34,7618	1	CESM1-WACCM	13,4767	1	CESM1-WACCM	0,3259	1	CESM1-WACCM	2
MIROC-ESM	35,6909	1	MPI-ESM-LR	-18,9291	1	CanESM2	0,3208	1	bcc-csm1.1m	1
bcc-csm1.1m	36,4694	1	BNU-ESM	-23,8983	1	CSIRO-Mk3-6-0	0,3140	1	BNU-ESM	1
BNU-ESM	37,3291	1	MRI-CGCM3	-24,2283	1	IPSL-CM5A-MR	0,3133	1	MIROC-ESM-CHEM	1
MPI-ESM-LR	40,5193	1	CanESM2	-24,6099	1	CESM1-CAM5	0,2407	1	MPI-ESM-LR	1
NorESM1-M	44,8946	1	MIROC-ESM-CHEM	-24,7349	1	bcc-csm1.1	0,2207	1	bcc-csm1.1	1
MIROC5	49,0277	0	MIROC-ESM	-25,0074	0	IPSL-CM5A-LR	0,2086	0	CSIRO-Mk3-6-0	1
MPI-ESM-MR	51,1041	0	MPI-ESM-MR	-26,1566	0	GISS-E2-H	0,2059	0	GISS-E2-R	1
MRI-CGCM3	52,7251	0	NorESM1-M	-35,6474	0	MPI-ESM-MR	0,1958	0	IPSL-CM5A-MR	1
CSIRO-Mk3-6-0	53,1455	0	CSIRO-Mk3-6-0	-40,2458	0	MIROC5	0,1834	0	MRI-CGCM3	1
CESM1-WACCM	53,6085	0	MIROC5	-40,7683	0	MRI-CGCM3	0,1757	0	MIROC5	0
bcc-csm1.1	59,8331	0	GISS-E2-R	-47,6891	0	FGOALS-g2	0,1333	0	MIROC-ESM	0
GISS-E2-R	61,1366	0	bcc-csm1.1	-51,6316	0	NorESM1-ME	0,1196	0	MPI-ESM-MR	0
IPSL-CM5A-MR	61,7467	0	IPSL-CM5A-MR	-52,3583	0	FIO-ESM	0,1041	0	NorESM1-M	0
CNRM-CM5	62,1157	-1	FIO-ESM	-53,6233	-1	NorESM1-M	0,0974	-1	CESM1-CAM5	-1
FIO-ESM	63,2092	-1	CNRM-CM5	-54,0199	-1	BNU-ESM	0,0820	-1	FGOALS-g2	-2
IPSL-CM5A-LR	63,9323	-1	IPSL-CM5A-LR	-54,4541	-1	CNRM-CM5	0,0816	-1	FIO-ESM	-2
NorESM1-ME	65,2246	-1	FGOALS-g2	-55,2391	-1	bcc-csm1.1m	0,0806	-1	GISS-E2-H	-2
FGOALS-g2	67,2262	-1	NorESM1-ME	-56,5899	-1	MIROC-ESM-CHEM	0,0249	-1	IPSL-CM5A-LR	-2
GISS-E2-H	72,9535	-1	CESM1-CAM5	-64,5483	-1	MPI-ESM-LR	0,0064	-1	NorESM1-ME	-2
CESM1-CAM5	73,2265	-1	GISS-E2-H	-68,4408	-1	MIROC-ESM	0,0048	-1	CNRM-CM5	-3

#### A.4 Ranqueamento de precipitação para Planalto Meridional

Modelo	RMSE	R	Modelo	BIAS	R	Modelo	r <sup>2</sup>	R	Ranqueamento de precipitação	
MIROC-ESM-CHEM	28,0548	1	CanESM2	-7,555	1	MIROC-ESM-CHEM	0,6593	1	bcc-csm1.1m	3
MIROC-ESM	29,9403	1	MPI-ESM-LR	-18,1117	1	MIROC-ESM	0,6529	1	MIROC-ESM	3
CanESM2	33,2269	1	CESM1-WACCM	20,0091	1	MPI-ESM-LR	0,6021	1	MIROC-ESM-CHEM	3
MIROC5	42,2016	1	MIROC-ESM	-21,745	1	MIROC5	0,4544	1	MPI-ESM-LR	3
bcc-csm1.1m	44,0543	1	MIROC-ESM-CHEM	-23,26	1	bcc-csm1.1m	0,3896	1	BNU-ESM	2
MPI-ESM-LR	44,6814	1	bcc-csm1.1m	-27,46	1	FIO-ESM	0,3730	1	CanESM2	2
BNU-ESM	47,3337	1	MRI-CGCM3	-28,92	1	BNU-ESM	0,3061	1	MIROC5	2
NorESM1-M	49,5415	0	MIROC5	-30,3667	0	NorESM1-M	0,2900	0	FIO-ESM	1
FIO-ESM	53,0937	0	MPI-ESM-MR	-30,9609	0	FGOALS-g2	0,2712	0	MRI-CGCM3	1
CESM1-WACCM	54,0330	0	BNU-ESM	-32,6159	0	NorESM1-ME	0,2620	0	CESM1-WACCM	0
bcc-csm1.1	55,6123	0	GISS-E2-H	-34,9284	0	IPSL-CM5A-LR	0,1673	0	MPI-ESM-MR	0
CSIRO-Mk3-6-0	57,0347	0	NorESM1-M	-37,7667	0	CanESM2	0,1630	0	NorESM1-M	0
MPI-ESM-MR	62,8665	0	GISS-E2-R	-38,4375	0	CSIRO-Mk3-6-0	0,1526	0	bcc-csm1.1	-1
MRI-CGCM3	62,8978	0	FIO-ESM	-41,8325	0	MRI-CGCM3	0,1469	0	CSIRO-Mk3-6-0	-1
CNRM-CM5	63,2884	0	bcc-csm1.1	-45,1617	0	MPI-ESM-MR	0,1342	0	CNRM-CM5	-2
IPSL-CM5A-MR	63,7468	-1	CSIRO-Mk3-6-0	-48,9125	-1	IPSL-CM5A-MR	0,1206	-1	FGOALS-g2	-2
FGOALS-g2	63,7586	-1	FGOALS-g2	-52,9492	-1	CNRM-CM5	0,1159	-1	GISS-E2-H	-2
IPSL-CM5A-LR	65,0774	-1	IPSL-CM5A-MR	-53,78	-1	bcc-csm1.1	0,0933	-1	GISS-E2-R	-2
NorESM1-ME	67,9355	-1	CNRM-CM5	-53,9659	-1	CESM1-WACCM	0,0700	-1	IPSL-CM5A-LR	-2
CESM1-CAM5	71,9581	-1	IPSL-CM5A-LR	-54,8259	-1	GISS-E2-H	0,0399	-1	NorESM1-ME	-2
GISS-E2-H	79,2989	-1	CESM1-CAM5	-56,5925	-1	CESM1-CAM5	0,0174	-1	CESM1-CAM5	-3
GISS-E2-R	84,4491	-1	NorESM1-ME	-60,6667	-1	GISS-E2-R	0,0116	-1	IPSL-CM5A-MR	-3

### A.5 Ranqueamento de precipitação para Planície Costeira

Modelo	RMSE	R	Modelo	BIAS	R	Modelo	r <sup>2</sup>	R	Ranqueamento de precipitação	
CanESM2	20,1366	1	CanESM2	-5,5982	1	GISS-E2-R	0,60198	1	CanESM2	3
BNU-ESM	22,4426	1	MPI-ESM-MR	-7,5649	1	GISS-E2-H	0,45602	1	BNU-ESM	2
bcc-csm1.1m	26,0330	1	BNU-ESM	-7,6566	1	CESM1-WACCM	0,31721	1	MIROC-ESM-CHEM	2
NorESM1-M	29,5516	1	MRI-CGCM3	-8,1549	1	CanESM2	0,18630	1	NorESM1-M	2
MIROC-ESM-CHEM	30,5296	1	bcc-csm1.1m	10,3618	1	CSIRO-Mk3-6-0	0,16380	1	bcc-csm1.1m	1
MIROC5	32,3042	1	MPI-ESM-LR	-17,5182	1	CESM1-CAM5	0,15722	1	CSIRO-Mk3-6-0	1
MIROC-ESM	34,3334	1	NorESM1-M	-19,6907	1	MIROC-ESM-CHEM	0,12358	1	MIROC5	1
MPI-ESM-MR	36,3241	0	MIROC5	-20,8507	0	bcc-csm1.1	0,06662	0	MIROC-ESM	1
MPI-ESM-LR	36,5819	0	CSIRO-Mk3-6-0	-22,8991	0	IPSL-CM5A-MR	0,06283	0	bcc-csm1.1	0
MRI-CGCM3	38,4509	0	MIROC-ESM-CHEM	-23,9591	0	IPSL-CM5A-LR	0,05247	0	CESM1-WACCM	0
CSIRO-Mk3-6-0	40,0940	0	MIROC-ESM	-27,6591	0	MIROC-ESM	0,04566	0	IPSL-CM5A-MR	0
FIO-ESM	42,4552	0	CESM1-WACCM	30,8234	0	MIROC5	0,03405	0	MPI-ESM-LR	0
bcc-csm1.1	44,2223	0	FIO-ESM	-33,5699	0	BNU-ESM	0,01873	0	MPI-ESM-MR	0
IPSL-CM5A-MR	45,7588	0	bcc-csm1.1	-34,2849	0	NorESM1-M	0,01862	0	MRI-CGCM3	0
CNRM-CM5	46,2847	0	IPSL-CM5A-MR	-35,0116	0	NorESM1-ME	0,01638	0	FIO-ESM	-1
FGOALS-g2	46,6675	-1	CNRM-CM5	-36,6732	-1	MPI-ESM-MR	0,01617	-1	CESM1-CAM5	-1
IPSL-CM5A-LR	48,3188	-1	IPSL-CM5A-LR	-37,1074	-1	MRI-CGCM3	0,01116	-1	GISS-E2-H	-1
NorESM1-ME	49,3540	-1	FGOALS-g2	-37,3682	-1	FGOALS-g2	0,00970	-1	GISS-E2-R	-1
CESM1-CAM5	51,9653	-1	NorESM1-ME	-39,2432	-1	CNRM-CM5	0,00578	-1	CNRM-CM5	-2
GISS-E2-R	53,5192	-1	CESM1-CAM5	-44,3741	-1	FIO-ESM	0,00543	-1	IPSL-CM5A-LR	-2
CESM1-WACCM	60,0355	-1	GISS-E2-R	-47,1407	-1	bcc-csm1.1m	0,00511	-1	NorESM1-ME	-2
GISS-E2-H	67,0013	-1	GISS-E2-H	-64,3216	-1	MPI-ESM-LR	0,00002	-1	FGOALS-g2	-3

**APÊNDICE B: Ranqueamento de modelos climáticos através das medidas de erro RMSE, BIAS e  $r^2$  considerando médias mensais de radiação solar incidente para cada região geomorfológica do RS**

**B.1 Ranqueamento de radiação solar incidente para Cuesta do Haedo**

Modelo	RMSE	R	Modelo	BIAS	R	Modelo	$r^2$	R	Ranqueamento de radiação solar	
BNU-ESM	8,6944	1	BNU-ESM	3,3193	1	NorESM1-M	0,9978	1	BNU-ESM	3
CESM1-WACCM	13,1165	1	CESM1-WACCM	6,2751	1	FIO-ESM	0,9973	1	NorESM1-M	3
MPI-ESM-MR	14,6651	1	MRI-CGCM3	9,1451	1	BNU-ESM	0,9964	1	FIO-ESM	2
MRI-CGCM3	15,2129	1	MPI-ESM-MR	9,8084	1	CNRM-CM5	0,9963	1	MIROC-ESM	2
NorESM1-M	17,0227	1	NorESM1-M	11,1284	1	bcc-csm1.1	0,9963	1	MPI-ESM-MR	2
FIO-ESM	18,6303	1	bcc-csm1.1m	-11,5524	1	IPSL-CM5A-LR	0,9945	1	CESM1-WACCM	1
MIROC-ESM	20,5905	1	MIROC-ESM	16,0743	1	FGOALS-g2	0,9931	1	MRI-CGCM3	1
MPI-ESM-LR	21,4904	0	MPI-ESM-LR	16,4909	0	NorESM1-ME	0,9928	0	CNRM-CM5	1
FGOALS-g2	23,8857	0	FIO-ESM	17,1993	0	MIROC5	0,9928	0	FGOALS-g2	1
CanESM2	24,0095	0	MIROC-ESM-CHEM	18,8676	0	CSIRO-Mk3-6-0	0,9923	0	bcc-csm1.1	0
MIROC-ESM-CHEM	24,7029	0	FGOALS-g2	21,1059	0	IPSL-CM5A-MR	0,9922	0	bcc-csm1.1m	0
bcc-csm1.1m	25,1494	0	CanESM2	21,7468	0	MIROC-ESM	0,9832	0	CanESM2	0
NorESM1-ME	26,2190	0	NorESM1-ME	25,6559	0	MIROC-ESM-CHEM	0,9812	0	MIROC-ESM-CHEM	0
CNRM-CM5	31,4157	0	CNRM-CM5	29,9343	0	MPI-ESM-MR	0,9811	0	NorESM1-ME	0
MIROC5	34,6023	0	bcc-csm1.1	33,3934	0	CanESM2	0,9784	0	MIROC5	-1
bcc-csm1.1	37,1536	-1	MIROC5	33,7584	-1	CESM1-CAM5	0,9770	-1	MPI-ESM-LR	-1
CSIRO-Mk3-6-0	40,4199	-1	CSIRO-Mk3-6-0	38,9334	-1	MRI-CGCM3	0,9739	-1	IPSL-CM5A-LR	-1
IPSL-CM5A-LR	44,1951	-1	IPSL-CM5A-LR	43,9401	-1	GISS-E2-H	0,9721	-1	CSIRO-Mk3-6-0	-2
IPSL-CM5A-MR	45,6654	-1	GISS-E2-R	44,1451	-1	GISS-E2-R	0,9696	-1	IPSL-CM5A-MR	-2
CESM1-CAM5	45,8183	-1	CESM1-CAM5	44,7176	-1	MPI-ESM-LR	0,9690	-1	CESM1-CAM5	-3
GISS-E2-R	46,8294	-1	IPSL-CM5A-MR	45,2918	-1	CESM1-WACCM	0,9672	-1	GISS-E2-H	-3
GISS-E2-H	50,7483	-1	GISS-E2-H	48,0593	-1	bcc-csm1.1m	0,9640	-1	GISS-E2-R	-3

## B.2 Ranqueamento de radiação solar incidente para Depressão Central

Modelo	RMSE	R	Modelo	BIAS	R	Modelo	r <sup>2</sup>	R	Ranqueamento de radiação solar	
BNU-ESM	5,3743	1	BNU-ESM	2,203	1	NorESM1-M	0,9992	1	BNU-ESM	3
CESM1-WACCM	9,5747	1	CESM1-WACCM	6,4071	1	CNRM-CM5	0,9964	1	FGOALS-g2	3
FIO-ESM	10,0562	1	FIO-ESM	8,938	1	NorESM1-ME	0,9963	1	FIO-ESM	3
NorESM1-M	12,3298	1	MRI-CGCM3	9,0163	1	FIO-ESM	0,9958	1	NorESM1-M	3
FGOALS-g2	13,2247	1	NorESM1-M	10,2396	1	bcc-csm1.1	0,9958	1	CESM1-WACCM	2
MPI-ESM-MR	13,6277	1	MPI-ESM-MR	10,433	1	FGOALS-g2	0,9951	1	MPI-ESM-MR	2
MRI-CGCM3	13,8468	1	FGOALS-g2	12,4896	1	BNU-ESM	0,9946	1	MRI-CGCM3	1
MIROC-ESM	20,6607	0	bcc-csm1.1m	-12,5962	0	MIROC5	0,9921	0	bcc-csm1.1	1
MIROC-ESM-CHEM	23,6428	0	MIROC-ESM	14,9188	0	IPSL-CM5A-LR	0,9915	0	CNRM-CM5	1
NorESM1-ME	24,5759	0	MIROC-ESM-CHEM	16,3213	0	MIROC-ESM	0,9912	0	NorESM1-ME	1
CanESM2	25,4349	0	CanESM2	23,4105	0	IPSL-CM5A-MR	0,9898	0	MIROC-ESM	0
bcc-csm1.1m	25,8961	0	NorESM1-ME	24,218	0	CSIRO-Mk3-6-0	0,9897	0	MIROC-ESM-CHEM	0
MPI-ESM-LR	28,7083	0	bcc-csm1.1	24,9063	0	CESM1-WACCM	0,9893	0	bcc-csm1.1m	-1
CNRM-CM5	29,1993	0	MPI-ESM-LR	25,2696	0	MIROC-ESM-CHEM	0,9889	0	CanESM2	-1
bcc-csm1.1	29,9484	0	CNRM-CM5	25,523	0	MPI-ESM-MR	0,9799	0	MPI-ESM-LR	-1
CSIRO-Mk3-6-0	36,7704	-1	CSIRO-Mk3-6-0	34,9121	-1	CanESM2	0,9773	-1	CSIRO-Mk3-6-0	-2
MIROC5	39,1214	-1	MIROC5	38,3838	-1	bcc-csm1.1m	0,9745	-1	IPSL-CM5A-LR	-2
IPSL-CM5A-LR	47,0841	-1	GISS-E2-H	44,568	-1	CESM1-CAM5	0,9741	-1	IPSL-CM5A-MR	-2
GISS-E2-H	47,6095	-1	IPSL-CM5A-LR	46,4705	-1	GISS-E2-R	0,9718	-1	MIROC5	-2
IPSL-CM5A-MR	48,9238	-1	GISS-E2-R	47,0063	-1	MRI-CGCM3	0,9709	-1	CESM1-CAM5	-3
CESM1-CAM5	50,6686	-1	IPSL-CM5A-MR	47,8796	-1	MPI-ESM-LR	0,9700	-1	GISS-E2-H	-3
GISS-E2-R	50,7798	-1	CESM1-CAM5	48,8263	-1	GISS-E2-H	0,9600	-1	GISS-E2-R	-3

### B.3 Ranqueamento de radiação solar incidente para Escudo Cristalino

Modelo	RMSE	R	Modelo	BIAS	R	Modelo	r <sup>2</sup>	R	Ranqueamento de radiação solar	
BNU-ESM	5,7417	1	BNU-ESM	-1,6743	1	MIROC-ESM	0,9972	1	BNU-ESM	3
MPI-ESM-MR	11,5506	1	MRI-CGCM3	6,2482	1	BNU-ESM	0,9970	1	FIO-ESM	3
MRI-CGCM3	12,2896	1	MPI-ESM-MR	7,0666	1	FIO-ESM	0,9955	1	CESM1-WACCM	2
FIO-ESM	14,6019	1	CESM1-WACCM	9,0532	1	NorESM1-ME	0,9949	1	FGOALS-g2	2
CESM1-WACCM	15,1571	1	NorESM1-M	10,3732	1	MIROC-ESM-CHEM	0,9947	1	MIROC-ESM	2
MIROC-ESM	16,6808	1	bcc-csm1.1m	-12,0018	1	NorESM1-M	0,9937	1	NorESM1-M	2
FGOALS-g2	17,4656	1	FIO-ESM	12,8324	1	FGOALS-g2	0,9917	1	MPI-ESM-MR	1
NorESM1-M	19,4116	0	MIROC-ESM	14,7282	0	bcc-csm1.1	0,9916	0	MRI-CGCM3	1
bcc-csm1.1m	19,4968	0	FGOALS-g2	16,3841	0	CNRM-CM5	0,9881	0	MIROC-ESM-CHEM	1
MIROC-ESM-CHEM	20,1996	0	MIROC-ESM-CHEM	16,6724	0	CSIRO-Mk3-6-0	0,9871	0	NorESM1-ME	1
CanESM2	27,2901	0	CanESM2	22,9591	0	IPSL-CM5A-MR	0,9870	0	bcc-csm1.1	0
NorESM1-ME	30,0305	0	CNRM-CM5	26,8341	0	IPSL-CM5A-LR	0,9859	0	bcc-csm1.1m	0
MPI-ESM-LR	33,7419	0	NorESM1-ME	27,6257	0	MIROC5	0,9844	0	CNRM-CM5	0
CNRM-CM5	36,4606	0	MPI-ESM-LR	28,0007	0	GISS-E2-R	0,9837	0	CanESM2	-1
bcc-csm1.1	38,5636	0	bcc-csm1.1	29,0757	0	CESM1-WACCM	0,9836	0	MPI-ESM-LR	-1
CSIRO-Mk3-6-0	41,7493	-1	CSIRO-Mk3-6-0	37,1766	-1	MPI-ESM-LR	0,9826	-1	CSIRO-Mk3-6-0	-2
MIROC5	43,0060	-1	MIROC5	40,5166	-1	bcc-csm1.1m	0,9818	-1	GISS-E2-R	-2
GISS-E2-R	46,6919	-1	GISS-E2-R	42,4891	-1	GISS-E2-H	0,9810	-1	IPSL-CM5A-LR	-2
GISS-E2-H	48,2978	-1	GISS-E2-H	43,0741	-1	MPI-ESM-MR	0,9758	-1	IPSL-CM5A-MR	-2
CESM1-CAM5	48,2987	-1	CESM1-CAM5	46,2366	-1	CanESM2	0,9718	-1	MIROC5	-2
IPSL-CM5A-LR	51,3667	-1	IPSL-CM5A-LR	49,0424	-1	MRI-CGCM3	0,9674	-1	CESM1-CAM5	-3
IPSL-CM5A-MR	53,5797	-1	IPSL-CM5A-MR	50,5732	-1	CESM1-CAM5	0,9668	-1	GISS-E2-H	-3

#### B.4 Ranqueamento de radiação solar incidente para Planalto Meridional

Modelo	RMSE	R	Modelo	BIAS	R	Modelo	r <sup>2</sup>	R	Ranqueamento de radiação solar	
BNU-ESM	8,1682	1	BNU-ESM	-2,5002	1	NorESM1-M	0,9993	1	BNU-ESM	3
CESM1-WACCM	8,4413	1	CESM1-WACCM	-4,4561	1	CNRM-CM5	0,9957	1	MIROC-ESM	3
MIROC-ESM	9,7822	1	MIROC-ESM	4,9606	1	FGOALS-g2	0,9924	1	CESM1-WACCM	2
MPI-ESM-MR	12,3408	1	MRI-CGCM3	5,4098	1	BNU-ESM	0,9916	1	NorESM1-M	2
MRI-CGCM3	12,5237	1	MPI-ESM-MR	5,4631	1	FIO-ESM	0,9914	1	CanESM2	1
NorESM1-M	12,7172	1	CanESM2	7,7864	1	MIROC5	0,9905	1	MPI-ESM-MR	1
CanESM2	15,0153	1	MIROC-ESM-CHEM	8,8239	1	MIROC-ESM	0,9901	1	MRI-CGCM3	1
MIROC-ESM-CHEM	16,3658	0	NorESM1-M	11,0448	0	bcc-csm1.1	0,9882	0	CNRM-CM5	1
NorESM1-ME	17,2055	0	bcc-csm1.1	12,7864	0	IPSL-CM5A-LR	0,9869	0	FGOALS-g2	1
FIO-ESM	18,5898	0	NorESM1-ME	15,8889	0	MIROC-ESM-CHEM	0,9860	0	FIO-ESM	1
bcc-csm1.1	20,1162	0	FIO-ESM	16,9573	0	NorESM1-ME	0,9859	0	MIROC-ESM-CHEM	1
FGOALS-g2	21,9021	0	bcc-csm1.1m	-18,4527	0	CESM1-WACCM	0,9854	0	bcc-csm1.1	0
CNRM-CM5	24,7711	0	CNRM-CM5	20,0481	0	IPSL-CM5A-MR	0,9824	0	MPI-ESM-LR	0
MPI-ESM-LR	26,5959	0	FGOALS-g2	21,3389	0	MPI-ESM-LR	0,9789	0	NorESM1-ME	0
CSIRO-Mk3-6-0	27,3223	0	MPI-ESM-LR	24,2689	0	CSIRO-Mk3-6-0	0,9787	0	CSIRO-Mk3-6-0	-1
bcc-csm1.1m	29,3678	-1	CSIRO-Mk3-6-0	24,8373	-1	GISS-E2-R	0,9784	-1	MIROC5	-1
MIROC5	35,1034	-1	MIROC5	34,1139	-1	MPI-ESM-MR	0,9728	-1	bcc-csm1.1m	-2
CESM1-CAM5	36,7873	-1	CESM1-CAM5	34,7839	-1	MRI-CGCM3	0,9715	-1	IPSL-CM5A-LR	-2
IPSL-CM5A-LR	40,4563	-1	IPSL-CM5A-LR	39,5823	-1	bcc-csm1.1m	0,9638	-1	IPSL-CM5A-MR	-2
IPSL-CM5A-MR	42,2590	-1	IPSL-CM5A-MR	40,7748	-1	GISS-E2-H	0,9618	-1	CESM1-CAM5	-3
GISS-E2-H	47,3320	-1	GISS-E2-H	43,8448	-1	CESM1-CAM5	0,9595	-1	GISS-E2-H	-3
GISS-E2-R	52,3284	-1	GISS-E2-R	49,6123	-1	CanESM2	0,9446	-1	GISS-E2-R	-3

### B.5 Ranqueamento de radiação solar incidente para Planície Costeira

Modelo	RMSE	R	Modelo	BIAS	R	Modelo	r <sup>2</sup>	R	Ranqueamento de radiação solar	
BNU-ESM	4,2218	1	BNU-ESM	-0,3421	1	BNU-ESM	0,9983	1	bcc-csm1.1m	3
NorESM1-M	8,5098	1	NorESM1-M	-0,9421	1	MIROC-ESM	0,9974	1	BNU-ESM	3
MPI-ESM-MR	8,8063	1	CESM1-WACCM	3,2104	1	FIO-ESM	0,9970	1	MIROC-ESM	3
MRI-CGCM3	9,1683	1	MRI-CGCM3	3,3771	1	bcc-csm1.1m	0,9965	1	MPI-ESM-MR	2
CESM1-WACCM	10,2017	1	MPI-ESM-MR	4,1513	1	MIROC-ESM-CHEM	0,9964	1	NorESM1-M	2
bcc-csm1.1m	12,6663	1	bcc-csm1.1m	-7,6387	1	NorESM1-ME	0,9950	1	CESM1-WACCM	1
MIROC-ESM	15,9234	1	MIROC-ESM	12,3796	1	FGOALS-g2	0,9943	1	MRI-CGCM3	1
MIROC-ESM-CHEM	18,8361	0	MIROC-ESM-CHEM	14,1179	0	bcc-csm1.1	0,9940	0	FGOALS-g2	1
FIO-ESM	19,6727	0	FIO-ESM	17,9813	0	NorESM1-M	0,9930	0	FIO-ESM	1
FGOALS-g2	22,9205	0	MPI-ESM-LR	19,6738	0	CNRM-CM5	0,9909	0	MIROC-ESM-CHEM	1
CanESM2	23,4807	0	CanESM2	19,9088	0	GISS-E2-H	0,9905	0	NorESM1-ME	1
NorESM1-ME	23,6270	0	CNRM-CM5	20,9913	0	IPSL-CM5A-LR	0,9897	0	CNRM-CM5	0
MPI-ESM-LR	25,1467	0	NorESM1-ME	21,7829	0	IPSL-CM5A-MR	0,9893	0	bcc-csm1.1	-1
CNRM-CM5	30,1489	0	FGOALS-g2	22,2721	0	CSIRO-Mk3-6-0	0,9883	0	CanESM2	-1
MIROC5	31,4984	0	bcc-csm1.1	23,2329	0	MPI-ESM-MR	0,9876	0	MPI-ESM-LR	-1
bcc-csm1.1	32,1833	-1	GISS-E2-R	29,8279	-1	MIROC5	0,9872	-1	CSIRO-Mk3-6-0	-2
CESM1-CAM5	33,8349	-1	MIROC5	30,4246	-1	GISS-E2-R	0,9869	-1	GISS-E2-H	-2
GISS-E2-R	35,1384	-1	GISS-E2-H	30,4354	-1	CESM1-WACCM	0,9865	-1	IPSL-CM5A-LR	-2
CSIRO-Mk3-6-0	35,2983	-1	CSIRO-Mk3-6-0	31,3338	-1	MRI-CGCM3	0,9844	-1	IPSL-CM5A-MR	-2
GISS-E2-H	37,2467	-1	CESM1-CAM5	31,8496	-1	CESM1-CAM5	0,9843	-1	MIROC5	-2
IPSL-CM5A-LR	44,9073	-1	IPSL-CM5A-LR	43,1996	-1	MPI-ESM-LR	0,9836	-1	CESM1-CAM5	-3
IPSL-CM5A-MR	47,1247	-1	IPSL-CM5A-MR	44,7304	-1	CanESM2	0,9735	-1	GISS-E2-R	-3



**APÊNDICE C: Ranqueamento de modelos climáticos através das medidas de erro RMSE, BIAS e  $r^2$  considerando médias mensais de temperatura para cada região geomorfológica do RS**

**C.1 Ranqueamento de temperatura para Cuesta do Haedo**

Modelo	RMSE	R	Modelo	BIAS	R	Modelo	$r^2$	R	Ranqueamento de temperatura	
bcc-csm1.1m	0,6730	1	MPI-ESM-MR	-0,0705	1	CNRM-CM5	0,9935	1	CanESM2	3
MPI-ESM-MR	0,7200	1	MRI-CGCM3	0,2128	1	CanESM2	0,9914	1	CNRM-CM5	3
MRI-CGCM3	0,7768	1	bcc-csm1.1m	-0,2472	1	MIROC5	0,9914	1	bcc-csm1.1m	2
CNRM-CM5	1,1459	1	CanESM2	0,5895	1	NorESM1-ME	0,9904	1	NorESM1-ME	2
CanESM2	1,2234	1	NorESM1-ME	0,622	1	FGOALS-g2	0,9897	1	CESM1-WACCM	1
BNU-ESM	1,2974	1	CNRM-CM5	-0,8722	1	IPSL-CM5A-MR	0,9895	1	MPI-ESM-MR	1
CESM1-WACCM	1,3018	1	CESM1-WACCM	0,9903	1	FIO-ESM	0,9894	1	MRI-CGCM3	1
MPI-ESM-LR	1,6548	0	BNU-ESM	1,1945	0	CSIRO-Mk3-6-0	0,9883	0	BNU-ESM	1
NorESM1-ME	1,7634	0	NorESM1-M	1,2203	0	IPSL-CM5A-LR	0,9882	0	IPSL-CM5A-MR	1
GISS-E2-H	1,9539	0	MPI-ESM-LR	1,4278	0	BNU-ESM	0,9859	0	CSIRO-Mk3-6-0	0
GISS-E2-R	2,0064	0	GISS-E2-H	1,5495	0	bcc-csm1.1	0,9846	0	IPSL-CM5A-LR	0
NorESM1-M	2,0619	0	GISS-E2-R	1,7745	0	NorESM1-M	0,9809	0	MPI-ESM-LR	0
CSIRO-Mk3-6-0	2,1643	0	CSIRO-Mk3-6-0	1,9186	0	bcc-csm1.1m	0,9805	0	NorESM1-M	0
IPSL-CM5A-LR	2,2199	0	IPSL-CM5A-MR	2,0328	0	MIROC-ESM	0,9792	0	GISS-E2-H	-1
IPSL-CM5A-MR	2,2249	0	IPSL-CM5A-LR	2,052	0	MPI-ESM-LR	0,9792	0	GISS-E2-R	-1
MIROC-ESM	2,4908	-1	MIROC-ESM	2,3995	-1	CESM1-WACCM	0,9785	-1	FGOALS-g2	-1
MIROC-ESM-CHEM	2,6132	-1	MIROC-ESM-CHEM	2,4586	-1	MPI-ESM-MR	0,9749	-1	FIO-ESM	-1
MIROC5	3,2861	-1	CESM1-CAM5	2,8928	-1	MRI-CGCM3	0,9689	-1	MIROC5	-1
CESM1-CAM5	3,4572	-1	bcc-csm1.1	3,0336	-1	MIROC-ESM-CHEM	0,9685	-1	bcc-csm1.1	-2
bcc-csm1.1	3,7940	-1	MIROC5	3,2511	-1	GISS-E2-H	0,9647	-1	MIROC-ESM	-2
FIO-ESM	5,1127	-1	FIO-ESM	5,0011	-1	GISS-E2-R	0,9587	-1	CESM1-CAM5	-3
FGOALS-g2	6,2631	-1	FGOALS-g2	6,227	-1	CESM1-CAM5	0,9531	-1	MIROC-ESM-CHEM	-3

## C.2 Ranqueamento de temperatura para Depressão Central

Modelo	RMSE	R	Modelo	BIAS	R	Modelo	r <sup>2</sup>	R	Ranqueamento de temperatura	
IPSL-CM5A-MR	0,3250	1	IPSL-CM5A-LR	0,018	1	MIROC5	0,9938	1	CSIRO-Mk3-6-0	3
IPSL-CM5A-LR	0,3926	1	IPSL-CM5A-MR	0,0363	1	IPSL-CM5A-MR	0,9934	1	IPSL-CM5A-LR	3
CSIRO-Mk3-6-0	0,4580	1	CSIRO-Mk3-6-0	-0,0595	1	CNRM-CM5	0,9904	1	IPSL-CM5A-MR	3
BNU-ESM	0,6601	1	CanESM2	-0,1079	1	IPSL-CM5A-LR	0,9896	1	BNU-ESM	2
GISS-E2-H	0,7371	1	BNU-ESM	0,1671	1	FGOALS-g2	0,9889	1	GISS-E2-H	1
MIROC-ESM	0,8273	1	GISS-E2-H	0,1763	1	CSIRO-Mk3-6-0	0,9869	1	GISS-E2-R	1
CESM1-WACCM	0,9933	1	NorESM1-ME	-0,2237	1	GISS-E2-R	0,9865	1	bcc-csm1.1m	0
MRI-CGCM3	0,9997	0	MIROC-ESM	-0,227	0	MPI-ESM-MR	0,9859	0	CanESM2	0
CanESM2	1,0019	0	MIROC-ESM-CHEM	-0,2495	0	CESM1-CAM5	0,9838	0	CESM1-WACCM	0
MIROC-ESM-CHEM	1,0030	0	bcc-csm1.1	-0,2604	0	MRI-CGCM3	0,9835	0	MIROC-ESM	0
bcc-csm1.1m	1,0510	0	CESM1-WACCM	-0,7745	0	BNU-ESM	0,9820	0	MRI-CGCM3	0
MPI-ESM-MR	1,1955	0	NorESM1-M	0,7888	0	bcc-csm1.1m	0,9815	0	NorESM1-ME	0
NorESM1-ME	1,2193	0	MRI-CGCM3	-0,8354	0	bcc-csm1.1	0,9810	0	bcc-csm1.1	-1
GISS-E2-R	1,3474	0	GISS-E2-R	0,843	0	FIO-ESM	0,9799	0	MIROC-ESM-CHEM	-1
MPI-ESM-LR	1,4113	0	bcc-csm1.1m	-0,9045	0	MPI-ESM-LR	0,9789	0	MPI-ESM-LR	-1
bcc-csm1.1	1,5191	-1	MPI-ESM-MR	-1,0979	-1	CESM1-WACCM	0,9787	-1	CNRM-CM5	-1
NorESM1-M	1,5702	-1	MPI-ESM-LR	1,198	-1	NorESM1-ME	0,9776	-1	FGOALS-g2	-1
FIO-ESM	2,1335	-1	CESM1-CAM5	1,603	-1	CanESM2	0,9763	-1	MIROC5	-1
MIROC5	2,1408	-1	FIO-ESM	1,6805	-1	MIROC-ESM	0,9707	-1	MPI-ESM-MR	-1
CNRM-CM5	2,2094	-1	CNRM-CM5	-2,0687	-1	GISS-E2-H	0,9684	-1	CESM1-CAM5	-2
CESM1-CAM5	2,4886	-1	MIROC5	2,1196	-1	MIROC-ESM-CHEM	0,9596	-1	FIO-ESM	-2
FGOALS-g2	2,9661	-1	FGOALS-g2	2,8313	-1	NorESM1-M	0,9567	-1	NorESM1-M	-2

### C.3 Ranqueamento de temperatura para Escudo Cristalino

Modelo	RMSE	R	Modelo	BIAS	R	Modelo	r <sup>2</sup>	R	Ranqueamento de temperatura	
bcc-csm1.1m	0,5089	1	CESM1-WACCM	-0,0639	1	IPSL-CM5A-MR	0,9976	1	IPSL-CM5A-LR	3
CESM1-WACCM	0,6862	1	CanESM2	-0,0889	1	IPSL-CM5A-LR	0,9961	1	IPSL-CM5A-MR	3
IPSL-CM5A-LR	0,9906	1	bcc-csm1.1m	0,1802	1	CSIRO-Mk3-6-0	0,9955	1	bcc-csm1.1m	2
IPSL-CM5A-MR	1,0053	1	bcc-csm1.1	0,5677	1	CNRM-CM5	0,9949	1	CanESM2	2
CSIRO-Mk3-6-0	1,0982	1	NorESM1-ME	0,8869	1	FIO-ESM	0,9935	1	CESM1-WACCM	2
CanESM2	1,3447	1	IPSL-CM5A-LR	0,9644	1	FGOALS-g2	0,9921	1	CSIRO-Mk3-6-0	2
NorESM1-ME	1,4543	1	IPSL-CM5A-MR	0,9786	1	bcc-csm1.1	0,9919	1	NorESM1-ME	2
GISS-E2-H	1,4586	0	CSIRO-Mk3-6-0	1,0311	0	NorESM1-ME	0,9905	0	bcc-csm1.1	1
MIROC-ESM	1,5314	0	NorESM1-M	1,0786	0	MIROC5	0,9873	0	CNRM-CM5	1
MPI-ESM-MR	1,5487	0	GISS-E2-H	1,1327	0	MPI-ESM-LR	0,9868	0	NorESM1-M	0
MIROC-ESM-CHEM	1,5998	0	MPI-ESM-MR	1,4227	0	CESM1-WACCM	0,9856	0	GISS-E2-H	-1
MRI-CGCM3	1,7568	0	MIROC-ESM	1,4302	0	bcc-csm1.1m	0,9853	0	MIROC-ESM	-1
NorESM1-M	1,7804	0	CNRM-CM5	-1,4331	0	CESM1-CAM5	0,9849	0	MIROC-ESM-CHEM	-1
GISS-E2-R	1,7945	0	MIROC-ESM-CHEM	1,4702	0	NorESM1-M	0,9845	0	MPI-ESM-MR	-1
CNRM-CM5	1,8011	0	MRI-CGCM3	1,6644	0	CanESM2	0,9843	0	MRI-CGCM3	-1
bcc-csm1.1	1,9184	-1	GISS-E2-R	1,6727	-1	GISS-E2-R	0,9831	-1	FGOALS-g2	-1
MPI-ESM-LR	2,1402	-1	MPI-ESM-LR	1,9252	-1	MPI-ESM-MR	0,9808	-1	FIO-ESM	-1
CESM1-CAM5	2,2842	-1	CESM1-CAM5	2,0961	-1	MRI-CGCM3	0,9798	-1	CESM1-CAM5	-2
BNU-ESM	2,6000	-1	BNU-ESM	2,5102	-1	MIROC-ESM	0,9769	-1	GISS-E2-R	-2
MIROC5	2,9517	-1	MIROC5	2,9119	-1	MIROC-ESM-CHEM	0,9700	-1	MIROC5	-2
FIO-ESM	3,2740	-1	FIO-ESM	2,9452	-1	GISS-E2-H	0,9668	-1	MPI-ESM-LR	-2
FGOALS-g2	4,2306	-1	FGOALS-g2	4,0961	-1	BNU-ESM	0,9656	-1	BNU-ESM	-3

#### C.4 Ranqueamento de temperatura para Planalto Meridional

Modelo	RMSE	R	Modelo	BIAS	R	Modelo	r <sup>2</sup>	R	Ranqueamento de temperatura	
bcc-csm1.1m	0,5944	1	CanESM2	-0,0993	1	MIROC5	0,9963	1	CanESM2	3
CanESM2	0,6146	1	MIROC-ESM	0,3515	1	CNRM-CM5	0,9923	1	CNRM-CM5	3
MIROC-ESM	0,6874	1	bcc-csm1.1m	-0,3943	1	IPSL-CM5A-MR	0,9911	1	bcc-csm1.1m	2
CESM1-WACCM	0,7561	1	MIROC-ESM-CHEM	0,4232	1	IPSL-CM5A-LR	0,9907	1	CESM1-WACCM	2
MIROC-ESM-CHEM	0,8337	1	CESM1-WACCM	0,4598	1	CanESM2	0,9905	1	MIROC-ESM	1
CNRM-CM5	0,8398	1	CNRM-CM5	-0,5502	1	FGOALS-g2	0,9888	1	MIROC-ESM-CHEM	1
MPI-ESM-MR	0,9011	1	bcc-csm1.1	0,764	1	MPI-ESM-LR	0,9883	1	IPSL-CM5A-LR	1
IPSL-CM5A-LR	1,0059	0	MPI-ESM-MR	0,809	0	MPI-ESM-MR	0,9873	0	IPSL-CM5A-MR	1
IPSL-CM5A-MR	1,0136	0	IPSL-CM5A-MR	0,9248	0	bcc-csm1.1m	0,9870	0	MPI-ESM-MR	1
CSIRO-Mk3-6-0	1,0902	0	IPSL-CM5A-LR	0,9382	0	FIO-ESM	0,9865	0	bcc-csm1.1	0
MRI-CGCM3	1,2081	0	CSIRO-Mk3-6-0	0,9915	0	BNU-ESM	0,9860	0	CSIRO-Mk3-6-0	0
GISS-E2-H	1,3155	0	GISS-E2-H	1,1082	0	CSIRO-Mk3-6-0	0,9823	0	MRI-CGCM3	0
bcc-csm1.1	1,5859	0	MRI-CGCM3	1,1207	0	MRI-CGCM3	0,9819	0	BNU-ESM	-1
NorESM1-ME	1,6742	0	NorESM1-ME	1,2248	0	CESM1-WACCM	0,9813	0	CESM1-CAM5	-1
BNU-ESM	1,9582	0	CESM1-CAM5	1,8107	0	CESM1-CAM5	0,9771	0	GISS-E2-H	-1
MPI-ESM-LR	2,0991	-1	NorESM1-M	1,9015	-1	bcc-csm1.1	0,9763	-1	NorESM1-ME	-1
CESM1-CAM5	2,2089	-1	MPI-ESM-LR	1,9123	-1	MIROC-ESM	0,9740	-1	FGOALS-g2	-1
NorESM1-M	2,4270	-1	BNU-ESM	1,9173	-1	GISS-E2-H	0,9726	-1	FIO-ESM	-1
FIO-ESM	2,5198	-1	FIO-ESM	2,3723	-1	NorESM1-ME	0,9716	-1	MIROC5	-1
MIROC5	2,9513	-1	GISS-E2-R	2,7848	-1	MIROC-ESM-CHEM	0,9666	-1	MPI-ESM-LR	-1
GISS-E2-R	3,0324	-1	MIROC5	2,9365	-1	NorESM1-M	0,9365	-1	GISS-E2-R	-3
FGOALS-g2	3,4798	-1	FGOALS-g2	3,4207	-1	GISS-E2-R	0,9295	-1	NorESM1-M	-3

### C.5 Ranqueamento de temperatura para Planície Costeira

Modelo	RMSE	R	Modelo	BIAS	R	Modelo	r <sup>2</sup>	R	Ranqueamento de temperatura	
IPSL-CM5A-LR	0,1558	1	GISS-E2-R	0,0088	1	IPSL-CM5A-LR	0,9992	1	CSIRO-Mk3-6-0	3
IPSL-CM5A-MR	0,2351	1	CSIRO-Mk3-6-0	-0,0362	1	MIROC5	0,9970	1	IPSL-CM5A-LR	3
CSIRO-Mk3-6-0	0,3365	1	IPSL-CM5A-MR	-0,0887	1	NorESM1-ME	0,9970	1	IPSL-CM5A-MR	3
NorESM1-M	0,8731	1	IPSL-CM5A-LR	-0,1029	1	IPSL-CM5A-MR	0,9969	1	NorESM1-ME	3
GISS-E2-R	0,9104	1	NorESM1-ME	-0,1804	1	bcc-csm1.1	0,9954	1	NorESM1-M	2
NorESM1-ME	1,0442	1	CESM1-CAM5	0,3121	1	CSIRO-Mk3-6-0	0,9951	1	GISS-E2-R	1
CanESM2	1,1118	1	NorESM1-M	0,4788	1	CNRM-CM5	0,9949	1	bcc-csm1.1	0
GISS-E2-H	1,1844	0	bcc-csm1.1	-0,4996	0	FGOALS-g2	0,9914	0	bcc-csm1.1m	0
CESM1-CAM5	1,2647	0	GISS-E2-H	-0,5371	0	CESM1-WACCM	0,9907	0	CanESM2	0
CESM1-WACCM	1,2655	0	CanESM2	0,6963	0	FIO-ESM	0,9834	0	CESM1-CAM5	0
bcc-csm1.1m	1,3303	0	MPI-ESM-MR	0,7346	0	MPI-ESM-MR	0,9746	0	CESM1-WACCM	0
MPI-ESM-MR	1,3640	0	bcc-csm1.1m	0,8996	0	MRI-CGCM3	0,9735	0	MPI-ESM-MR	0
MRI-CGCM3	1,3948	0	MRI-CGCM3	0,9371	0	MPI-ESM-LR	0,9700	0	MRI-CGCM3	0
MIROC-ESM-CHEM	1,5452	0	CESM1-WACCM	-1,1312	0	bcc-csm1.1m	0,9696	0	GISS-E2-H	-1
MIROC-ESM	1,5789	0	MIROC-ESM-CHEM	1,1671	0	NorESM1-M	0,9646	0	MIROC-ESM-CHEM	-1
MPI-ESM-LR	1,7508	-1	MIROC-ESM	1,1771	-1	CanESM2	0,9508	-1	CNRM-CM5	-1
bcc-csm1.1	1,8082	-1	MPI-ESM-LR	1,6071	-1	BNU-ESM	0,9503	-1	MIROC5	-1
BNU-ESM	2,1261	-1	BNU-ESM	1,8429	-1	GISS-E2-R	0,9430	-1	FGOALS-g2	-2
MIROC5	2,2728	-1	MIROC5	1,9796	-1	MIROC-ESM	0,9370	-1	FIO-ESM	-2
CNRM-CM5	2,6995	-1	CNRM-CM5	-2,5004	-1	MIROC-ESM-CHEM	0,9296	-1	MIROC-ESM	-2
FIO-ESM	2,7070	-1	FIO-ESM	2,6513	-1	GISS-E2-H	0,9264	-1	MPI-ESM-LR	-2
FGOALS-g2	3,4543	-1	FGOALS-g2	3,4363	-1	CESM1-CAM5	0,8978	-1	BNU-ESM	-3

**APÊNDICE D: Ranqueamento geral dos modelos climáticos somando-se os rankings obtidos para cada variável climática individualmente**

**D.1 Ranqueamento geral para Cuesta do Haedo**

Modelo	PREC	RAD	TEMP	Soma R
BNU-ESM	2	3	1	6
CanESM2	2	0	3	5
bcc-csm1.1m	2	0	2	4
MPI-ESM-MR	1	2	1	4
CESM1-WACCM	1	1	1	3
MRI-CGCM3	1	1	1	3
NorESM1-M	0	3	0	3
CNRM-CM5	-3	1	3	1
MIROC-ESM	1	2	-2	1
IPSL-CM5A-LR	1	-1	0	0
IPSL-CM5A-MR	1	-2	1	0
MIROC5	2	-1	-1	0
MPI-ESM-LR	1	-1	0	0
FGOALS-g2	-1	1	-1	-1
FIO-ESM	-2	2	-1	-1
NorESM1-ME	-3	0	2	-1
CSIRO-Mk3-6-0	0	-2	0	-2
MIROC-ESM-CHEM	1	0	-3	-2
bcc-csm1.1	-2	0	-2	-4
GISS-E2-R	-1	-3	-1	-5
CESM1-CAM5	-1	-3	-3	-7
GISS-E2-H	-3	-3	-1	-7

**D.2 Ranqueamento geral para Depressão Central**

Modelo	PREC	RAD	TEMP	Soma R
BNU-ESM	1	3	2	6
CESM1-WACCM	2	2	0	4
MIROC-ESM	3	0	0	3
MIROC-ESM-CHEM	3	0	-1	2
MPI-ESM-MR	1	2	-1	2
MRI-CGCM3	1	1	0	2
bcc-csm1.1m	2	-1	0	1
NorESM1-M	0	3	-2	1
bcc-csm1.1	0	1	-1	0
CanESM2	1	-1	0	0
CSIRO-Mk3-6-0	-1	-2	3	0
IPSL-CM5A-LR	-1	-2	3	0
IPSL-CM5A-MR	-1	-2	3	0
FGOALS-g2	-3	3	-1	-1
MIROC5	2	-2	-1	-1
MPI-ESM-LR	1	-1	-1	-1
FIO-ESM	-3	3	-2	-2
GISS-E2-H	0	-3	1	-2
GISS-E2-R	0	-3	1	-2
NorESM1-ME	-3	1	0	-2
CNRM-CM5	-3	1	-1	-3
CESM1-CAM5	-2	-3	-2	-7

### D.3 Ranqueamento geral para Escudo Cristalino

Modelo	PREC	RAD	TEMP	Soma R
CESM1-WACCM	2	2	2	6
CanESM2	3	-1	2	4
bcc-csm1.1m	1	0	2	3
bcc-csm1.1	1	0	1	2
IPSL-CM5A-MR	1	-2	3	2
NorESM1-M	0	2	0	2
BNU-ESM	1	3	-3	1
CSIRO-Mk3-6-0	1	-2	2	1
MIROC-ESM	0	2	-1	1
MIROC-ESM-CHEM	1	1	-1	1
MRI-CGCM3	1	1	-1	1
NorESM1-ME	-2	1	2	1
FIO-ESM	-2	3	-1	0
MPI-ESM-MR	0	1	-1	0
FGOALS-g2	-2	2	-1	-1
IPSL-CM5A-LR	-2	-2	3	-1
CNRM-CM5	-3	0	1	-2
MPI-ESM-LR	1	-1	-2	-2
GISS-E2-R	1	-2	-2	-3
MIROC5	0	-2	-2	-4
CESM1-CAM5	-1	-3	-2	-6
GISS-E2-H	-2	-3	-1	-6

### D.4 Ranqueamento geral para Planalto Meridional

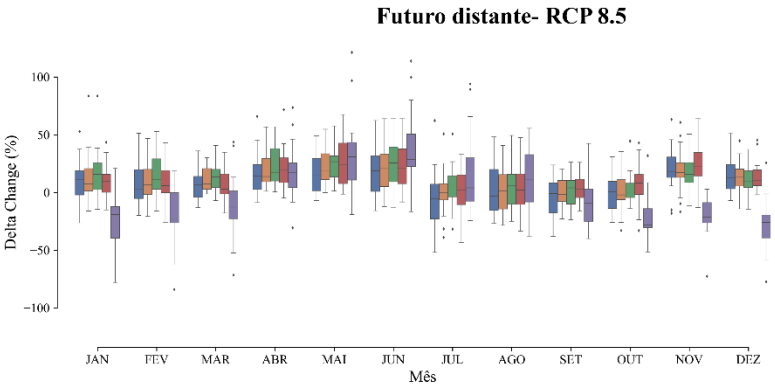
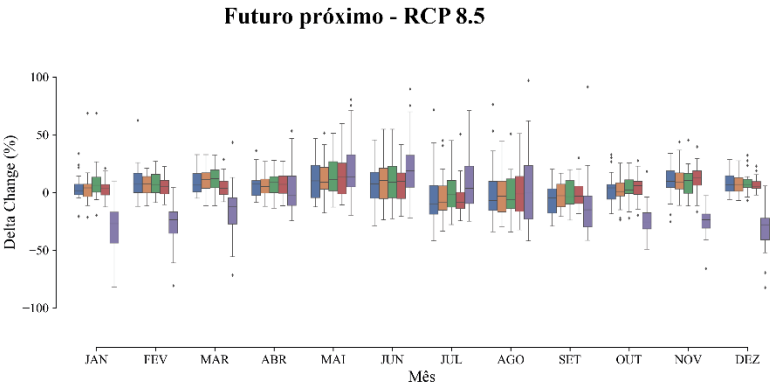
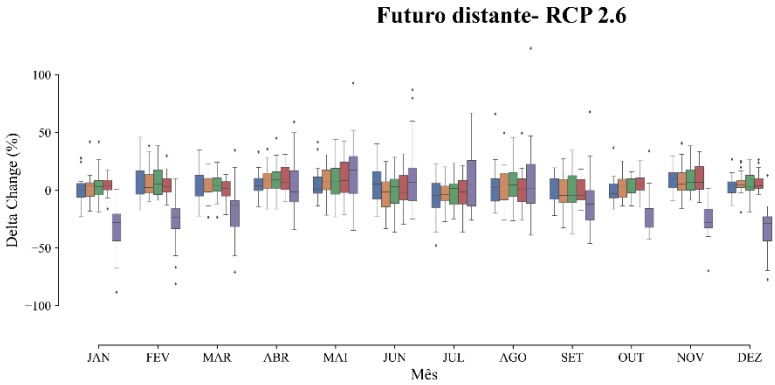
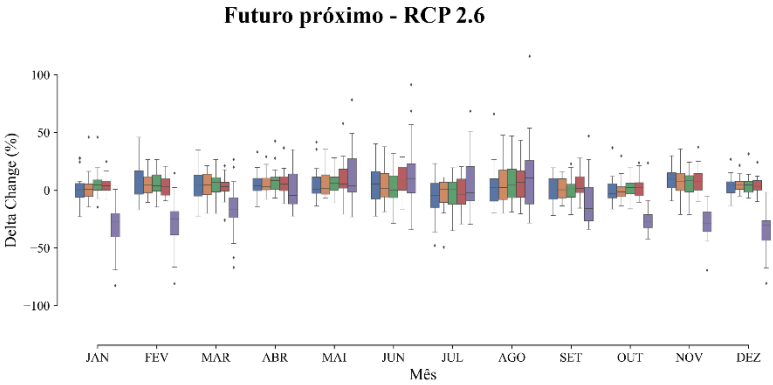
Modelo	PREC	RAD	TEMP	Soma R
MIROC-ESM	3	3	1	7
CanESM2	2	1	3	6
MIROC-ESM-CHEM	3	1	1	5
BNU-ESM	2	3	-1	4
CESM1-WACCM	0	2	2	4
bcc-csm1.1m	3	-2	2	3
CNRM-CM5	-2	1	3	2
MPI-ESM-LR	3	0	-1	2
MPI-ESM-MR	0	1	1	2
MRI-CGCM3	1	1	0	2
FIO-ESM	1	1	-1	1
MIROC5	2	-1	-1	0
bcc-csm1.1	-1	0	0	-1
NorESM1-M	0	2	-3	-1
CSIRO-Mk3-6-0	-1	-1	0	-2
FGOALS-g2	-2	1	-1	-2
IPSL-CM5A-LR	-2	-2	1	-3
NorESM1-ME	-2	0	-1	-3
IPSL-CM5A-MR	-3	-2	1	-4
GISS-E2-H	-2	-3	-1	-6
CESM1-CAM5	-3	-3	-1	-7
GISS-E2-R	-2	-3	-3	-8

### D.5 Ranqueamento geral para Planície Costeira

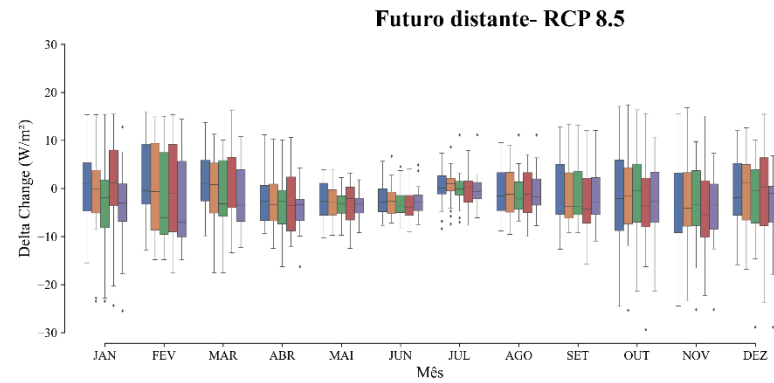
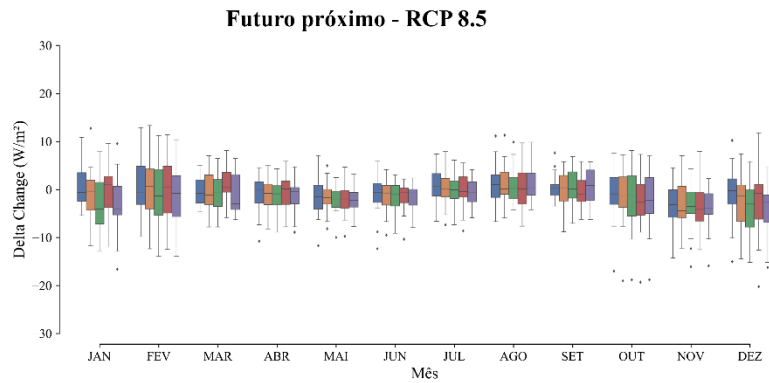
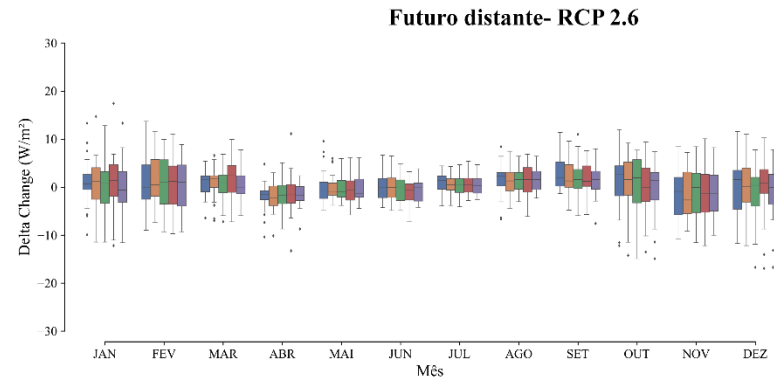
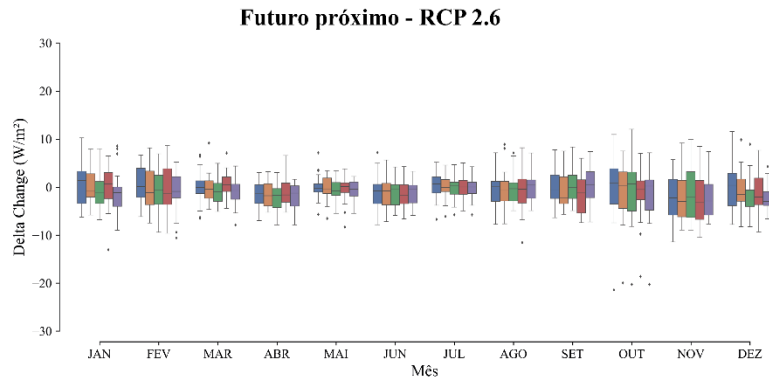
Modelo	PREC	RAD	TEMP	Soma R
NorESM1-M	2	2	2	6
bcc-csm1.1m	1	3	0	4
BNU-ESM	2	3	-3	2
CanESM2	3	-1	0	2
CSIRO-Mk3-6-0	1	-2	3	2
MIROC-ESM	1	3	-2	2
MIROC-ESM-CHEM	2	1	-1	2
MPI-ESM-MR	0	2	0	2
NorESM1-ME	-2	1	3	2
CESM1-WACCM	0	1	0	1
IPSL-CM5A-MR	0	-2	3	1
MRI-CGCM3	0	1	0	1
bcc-csm1.1	0	-1	0	-1
IPSL-CM5A-LR	-2	-2	3	-1
FIO-ESM	-1	1	-2	-2
MIROC5	1	-2	-1	-2
CNRM-CM5	-2	0	-1	-3
GISS-E2-R	-1	-3	1	-3
MPI-ESM-LR	0	-1	-2	-3
CESM1-CAM5	-1	-3	0	-4
FGOALS-g2	-3	1	-2	-4
GISS-E2-H	-1	-2	-1	-4



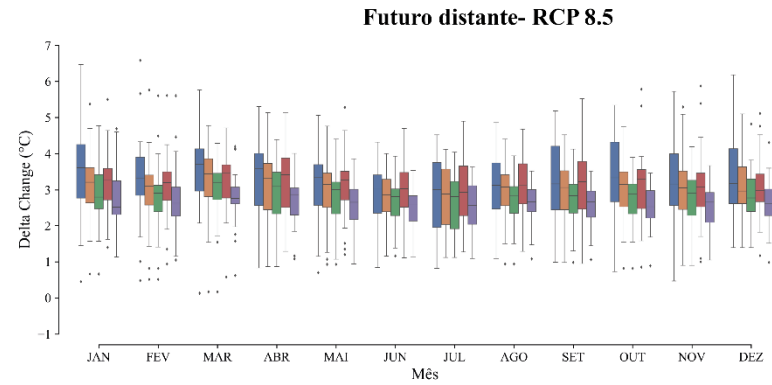
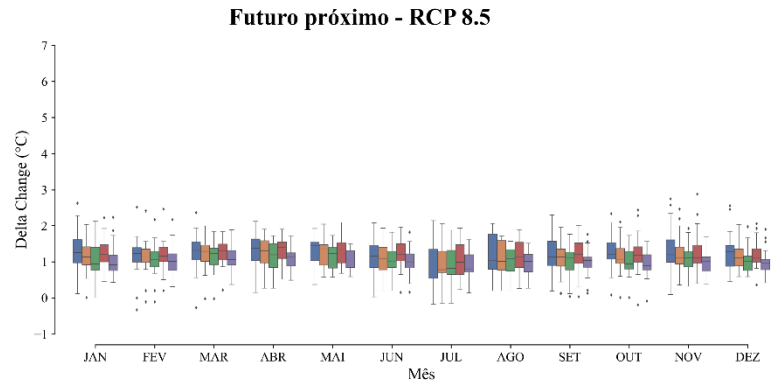
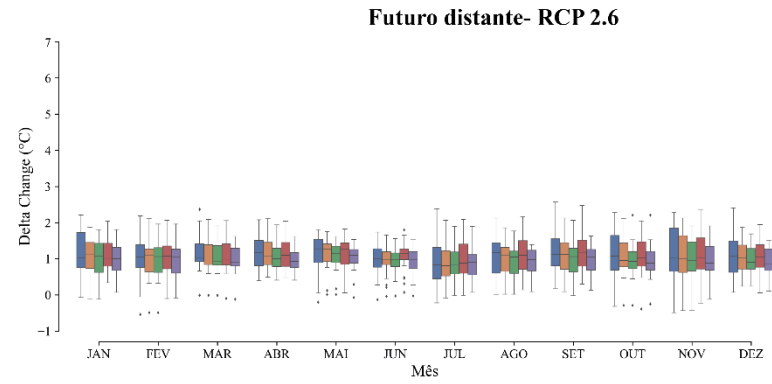
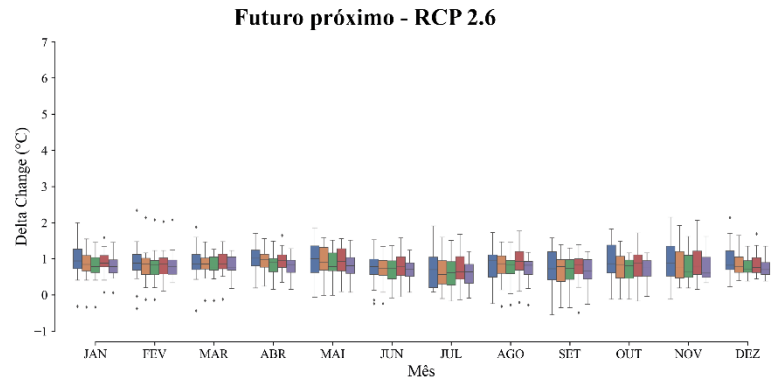
**APÊNDICE E: Projeções de alterações na precipitação comparando as regiões geomorfológicas entre si, para cada cenário e futuro considerados**



**APÊNDICE F: Projeções de alterações na radiação solar incidente comparando as regiões geomorfológicas entre si, para cada cenário e futuro considerados**



**APÊNDICE G: Projeções de alterações na temperatura comparando as regiões geomorfológicas entre si, para cada cenário e futuro considerados**



**APÊNDICE H: Projeções de alterações na precipitação calculadas mensalmente para cada futuro/cenário e cada região geomorfológica considerada – mediana do conjunto geral de modelos (G) e do conjunto de melhores modelos (M)**

**H.1 Projeções de alterações na precipitação para Cuesta do Haedo**

Conjunto MCG	Futuro / cenário	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	
INMET	OBSERVADO (mm)	132,52	132,59	130,34	105,88	81,16	82,60	85,66	111,29	140,84	107,23	127,88	111,77	
Geral (G)	FP RCP 2.6	<i>delta change</i>	0,46%	5,05%	4,41%	4,05%	1,09%	5,32%	-4,29%	2,55%	-4,06%	-2,77%	9,67%	4,39%
		Projeção (mm)	133,13	139,28	136,09	110,17	82,05	86,99	81,98	114,12	135,13	104,26	140,24	116,68
	FD RCP 2.6	<i>delta change</i>	0,31%	5,74%	1,75%	6,23%	8,75%	-7,40%	-12,09%	4,33%	-3,11%	0,52%	7,24%	4,66%
		Projeção (mm)	132,93	140,19	132,62	112,48	88,26	76,48	75,30	116,11	136,45	107,79	137,14	116,98
	FP RCP 8.5	<i>delta change</i>	1,10%	7,13%	6,37%	7,21%	10,11%	7,50%	-9,79%	-7,09%	-4,62%	4,04%	9,74%	6,77%
		Projeção (mm)	133,98	142,04	138,64	113,52	89,37	88,80	77,27	103,40	134,33	111,57	140,33	119,33
	FD RCP 8.5	<i>delta change</i>	10,97%	2,64%	6,43%	14,40%	14,68%	18,63%	-5,40%	-3,29%	-1,04%	0,49%	18,24%	12,87%
		Projeção (mm)	147,07	136,09	138,72	121,13	93,07	97,98	81,03	107,63	139,37	107,76	151,20	126,16
Melhores (M)	FP RCP 2.6	<i>delta change</i>	-1,52%	7,85%	-0,75%	4,20%	1,02%	0,73%	0,86%	3,76%	-6,85%	-5,92%	16,54%	3,18%
		Projeção (mm)	130,50	143,00	129,36	110,33	81,99	83,20	86,40	115,46	131,19	100,89	149,03	115,33
	FD RCP 2.6	<i>delta change</i>	-6,32%	2,08%	-0,09%	6,49%	12,56%	-12,47%	-4,59%	3,88%	-3,32%	4,02%	19,86%	5,71%
		Projeção (mm)	124,14	135,34	130,22	112,76	91,36	72,30	81,73	115,60	136,17	111,54	153,28	118,15
	FP RCP 8.5	<i>delta change</i>	-2,15%	0,97%	7,25%	7,65%	10,37%	7,51%	-7,52%	-9,76%	2,54%	4,06%	18,95%	8,80%
		Projeção (mm)	129,68	133,88	139,79	113,99	89,58	88,80	79,21	100,42	144,42	111,59	152,11	121,61
	FD RCP 8.5	<i>delta change</i>	0,06%	2,86%	4,58%	18,07%	15,86%	28,58%	-11,75%	-15,99%	-21,40%	2,09%	19,63%	11,51%
		Projeção (mm)	132,60	136,38	136,30	125,01	94,04	106,21	75,60	93,50	110,69	109,47	152,99	124,63

FP: Futuro próximo (2011-2055)

FD: Futuro distante (2056-2100)

## H.2 Projeções de alterações na precipitação para Depressão Central

Conjunto MCG	Futuro / cenário	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	
<b>INMET</b>	<b>OBSERVADO</b>	118,58	116,05	126,64	116,58	122,65	137,15	116,56	124,89	141,41	103,62	126,47	130,17	
<b>Geral (G)</b>	<b>FP RCP 2.6</b>	<i>delta change</i>	0,99%	4,48%	4,82%	3,26%	1,46%	1,48%	0,66%	2,46%	0,53%	-1,40%	8,02%	4,97%
		<b>Projeção (mm)</b>	119,74	121,24	132,73	120,38	124,44	139,19	117,34	127,95	142,16	102,17	136,61	136,64
	<b>FD RCP 2.6</b>	<i>delta change</i>	4,20%	2,43%	5,84%	8,83%	7,35%	-1,22%	-3,82%	5,05%	-4,39%	3,57%	5,23%	4,52%
		<b>Projeção (mm)</b>	123,56	118,86	134,03	126,87	131,66	135,48	112,11	131,19	135,20	107,32	133,08	136,05
	<b>FP RCP 8.5</b>	<i>delta change</i>	4,08%	7,38%	11,08%	5,17%	8,98%	10,42%	-8,23%	-3,09%	-2,80%	0,80%	9,06%	6,87%
		<b>Projeção (mm)</b>	123,42	124,61	140,66	122,60	133,66	151,44	106,97	121,02	137,45	104,45	137,93	139,11
	<b>FD RCP 8.5</b>	<i>delta change</i>	7,31%	6,49%	7,31%	13,90%	19,09%	20,72%	0,08%	1,46%	-1,46%	-2,10%	17,16%	13,15%
		<b>Projeção (mm)</b>	127,24	123,58	135,89	132,79	146,06	165,57	116,66	126,72	139,35	101,45	148,17	147,29
<b>Melhores (M)</b>	<b>FP RCP 2.6</b>	<i>delta change</i>	-3,81%	6,45%	-0,26%	2,93%	0,19%	-2,53%	-2,68%	3,81%	-5,10%	-2,05%	14,91%	3,52%
		<b>Projeção (mm)</b>	114,05	123,53	126,31	119,99	122,88	133,68	113,44	129,65	134,20	101,49	145,32	134,75
	<b>FD RCP 2.6</b>	<i>delta change</i>	-4,83%	-0,32%	2,52%	7,12%	15,56%	-0,23%	-2,38%	-8,65%	-1,47%	9,84%	28,13%	8,58%
		<b>Projeção (mm)</b>	112,85	115,68	129,82	124,89	141,73	136,83	113,79	114,08	139,33	113,81	162,04	141,34
	<b>FP RCP 8.5</b>	<i>delta change</i>	-2,44%	6,40%	8,99%	9,98%	8,98%	13,91%	-13,68%	-3,09%	0,40%	8,46%	20,02%	7,65%
		<b>Projeção (mm)</b>	115,69	123,48	138,02	128,22	133,66	156,23	100,62	121,02	141,97	112,38	151,79	140,12
	<b>FD RCP 8.5</b>	<i>delta change</i>	-0,23%	8,73%	3,21%	26,28%	21,58%	24,31%	-3,67%	-7,85%	-0,02%	12,06%	31,04%	10,78%
		<b>Projeção (mm)</b>	118,30	126,18	130,70	147,22	149,11	170,49	112,29	115,09	141,38	116,12	165,72	144,20

FP: Futuro próximo (2011-2055)

FD: Futuro distante (2056-2100)

### H.3 Projeções de alterações na precipitação para Escudo Cristalino

Conjunto MCG	Futuro / cenário		JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
<b>INMET</b>	<b>OBSERVADO</b>		121,23	116,06	103,18	104,63	139,03	144,30	121,24	125,77	136,74	107,47	118,80	115,09
<b>Geral (G)</b>	<b>FP RCP 2.6</b>	<i>delta change</i>	4,77%	3,88%	6,80%	8,47%	5,99%	0,26%	0,61%	4,91%	1,29%	2,47%	8,24%	4,69%
		<b>Projeção (mm)</b>	127,01	120,56	110,19	113,49	147,36	144,68	121,98	131,94	138,51	110,13	128,59	120,49
	<b>FD RCP 2.6</b>	<i>delta change</i>	3,00%	5,34%	4,28%	9,36%	7,44%	3,02%	1,74%	4,71%	-4,60%	2,00%	7,06%	2,78%
		<b>Projeção (mm)</b>	124,87	122,26	107,59	114,42	149,37	148,66	123,35	131,69	130,45	109,63	127,19	118,29
	<b>FP RCP 8.5</b>	<i>delta change</i>	6,18%	6,95%	12,01%	9,06%	11,26%	9,02%	-1,95%	-6,34%	-3,59%	2,12%	10,39%	6,91%
		<b>Projeção (mm)</b>	128,73	124,12	115,57	114,11	154,69	157,31	118,88	117,79	131,83	109,75	131,15	123,04
	<b>FD RCP 8.5</b>	<i>delta change</i>	15,62%	11,44%	13,57%	17,54%	26,63%	25,67%	5,55%	6,17%	4,03%	-0,54%	15,59%	10,01%
		<b>Projeção (mm)</b>	140,17	129,33	117,18	122,98	176,06	181,34	127,97	133,53	142,24	106,89	137,32	126,62
<b>Melhores (M)</b>	<b>FP RCP 2.6</b>	<i>delta change</i>	4,18%	5,34%	6,35%	10,17%	8,45%	-10,02%	0,32%	3,81%	-0,65%	1,90%	9,87%	6,94%
		<b>Projeção (mm)</b>	126,29	122,25	109,74	115,26	150,78	129,83	121,63	130,57	135,85	109,52	130,52	123,08
	<b>FD RCP 2.6</b>	<i>delta change</i>	-5,33%	5,34%	6,85%	9,36%	3,34%	-3,28%	2,20%	-1,07%	-3,94%	1,83%	7,55%	13,27%
		<b>Projeção (mm)</b>	114,77	122,26	110,25	114,42	143,68	139,57	123,90	124,42	131,35	109,44	127,77	130,36
	<b>FP RCP 8.5</b>	<i>delta change</i>	4,01%	5,39%	11,82%	9,06%	17,78%	-1,89%	2,06%	-11,15%	-2,50%	6,69%	11,60%	9,48%
		<b>Projeção (mm)</b>	126,09	122,31	115,38	114,11	163,76	141,57	123,74	111,75	133,31	114,66	132,59	126,00
	<b>FD RCP 8.5</b>	<i>delta change</i>	9,25%	18,47%	16,71%	22,65%	28,99%	24,17%	6,67%	-2,09%	4,45%	-2,92%	17,54%	8,19%
		<b>Projeção (mm)</b>	132,45	137,49	120,42	128,32	179,33	179,18	129,33	123,15	142,82	104,33	139,63	124,52

FP: Futuro próximo (2011-2055)

FD: Futuro distante (2056-2100)

#### H.4 Projeções de alterações na precipitação para Planalto Meridional

Conjunto MCG	Futuro / cenário	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	
<b>INMET</b>	<b>OBSERVADO</b>	145,19	130,65	114,14	112,98	133,09	130,20	141,25	153,26	174,82	133,91	149,73	145,92	
<b>Geral (G)</b>	<b>FP RCP 2.6</b>	<i>delta change</i>	3,95%	2,87%	3,15%	5,37%	5,45%	8,79%	-3,32%	6,97%	1,70%	2,62%	7,46%	3,46%
		<b>Projeção (mm)</b>	150,92	134,40	117,73	119,05	140,35	141,65	136,56	163,95	177,80	137,42	160,89	150,97
	<b>FD RCP 2.6</b>	<i>delta change</i>	3,74%	2,92%	1,53%	6,65%	8,37%	-1,82%	-1,30%	1,15%	-4,56%	5,79%	6,95%	3,87%
		<b>Projeção (mm)</b>	150,61	134,46	115,88	120,48	144,23	127,84	139,41	155,02	166,85	141,66	160,14	151,57
	<b>FP RCP 8.5</b>	<i>delta change</i>	3,38%	4,89%	3,55%	7,00%	13,19%	9,64%	-8,34%	-1,28%	-3,11%	5,94%	12,40%	5,37%
		<b>Projeção (mm)</b>	150,09	137,04	118,19	120,88	150,66	142,75	129,46	151,29	169,39	141,87	168,30	153,75
	<b>FD RCP 8.5</b>	<i>delta change</i>	9,88%	5,84%	2,71%	19,82%	24,34%	21,29%	1,90%	2,10%	3,06%	8,09%	22,75%	10,18%
		<b>Projeção (mm)</b>	159,53	138,28	117,23	135,37	165,49	157,93	143,93	156,49	180,18	144,74	183,79	160,79
<b>Melhores (M)</b>	<b>FP RCP 2.6</b>	<i>delta change</i>	-0,03%	3,31%	2,53%	0,77%	13,82%	7,67%	-3,00%	4,88%	-1,08%	3,95%	14,67%	3,20%
		<b>Projeção (mm)</b>	145,15	134,97	117,02	113,85	151,48	140,19	137,01	160,75	172,94	139,20	171,70	150,59
	<b>FD RCP 2.6</b>	<i>delta change</i>	0,25%	0,12%	-2,77%	4,47%	17,48%	12,67%	7,10%	2,18%	-1,57%	14,64%	18,26%	4,54%
		<b>Projeção (mm)</b>	145,55	130,81	110,97	118,03	156,36	146,70	151,28	156,60	172,08	153,52	177,08	152,55
	<b>FP RCP 8.5</b>	<i>delta change</i>	-0,86%	-0,44%	5,25%	8,35%	25,63%	11,64%	-8,20%	-2,30%	3,21%	9,13%	19,18%	5,72%
		<b>Projeção (mm)</b>	143,94	130,07	120,12	122,41	167,21	145,36	129,66	149,73	180,43	146,14	178,45	154,27
	<b>FD RCP 8.5</b>	<i>delta change</i>	-0,39%	8,95%	1,27%	27,41%	27,96%	26,99%	-2,91%	-2,09%	10,23%	17,63%	44,32%	8,89%
		<b>Projeção (mm)</b>	144,62	142,34	115,58	143,94	170,31	165,35	137,13	150,05	192,71	157,52	216,08	158,90

FP: Futuro próximo (2011-2055)

FD: Futuro distante (2056-2100)

### H.5 Projeções de alterações na precipitação para Planície Costeira

Conjunto MCG	Futuro / cenário	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	
<b>INMET</b>	<b>OBSERVADO</b>	113,78	119,23	84,89	85,30	106,60	110,22	119,03	119,46	102,72	89,67	97,60	96,88	
<b>Geral (G)</b>	<b>FP RCP 2.6</b>	<i>delta change</i>	-27,42%	-25,11%	-16,28%	-4,46%	4,08%	10,19%	-2,03%	10,64%	-15,76%	-27,46%	-28,34%	-29,88%
		<b>Projeção (mm)</b>	82,58	89,29	71,07	81,49	110,94	121,45	116,61	132,17	86,53	65,05	69,94	67,93
	<b>FD RCP 2.6</b>	<i>delta change</i>	-27,72%	-23,13%	-13,12%	-1,43%	17,56%	6,79%	4,34%	1,33%	-11,97%	-24,38%	-27,64%	-28,53%
		<b>Projeção (mm)</b>	82,24	91,65	73,76	84,08	125,32	117,70	124,20	121,04	90,42	67,81	70,62	69,23
	<b>FP RCP 8.5</b>	<i>delta change</i>	-27,12%	-23,67%	-12,39%	-2,73%	13,60%	18,61%	3,69%	-0,45%	-14,95%	-26,22%	-23,70%	-27,93%
		<b>Projeção (mm)</b>	82,92	91,00	74,37	82,97	121,09	130,73	123,42	118,92	87,36	66,16	74,47	69,82
	<b>FD RCP 8.5</b>	<i>delta change</i>	-18,99%	-23,21%	-12,62%	17,03%	30,76%	28,47%	4,07%	10,86%	-9,07%	-28,20%	-21,29%	-25,74%
		<b>Projeção (mm)</b>	92,18	91,55	74,18	99,82	139,38	141,59	123,88	132,42	93,41	64,39	76,82	71,94
<b>Melhores (M)</b>	<b>FP RCP 2.6</b>	<i>delta change</i>	-25,07%	-23,67%	-16,80%	12,63%	26,88%	1,47%	16,02%	21,27%	-1,38%	-21,61%	-32,87%	-30,54%
		<b>Projeção (mm)</b>	85,26	91,01	70,63	96,07	135,24	111,84	138,10	144,87	101,30	70,29	65,52	67,29
	<b>FD RCP 2.6</b>	<i>delta change</i>	-32,67%	-20,50%	-10,59%	25,66%	18,79%	4,69%	19,43%	11,30%	-9,73%	-15,35%	-30,35%	-28,83%
		<b>Projeção (mm)</b>	76,60	94,79	75,91	107,19	126,63	115,39	142,16	132,95	92,72	75,91	67,98	68,95
	<b>FP RCP 8.5</b>	<i>delta change</i>	-31,09%	-22,73%	-6,25%	24,03%	23,68%	25,02%	12,36%	14,74%	-5,45%	-11,67%	-28,33%	-29,36%
		<b>Projeção (mm)</b>	78,41	92,13	79,59	105,79	131,84	137,79	133,75	137,06	97,12	79,21	69,94	68,43
	<b>FD RCP 8.5</b>	<i>delta change</i>	-26,47%	-12,53%	-9,44%	25,83%	35,01%	29,13%	28,08%	10,37%	1,97%	-8,56%	-18,98%	-35,05%
		<b>Projeção (mm)</b>	83,67	104,29	76,88	107,33	143,91	142,32	152,46	131,84	104,74	82,00	79,07	62,92

FP: Futuro próximo (2011-2055)

FD: Futuro distante (2056-2100)



**APÊNDICE I: Projeções de alterações na radiação solar incidente calculadas mensalmente para cada futuro/cenário e cada região geomorfológica considerada – mediana do conjunto geral de modelos (G) e do conjunto de melhores modelos (M)**

**I.1 Projeções de alterações na radiação solar incidente (em W/m<sup>2</sup>) para Cuesta do Haedo**

Conjunto MCG	Futuro / cenário	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
Geral (G)	FP RCP 2.6	1,39	0,12	-0,05	-1,40	-0,23	-0,82	0,65	0,17	-0,55	0,81	-2,27	0,38
	FD RCP 2.6	0,69	0,03	1,53	-1,46	-0,53	0,02	1,38	2,34	2,01	2,72	-0,88	1,57
	FP RCP 8.5	-0,63	-0,68	-0,78	-0,12	-1,49	-0,66	0,60	1,03	0,22	-0,91	-3,15	-0,26
	FD RCP 8.5	1,04	-0,52	1,04	-2,61	-2,65	-2,86	0,09	-1,56	-3,12	-2,11	-2,96	-1,94
Melhores (M)	FP RCP 2.6	-3,58	1,65	0,66	-1,51	0,61	-0,79	-0,76	1,07	0,85	-0,18	-3,21	1,52
	FD RCP 2.6	-0,48	3,99	1,95	-2,32	-0,40	0,04	0,37	2,88	2,38	3,48	-2,04	-1,06
	FP RCP 8.5	-1,77	1,08	2,47	-1,14	1,20	-0,31	1,42	3,22	0,38	-2,79	-2,77	4,04
	FD RCP 8.5	-1,00	7,82	3,87	-0,75	2,98	-3,16	-1,54	-1,34	-3,19	-6,42	-8,68	4,47

FP: Futuro próximo (2011-2055)

FD: Futuro distante (2056-2100)

**I.2 Projeções de alterações na radiação solar incidente (em W/m<sup>2</sup>) para Depressão Central**

Conjunto MCG	Futuro / cenário	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
Geral (G)	FP RCP 2.6	-0,86	-1,19	-0,45	-1,80	-0,35	-0,80	-0,05	-0,55	-2,29	0,22	-2,99	-1,49
	FD RCP 2.6	1,15	0,51	1,70	-2,19	-1,04	-0,01	0,52	1,27	1,28	1,59	-2,68	0,08
	FP RCP 8.5	-0,34	0,69	-1,15	-0,82	-1,69	-0,73	0,16	0,15	0,34	-1,27	-4,42	-1,29
	FD RCP 8.5	-0,18	-0,67	0,75	-3,35	-2,76	-2,64	0,97	-1,20	-3,81	-1,63	-4,09	1,10
Melhores (M)	FP RCP 2.6	-1,93	2,17	0,57	-3,60	-1,04	0,13	-0,78	-1,22	0,65	-0,96	-4,61	-0,53
	FD RCP 2.6	-1,78	1,49	3,68	-2,46	-1,10	0,03	-0,59	-0,07	1,45	0,80	-3,63	0,21
	FP RCP 8.5	-4,45	1,36	0,05	-1,96	0,12	0,84	-2,37	2,50	1,44	-1,88	-5,84	-0,87
	FD RCP 8.5	-6,38	8,12	2,09	0,50	-1,48	-3,16	-4,06	-2,81	-2,70	-7,03	-7,03	1,34

FP: Futuro próximo (2011-2055)

FD: Futuro distante (2056-2100)

### I.3 Projeções de alterações na radiação solar incidente (em W/m<sup>2</sup>) para Escudo Cristalino

Conjunto MCG	Futuro / cenário	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
Geral (G)	FP RCP 2.6	-1,10	-0,68	-1,00	-1,67	-0,75	-0,36	0,21	-0,34	-0,09	0,67	-2,13	-2,87
	FD RCP 2.6	0,75	0,96	0,94	-1,65	-0,92	0,03	0,41	1,54	1,58	1,94	-0,07	0,39
	FP RCP 8.5	-4,07	-1,32	-0,71	-0,89	-1,97	-1,05	-0,08	0,34	0,14	-1,26	-3,51	-3,01
	FD RCP 8.5	-1,92	-6,07	-3,23	-2,71	-3,25	-3,68	-0,15	-2,19	-3,70	-0,53	-3,32	-0,44
Melhores (M)	FP RCP 2.6	-2,50	1,61	-0,84	-2,14	-0,76	-1,91	-1,19	-0,78	0,18	-2,18	-4,93	-1,35
	FD RCP 2.6	-1,62	3,75	1,44	-1,69	-1,48	-0,41	-1,05	1,13	0,47	-0,81	-4,08	0,67
	FP RCP 8.5	-8,55	0,86	0,50	-2,68	-1,48	-2,80	-1,54	0,65	0,52	-2,69	-7,67	-0,93
	FD RCP 8.5	-8,84	2,51	-3,58	-5,69	-3,19	-4,31	-3,07	-3,36	-3,70	-6,65	-11,26	0,63

FP: Futuro próximo (2011-2055)

FD: Futuro distante (2056-2100)

### I.4 Projeções de alterações na radiação solar incidente (em W/m<sup>2</sup>) para Planalto Meridional

Conjunto MCG	Futuro / cenário	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
Geral (G)	FP RCP 2.6	0,69	-1,40	0,47	-1,62	0,16	-1,65	0,03	-0,41	-1,22	-0,48	-3,21	-2,06
	FD RCP 2.6	1,43	1,22	2,56	-1,61	-0,68	-0,57	0,43	1,56	1,20	-0,08	-1,29	0,88
	FP RCP 8.5	0,97	0,55	0,54	0,11	-1,98	-0,67	-0,47	0,14	-0,93	-2,58	-4,15	-0,76
	FD RCP 8.5	1,14	-0,98	1,61	-3,62	-2,13	-3,98	0,16	-1,19	-4,27	-3,65	-5,64	0,30
Melhores (M)	FP RCP 2.6	-0,61	0,48	2,78	0,30	0,68	-3,51	-1,52	2,72	0,96	-0,46	-1,23	-1,17
	FD RCP 2.6	-0,10	4,01	4,87	-1,56	0,27	-0,11	-0,33	3,97	0,23	-1,54	0,05	0,02
	FP RCP 8.5	-0,97	6,33	5,01	0,59	-0,08	-1,18	-0,27	2,12	-1,17	-4,33	-3,62	0,89
	FD RCP 8.5	2,52	9,61	6,65	2,66	-0,82	-3,28	-0,28	-1,00	-5,61	-7,17	-1,22	6,08

FP: Futuro próximo (2011-2055)

FD: Futuro distante (2056-2100)

### I.5 Projeções de alterações na radiação solar incidente (em W/m<sup>2</sup>) para Planície Costeira

Conjunto MCG	Futuro / cenário	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
Geral (G)	FP RCP 2.6	-1,16	-0,90	-0,71	-1,27	-0,44	-0,35	0,05	0,42	0,55	0,21	-2,89	-2,98
	FD RCP 2.6	-0,64	0,98	-0,11	-1,65	-1,39	0,02	0,33	1,56	1,61	1,44	-1,38	-0,01
	FP RCP 8.5	-4,00	-0,81	-2,96	-0,39	-2,21	-0,69	-0,53	0,39	0,88	-2,21	-3,94	-2,68
	FD RCP 8.5	-3,06	-6,95	-3,47	-3,36	-3,14	-2,94	-0,61	-1,79	-2,77	-2,71	-3,32	-1,00
Melhores (M)	FP RCP 2.6	-1,51	1,08	0,53	0,10	-0,48	0,43	-0,81	1,59	1,52	-1,75	-3,70	-0,96
	FD RCP 2.6	-0,95	6,49	-0,31	-1,27	-1,39	0,43	-0,30	2,25	1,51	1,25	-1,98	1,30
	FP RCP 8.5	-4,49	1,64	3,11	-0,46	-1,53	-1,69	-0,06	-0,91	-1,92	-2,74	-4,17	-2,88
	FD RCP 8.5	-4,19	5,41	0,93	-0,02	-1,99	-3,18	-1,36	-1,34	-2,52	-4,62	-2,26	-0,48

FP: Futuro próximo (2011-2055)

FD: Futuro distante (2056-2100)

**APÊNDICE J: Projeções de alterações na radiação solar incidente calculadas mensalmente para cada futuro/cenário e cada região geomorfológica considerada – mediana do conjunto geral de modelos (G) e do conjunto de melhores modelos (M)**

**J.1 Projeções de alterações na temperatura (em °C) para Cuesta do Haedo**

Conjunto MCG	Futuro / cenário	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
Geral	FP RCP 2.6	0,94	0,88	0,85	1,02	0,99	0,78	0,70	0,96	0,73	0,87	0,89	0,82
	FD RCP 2.6	1,03	1,05	1,04	1,17	1,28	1,01	0,83	1,18	1,12	1,08	1,04	1,07
	FP RCP 8.5	1,25	1,23	1,32	1,37	1,44	1,16	0,95	1,03	1,14	1,21	1,20	1,28
	FD RCP 8.5	3,61	3,33	3,71	3,59	3,35	3,04	3,01	3,13	3,17	3,34	3,16	3,18
Melhores	FP RCP 2.6	0,83	0,85	0,73	0,83	0,94	0,62	0,70	1,04	1,02	0,57	0,93	0,79
	FD RCP 2.6	1,23	1,28	0,98	1,03	1,24	1,07	0,74	1,19	1,26	0,96	1,08	1,26
	FP RCP 8.5	1,16	1,29	1,11	1,35	1,32	1,40	0,88	1,22	1,24	1,19	1,21	1,25
	FD RCP 8.5	2,83	3,09	3,49	3,61	3,33	3,00	2,30	3,16	3,06	2,81	2,89	3,12

FP: Futuro próximo (2011-2055)

FD: Futuro distante (2056-2100)

**J.2 Projeções de alterações na temperatura (em °C) para Depressão Central**

Conjunto MCG	Futuro / cenário	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
Geral	FP RCP 2.6	0,84	0,85	0,86	0,97	0,91	0,74	0,56	0,87	0,78	0,84	0,77	0,79
	FD RCP 2.6	1,13	1,11	1,09	1,08	1,26	0,99	0,81	1,11	1,12	0,95	1,01	1,03
	FP RCP 8.5	1,13	1,15	1,29	1,30	1,34	1,10	0,79	1,01	1,14	1,07	1,10	1,11
	FD RCP 8.5	3,21	3,11	3,45	3,32	3,15	2,86	2,89	3,08	3,07	3,15	3,06	2,97
Melhores	FP RCP 2.6	1,03	0,98	1,02	0,98	1,23	1,03	0,88	0,92	0,92	1,00	1,24	0,74
	FD RCP 2.6	1,40	1,28	1,17	1,09	1,41	1,20	1,16	1,14	1,16	1,52	1,71	1,28
	FP RCP 8.5	1,31	1,28	1,47	1,50	1,48	1,13	1,32	1,37	1,10	1,32	1,45	1,31
	FD RCP 8.5	3,35	3,23	3,51	3,25	3,42	3,18	3,46	3,26	3,55	3,50	3,44	3,27

FP: Futuro próximo (2011-2055)

FD: Futuro distante (2056-2100)

### J.3 Projeções de alterações na temperatura (em °C) para Escudo Cristalino

Conjunto MCG	Futuro / cenário	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
Geral	FP RCP 2.6	0,79	0,84	0,77	0,90	0,78	0,74	0,61	0,84	0,73	0,80	0,64	0,72
	FD RCP 2.6	1,07	1,06	0,93	1,00	1,14	0,97	0,84	1,05	1,06	0,93	0,95	0,90
	FP RCP 8.5	0,94	1,07	1,24	1,20	1,24	1,02	0,82	1,08	1,10	0,94	1,11	1,01
	FD RCP 8.5	2,80	2,91	3,21	3,10	3,01	2,81	2,81	2,83	2,84	2,88	2,92	2,78
Melhores	FP RCP 2.6	1,07	0,95	0,75	0,84	0,85	0,73	0,81	0,94	0,98	0,91	1,08	0,69
	FD RCP 2.6	1,45	1,27	1,30	0,98	1,27	1,30	1,04	1,09	1,30	1,17	1,05	1,27
	FP RCP 8.5	1,18	1,26	1,24	1,17	1,28	1,28	1,35	1,29	1,22	1,10	1,15	1,12
	FD RCP 8.5	3,32	3,11	3,08	2,96	3,02	2,95	3,17	3,01	3,14	2,94	3,21	3,30

FP: Futuro próximo (2011-2055)

FD: Futuro distante (2056-2100)

### J.4 Projeções de alterações na temperatura (em °C) para Planalto Meridional

Conjunto MCG	Futuro / cenário	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
Geral	FP RCP 2.6	0,88	0,85	0,85	0,95	0,93	0,78	0,64	0,93	0,84	0,89	0,80	0,76
	FD RCP 2.6	1,01	1,08	0,97	1,10	1,27	1,14	0,88	1,10	1,18	1,02	1,04	1,05
	FP RCP 8.5	1,20	1,16	1,31	1,39	1,34	1,21	0,99	1,14	1,20	1,18	1,11	1,10
	FD RCP 8.5	3,28	3,20	3,47	3,42	3,27	3,03	2,93	3,14	3,22	3,30	3,08	2,99
Melhores	FP RCP 2.6	0,90	0,88	0,85	1,08	1,03	0,59	0,80	1,14	0,84	0,87	0,99	0,74
	FD RCP 2.6	1,14	1,07	1,15	1,38	1,12	0,91	0,95	1,46	1,27	1,07	1,26	1,13
	FP RCP 8.5	1,11	1,16	1,40	1,57	1,49	1,24	1,20	1,50	1,62	1,29	1,45	1,19
	FD RCP 8.5	3,52	3,44	3,66	3,72	3,48	2,91	3,29	3,81	3,66	3,56	3,46	3,25

FP: Futuro próximo (2011-2055)

FD: Futuro distante (2056-2100)

### J.5 Projeções de alterações na temperatura (em °C) para Planície Costeira

Conjunto MCG	Futuro / cenário	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
Geral	FP RCP 2.6	0,78	0,79	0,75	0,84	0,81	0,72	0,64	0,82	0,67	0,77	0,61	0,70
	FD RCP 2.6	1,00	1,06	0,91	0,93	1,10	0,97	0,90	0,98	1,05	0,88	0,88	0,86
	FP RCP 8.5	0,91	1,01	1,06	1,14	1,05	1,00	0,81	1,01	1,04	0,89	1,01	0,95
	FD RCP 8.5	2,53	2,63	2,77	2,87	2,66	2,61	2,58	2,67	2,67	2,54	2,66	2,62
Melhores	FP RCP 2.6	0,88	0,96	0,90	0,86	0,93	0,90	0,70	0,83	0,97	0,93	1,12	0,78
	FD RCP 2.6	1,30	1,13	1,01	0,96	1,19	1,23	1,07	0,92	1,23	1,08	1,19	1,11
	FP RCP 8.5	1,18	1,25	1,29	1,17	1,30	1,26	1,23	1,16	1,09	1,16	1,25	1,10
	FD RCP 8.5	3,18	3,05	3,06	2,99	3,01	2,85	3,15	2,95	3,05	3,03	3,07	3,04

FP: Futuro próximo (2011-2055)

FD: Futuro distante (2056-2100)

**APÊNDICE K: Projeções futuras de precipitação simuladas para cada futuro/cenário e cada região geomorfológica considerada –  
médias do conjunto geral de modelos (G) e do conjunto de melhores modelos (M)**

**K.1 Projeções futuras de precipitação (em mm) para Cuesta do Haedo**

Conjunto MCG	Futuro / cenário	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
Geral (G)	FP RCP 2.6	113,09	141,40	139,04	137,40	111,25	86,33	77,59	89,01	110,70	140,63	116,61	132,48
	FD RCP 2.6	112,50	140,57	133,02	141,81	110,80	77,74	74,46	88,18	106,46	140,47	117,97	133,93
	FP RCP 8.5	113,82	141,97	141,03	139,74	116,59	87,25	74,51	79,59	106,14	146,53	117,67	136,53
	FD RCP 8.5	122,17	141,54	141,68	150,79	123,49	95,84	77,85	86,69	106,69	141,29	128,70	146,15
Melhores (M)	FP RCP 2.6	107,67	141,41	137,01	138,64	108,39	84,50	78,77	88,26	107,66	137,77	122,42	132,90
	FD RCP 2.6	104,91	138,16	129,96	145,19	113,99	79,19	77,94	85,44	105,26	146,98	126,33	138,44
	FP RCP 8.5	107,84	133,81	142,20	140,31	116,86	87,26	76,38	77,29	114,12	146,56	127,56	139,14
	FD RCP 8.5	114,62	140,12	138,32	159,09	124,08	92,42	72,90	75,09	95,22	145,27	141,06	148,68

FP: Futuro próximo (2011-2055)      FD: Futuro distante (2056-2100)

**K.2 Projeções futuras de precipitação (em mm) para Depressão Central**

Conjunto MCG	Futuro / cenário	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
Geral (G)	FP RCP 2.6	133,29	125,06	121,40	133,66	122,61	128,25	132,55	121,63	127,43	141,52	111,69	132,61
	FD RCP 2.6	133,22	127,11	120,09	137,93	125,28	121,20	132,50	120,88	122,69	145,09	113,98	134,65
	FP RCP 8.5	136,14	127,33	128,90	133,18	127,05	135,42	125,86	112,96	121,39	142,55	113,01	135,15
	FD RCP 8.5	145,74	131,47	129,44	151,93	142,00	148,67	137,87	120,10	125,37	143,76	123,50	142,90
Melhores (M)	FP RCP 2.6	125,68	127,07	121,02	131,66	117,64	126,24	132,28	120,53	120,58	143,97	117,89	133,45
	FD RCP 2.6	125,66	118,93	117,26	140,84	123,71	121,19	135,34	107,02	122,54	154,67	127,34	138,98
	FP RCP 8.5	126,79	126,17	126,48	139,27	127,05	139,70	118,39	112,96	125,38	153,37	124,36	136,14
	FD RCP 8.5	128,64	126,71	126,76	157,36	143,03	148,87	133,31	106,66	124,44	163,11	139,05	142,90

FP: Futuro próximo (2011-2055)      FD: Futuro distante (2056-2100)

### K.3 Projeções futuras de precipitação (em mm) para Escudo Cristalino

Conjunto MCG	Futuro / cenário	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
Geral (G)	FP RCP 2.6	121,54	129,33	122,48	111,70	110,68	142,93	141,84	129,24	127,46	139,58	114,07	123,97
	FD RCP 2.6	119,32	132,27	120,59	112,64	113,73	138,76	142,33	127,39	123,79	141,14	117,43	125,57
	FP RCP 8.5	125,02	129,66	129,99	112,53	116,41	151,57	141,49	113,54	121,26	139,63	118,64	127,01
	FD RCP 8.5	132,65	141,04	132,39	127,34	130,58	174,26	151,32	128,18	126,81	142,24	125,87	132,64
Melhores (M)	FP RCP 2.6	117,74	131,81	121,99	115,50	112,53	124,14	139,17	124,65	125,81	140,50	118,01	123,98
	FD RCP 2.6	112,36	134,74	124,05	117,05	111,40	137,19	145,32	119,19	128,30	142,26	120,27	135,38
	FP RCP 8.5	117,83	127,77	129,77	112,53	123,23	136,41	147,28	107,72	122,62	145,88	119,94	130,06
	FD RCP 8.5	125,80	143,43	136,66	132,12	133,16	166,16	155,24	120,97	128,47	143,29	129,97	137,27

FP: Futuro próximo (2011-2055)

FD: Futuro distante (2056-2100)

### K.4 Projeções futuras de precipitação (em mm) para Planalto Meridional

Conjunto MCG	Futuro / cenário	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
Geral (G)	FP RCP 2.6	152,49	150,09	134,07	119,97	123,59	144,71	126,32	150,14	160,88	180,25	144,44	155,87
	FD RCP 2.6	151,26	152,07	131,24	125,32	123,97	135,26	126,40	142,80	151,94	183,57	147,49	160,15
	FP RCP 8.5	150,17	152,29	135,29	122,13	127,88	145,92	119,34	139,43	148,50	185,21	150,52	157,76
	FD RCP 8.5	161,80	160,37	138,64	137,85	142,67	165,16	131,73	146,52	158,98	188,03	167,89	170,20
Melhores (M)	FP RCP 2.6	146,11	149,03	130,62	120,10	124,62	142,43	127,02	150,84	163,59	185,03	155,11	155,30
	FD RCP 2.6	144,80	144,54	129,51	123,18	128,78	145,86	134,33	139,89	156,38	196,89	158,85	161,33
	FP RCP 8.5	142,09	144,54	137,50	123,67	141,93	148,59	119,53	137,99	158,18	190,79	159,60	158,29
	FD RCP 8.5	149,99	159,32	139,24	145,46	150,39	167,24	129,57	137,21	164,49	212,00	185,37	172,81

FP: Futuro próximo (2011-2055)

FD: Futuro distante (2056-2100)



### K.5 Projeções futuras de precipitação (em mm) para Planície Costeira

Conjunto MCG	Futuro / cenário	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
Geral (G)	FP RCP 2.6	65,57	80,71	98,75	86,74	96,29	123,84	117,47	133,65	107,89	77,70	64,11	64,22
	FD RCP 2.6	64,39	84,17	96,76	88,30	98,24	121,04	121,35	128,16	107,54	80,58	66,69	65,37
	FP RCP 8.5	66,65	86,84	104,45	82,58	96,90	126,43	114,28	118,50	101,60	75,78	68,42	70,33
	FD RCP 8.5	71,47	89,63	103,68	100,16	112,64	148,66	127,90	135,09	109,30	81,05	71,63	69,22
Melhores (M)	FP RCP 2.6	64,58	84,43	104,17	92,31	99,58	126,10	127,37	139,10	109,72	83,27	66,85	63,20
	FD RCP 2.6	58,63	83,33	107,60	96,79	107,64	128,64	132,97	129,95	115,17	90,27	68,04	65,56
	FP RCP 8.5	61,71	87,92	111,77	105,29	105,50	133,26	123,84	136,57	112,95	90,73	64,26	68,94
	FD RCP 8.5	66,34	92,90	107,18	100,58	118,90	156,47	143,68	137,09	119,56	93,67	75,32	63,99

FP: Futuro próximo (2011-2055)

FD: Futuro distante (2056-2100)

**APÊNDICE L: Projeções futuras de radiação solar incidente simuladas para cada futuro/cenário e cada região geomorfológica considerada – médias do conjunto geral de modelos (G) e do conjunto de melhores modelos (M)**

**L.1 Projeções futuras de radiação solar incidente (em W/m<sup>2</sup>) para Cuesta do Haedo**

Conjunto MCG	Futuro / cenário	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
<b>Geral (G)</b>	<b>FP RCP 2.6</b>	275,94	247,76	210,73	162,59	124,67	96,78	110,27	139,19	180,45	225,55	263,26	279,64
	<b>FD RCP 2.6</b>	276,39	248,26	211,74	162,12	124,82	97,44	110,75	140,99	183,04	226,82	263,55	279,62
	<b>FP RCP 8.5</b>	275,68	247,73	210,42	163,08	123,20	96,30	110,49	140,68	180,77	224,90	261,51	278,60
	<b>FD RCP 8.5</b>	276,03	248,74	212,26	161,82	122,32	95,03	110,16	138,76	179,38	224,44	261,57	279,19
<b>Melhores (M)</b>	<b>FP RCP 2.6</b>	273,43	249,34	211,15	162,09	126,25	96,46	109,63	141,31	180,54	222,47	261,38	280,09
	<b>FD RCP 2.6</b>	273,46	251,80	213,15	160,32	125,80	98,43	109,72	142,04	182,92	224,45	262,20	279,21
	<b>FP RCP 8.5</b>	273,28	250,65	212,03	162,89	124,17	96,43	110,97	143,21	180,51	222,24	261,16	280,16
	<b>FD RCP 8.5</b>	274,79	252,82	216,17	162,19	124,73	95,50	107,88	139,02	178,69	222,98	259,86	280,39

FP: Futuro próximo (2011-2055)

FD: Futuro distante (2056-2100)

**L.2 Projeções futuras de radiação solar incidente (em W/m<sup>2</sup>) para Depressão Central**

Conjunto MCG	Futuro / cenário	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
<b>Geral (G)</b>	<b>FP RCP 2.6</b>	262,26	238,62	203,00	156,93	119,08	94,24	102,39	128,56	168,34	214,96	252,72	269,56
	<b>FD RCP 2.6</b>	263,17	240,28	204,03	156,50	119,08	95,17	102,86	130,28	170,53	216,66	253,10	270,32
	<b>FP RCP 8.5</b>	261,14	238,97	202,80	157,52	117,80	94,09	102,67	130,18	168,76	214,85	251,19	268,08
	<b>FD RCP 8.5</b>	261,04	238,57	203,28	155,39	116,48	92,78	102,72	128,31	167,49	214,83	251,72	269,51
<b>Melhores (M)</b>	<b>FP RCP 2.6</b>	260,30	239,76	204,24	156,20	119,55	94,07	101,86	129,86	168,70	213,00	251,08	268,59
	<b>FD RCP 2.6</b>	260,95	243,15	206,18	154,87	119,44	95,90	101,62	130,16	171,01	213,89	252,07	269,22
	<b>FP RCP 8.5</b>	257,74	240,28	204,34	156,71	118,38	94,37	101,21	131,55	170,15	212,75	249,40	267,95
	<b>FD RCP 8.5</b>	254,73	239,70	204,70	155,01	117,18	92,94	99,74	126,62	166,74	213,28	249,03	266,81

FP: Futuro próximo (2011-2055)

FD: Futuro distante (2056-2100)

### L.3 Projeções futuras de radiação solar incidente (em W/m<sup>2</sup>) para Escudo Cristalino

Conjunto MCG	Futuro / cenário	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
Geral (G)	FP RCP 2.6	255,70	230,42	200,83	152,86	120,57	97,24	104,57	128,27	160,33	202,43	245,62	262,61
	FD RCP 2.6	256,66	231,81	202,35	153,38	120,98	97,92	104,92	129,99	161,77	204,04	246,23	262,91
	FP RCP 8.5	253,27	230,51	201,03	153,49	119,26	96,74	104,40	129,53	160,24	201,86	243,69	260,43
	FD RCP 8.5	253,35	229,31	200,40	151,12	117,84	95,42	104,62	127,61	158,60	201,98	244,06	261,92
Melhores (M)	FP RCP 2.6	254,12	231,53	201,13	152,19	120,82	96,41	103,42	128,92	159,86	200,11	243,39	262,79
	FD RCP 2.6	253,75	234,78	203,77	152,18	120,90	97,74	103,41	129,53	161,30	201,17	244,08	261,98
	FP RCP 8.5	249,55	232,22	202,17	152,53	119,05	95,77	103,13	130,17	160,17	199,10	239,74	260,59
	FD RCP 8.5	247,48	230,56	199,97	149,24	117,85	94,48	101,69	125,71	156,80	199,41	238,85	259,53

FP: Futuro próximo (2011-2055)

FD: Futuro distante (2056-2100)

### L.4 Projeções futuras de radiação solar incidente (em W/m<sup>2</sup>) para Planalto Meridional

Conjunto MCG	Futuro / cenário	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
Geral (G)	FP RCP 2.6	256,13	240,91	208,86	167,75	130,12	104,98	115,73	140,06	171,86	212,89	246,79	261,35
	FD RCP 2.6	256,80	241,69	210,09	167,13	130,30	105,64	116,50	142,48	174,71	214,63	248,16	262,05
	FP RCP 8.5	255,50	240,86	209,14	168,07	128,84	105,02	115,75	141,40	172,80	211,90	245,29	260,00
	FD RCP 8.5	256,41	240,54	209,99	165,83	127,43	103,02	115,40	139,97	170,74	211,43	244,84	261,05
Melhores (M)	FP RCP 2.6	255,50	242,52	210,47	168,80	131,59	103,87	114,69	142,38	172,13	210,99	247,97	262,53
	FD RCP 2.6	258,59	244,94	213,12	166,08	131,88	105,74	114,95	144,04	173,20	211,99	247,71	263,09
	FP RCP 8.5	255,01	245,48	213,15	168,63	130,06	105,10	115,83	143,58	172,31	210,05	245,15	263,26
	FD RCP 8.5	257,53	246,37	215,56	167,74	130,63	103,19	113,36	140,36	169,54	210,24	246,11	265,93

FP: Futuro próximo (2011-2055)

FD: Futuro distante (2056-2100)

### L.5 Projeções futuras de radiação solar incidente (em W/m<sup>2</sup>) para Planície Costeira

Conjunto MCG	Futuro / cenário	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
Geral (G)	FP RCP 2.6	266,72	241,16	202,77	160,69	122,99	96,91	105,48	132,52	167,35	210,54	251,15	270,88
	FD RCP 2.6	267,80	242,66	204,13	161,03	123,12	97,64	105,92	134,45	168,08	211,83	252,15	272,05
	FP RCP 8.5	264,98	240,72	202,88	161,16	121,71	96,63	105,20	133,94	166,92	209,98	249,50	269,15
	FD RCP 8.5	264,01	239,29	201,74	158,24	120,28	95,47	105,16	132,16	164,82	209,47	249,41	269,27
Melhores (M)	FP RCP 2.6	265,54	243,10	203,52	161,15	123,35	96,89	104,79	133,81	167,98	208,07	250,53	272,70
	FD RCP 2.6	266,43	246,65	205,19	160,57	123,32	98,05	105,20	134,98	168,00	209,29	251,65	272,35
	FP RCP 8.5	263,33	244,36	204,43	161,16	121,80	96,28	105,20	134,69	165,45	207,02	247,69	268,91
	FD RCP 8.5	263,25	244,59	203,99	159,33	122,09	95,71	103,08	131,39	164,34	208,15	246,81	268,49

FP: Futuro próximo (2011-2055)

FD: Futuro distante (2056-2100)

**APÊNDICE M: Projeções futuras de temperatura simuladas para cada futuro/cenário e cada região geomorfológica considerada –  
médias do conjunto geral de modelos (G) e do conjunto de melhores modelos (M)**

**M.1 Projeções futuras de temperatura (em °C) para Cuesta do Haedo**

Conjunto MCG	Futuro / cenário	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
<b>Geral (G)</b>	<b>FP RCP 2.6</b>	25,80	24,70	23,04	19,60	16,61	13,92	13,75	14,86	16,47	19,53	21,91	24,30
	<b>FD RCP 2.6</b>	26,02	24,83	23,30	19,75	16,84	14,21	13,97	15,08	16,91	19,72	22,09	24,47
	<b>FP RCP 8.5</b>	26,12	24,98	23,42	19,90	16,94	14,32	14,03	15,18	16,93	19,86	22,25	24,61
	<b>FD RCP 8.5</b>	28,26	27,14	25,70	22,01	18,76	16,04	15,91	17,12	18,92	21,91	24,21	26,69
<b>Melhores (M)</b>	<b>FP RCP 2.6</b>	25,96	24,81	23,00	19,59	16,65	13,80	13,72	14,96	16,57	19,46	22,04	24,35
	<b>FD RCP 2.6</b>	26,15	24,98	23,30	19,79	16,92	14,29	14,02	15,20	16,99	19,71	22,16	24,61
	<b>FP RCP 8.5</b>	26,25	25,22	23,41	19,97	16,98	14,49	14,16	15,26	17,08	19,81	22,31	24,74
	<b>FD RCP 8.5</b>	28,43	27,30	25,78	22,06	18,88	16,15	15,77	17,06	18,82	21,70	24,22	26,92

FP: Futuro próximo (2011-2055)      FD: Futuro distante (2056-2100)

**M.2 Projeções futuras de temperatura (em °C) para Depressão Central**

Conjunto MCG	Futuro / cenário	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
<b>Geral (G)</b>	<b>FP RCP 2.6</b>	24,80	24,03	22,48	19,25	16,34	14,14	13,86	14,95	16,59	19,23	21,40	23,92
	<b>FD RCP 2.6</b>	25,04	24,19	22,72	19,43	16,57	14,39	14,10	15,14	16,97	19,45	21,63	24,13
	<b>FP RCP 8.5</b>	25,10	24,34	22,86	19,55	16,69	14,52	14,16	15,25	16,98	19,56	21,74	24,24
	<b>FD RCP 8.5</b>	27,05	26,22	24,85	21,49	18,43	16,23	15,98	17,12	18,85	21,43	23,55	26,15
<b>Melhores (M)</b>	<b>FP RCP 2.6</b>	24,94	24,13	22,65	19,28	16,62	14,38	13,90	14,89	16,85	19,42	21,61	23,95
	<b>FD RCP 2.6</b>	25,21	24,33	22,85	19,40	16,89	14,52	14,29	15,10	17,13	19,76	21,99	24,34
	<b>FP RCP 8.5</b>	25,40	24,49	23,11	19,73	17,06	14,70	14,41	15,41	17,21	19,83	21,98	24,48
	<b>FD RCP 8.5</b>	27,53	26,69	25,30	21,82	18,91	16,64	16,59	17,26	19,25	22,02	24,21	26,57

FP: Futuro próximo (2011-2055)      FD: Futuro distante (2056-2100)

### M.3 Projeções futuras de temperatura (em °C) para Escudo Cristalino

Conjunto MCG	Futuro / cenário	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
Geral (G)	FP RCP 2.6	23,07	22,58	21,37	18,46	15,67	13,26	12,76	13,84	15,04	17,50	19,66	22,04
	FD RCP 2.6	23,29	22,74	21,61	18,65	15,90	13,51	13,00	14,02	15,40	17,72	19,87	22,22
	FP RCP 8.5	23,31	22,83	21,73	18,74	16,00	13,62	13,04	14,11	15,40	17,78	19,96	22,29
	FD RCP 8.5	25,16	24,60	23,55	20,53	17,63	15,22	14,76	15,84	17,09	19,47	21,61	24,10
Melhores (M)	FP RCP 2.6	23,29	22,82	21,43	18,55	15,74	13,35	12,84	14,02	15,28	17,63	19,92	22,05
	FD RCP 2.6	23,63	23,09	21,73	18,69	16,06	13,88	13,26	14,16	15,70	17,91	20,16	22,41
	FP RCP 8.5	23,51	23,10	21,83	18,84	16,10	13,91	13,38	14,32	15,71	17,86	20,13	22,36
	FD RCP 8.5	25,60	25,11	23,81	20,65	17,91	15,51	15,14	16,09	17,44	19,74	21,97	24,30

FP: Futuro próximo (2011-2055)

FD: Futuro distante (2056-2100)

### M.4 Projeções futuras de temperatura (em °C) para Planalto Meridional

Conjunto MCG	Futuro / cenário	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
Geral (G)	FP RCP 2.6	23,24	22,84	21,63	18,74	15,93	14,08	13,69	15,00	16,31	18,62	20,54	22,44
	FD RCP 2.6	23,45	22,99	21,83	18,93	16,16	14,35	13,92	15,21	16,72	18,86	20,75	22,65
	FP RCP 8.5	23,58	23,19	22,02	19,08	16,31	14,49	14,00	15,28	16,72	18,99	20,90	22,79
	FD RCP 8.5	25,55	25,08	23,99	21,04	18,10	16,28	15,90	17,27	18,69	20,94	22,72	24,67
Melhores (M)	FP RCP 2.6	23,31	23,02	21,67	18,84	15,93	13,87	13,73	15,09	16,41	18,69	20,71	22,48
	FD RCP 2.6	23,55	23,13	21,92	19,15	16,13	14,16	13,92	15,45	16,89	18,86	20,99	22,78
	FP RCP 8.5	23,68	23,40	22,10	19,28	16,32	14,41	14,20	15,41	17,05	19,11	21,10	22,89
	FD RCP 8.5	25,97	25,55	24,29	21,30	18,21	16,24	16,14	17,80	19,20	21,19	23,04	25,01

FP: Futuro próximo (2011-2055)

FD: Futuro distante (2056-2100)

### M.5 Projeções futuras de temperatura (em °C) para Planície Costeira

Conjunto MCG	Futuro / cenário	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
Geral (G)	FP RCP 2.6	24,08	24,05	22,75	19,75	16,76	14,27	13,69	14,64	16,01	18,46	20,61	22,72
	FD RCP 2.6	24,29	24,21	22,95	19,93	16,98	14,52	13,95	14,83	16,34	18,70	20,82	22,92
	FP RCP 8.5	24,33	24,29	23,09	20,02	17,04	14,60	13,97	14,88	16,33	18,71	20,87	22,97
	FD RCP 8.5	26,05	25,95	24,75	21,64	18,53	16,08	15,59	16,50	17,90	20,30	22,41	24,61
Melhores (M)	FP RCP 2.6	24,20	24,19	22,82	19,84	16,87	14,47	13,73	14,69	16,21	18,71	20,82	22,75
	FD RCP 2.6	24,55	24,43	23,00	19,89	17,03	14,82	14,10	14,85	16,49	18,91	21,07	23,06
	FP RCP 8.5	24,57	24,53	23,29	20,17	17,16	14,95	14,22	15,06	16,57	18,91	21,10	23,15
	FD RCP 8.5	26,48	26,37	25,16	22,06	18,99	16,51	16,06	16,77	18,35	20,74	22,86	24,94

FP: Futuro próximo (2011-2055)

FD: Futuro distante (2056-2100)