

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS
Centro de Engenharias
Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais



Dissertação de Mestrado

**Impactos das mudanças climáticas sobre as demandas de água para irrigação
de culturas de sequeiro na região Sul e Campanha do Rio Grande do Sul**

Iulli Pitone Cardoso

Pelotas, 2020

Iulli Pitone Cardoso

**Impactos das mudanças climáticas sobre as demandas de água para irrigação
de culturas de sequeiro na região Sul e Campanha do Rio Grande do Sul**

Dissertação de Mestrado apresentada ao
Programa de Pós-Graduação em Ciências
Ambientais, do Centro de Engenharias da
Universidade Federal de Pelotas, como requisito
parcial à obtenção de título de Mestre em
Ciências Ambientais.

Orientadora: Prof.^a Dr^a. Tirzah Moreira Siqueira

Co-orientador: Prof. Dr. Luis Carlos Timm

Pelotas, 2020.

Universidade Federal de Pelotas / Sistema de Bibliotecas Catalogação na
Publicação

C268i Cardoso, Iulli Pitone

Impactos das mudanças climáticas sobre as demandas de água para irrigação de culturas de sequeiro na região sul e campanha do Rio Grande do Sul / Iulli Pitone Cardoso ; Tirzah Moreira Siqueira, orientadora ; Luis Carlos Timm, coorientador. — Pelotas, 2020.
195 f.

Dissertação (Mestrado) — Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Centro de Engenharias, Universidade Federal de Pelotas, 2020.

1. Modelos climáticos. 2. Caminhos representativos de concentração 4.5 e. 3. Disponibilidade hídrica. 4. Swap. I. Siqueira, Tirzah Moreira, orient. II. Timm, Luis Carlos, coorient. III. Título.

CDD : 363,7

Iulli Pitone Cardoso

Impactos das mudanças climáticas sobre as demandas de água para irrigação de culturas de sequeiro na região Sul e Campanha do Rio Grande do Sul

Dissertação aprovada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Ciências Ambientais, Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Centro de Engenharias, Universidade Federal de Pelotas.

Data da Defesa: 06 de março de 2020.

Banca examinadora:

Prof.^a Dr.^a. Tirzah Moreira Siqueira (Orientadora), Doutora em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Prof. Dr. Luis Carlos Timm (Co-orientador), Doutor em Agronomia pela Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz.

Prof. Dr. Andréa Souza Castro, Doutora em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Prof. Dr. Luis Eduardo Akiyoshi Sanches Suzuki, Doutor em Engenharia Florestal pela Universidade Federal de Santa Maria.

Prof. Dr. Viliam Cardoso da Silveira, Doutor em Meteorologia pela Universidade Federal de Santa Maria.

Agradecimentos

Agradeço a Deus por ter me dado força e alento nesses dois anos de mestrado, ajudando-me a enfrentar meus problemas e mostrando-me que sempre é possível seguir em frente quando existe força de vontade.

Agradeço à minha mãe Gizalba, sempre incansável em me ajudar a crescer profissionalmente e pessoalmente, sempre me incentivando e fazendo-me inspirar em sua garra. Claro, também pelo apoio “mãenetário” já que sem ele nada seria possível.

À minha avó Cely e à minha tia avó Eny, por toda ajuda e apoio que sempre me é dado, e por me ensinarem tanto com sua vivência. É muito bom conviver e aprender com vocês.

Agradeço à minha tia Loraine e aos meus dindos Gerusa e Anobel, por todo apoio, conselhos, conversas e carinho. Certamente simples gestos sempre fazem a caminhada ser mais tranquila.

Não posso esquecer de agradecer as minhas mascotes Cristal e Luna, já que cada uma de sua forma (lambeijos e ronrom) sempre estão prontas para me dar forças e carinho, além de serem duas grandes companheiras e amigas.

Agradeço à minha grande amiga Patrícia por toda amizade e carinho durante a caminhada no PPG em Ciências Ambientais que vamos levar para a vida toda, com certeza. Aos meus amigos faraônicos Roberto e Lukas, que sempre se fazem presentes nos momentos bons e ruins, que caminham ao meu lado desde a graduação e sei que se farão presentes em toda minha vida. À minha amiga Jéssica, amizade recente que nasceu em uma disciplina optativa do PPG e que tenho certeza que seguirá firme e forte.

Gostaria de agradecer à minha orientadora Tirzah, por todo carinho, amizade, conversas, ajuda, conselhos, compreensão e paciência comigo. Tu és uma ótima professora, muito dedicada e amiga dos alunos, e foi uma ótima orientadora. Já tens e terás cada vez mais sucesso e reconhecimento, e isso nada mais é que fruto de teu profissionalismo. Tive muita sorte em poder conviver contigo e ser tua orientada. Agradeço também ao meu coorientador Luis Carlos Timm, pelos ensinamentos e por toda ajuda para a conclusão dessa dissertação. Sem a ajuda de vocês esse trabalho não seria concluído.

Agradeço a meu amigo João Pedro Morais da Silveira, que me auxiliou com a organização das variáveis necessárias para a modelagem desse trabalho, tornando o processo mais rápido e eficaz. Não sei nem como agradecer pela ajuda e disponibilidade.

Gostaria de agradecer ao projeto de extensão PAR-AUD, o qual atuei como bolsista de mestrado e que me proporcionou muito crescimento profissional, além de me proporcionar maior tranquilidade para custear meus gastos em Pelotas e com isso concluir o mestrado.

Agradeço aos professores Luis Eduardo Akiyoshi Sanches Suzuki, Andréa Souza Castro e ao Viliam Cardoso por fazerem parte da banca e pelas contribuições que acrescentaram muito à minha pesquisa.

“Não contavam com minha astúcia.”
(Roberto Gómez Bolaños)

Resumo

CARDOSO, Iulli Pitone. **Impactos das mudanças climáticas sobre as demandas de água para irrigação de culturas de sequeiro na região Sul e Campanha do Rio Grande do Sul**. Orientadora: Tirzah Moreira Siqueira. 2020. 195 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) – Centro de Engenharias, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2020.

As alterações nas variáveis climáticas interferem diretamente na produção agrícola de uma determinada região, podendo causar grandes impactos. A metade Sul do Rio Grande do Sul, que compreende as regiões Sul e Campanha, é uma grande produtora de diversos cultivos. Considera-se que a metade Sul está em seu limite máximo de áreas cultiváveis, além de apresentar regimes de precipitação menores do que a metade Norte. Assim, é fundamental a gestão adequada dos recursos naturais disponíveis com a finalidade de obter maior produtividade agrícola, evitando perdas. O CPTEC/INPE disponibiliza na plataforma PROJETA, modelos climáticos globais regionalizados pelo modelo ETA, que possibilitam melhores resultados para modelagens em áreas específicas. O modelo SWAP (*Soil Water Plant Atmosphere*) possibilita simular interações entre fluxo de água, crescimento de plantas, fluxo de calor e transporte de solutos. Com isso, esse trabalho teve como objetivo avaliar a influência das mudanças climáticas na demanda de água para irrigação utilizando três modelos climáticos globais regionalizados pelo modelo ETA (CANESM2, HADGEM2-ES e MIROC5) para o período histórico e dois cenários futuros RCP 4.5 e RCP 8.5, que foram subdivididos em três períodos: F1 (2006-2040), F2 (2041-2070) e F3 (2071-2099), para 27 municípios que estão localizados na região Sul e Campanha do Rio Grande do Sul. Também foi feita uma análise da tendência de dados de precipitação e temperatura média para os períodos de tempo e verificada a existência de anomalias positivas. Foi possível observar a tendência de aumento de temperatura média ao longo deste século, onde as maiores temperaturas ocorrerão no final do século. Para os três modelos climáticos as temperaturas no geral serão mais amenas no cenário RCP 4.5 quando comparadas com o cenário RCP 8.5. Há tendência de aumento de precipitação média acumulada nos períodos futuros analisados. Com isso, apesar de grande parte dos municípios e modelos indicar o aumento nos regimes pluviométricos, há variações entre os municípios, modelos e cenários. As demandas de água da região sul e Campanha apresentaram variações entre cenários e modelos, porém é possível concluir que alguns cenários e modelos projetam o aumento de água para irrigação para alguns municípios, e outros indicam a diminuição da demanda de água para irrigação, quando comparado com o período base. Tal aumento de demanda de água observado pode estar relacionado ao aumento de temperatura média que ocorre até o final do século, fazendo que aumente a transpiração das culturas e ainda, a evaporação da água disponível no solo, o que consequentemente aumenta a demanda de água para irrigação. Cabe salientar que devido ao fato de os cultivos variarem significativamente na área plantada a cada ano, já que a rotação de culturas é uma técnica muito utilizada, os resultados são apenas projeções já que utilizam as áreas e culturas para o ano de 2017 disponibilizados pela Fundação de Economia e Estatística (FEE), para culturas de sequeiro.

Palavras-Chave: Modelos Climáticos. Caminhos Representativos de Concentração 4.5 e 8.5. Disponibilidade Hídrica. SWAP.

Abstract

CARDOSO, Iulli Pitone. **Impacts os climates changes on water demands for irrigating rainfed crops in the South and Campaign in Rio Grande do Sul**. Advisor: Tirzah Moreira Siqueira. 2020. 195 f. Dissertation (Masters in Environmental Science) – Engineering Center, Federal University of Pelotas, Pelotas, 2020.

Changes in climatic variables directly interfere with agricultural production in a given region, and can cause major impacts. The southern half of Rio Grande do Sul, which comprises the South and Campaign regions, is a major producer of various crops. The southern half is considered to be at its maximum limit of cultivable areas, in addition to presenting lower rainfall regimes than the northern half. Thus, it is essential to properly manage the natural resources available in order to obtain greater agricultural productivity, avoiding losses. CPTEC/INPE makes available on the PROJETA platform, global climate models regionalized by the ETA model, which enable better results for modeling in specific areas. The SWAP (Soil Water Plant Atmosphere) model makes it possible to simulate interactions between water flow, plant growth, heat flow and solute transport. Thus, this work aimed to evaluate the influence of climate change on the demand for water for irrigation using three global climate models regionalized by the ETA model (CANESM2, HADGEM2-ES and MIROC5) for the historical period and two future scenarios RCP 4.5 and RCP 8.5, which were subdivided into three periods: F1 (2006-2040), F2 (2041-2070) and F3 (2071-2099), for 27 municipalities that are located in the South and Campaign in Rio Grande do Sul. an analysis of the trend of precipitation data and average temperature for the time periods and verified the existence of positive anomalies. It was possible to observe the trend of increasing average temperature throughout this century, where the highest temperatures will occur at the end of the century. For the three climatic models, temperatures in general will be milder in the RCP 4.5 scenario when compared to the RCP 8.5 scenario. There is a tendency to increase the average accumulated precipitation in the future periods analyzed. As a result, although most municipalities and models indicate an increase in rainfall patterns, there are variations between municipalities, models and scenarios. The water demands of the southern region and Campaign showed variations between scenarios and models, however it is possible to conclude that some scenarios and models project the increase of water for irrigation for some municipalities, and others indicate a decrease in the demand for water for irrigation, when compared with the base period. Such increase in water demand observed may be related to the increase in average temperature that occurs until the end of the century, causing the transpiration of crops to increase and also the evaporation of water available in the soil, which consequently increases the demand for water for irrigation. It should be noted that due to the fact that crops vary significantly in the planted area each year, since crop rotation is a widely used technique, the results are only projections since they use the areas and crops for the year 2017 made available by the Foundation Economics and Statistics (FEE), for rainfed crops.

Keywords: Climate Models. Representative Paths of Concentration 4.5 and 8.5. Water availability. SWAP.

Lista de Figuras

Figura 1: Componentes do sistema climático e suas interações. Fonte: IPCC, 2007.	24
Figura 2: Concentração de CO ₂ atmosférico no observatório de Mauna Loa, Havaí. Série de dados de 1958 a 1974 do Instituto de Oceanografia Scripps e de 1974 a 2007 da NOAA/ESRL. Fonte: NOAA/EUA - (Fonte: LACERDA; NOBRE, 2010).	25
Figura 3: Ilustração da grade horizontal dos modelos globais. Fonte: SAMPAIO; DIAS (2014).	30
Figura 4: Projeções dos quatro RCPs de acordo com o quinto relatório do IPCC (AR5). Fonte: Adaptado de IPCC, 2013.	32
Figura 5: Utilização das terras nos estabelecimentos agropecuários do RS (2017). Fonte: Censo Agropecuário 2017: resultados preliminares (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), 2018), adaptado pelo autor.	37
Figura 6: Área plantada em hectares de soja, milho e arroz no Rio Grande do Sul no período de 2000 a 2015. Fonte: KUPLICH (2018).	38
Figura 7: Distribuição espacial da área plantada (ha) de soja (A) e milho (B) inseridos no bioma Pampa nos anos de 2000 e 2015. Fonte: Adaptado de KUPLICH (2018).	39
Figura 8: Mapa do Rio Grande do Sul e Regiões Sul e Campanha. Fonte: Paiva (2008).	49
Figura 9: Pontos dos modelos climáticos em cada município da área de estudo. Fonte: PROJETA (2019).	53
Figura 10: Esquema dos dados climáticos obtidos na plataforma PROJETA.	54
Figura 11: Tipos de solo da região Sul e Campanha do Rio Grande do Sul. Fonte: Santos et al., (2011).	56
Figura 12: Sequência utilizada no SWAP para a obtenção dos valores da evaporação e a transpiração reais. Fonte: KROES et al. (2008). Adaptado pelo autor.	70
Figura 13: Coeficiente de estresse hídrico em função do potencial matricial do solo.	71
Figura 14: Exemplificação do processo realizado para a obtenção da demanda de água para irrigação para todos modelos e cenários propostos.	72

Figura 15: Temperatura média do modelo CANESM2, considerando os quatro períodos e cenário RCP 4.5, para os municípios da região Campanha.	77
Figura 16: Temperatura média para o modelo CANESM2, considerando os quatro períodos e cenário RCP 8.5, para os municípios da região Campanha.	78
Figura 17: Temperatura média anual para o período base e futuros (F1, F2 e F3) usando o modelo CANESM2 e cenário RCP 4.5 e RCP 8.5, para a região Campanha.	78
Figura 18: Temperatura média usando o modelo HADGEM2-ES e cenário RCP 4.5, para os municípios da região Campanha.	79
Figura 19: Temperatura média usando o modelo HADGEM2-ES e cenário RCP 8.5, para os municípios da região Campanha.	79
Figura 20: Temperatura média anual para o período base e futuros (F1, F2 e F3) usando o modelo HADGEM2-ES e cenário RCP 4.5 e 8.5, para a região Campanha.	80
Figura 21: Temperatura média usando o modelo MIROC5 e RCP 4.5, para os municípios da região Campanha.	81
Figura 22: Temperatura média anual para o período base e futuros (F1, F2 e F3) usando o modelo MIROC5 e cenário RCP 8.5, para os municípios da região Campanha.	81
Figura 23: Temperatura média anual para o período base e futuros (F1, F2 e F3) usando o modelo MIROC5 e RCP 4.5 e 8.5, para a região Campanha.	82
Figura 24: Temperatura média para o modelo CANESM2, RCP 4.5, para os municípios da região Sul.	84
Figura 25: Temperatura média para o modelo CANESM2, RCP 4.5, para os municípios da região Sul.	86
Figura 26: Temperatura média anual para o período base e futuros (F1, F2 e F3) para o modelo CANESM2, RCP 4.5 e 8.5, região Sul.	87
Figura 27: Temperatura média para o modelo HADGEM2-ES, RCP 4.5, para os municípios da região Sul.	88
Figura 28: Temperatura média para o modelo HADGEM2-ES, RCP 8.5, para os municípios da região Sul.	90
Figura 29: Temperatura média anual para o período base e futuros (F1, F2 e F3) para o modelo HADGEM2-ES, RCP 4.5 e 8.5, região Sul.	91

Figura 30: Temperatura média para o modelo MIROC5, RCP 4.5, para os municípios da região Sul.....	92
Figura 31: Temperatura média para o modelo MIROC5, RCP 8.5, para os municípios da região Sul.....	94
Figura 32: Temperatura média anual para o período base e futuros (F1, F2 e F3) para o modelo MIROC5, RCP 4.5 e 8.5, região Sul.	95
Figura 33: Precipitações médias para os municípios da região Sul e Campanha para o período base (1961-2005) para os três modelos climáticos regionais.	99
Figura 34: Precipitações médias para os municípios da região Sul e Campanha para o modelo CANESM2, cenário RCP 4.5 para os três períodos futuros (F1, F2 e F3).	102
Figura 35: Precipitações médias para os municípios da região Sul e Campanha para o modelo CANESM2, cenário RCP 8.5 para os três períodos futuros (F1, F2 e F3).	103
Figura 36: Precipitações médias para os municípios da região Sul e Campanha para o modelo HADGEM2-ES, cenário RCP 4.5 para os três períodos futuros (F1, F2 e F3).	106
Figura 37: Precipitações médias para os municípios da região Sul e Campanha para o modelo HADGEM2-ES, cenário RCP 8.5 para os três períodos futuros (F1, F2 e F3).	107
Figura 38: Precipitações médias para os municípios da região Sul e Campanha para o modelo MIROC5, cenário RCP 4.5 para os três períodos futuros (F1, F2 e F3). ..	109
Figura 39: Precipitações médias para os municípios da região Sul e Campanha para o modelo MIROC5, cenário RCP 8.5 para os três períodos futuros (F1, F2 e F3). ..	111
Figura 40: Anomalias de precipitação (P) para o cenário RCP 4.5 para os três modelos climáticos regionais (CANESM2, HADGEM2-ES e MIROC5) para o período F1.	113
Figura 41: Anomalias de precipitação (P) para o cenário RCP 4.5 para os três modelos climáticos regionais (CANESM2, HADGEM2-ES e MIROC5) para o período F2.	115
Figura 42: Anomalias de precipitação (P) para o cenário RCP 4.5 para os três modelos climáticos regionais (CANESM2, HADGEM2-ES e MIROC5) para o período F3.	116

Figura 43: Anomalias de precipitação (P) para o cenário RCP 8.5 para os três modelos climáticos regionais (CANESM2, HADGEM2-ES e MIROC5) para o período F1.	118
Figura 44: Anomalias de precipitação (P) para o cenário RCP 8.5 para os três modelos climáticos regionais (CANESM2, HADGEM2-ES e MIROC5) para o período F2.	119
Figura 45: Anomalias de precipitação (P) para o cenário RCP 8.5 para os três modelos climáticos regionais (CANESM2, HADGEM2-ES e MIROC5) para o período F3.	120
Figura 46: Médias de demanda de água para Irrigação (Id) para o período base usando os três modelos climáticos (CANESM2, HADGEM2-ES e MIROC5) para as regiões Sul e Campanha.	122
Figura 47: Médias de demanda de água para Irrigação (Id) usando o modelo climático CANESM2 e cenário RCP 4.5 para as regiões Sul e Campanha.	125
Figura 48: Médias de Demanda de Água para Irrigação (Id) para o modelo climático CANESM2 para o cenário RCP 8.5.	127
Figura 49: Médias de Demanda de Água para Irrigação (Id) para o modelo climático HADGEM2-ES para o cenário RCP 4.5.	129
Figura 50: Médias de Demanda de Água para Irrigação (Id) para o modelo climático HADGEM2-ES para o cenário RCP 8.5.	130
Figura 51: Médias de Demanda de Água para Irrigação (Id) para o modelo climático MIROC5 para o cenário RCP 4.5.	133
Figura 52: Médias de Demanda de Água para Irrigação (Id) para o modelo climático MIROC5 para o cenário RCP 8.5.	134
Figura 53: Anomalias de demanda de água para irrigação (Id) para o cenário RCP 4.5, para os três modelos climáticos (CANESM2, HADGEM2-ES e MIROC5) para o período futuro F1.	138
Figura 54: Anomalias de demanda de água para irrigação (Id) para o cenário RCP 8.5, para os três modelos climáticos (CANESM2, HADGEM2-ES e MIROC5) para o período futuro F1.	139
Figura 55: Anomalias de demanda de água para irrigação (Id) para o cenário RCP 4.5, para os três modelos climáticos (CANESM2, HADGEM2-ES e MIROC5) para o período futuro F2.	141

Figura 56: Anomalias de demanda de água para irrigação (Id) para o cenário RCP 8.5, para os três modelos climáticos (CANESM2, HADGEM2-ES e MIROC5) para o período futuro F2.	142
Figura 57: Anomalias de demanda de água para irrigação (Id) para o cenário RCP 4.5, para os três modelos climáticos (CANESM2, HADGEM2-ES e MIROC5) para o período futuro F3.	144
Figura 58: Anomalias de demanda de água para irrigação (Id) para o cenário RCP 8.5, para os três modelos climáticos (CANESM2, HADGEM2-ES e MIROC5) para o período futuro F3.	145

Lista de Tabelas

Tabela 1: Comparativo de área, produção e produtividade nas lavouras somadas dos quatros principais grãos de verão (arroz, feijão, milho e soja do Rio Grande do Sul (2002/2003, 2003/2004, 2004/2005).	41
Tabela 2: Variáveis climáticas utilizadas como dados de entrada no modelo SWAP.	51
Tabela 3: Períodos adotados para as projeções futuras.	54
Tabela 4: Classes de solos da região Sul e Campanha do Rio Grande do Sul e respectivas fontes de pesquisa para obtenção dos dados da curva de retenção de água (θ_s , θ_r , α , m , n) do solo e da condutividade hidráulica do solo saturado (KSAT).	58
Tabela 5: Municípios da região Sul e Campanha e seus principais cultivos agrícolas.	60
Tabela 6: Valores dos coeficientes de cultura (k_c) das culturas que mais destacam-se na região Sul e Campanha do Rio Grande do Sul.	62
Tabela 7: Profundidade das raízes (m) nos diferentes estádios de desenvolvimento de cada cultura.	62
Tabela 8: Estádios de desenvolvimento das culturas e período de semeadura.	63
Tabela 9: Dias de semeadura e colheita dos cultivos.	64
Tabela 10: Índice de Área Foliar (IAF) das principais culturas agrícolas na área de estudo.	64
Tabela 11: Resultados de médias anuais de precipitação e temperatura mínima e máxima para cada modelo global regionalizado pelo modelo ETA para RCP 4.5 e RCP 8.5.	65
Tabela 12: Médias de temperatura ($^{\circ}\text{C}$) e precipitação (mm) para o município de Bagé, RS.	73
Tabela 13: Médias de temperatura ($^{\circ}\text{C}$) e precipitação (mm) para o município de Pelotas, RS.	76

Lista de Abreviaturas e Siglas

ANA	Agência Nacional de Águas
CANESM2	Canadian Earth System Model versão 2
COREDE-SUL	Conselho Regional de Desenvolvimento da Região Sul
CPRM	Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
CPTEC/INPE	Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos/ Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
FAO	Food and Agriculture Organization of the United Nations
GEE	Gases do Efeito Estufa
HadGEM2-ES	Hadley Centre Global Environmental Model versão 2
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IPCC	Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas
MCG	Modelos de Circulação Geral
MCR	Modelos de Circulação Regional
MIROC5	Model for Interdisciplinary Research on Climate versão 5
RCP	Caminhos Representativos de Concentração
RS	Rio Grande do Sul
SWAP	Soil Water Atmosphere Plant

Sumário

1. Introdução	19
2. Objetivos.....	23
2.1 Objetivo geral.....	23
2.2 Objetivos específicos	23
3. Revisão bibliográfica	24
3.1 Mudanças climáticas.....	24
3.2 Modelos climáticos.....	28
3.3 Contexto climático do Rio Grande do Sul e região Sul e Campanha do Rio Grande do Sul.....	33
3.4 Contexto agrícola no Rio Grande do Sul e região Sul e Campanha do Rio Grande do Sul.....	36
3.5 Impactos das mudanças climáticas na agricultura do Rio Grande do Sul	39
3.6 Fluxo e armazenamento de água no solo	43
3.7 Importância da modelagem do armazenamento de água no solo na gestão dos recursos hídricos	46
4. Descrição da área de estudo.....	48
5. Metodologia.....	51
5.1 Dados meteorológicos de entrada requeridos pelo modelo SWAP	51
5.2 Dados do solo requeridos pelo modelo SWAP.....	55
5.3 Dados das culturas agrícolas requeridos pelo modelo SWAP.....	60
5.4 Primeira etapa metodológica	64
5.4.1 Análise anual de temperatura média e precipitação.....	65
5.4.2 Anomalias.....	65
5.5 Segunda etapa metodológica	66
5.5.1 O modelo SWAP.....	66
6. Resultados e discussões	73

6.1 Análise anual de temperatura média e precipitação por município.....	73
6.1.1 Análise de temperatura média para região Sul e Campanha	77
6.1.2 Análise de precipitação anual para as regiões Sul e Campanha.....	97
6.1.3 Anomalias.....	112
6.2 Demandas de água para irrigação nas regiões Sul e Campanha.....	121
6.2.1 Anomalias.....	136
7. Considerações Finais	148
Referências bibliográficas.....	150
Apêndice A – Tabela com dados de temperatura média e precipitação para os municípios da região Sul e Campanha para os modelos CANESM2, HADGEM2-ES e MIROC5.	163
Apêndice B – Anomalias de precipitação para os municípios da região Sul e Campanha do Rio Grande do Sul	177
Apêndice C – Anomalias de demanda de água para irrigação para os municípios da região Sul e Campanha do Rio Grande do Sul.....	187

1 Introdução

A variabilidade climática é um fator muito importante que pode causar alterações na dinâmica econômica e social de uma população, já que esta está intimamente ligada à geração de energia, nas atividades agrícolas, turismo e mesmo que de forma indireta, em todo setor produtivo. Dentre as variáveis climáticas, a precipitação é uma das que mais influencia na qualidade ambiental já que suas variações são fundamentais na quantificação e monitoramento do ciclo hidrológico (BRITTO et al., 2008).

Grandes volumes de água em um curto período de tempo podem causar grandes problemas ambientais e sociais, como enchentes nos municípios e devastações em lavouras. Porém, sua ausência pode causar a falta de alimentos para a subsistência humana. Segundo Teixeira et al. (2013), eventos de estiagem que vem ocorrendo com bastante frequência e intensidade nas últimas décadas afetam diretamente a agricultura e, como consequência, a economia de uma região.

De acordo com Paz (2000), a prática de cultivo sem irrigação é restrita a nível mundial, já que é difícil encontrar solos aptos e que não tenham riscos ambientais, porém a agricultura irrigada também apresenta problemas de expansão relacionados à disponibilidade hídrica.

O Brasil possui grandes reservas de água doce. Segundo Aquino et al. (2017), o país detém 12% da água doce existente no mundo, porém ela não está distribuída igualmente ao longo do país, fazendo com que algumas regiões não consigam suprir a demanda de sua população.

De acordo com a Agência Nacional de Águas (2017), a água é utilizada para abastecimento humano e animal, geração de energia, mineração, aquicultura, navegação, turismo, lazer e irrigação, sendo esse último o principal uso de água em termos de quantidade, já que ele suplementa o regime de chuvas e viabiliza o cultivo em regiões de maior escassez de água. No ano de 2016, foram utilizados $969 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ de água para irrigação no Brasil, porém esse uso é considerado mais importante quando se avalia o consumo, pois a quantidade de água que retorna diretamente ao corpo hídrico é pequena, já que grande parte fica retida pelas plantas, parte evapora e outra parte infiltra nos solos.

A região do país que tem a maior concentração da produção agrícola é o Centro-Oeste, com 41,7%, seguido pela região Sul, que concentra 37,7%. Já as regiões Sudeste e Nordeste produzem 9% cada uma e a Norte 2,7% (IBGE, 2014). A agricultura no Rio Grande do Sul (RS) é considerada a base econômica do estado, e em anos com regime de chuvas favoráveis, o estado produz cerca de 20% da produção de grãos no Brasil (ROSSATO, 2011). No RS há grande diversidade nos cultivos, onde pode-se salientar o arroz, a soja, o milho e o trigo, além da produção de outros grãos (cereais e oleaginosas), frutíferas, entre outros.

Além do suprimento de água, o clima é também um dos principais fatores que contribuem para o desenvolvimento da agricultura ou para as dificuldades de produtividade em certas regiões. O clima no estado do Rio Grande do Sul é classificado como temperado ou temperado quente, apresenta grande variação sazonal com verões quentes e invernos rigorosos, além de uma distribuição equilibrada de chuva durante as estações do ano (SILVEIRA et al. 2014). De acordo com a classificação de Koeppen, o clima do Rio Grande do Sul é do tipo subtropical úmido, já que em sua maior parte territorial pertence ao grupo climático Cfa (sempre úmido com verões quentes), e uma pequena parcela é do tipo Cfb (sempre úmido com verões amenos) (PESSOA, 2017). Como o estado está localizado em zona climaticamente de transição, ele apresenta influência tanto dos Sistemas Atmosféricos Extratropicais quanto dos Intertropicais, o que faz com que apresente regimes de chuvas durante o ano todo, apesar de eventualmente ocorrer períodos de longas estiagens ou enchentes que são provocados pelos fenômenos “La Niña” e “El Niño”, respectivamente (SARTORI, 2003).

A metade sul do RS apresenta regimes de chuva menores quando comparada com a metade norte do estado (LEIVAS et al., 2006). Segundo Matzenauer (2002), o clima no estado muitas vezes prejudicou a agricultura, principalmente em anos onde ocorreu a variação da disponibilidade hídrica e a má distribuição das chuvas, bem como a ocorrência de eventos extremos.

Conforme menciona Monteiro (2009), a produção agrícola tem grande dependência das condições climáticas, já que os elementos climáticos afetam os processos metabólicos das plantas relacionados à sua produtividade. O solo também contribui significativamente para a produtividade das culturas agrícolas. Segundo Sivakumar (2000), o clima e o solo contribuem para a produção agrícola, e essa contribuição é conjunta, já que o clima é um dos fatores de formação de um solo.

Como a agricultura movimenta grande parte da economia do Rio Grande do Sul, há uma preocupação com a ocorrência de fenômenos meteorológicos severos, já que esses prejudicam as safras causando prejuízos à economia (RASERA; CAMPOS, 2013). Segundo o IBGE (2004), as perdas que ocorrem no plantio, pré-colheita e colheita são em grande parte de ordem climática, onde esses eventos podem destruir lavouras inteiras e atrasar a colheita. De acordo com Silveira et al. (2014), geada, seca, vento, granizo e inundações são fatores climáticos que causam maiores danos à produção agrícola e, especificamente no Rio Grande do Sul, a estiagem é um fenômeno considerado frequente.

Aquino et al. (2017), mencionam que os relatórios científicos sobre a escassez hídrica são pessimistas no que envolve a qualidade e quantidade de água disponível no Brasil. Por outro lado, segundo a ANA (2017), existem estudos que apontam a existência de mudanças de variáveis como precipitação, temperatura, entre outras, que poderão alterar características climáticas, e ainda, que o aquecimento global implicará em mudanças no padrão de chuvas no Brasil, sendo que essas se tornarão mais frequentes no Sul e Sudeste e menos frequentes no Nordeste.

O IPCC (Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas) é um órgão científico internacional que fornece dados a respeito das mudanças climáticas, relatórios sobre o tema, abordando seus possíveis impactos e riscos futuros. Ele também disponibiliza dados de projeções climáticas de diversas variáveis como precipitação, evaporação, temperatura, radiação, umidade, entre outros. Esses dados podem ser aplicados em diversos modelos desenvolvidos, para estimar a disponibilidade hídrica para consumo humano e agrícola, eventos climáticos extremos e também em modelos de simulação da demanda de água para a agricultura, em função de diferentes cenários e projeções climáticas.

A partir dessas estimativas, será possível realizar uma previsão de quais cenários climáticos poderão ocorrer nos próximos anos, o que poderá servir como uma ferramenta de gestão dos recursos hídricos, além de instigar a aplicação e o desenvolvimento de sistemas de irrigação mais econômicos e eficazes, minimizando o volume de perda de água, dentre outros aspectos.

O modelo SWAP (*Soil - Water - Atmosphere - Plant*) (KROES; VAN DAM, 2003), é um modelo unidimensional que permite a simulação de diversas variáveis intrínsecas na relação entre o sistema solo, água, planta e atmosfera. Através de equações como a de Richards e a de Mualem-Van Genuchten, é possível realizar

projeções do movimento da água no solo, podendo ser definidas diferentes condições de contorno. O modelo é alimentado basicamente com parâmetros de solo, cultura além de variáveis climáticas, que possibilitam a realização das simulações, que geram diversos tipos de resultados, de acordo com o objetivo desejado. Uma vantagem do SWAP é a disponibilização dos valores de evapotranspiração real e de evapotranspiração potencial, que são fundamentais para estudos voltados para a demanda de água para irrigação.

2. Objetivos

2.1 Objetivo geral

Avaliar se, diante de dois cenários climáticos futuros dos Caminhos Representativos de Concentração (RCP) 4.5 e 8.5, as demandas de água para irrigação das culturas das regiões Sul e Campanha do Rio Grande do Sul serão diferentes no futuro quando comparadas com o período histórico.

2.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos do trabalho foram:

- Analisar dados de temperatura média de projeções de três modelos de circulação global regionalizados pelo modelo regional ETA com relação à tendência de aumento e diminuição;
- Analisar dados de precipitação de projeções de três modelos de circulação global regionalizados pelo modelo regional ETA com relação à tendência de aumento e diminuição e anomalias;
- Determinar as demandas de água para a irrigação com o uso do modelo *Soil Water Plant Atmosphere* (SWAP) e verificar se as demandas de água para irrigação do período base (1961-2005) poderão sofrer acréscimo ou decréscimo no futuro segundo dois cenários de mudanças climáticas.

3. Revisão bibliográfica

3.1 Mudanças climáticas

Tempo meteorológico nada mais é que as condições meteorológicas instantâneas que estão ocorrendo em um determinado lugar e instante (SAMPAIO; DIAS, 2014). O clima (Figura 1) pode ser considerado como todo sistema da Terra, que inclui a atmosfera, terra, gelo, oceanos, neve e seres vivos, que funcionam como condições que determinarão os fatores climáticos (IPCC, 2007). Ou seja, o clima é o equilíbrio de um sistema de trocas de propriedades termodinâmicas entre compartimentos diferentes, sendo que esse equilíbrio não é considerado estável nem estacionário. É a forma de como o tempo meteorológico evoluiu em um período de tempo (SAMPAIO e DIAS, 2014; CAMPOS, 2014).

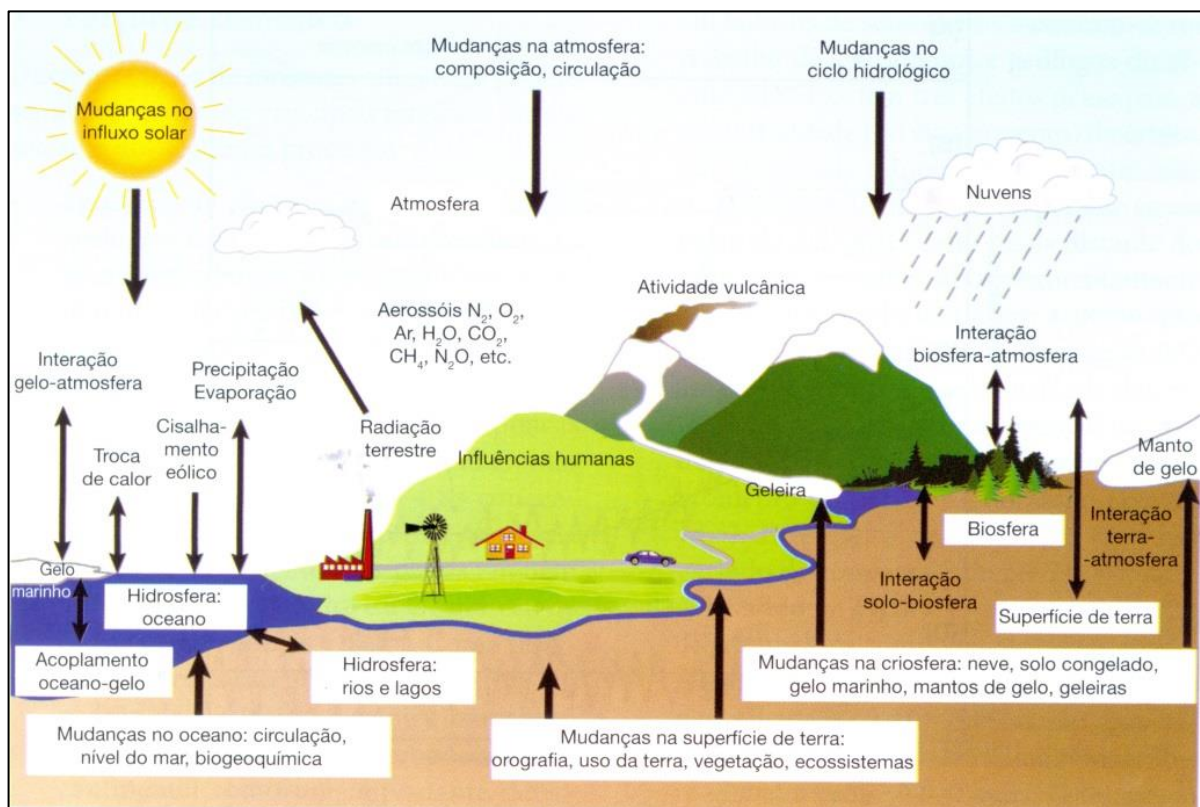


Figura 1: Componentes do sistema climático e suas interações.
Fonte: IPCC, 2007.

Desde a Revolução Industrial, é possível observar que houve um aumento de dióxido de carbono oriundo de origem antrópica. Além disso, a economia tem como base a energia proveniente da queima de combustíveis fósseis, o que é um fator que agrava o aumento de CO₂ na atmosfera. Conforme pode-se observar na figura 2, que apresenta a série temporal de concentração de CO₂ atmosférico de um observatório localizado no Havaí no período de 1958 a 2007, é notório a constante crescente do aumento da concentração de CO₂ ao longo do tempo (LACERDA; NOBRE, 2010).

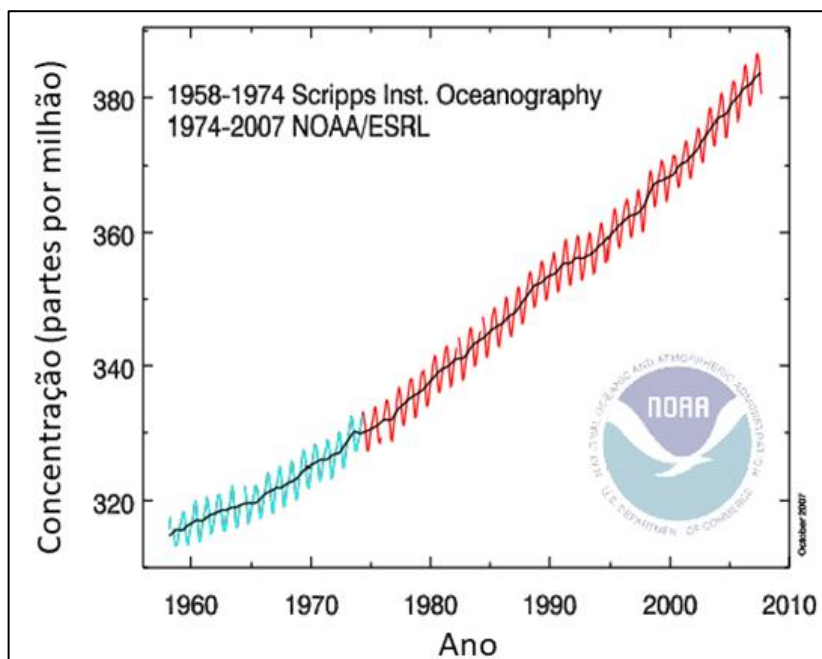


Figura 2: Concentração de CO₂ atmosférico no observatório de Mauna Loa, Havaí. Série de dados de 1958 a 1974 do Instituto de Oceanografia Scripps e de 1974 a 2007 da NOAA/ESRL. Fonte: NOAA/EUA - (Fonte: LACERDA; NOBRE, 2010).

A consciência a respeito dos danos que poderiam estar sendo causados à atmosfera teve início na década de 70, onde estudiosos alertaram a comunidade mundial a respeito da destruição da camada de ozônio, que protege a Terra da ação da radiação que vem do espaço. Na época, a existência de um enorme buraco na ozonfera foi atribuída aos clorofluorcarbonetos, que são utilizados em refrigeradores e outros mecanismos industriais. Com isso, teve início uma campanha em defesa da camada de ozônio, e em 1988 foi assinado o Protocolo de Montreal, que buscava abolir o uso destes gases como forma de proteger a vida em nosso planeta. A partir disso, outros estudos foram realizados ao longo do tempo e indicaram que a existência de gases provenientes de processos naturais afeta a camada de ozônio além, é claro, dos emitidos pelas atividades antrópicas. Assim sendo, em 1997, foi assinado o

Protocolo de Kyoto, exigindo que os países industrializados, que são os maiores geradores dos gases do efeito estufa, diminuíssem seus lançamentos (CONTI, 2005).

Avzaradel (2010) afirma que o aquecimento global está diretamente relacionado às mudanças climáticas, já que ele está associado a intensificação do efeito estufa. Além disso, o aumento de temperatura média da Terra está ligado ao aumento da concentração dos gases de efeito estufa (GEE), que aumentam de acordo com a intensificação de atividades humanas que os lançam na atmosfera. Ou seja, o Efeito Estufa é quando a atmosfera conserva alguns compostos gasosos em sua estrutura, porém esse acontecimento ocorre naturalmente, sempre existiu e sua natureza é irreversível.

Estes gases atuam como uma manta que mantém a Terra em uma temperatura que proporciona a sobrevivência das espécies no planeta, e possuem ciclos naturais de emissão, dispersão e absorção. Sua composição química indica qual sua capacidade de retenção de calor e o tempo de sua permanência na atmosfera (AVZARADEL, 2010). Ou seja, estes gases absorvem parte da radiação emitida pela terra e irradiam uma parte da energia de volta para superfície, fazendo com que a mesma receba quase o dobro de energia que é recebida pelo Sol pela atmosfera, o que culmina com a superfície terrestre apresentando uma temperatura de aproximadamente 30° C, o que permite a existência da vida no planeta Terra (SILVA; PAULA, 2009).

Conti (2005) menciona que é importante avaliar quais as causas que ocasionam o aumento da temperatura no globo, considerando as ações antrópicas que emitem gases do efeito estufa, o desmatamento de florestas tropicais e a superexploração da natureza, já que as mudanças climáticas não estão relacionadas a apenas um fator, mas sim a um processo dinâmico e complexo.

O desmatamento é uma atividade humana que contribui para a intensificação do aquecimento do globo terrestre, já que sua prática pode causar o aumento de CO₂ na atmosfera, seja pela redução da fotossíntese ou pela queima de material vegetal (MENDONÇA, 2007).

As mudanças climáticas podem ser percebidas através de diversas alterações que ocorrem ao longo do tempo, como o aumento da temperatura do planeta, eventos climáticos extremos (tais como geadas, granizo, chuvas severas, estiagens, furacões, tornados, ciclones, etc.), mudanças nos regimes pluviais, perturbações nas correntes marítimas, retração de geleiras e elevação do nível dos oceanos (GHINI, 2011),

furacões em áreas não comuns, as altas temperaturas nos verões do hemisfério norte, grandes estiagens em regiões geralmente úmidas, entre outros (CONTI, 2005).

De acordo com Avzaradel (2010), as mudanças climáticas podem alterar significativamente a frequência e intensidade da ocorrência de eventos extremos que ocorrem naturalmente ao longo do tempo, e também poderá ocasionar novos eventos climáticos, como por exemplo, o derretimento de geleiras, sendo que essas ocorrências poderão causar danos à sociedade.

Segundo Miranda e Araújo (2014), cientistas divergem na compreensão sobre o clima, onde uns acreditam que o aquecimento global é proveniente das ações antropogênicas, e outros acreditam no resfriamento global gradativo, onde as ações humanas são irrelevantes.

Felício (2014) afirma que os estudos que inferem que o dióxido de carbono proveniente das ações do homem na Terra é o que provoca o aquecimento do planeta, necessitam apresentar evidências sobre tal afirmação, e que existem sinais que indicam que apesar do ser humano lançar gases do efeito estufa na atmosfera, esses jamais controlaram ou controlarão o clima na Terra. Um dos pontos levantados é de que as temperaturas de nosso planeta já foram quase seis graus Celsius mais altas que as atuais, e isso culminou em várias alterações de nosso planeta, como o derretimento da calota ártica.

Independente desta alteração no clima ocorrer por ações antrópicas ou não, é notório que esta modificação existe e existirá ao longo dos anos, o que pode impactar diretamente na disponibilidade hídrica, e com isso poderá culminar em problemas de produção de alimentos, abastecimento humano, dessedentação animal, produção de energia hidroelétrica, transportes fluviais, entre outros usos.

O aquecimento global vem causando também alterações nos ecossistemas, degradando ou destruindo *habitats* e ocasionando na perda da produtividade, o que ameaça o bem-estar dos seres humanos e a biodiversidade (MARENGO, 2006). O aquecimento das águas de forma abrupta pode culminar na degradação dos ecossistemas marinhos, provocar o estresse de organismos sensíveis à temperatura e o desaparecimento de espécies de animais e vegetais aquáticos (BUCKERIDGE, 2007).

Já para a saúde humana, as mudanças climáticas podem impactar direta ou indiretamente, alterando ecossistemas de ciclos biogeoquímicos que consequentemente podem alterar a distribuição de doenças zoonóticas, de veiculação

hídrica e associadas ao aumento da poluição do ar. Em termos de agricultura, o aumento da temperatura e eventos extremos como inundações e secas acabarão ocasionando a perda da produtividade agrícola (NOBRE e MARENGO, 2017).

Segundo Ghini (2011), as mudanças climáticas estão tendo um maior interesse da comunidade científica e do público, sendo considerado um dos temas mais polêmicos e preocupantes da atualidade. Assim sendo, essas alterações afetarão significativamente os municípios brasileiros, que deverão ter conhecimento e estar preparados para enfrentá-las. Essa preparação inclui o abastecimento de água potável, a regulação dos eventos extremos, clima, qualidade do ar, erosão e sequestro de carbono (PBMC, 2016).

3.2 Modelos climáticos

De acordo com Lima et al. (2014), os modelos climáticos são ferramentas primárias que averiguam as relações complexas entre forças humanas e naturais e as respostas do clima. Ainda existem outras aplicações, onde é possível simular o clima passado, o presente, estudos de sensibilidade e estudos que identificam processos de entendimento físico, a previsão da variabilidade climática e suas mudanças sazonais e projeções do futuro.

Modelos climáticos distintos sujeitos às mesmas forçantes irão produzir aspectos globais das mudanças climáticas qualitativamente similares, porém, a magnitude e os padrões de respostas variam consideravelmente de um modelo para o outro de acordo com as parametrizações presentes no código de cada modelo (LIMA et al., 2014).

Assim sendo, um modelo climático busca representar de forma matemática aproximações numéricas de equações que representam as leis físicas que comandam os movimentos da atmosfera e suas interações com os componentes climáticos. Como essas interações são complexas, representa-se todo o sistema climático e as componentes que estão envolvidas nesse processo, além das diferentes formações geográficas, solos e plantas, já que essas trocam massa, *momentum* e calor com a atmosfera em graus e modos variados (SAMPAIO; DIAS, 2014).

Segundo Nobre et al. (2008), através dos modelos é possível realizar a simulação de vários cenários climáticos considerando diversos cenários de emissões dos GEE, porém existem incertezas nesses modelos, como não ter precisão sobre as emissões futuras dos GEE e dos aerossóis atmosféricos, e a imprecisão que os modelos climáticos podem trazer já que são representações imperfeitas da natureza e a existência de diferença de projeções entre os modelos. Com isso, a utilização de mais de um cenário e diferentes modelos climáticos é uma forma de realizar projeções considerando as incertezas que podem existir.

Conforme Lima et al. (2014), para que haja confiança em um modelo, é necessária uma avaliação de seu desempenho, onde dados observados são comparados com o modelo. A grade de resolução baixa usada por estes modelos climáticos acaba causando um certo grau de incerteza nos cenários futuros das mudanças do clima. Estas incertezas são derivadas da variabilidade interna do sistema climático e da formulação desses modelos. Para tanto, buscando diminuir esta incerteza, é necessário melhores condições iniciais, várias condições de contorno, diferentes estruturas de modelos e diferentes representações dos processos físicos.

Os Modelos Climáticos Globais (MCG's), tem como objetivo simular o clima atual e fazer projeções de futuras mudanças. A comunidade científica considera-os uma boa ferramenta, já que consideram numericamente o comportamento dos compartimentos climáticos como a atmosfera, oceanos, criosfera, vegetação, entre outros e suas interações, sendo possível simular prováveis cenários climáticos para vários cenários de emissões de gases do efeito estufa (ADAM e COLLISCHONN, 2013; NOBRE et al., 2008). Porém, devido aos grandes tamanhos de grade desses modelos, que geralmente variam na ordem de centenas de quilômetros, torna-se difícil captar na simulação características locais peculiares. Assim sendo, os modelos climáticos regionais (MCR's) possibilitam que seja realizada uma simulação climática com menores áreas de grade, sendo essas de algumas dezenas de quilômetros (CHOU et al., 2014). Ou seja, os modelos climáticos regionais possibilitam a identificação de relações não lineares entre o clima local e a circulação em maior escala, e ainda conseguem simular o clima de maneira parecida com os dados observados empiricamente (MONZONI et al., 2013).

Os pontos de grade (Figura 3) utilizados para gerar os resultados das previsões, consideram que os modelos possuem quatro dimensões, sendo elas altitude, longitude, latitude e tempo (SAMPAIO; DIAS, 2014).

Com isso, os modelos regionais são muito importantes para compreender as mudanças climáticas localmente quando o objetivo do estudo é a adoção de medidas mitigadoras para os efeitos de tais mudanças, bem como planejar adaptações (LIMA et al., 2014). Ainda, os modelos regionais buscam resolver problemas de escalas nos resultados gerados pelos modelos globais, e ainda tem como vantagem a possibilidade de detalhar os resultados simulados e com baixo custo (SAMPAIO; DIAS, 2014).

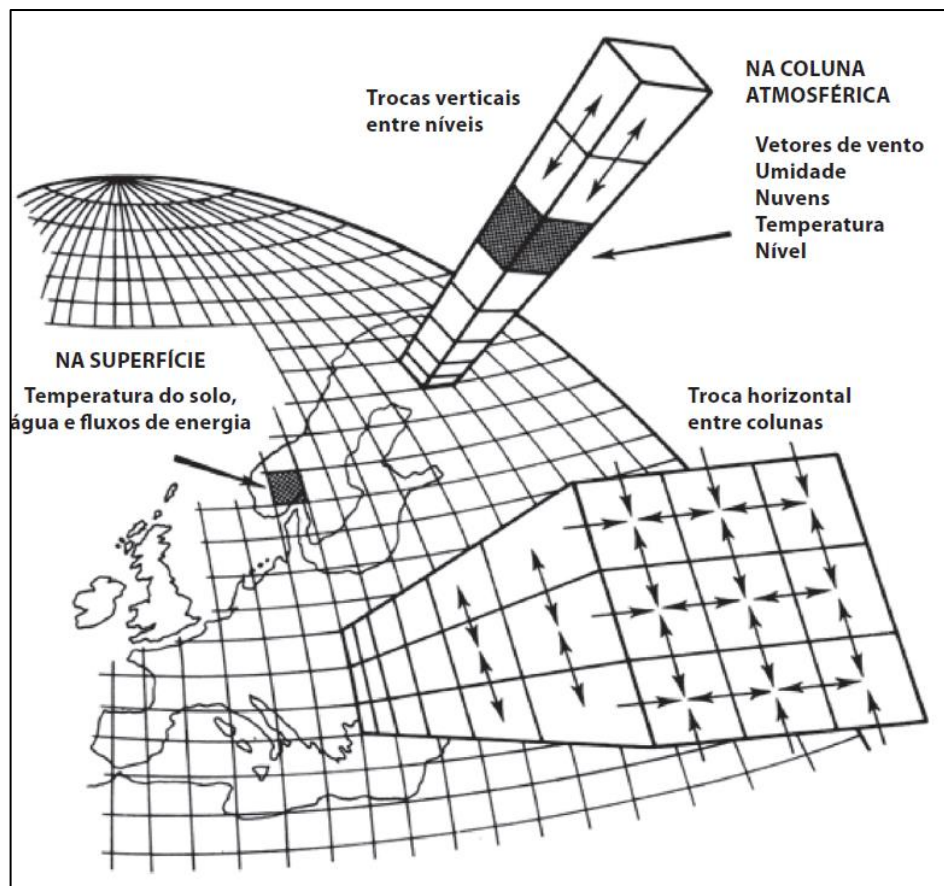


Figura 3: Ilustração da grade horizontal dos modelos globais.
Fonte: SAMPAIO; DIAS (2014).

Assim sendo, conforme salienta Nobre et al. (2013), grupos de pesquisa em todo mundo estão realizando estudos a respeito do tema, o que vai desde o desenvolvimento de modelos climáticos, que buscam representar a complexidade dos componentes terrestres que fazem parte do sistema. Existem alguns modelos de

sistemas complexos que foram desenvolvidos por grandes centros de pesquisa ao longo do mundo, como por exemplo, o *National Center for Atmospheric Research* (NCAR) e o *Hadley Centre Global Environmental Model, version 2* (HadGEM-ES). Além disso, vários centros ainda estão desenvolvendo seus próprios modelos climáticos, onde estes geralmente fazem uma adaptação de algum modelo climático complexo e combinam com outros elementos, o que gera um novo modelo climático global “próprio”.

No Brasil, o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) é responsável por coordenar a modelagem climática regional e pelos cenários futuros das mudanças climáticas. Além disso, ele coordena a relação entre os resultados e as pesquisas e ainda, estudos para os setores que tem maior vulnerabilidade aos impactos causados pelas mudanças climáticas (MONZONI et al., 2013).

Em nível mundial, o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) foi estabelecido através da Organização Meteorológica Mundial (OMM) e o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA). O IPCC tem como objetivo avaliar informações científicas, técnicas e socioeconômicas, para com isso entender quais perigos as mudanças climáticas podem ocasionar, seus possíveis impactos e opções para adaptação e mitigação (LACERDA e NOBRE, 2010).

Para a produção de seus relatórios, há a participação de pesquisadores das mais diversas áreas, como meteorologia, biologia, entre outros, que através de discussões, evidências científicas e dos resultados gerados pelos modelos utilizados, chegam em um consenso sobre as tendências e projeções climáticas (MARENGO e SOARES, 2003). Ou seja, o IPCC produz relatórios científicos que auxiliam na compreensão sobre as mudanças climáticas (MARENGO, 2014), e utilizam Modelos Climáticos Globais, que realizam modelagens atmosféricas, atmosféricas acopladas com o oceano, entre outras (MONZONI et al., 2013).

Em seu quinto e último Relatório de Avaliação (AR5), o IPCC abordou uma nova compreensão de cenários climáticos futuros, conhecidos como Caminhos Representativos de Concentração (RCPs, *Representative Concentration Pathways*), os quais levam em consideração as emissões e concentrações dos GEEs aerossóis e outros gases de acordo com possíveis ritmos de vida adotados pela sociedade e utilizam Modelos de Avaliação Integrada para produzir cenários de emissão correspondentes. Os cenários projetados (Figura 4) são (IPCC, 2013):

- RCP 2.6: A forçante radiativa atinge seu pico em aproximadamente 3 W/m^2 antes de 2100 e depois tem um decréscimo;
- RCP 4.5 e 6.0: Dois cenários intermediários onde a forçante radiativa estabiliza-se em aproximadamente 4,5 W.m^{-2} e 6,0 W.m^{-2} após 2100;
- RCP 8.5: a forçante radiativa atinge 8,5 W.m^{-2} em 2100 e continua crescendo.

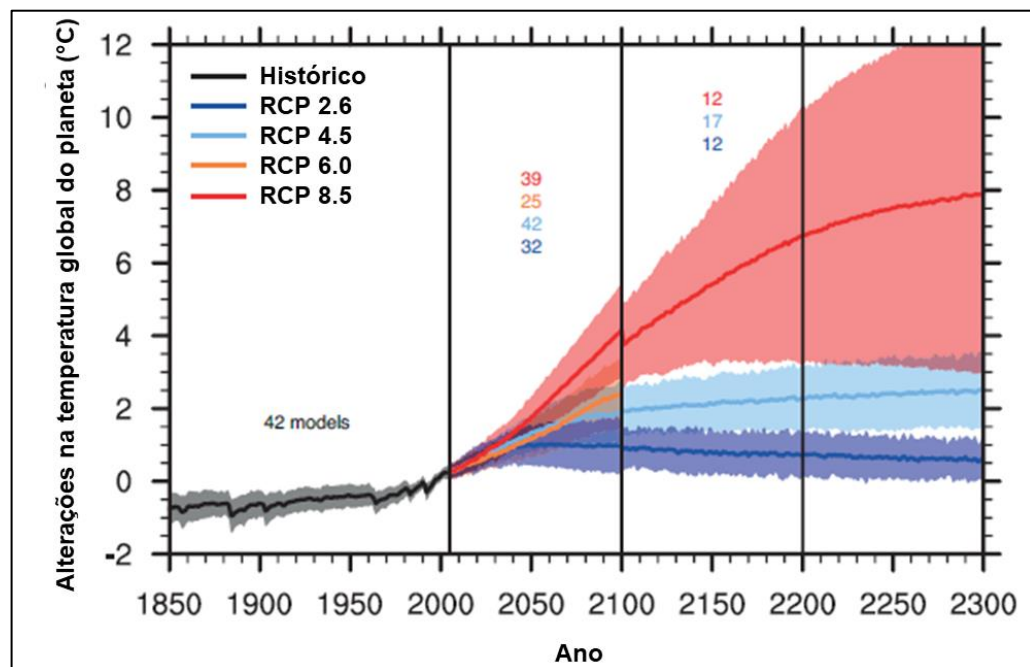


Figura 4: Projeções dos quatro RCPs de acordo com o quinto relatório do IPCC (AR5).
Fonte: Adaptado de IPCC, 2013.

As projeções do cenário RCP 4.5 considera que haverá estabilização da demanda energética no mundo, programas de reflorestamentos fortes, rigorosas políticas climáticas e estabilização das emissões de metano associadas a um pequeno aumento das emissões de CO_2 até 2040. Já o RCP 8.5 estima que haverá um aumento contínuo da população associada ao desenvolvimento tecnológico lento, culminando em grandes emissões de dióxido de carbono, e sem nenhuma mudança política que vise a redução das emissões de gases e ainda a grande dependência de combustíveis fósseis (SILVEIRA, et al. 2016).

Ou seja, um cenário pode ser uma descrição de como será o futuro baseado em um conjunto de suposições de base, acerca de relações chave de mecanismos geradores que devem ser coerentes e consistentes (ADAM e COLLISCHONN, 2013).

O primeiro relatório do IPCC (AR1) foi publicado em 1990, e os posteriores foram publicados em 1995 (AR2), 2001 (AR3), 2007 (AR4) e o último relatório foi publicado em 2013 (AR5). Cabe salientar que o segundo relatório, AR2, foi utilizado como base para as negociações que culminaram no Protocolo de Kyoto, assinado em 1997 (MARENGO; SOARES, 2003). Mesmo com a evolução na modelagem matemática voltada para as mudanças climáticas que vem ocorrendo nos últimos anos, três relatórios do IPCC (1995, 2001 e 2007), não apresentaram grandes variações nos valores de incerteza das estimativas futuras, sendo que estas se dão em grande parte pelas diferenças das projeções dos modelos e por não ser certo o conhecimento futuro das emissões de gases do efeito estufa. O aumento de temperatura média até o final do século simulado nos três relatórios e considerando os modelos climáticos e todos cenários futuros está entre 1,5 °C a 6°C (NOBRE, 2007).

No quarto relatório, há afirmações contundentes de que as atividades humanas estão agravando o aquecimento global nos últimos 50 anos, e que o planeta irá aquecer numa taxa de 0,2 °C por década e que essa taxa não está relacionada somente com os cenários de emissões dos GEE. Ainda, estima-se que até o final do século XXI a temperatura média global poderá subir de 2°C a 4°C (NOBRE, 2007). Já no quinto relatório, o AR5, o aquecimento global já é considerado uma realidade e continua concordando com o quarto relatório, que menciona que o aquecimento global é proveniente das atividades humanas. Porém, no quinto relatório é observado um aumento de 0,9 °C na temperatura.

3.3 Contexto climático do Rio Grande do Sul e região Sul e Campanha do Rio Grande do Sul

De acordo com Britto et al. (2008), o clima de uma região é influenciado pela interação dos sistemas meteorológicos com a paisagem geográfica (relevo, latitude, maritimidade e continentalidade). Já a pluviosidade tem influência em grande parte pela dinâmica atmosférica em relação ao relevo, já que devido a sua compartimentação, a precipitação é distribuída ao longo do espaço.

Silveira et al. (2014) afirmam que o clima do Rio Grande do Sul sempre foi muito reconhecido por sua característica peculiar de possuir as estações bem definidas, sendo esse um fator importante na agricultura gaúcha. Ocorrem grandes variações sazonais, com verões quentes e invernos rigorosos. Segundo Britto et al. (2008), o estado, que está na faixa subtropical, possui clima de transição entre o tropical e o temperado e tem ocorrência de estação térmica fria causada pela influência de massas de ar polar, como mencionado abaixo por Britto et al. (2008):

A dinâmica das massas de ar tem ação decisiva na distribuição térmica e pluviométrica da região Sul do Brasil. O Rio Grande do Sul sofre ação de massas de ar quente e fria (Tropicais e Polares). São elas: (i) a Massa de Ar Tropical Atlântica, quente e úmida, dispersora de ventos quentes, formada no Oceano Atlântico em área tropical; (ii) a Massa Polar Atlântica, muito fria, formada no sul da Argentina, sobre o oceano e (iii) a Massa tropical Continental quente e seca, formada sobre o Chaco. Esta última possui atuação mais restrita, é um centro de baixa pressão. Por estar situado no extremo sul do País, o Rio Grande do Sul é influenciado com maior intensidade pela massa de ar polar (BRITTO et al., 2008, p.86).

O estado sofre muita interferência de eventos climáticos extremos, sendo influenciado por sistemas atmosféricos que favorecem a ocorrência desses desastres naturais. Entre eles, podem ser citados os sistemas frontais (frentes frias), as convecções locais e os sistemas convectivos de mesoescala (NEDEL et al., 2012). Em uma escala temporal maior também é influenciado pelos fenômenos El Niño e La Niña, que são caracterizados, respectivamente, pelo aquecimento e resfriamento anômalo das águas do Oceano Pacífico Equatorial Central e Leste, e ainda, atuando com eles, tem-se o Índice de Oscilação do Sul (IOS) que é um fenômeno de grande escala da diferença de Pressão do Nível do Mar entre o Pacífico Central e o Oeste, causando o enfraquecimento ou intensificação de ventos alísios sobre o Oceano Pacífico Equatorial. Então, esses fenômenos oceânico e atmosférico, quando juntos, recebem o nome de El Niño Oscilação Sul (ENOS) (CERA; FERRAZ, 2015).

De acordo com Cera e Ferraz (2015), a variação das componentes El Niño La Niña mostra duas fases opostas do ENOS, que possuem em média um período de quatro a sete anos e duração de doze a dezoito meses. Segundo Britto et al. (2008), evidências científicas demonstram que o ENOS possui grande interferência nas anomalias climáticas de precipitação pluviométrica no estado. Matzenauer et al. (2017) realizaram um estudo para avaliar a distribuição dos regimes de chuva no Rio Grande do Sul considerando a ocorrência de ENOS e anos neutros, e observou que

no período de 1961 a 2010, os eventos ENOS ocorreram em 50,8% dos meses, sendo 26,8% El Niño e 24% La Niña. Além disso, os eventos El Niño e La Niña tem maior ocorrência nos meses de outubro a janeiro.

Segundo Reckziegel (2007), no Rio Grande do Sul foram registrados durante o período de 1980 a 2005, 7.080 desastres naturais em municípios, onde 1.258 foram enchentes e 2.836 estiagens. Já no estudo realizado por Braz et al. (2017), onde foi avaliada a ocorrência de eventos severos em regiões agrícolas do Rio Grande do Sul, foi analisado um período de aproximadamente 10 anos, de 2003 a 2012, e observou-se que ocorreu eventos extremos em 23% dos 3653 dias, onde os três eventos mais recorrentes foram: estiagem (50,7 %), granizo (14,08%) e vendaval (13,72%).

Segundo estudo realizado por Berlato et al. (2000), foi possível identificar que as áreas do estado que possuem maior probabilidade de ocorrência de granizo são as de maior altitude ou maior continentalidade, e que a estação do ano com a maior probabilidade de ocorrência é a primavera e a de menor risco é o outono.

Já em estudo realizado por Britto et al. (2008), foi identificado o comportamento de precipitação pluvial nas estações geográficas, onde foi possível observar que durante o inverno, as cidades de Santa Vitória do Palmar, Pelotas, Bagé, entre outras, as maiores precipitações foram encontradas nos meses de inverno, estação onde o estado é influenciado com maior intensidade pela massa de ar polar Antártica, que é responsável por ocasionar eventos típicos da estação como geada e neve.

Wrege et al. (2018) realizaram um estudo para identificar as regiões do estado que eram homogêneas quando se trata de deficiência hídrica já que esse tipo de informação pode ser necessária para escolher áreas com menores riscos climáticos para o zoneamento agrícola. No estudo, o autor identificou que a fronteira oeste com a Argentina e o Uruguai é a região onde foi possível observar os maiores valores de risco de déficit hídrico, onde os maiores valores foram observados no verão e posteriormente na primavera. No outono o risco foi menor e no inverno é praticamente nulo. Já nas regiões da Serra do Nordeste e Sudeste, observou-se que é onde ocorrem os menores valores de risco de deficiência hídrica durante todo o ano, sempre menor que 10% e no inverno este índice é inexistente. Já nas outras regiões os valores são considerados intermediários, maiores no verão e praticamente nulos no inverno.

3.4 Contexto agrícola no Rio Grande do Sul e região Sul e Campanha do Rio Grande do Sul

De acordo com Alvim e Stulp (2014), concomitante ao crescimento populacional mundial está a demanda de alimentos, que cresce principalmente no Brasil, onde há aumento da exportação de produtos agropecuários, fazendo com que o setor aumente sua produção para satisfazer as demandas internas e comerciais.

O Rio Grande do Sul já passou por diversos ciclos agropecuários ao longo dos séculos. No início do século XIX, havia o predomínio da criação de animais e a extração de erva mate dos ervais nativos. Entre 1780 a 1930, o estado ficou caracterizado pelo ciclo do charque, onde era abatido grande número de animais e eram aproveitadas todas suas partes como matéria prima. Também ocorreu o ciclo colonial (1890 a 1960), onde deu-se início à formação agrícola do estado, colonizada por alemães e italianos. Nessa época havia mão de obra familiar e eram cultivadas diversas culturas para a subsistência das famílias. Era realizada a derrubada de árvores, queimadas e rotação de culturas, e os principais produtos cultivados eram milho, feijão, batata inglesa, cana de açúcar, hortaliças, frutas, mandioca e trigo. E o último ciclo foi o da mecanização, onde o arroz foi o pioneiro, sendo realizada a primeira colheita mecanizada de arroz do Brasil, seguida pelo trigo e a soja (SILVEIRA et al., 2014).

De acordo com os resultados preliminares no Censo Agropecuário (2017), o Rio Grande do Sul possui 37% de sua área ocupada por lavouras temporárias, seguido por pastagens naturais e demais usos, sendo sua menor área, de apenas 1%, ocupada por lavouras permanentes, como pode ser observado na figura 5.

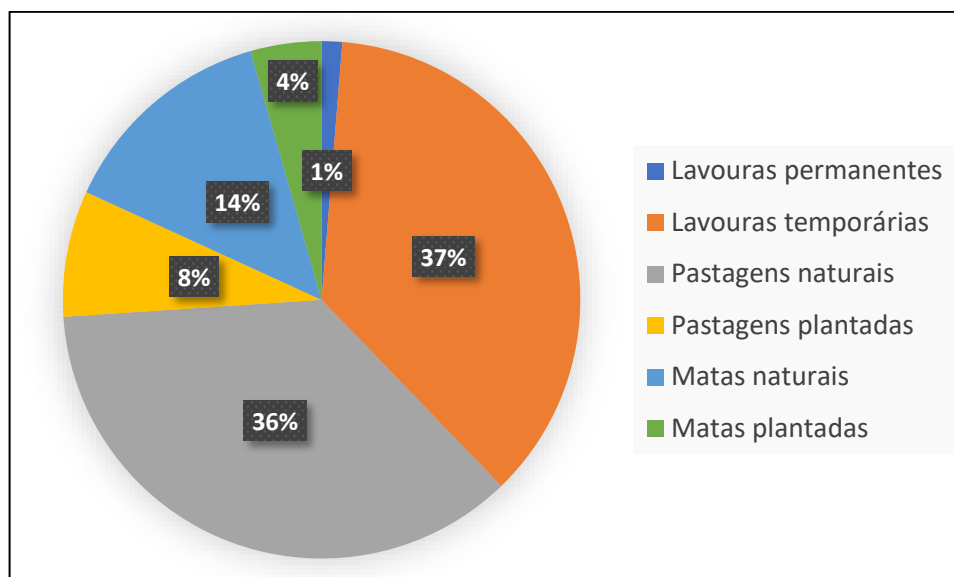


Figura 5: Utilização das terras nos estabelecimentos agropecuários do RS (2017).

Fonte: Censo Agropecuário 2017: resultados preliminares (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), 2018), adaptado pelo autor.

A área de plantio no Rio Grande do Sul está em seu limite máximo, não sendo possível um aumento significativo da produção por aumento da área, o que torna necessária uma gestão adequada dos recursos disponíveis (ALVIM e STULP, 2014).

Segundo Feix (2016), a agricultura está em todas regiões do estado, sendo possível observar algumas concentrações regionais, que são determinadas de acordo com a participação das principais atividades no Valor Adicionado Bruto (VAB) da agricultura do estado. Atualmente, as culturas permanentes e temporárias ocupam nove milhões de hectares, sendo aproximadamente 95% da área voltada para produção de grãos (cereais e oleaginosas). As culturas que se destacam no VAB da região Sul e Campanha são o arroz, o fumo e a soja.

De acordo com Lazzari (2005), as áreas com cultivo de soja sofreram um crescimento desde a safra de 2002/2003, onde foi possível observar um aumento de mais de 1,2 milhão de hectares, sendo plantada em locais que em grande parte eram utilizados para o cultivo de milho e para pecuária. Tal aumento foi ocasionado pelos valores recompensadores que a soja apresentou visivelmente no período, e apesar de ter uma baixa no período de plantio, ainda assim apresenta maior vantagem quando comparado com os antigos cultivos da área.

Kuplich et al. (2018) também mencionam que houve um aumento na área plantada com soja e arroz no Rio Grande do Sul, quando analisado o período de 2000

a 2015, e uma diminuição no cultivo de milho, conforme pode ser observado na figura 6.

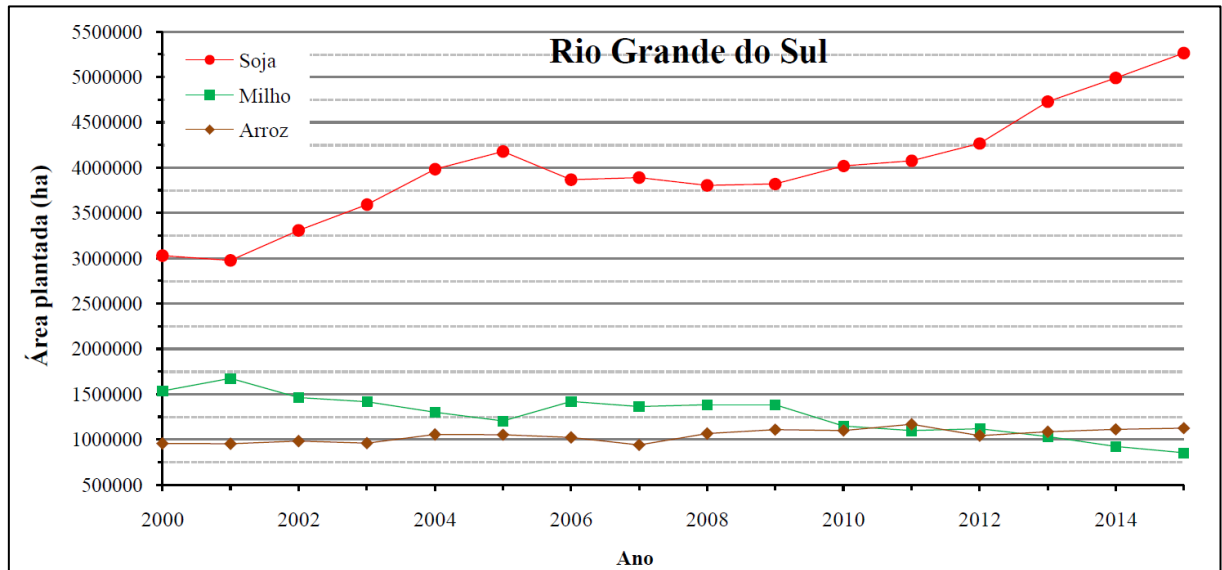


Figura 6: Área plantada em hectares de soja, milho e arroz no Rio Grande do Sul no período de 2000 a 2015.

Fonte: KUPLICH (2018).

A metade sul do estado é uma grande produtora de arroz e, além disso, também se destacam os cultivos de milho, feijão, sorgo, soja, olerícolas e frutíferas (LEIVAS et al., 2006). Ainda, segundo Kuplich et al. (2018), o cultivo da soja foi observado em grande parte na metade sul do estado em áreas que anteriormente eram utilizadas para cultivo de milho, ocasionando assim no triplo da área anteriormente plantada no bioma Pampa, conforme pode ser observado na figura 7. Segundo os autores, esta queda ocorreu devido ao cultivo da soja ser mais rentável e mais resistente às adversidades climáticas.

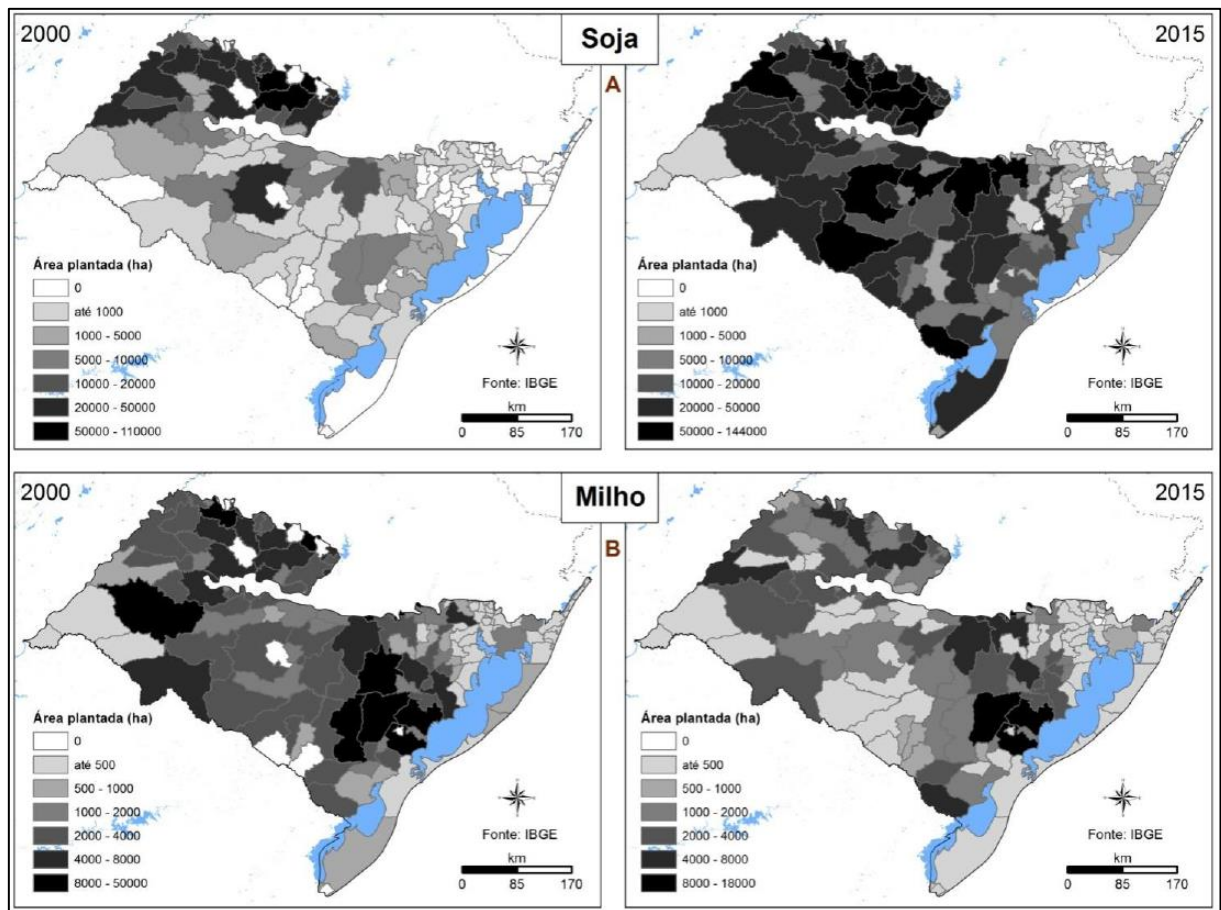


Figura 7: Distribuição espacial da área plantada (ha) de soja (A) e milho (B) inseridos no bioma Pampa nos anos de 2000 e 2015.

Fonte: Adaptado de KUPILICH (2018).

3.5 Impactos das mudanças climáticas na agricultura do Rio Grande do Sul

De acordo com Araújo (2018), o uso responsável da água na agricultura é um assunto importante que vem sendo discutido ao redor do mundo, já que associado ao exponencial crescimento da população ao longo dos anos está a necessidade de produzir alimentos em grande quantidade, o que poderá culminar em crises hídricas. Assim sendo, vem sendo discutidos os mais diferentes tipos de manejo e uso dos recursos hídricos, buscando formas eficientes para racionalização e potencialização da produção agrícola.

O cultivo agrícola é uma atividade que depende das condições climáticas, sendo que estas são fatores naturais e em grande parte das vezes os agricultores não possuem controle sobre elas. Seca, granizo, geada, vento e inundações são alguns

dos principais fatores que influenciam e impactam significativamente a agricultura. Existem registros de perdas de cultivos agrícolas ao longo da história da humanidade, que são atribuídas por fatores bióticos, onde existe a influência de animais, fungos, etc., ou por fatores abióticos, como os fatores que compõe o clima de uma região (SILVEIRA et al., 2014).

O aquecimento global pode interferir positivamente em regiões com temperaturas mais baixas, fazendo com que o clima fique mais propício para o desenvolvimento da agricultura. Porém, tal fato pode acarretar no aumento do desmatamento de florestas para servirem como áreas agrícolas. Em regiões mais quentes com temperaturas próximas ao que suportam as culturas agrícolas, o aquecimento pode culminar na diminuição da produtividade agrícola e no padrão de uso da terra (FÉRRES et al., 2009).

Segundo Cunha et al. (2014), a interferência do clima na agricultura está associado não somente ao desenvolvimento das culturas, mas também com outros processos agrícolas, como a preparação da terra para semear, o período de plantio e colheita, transporte e armazenamento. De acordo com Ghini (2011), as alterações no clima podem afetar direta ou indiretamente nos patógenos sobre as plantas hospedeiras, podendo essas estarem relacionadas com a temperatura, a precipitação, os ventos, entre outros. Esses efeitos ocorrem principalmente na fase de sobrevivência dos patógenos, e também podem interferir diretamente no crescimento, morfologia, fisiologia reprodução, predisposição e sobrevivência das plantas.

Gross e Cassol (2015) mencionam que é importante monitorar e observar a variação dos regimes de chuva, já que esses são fundamentais para a agricultura e sua falta pode acarretar sérios prejuízos a essa. De acordo com Cera e Ferraz (2015), como a economia do Rio Grande do Sul é baseada em sua grande parte no agronegócio, as características climáticas podem tornar os anos a serem favoráveis ou não para a agricultura e pecuária, sendo esse o principal fator da quebra de safras e diminuição de lucros. Conforme dados do Painel do Agronegócio no RS (2017), a participação agropecuária na economia do estado tem oscilado nos últimos anos devido ao rendimento físico por hectare, medida sensível às condições climáticas e às inovações no processo produtivo. Segundo Vargas Jr. e Campos (2015), a partir disso, torna-se fundamental a realização de estudos de eventos extremos no estado, pois, possuindo conhecimento sobre esse tipo de ocorrência, é possível indicar formas de minimizar os eventuais estragos que poderão ocorrer.

De acordo com Berlato et al. (2000), o granizo é muito prejudicial a agricultura, sendo possível destruir lavouras em minutos. Cereais de inverno, frutíferas de clima temperado como macieira, pessegueiro e videira, fumo e as hortaliças são as culturas mais atingidas no estado por esse tipo de fenômeno meteorológico.

A estiagem na região Sul do Brasil tornou-se um fenômeno recorrente nas últimas décadas, o que consequentemente tem impacto direto na economia, já que essa é em grande parte movimentada pela agricultura, ou seja, depende da disponibilidade hídrica. Além disso, estão sendo desenvolvidos novos híbridos mais precoces e eficientes, que necessitam de uma quantidade de água maior para sua produtividade. Com isso, é de suma importância o uso de estratégias que potencializem a retenção de água no solo e sua disponibilidade para as plantas (KLEIN; KLEIN, 2015).

Conforme a Tabela 1, pode-se observar dados das safras 2002/2003, 2003/2004 e 2004/2005, onde é possível avaliar as perdas nas safras de arroz, feijão, milho e soja, que são os principais grãos de verão cultivados no Rio Grande do Sul. Salienta-se o ano de 2004/2005 que, embora tenha um aumento significativo na área plantada, a área colhida teve uma grande diminuição devido à estiagem, ocasionando uma perda de 760.000 hectares de cultivo devido à ausência de condições mínimas para o desenvolvimento adequado e colheita das culturas. Até o momento, o ano que apresentou maior perda agrícola foi 1999, onde foram perdidos 173.000 hectares (LAZZARI, 2005).

Tabela 1: Comparativo de área, produção e produtividade nas lavouras somadas dos quatros principais grãos de verão (arroz, feijão, milho e soja do Rio Grande do Sul (2002/2003, 2003/2004, 2004/2005).

Grãos de Verão	Safras		
	2002/03	2003/04	2004/05
Área Plantada (ha)	6.131.233	6.462.664	6.566.704
Área Colhida (ha)	6.124.464	6.337.549	5.806.478
Área Perdida (ha)	6.769	125.115	760.226
Quantidade produzida (t)	19.840.437	15.390.356	9.863.715

Fonte: Lazzari, 2005.

De acordo com Lazzari (2005), o arroz no Rio Grande do Sul é quase totalmente cultivado em áreas irrigadas. Com isso, períodos de estiagem não afetam gravemente

as áreas deste cultivo, excetuando-se a safra 2004/2005, que devido sua tamanha severidade acabou ocasionando na perda de 43.688 hectares de arroz plantado.

Segundo Berlato et al. (2005), quase todo milho produzido no Rio Grande do Sul é de lavoura de sequeiro, então a produção pode ser influenciada em grande parte pela variação das precipitações. Em estudos realizados por outros autores, observa-se que algumas culturas do Rio Grande do Sul possuem forte influência do fenômeno ENOS, sendo que o El Niño tem uma influência positiva, e o La Niña uma influência negativa.

Berlato et al. (2005) realizaram um estudo para avaliar a influência destes fenômenos na produtividade do milho no Rio Grande do Sul, onde foi possível observar que existiu uma tendência fraca de redução da produtividade média desde o início dos anos 1920 até próximo a 1940. De 1942 a 1945, ocorreu uma forte diminuição da produtividade, que pode ser relacionada à ocorrência de dois eventos La Niña. Então, até o final da década de 60 foi observada uma estagnação da produtividade, o que pode se dar pelo fato da ocorrência de precipitações abaixo da média histórica. O período de maior variabilidade observado coincide com a maior variabilidade de precipitação, com o aumento da produtividade entre os anos 90 e 2000, coincidindo com a ocorrência de, ao menos, seis eventos de El Niño, que aumentaram o regime de chuvas, favorecendo o cultivo desta cultura.

Ainda, Berlato e Fontana (1999) realizaram um estudo relacionando à variabilidade interanual da precipitação pluvial com a variabilidade interanual do rendimento médio de grãos de soja no Rio Grande do Sul no fenômeno El Niño Oscilação Sul, e observaram que a oscilação interanual de precipitação foi o principal fator determinante da variabilidade dos rendimentos de soja, e que as estiagens ocorridas no período de estudo foi o fator agravante à cultura.

No período de 1996 a 2002, devido a perdas do plantio até a pré-colheita dos cultivos de arroz, feijão, milho, soja e trigo, o Brasil perdeu cerca de 28 milhões de toneladas de grãos (IBGE, 2004). Ainda segundo o IBGE (2004), no ano de 1998 ocorreu uma grande perda na safra de arroz, onde não foram colhidas 656.445 toneladas de arroz no Rio Grande do Sul, devido a fortes chuvas que submergiram áreas de cultivos, e ainda devido à baixa luminosidade durante o ciclo, que afetou significativamente no desenvolvimento das plantas. Como exemplo, pode-se citar o estudo realizado por Teixeira et al. (2013), sobre os efeitos dos desastres naturais sobre a cultura da soja no município de Bagé-RS. Os autores mencionam a ocorrência

de eventos de seca extrema e severa causaram a diminuição do rendimento da cultura de soja no município.

Segundo estudo realizado por Gonçalves e Sibaldelli (2018), onde foram analisados os impactos das mudanças climáticas no cultivo de soja, foi identificado que no município de Capão do Leão, região sul do Rio Grande do Sul, houve prejuízo em razão da estiagem que ocorreu no período 2017/2018, onde a área que tem histórico de produção de 72 sacas.ha⁻¹ teve uma quebra significativa na produtividade, produzindo de 40 a 45 sacas.ha⁻¹. Já nas regiões de Bagé, Rosário do Sul, e de Alegrete até São Luís Gonzaga, o padrão das lavouras de soja seguiu o mesmo comportamento, apresentando produtividades abaixo do esperado, ficando na faixa de 30 a 50 sacas.ha⁻¹.

3.6 Fluxo e armazenamento de água no solo

De acordo com Reichardt e Timm (2016), a água é imprescindível para o desenvolvimento dos vegetais, onde seu excesso ou sua ausência podem afetar diretamente sua produção. Durante o ciclo de desenvolvimento, uma cultura consome grande volume de água que é fornecida naturalmente pelo solo. Esta água é armazenada no solo conforme os espaços porosos disponíveis, que são recarregados naturalmente pelas precipitações, ou em sua ausência, de forma artificial através da irrigação. Conhecer a capacidade do solo em armazenar água é um fator decisivo em termos de produção agrícola, já que a falta ou o excesso de água no solo pode causar uma diminuição no rendimento agrícola (BARROS, 2010).

O volume de água armazenado no solo é influenciado por sua umidade, resistência à compactação e outros fatores. Assim sendo, o conhecimento da umidade do solo é fundamental em termos de movimento de água no solo, disponibilidade hídrica, susceptibilidade a erosão, além de através dela ser possível saber o período que uma cultura necessita de irrigação e a quantidade (BERNARDO et al. 2006).

De acordo Silveira et al. (2001), conforme a água vai percolando pela superfície do solo, as camadas superiores vão ficando úmidas, movimento esse que ocorre de cima para baixo de forma gradativa. Quando a água para de infiltrar, a umidade do solo é redistribuída de forma inversa, ou seja, os menores teores de umidade agora

estão próximos à superfície. Além disso, nem toda umidade do solo deposita-se nas camadas mais profundas, já que uma parte dessa vai para a atmosfera através da evaporação direta ou pela transpiração dos vegetais.

Segundo Bernardo et al., (2006), a água existente no solo não é algo estático, mas sim dinâmico, que se movimenta entre dois pontos do solo de acordo com seu gradiente potencial. Conforme menciona Mello e Silva (2013), o fluxo de água no solo ocorre devido à capacidade do meio em permitir a movimentação de água no seu interior, processo esse que é denominado de condutividade hidráulica, e também pela energia disponível no solo para a realização dessa movimentação, que é dada pela diferença de potencial de água no solo entre dois pontos considerados previamente e que é caracterizada pelo potencial gravitacional, matricial e de pressão.

Segundo Kroes et al. (2008), a Equação de Darcy é muito utilizada para quantificar o fluxo de água no solo. Assim sendo, para o fluxo vertical e unidimensional, esta equação é escrita como:

$$q = -K(h) \times \frac{\partial(h + z)}{\partial z} \quad (1)$$

onde q é a densidade do fluxo de água ($\text{cm} \cdot \text{d}^{-1}$), $K(h)$ é a condutividade hidráulica ($\text{cm} \cdot \text{d}^{-1}$), h é a pressão de água no solo ou potencial matricial (cm) e z é a coordenada vertical, considerada positiva para cima. Já a equação da continuidade da água no solo é representada por:

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial q}{\partial z} - S_a(h) - S_d(h) - S_m(h) \quad (2)$$

onde θ é o volume de água no solo ($\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$), t é o tempo (d), S_a é a extração de água do solo pela raiz ($\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$), S_d é a taxa de descarga do dreno na zona saturada (d^{-1}) e S_m é a taxa de troca dos macroporos (d^{-1}).

Assim sendo, a combinação destas duas equações resulta na equação geral de fluxo de água em solos saturados variáveis, a Equação de Richards (1931):

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial \left[K(h) \left(\frac{\partial h}{\partial z} + 1 \right) \right]}{\partial z} - S_a(h) - S_d(h) - S_m(h) \quad (3)$$

A função analítica para determinar a umidade no solo proposta por Van Genuchten (1980) é dada por:

$$\theta = \theta_{res} + (\theta_{sat} - \theta_{res})(1 + |\alpha \cdot h|^n)^{-m} \quad (4)$$

onde θ é o volume de água no solo ($\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$), θ_{sat} é a umidade de saturação do solo ($\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$), θ_{res} é o teor de água residual na faixa seca ($\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$) e α , n e m são fatores obtidos de forma empírica. Usando a relação entre $\theta(h)$ e aplicando a teoria da condutividade hidráulica de solos saturados e não saturados descrita por Mualem (1976), tem-se:

$$K = K_{sat} \times S_e^\lambda \left[1 - S_e^{\frac{1}{m}} \right]^2 \quad (5)$$

sendo K_{sat} a condutividade hidráulica saturada ($\text{cm} \cdot \text{d}^{-1}$), λ um parâmetro de forma dependente da derivada da condutividade hidráulica em função da pressão de água no solo e S_e a saturação relativa, que é obtida da seguinte forma:

$$S_e = \frac{\theta - \theta_{res}}{\theta_{sat} - \theta_{res}} \quad (6)$$

Quanto maior o potencial matricial (h), maior a quantidade de água no solo. Já a relação entre o potencial matricial e a umidade do solo resulta em uma curva específica e particular para cada solo, que varia de acordo com sua textura e estrutura (MELLO; SILVA, 2013).

Segundo Costa et al. (2008), conhecer a curva de retenção de água no solo é fundamental, principalmente em estudos sobre o movimento da água no solo. Isso se dá pelo fato de que com a curva de retenção sabe-se o teor de água do solo em diferentes tensões (h), o que fornece condições para a determinação do teor de água disponível no solo, teor de água atual e ainda, outras variáveis importantes na quantificação dos processos dinâmicos que envolvem o sistema solo-planta-atmosfera.

A quantidade máxima de água que pode ficar retida em cada camada do solo, é chamada de capacidade de campo (CC). As raízes vão extraíndo água ao longo dos compartimentos existentes no solo, até que chega em seu limite crítico, onde a planta

não consegue mais retirar água, que é chamado de ponto de murcha permanente (PMP) (BARROS, 2010).

Os modelos que simulam sistemas agrícolas são desenvolvidos para diversos propósitos, onde entre eles podemos citar o movimento da água, poluentes e solutos no solo, a previsão do desenvolvimento de culturas, monitorar a irrigação, e ainda, os impactos ambientais. Quando utilizados em conjunto com outras variáveis, estes modelos podem auxiliar na avaliação de possíveis cenários e consequentemente na tomada de decisão (BARROS, 2010). Conforme mencionado abaixo por Barros (2010):

Modelos permitem prever futuras produções agrícolas sob diferentes cenários, inclusive do clima, e são capazes de simular o sistema solo-planta-atmosfera e interações que nele ocorrem, indicando a viabilidade de medidas de mitigação e adaptação à vulnerabilidade agrícola (Barros 2010, p. 27).

Entre esses modelos, pode-se citar o SWAP (*Soil-Water-Atmosphere-Plant*), que é um modelo unidimensional capaz de dimensionar os fluxos e transporte de solutos, calor, água, desenvolvimento de culturas e a interação com a água superficial, utilizando metodologias atuais de simulação e modelagem (VAN DAM et al. 1997).

3.7 Importância da modelagem do armazenamento de água no solo na gestão dos recursos hídricos

É imprescindível conhecer como funcionam as interrelações entre o sistema solo-água-planta-atmosfera quando se busca obter projetos de irrigação que visam máxima produção e produtos de boa qualidade, além de buscar a utilização eficiente dos recursos hídricos. Em regiões de escassez hídrica, é importante o desenvolvimento de pesquisas que tenham como objetivo o planejamento da irrigação, como forma de obter o aumento da produção, a diminuição da quantidade de água utilizada e a perda de nutrientes do solo, entre outros (BERNARDO et al., 2006).

Conforme Reichardt e Timm (2016), é possível economizar grandes volumes da água utilizada na agricultura, se houver uma gestão adequada na irrigação, já que essa é responsável por utilizar quase toda parcela de água doce destinada à

agricultura. Segundo Bernardo et al., (2006), a quantificação da água necessária para irrigação é fundamental em um dimensionamento, planejamento e manejo de um sistema de irrigação. Quando esse tipo de estudo não é realizado, pode-se desenvolver sistemas de irrigação superdimensionados, que torna mais oneroso o custo da irrigação, além de que quantidades de água em excesso podem causar problemas no solo como elevação do lençol freático e lixiviação de nutrientes.

Segundo Resende e Chou (2014), o grande território brasileiro favorece a existência de diversos tipos de clima, o que torna fundamental a existência de informações meteorológicas com qualidade. As mudanças climáticas podem impactar no regime hidrológico, ocasionando a maior ocorrência de cheias, secas, erosão, alteração na qualidade da água, entre outros (ADAM; COLLISCHONN, 2013). Devido à grande influência das mudanças climáticas na agricultura, estudos a respeito do clima são de suma importância como forma estratégica na produção de alimentos e na gestão de riscos agrícolas (WREGGE et al. 2018). Além disso, conhecer os impactos que as mudanças climáticas podem causar nos mais diversos setores socioeconômicos é fundamental para o planejamento a longo prazo (CHOU et al., 2014).

Berlato et al. (2000), afirmam que é muito importante conhecer a probabilidade de ocorrência de eventos meteorológicos que sejam prejudiciais à agricultura, já que essas probabilidades fornecem índices de chance de ocorrência de alguns níveis ou valores críticos de fenômenos meteorológicos que são muito úteis para o planejamento da agricultura.

Assim sendo, os modelos de simulação podem auxiliar na indicação de medidas e ações que tornem possível a produção de alimentos, e ainda, podem ajudar em políticas de gestão e de planejamento (BARROS, 2010). Conhecer e monitorar a dinâmica da água no solo é imprescindível para que haja o manejo racional dos recursos hídricos utilizados, ainda mais em locais onde há agricultura irrigada (ALMEIDA et al., 2010).

4. Descrição da área de estudo

O estado do Rio Grande do Sul está localizado na região sul do Brasil. Segundo Reckziegel (2007), as paisagens diversificadas do estado são muito influenciadas pelas variadas formas de relevo. O clima no estado é caracterizado como subtropical úmido, sem estação seca, com chuvas bem distribuídas ao longo do ano. As estações do ano são bem definidas, onde apresenta verões quentes e invernos frios, fazendo assim que a amplitude térmica anual seja relativamente grande (RECKZIEGEL, 2007).

Segundo o Departamento de Planejamento Governamental (DPG) do RS, em seu Plano Plurianual (2016-2019), o estado é dividido em nove regiões funcionais de Planejamento, que pertencem aos Conselhos Regionais de Desenvolvimento (COREDES). As regiões Sul e Campanha (Figura 8) abrangem 29 municípios, sendo que Aceguá, Bagé, Caçapava do Sul, Candiota, Dom Pedrito, Hulha Negra e Lavras do Sul pertencem a região Campanha, enquanto que Amaral Ferrador, Arroio do Padre, Arroio Grande, Canguçu, Capão do Leão, Cerrito, Chuí, Herval, Jaguarão, Morro Redondo, Pedras Altas, Pedro Osório, Pelotas, Pinheiro Machado, Piratini, Rio Grande, Santa Vitória do Palmar, Santana da Boa Vista, São José do Norte, São Lourenço do Sul, Tavares e Turuçu, pertencem a Região Sul. As duas regiões contabilizam uma população total de 1.103.276 habitantes (FEE, 2015a).

A agropecuária é a atividade que movimenta a maior parte da economia em ambas regiões. Segundo a FEE (2015b), o RS possui uma importância histórica na produção agrícola e ocupa posição estratégica no País e está entre um dos principais estados exportadores de arroz, soja e fumo. Arroz, soja, trigo e milho são as principais culturas quando se fala de área plantada e quantidade produzida. Já em valores de produção, somam-se a estes o fumo, a uva e a maçã.

De acordo com a FEE (2011), a maior parte da concentração urbana da Região Sul está localizada no que é chamado de Aglomerado Urbano do Sul, que compreende os municípios de Pelotas, Rio Grande, Capão do Leão, São José do Norte e Arroio do Padre. O Produto Interno Bruto (PIB) da Região Sul apresenta 6,2% do PIB do RS, porém, ela vem perdendo participação econômica em relação ao resto do estado devido à baixa dinâmica da agricultura.

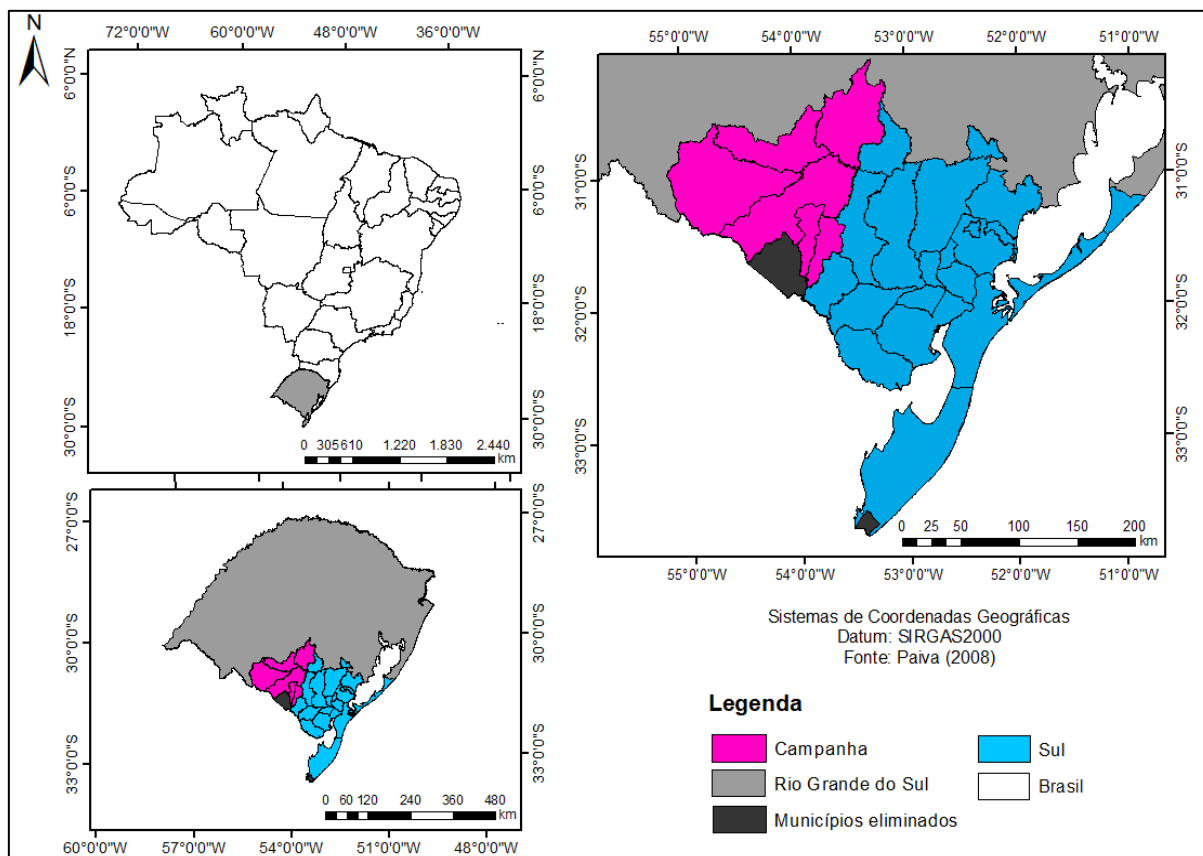


Figura 8: Mapa do Rio Grande do Sul e Regiões Sul e Campanha.
Fonte: Paiva (2008). Adaptado pelo autor.

A agropecuária da região Sul contribui com 7,2% da produção total do estado, sendo o arroz o principal produto, com 45,6% (cerca de 18% da produção estadual) e o principal produto de oito dos vinte e dois municípios que compõem a região. Já a soja é o principal produto em cinco dos vinte e dois municípios. Ainda, cita-se os municípios de Tavares e São José do Norte, que possuem como produção principal a cebola, representando 47,4% da produção estadual (FEE, 2011).

Ainda, segundo FEE (2011), na região Sul destaca-se o pêssigo, com 42% da produção estadual, sendo este o cultivo principal do município de Morro Redondo, e está presente também nas cidades de Cerrito e Piratini. Ainda, cita-se a madeira em tora, que possui 14% da produção estadual na região, sendo grande parte cultivada em São José do Norte, Rio Grande e Tavares. Na pecuária da região sul destacam-se os bovinos e a produção de leite, que são os principais produtos em 19 dos 22 municípios.

Já a Região da Campanha, de acordo com a SEPLAN (2015), é responsável por 17,2% da produção agropecuária do estado. Entre as culturas, destaca-se a produção de cereais para grãos, entre eles cita-se o arroz, o milho e a soja em grão,

e fruticultura, em especial a vitivinicultura. A silvicultura também está sendo desenvolvida na região e tem grande potencial, porém ainda tem pouca repercussão na economia local.

Para o desenvolvimento do presente estudo, serão considerados 27 municípios, já que em uma análise preliminar dos dados gerados pelos modelos climáticos regionalizados pelo ETA, foi possível observar que a coordenada referente ao município de Aceguá possivelmente está equivocada, podendo trazer assim imprecisão aos resultados. Além disso, não existem dados climáticos para o município do Chuí.

5. Metodologia

5.1 Dados meteorológicos de entrada requeridos pelo modelo SWAP

O modelo SWAP permite ao usuário selecionar as variáveis de entrada em função dos objetivos a serem alcançados. É possível entrar com dados de evapotranspiração de referência (ET_{ref}) no modelo, calcular a evapotranspiração potencial (ET_{pot}) a partir dos dados da cultura (valores do coeficiente de cultura k_c), ou ainda, entrar com os dados meteorológicos e calcular a ET_{ref} . No presente estudo, as seguintes variáveis climáticas foram usadas (Tabela 2):

Tabela 2: Variáveis climáticas utilizadas como dados de entrada no modelo SWAP.

Variável Climática	Abreviação	Unidade
Precipitação	P	mm
Umidade relativa do ar	U	kPa
Temperatura mínima	T_{min}	°C
Temperatura máxima	T_{max}	°C
Velocidade do vento	V	$m.s^{-1}$
Radiação solar	R	$kJ.m^{-2}$

As séries temporais de dados diários dessas variáveis (Tabela 2) foram obtidas por meio dos dados gerados pelo CPTEC/INPE e disponibilizados na Plataforma PROJETA, disponível no site <https://projeta.cptec.inpe.br>. Os dados da plataforma PROJETA são dados de modelos climáticos globais regionalizados pelo modelo ETA, que foi instalado em 1996 no CPTEC com o objetivo de complementar os dados de previsões climáticas que são feitos desde 1995 com modelo de circulação geral da atmosfera. O ETA permite a previsão de fenômenos climáticos com maior detalhamento, quando comparados com os Modelos de circulação Geral (CHOU, 1996).

Os modelos climáticos globais regionalizados pelo ETA e utilizados no presente projeto estão descritos abaixo. Para cada um, foram obtidas as séries de dados que simulam o período histórico (considerados dados base, período de 1961-2005), e as

projeções de dois cenários climáticos futuros, pelos cenários climáticos RCP 4.5 e o RCP 8.5 (2006-2099).

- CANESM2: esse modelo é a segunda geração do *Canadian Earth System Model*. É um modelo físico-oceânico (CanCM4) acoplado a um modelo terrestre de carbono (CTEM) e a um modelo carbônico oceânico (CMOC) (ECCC, 2017).

- HADGEM2-ES: é uma configuração desenvolvida a partir da versão 6.6 do *Met Office Unified Model* (UM). Ele foi o primeiro modelo do *Met Office Hadley Center*, localizado no Reino Unido, que incluiu como padrão os componentes do sistema terrestre. O UM é muito utilizado no mundo tanto para previsões operacionais quanto para pesquisas climáticas (TEIXEIRA, 2015).

- MIROC5: desenvolvido pelo *Center for Climate System Research* (CCSR), *National Institute of Environmental Studies* (NIES) e *Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology* (JAMSTEC), o *Model for Interdisciplinary Research on Climate* (MIROC5), foi utilizado no quinto relatório do IPCC (AR5). Ele é uma versão atualizada do MIROC3.2 (WATANABE et al., 2010).

No presente estudo foi utilizada a grade de resolução de 20 km disponibilizada no *site* do PROJETA. Dentre as opções disponíveis para obtenção dos dados, optou-se pela opção de uma projeção por município, sendo possível também extrair os dados por área retangular no mapa ou por ponto (em uma grade de 20 km de resolução horizontal). As coordenadas respectivas dos três modelos utilizados para cada município da região de estudo podem ser observadas na figura 9.

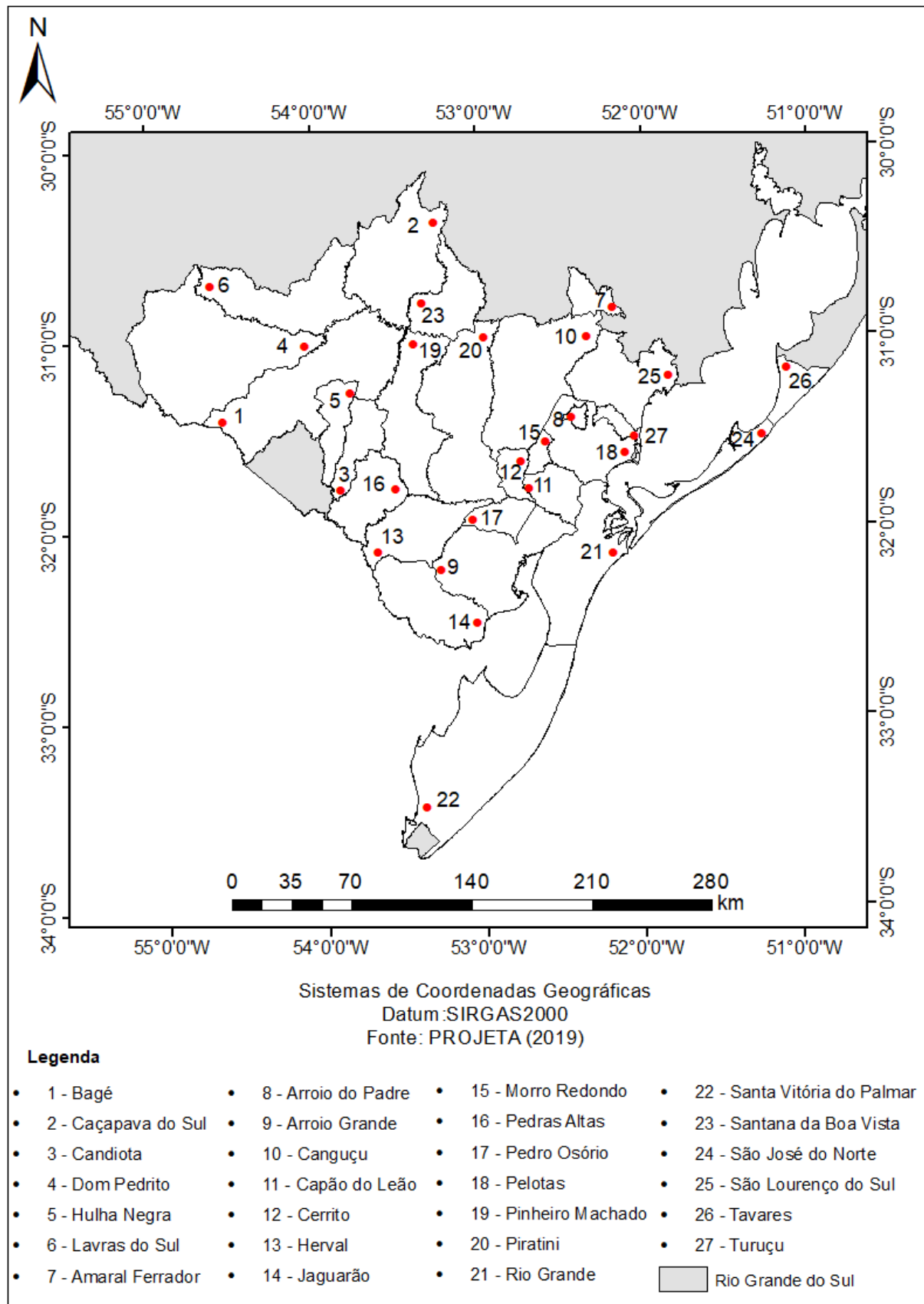


Figura 9: Pontos dos modelos climáticos em cada município da área de estudo.
Fonte: PROJETA (2019).

Assim sendo, foram obtidos dados climáticos históricos para cada município da região de estudo e os dados futuros gerados a partir das projeções de cada um dos três modelos para cada um dos dois cenários analisados (Figura 10). Os dados denominados como históricos compreendem o período de 1961 a 2005, e os das projeções RCP 4.5 e 8.5 possuem o período de 2006 a 2099.

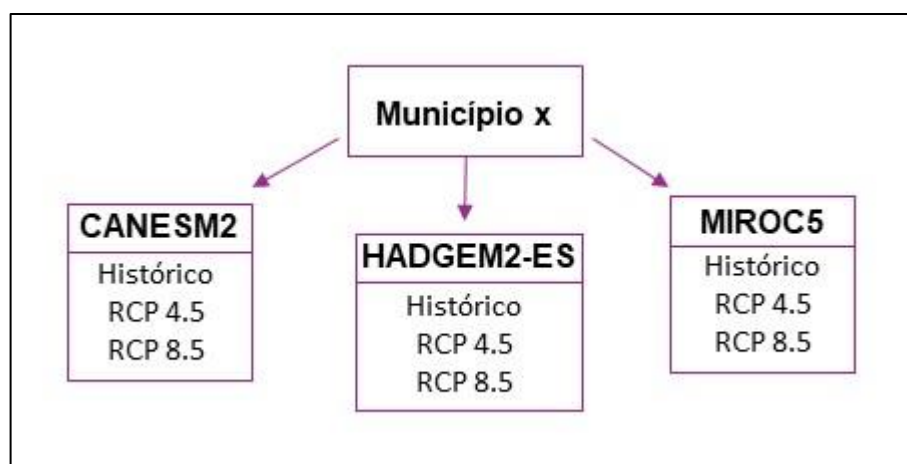


Figura 10: Esquema dos dados climáticos obtidos na plataforma PROJETA.

Além disso, para melhor comparação dos períodos futuros com o período base, o período futuro foi subdividido em três partes, o que auxiliou na observação e discussão dos resultados. A subdivisão foi feita conforme indica a Tabela 3:

Tabela 3: Períodos adotados para as projeções futuras.

Período	Anos
F1	2006 - 2040
F2	2041 - 2070
F3	2071 - 2099

Após o *download* dos dados, os mesmos foram tratados em um *software* de planilhas eletrônicas, observando a existência de falhas nas datas. Quando foi observada a ausência de algum dia ao longo do mês, duplicou-se os dados climáticos do dia anterior. No caso de haver meses com número de dias em excesso, os dias excedentes foram excluídos. Após esta etapa, os dados foram separados por ano no formato de entrada do SWAP.

5.2 Dados do solo requeridos pelo modelo SWAP

Dentro de uma região, há variações dos tipos de solo existentes. Com isso, para obter os dados do solo necessários para o desenvolvimento da modelagem no SWAP, foram consideradas as classes de solos que apresentaram maior representatividade dentro do município, tendo sido observada ainda se essas possuíam aptidão para agricultura.

Para selecionar as classes de solo mais representativas, foi utilizado o *software Quantum GIS 2.18.22*, onde foram plotados *shapes* de classes de solo disponibilizados por Santos (2011). Quando estes *shapes* foram recortados na área de estudo, o mapa de classes do solo das regiões Sul e Campanha foi gerado (Figura 11). A partir deste primeiro mapa foi possível conhecer os tipos de solo de cada região, permitindo a busca dos dados de curva e retenção de água no solo e de condutividade hidráulica do solo saturado (K_{SAT}), os quais foram necessários para a simulação usando o modelo SWAP.

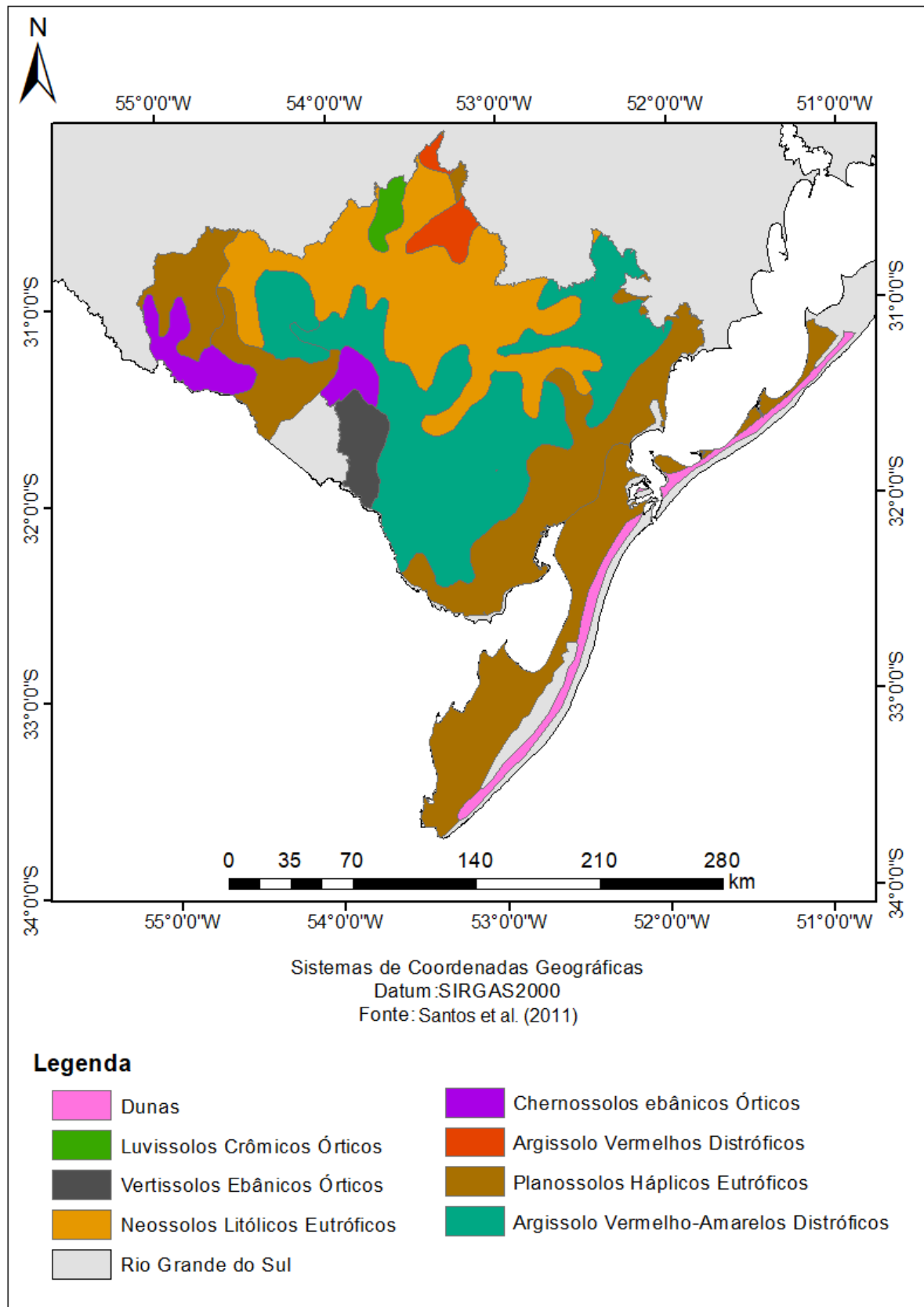


Figura 11: Tipos de solo da região Sul e Campanha do Rio Grande do Sul.
Fonte: Santos et al. (2011). Adaptado pelo autor.

Com isso, foi elaborado um mapa de solo para cada município de estudo e determinado o tipo de solo a ser considerado na modelagem. Como não foi possível realizar análises reais do solo da região, buscou-se na literatura estudos que contemplassem os tipos de solos identificados na região de estudo. Optou-se em um primeiro momento por trabalhos dos municípios ou da região de estudo, e como existem poucos trabalhos na região de interesse, buscou-se outros trabalhos, sendo quase todas as classes de solo disponibilizadas no HYBRAS (*Hydrophysical Database for Brazilian Soils*), que é um banco de dados de solos brasileiros provenientes de um projeto do Departamento de Hidrologia da Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM), disponível no site da própria CPRM (<http://www.cprm.gov.br>). Esse conjunto de dados contém 445 perfis de solo provenientes de 1075 amostras de uma grande quantidade de solos tropicais brasileiros (OTTONI et al., 2018). Ou seja, dentro do HYBRAS, foram filtrados os tipos de solo dando prioridade para amostras da região do estudo e quando essas eram inexistentes, para as regiões mais próximas disponibilizadas. Na Tabela 4 estão os tipos de solo considerados para cada município, bem como os valores para cada parâmetro necessário na modelagem.

Tabela 4: Classes de solos da região Sul e Campanha do Rio Grande do Sul e respectivas fontes de pesquisa para obtenção dos dados da curva de retenção de água (θ_s , θ_r , α , m , n) do solo e da condutividade hidráulica do solo saturado (K_{SAT}).

Município	Tipo de solo	θ_s ($m^3.m^{-3}$)	θ_r ($m^3.m^{-3}$)	α	n	K_{SAT} ($cm.h^{-1}$)	Fonte
Aceguá	Planossolos Háplicos Eutróficos	0,305	0,23	0,011	1,589	0,306	Ottoni et al. (2018)
Amaral Ferrador	Neossolos Litólicos Eutróficos	0,47	0,28	0,48	1,76	0,47	Ottoni et al. (2018)
Arroio do Padre	Neossolos Litólicos Eutróficos	0,47	0,28	0,48	1,76	0,47	Ottoni et al. (2018)
Arroio Grande	Planossolos Háplicos Eutróficos	0,305	0,23	0,011	1,589	0,306	Ottoni et al. (2018)
Bagé	Neossolos Litólicos Háplicos	0,47	0,28	0,48	1,76	0,47	Ottoni et al. (2018)
Caçapava do Sul	Planossolos Háplicos Eutróficos	0,556	0,234	0,012	1,571	0,368	Ottoni et al. (2018)
Candiota	Argissolos Vermelho-Amarelos Distróficos	0,402	0,172	0,12	2,591	0,40	Ottoni et al. (2018)
Canguçu	Neossolos Litólicos Háplicos	0,47	0,28	0,48	1,76	0,47	Ottoni et al. (2018)
Capão do Leão	Planossolos Háplicos Eutróficos	0,309	0,077	0,002	1,395	2,56	Ribeiro et al. (2016); Lima et al. (2008)
Cerrito	Neossolos Litólicos Háplicos	0,47	0,28	0,48	1,76	0,47	Ottoni et al. (2018)
Dom Pedrito	Planossolos Háplicos Eutróficos	0,556	0,234	0,012	1,571	0,368	Ottoni et al. (2018)
Herval	Argissolos Vermelho-Amarelos Distróficos	0,402	0,172	0,12	2,591	0,40	Ottoni et al. (2018)
Hulha Negra	Argissolos Vermelho-Amarelos Distróficos	0,402	0,172	0,12	2,591	0,40	Ottoni et al. (2018)
Jaguarão	Planossolos Háplicos Eutróficos	0,498	0,398	0,0225	1,418	0,498	Ottoni et al. (2018)
Lavras do Sul	Planossolos Háplicos Eutróficos	0,498	0,398	0,0225	1,418	0,498	Ottoni et al. (2018)
Morro Redondo	Argissolos Vermelho-Amarelos Distróficos	0,402	0,172	0,12	2,591	0,40	Ottoni et al. (2018)
Pedras Altas	Argissolos Vermelho-Amarelos Distróficos	0,402	0,172	0,12	2,591	0,40	Ottoni et al. (2018)
Pedro Osório	Planossolos Háplicos Eutróficos	0,354	0,097	0,015	1,521	0,354	Ottoni et al. (2018)
Pelotas	Neossolos Litólicos Háplicos	0,47	0,28	0,48	1,76	0,47	Ottoni et al. (2018)
Pinheiro Machado	Neossolos Litólicos Háplicos	0,47	0,28	0,48	1,76	0,47	Ottoni et al. (2018)
Piratini	Neossolos Litólicos Háplicos	0,47	0,28	0,48	1,76	0,47	Ottoni et al. (2018)

Tabela 4 (cont.): Classes de solos da região Sul e Campanha do Rio Grande do Sul e respectivas fontes de pesquisa para obtenção dos dados de solo.

Município	Tipo de solo	θ_s (m³.m⁻³)	θ_r (m³.m⁻³)	α	n	K_{SAT} (cm.h⁻¹)	Fonte
Rio Grande	Planossolos Hápicos Eutróficos	0,42	0,06	0,015	1,691	0,324	Ottoni et al. (2018)
Santa Vitória do Palmar	Planossolos Hápicos Eutróficos	0,42	0,06	0,015	1,691	0,324	Ottoni et al. (2018)
Santana da Boa Vista	Planossolos Hápicos Eutróficos	0,405	0,045	0,023	1,654	0,306	Ottoni et al. (2018)
São José do Norte	Planossolos Hápicos Eutróficos	0,43	0,084	0,015	1,741	0,365	Ottoni et al. (2018)
São Lourenço do Sul	Neossolos Litólicos Hápicos	0,47	0,28	0,48	1,76	0,47	Ottoni et al. (2018)
Tavares	Planossolos Hápicos Eutróficos	0,43	0,084	0,015	1,741	0,365	Ottoni et al. (2018)
Turuçu	Planossolos Hápicos Eutróficos	0,368	0,078	0,032	1,492	0,333	Ottoni et al. (2018)

5.3 Dados das culturas agrícolas requeridos pelo modelo SWAP

Para o cálculo da evapotranspiração da cultura de interesse foi necessário conhecer alguns parâmetros das culturas agrícolas predominantes na região de estudo. Com isso, as culturas que apresentaram maior área plantada e colhida foram consideradas em cada município. Cabe salientar que só foram consideradas culturas de sequeiro, ou seja, o cultivo de arroz que apresenta grandes áreas na região de estudo não foi avaliado já que seu cultivo se dá, majoritariamente, através da técnica de irrigação por inundação.

Para saber quais eram as culturas predominantes em cada município, foi feito o *download* dos índices das áreas destinadas à colheita (para culturas permanentes) e das áreas plantadas (para culturas temporárias) para o ano de 2017 da Fundação de Economia e Estatística (FEE), disponíveis no site <https://dados.fee.tche.br/>, para todas as culturas do estado do Rio Grande do Sul. Os dados foram organizados em um *software* de planilhas eletrônicas, tendo sido selecionadas as culturas presentes nos municípios da área de estudo. A partir disso, foram selecionadas as culturas com maiores áreas representativas, que são apresentadas na tabela 5.

Tabela 5: Municípios da região Sul e Campanha e seus principais cultivos agrícolas.

Município	Culturas
Amaral Ferrador	Fumo, milho e soja
Arroio do Padre	Fumo
Arroio Grande	Milho e Soja
Bagé	Soja
Caçapava do Sul	Mandioca, milho e soja
Candiota	Soja
Canguçu	Feijão, fumo, milho, pêssego e soja
Capão do Leão	Soja
Cerrito	Milho e soja
Dom Pedrito	Milho e soja
Herval	Milho e soja
Hulha Negra	Soja e sorgo
Jaguarão	Trigo e soja
Lavras do Sul	Soja e sorgo

Tabela 5 (cont.): Municípios da região Sul e Campanha e seus principais cultivos agrícolas.

Município	Culturas
Morro Redondo	Milho e soja
Pedras Altas	Cevada e soja
Pedro Osório	Soja
Pelotas	Fumo, milho, pêssego e soja
Pinheiro Machado	Milho e soja
Piratini	Milho e soja
Rio Grande	Soja
Santa Vitória do Palmar	Soja
Santana da Boa Vista	Milho, soja e trigo
São José do Norte	Cebola
São Lourenço do Sul	Fumo, milho e soja
Tavares	Cebola e milho
Turuçu	Milho e soja

Fonte: FEE, 2017.

Os dados de coeficiente de cultivo (k_c), do índice de área foliar (IAF), do número de dias referente a duração de cada estágio de desenvolvimento da cultura e de profundidade das raízes para cada cultura agrícola foram necessários para o uso do modelo SWAP.

Os valores de k_c para as diferentes culturas (Tabela 6) foram obtidos por meio de dados tabelados em Allen et al. (1998), onde são apresentados valores típicos para diversas culturas. Não foram encontradas informações para a cultura do fumo nessa referência, sendo utilizado o k_c obtido no site da FAO (*Food and Agriculture Organization of the United Nations*) (FAO, 2019). Os valores são próximos entre culturas de um mesmo grupo, já que estas apresentam características similares como altura de planta e área foliar, por exemplo.

Os dados de profundidade das raízes nos diferentes estágios de desenvolvimento de cada cultura foram obtidos por meio do site da FAO (2019), no estudo realizado por Silva et al. (2018) e no Projeto Estratégico de P&D nº 010/2008 da ANEEL (Tabela 7).

Tabela 6: Valores dos coeficientes de cultura (k_c) das culturas que mais destacam-se na região Sul e Campanha do Rio Grande do Sul.

Cultura	K_c inicial	K_c med	K_c final
Cebola	0,70	1,00	1,00
Cevada	0,30	1,15	1,25
Feijão	0,50	1,05	0,90
Fumo	0,50	1,10	0,80
Mandioca	0,30	0,80	0,30
Milho	0,70	1,20	0,60
Pêssego	0,80	1,15	0,85
Trigo	0,30	1,15	0,25
Soja	0,50	1,15	0,50
Sorgo	0,70	1,00	0,55

Fonte: Allen et al., 1998; FAO, 2019.

Tabela 7: Profundidade das raízes (m) nos diferentes estádios de desenvolvimento de cada cultura.

Cultura	Inicial	Médio	Final
Cebola	0,1	0,5	0,4
Cevada	0,3	1,0	1,0
Feijão	0,1	0,8	1,0
Fumo	0,1	0,4	0,8
Mandioca	0,1	0,4	0,8
Milho	0,1	0,8	1,4
Pêssego	0,1	0,4	0,8
Soja	0,1	0,5	1,0
Sorgo	0,1	0,8	1,4
Trigo	0,3	1,0	1,0

Fonte: FAO (2019); Silva et al. (2018) e Projeto Estratégico de P&D nº 010/2008 da ANEEL.

O período de duração de cada estágio de desenvolvimento para cada cultura foi obtido em Allen et al. (1998) e no site da FAO (2019). Na simulação foi considerado, para fins de número de dias do ciclo da cultura, até a metade do período do estágio de desenvolvimento final da cultura, já que geralmente grande parte delas é capaz de se desenvolver sem receber água durante a metade deste último período. Ou seja, por exemplo, no caso da cebola que possui um período total de desenvolvimento de 180 dias, sendo que o estágio final tem duração de 40 dias, foi considerado que

desses 40 dias apenas 20 dias necessitam de água, totalizando 160 dias em que a cultura poderá demandar água.

Já as informações sobre os períodos de semeadura e colheita para cada cultura e os números de dias correspondentes a cada estágio de desenvolvimento podem ser observados na Tabela 8.

Tabela 8: Estádios de desenvolvimento das culturas e período de semeadura.

Cultura	Estádios de desenvolvimento (dias)					Período	Fonte
	Inicial	Desenvolv.	Médio	Final	Total		
Cebola¹	30	55	55	40	180	Jul./ago	EMBRAPA e SEBRAE, 2010
Cevada¹	20	50	60	30	160	Mai./jul.	EMBRAPA e SEBRAE, 2010
Feijão¹	15	25	25	10	75	Ago./set.	CONAB, 2017
Fumo²	20	30	30	30	110	Out./dez.	EMBRAPA E SEBRAE, 2010
Mandioca¹	20	40	90	60	210	Set./nov.	MALUF et al., 2011
Milho¹	30	40	50	50	170	Out./dez.	CONAB, 2017
Pêssego¹	30	50	130	30	240	Jul./dez	RASEIRA, 1998
Soja¹	20	35	60	25	140	Out./jan.	CONAB, 2017
Sorgo¹	20	35	40	30	130	Out./jan.	CONAB, 2017
Trigo¹	20	50	60	30	160	Mai./jul.	CONAB, 2017

Fonte: Allen et al., 1998¹; FAO, 2019.²

Foi adotado um dia genérico para cada cultura dentro do período indicado na literatura, e buscando referências de notícias dos dias de semeadura das últimas safras, tendo em vista que esse dia preciso varia de ano para ano, em cada município e até mesmo entre os agricultores da mesma localidade. Com isso, os dias adotados para data da semeadura e da colheita das culturas constam na Tabela 9.

O índice de área foliar (IAF), que é a área de folha por unidade de área de solo, é outro parâmetro das culturas que é necessário para a realização da modelagem no SWAP. Os valores desse índice para as culturas agrícolas predominantes na área de estudo foram obtidos em artigos científicos e no Projeto Estratégico de P&D nº 010/2008 da ANEEL, como pode ser observado na Tabela 10.

Tabela 9: Dias de semeadura e colheita dos cultivos.

Cultura	Dia de semeadura	Dia de colheita
Cebola	17 de setembro	16 de março
Cevada	21 de junho	28 de novembro
Feijão	24 de agosto	7 de novembro
Fumo	9 de outubro	27 de janeiro
Mandioca	21 de setembro	19 de abril
Milho	7 de outubro	26 de março
Pêssego	10 de dezembro	6 de agosto
Soja	17 de outubro	6 de março
Sorgo	8 de outubro	6 de março
Trigo	11 de julho	18 de dezembro

Tabela 10: Índice de Área Foliar (IAF) das principais culturas agrícolas na área de estudo.

Cultura	Inicial	Médio	Final	Fonte
Cebola	0,5	3,5	1,5	Projeto Estratégico de P&D nº 010/2008 da ANEEL.
Cevada	0,1	4,7	1,7	Projeto Estratégico de P&D nº 010/2008 da ANEEL.
Feijão	0,1	4,0	2,0	Silva et al. (2018)
Fumo	0,1	2,0	1,6	Projeto Estratégico de P&D nº 010/2008 da ANEEL.
Mandioca	0,2	6,0	5,0	Projeto Estratégico de P&D nº 010/2008 da ANEEL.
Milho	0,1	4,8	2,0	Silva et al. (2018)
Pêssego	0,1	2,5	2,5	Projeto Estratégico de P&D nº 010/2008 da ANEEL.
Soja	0,1	7,0	1,5	Silva et al. (2018)
Sorgo	0,1	4,8	2,0	Projeto Estratégico de P&D nº 010/2008 da ANEEL.
Trigo	0,1	2,7	1,7	Silva et al. (2018)

5.4 Primeira etapa metodológica

A primeira etapa desse trabalho irá compor o primeiro artigo proveniente deste estudo, que teve por objetivo analisar os dados de precipitação anual acumulada (mm) e temperatura média anual (°C) por meio de análises anuais e cálculo de anomalias.

5.4.1 Análise anual de temperatura média e precipitação

Para a realização da análise dos dados meteorológicos anuais de precipitação e temperatura máxima e mínima, foram calculadas as médias anuais para cada modelo, considerando o período base e os períodos futuros (F1, F2 e F3) para os cenários climáticos RCP 4.5 e RCP 8.5, com o auxílio de um *software* de planilhas eletrônicas. Assim, foi possível comparar as médias anuais do período base com as médias anuais das projeções futuras para cada município da área de estudo (Tabela 11).

Tabela 11: Resultados de médias anuais de precipitação e temperatura mínima e máxima para cada modelo global regionalizado pelo modelo ETA para RCP 4.5 e RCP 8.5.

Variável	Período	Município X		
		CANESM2	HADGEM2-ES	MIROC5
Temperatura Média (°C)	Base (1961 – 2005)	Média T _{med} base	Média T _{med} base	Média T _{med} base
	F1 (2006 – 2040)	Média T _{med} F1	Média T _{med} F1	Média T _{med} F1
	F2 (2041 – 2070)	Média T _{med} F2	Média T _{med} F2	Média T _{med} F2
	F3 (2071 – 2099)	Média T _{med} F3	Média T _{med} F3	Média T _{med} F3
Precipitação Acumulada (mm)	Base (1961 – 2005)	Média P base	Média P base	Média P base
	F1 (2006 – 2040)	Média P F1	Média P F1	Média P F1
	F2 (2041 – 2070)	Média P F2	Média P F2	Média P F2
	F3 (2071 – 2099)	Média P F3	Média P F3	Média P F3

5.4.2 Anomalias

Anomalias são valores considerados acima ou abaixo do valor climatológico normal esperado para uma estação do ano e área de estudo (FIRPO et al., 2012). Com isso, para o cálculo de anomalias, foi considerado o valor médio anual de cada futuro (F1, F2 e F3) para cada modelo regionalizado pelo modelo ETA para os cenários RCP 4.5 e RCP 8.5, conforme a tabela 10, e a partir disso realizado o cálculo de anomalia, conforme a equação:

$$A_i = X_i - X_b \quad (7)$$

onde A_i é a anomalia para o período futuro i , X_i é a média anual do período futuro i e X_b é a média anual do período base, sendo $i = 1, 2$ ou 3 .

Por meio dessa equação foi possível quantificar as anomalias e verificar se as mesmas são positivas ou negativas. Essa informação foi de suma importância para identificar como tais anomalias nesses dados meteorológicos poderão influenciar necessidades de uso dos recursos hídricos para a agricultura.

5.5 Segunda etapa metodológica

A segunda etapa metodológica deste trabalho, que irá compor o segundo artigo, teve como objetivo realizar as simulações para determinar as demandas de água para irrigação nas regiões Sul e Campanha do Rio Grande do Sul utilizando o modelo SWAP.

5.5.1 O modelo SWAP

O modelo SWAP foi desenvolvido pelo departamento de Recursos Hídricos da Universidade de Wageningen, Holanda, em conjunto com *Alterra Green World Research*, Departamento de Água e Ambiente. O SWAP permite a simulação das interações entre o fluxo de água, transporte de solutos, crescimento de planta e fluxo de calor. Além disso, é capaz de simular processos em escala de campo, considerando todas variáveis que podem afetar essas interações, como o estresse hídrico, salinidade, entre outros (VAN DAM, 2000).

Vários processos hidrológicos são envolvidos nos SWAP, considerando desde a parte superior do solo, que consiste na vegetação, até a inferior, onde está localizado o lençol freático. Entre esses limites, ocorrem vários processos verticais, permitindo assim o desenvolvimento de um modelo unidimensional. Quando se deseja fazer uma análise da variação de vegetação, condição de drenagem ou condição do solo, ou seja, considerando processos horizontais, é indicado a utilização do modelo em cada local de forma separada, ou então definir uma situação que represente esses

compartimentos. Ou seja, essa divisão culmina na resolução de equações para cada divisão em intervalos de tempo (VAN DAM, 2000).

O balanço de água no perfil do solo é calculado por meio da solução numérica da equação não linear de Richards (1931), sendo ela:

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left[k(\theta) \left(\frac{\partial h}{\partial z} + 1 \right) \right] - S_a(h) - S_d(h) - S_m \quad (12)$$

Onde $S_a(h)$ é a extração de água pelas raízes das plantas, $S_d(h)$ é a saída de água pelos drenos e $S_m(h)$ é a contabilização da troca de água entre a matriz do solo e os macroporos (fluxo preferencial).

A discretização numérica da equação de Richards é realizada por meio do uso de um esquema implícito de diferenças finitas, possibilitando assim que seja feita a simulação das zonas saturada e não saturada de forma simultânea.

Para a simulação, é necessário entrar com algumas informações no SWAP, que dividem-se em: meteorológicas, que são os dados diários de precipitação, umidade do ar, temperatura mínima e máxima, velocidade do vento, radiação solar; dados a respeito da cultura que se pretende simular, que incluem a duração do período de cultivo, coeficiente da cultura (k_c) em cada estágio de desenvolvimento da planta, estresse hídrico, parâmetros para o cálculo da interceptação, densidade de raízes, entre outros; dados gerais, que são informações sobre o período de simulação e de cultivo, tipo de cultura, condições iniciais de contorno do perfil do solo, características físico-hídricas do solo, etc.; e os dados de drenagem, que consistem nos parâmetros dos modelos que possam ser utilizados, características dos drenos, entre outros.

Como o presente estudo teve como objetivo simular a demanda de água apenas para culturas de sequeiro, e admite-se que a extração de água pelas raízes será igual a transpiração da planta, o termo que considera a drenagem e fluxo preferencial em macroporos na equação de Richards foram desconsiderados. Com isso, a equação geral de Richards quando aplicada, foi:

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left[k(\theta) \left(\frac{\partial h}{\partial z} + 1 \right) \right] - S_a(h) \quad (13)$$

Para o cálculo das demandas futuras de água foi considerado que toda a água necessitada pela planta será suprida, então tem-se:

$$I_d = T_p - T_r \quad (14)$$

Onde I_d é a lâmina de água para irrigação da cultura (mm), T_p é a transpiração potencial da planta (mm) quando ela não possui limitação hídrica e T_r é a transpiração real da planta (mm), ou seja, com restrição hídrica.

Com isso, valores de transpiração real menores que os de transpiração potencial significa que a planta sofrerá um déficit hídrico e necessitará de irrigação.

Para a determinação da transpiração potencial e real, o SWAP pode seguir vários caminhos, que são determinados pelo usuário de acordo com as variáveis de entrada e seus objetivos, considerando as particularidades de seu estudo. Na figura 12, pode-se observar todos os caminhos que o modelo possibilita, sendo que estão destacados em negrito e numerados em ordem sequencial a sequência de etapas utilizada para a obtenção dos resultados no presente estudo. Tais passos estão detalhados a seguir.

As etapas numeradas na figura 12 são:

1. Entrada dos dados meteorológicos diários (precipitação, radiação solar, umidade relativa do ar, temperaturas mínima e máxima e velocidade do vento) no modelo SWAP. Com isso será feita uma simulação diferente para cada modelo regional, para cada cidade e para cada cultura considerada, uma vez que cada projeção consiste em um conjunto diferente dessas variáveis.

2. Com os dados meteorológicos, o modelo SWAP calculará a evapotranspiração de referência para uma cultura hipotética pelo método de Penman-Monteith, conforme a equação:

$$ET_{ref} = \frac{\frac{\Delta_v}{\lambda_w} (R_n - G) + \frac{p_1 \rho_{air} C_{air} (e_{sat} - e_a)}{\lambda_w - r_{air}}}{\Delta_v + \gamma_{air} \left(1 + \frac{r_{crop}}{r_{air}}\right)} \quad (15)$$

onde ET_{ref} é a evapotranspiração de referência (mm d^{-1}), Δ_v é a inclinação da curva de pressão de vapor ($\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$), λ_w é o valor latente de vaporização (J kg^{-1}), G é o fluxo de calor no solo ($\text{J m}^{-2} \text{d}^{-1}$), R_n é a radiação líquida na superfície da cultura ($\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$).

¹), p_1 é um fator de conversão ($=864400 \text{ s d}^{-1}$), ρ_{air} é a densidade do ar (kg m^{-3}), C_{air} é a capacidade calorífica do ar úmido ($\text{J kg}^{-1} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$), e_{sat} é a pressão de vapor de saturação (kPa), e_a é a pressão de vapor real (kPa), γ_{air} é a constante psicrométrica ($\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$), r_{crop} a resistência da cultura (s m^{-1}) e r_{air} é a resistência aerodinâmica (s m^{-1}).

3. A partir da ET_{ref} é calculada a evapotranspiração potencial (ET_p) para a cultura de interesse, utilizando o coeficiente da cultura (k_c), sendo:

$$ET_p = k_c \times ET_{\text{ref}} \quad (16)$$

4. e 5. Em condições muito secas, a taxa de evaporação diminui mais rápido que a de transpiração, e por isso o SWAP considera o cálculo dessas taxas de forma separada. Assim sendo, nessa etapa, por meio do índice de área foliar (IAF), o modelo separa os cálculos da transpiração potencial (T_p) da cultura e da evaporação potencial (E_p) do solo como:

$$E_p = E_{p0} (1 - W_{\text{frac}}) e^{K_{gr} IAF} \quad (17)$$

$$W_{\text{frac}} = \frac{P_i}{ET_{w0}} \quad (18)$$

sendo W_{frac} (-) a fração do dia durante em que a cultura está molhada, P_i (cm. d^{-1}) a taxa de precipitação interceptada, ET_{w0} (cm. d^{-1}) a evapotranspiração potencial para uma cobertura vegetal molhada, E_{p0} (cm. d^{-1}) a taxa de evaporação potencial para um solo descoberto e K_{gr} (-) o coeficiente de extinção para a radiação solar e IAF o índice de área foliar da cultura ($\text{m}^2. \text{m}^{-2}$).

Com a equação 19, o SWAP calcula a transpiração potencial (T_p) por meio da diferença:

$$T_p = ET_p (1 - W_{\text{frac}}) - E_p \quad (19)$$

sendo ET_p (cm d^{-1}) a taxa de evapotranspiração potencial de uma cobertura vegetal seca.

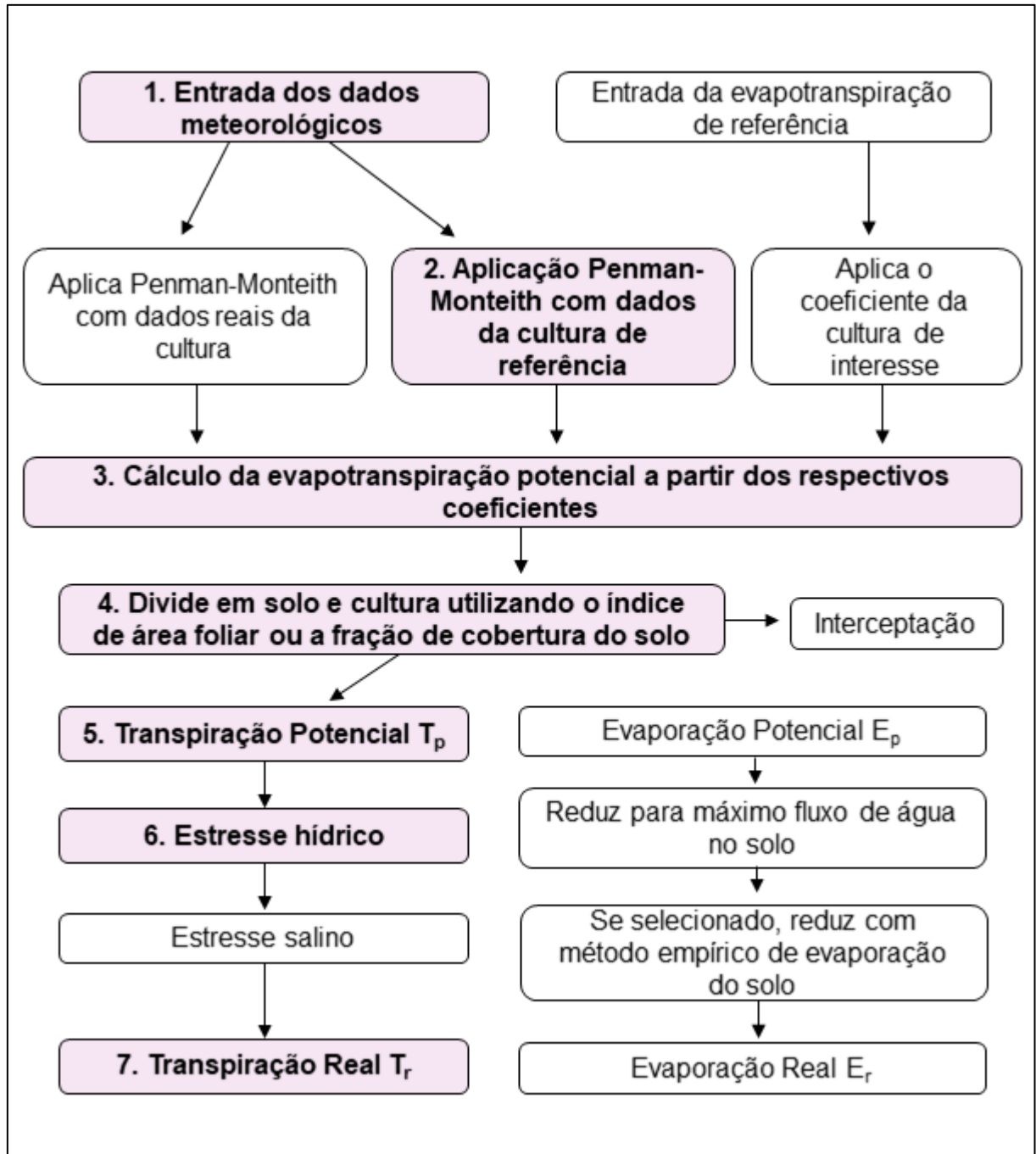


Figura 12: Sequência utilizada no SWAP para a obtenção dos valores da evaporação e a transpiração reais.

Fonte: KROES et al. (2008). Adaptado pelo autor.

6. É calculada então a transpiração potencial (T_p), que é igual à taxa máxima de extração de água pelas raízes da planta (S_p). Quando integrada ao longo da profundidade das raízes, obtém-se a taxa máxima de extração de água pelas raízes (ou seja, a potencial), conforme a equação 20:

$$S_p(z) = \frac{\ell_{root}(z)}{\int_{-D_{root}}^0 \ell_{root}(z) dz} T_p \quad (20)$$

onde: $S_p(z)$ é a taxa máxima de extração de água pelas raízes (d^{-1}), $\ell_{root}(z)$ é a distribuição de densidade das raízes ao longo da profundidade z (cm), D_{root} é a espessura da zona das raízes (cm), z é a profundidade das raízes (cm), T_p é a transpiração potencial da cultura ($cm\ d^{-1}$).

Desta forma, a taxa de extração real de água pelas raízes da planta ($S_a(z)$) é calculada considerando o estresse hídrico da cultura, que causa uma diminuição no $S_p(z)$ ao seu valor real $S_a(z)$ por:

$$S_a(z) = \alpha S_p(z) \quad (21)$$

sendo α o coeficiente de redução devido a condições com falta de água ($h < h_3$), sendo h_3 é o potencial matricial abaixo do qual a planta começa a sofrer estresse hídrico por falta de água e sua taxa de extração de água pelas raízes é reduzida de potencial para real. Não será considerado o estresse hídrico pelo excesso de água (Figura 13).

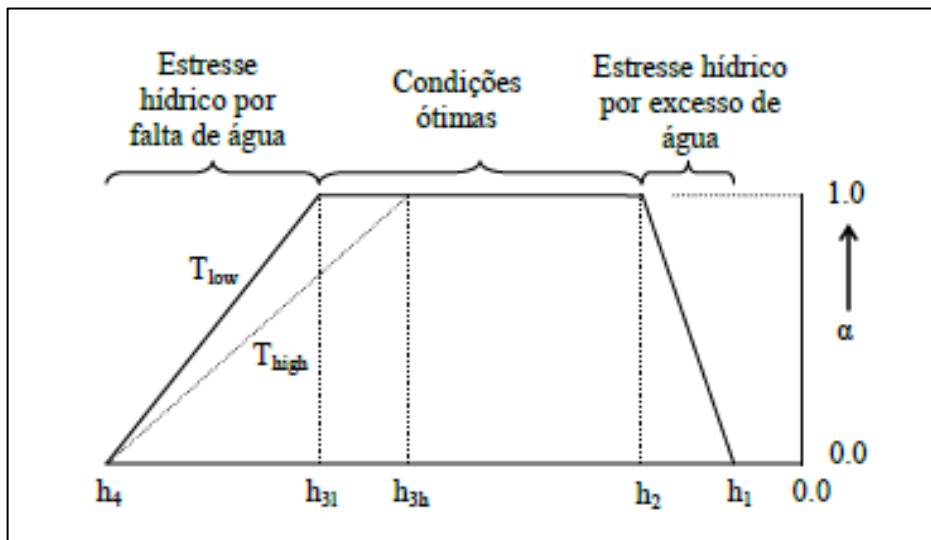


Figura 13: Coeficiente de estresse hídrico em função do potencial matricial do solo.

7. Integrando $S_a(z)$ ao longo da zona das raízes, obtemos a transpiração real:

$$T_r = \int_{-D_{root}}^0 S_a(z) dz \quad (22)$$

Com isso, foram obtidos os resultados de demanda de água para irrigação de todas as culturas de todos municípios da área de estudo, para todos os modelos climáticos e para os dois cenários climáticos futuros (RCP 4.5 e RCP 8.5), sendo possível comparar as demandas futuras com as demandas simuladas para o passado (Figura 14).

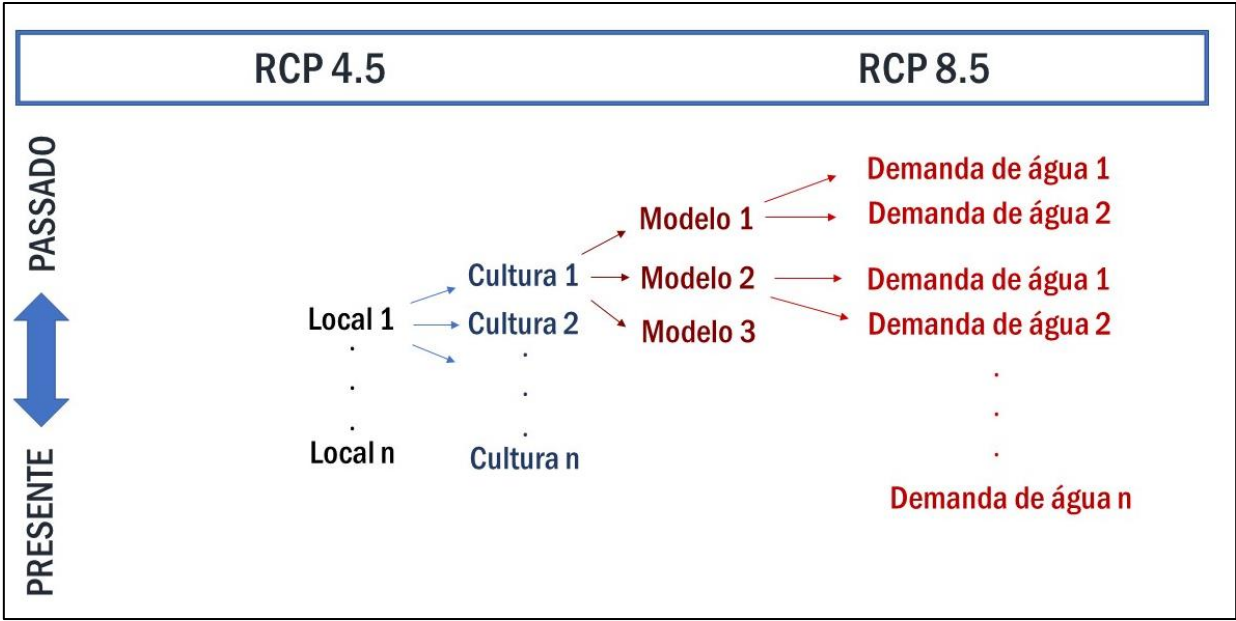


Figura 14: Exemplificação do processo realizado para a obtenção da demanda de água para irrigação para todos modelos e cenários propostos.

6. Resultados e discussões

6.1 Análise anual de temperatura média e precipitação por município

Os valores de temperatura média anual ($T_{\text{méd}}$) (°C) e de precipitação anual acumulada (mm) para o período base e para os três futuros F1 (2006-2040), F2 (2041-2070) e F3 (2071-2099), considerando as duas projeções RCP 4.5 e RCP 8.5, os três modelos regionais e os 27 municípios constam no apêndice A. Cabe salientar que não foi possível realizar os cálculos e estimativas de projeção usando o modelo HADGEM2-ES para o município de Amaral Ferrador já que os dados climáticos apresentaram falhas. A seguir são apresentados os resultados de alguns municípios mais representativos dentre todos municípios considerados.

Tabela 12: Temperatura média anual (°C) e precipitação anual acumulada (mm) para o município de Bagé, RS, por período e modelo climático.

Bagé				
Variável	Período	CANESM2	HADGEM2-ES	MIROC5
$T_{\text{méd}}$ (°C)	Base	17,6	18,2	16,4
P (mm)	Base	1735	1569	815
RCP 4.5		CANESM2	HADGEM2-ES	MIROC5
$T_{\text{méd}}$ (°C)	F1	18,8	19,7	16,8
	F2	19,7	20,3	17,3
	F3	20,2	20,6	17,4
P (mm)	F1	1898	1658	867
	F2	1983	1651	885
	F3	1921	1817	904
RCP 8.5		CANESM2	HADGEM2-ES	MIROC5
$T_{\text{méd}}$ (°C)	F1	18,9	20,1	16,9
	F2	20,4	20,9	17,8
	F3	22,1	22,7	18,5
P (mm)	F1	1937	1590	877
	F2	2027	1751	872
	F3	1658	1929	1010

Pode-se observar que para o município de Bagé (Tabela 12), localizado na região da Campanha, os cenários RCP 4.5 e RCP 8.5 indicaram um acréscimo de temperatura para os três períodos futuros quando comparados com o período base. No RCP 4.5 é possível observar que o aumento foi maior quando usado o modelo HADGEM2-ES nos períodos F1 (1,5°C) e F2 (2,1°C). Já para o F3 o modelo sugere um pequeno acréscimo de temperatura ou ainda, mantém o valor médio observado no F2 para todos modelos. Os modelos CANESM2 e HADGEM2-ES indicam valores mais altos tanto para o período base como para os três períodos futuros, quando comparados com o MIROC5. Já para o RCP 8.5 o mesmo aumento de temperatura do período futuro é observado quando comparado com o período base, sendo que este vai de 0,15°C (MIROC5) a 4,5°C (HADGEM2-ES). O modelo MIROC5 é o que indica menores acréscimos de temperatura para os períodos futuros.

Em termos de precipitação anual acumulada, é possível observar que o modelo CANESM2 indica maiores valores quando comparado com os demais no período base nos dois cenários e em quase todos os futuros. No RCP 4.5, há um aumento de precipitação média ao longo do tempo, sendo que essa tem um pequeno decréscimo no F3. Já para o RCP 8.5 esse modelo demonstra um aumento de precipitação nos futuros F1 e F2 e uma diminuição abrupta no futuro F3, com 77,14mm a menos que no período base.

O modelo HADGEM2-ES indica uma precipitação anual média do período base menor quando comparada com o CANESM2. Para o cenário RCP 4.5 a projeção é de um aumento médio de 89 mm no F1, diminuindo no F2 e aumentando novamente no F3. O mesmo não ocorre no RCP 8.5 que estima um aumento de 161,72mm em F1, de 645,8mm para F2 e uma diminuição de 99,95 mm no F3.

A projeção do MIROC5 indica uma precipitação anual média do período base menor que a dos outros dois modelos e ainda os valores dos futuros apresentam tendências de crescimento e decaimento diferentes dos demais. No RCP 4.5 a precipitação tem um acréscimo pequeno, chegando a sua média máxima no F3. Tais valores de precipitação podem ser comparados com os de Silva (2010), que observou a média anual de precipitação de dados reais para o município Bagé no período de 1961 a 2009, que foi de 1425mm, com tendência de aumento. Ou seja, são valores relativamente próximos a média do período base do modelo HADGEM2-ES. O valor um pouco acima pode ser explicado por um período de tempo com três anos a mais do que o período base e, além disso, esses três anos estão dentro da média do futuro

F1, que apresentou valores médios maiores. Os resultados obtidos também corroboram com Viana et al. (2006), que ao analisar o comportamento espaço temporal de precipitações no Rio Grande do Sul comparando o período de 1945 a 1974 e de 1975 a 2004, observou uma média para o município de Bagé de 1506mm para o segundo período, além de um desvio positivo do aumento de precipitação, onde a normal climatológica analisada superou a normal climatológica anterior do estudo, o que demonstra a tendência de crescimento dos volumes de precipitação ao longo dos anos para o município.

Os demais municípios da região Campanha apresentam uma similaridade nos valores médios de temperatura, tanto no período base como nos três futuros projetados, onde esta apresenta um crescimento linear nos dois cenários climáticos (RCP 4.5 e RCP 8.5) para os três futuros. Já a precipitação apresenta algumas variações, com aumento ao longo dos períodos futuros, porém podendo diminuir no final do período analisado, seja no F2 ou no F3.

Os municípios que compõem a região Sul do RS apresentam certa similaridade na tendência de aumento da temperatura média até o final do século. Porém, os valores de precipitação variam muito de município para município, podendo apresentar um aumento ou decréscimo dos regimes pluviométricos até o final do século, e podendo ainda, apresentar picos no F2.

Um exemplo disso está na tabela 13, que apresenta as médias de temperatura e precipitação para o município de Pelotas, onde a média de temperatura do período base para os três modelos climáticos regionais difere em até 1°C aproximadamente e na projeção futura do cenário RCP 4.5 há um aumento de temperatura no período F1 que tende a aumentar mais e se estabilizar nos futuros F2 e F3. Para o cenário RCP 8.5 o mesmo não ocorre, já que é possível observar um aumento gradativo de temperatura média, destacando-se os modelos CANESM2 e HADGEM2-ES.

Em termos de precipitação, a média do período base variou muito entre os modelos, tendo uma variação de até 658mm. Para o cenário mais otimista (RCP 4.5), há tendência de aumento nos regimes de precipitação, apesar de ser pequena quando comparada com alguns casos de outros municípios. Porém, para Pelotas, observa-se que este cenário indica uma certa estabilização nas médias de precipitação, sendo esta percebida nos períodos F2 e F3 referentes aos modelos CANESM2 e HADGEM2-ES. Este último indica uma diminuição no período F1 quando comparado com o período base, um acréscimo de 385mm em F2 e uma diminuição em F3 em relação a

F1. Já para o modelo MIROC5, o acréscimo no regime de precipitação é de 11mm para o F1 em relação ao período base, chegando a 112mm no final do século.

Tabela 13: Médias de temperatura (°C) e precipitação (mm) para o município de Pelotas, RS, por período e modelo climático.

Pelotas				
Variável	Período	CANESM2	HADGEM2-ES	MIROC5
T _{méd} (°C)	Base	18,4	18,9	17,4
P (mm)	Base	1790	1680	1132
RCP 4.5		CANESM2	HADGEM2-ES	MIROC5
T _{méd} (°C)	F1	19,5	20,2	17,8
	F2	20,4	20,8	18,2
	F3	20,9	21,1	18,4
P (mm)	F1	1887	1612	1143
	F2	1984	1997	1184
	F3	1966	1799	1244
RCP 8.5		CANESM2	HADGEM2-ES	MIROC5
T _{méd} (°C)	F1 (2006-2040)	19,6	20,4	18,0
	F2 (2041-2070)	20,9	21,1	18,6
	F3 (2071-2099)	22,1	22,7	19,4
P (mm)	F1 (2006-2040)	1924	1600	1178
	F2 (2041-2070)	2017	1729	1239
	F3 (2071-2099)	1687	1851	1353

Para a projeção mais pessimista (RCP 8.5) há uma maior tendência de aumento nos regimes pluviométricos. O modelo CANESM2 indica acréscimo de 134,0mm no F1 em relação ao período base, chegando a 227,0mm no F2 e decrescendo 103,0mm no F3. O mesmo não ocorre nos demais modelos. O modelo HADGEM2-ES indica uma diminuição na precipitação média acumulada em F1, que depois tende a aumentar até 2099, enquanto que o MIROC5 tem tendência de crescimento até o final do século comparando suas projeções em F1, F2 e F3.

Essa tendência de elevação do regime de precipitação pluvial para o município de Pelotas já tinha sido constatada por Blain et al. (2009) para os períodos de 1948 a 1976 e 1977 a 2005. Já as estimativas de precipitação acumulada média pelos modelos regionais HADGEM2-ES e MIROC5 são próximas as de Viana et al. (2006),

que obtiveram valores médios de precipitação de 1435mm para o município de Pelotas no período de 1975 a 2004.

6.1.1 Análise de temperatura média para região Sul e Campanha

Os valores de temperatura média para os três períodos futuros e para o período base usando os três modelos regionais considerando os dois cenários (RCP 4.5 e RCP 8.5) para todos os municípios da região Campanha e Sul, serão apresentados a seguir.

Região campanha

Para o modelo CANESM2 é possível observar a tendência de aumento de temperatura média no RCP 4.5 (Figura 15), que ocorre de forma mais acentuada na comparação do período base com F1 e menos acentuada nos dois últimos períodos (F2 e F3). Os valores máximos de temperatura média ficam próximos a 20°C para todos os municípios.

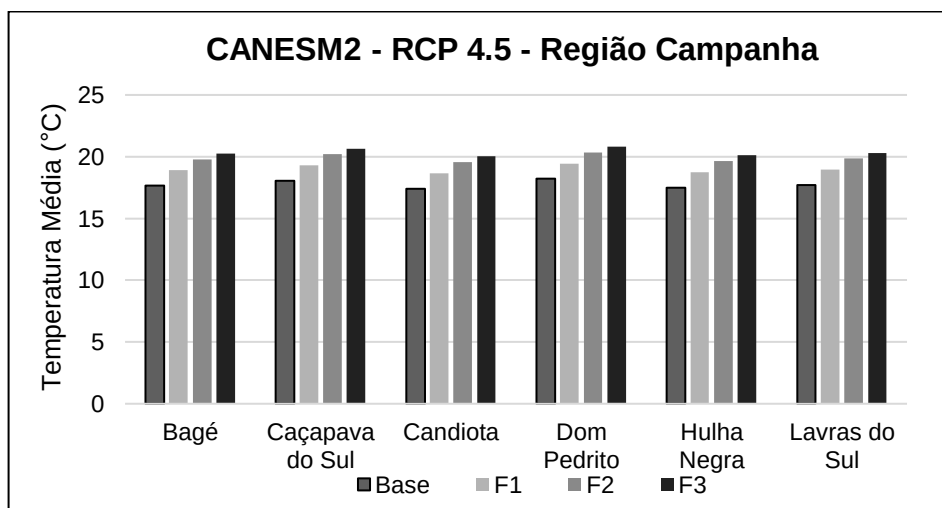


Figura 15: Temperatura média do modelo CANESM2, considerando os quatro períodos e cenário RCP 4.5, para os municípios da região Campanha.

Já para o cenário RCP 8.5 (Figura 16), o aumento que ocorre ao longo dos períodos é mais acentuado quando comparado ao cenário RCP 4.5 (Figura 15), sendo que no final do século a temperatura será 3°C mais elevada do que no cenário RCP 4.5 para todos os municípios.

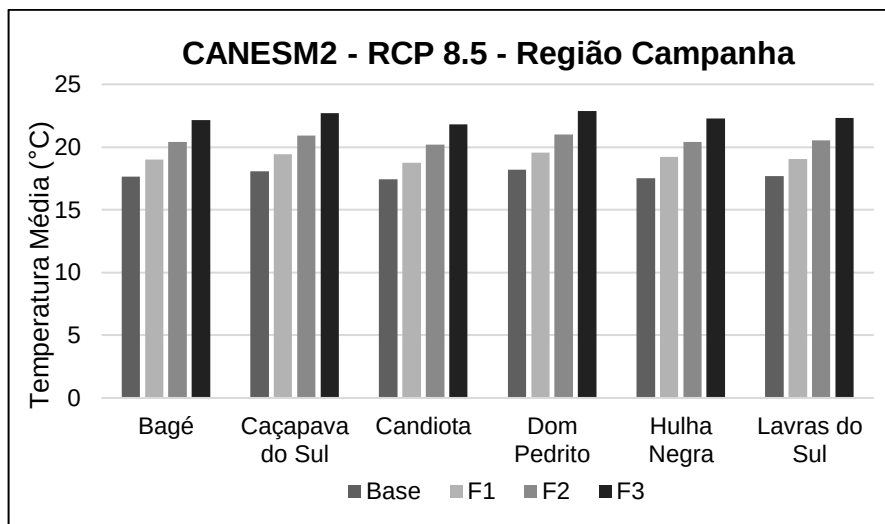


Figura 16: Temperatura média para o modelo CANESM2, considerando os quatro períodos e cenário RCP 8.5, para os municípios da região Campanha.

Fazendo uma análise do comportamento da média de temperatura usando o modelo CANESM2 (Figura 17) no cenário RCP 4.5 para os municípios da região Campanha (Figura 17), é notória a tendência de acréscimo de temperatura até o final do século. Existe a mesma tendência de aumento para o cenário RCP 8.5 (Figura 18), porém, esse acréscimo de temperatura é maior, entre 23 e 24°C.

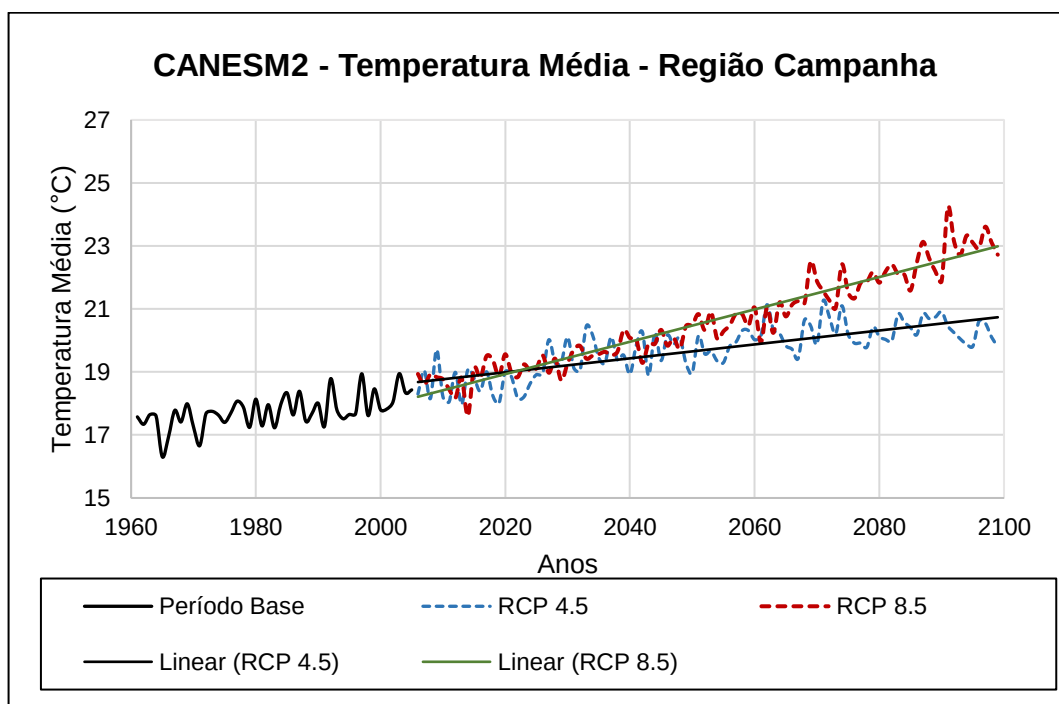


Figura 17: Temperatura média anual para o período base e futuros (F1, F2 e F3) usando o modelo CANESM2 e cenário RCP 4.5 e RCP 8.5, para a região Campanha.

Os valores de temperatura média usando o modelo HADGEM2-ES no cenário RCP 4.5 projetam uma tendência de comportamento nos períodos avaliados semelhante com o indicado no modelo CANESM2 (Figura 15) para os mesmos municípios da região Campanha, excetuando-se o fato de que os valores nos períodos futuros (F1, F2 e F3) são um pouco mais elevados que 20°C (Figura 18). Já para o cenário RCP 8.5 (Figura 19), observa-se um crescimento inicial do período base para o F1, um pequeno acréscimo no F2 e um aumento mais acentuado em F3 com valores próximos a 23°C. Ou seja, para o modelo HADGEM2-ES (Figura 18) o aumento de temperatura será mais elevado quando comparado com o modelo CANESM2 (Figura 15) para o cenário mais otimista. O mais pessimista indica valores semelhantes (Figuras 16 e 19). Porém, ambos indicam um aumento de temperatura até o final do século.

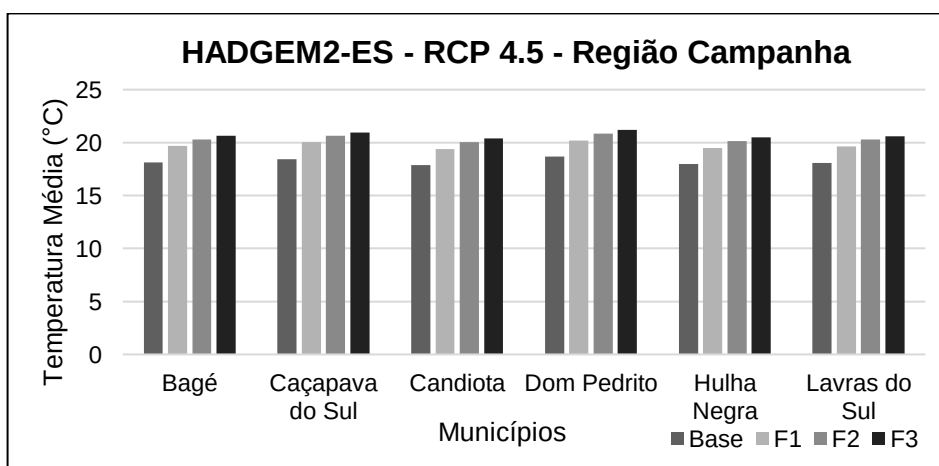


Figura 18: Temperatura média usando o modelo HADGEM2-ES e cenário RCP 4.5, para os municípios da região Campanha.

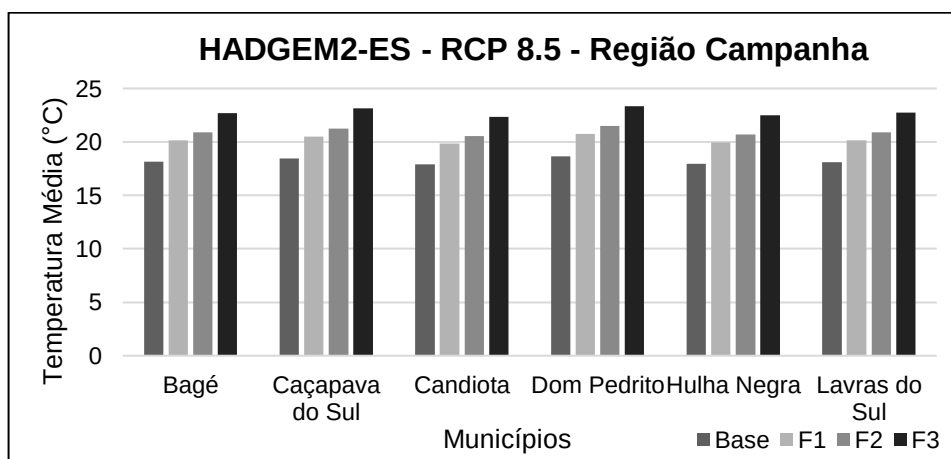


Figura 19: Temperatura média usando o modelo HADGEM2-ES e cenário RCP 8.5, para os municípios da região Campanha.

Realizando a mesma análise com as médias de temperatura dos municípios da região Campanha com o modelo HADGEM2-ES, pode-se observar na figura 21 que há alguns picos de acréscimo e decréscimo dos valores médios de temperatura, sendo os maiores picos de temperatura de 22,1°C e os menores próximos a 18°C. Nessa série também se observa que os valores de temperatura para o período base divergem da tendência do modelo CANESM2 (Figura 17), já que os valores estimados pelo modelo HADGEM2-ES (Figura 20) apresentam um maior número de picos de temperatura, sendo os dois mais elevados no início e final do período base, tendo uma acentuada tendência de diminuição em 2005, chegando a média de 17,3°C. Com relação ao desempenho do modelo HADGEM2-ES no cenário RCP 8.5 observa-se uma tendência linear de crescimento no período futuro com temperaturas um pouco mais elevadas do que as do período base, podendo estas serem observadas no final do século (F3), chegando a 23,7°C.

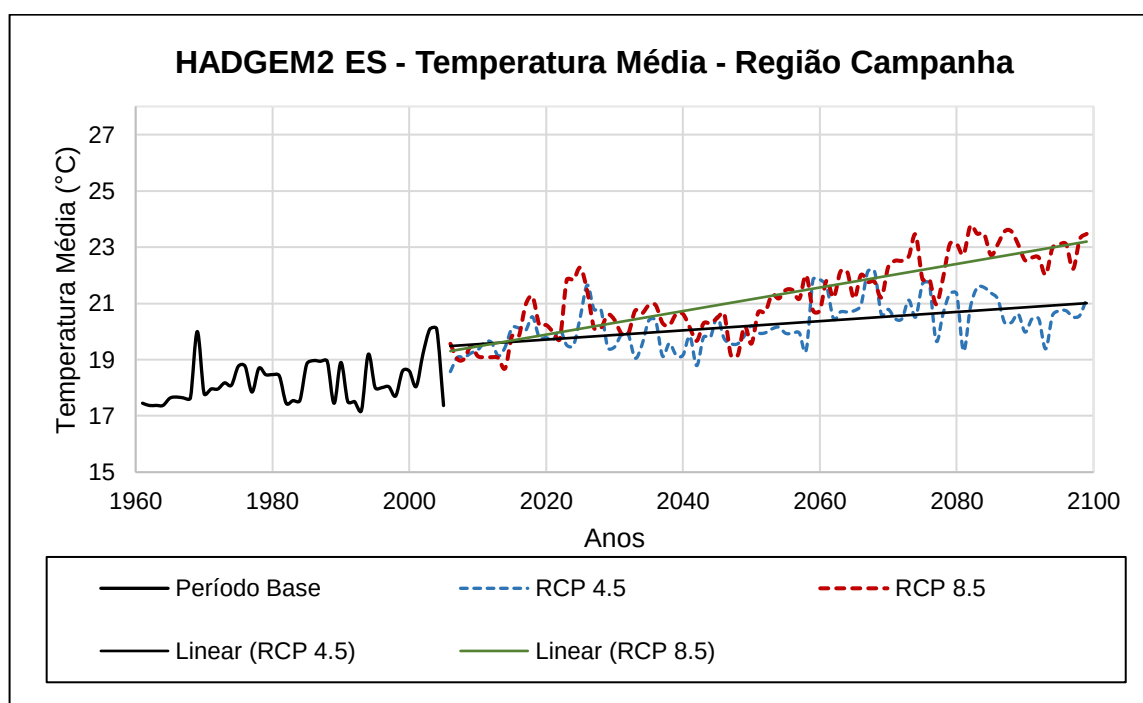


Figura 20: Temperatura média anual para o período base e futuros (F1, F2 e F3) usando o modelo HADGEM2-ES e cenário RCP 4.5 e 8.5, para a região Campanha.

Existe uma tendência de aumento de temperatura nos períodos futuros analisados usando o modelo MIROC5 e cenário RCP 4.5 (Figura 21), porém, esse acréscimo de temperatura é pequeno quando comparado com os acréscimos estimados pelos outros dois modelos para o cenário RCP 4.5. Além disso, as

estimativas dos valores máximos de temperatura média anual para o final do século são menores que as realizadas pelos outros dois modelos, ficando próxima a 17°C. O modelo MIROC5 aplicado em conjunto com o cenário RCP 8.5 (Figura 22) projeta um aumento médio de temperatura um pouco maior quando comparado com o RCP 4.5 sendo que a maior temperatura média anual prevista para o período F3 (22,89°C) será para o município de Dom Pedrito. Para os demais municípios, o modelo e o cenário indicam valores entre 18°C a 19°C.

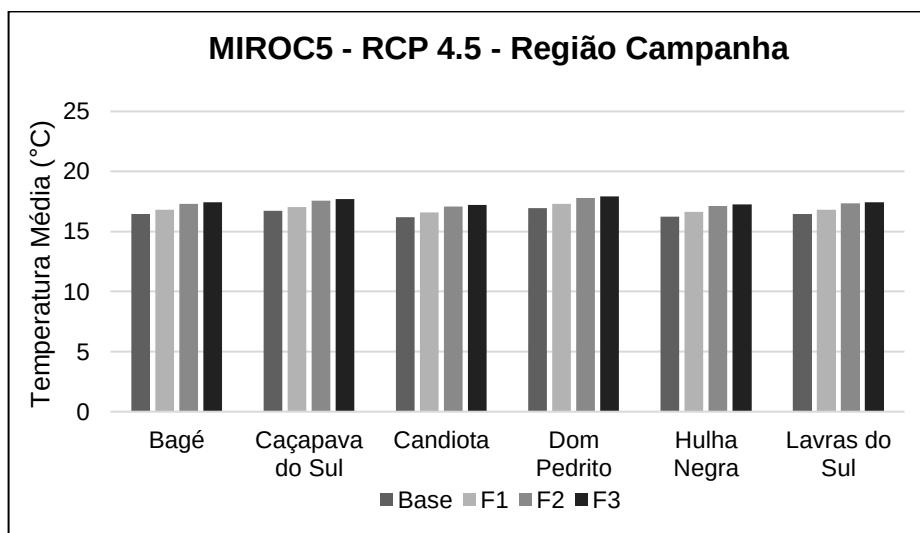


Figura 21: Temperatura média usando o modelo MIROC5 e RCP 4.5, para os municípios da região Campanha.

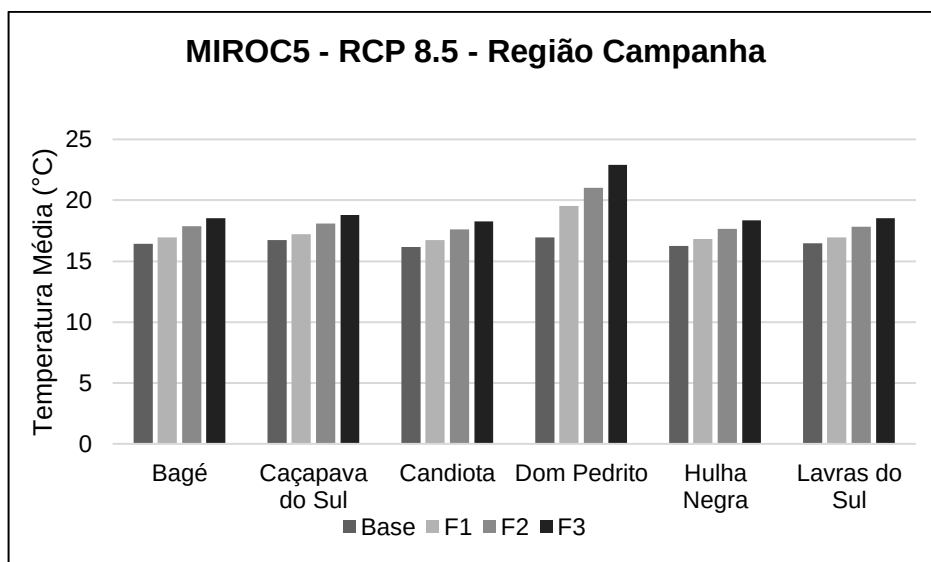


Figura 22: Temperatura média anual para o período base e futuros (F1, F2 e F3) usando o modelo MIROC5 e cenário RCP 8.5, para os municípios da região Campanha.

Realizando as mesmas análises apresentada na Figuras 17 (modelo CANESM2 e cenários RCP 4.5 e 8.5) e na Figuras 20 (modelo HADGEM2-ES e cenários RCP 4.5 e 8.5), nota-se uma pequena tendência de crescimento, porém não tão abrupta, de médias anuais da região Campanha usando o modelo MIROC5 e cenário RCP 4.5, sendo que no final do século existem picos de decréscimo de temperatura (Figura 23). O comportamento do modelo no período base mostra que há pequenos picos, próximos a 17°C, até o ano de 1990. Depois, há uma tendência linear de crescimento da temperatura média anual com um pequeno decréscimo no final do período.

O modelo MIROC5 usando as características do cenário RCP 8.5 (Figura 23) mostra que a série de dados apresenta uma tendência de decréscimo de temperatura no final do período base e crescimento linear para os três períodos futuros. É possível observar que a tendência do aumento de temperatura para o futuro é menor quando comparado com o modelo CANESM2 (Figura 17) e HADGEM2-ES (Figura 20) para o mesmo cenário.

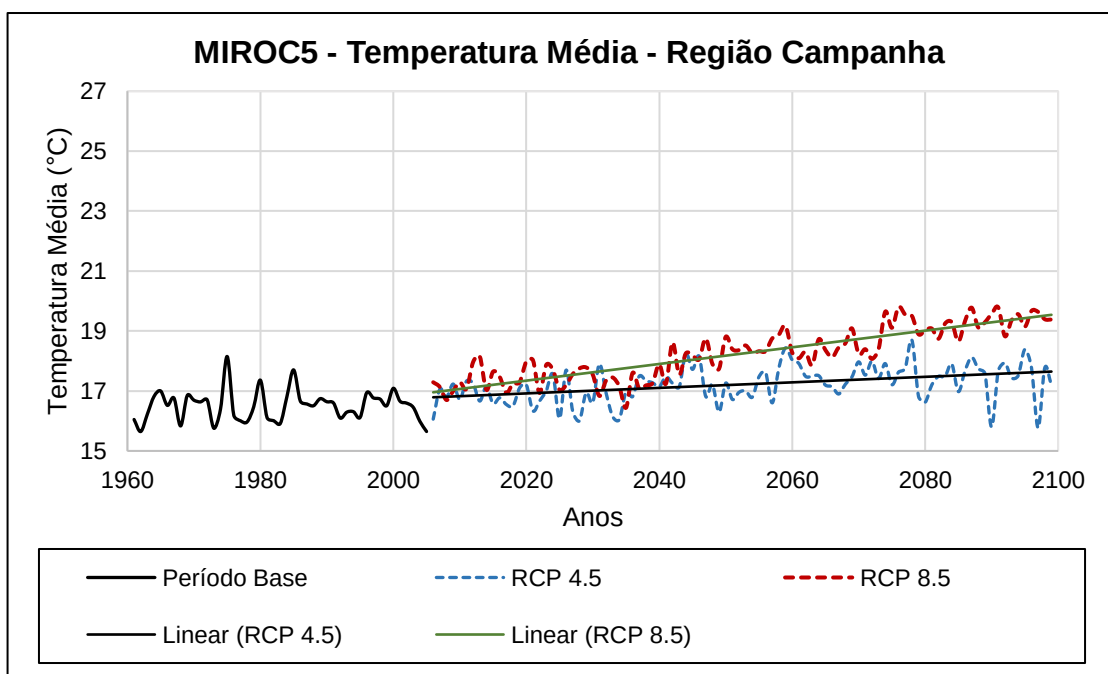


Figura 23: Temperatura média anual para o período base e futuros (F1, F2 e F3) usando o modelo MIROC5 e RCP 4.5 e 8.5, para a região Campanha.

Região Sul

Na figura 24 pode-se analisar a tendência da temperatura média para os municípios da região sul para o cenário RCP 4.5 para o modelo CANESM2.

Nos municípios da região Sul, o modelo CANESM2 apresenta a mesma tendência de acréscimo de temperatura ao longo do tempo, sendo os maiores valores observados no final do século. Os municípios apresentam pequena divergência nos valores máximos de temperatura, onde para alguns municípios como, por exemplo, Pedras Altas, Piratini e Herval, o valor máximo de temperatura média anual é um pouco menor que 20°C. Para os demais, os valores circundam 20°C ou são um pouco mais elevados. Comparando os resultados do mesmo modelo para o mesmo cenário na região Campanha, é possível dizer que existe uma similaridade na tendência da temperatura das duas regiões.

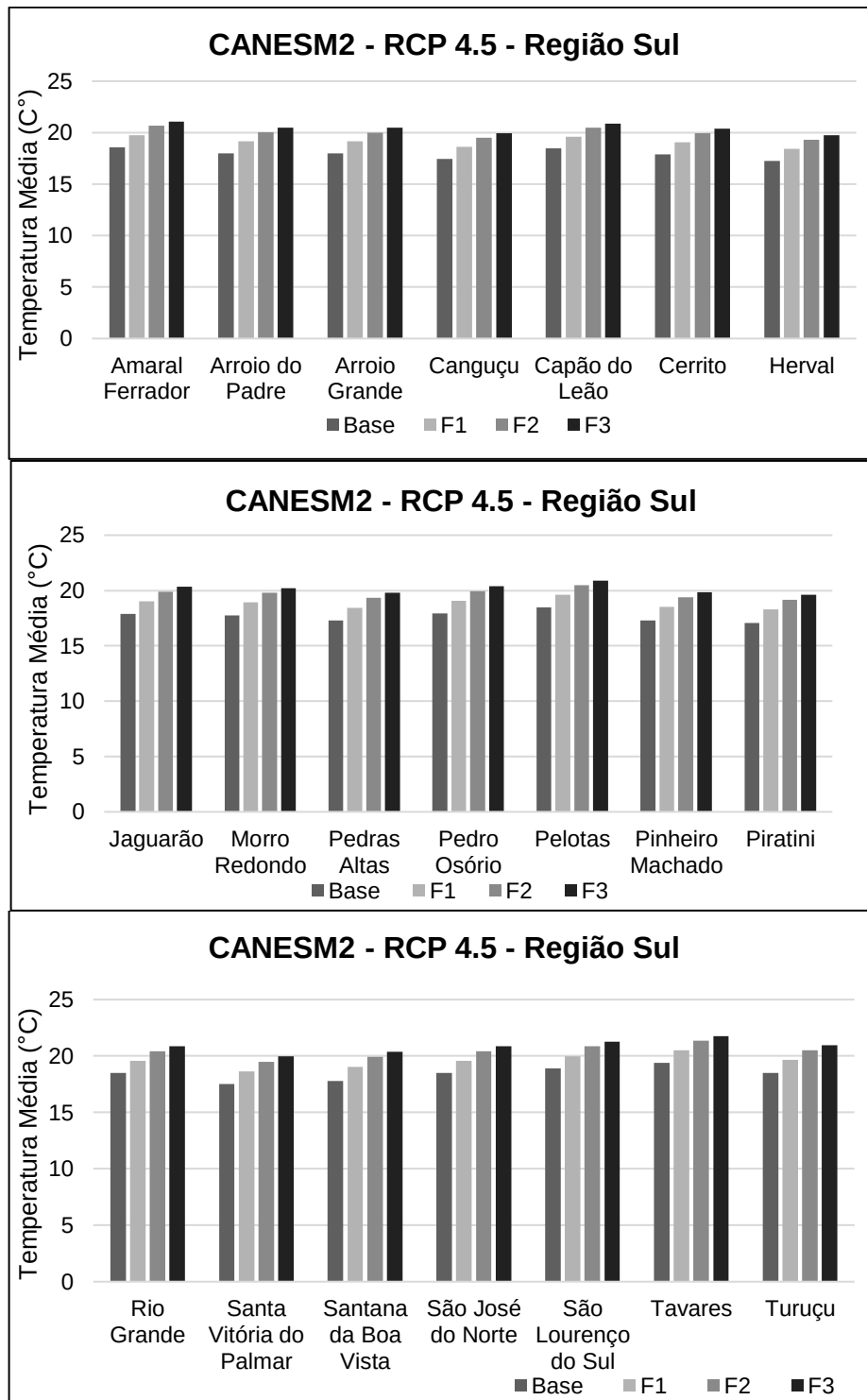


Figura 24: Temperatura média para o modelo CANESM2, RCP 4.5, para os municípios da região Sul.

Os valores de temperatura média para os municípios da região Sul para o mesmo modelo, mas para o cenário RCP 8.5 estão representados na figura 25. Foi possível observar a mesma média e tendência da região Campanha, ou seja, existe uma projeção de médias de temperatura um pouco maiores quando comparados com o cenário RCP 4.5, porém estas apresentam uma média similar entre os municípios da região Sul, com valores máximos próximos a 23°C e mínimos menores que 20°C.

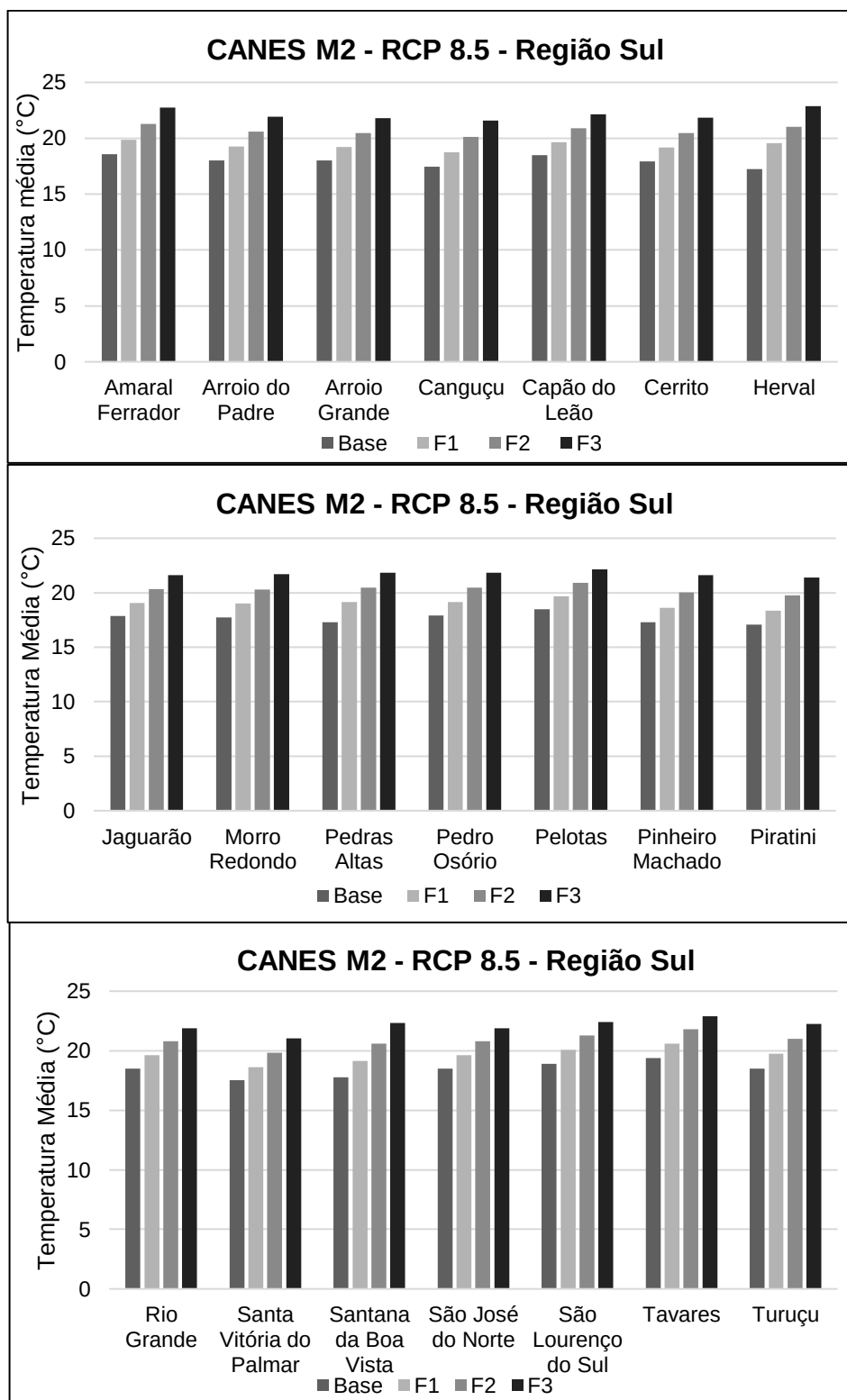


Figura 25: Temperatura média para o modelo CANESM2, RCP 4.5, para os municípios da região Sul.

Realizando a análise de médias anuais de temperatura para o modelo CANESM2 no cenário RCP 4.5 (Figura 26), é possível visualizar que a tendência de aumento de temperatura até o final do século existe, tal qual na região Campanha, chegando a valores máximos superiores a 20°C, sem a existência de nenhum grande pico de temperatura ao longo dos anos analisados. Já para o cenário RCP 8.5, observa-se uma tendência de aumento de temperatura até o final do século, sem grandes picos de aumento ou queda de temperatura. Tal análise também se mostrou muito similar ao observado para o mesmo modelo e cenário na região Campanha.

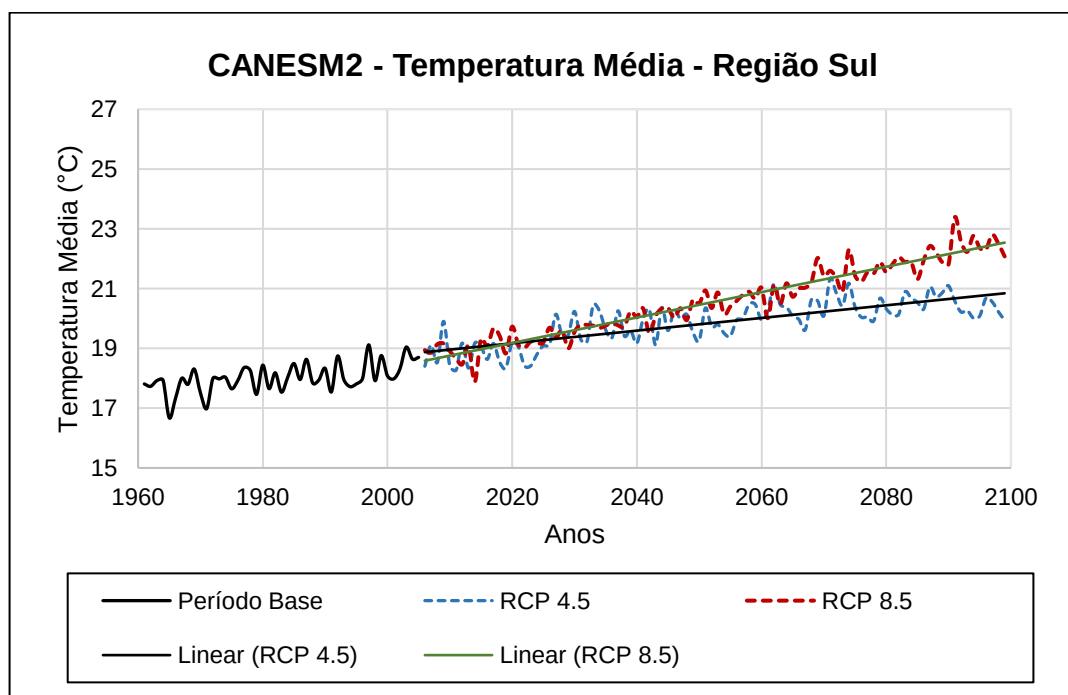


Figura 26: Temperatura média anual para o período base e futuros (F1, F2 e F3) para o modelo CANESM2, RCP 4.5 e 8.5, região Sul.

As temperaturas médias do cenário RCP 4.5 para o modelo HADGEM2-ES para os municípios da região Sul do Rio Grande do Sul estão apresentados na figura 27.

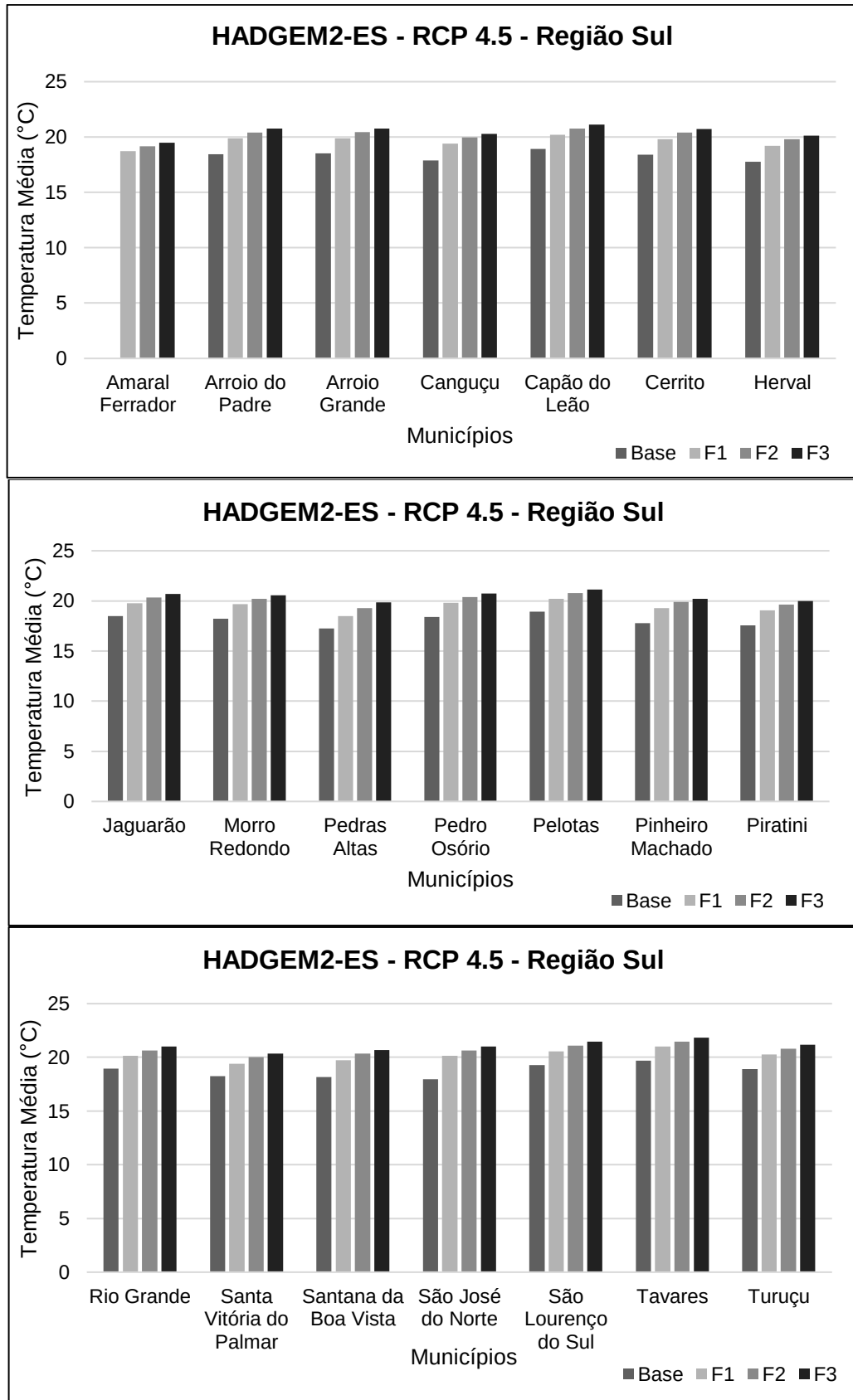


Figura 27: Temperatura média para o modelo HADGEM2-ES, RCP 4.5, para os municípios da região Sul.

Os municípios da região Sul apresentam valores de temperatura com tendência de crescimento até o final da década. Os valores máximos de temperatura têm pequena variação quando seus valores são comparados entre os municípios. Tais valores quando comparados com os da região Campanha para o mesmo modelo, apresentam certa similaridade tanto em tendência quanto em valores médios.

Para o cenário RCP 8.5, (Figura 28) a tendência do aumento de temperatura ao longo dos períodos analisados se faz presente, bem como um final de século com maiores temperaturas que os demais períodos. Porém, comparado com a região Campanha, os valores máximos de temperatura são menores. Para alguns municípios há grande variação no aumento de temperatura no período F3, onde o RCP 8.5 apresenta valores maiores. Já para outros municípios, como por exemplo, Arroio Grande, que a temperatura para os dois cenários é semelhante para o final do século.

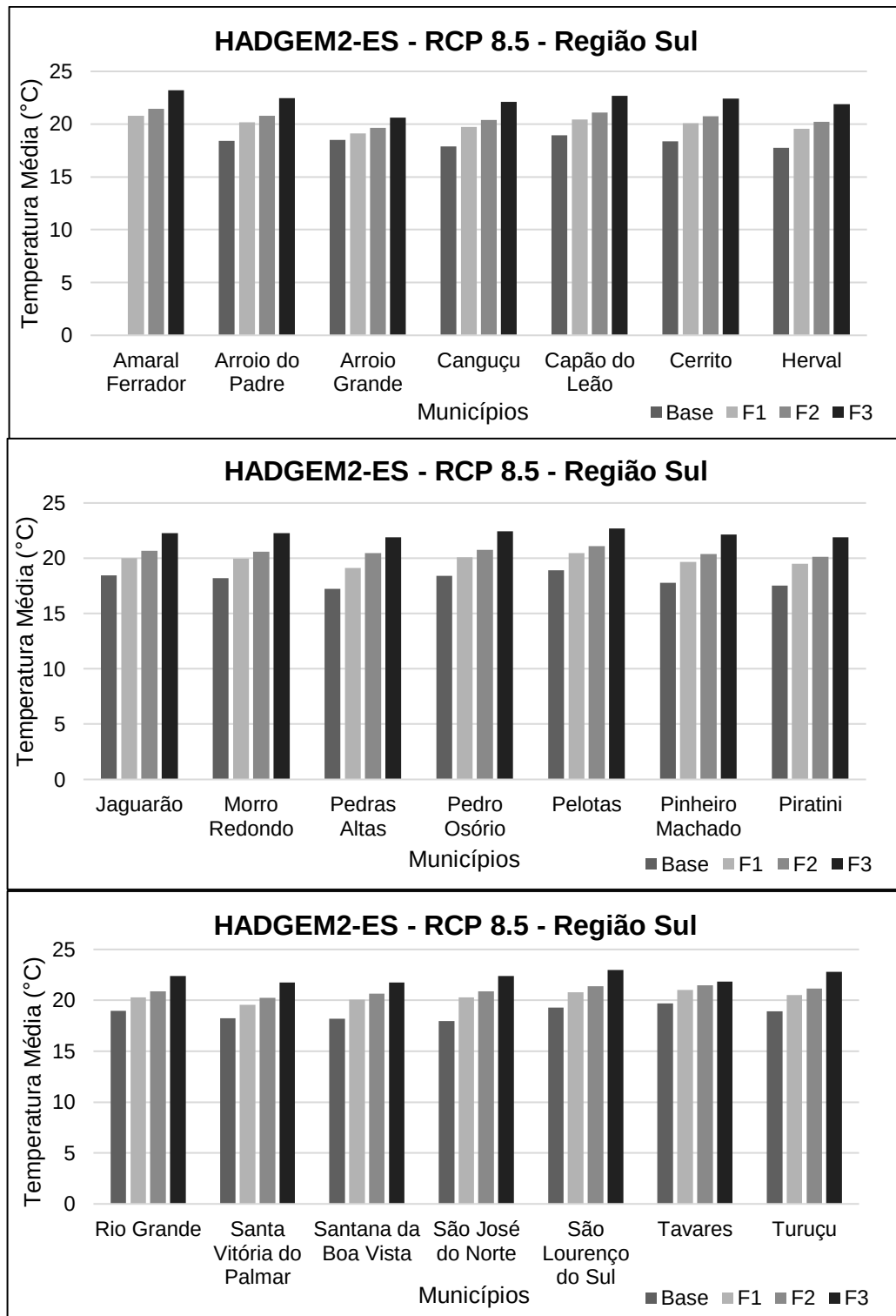


Figura 28: Temperatura média para o modelo HADGEM2-ES, RCP 8.5, para os municípios da região Sul.

Na análise dos valores médios anuais de temperatura (Figura 29), o modelo indica que a temperatura média dos anos do início do período base tiveram certa similaridade, ocorrendo um pico de temperatura e até o final do período houveram tanto quedas quanto aumento de temperatura, finalizando com um valor mais baixo de temperatura no final do período base. Para o período futuro, o modelo projeta um aumento linear de temperatura, ocorrendo alguns anos picos de aumento, e outros com decréscimo de temperatura. O cenário RCP 8.5 indica uma tendência linear de aumento de temperatura, apesar de apresentar temperaturas médias menores quando comparados com os demais que compõe o cenário futuro.

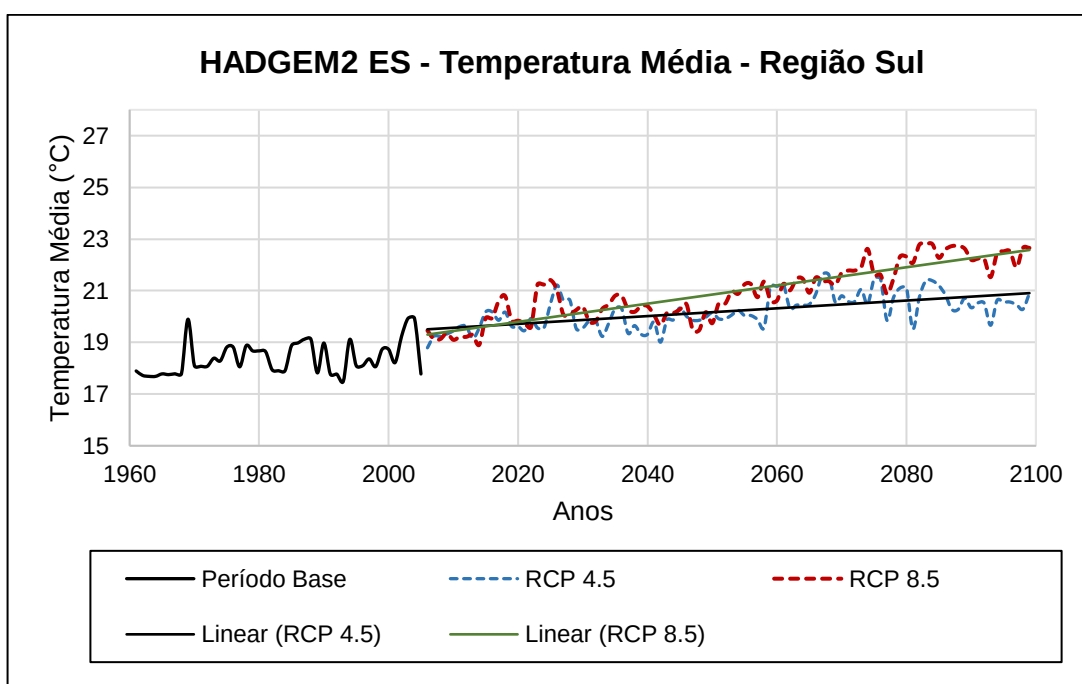


Figura 29: Temperatura média anual para o período base e futuros (F1, F2 e F3) para o modelo HADGEM2-ES, RCP 4.5 e 8.5, região Sul.

Para o modelo MIROC5 os valores de temperatura média para os municípios da região Sul podem ser observados na figura 30.

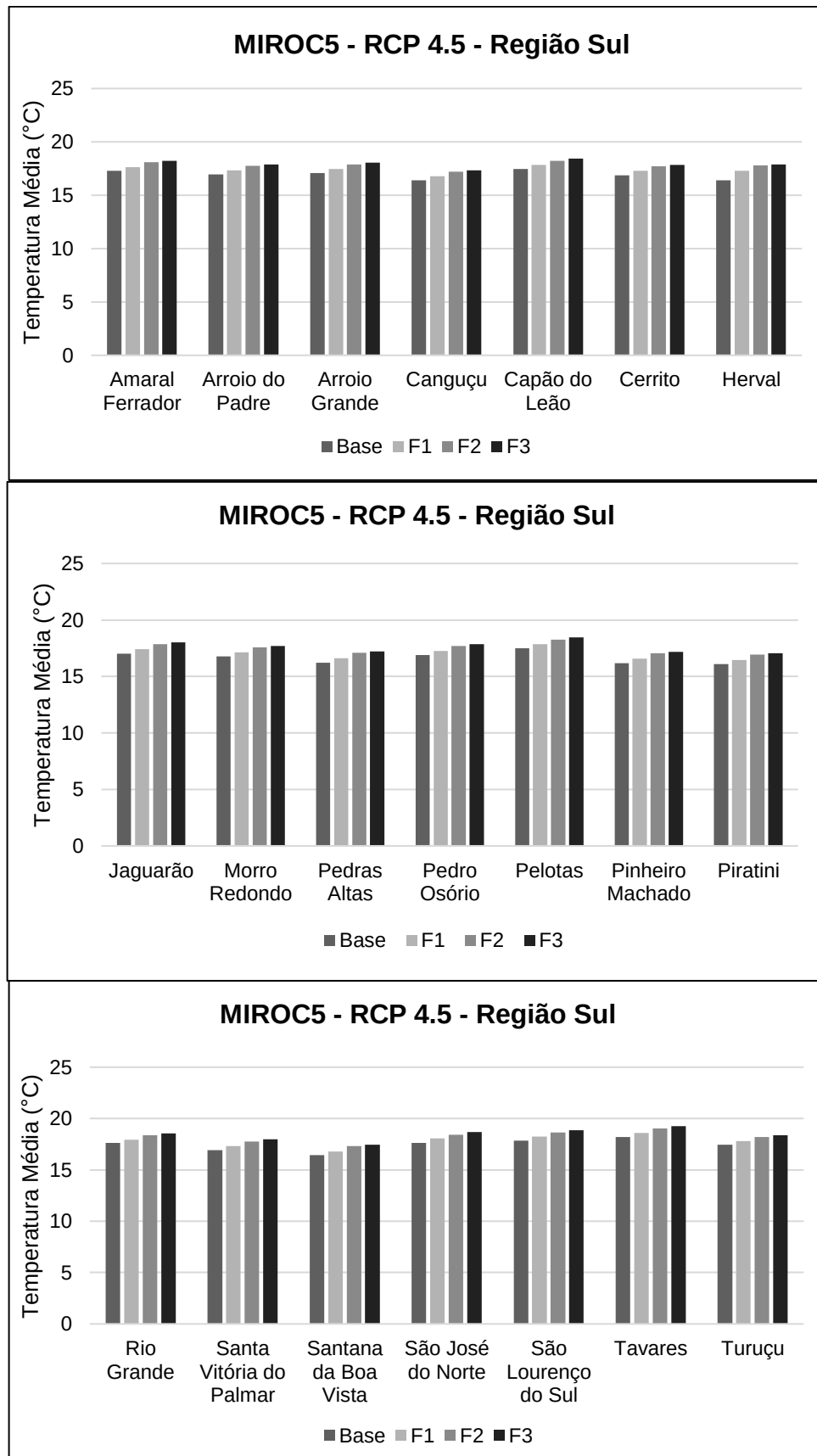


Figura 30: Temperatura média para o modelo MIROC5, RCP 4.5, para os municípios da região Sul.

Nesse cenário, podemos observar a tendência de aumento de temperatura ao longo dos períodos, sendo a maior temperatura média observada no período próximo ao final do século. Para todos os municípios, as maiores temperaturas são menores que 20°C, diferindo-se dos resultados para os demais modelos. Porém, concordam com os valores e tendências observadas para a região Campanha.

Os resultados para o modelo MIROC5, cenário RCP 8.5 podem ser observados na figura 31. O cenário RCP 8.5 para o modelo MIROC5 apresenta a mesma tendência de aumento crescente de temperatura até o final do período estudado, e quando comparado com o cenário RCP 4.5, os valores de temperatura são um pouco maiores, além do acréscimo observado de um período para o outro.

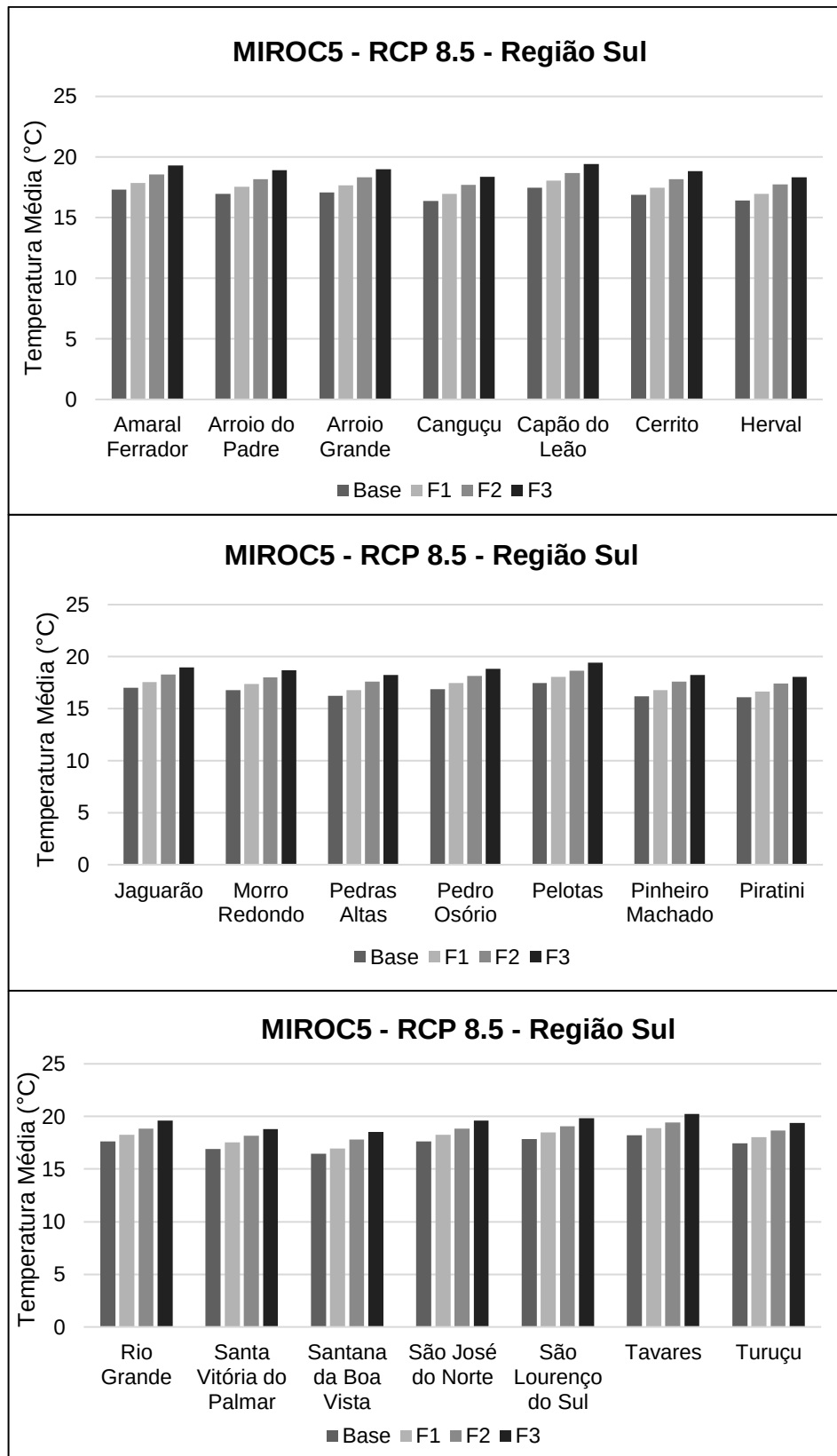


Figura 31: Temperatura média para o modelo MIROC5, RCP 8.5, para os municípios da região Sul.

Na análise de médias anuais do período analisado, conforme mostra a figura 32, identifica-se a similaridade com a tendência linear de crescimento da temperatura, com pequenos picos de temperaturas mais elevadas no período base, e alguns picos de decréscimo de temperatura para o F3, tal qual o observado para a região Campanha. Para o cenário RCP 8.5, observa-se a tendência linear do aumento de temperatura até 2099, sem períodos com picos de aumento ou decréscimo de temperatura muito distantes dos valores médios observados ao longo do período.

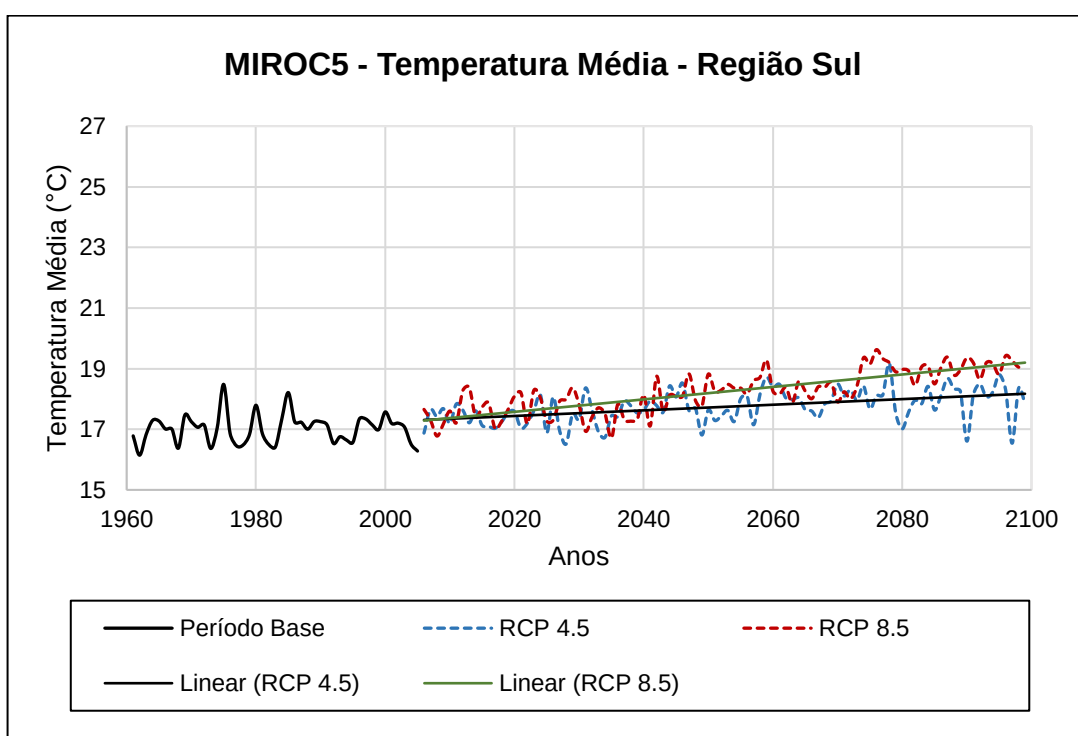


Figura 32: Temperatura média anual para o período base e futuros (F1, F2 e F3) para o modelo MIROC5, RCP 4.5 e 8.5, região Sul.

Os resultados de temperatura média observados para as regiões Sul e Campanha para os dois cenários (RCP 4.5 e RCP 8.5) para os três modelos globais regionalizados pelo modelo ETA concordam com Bravo et al. (2011), que ao analisarem as projeções de 20 Modelos Climáticos Globais - MCG's para o AR4 considerando dois futuros (2030 e 2070) e dois cenários, o A2 (mais pessimista) e B2 (mais otimista), para a região do Taim (Santa Vitória do Palmar e Rio Grande), mostraram projeções que indicam o aumento de temperatura em todos os meses dos anos dos períodos analisados, porém apresentando discrepância entre os resultados dos modelos utilizados.

Ao analisar dados mensais de temperatura mínima de 18 estações meteorológicas do Rio Grande do Sul no período de 1936 a 2000, e de dados diários de temperatura mínima no período de 1945 a 2005, Berlato e Althaus (2010), indicam um aumento de temperatura mínima que em 65 anos totalizou 1,3°C, corroborando com as tendências e resultados indicados pelas projeções climáticas neste estudo.

Cordeiro et al. (2016) analisaram as tendências de temperatura no Rio Grande do Sul para o período de 1950 a 2009, utilizando dados de 14 estações meteorológicas, incluindo municípios da região de estudo como Bagé, Pelotas, Rio Grande e Santa Vitória do Palmar, e observaram o aumento anual de temperatura no estado, concluindo que tal fato está relacionado com o aumento da temperatura mínima. Ainda, ao separar o período em faixas, observaram que a temperatura se apresentava maior no final nos anos analisados (1980 a 2009) do que no começo do período. Esse resultado concorda com a tendências de aumento de temperatura ao longo do período estudado, onde observa-se que no final do século a temperatura média será ainda maior para as regiões Sul e Campanha.

Outro estudo que corrobora com os resultados aqui obtidos é apresentado por Berlato e Cordeiro (2017), os quais averiguaram uma série de estudos para verificar sinais de mudanças climáticas globais e regionais no Rio Grande do Sul, e também constataram a existência de tendência de aumento de temperatura média, devido à forte elevação da temperatura mínima. Além disso, os autores mostram que os anos mais quentes observados ocorreram em grande parte após o ano 2000.

Outros estudos como o de Adam e Collischonn (2013), que analisaram o impacto das mudanças climáticas nos regimes de precipitação na Bacia Hidrográfica do Rio Ibicuí, região Oeste do estado do Rio Grande do Sul, estimaram através de 20 MCG's o acréscimo de temperatura até 2050. Cunha et al. (2007), avaliaram as

tendências na temperatura para região de Passo Fundo, no norte do Rio Grande do Sul, onde foi observado um aumento de temperatura mínima de 1,1°C e média de 0,8 °C durante o período de 1917 a 2006.

Assim sendo, estudos que englobam as regiões Sul e Campanha, e demais estudos que envolvem o Rio Grande do Sul como um todo ou até mesmo outras regiões do estado, como os citados acima, concordam com os resultados projetados nesse estudo, que indicam um crescente aumento de temperatura ao longo dos anos, aumentando de 1°C a 3°C, em média, até o final deste século. Ainda, os estudos citados apresentam tanto dados de projeções climáticas como dados de séries históricas, mostrando assim que a tendência projetada nos modelos climáticos apresenta similaridade com a realidade.

6.1.2 Análise de precipitação anual para as regiões Sul e Campanha

Os valores médios de precipitação anual dos 27 municípios da região Sul e Campanha do Rio Grande do Sul para o período base (1961-2005) para os três modelos globais regionalizados pelo modelo ETA (CANESM2, HADGEM2-ES e MIROC5) estão representados na figura 33.

Os modelos apresentam certa similaridade nos resultados entre municípios, mas diferem entre si. O modelo CANESM2 sugere que a média de precipitação acumulada ficará entre 1300 a 1500mm para grande parte dos municípios, e cinco municípios terão médias entre 1800 a 2100mm. Já o modelo HADGEM2-ES estima duas faixas médias de precipitação, de 1200 a 1500mm e de 1500 a 1800mm, sendo essa última com maior número de cidades. O modelo MIROC5 difere-se dos demais, projetando médias de precipitação acumulada menores, com a totalidade da região Campanha e alguns municípios da região Sul com valores menores que 900mm, e os demais municípios entre 900 a 1200mm.

O município de Santa Vitória do Palmar apresenta tendência de valores médios de precipitação anual acumulada na faixa de 1200 a 1500mm para os modelos HADGEM2-ES e CANESM2. Para o modelo MIROC5 a média da precipitação acumulada anual é menor que 900mm. Viana et al. (2006), analisaram a precipitação média anual para o período de 1945 a 1974 e 1975 a 2004, e encontraram para o

município valores de 1220mm e 1301mm, respectivamente. Ou seja, os modelos CANESM2 e HADGEM2-ES projetam valores relativamente próximos, e o modelo MIROC5 indica valores menores para precipitação média acumulada.

Rio Grande também apresentou variação nas médias dos três modelos, sendo que a média indicada pelo modelo HADGEM2-ES (1595 mm) é relativamente próxima, mas maior do que a indicada por Viana et al. (2006), ao analisar séries históricas, que no período de 1975 a 2004 indicaram a média de 1346mm para o município. Os outros modelos ou apresentaram valores acima ou abaixo dos de Viana et al. (2006), o que pode indicar que o modelo HADGEM2-ES chegou a valores mais próximos dos reais no período base de precipitação acumulada anual para Rio Grande.

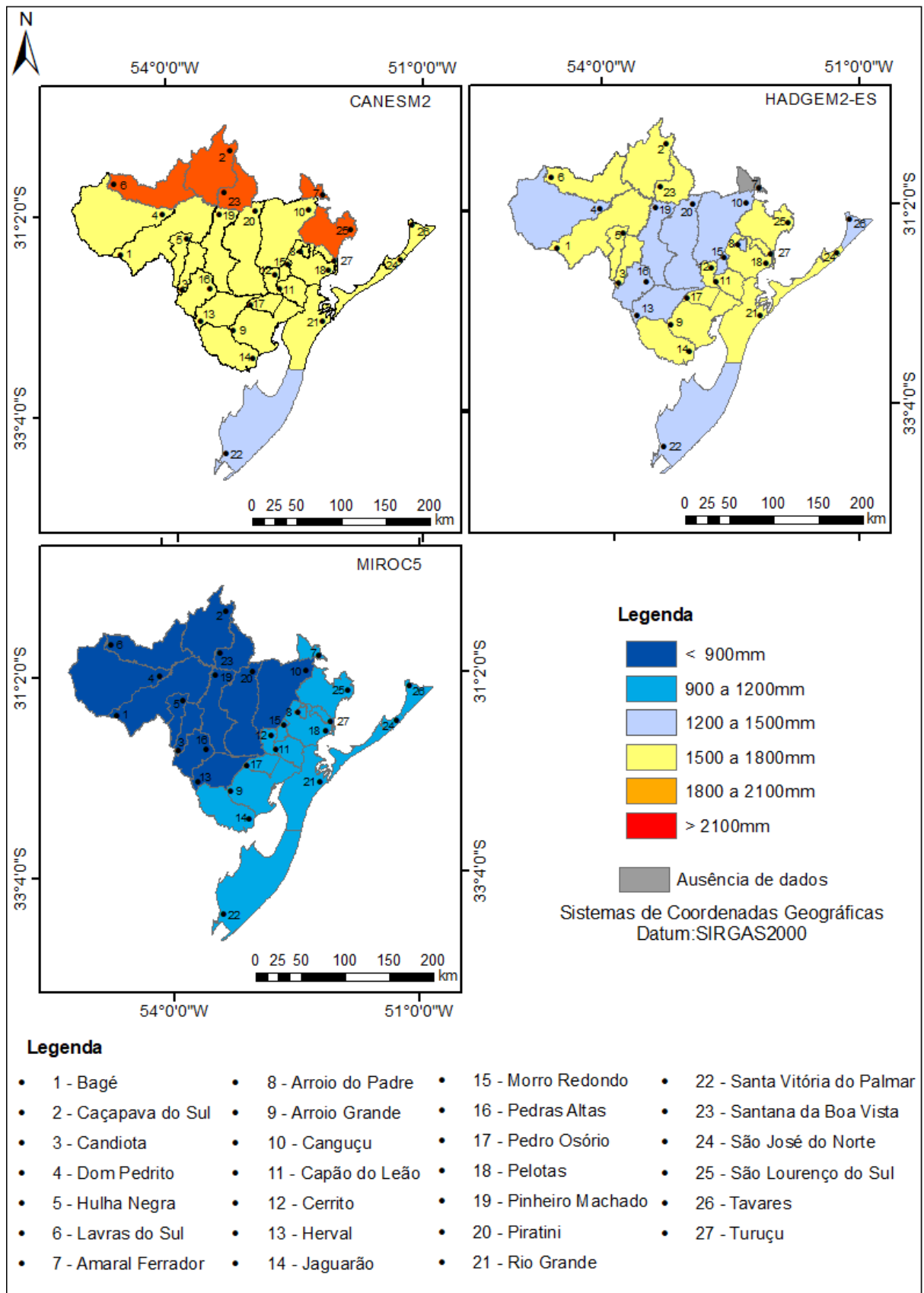


Figura 33: Precipitações médias para os municípios da região Sul e Campanha para o período base (1961-2005) para os três modelos climáticos regionais.

Nesse mesmo estudo, Viana et al. (2006) indicam precipitações médias para os municípios de Bagé e Pelotas, sendo que para Pelotas o modelo que chega mais próximo aos resultados de Viana et al. é o HADGEM2-ES, que indica uma precipitação média de 1680mm e Viana et al. apresentaram a média do período de 1975 a 2004 de 1435mm. O mesmo ocorre para Bagé, onde o modelo HADGEM2-ES indicou valor médio próximo 1569mm, e Viana et al. (2006) para o período de 1975 a 2004 obtiveram 1506mm.

Em uma análise geral dos três modelos, verifica-se que o modelo MIROC5 indica que os municípios tiveram as menores médias de precipitação anual, variando entre valores menores que 900mm e até 1200mm. O modelo HADGEM2-ES indica médias um pouco maiores, variando entre 900 a 1500mm. E o modelo CANESM2 apresenta uma faixa de variabilidade maior, de 1200 a 2100mm, já que cinco municípios indicam médias de precipitação entre 1800 e 2100mm.

Os três futuros (F1, F2 e F3) do cenário RCP 4.5 para o modelo CANESM2 podem ser observados na figura 34. Analisando a projeção do período base com o futuro F1, há sinais de que em alguns municípios a faixa média de precipitação continuará a mesma, e para alguns pode haver seu aumento, como Bagé, Candiota, Dom Pedrito, Arroio do Padre, Capão do Leão, Cerrito, Pedro Osório, Pelotas e Turuçu.

Para o período F2 (1941-1970), observa-se que para algumas cidades a precipitação média mantêm-se na mesma faixa (de 1500 a 1800mm ou de 1800 a 2100mm) e para outras há um aumento na média, como é o caso de Arroio Grande, Pinheiro Machado, Piratini, Rio Grande, São José do Norte e Tavares. Já para Santana da Boa Vista, São Lourenço do Sul e Amaral Ferrador os volumes de precipitação média são superiores à média das duas regiões, com valores maiores que 2100mm.

No último período analisado, de 2071 a 2099 (F3), há uma diminuição nos regimes de chuva em três municípios (Santana da Boa Vista, Piratini e Rio Grande), Os municípios de Bagé, Canguçu, Herval, Jaguarão e Santa Vitória do Palmar mantêm a mesma média pluvial nos três futuros, sendo que o último apresenta o menor valor médio de precipitação dos 27 municípios ficando entre 1200 a 1500mm.

Os resultados do modelo CANESM2 para o cenário RCP 8.5 para F1, F2 e F3 estão exibidos na figura 35. O F1 dessa projeção mostra a tendência de um aumento de precipitação anual semelhante ao observado no RCP 4.5, porém inclui um maior

número de municípios com valores médios entre 1900 e 2100mm, e ainda o município de Amaral Ferrador tem um aumento de volumes pluviais maiores que 2100mm.

No segundo período futuro, observa-se a tendência de crescimento de precipitação para vários municípios, sendo observadas as maiores médias de precipitação anual nos municípios de Lavras do Sul, Caçapava do Sul e Santana da Boa Vista. Amaral Ferrador mantém os volumes altos de precipitação anual nesse período (maior que 2100mm).

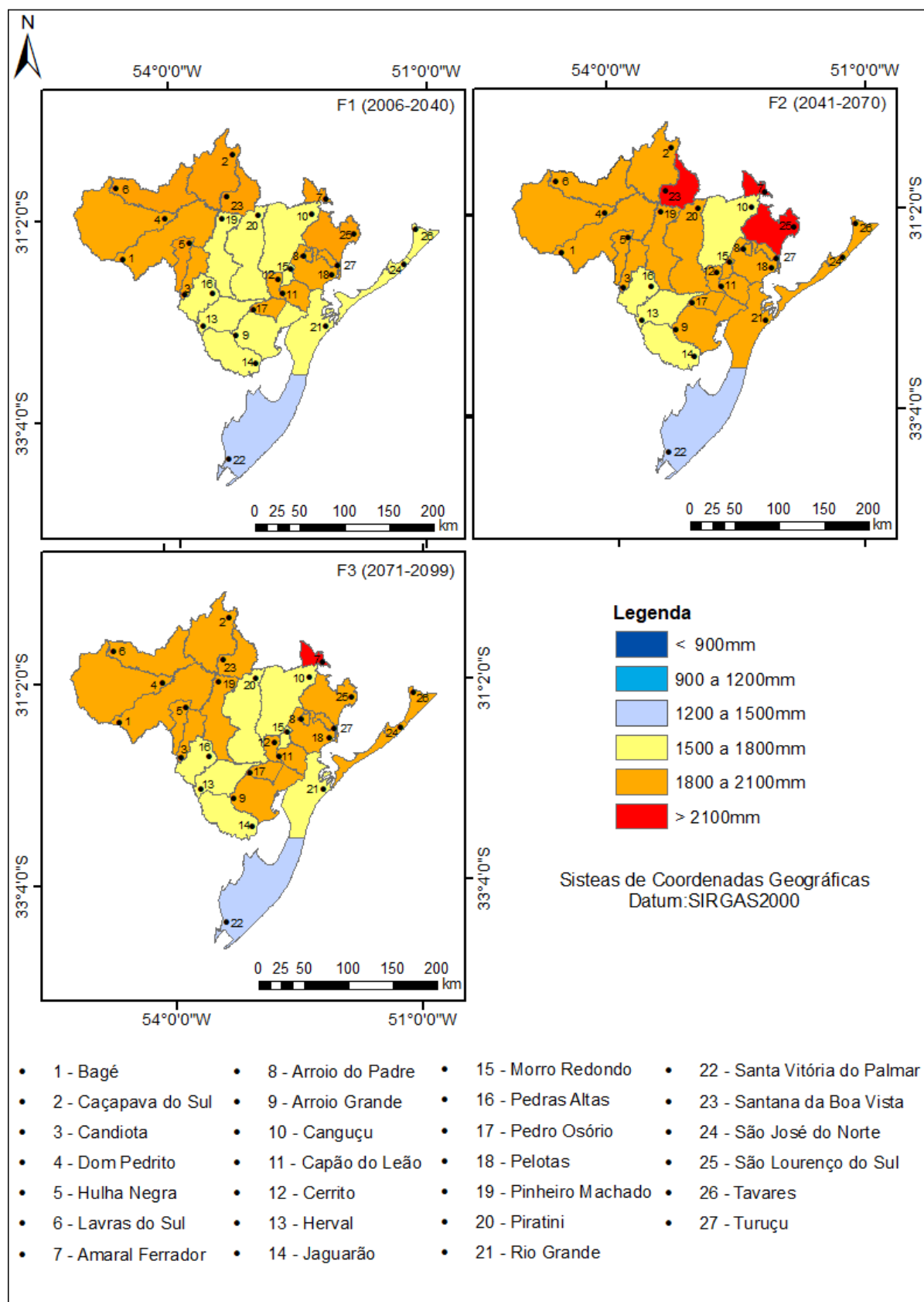


Figura 34: Precipitações médias para os municípios da região Sul e Campanha para o modelo CANESM2, cenário RCP 4.5 para os três períodos futuros (F1, F2 e F3).

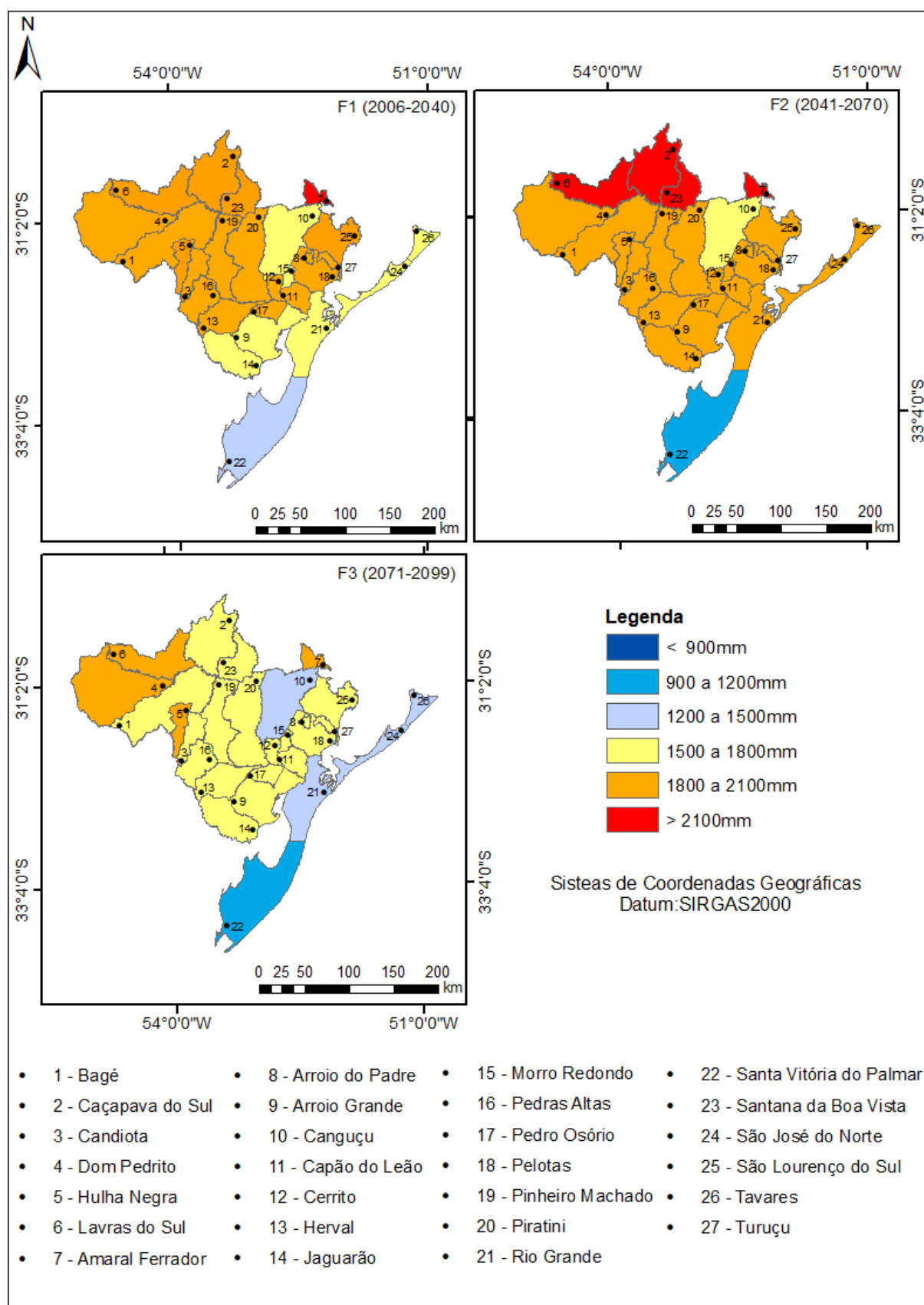


Figura 35: Precipitações médias para os municípios da região Sul e Campanha para o modelo CANESM2, cenário RCP 8.5 para os três períodos futuros (F1, F2 e F3).

Para o terceiro período futuro há diminuição de precipitação em praticamente todos os municípios da região, exceto para Lavras do Sul, Dom Pedrito e Hulha Negra, que são municípios da região Campanha. O regime pluvial dos demais decai em grande maioria para a faixa de 1500 a 1800mm e para alguns, como Canguçu, Tavares, São José do Norte e Rio Grande, essa diminuição é ainda maior, ficando entre 1200 a 1500mm.

Santa Vitória do Palmar apresentou valores menores de precipitação em todos os futuros, mantendo o resultado observado no período base desse modelo climático, sendo que no F2 e F3 essa diminuição é ainda menor, ficando entre 900 e 1200mm.

Os resultados das médias de precipitação anual para o modelo HADGEM2-ES para os três períodos futuros para o cenário RCP 4.5 (Figura 36) mostram resultados que variam entre os três períodos futuros. Para o F1, há projeções de médias entre 1200 a 1500mm e 1500 a 1800mm. Alguns municípios indicam as mesmas médias do período base, entre 1200 a 1500mm, como Canguçu, Tavares, Santa Vitória do Palmar, Morro Redondo e Arroio do Padre. Outros indicam aumento, passando da faixa de 1200 a 1500mm para 1500 a 1800mm, sendo eles: Dom Pedrito, Pinheiro Machado, Piratini, Herval e Pedras Altas. Para Rio Grande e São José do Norte, as projeções indicam diminuição na precipitação acumulada média anual, e os demais se mantêm nas mesmas faixas do período base.

No período F2, há aumento de faixa precipitação média acumulada em quase todos municípios, exceto para Dom Pedrito, Bagé, Hulha Negra, Pinheiro Machado, Candiota, Pedras Altas, Herval, Cerrito, Turuçu, Amaral Ferrador e Tavares. Na análise entre o período F2 e F3, observa-se que há tendência de aumento ou de faixa de precipitação média acumulada, e ainda outros municípios apresentaram valores dentro das mesmas faixas. Os que apresentaram diminuição foram: Arroio Grande, Pedro Osório, Capão do Leão, Rio Grande, São José do Norte, Pelotas e São Lourenço do Sul. Já Bagé, Hulha Negra, Amaral Ferrador e Morro Redondo indicam aumento de precipitação anual média. Os demais indicam valores dentro das faixas observadas para o período anterior (F2).

O cenário RCP 8.5 para o modelo HADGEM2-ES (Figura 37) mostra para o período F1 projeções de aumento de precipitação anual média para Dom Pedrito e Pedras Altas e de diminuição para Rio Grande e São José do Norte. Os demais indicam valores entre as faixas médias observadas no período base.

Já na análise entre os períodos F1 e F2 há o modelo estima aumento de precipitação para a faixa entre 1800 a 2100mm para os municípios de Pinheiro Machado, Piratini, Canguçu, Arroio do Padre, Herval, Rio Grande e São José do Norte. Os demais mantêm as faixas do período anterior (F1), entre 1200 a 1500mm ou 1500 a 1800mm.

No período F3, Arroio do Padre, Pedro Osório, Canguçu, Piratini, Pinheiro Machado, Pedras Altas, Rio Grande, São José do Norte e Tavares mantiveram os valores médios entre as mesmas faixas do período F2. Os demais municípios apresentaram valores médios maiores.

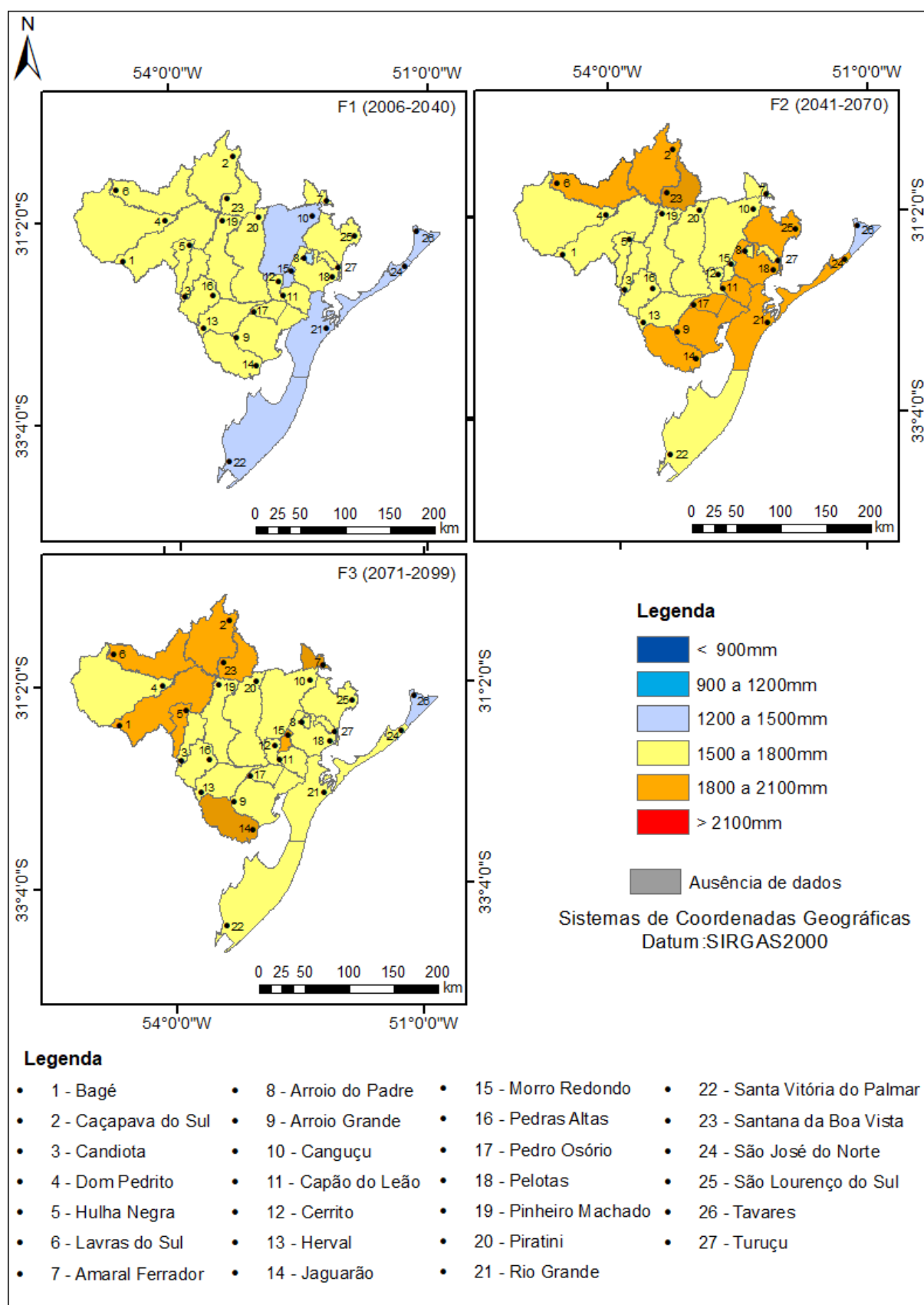


Figura 36: Precipitações médias para os municípios da região Sul e Campanha para o modelo HADGEM2-ES, cenário RCP 4.5 para os três períodos futuros (F1, F2 e F3).

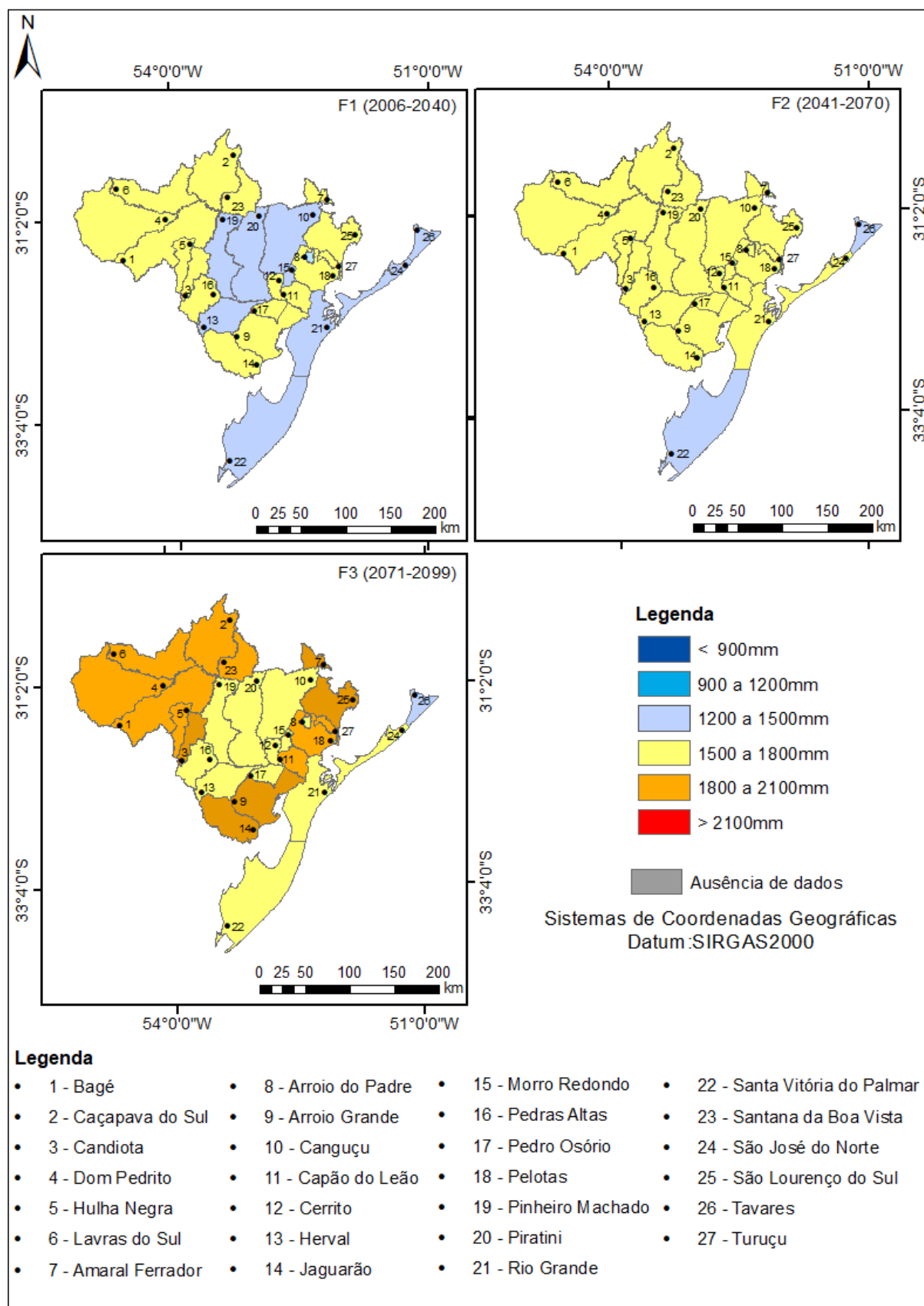


Figura 37: Precipitações médias para os municípios da região Sul e Campanha para o modelo HADGEM2-ES, cenário RCP 8.5 para os três períodos futuros (F1, F2 e F3).

Comparando o F1 com o F2, há projeções de aumento de precipitação da faixa de 1200 a 1500 mm para 1800 a 210mm de sete municípios, sendo cinco destes da região Campanha e apenas dois da região Sul, sendo um deles limítrofe com a região Campanha. Há aumento de precipitação da mesma faixa de 1200 a 1500mm para 1500 a 1800mm de seis municípios da região Sul, e aumento de 900 a 1200mm para 1200 a 1500mm dos municípios de Rio Grande, São José do Norte e Tavares. O município de Jaguarão apresenta diminuição na média pluviométrica e os demais permanecem com as médias observadas no período anterior.

Para o período F3, quando comparado com o F2, a maior parte dos municípios tendem a manter a mesma faixa de valores médios de precipitação anual quando comparado com o período base. Destes, cinco fazem parte da região Campanha, apenas Caçapava do Sul não apresenta essa projeção. Mostram tendência de diminuição na média de precipitação para o final do século os municípios de Caçapava do Sul, Santana da Boa Vista, Herval e Santa Vitória do Palmar. Os demais apresentam aumento nos regimes de precipitação anual.

Para o cenário RCP 4.5, o modelo MIROC5 (Figura 38) apresentou projeções diferentes dos demais, além de não ter nenhum decréscimo de precipitação média para o F2 ou F3, como aconteceu em alguns municípios nos demais modelos. Na análise do período base para o período F1, a grande tendência é de manter as mesmas faixas médias de precipitação do período base, exceto em quatro municípios (Caçapava do Sul, Lavras do Sul, Santana da Boa Vista e São Lourenço do Sul) que aumentam a média anual de chuva, e Piratini, que é o único que a média menor no período F1 do que no período base.

Há aumento de precipitação apenas em Candiota e Tavares na análise entre o F1 e F2. Os demais municípios se mantêm nas mesmas faixas do período base. E na comparação do F2 com o F3, Bagé, Hulha Negra, Canguçu, Turuçu, Pelotas e Capão do Leão apresentam aumento no regime médio pluviométrico. Já os demais continuam nas faixas de precipitação observadas no F2.

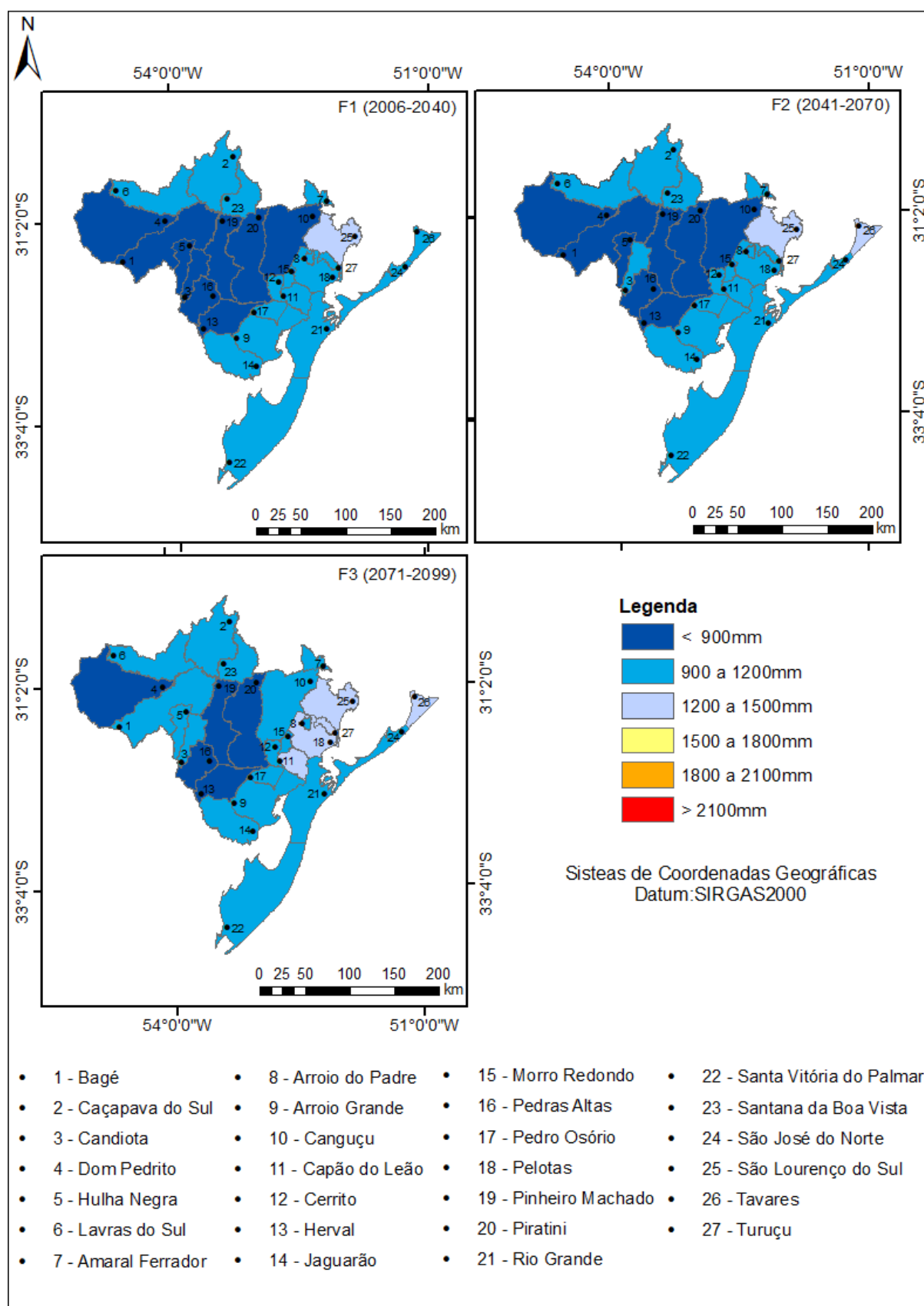


Figura 38: Precipitações médias para os municípios da região Sul e Campanha para o modelo MIROC5, cenário RCP 4.5 para os três períodos futuros (F1, F2 e F3).

O modelo MIROC5 para o cenário RCP 8.5 (Figura 39), apresenta aumento de < 900 mm para 900 a 1200 mm para quatro municípios (Caçapava do Sul, Lavras do Sul, Canguçu e Santana da Boa Vista). Para Dom Pedrito, o aumento vai de 78mm para 1879 mm, e para São Lourenço do Sul o aumento é de 1193mm para 1240mm. As outras cidades possuem valores na mesma faixa do período base.

Para o período F2 observa-se o aumento do município de Candiota, que passa de 836 mm para 1036mm e cinco municípios que passam da faixa de 900 a 1200mm para 1200 a 1500mm. Os demais municípios continuam na mesma faixa de precipitação analisada no período F1.

Na comparação dos períodos F2 e F3, há apenas acréscimos de precipitação anual, sendo essa observada em dez municípios. É importante salientar que o município de Dom Pedrito, que apresentou o maior valor de precipitação anual, no último período futuro aumenta ainda mais, ficando na faixa de 1500 a 1800mm.

É notório que não há grande similaridade entre os três modelos e os cenários das projeções realizadas, sendo que o modelo MIROC5 difere-se dos demais pelo fato de não apresentar decréscimos de precipitação média nas médias dos períodos futuros, fato que foi notado nos demais modelos. Além disso, se vê para alguns municípios maiores valores de precipitação no cenário considerado mais pessimista (RCP 8.5).

Os valores de precipitação dos modelos climáticos causam certa incerteza em inferir de forma assertiva na tendência dos regimes de precipitação para os municípios da área de estudo, já que alguns tendem a aumentar ao longo do tempo, outros apresentam picos de aumento na precipitação e depois decréscimo e outros mantêm certa constância em boa parte do tempo. O mesmo foi observado por Bravo et al. (2011), que além de avaliar as projeções de temperatura, como já foi citado anteriormente, verificou tanto aumento quanto decréscimo nos regimes pluviométricos, o que considerou existir incertezas que foram observadas principalmente nos futuros mais longos (2070). Silva et al. (2014), ao analisarem o regime hídrico durante eventos de El Niño Oscilação Sul (ENOS) no período de 1987 a 1999 também verificaram que a precipitação apresenta grande variação entre as regiões do estado do Rio Grande do Sul.

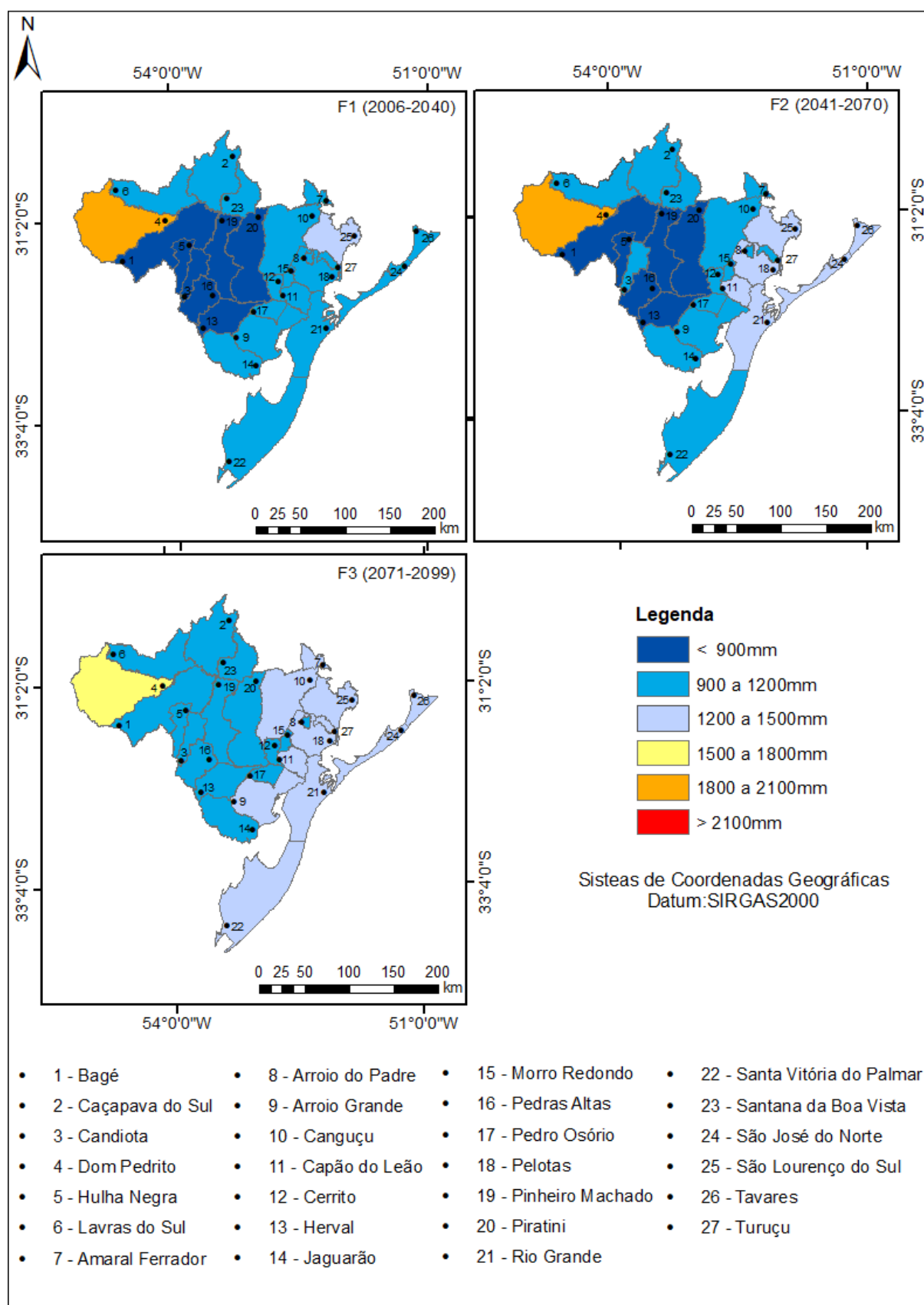


Figura 39: Precipitações médias para os municípios da região Sul e Campanha para o modelo MIROC5, cenário RCP 8.5 para os três períodos futuros (F1, F2 e F3).

Pinheiro et al. (2013) ao analisarem a tendência em séries temporais de precipitação para região Sul do Brasil, observaram a tendência de acréscimo de precipitação em algumas estações pluviométricas do Rio Grande do Sul que faziam parte de seu estudo (Cruz Alta, Caxias do Sul, Canguçu e Cacequi). Berlato e Cordeiro (2017) também indicam aumento de precipitação anual para o estado. Viana et al. (2006) também indicam a tendência de aumento de precipitação em algumas regiões do Rio Grande do Sul, destacando a região Sul e Sudoeste, que em seu estudo engloba o município de Bagé.

Gonçalves e Back (2018) ao pesquisarem as tendências na precipitação da região Sul do Brasil durante o período de 1976 a 2015 consideraram as séries estacionárias, já que 83% não tiveram tendências significativas de aumento ou redução no volume de precipitação. O mesmo é observado em alguns municípios nos três modelos regionais e para as duas projeções. Porém, algumas cidades possuem acréscimos de precipitação quando comparado o período futuro com o período base e às vezes até decréscimo entre os períodos futuros (F1, F2 e F3) ou período futuro F1 com o período base. Assim sendo, não há como inferir que as projeções futuras indicam que as séries são estacionárias como um todo, apenas se feita uma análise individualmente para cada município, modelo climático global regionalizado pelo ETA e para cada cenário de projeções climáticas.

6.1.3 Anomalias

As anomalias para as médias de precipitação (P) para os modelos CANESM2, HADGEM2-ES e CANESM2 para os cenários RCP 4.5 e RCP 8.5 serão discutidas nesse tópico, e seus valores constam no Apêndice B. Cabe salientar que a análise de anomalia nada mais é que a média de cada um dos 3 futuros (F1, F2 e F3) menos a média obtida para o período base para cada modelo. Com isso, é possível observar a tendência de acréscimo ou decréscimo nos regimes de precipitação para os municípios estudados.

No cenário RCP 4.5, para o primeiro período futuro (F1) (Figura 40), há indícios de anomalias positivas de precipitação para todos os municípios nas projeções do modelo CANESM2 e MIROC5. Já para o modelo HADGEM2-ES, há anomalias

negativas para alguns municípios da região Sul, sendo eles Arroio Grande, Pedro Osório, Capão do Leão, Morro Redondo, Arroio do Padre, Pelotas, Rio Grande, São José do Norte, São Lourenço do Sul e Tavares.

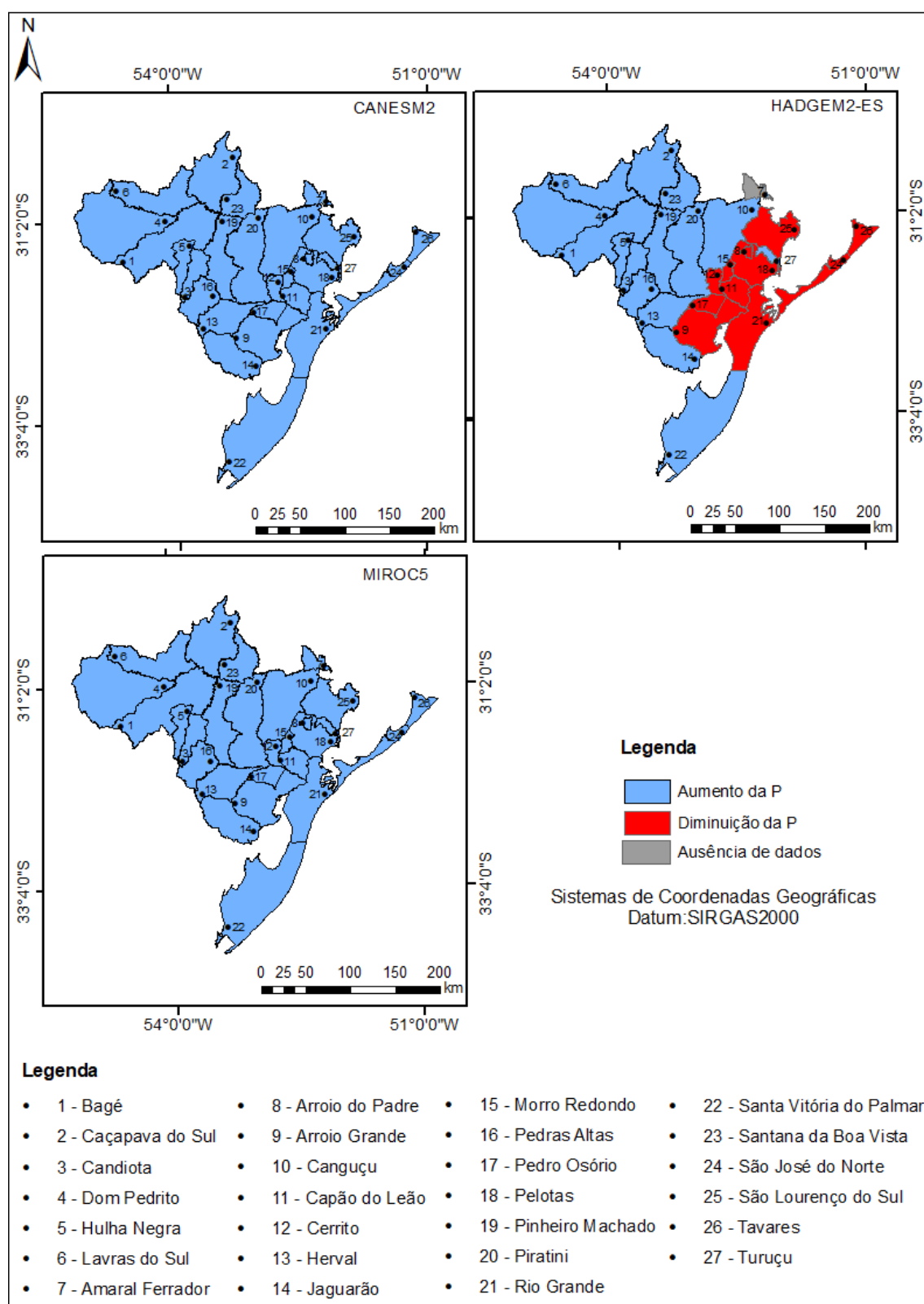


Figura 40: Anomalias de precipitação (P) para o cenário RCP 4.5 para os três modelos climáticos regionais (CANESM2, HADGEM2-ES e MIROC5) para o período F1.

Para o mesmo cenário (RCP 4.5) para o próximo período futuro F2 (2041 a 2070) (Figura 41), os cálculos de anomalias são positivos nos três modelos climáticos globais regionalizados pelo modelo ETA para todos os municípios.

No último período futuro (F3) (Figura 42), para o mesmo cenário, observa-se a mesma projeção realizada para o F2, com os três modelos indicando anomalias positivas para médias de precipitação.

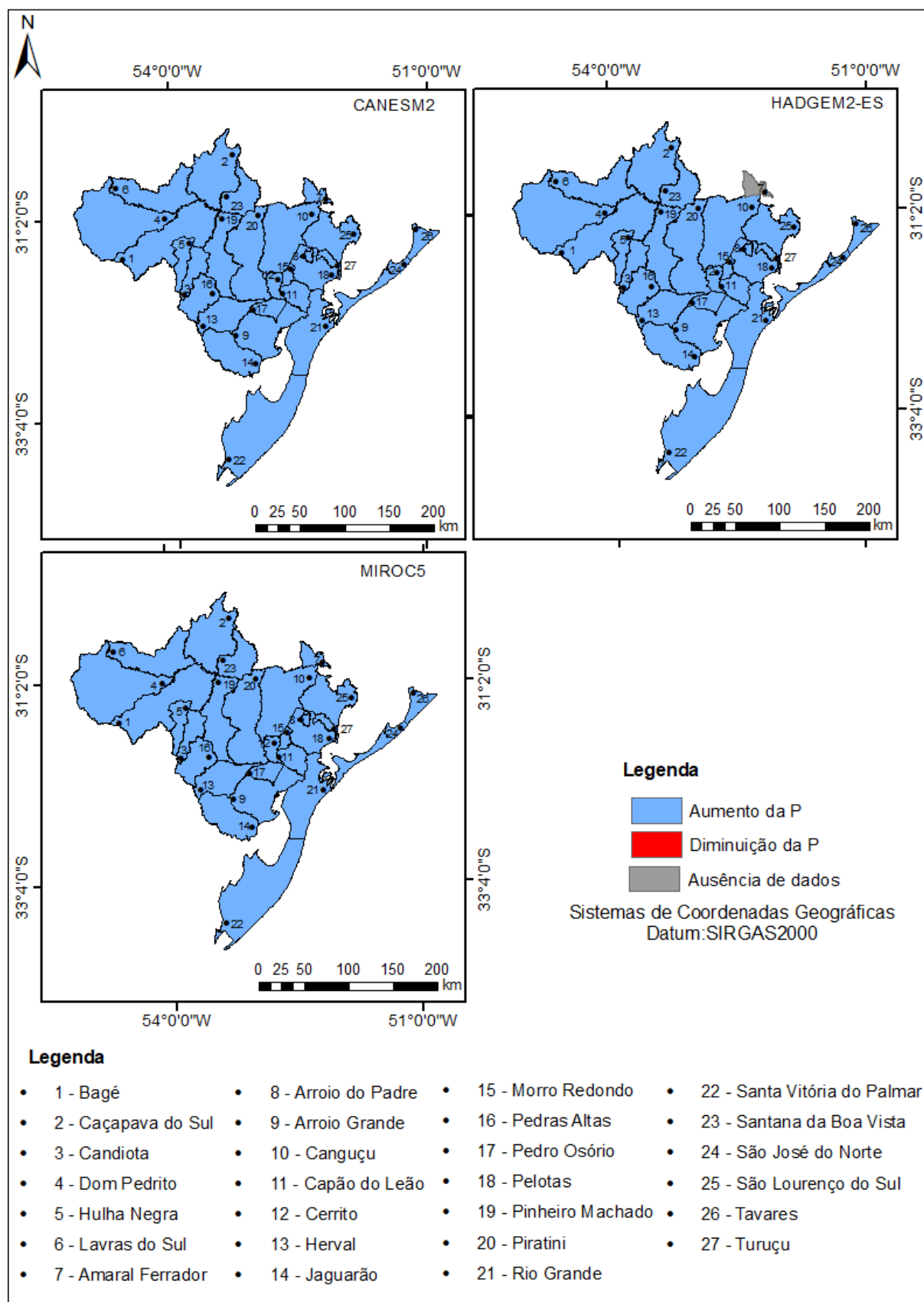


Figura 41: Anomalias de precipitação (P) para o cenário RCP 4.5 para os três modelos climáticos regionais (CANESM2, HADGEM2-ES e MIROC5) para o período F2.

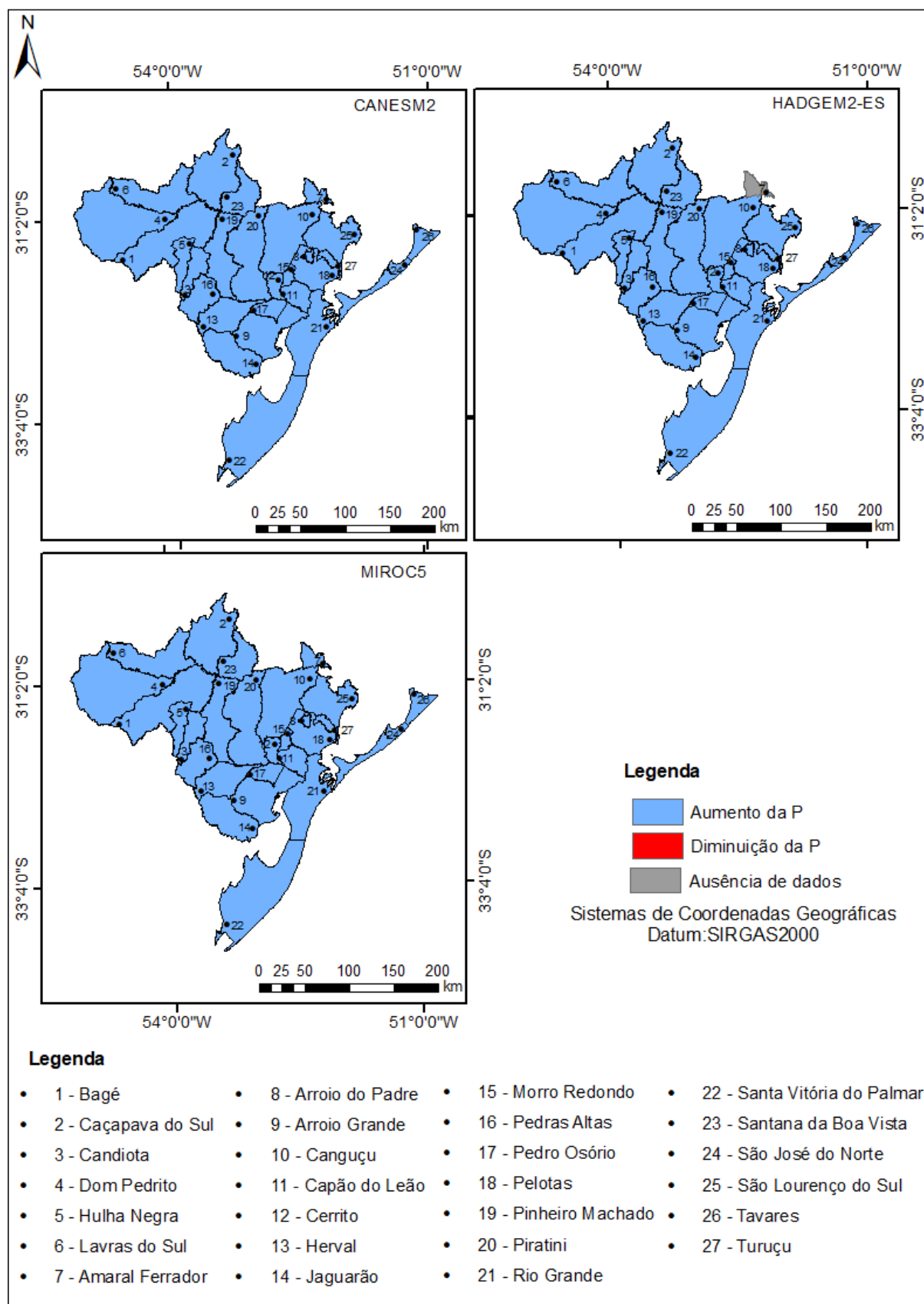


Figura 42: Anomalias de precipitação (P) para o cenário RCP 4.5 para os três modelos climáticos regionais (CANESM2, HADGEM2-ES e MIROC5) para o período F3.

O cálculo de anomalias do cenário RCP 8.5 para o período de 2006 a 2040 (F1) representado na figura 43, para os três modelos climáticos utilizados no presente estudo, de acordo com as projeções dos modelos CANESM2 e MIROC5, indicam anomalias positivas para todos os municípios. Já o modelo HADGEM2-ES apresenta anomalias negativas para 14 municípios. Tal resultado quando comparado com o cenário RCP 4.5 mostra-se diferente, pois para o mesmo modelo observou-se a totalidade de anomalias positivas para o mesmo período.

Já para o período de 2041 a 2070 (F2) (Figura 44), os modelos CANESM2 e MIROC5 indicam anomalias positivas para os municípios. O modelo HADGEM2-ES projeta anomalias positivas para quase todos municípios, exceto para São José do Norte, Rio Grande e Tavares.

Na figura 45 pode-se observar as anomalias obtidas para o período F3 (2071 a 2099). Os modelos HADGEM2-ES e MIROC5 projetam que as anomalias de precipitação anual serão positivas para todos os municípios. Já o modelo CANESM2 não apresenta a mesma projeção, e sim que a anomalia de precipitação anual será negativa para os municípios da região Sul. Tal resultado diferiu totalmente do projetado no cenário RCP 4.5, que indicou anomalia positiva para os 27 municípios.

Tais anomalias concordam com as projeções de Bravo et al. (2011), já citadas anteriormente, que observaram grandes anomalias para dados de precipitação utilizando 20 MCG's para os municípios de Rio Grande e Santa Vitória do Palmar. Porém os resultados de Silva e Campos (2011), os quais verificaram as anomalias decadais no Rio Grande do Sul do período de 1977 a 2006, utilizando séries históricas, indicou a existência de anomalias negativas de precipitação na maior parte do estado, salientando ainda que a década de 1977 a 1986 foi mais seca do que a normal climatológica de 1977 a 2006.

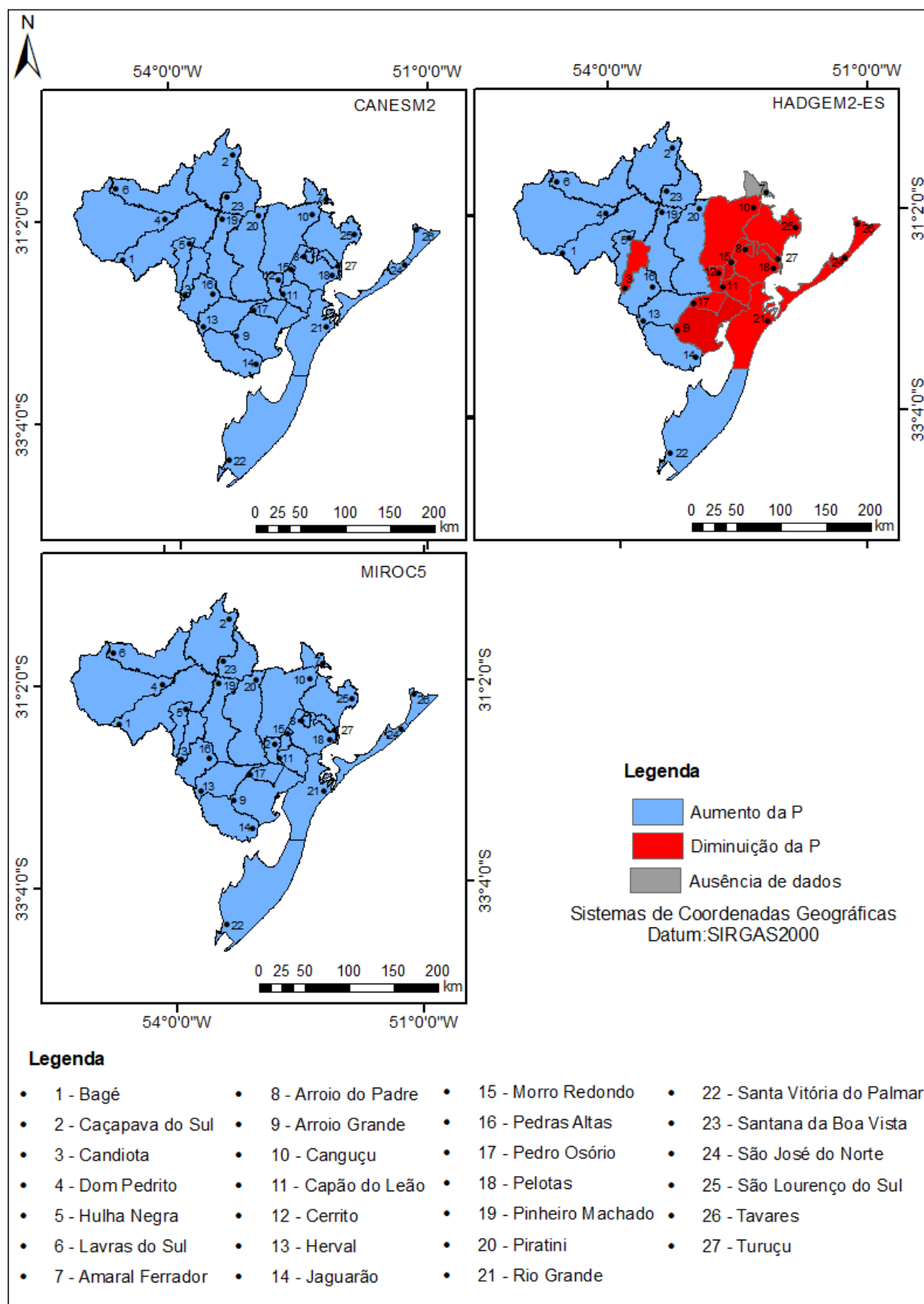


Figura 43: Anomalias de precipitação (P) para o cenário RCP 8.5 para os três modelos climáticos regionais (CANESM2, HADGEM2-ES e MIROC5) para o período F1.

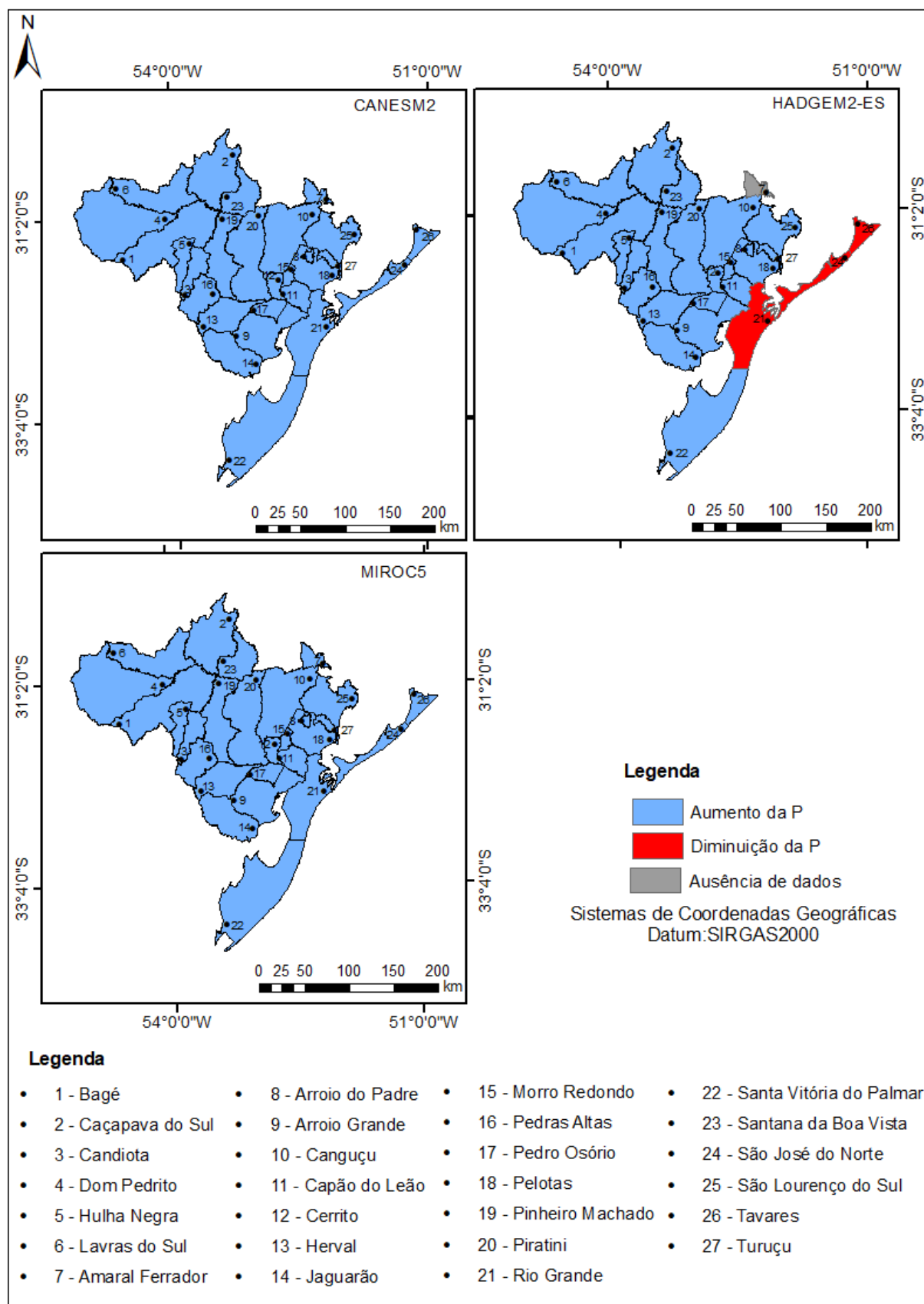


Figura 44: Anomalias de precipitação (P) para o cenário RCP 8.5 para os três modelos climáticos regionais (CANESM2, HADGEM2-ES e MIROC5) para o período F2.

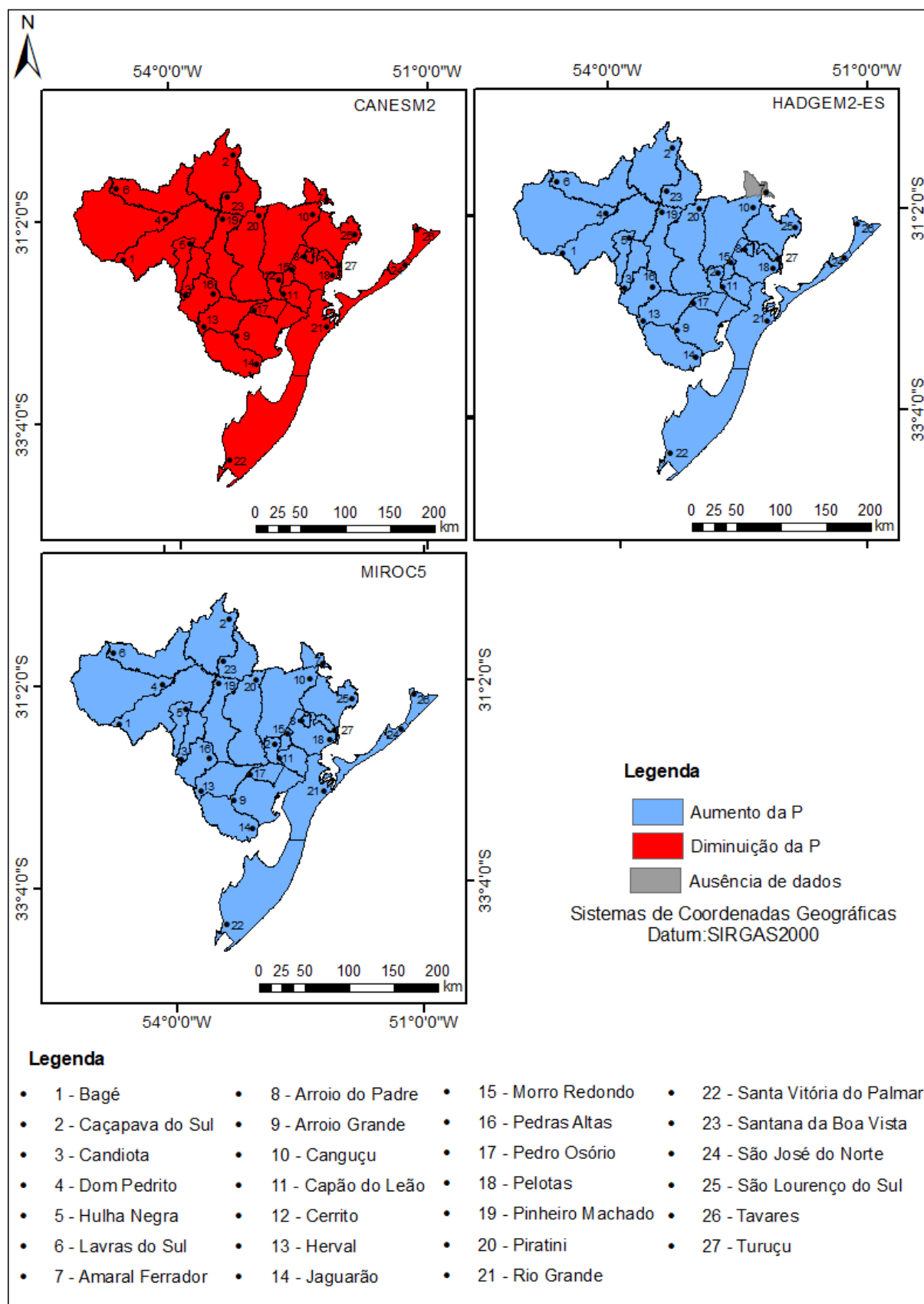


Figura 45: Anomalias de precipitação (P) para o cenário RCP 8.5 para os três modelos climáticos regionais (CANESM2, HADGEM2-ES e MIROC5) para o período F3.

Os resultados observados nos dois cenários ainda indicam certo aumento de precipitação em alguns casos e para o cenário RCP 8.5, que é o mais pessimista, alguns modelos indicam o aumento de precipitação anual. Para a agricultura, esse crescimento pode ser benéfico, quando essa variável é avaliada separadamente. Porém, não é só ela que participa e influencia no crescimento e desenvolvimento de culturas, demais variáveis climáticas também são muito importantes, entre elas a temperatura, que se mostrou mais elevada até o final do século, seja no cenário mais otimista quando no cenário mais pessimista. Além disso, grandes eventos de chuva em curto espaço de tempo podem causar estresse para a cultura e acabar sendo prejudiciais, além de perdas significativas nas safras devido à ocorrência de eventos extremos tais como chuvas intensas, granizo, etc.

6.2 Demandas de água para irrigação nas regiões Sul e Campanha

A partir da simulação realizada com o modelo SWAP, as projeções de demanda de água para irrigação (Id) para os 27 municípios da região Campanha e Sul do Rio Grande do Sul foram obtidas para o período base e para os três períodos futuros (F1, F2 e F3), considerando dados climáticos dos três modelos globais (CANESM2, HADGEM2-ES e MIROC5) regionalizados pelo modelo ETA para os dois cenários (RCP 4.5 e RCP 8.5). Os valores de Id, abaixo apresentados, referem-se às demandas totais considerando todas as culturas em cada município.

A demanda média de água para irrigação usando os três modelos climáticos para o período base é mostrada na figura 46. Analisando essa figura, pode-se observar que há variação nos valores de demanda de água para irrigação entre os três modelos. O modelo climático CANESM2 indica que os municípios de Santa Vitória do Palmar e Rio Grande têm os menores valores de Id (menor que 100mm), sendo que para esse último, o resultado repete-se na projeção do modelo MIROC5. O CANESM2 ainda indica que a Id média será de 100 a 300mm para os municípios da região Campanha e para os municípios de Santana da Boa Vista, Pedras Altas, Jaguarão, Pedro Osório, Capão do Leão, Arroio do Padre e São José do Norte. Canguçu apresenta uma Id média maior, ficando na faixa de 600 a 900mm, e os demais municípios de 300 a 600mm.

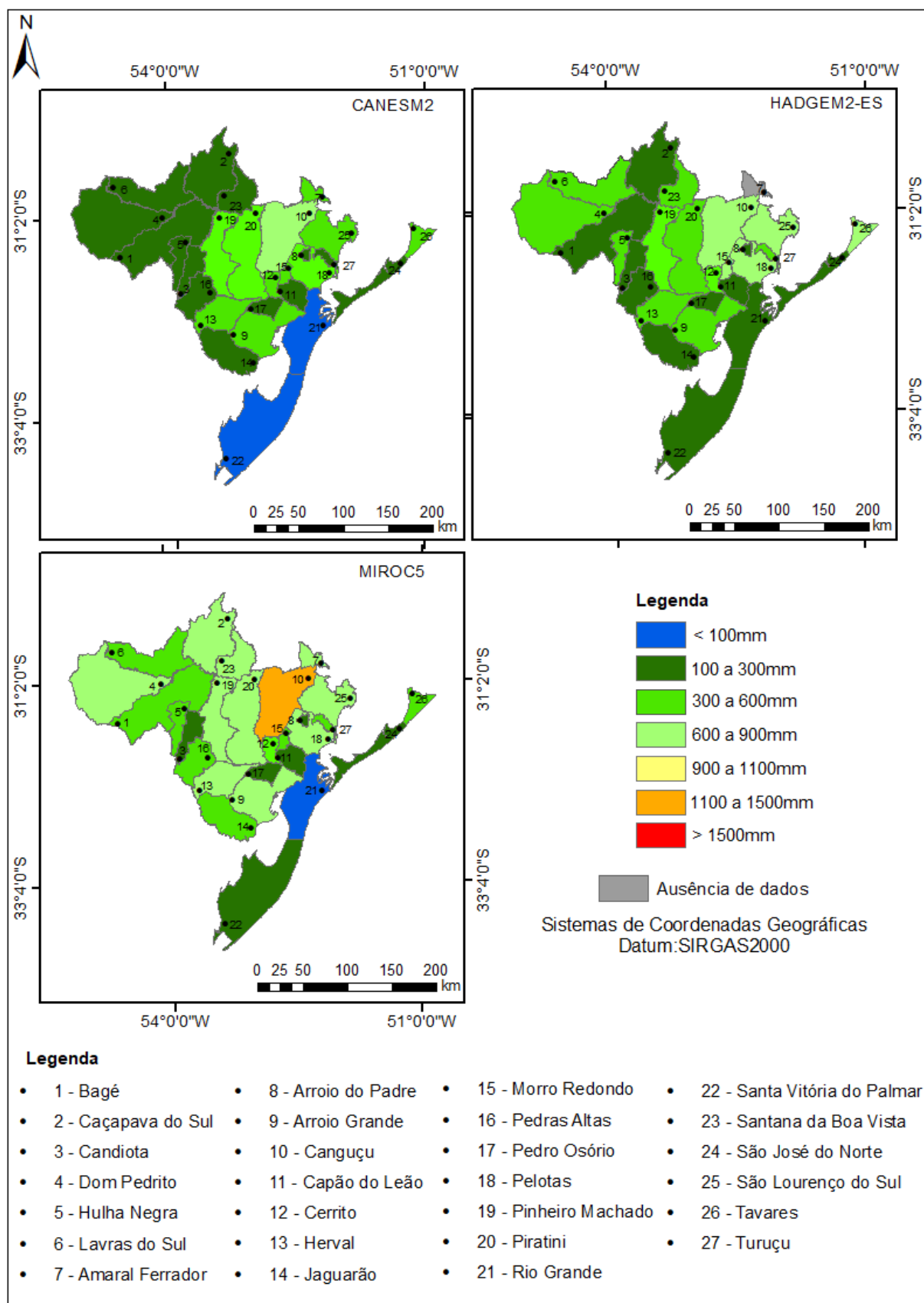


Figura 46: Médias de demanda de água para Irrigação (Id) para o período base usando os três modelos climáticos (CANESM2, HADGEM2-ES e MIROC5) para as regiões Sul e Campanha.

O modelo HADGEM2-ES estimou uma média dos valores de demanda de água entre 100 a 300mm para os municípios de Bagé, Candiota e Caçapava do Sul, da região Campanha, além de Jaguarão, Pedro Osório, Capão do Leão, Arroio do Padre, Pedras Altas, Rio Grande, Santa Vitória do Palmar e São José do Norte. Para os demais municípios da Região Campanha o modelo estimou uma média de Id de 300 a 600mm. Para os municípios de Pelotas, Morro Redondo, Canguçu, São Lourenço do Sul e Tavares, o HADGEM2-ES estimou valores médios de Id entre 600 a 900mm, enquanto que para os demais municípios da região Sul valores médios de Id entre 300 e 600mm foram estimados.

A Id média estimada pelo modelo MIROC5 para o período base apresenta similaridade com a faixa de Id estimada no modelo CANESM2 para o município de Rio Grande, também apresentou valores menores que 100mm. A mesma similaridade foi observada nos municípios de Arroio Grande, Amaral Ferrador, Cerrito, Morro Redondo, Turuçu e Tavares, onde a Id média foi entre 300 a 600mm. Para alguns municípios, os três modelos climáticos estimaram faixas de valores médios de Id iguais para o período base (entre 100 a 300 mm; 300 a 600mm e 600 a 900mm). O modelo MIROC5 estimou o maior valor médio de Id para o município de Canguçu (entre 1100 a 1500mm), sendo esse o maior valor estimado entre os municípios e os três modelos.

Com esses resultados observa-se que a Id média estimada para os municípios pode apresentar certa constância para alguns e acréscimos ou decréscimos para outros. O município de Canguçu, por exemplo, tem uma tendência de acordo com o modelo MIROC5 ter a maior demanda média para o período base. Isso pode se dar pelo fato desse ser o município com maior diversidade de culturas, e que estas apresentam características de desenvolvimento diferentes. Com isso, pode ter ocorrido regimes pluviométricos para o período base mais baixos no verão, por exemplo, período em que boa parte das culturas está se desenvolvendo, e isso ocasiona então a maior demanda de água média para irrigação.

O modelo CANESM2 para os três futuros avaliados projetou grande similaridade nos valores médios de demanda de água para irrigação, conforme pode ser visto na figura 47. Um valor médio de Id na faixa de 100 a 300mm até o final do século foi projetada pelo modelo CANESM2 para a região da Campanha e as cidades de Jaguarão, Pedro Osório, Capão do Leão, Tavares e Santana da Boa Vista. Já para o município de Rio Grande, o modelo indica, para os três futuros, uma Id média menor

que 100mm. Para Arroio Grande e Pelotas projeta-se uma Id média de 600 a 900mm, enquanto que para Piratini, Pinheiro Machado, Herval e São Lourenço do Sul a projeção de Id está na faixa de 300 a 600mm. De acordo com o modelo, o valor médio de Id em Canguçu ficará na faixa de 600 a 900mm para os períodos F1 e F2, passando para 900 a 1100mm no último período de tempo. Para Santa Vitória do Palmar a projeção indica Id média menor que 100mm para F1, aumentando para 100 a 300mm nos dois últimos futuros.

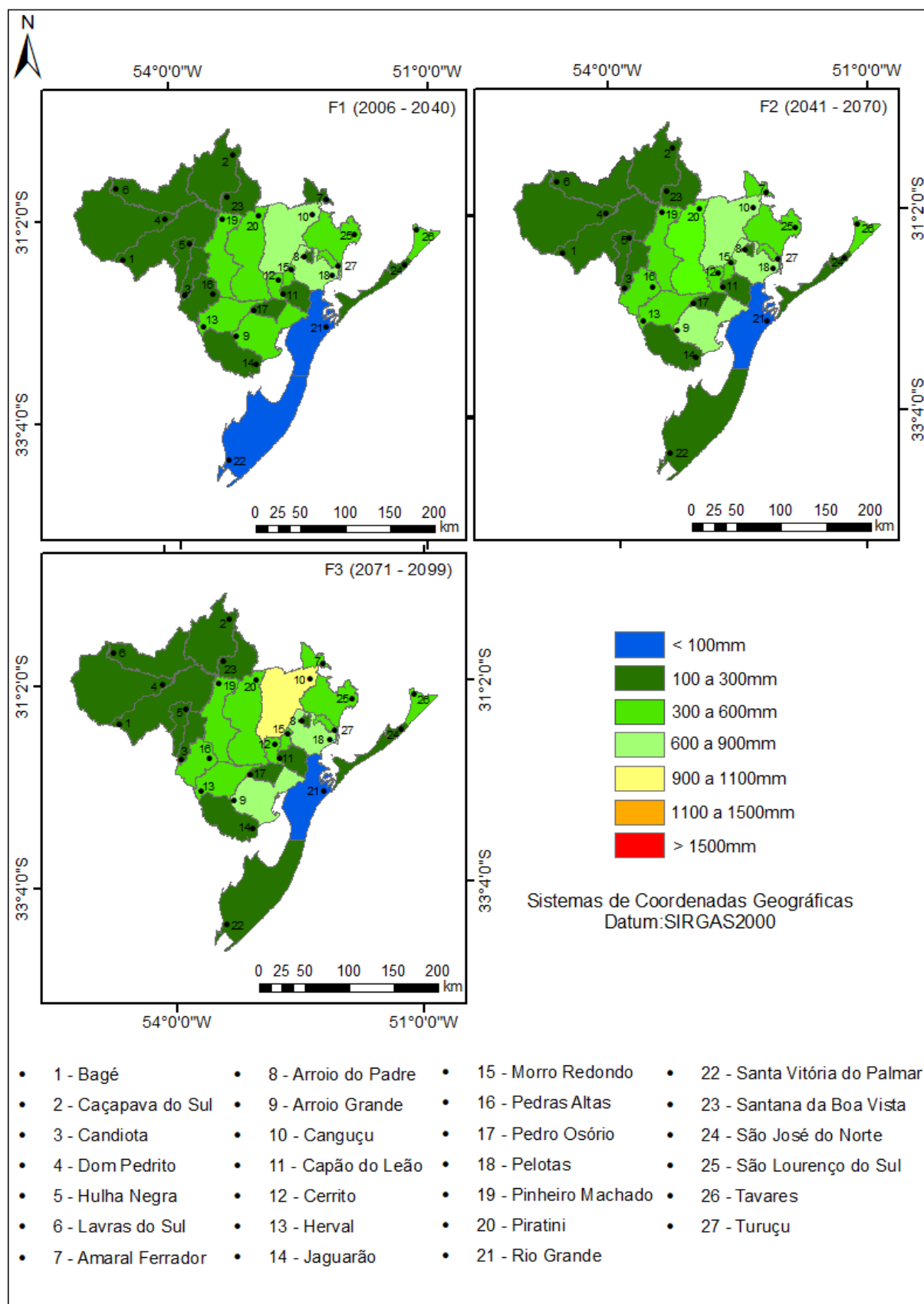


Figura 47: Médias de demanda de água para Irrigação (Id) usando o modelo climático CANESM2 e cenário RCP 4.5 para as regiões Sul e Campanha.

Para o cenário RCP 8.5, o modelo CANESM2 (Figura 48) possui os mesmos valores médios de Id do futuro F1, excetuando o município de Amaral Ferrador, que apresentou Id média maior, e Turuçu e Capão do Leão, que têm a Id média menor.

No futuro F2, há aumento de Id nos municípios de Santa Vitória do Palmar, Rio Grande e Capão do Leão (de menor que 100mm para 100 a 300mm). Pedras Altas e Piratini passaram de 300 a 600mm para 600 a 900mm de Id; e Pedras Altas de 100 a 300mm para 300 a 600mm. Os demais permanecem dentro da mesma faixa. No último período analisado, Santa Vitória do Palmar, Rio grande, Bagé, Candiota, Piratini, Capão do Leão e Pedro Osório não apresentam aumento na Id média quando comparado com o F2. Os demais municípios todos aumentam de faixa de Id média, salientando Pelotas e Canguçu que passam de 600 a 900mm para 1100 a 1500mm.

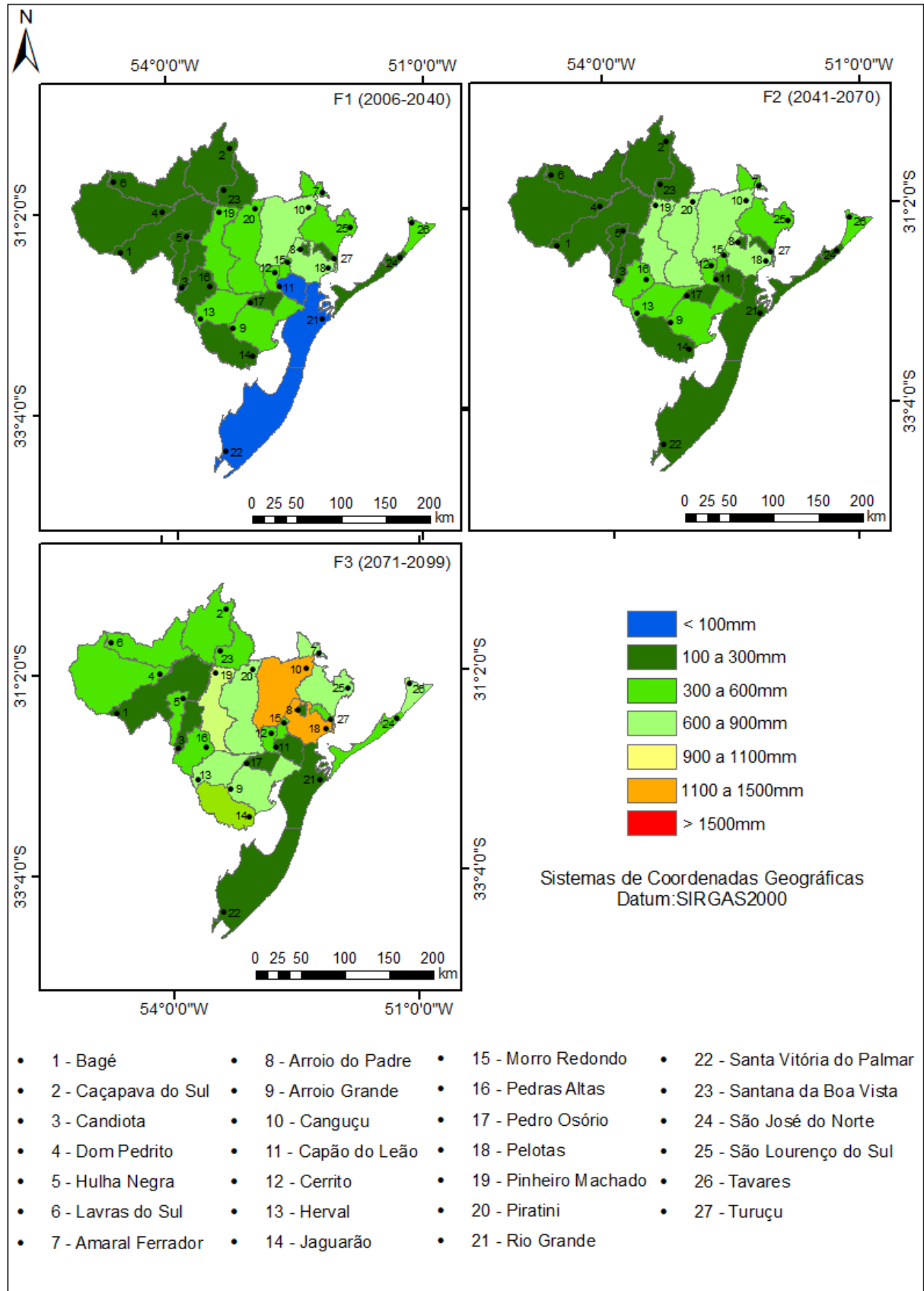


Figura 48: Médias de Demanda de Água para Irrigação (Id) para o modelo climático CANESM2 para o cenário RCP 8.5.

O modelo HADGEM2-ES para o cenário RCP 4.5 (Figura 49), tem projeções para demanda de água para irrigação (Id) para o futuro que compreende o período de 2006 a 2040 (F1) com valores médios iguais para algumas cidades quando comparado com o período base. Outras apresentam faixas de Id maiores, salientando os municípios de Pelotas e Canguçu (900 a 1100mm).

Na análise da transição do período F1 para o F2, não há grandes aumentos de faixa ou diminuições como observado no modelo CANESM2. Os municípios de Canguçu e Pelotas segue apresentando os maiores valores de Id, e os demais em grande parte mantêm-se na faixa projetada para o período F1. Herval e Cerrito passam de 100 a 300mm para 300 a 600mm e Caçapava do Sul é o único município que apresenta diminuição na Id, passando de 600 a 900mm para 300 a 600mm. Na análise do F2 para o último período de tempo analisado (F3), observa-se que os municípios apresentam valores nas médias de Id indicadas no período F2.

Para o cenário RCP 8.5 (Figura 50), o período F1 indica aumento na demanda de água para irrigação para os municípios de Caçapava do Sul, Dom Pedrito, Pinheiro Machado, Piratini, Pedras Altas e São José do Norte. Pelotas e Canguçu também apresentam aumento, sendo os municípios com a maior demanda de água para irrigação (900 a 1100mm).

Para o período F2, o modelo estima a mesma demanda de água, exceto no município de Caçapava do Sul, onde o valor de Id é menor que no período F1. No F3, os municípios apresentam os mesmos valores projetados no período F2, sendo que Jaguarão, Cerrito e Morro Redondo têm valores maiores.

Pelotas e Canguçu aparecem como os municípios com os maiores valores médios para demanda de água para irrigação dessa projeção em quase todo o período de tempo futuro, nos dois cenários projetados.

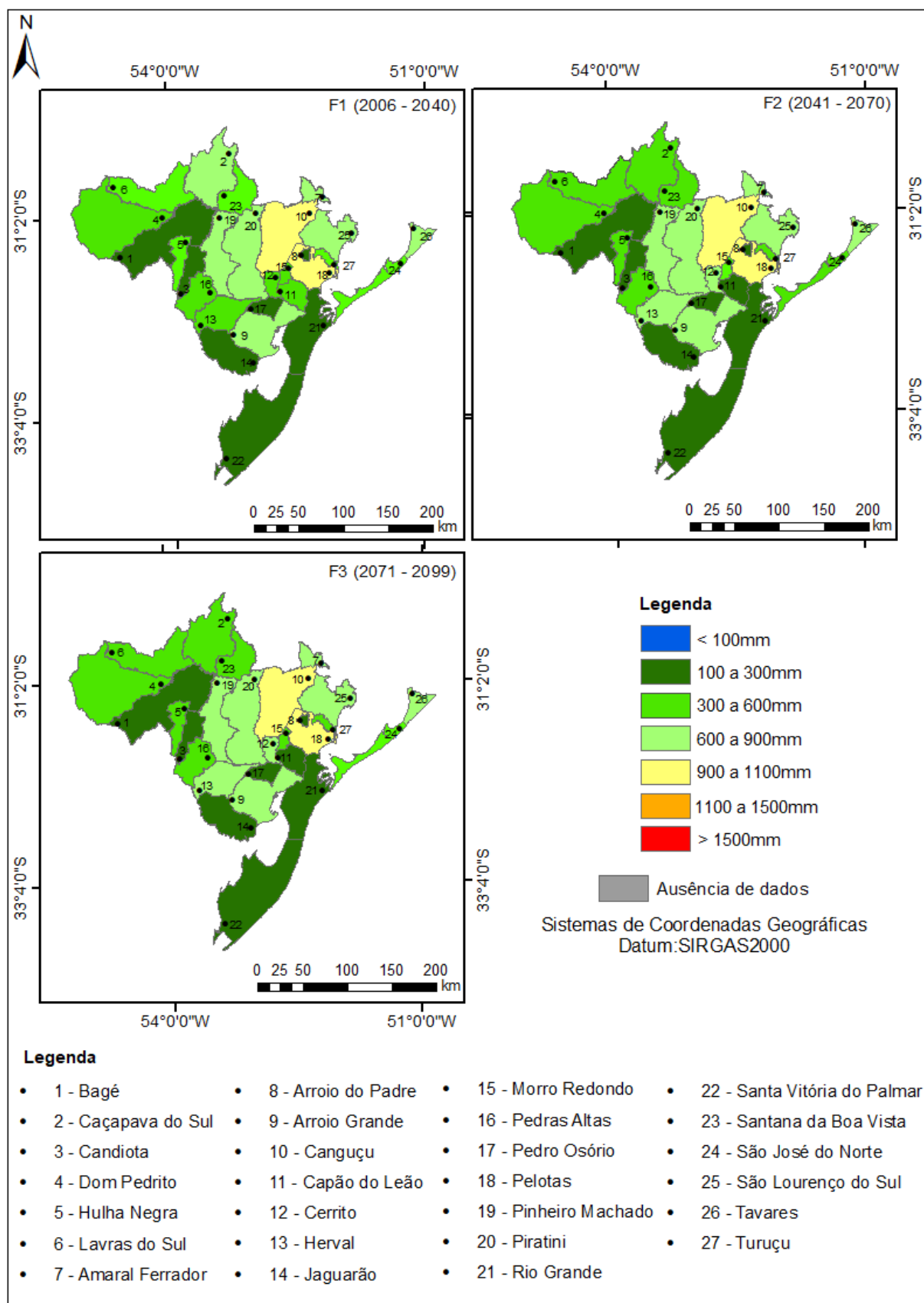


Figura 49: Médias de Demanda de Água para Irrigação (Id) para o modelo climático HAADGEM2-ES para o cenário RCP 4.5.

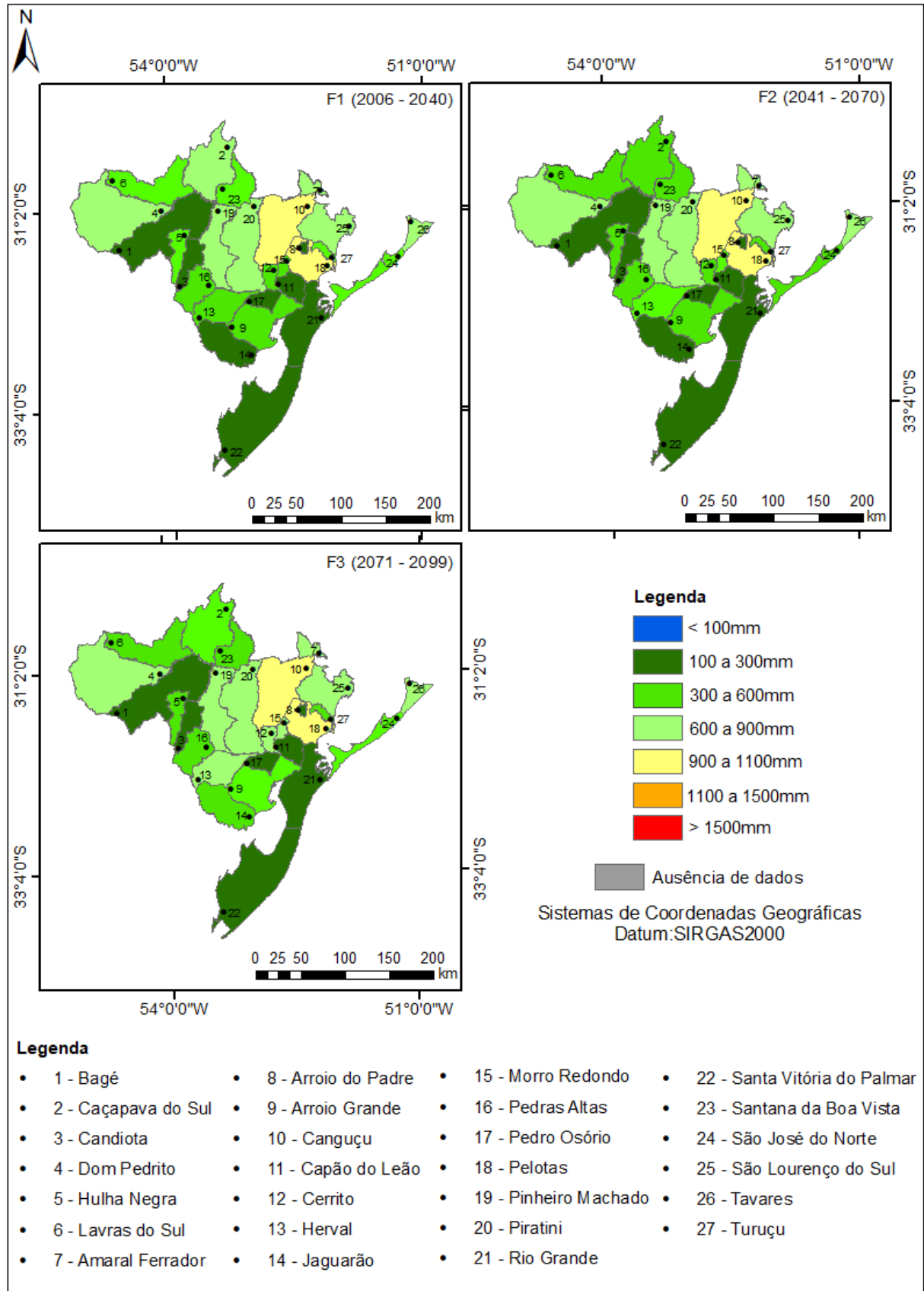


Figura 50: Médias de Demanda de Água para Irrigação (Id) para o modelo climático HADGEM2-ES para o cenário RCP 8.5.

Para o modelo MIROC5, o cenário RCP 4.5 (Figura 51) mostrou na comparação entre o período base e o primeiro período futuro analisado (F1) a diminuição na demanda de água para irrigação para apenas dois municípios (Bagé e Santana da Boa Vista). O aumento de Id média também se faz presente para as cidades de Amaral Ferrador, Arroio Grande e Jaguarão. Em Rio Grande, onde a ID média estava na faixa de menor valor, há aumento de Id entre 100 e 300mm e Pelotas apresenta o maior valor médio de Id, que aumentou de 600 a 900mm para 900 a 1100mm. Os demais municípios continuam com os mesmos valores médios do período base.

Analisando o período F1 e F2, observa-se o aumento de Id para Dom Pedrito, que passa de 600 a 900mm para 900 a 1100mm, e Santana da Boa Vista, que de 300 a 600mm apresenta uma Id de 600 a 900mm. Amaral Ferrador é o único município com projeção de diminuição de Id, passando da faixa de 600 a 900mm para 300 a 600 mm. Os demais mantêm os valores médios observados para o período F1.

Na comparação do F2 com o último período de tempo F3 (2071 a 2099), há diminuição para os municípios de Dom Pedrito, que da faixa de 900 a 1100mm vai para 600 a 900mm; e São Lourenço do Sul e Santana da Boa Vista que de 600 a 900mm vão para a faixa de 300 a 600mm. Os demais municípios permanecem nos mesmos valores médios.

Para o cenário RCP 8.5, o modelo MIROC5 (Figura 52) projeta que na comparação entre o período base com o futuro F1, há aumento de Id que vai de 300 a 600mm para 600 a 900mm nos municípios de Arroio Grande e Amaral Ferrador; de 100 a 300mm para 300 a 600mm em Jaguarão; e em Pelotas, que do valor médio de 600 a 900mm vai para 900 a 1100mm. Santana da Boa Vista e Herval diminuem da Id média entre 600 a 900mm para 300 a 600mm e os demais municípios permanecem com os mesmos valores. Rio Grande apresentou o menor valor de Id média no período base e nesse período futuro, assim como Canguçu que foi o município que se manteve com o maior valor médio (1100 a 1500mm).

Na análise dos futuros F1 e F2 há aumento de Id em Rio Grande, que de menor que 10mm passa para a média entre 100 a 300mm, e diminuição no município de Cerrito que de 600 a 900mm de demanda de água para irrigação média vai para a média entre 300 a 600mm de Id média. Amaral Ferrador apresenta decréscimo de Id, já que passa da faixa entre 600 a 900mm para 300 a 600mm. Os demais municípios mostram a tendência de permanecer na faixa média de Id observada para o período F1.

Comparando o período F2 com o terceiro período analisado, F3, o modelo climático MIROC5 projeta que há aumento de Id para duas cidades, sendo elas Amaral Ferrador e São José do Norte. Apenas no município de Cerrito há diminuição nos valores de demanda de água para irrigação, e os demais permanecem com as médias iguais. Canguçu aparece como a cidade que possui a maior média de demanda de água para irrigação (1100 a 1500mm) que se mantêm nos três futuros, assim como acontece no cenário RCP 4.5.

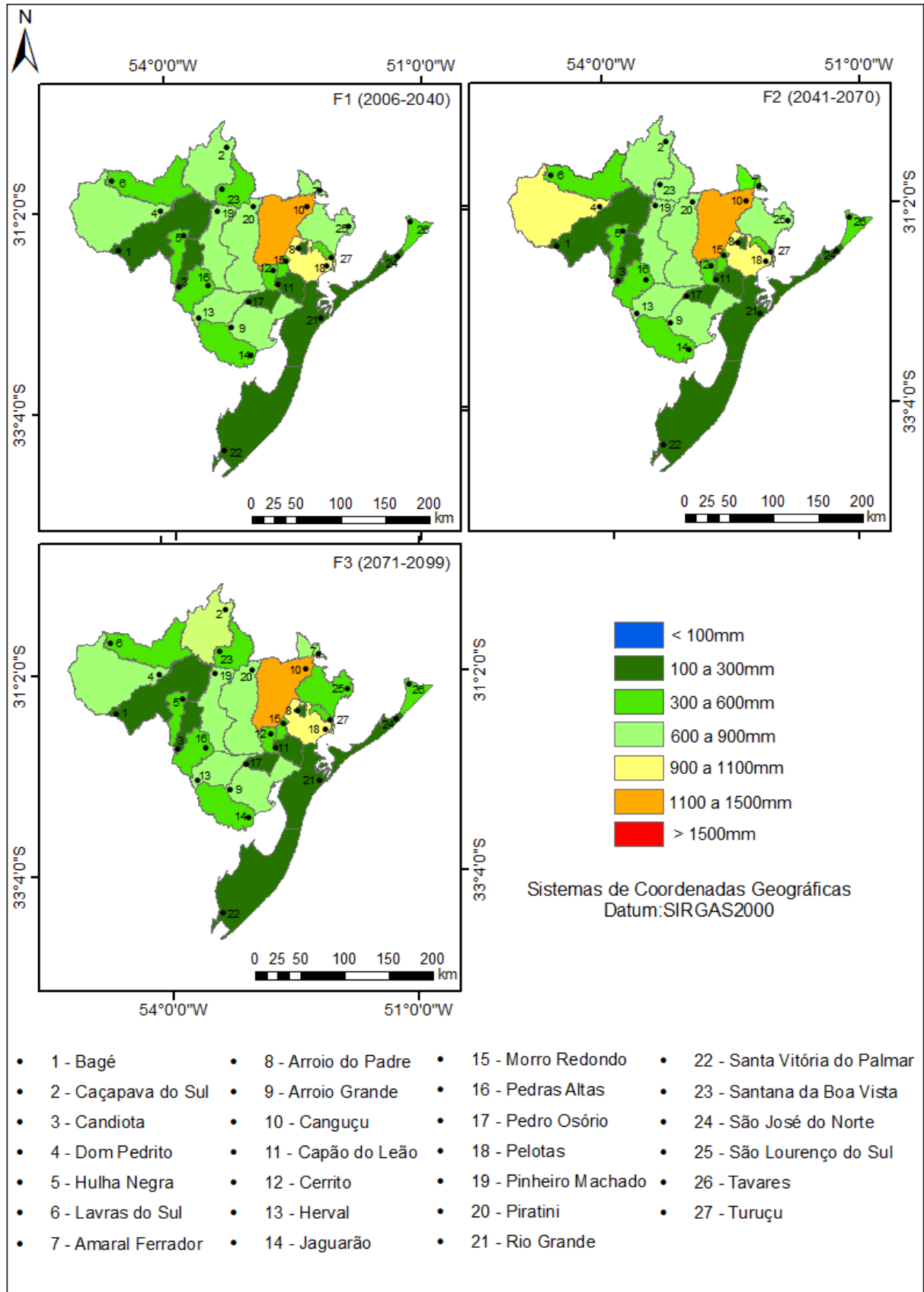


Figura 51: Médias de Demanda de Água para Irrigação (Id) para o modelo climático MIROC5 para o cenário RCP 4.5.

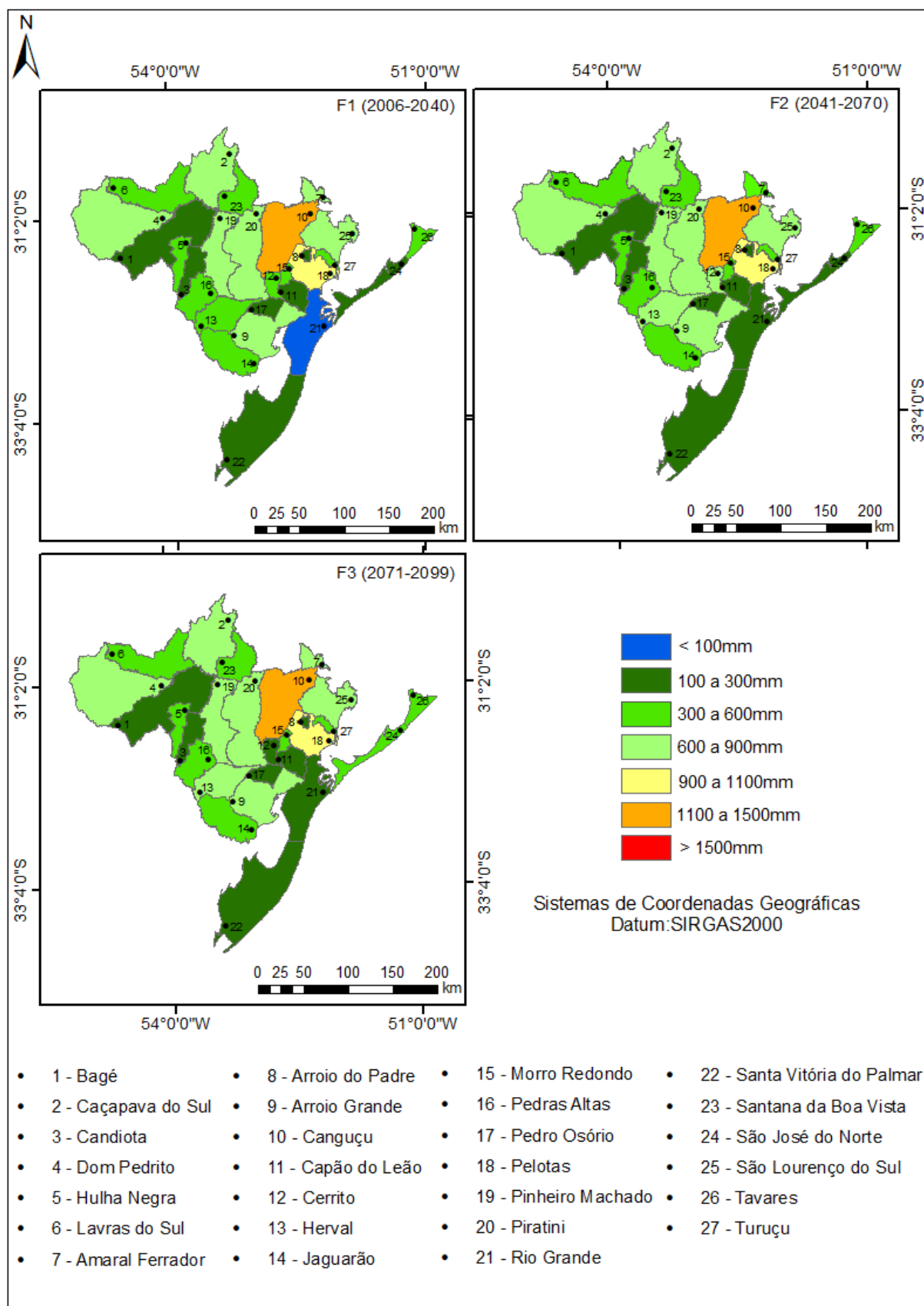


Figura 52: Médias de Demanda de Água para Irrigação (Id) para o modelo climático MIROC5 para o cenário RCP 8.5.

Os resultados observados para as projeções indicam que há diferença nos valores de demanda de água para irrigação média nos municípios que compõe a área de estudo. Isso pode se dar devido ao fato dos diferentes tipos de cultivos existentes nos municípios, além de alguns apresentarem grandes áreas de várias culturas, demandando assim mais água. Ainda, grande parte dos modelos mostra certa similaridade do mesmo município em suas projeções, como, por exemplo, Canguçu, que em todas as modelagens indica ser o município que possui maior valor de demanda de água para irrigação, seguido por Pelotas. Santa Vitória do Palmar aparece na maior parte das projeções como um município que mantém constância em sua demanda de água para irrigação média, ficando entre um dos que demandará menos água (100 a 300mm) seja no cenário mais otimista ou no cenário mais pessimista.

Em uma análise geral, os modelos não demonstram médias de demanda de água para irrigação com valores significativamente maiores quando comparados com o período base, e valores maiores podem ocorrer, mas apresentam a mesma tendência identificada para determinado município, quando comparado com os demais, na análise do período base.

Não há como inferir de forma exata que em períodos que apresentam maiores volumes de precipitação acumulada haverá menor demanda de água para irrigação, já que alguns cenários e modelos indicam o aumento da demanda. Esse aumento pode se dar pelo aumento de temperatura média anual que é observada nos dois cenários para todos os períodos futuros, fazendo assim com que haja maior transpiração da planta e evaporação da água disponível no solo, resultando no aumento de demanda de água para irrigação.

A analogia entre os resultados de precipitação, temperatura e demanda de água para irrigação também foi discutida por Streck e Alberto (2006) que, ao simularem o impacto da mudança climática sobre a água disponível no solo para os cultivos de trigo, soja e milho no município de Santa Maria, no Rio Grande do Sul, onde os autores identificaram que as projeções indicam que o clima afetará na água disponível no solo para as culturas, e tal fato se dará pelo aumento de temperatura que chegará a até 6°C, e conseqüentemente diminuirá a disponibilidade para as culturas de verão.

Berlato et al. (2006) verificaram a probabilidade da precipitação anual ser igual ou maior que a evapotranspiração para a produtividade do milho no estado do Rio

Grande do Sul, e com isso inferiu que há tendência, mesmo que pequena, na redução da produtividade no período de 1920 até metade de 1940, devido a precipitações que foram inferiores a média climatológica. Também concluiu a variabilidade da produtividade da cultura com a variação na precipitação pluvial, além de aumento de produtividade que correspondeu à tendência de aumento de precipitação.

Melo (2015) analisou as demandas de água futuras para irrigação utilizando cinco MCGs e cinco projeções derivadas do modelo climático regional ETA para a região Noroeste do Rio Grande do Sul, e obteve resultados menores que 10mm, que quando comparados com os obtidos nesse estudo para a região Sul e Campanha, são muito menores. Estudos como o de Silva e Campos (2011); e Britto et al. (2008), indicam que os regimes pluviométricos além de variarem no estado do RS como um todo, ainda há a tendência de maiores volumes de chuva para a metade norte do que para a metade Sul. Ou seja, os resultados de Id média obtidos podem ser considerados altos quando comparado com os de Melo (2015), o que corrobora com o fato dos regimes pluviométricos da região Noroeste serem menores e de sua influência direta no desenvolvimento das culturas. Os tipos de cultivos de cada município também interferem na demanda de água, já que as culturas possuem diferentes demandas hídricas que devem ser supridas para garantir assim seu desenvolvimento. O tipo de solo é outro fator que também interfere nas demandas de água, já que é responsável por armazenar água e disponibilizá-la para as culturas.

6.2.1 Anomalias

Foi realizada a análise de anomalias para as demandas de água para irrigação (Id) para os três modelos climáticos globais regionalizados pelo modelo ETA para duas projeções futuras (RCP 4.5 e RCP 8.5), considerando a mesma divisão de futuros utilizada anteriormente: F1, que compreende o período de 2006 a 2040; F2, que compreende 2041 a 2070; e F3, que vai de 2071 a 2099 (Apêndice C).

A figura 53 mostra as anomalias para o período F1 do cenário RCP 4.5 dos três modelos climáticos. Para o modelo CANESM2 é possível observar que há anomalias negativas e positivas para os municípios da área de estudo. As anomalias negativas observadas indicam que a demanda de água do período base foi maior do que as do

período futuro, ou seja, os regimes de precipitação do primeiro período futuro supriram maior parte da demanda dos cultivos. Para boa parte dos municípios da região Sul para o mesmo período, não ocorreu o mesmo, ou seja, as demandas desse período futuro foram maiores do que as observadas no período base. Já o modelo HADGEM2-ES indica o aumento da demanda de água no período futuro apenas para o município de Morro Redondo, os demais indicaram demanda positiva. Para o MIROC5, há anomalias positivas e negativas que ocorrem nas duas regiões da área de estudo. Para a região Campanha, apenas o município de Dom Pedrito indica anomalia positiva. Não há uma similaridade entre os três modelos, sendo que o CANESM2 e o MIROC5 apresentam resultados mais semelhantes, principalmente em termos de anomalias negativas.

A figura 54 apresenta as anomalias para o mesmo período futuro (F1), porém para o cenário RCP 8.5. O modelo CANESM2 e o MIROC5 apresenta maior número de anomalias negativas, ou seja, a demanda de água foi maior no período base do que no futuro F1. Para o modelo climático CANESM2, apenas cinco municípios têm anomalias positivas, sendo eles: Jaguarão, Herval, Morro Redondo, Pelotas e Turuçu. No modelo MIROC5, essa anomalia positiva ocorre apenas em Pelotas. Já o modelo HADGEM2-ES indica anomalias positivas em quase sua totalidade, exceto para Arroio Grande.

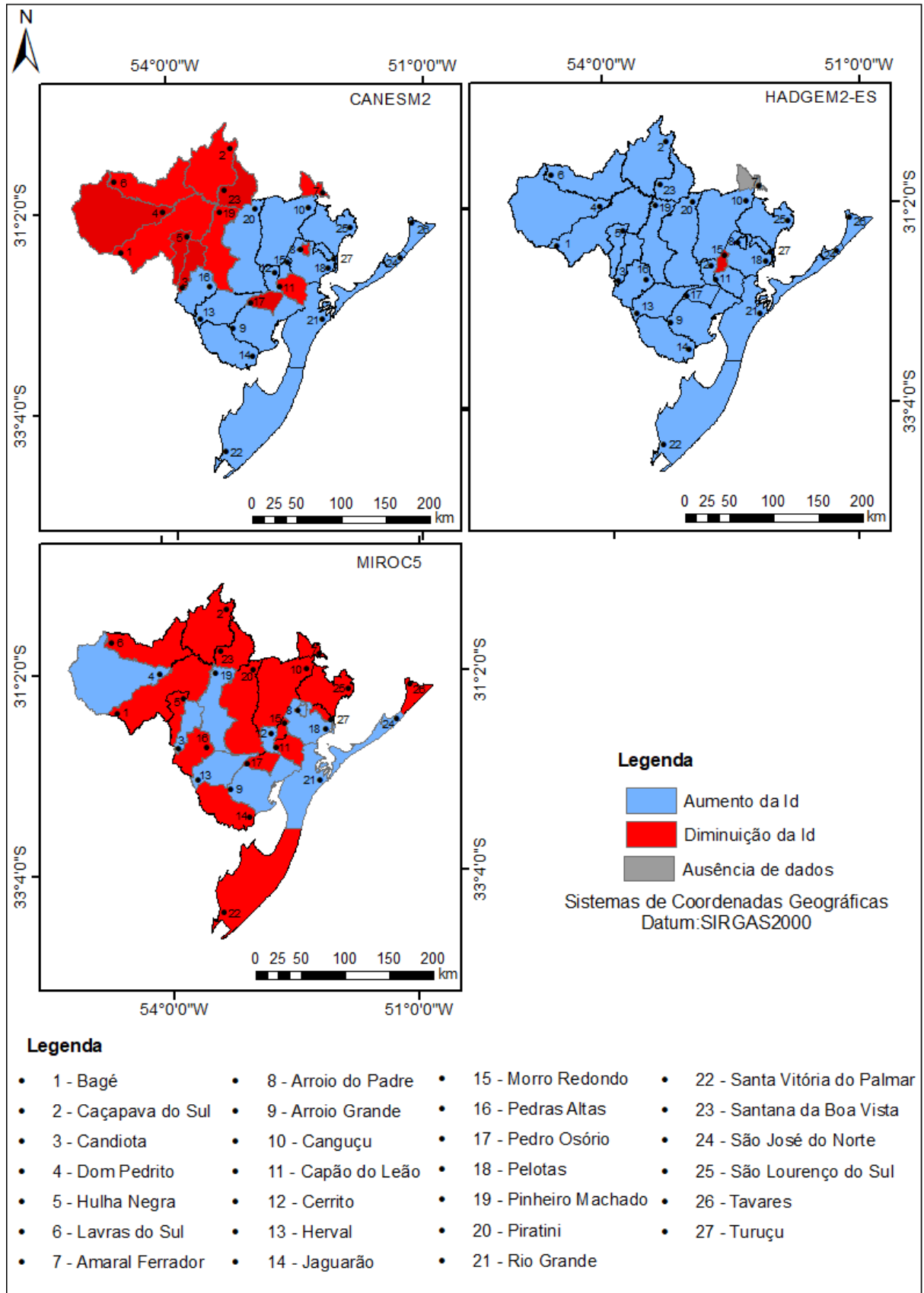


Figura 53: Anomalias de demanda de água para irrigação (Id) para o cenário RCP 4.5, para os três modelos climáticos (CANESM2, HADGEM2-ES e MIROC5) para o período futuro F1.

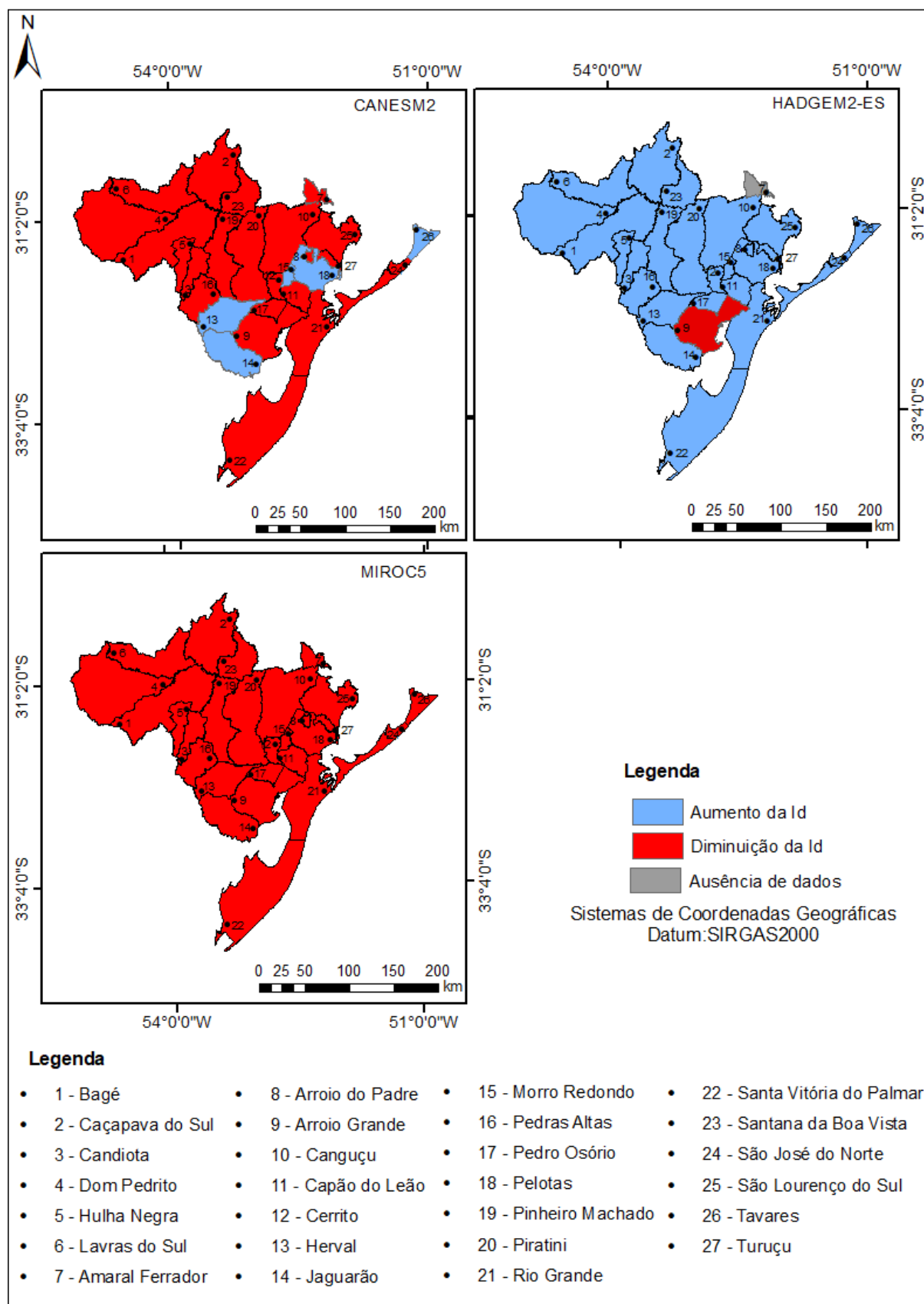


Figura 54: Anomalias de demanda de água para irrigação (Id) para o cenário RCP 8.5, para os três modelos climáticos (CANESM2, HADGEM2-ES e MIROC5) para o período futuro F1.

Para o período futuro F2, cenário RCP 4.5 (Figura 55) tem grande similaridade nos resultados, onde para o CANESM2 e MIROC5, quase a totalidade dos municípios apresenta anomalias positivas, exceto para quatro municípios do primeiro modelo e sete do segundo. Já na projeção do modelo HADGEM2-ES, todos os municípios indicam anomalias positivas, ou seja, as demandas do período futuro serão maiores quando comparadas com o passado.

No cenário RCP 8.5 para o mesmo período, conforme mostra a figura 56, todos os modelos apresentam anomalias positivas e negativas. Os municípios de Dom Pedrito, Bagé, Hulha Negra, Lavras, Amaral Ferrador e Amaral Ferrador têm tendências de anomalia negativa tanto para o modelo CANESM2 quanto para o MIROC5. O município de São Lourenço do Sul também tem tendência de anomalia negativa no modelo CANESM2. Os demais indicam anomalias positivas. Já para o modelo MIROC5, além dos citados anteriormente, apresentam anomalias negativas: Canguçu, Turuçu, Pedras Altas, e Santana da Boa Vista. No modelo HADGEM2-ES, apenas Arroio têm anomalia negativa. As demais cidades indicam que a demanda de água do período futuro é maior do que a do período base, ou seja, projetam anomalias positivas.

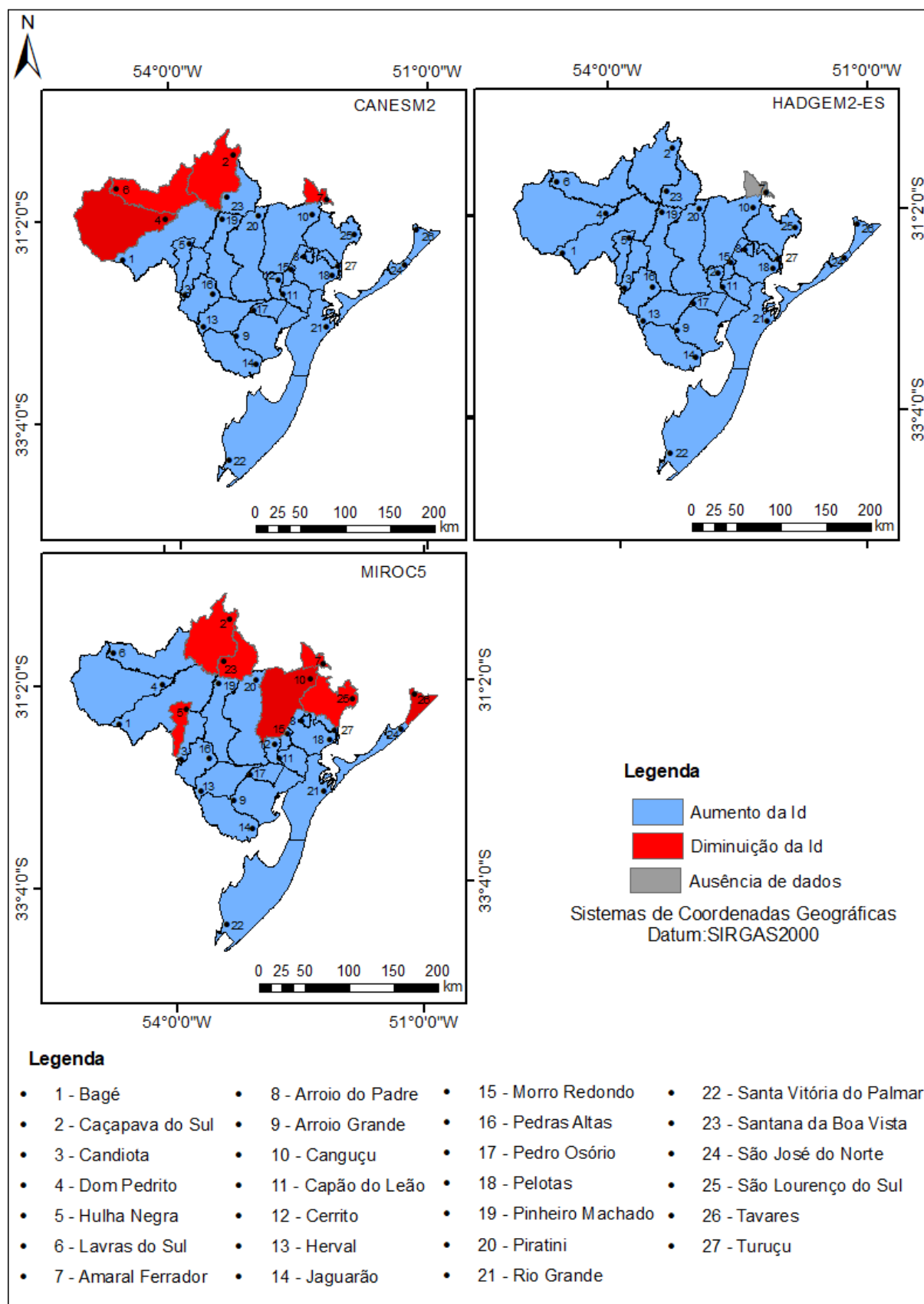


Figura 55: Anomalias de demanda de água para irrigação (Id) para o cenário RCP 4.5, para os três modelos climáticos (CANESM2, HADGEM2-ES e MIROC5) para o período futuro F2.

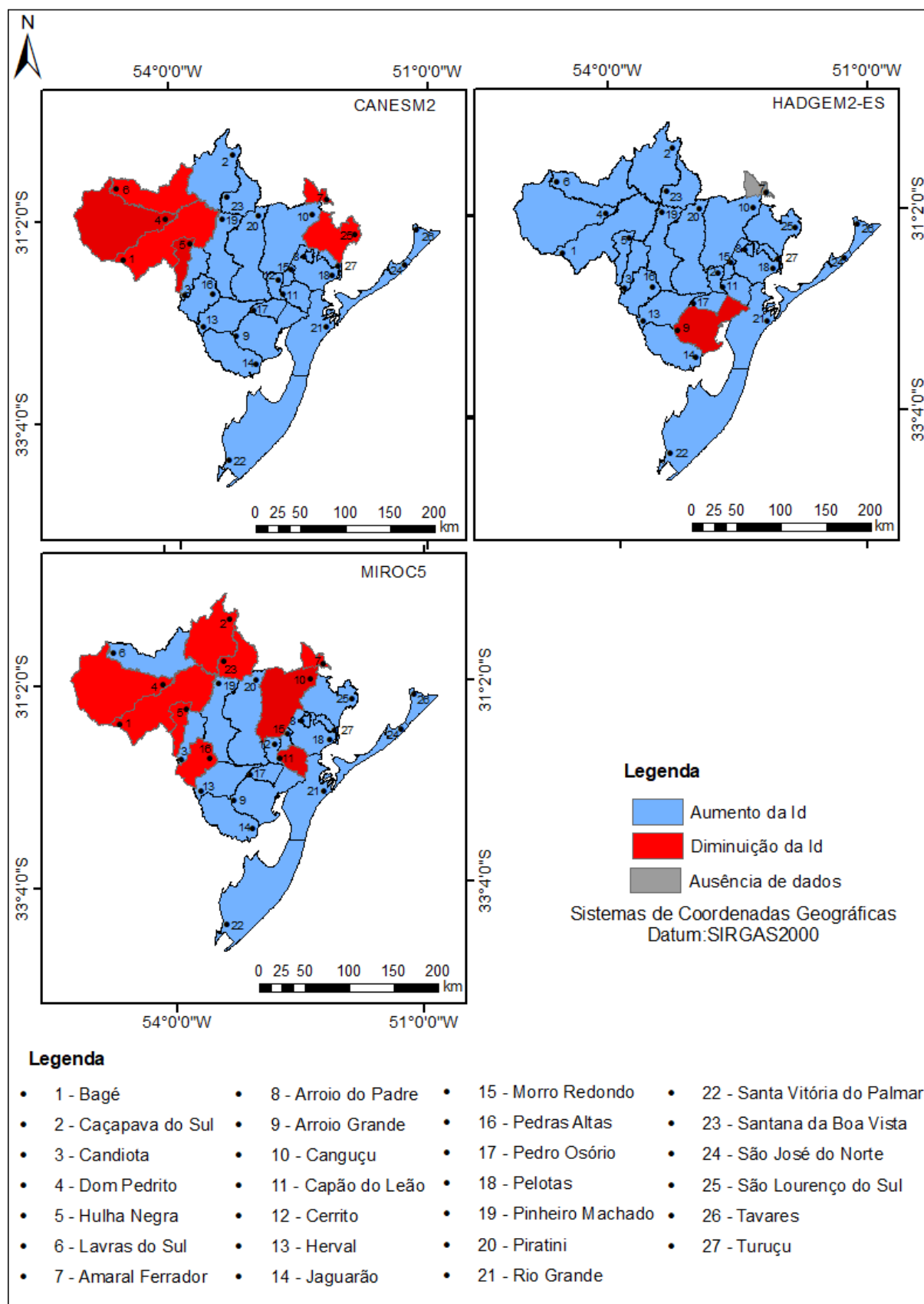


Figura 56: Anomalias de demanda de água para irrigação (Id) para o cenário RCP 8.5, para os três modelos climáticos (CANESM2, HADGEM2-ES e MIROC5) para o período futuro F2.

Na figura 57, estão os resultados de anomalias de demanda de água para irrigação para o cenário RCP 4.5 para os três modelos climáticos no futuro F3. O modelo CANESM2 apresenta as mesmas anomalias positivas, excetuando-se alguns municípios da região Campanha e os municípios de Arroio do Padre e Amaral Ferrador. No modelo HADGEM2-ES todos municípios indicam anomalias positivas. Para o modelo MIROC5 a tendência maior é de anomalias negativas, e seis municípios possuem anomalias positivas, sendo eles: Dom Pedrito, Herval, Morro Redondo, Pelotas, Rio Grande e Turuçu. Assim sendo, observa-se que para o período F3 desse cenário, há grande diferença nos resultados dos modelos climáticos, o que resulta em incertezas.

Para a projeção RCP 8.5, o terceiro futuro (F3) (Figura 58) indica anomalias positivas para os modelos CANESM2 e HADGEM2-ES, sendo que nesse último apenas o município de Arroio Grande resultou em anomalia negativa. O modelo MIROC5 diverge dos demais, havendo anomalias negativas em 12 municípios, que englobam toda região Campanha e algumas cidades da região Sul.

Os resultados obtidos pelo cálculo de anomalias concordam em parte com alguns valores de precipitação e sua interferência na demanda de água. Ou seja, para alguns municípios, modelos e períodos futuros que apresentaram maiores volumes de precipitações, quando comparadas com as precipitações do período base, consequentemente possuem demanda de água menor. Já para municípios em que a projeção gerou grandes volumes de chuva para o período base, sendo maiores do que os do período futuro, resultaram em demandas negativas.

Os resultados de anomalias em demandas de água para irrigação apresentam grandes incertezas em resultados e conclusões mais precisas. É possível observar algumas tendências que predominam nos modelos e cenários, sendo eles: a demanda de água para a região da Campanha para os períodos futuros pode ser menor do que a que ocorreu no período base; há grande tendência de que a demanda de água para os períodos futuros seja maior do que a observada no período base, mas isso não ocorre em todos os municípios das duas regiões e tem grande variação, gerando incertezas.

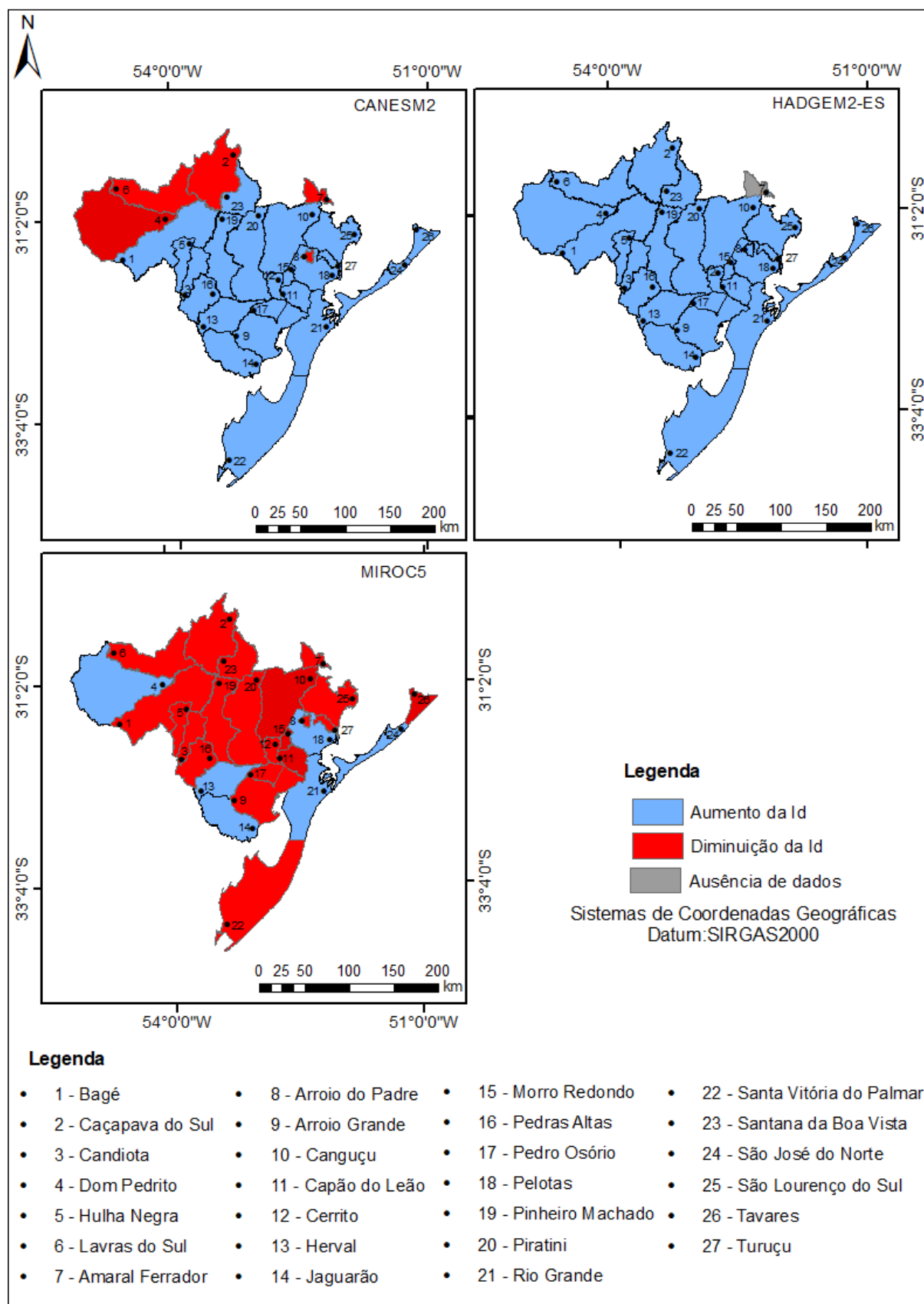


Figura 57: Anomalias de demanda de água para irrigação (Id) para o cenário RCP 4.5, para os três modelos climáticos (CANESM2, HADGEM2-ES e MIROC5) para o período futuro F3.

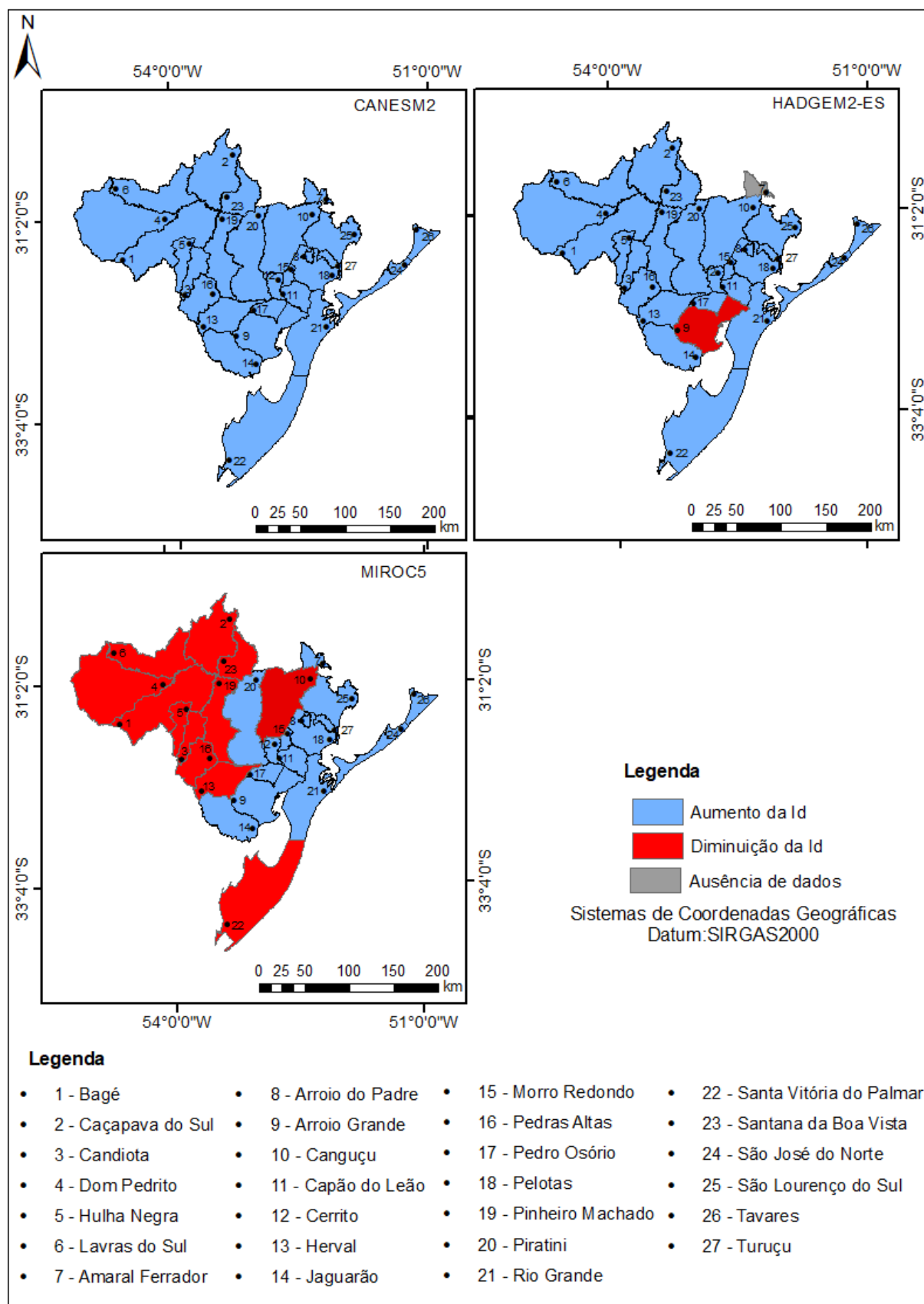


Figura 58: Anomalias de demanda de água para irrigação (Id) para o cenário RCP 8.5, para os três modelos climáticos (CANESM2, HADGEM2-ES e MIROC5) para o período futuro F3.

É possível observar com as projeções de anomalias, que alguns modelos indicam a diminuição de demanda de água para irrigação para os períodos futuros, quando este é comparado com o passado. Já outros projetam aumento da demanda. Isso pode se dar pelo fato de as outras variáveis utilizadas na modelagem apresentarem valores que não são favoráveis para o desenvolvimento dos cultivos, fazendo com que estas demandem mais água. Fazendo uma análise geral, para os futuros que indicam valores maiores de temperatura média anual, quando esta é comparada com o período base, dependendo dos volumes de chuvas observados e das culturas de determinada cidade, poderá ocorrer maior transpiração da planta, além da evaporação do solo, ou seja, o solo não terá armazenamento disponível suficiente para fornecer a planta e com isso suprir suas demandas, e então será necessário o uso da técnica de irrigação para fornecer água para as culturas.

Além disso, outras práticas agrícolas tradicionais podem ser adotadas visando aumentar a disponibilidade hídrica para as plantas, como o plantio direto, que pode reduzir a erosão e trazer benefícios não só ao solo como também ao desenvolvimento das culturas. Nessa técnica, o solo é mantido sempre com cobertura de plantas em desenvolvimento ou resíduos vegetais, e não há aração e gradagem. Com isso, a cobertura protege o solo da erosão, diminui a temperatura e conseqüentemente a evaporação de água do solo, aumentando assim a água disponível para as plantas.

Conforme mencionado anteriormente, diversos estudos indicam que os regimes pluviais da metade sul do Rio Grande do Sul são menores quando comparados com a metade norte. Além disso, nas últimas décadas notícias apontam a ocorrência de racionamento de água na região Sul e Campanha, principalmente no município de Bagé, que muitas vezes decreta situação de emergência e faz racionamento de recursos hídricos já que seus reservatórios apresentam níveis abaixo do esperado. Conseqüentemente, há muitas perdas nas lavouras durante esses períodos. Segundo Brondani et al. (2013), que aplicaram questionários na população urbana do município de Bagé com o objetivo de verificar a percepção da comunidade quanto à estiagem e seus impactos, observou-se que grande parte da população urbana considera que o fenômeno de estiagem ocorreu com maior frequência a partir da década de 80 até o ano da pesquisa.

Pessoa (2015), afirma que os regimes de precipitação do Rio Grande do Sul vem sofrendo alterações nas últimas décadas quando comparado com dados históricos, já que antes as chuvas eram distribuídas ao longo do ano e atualmente

ocorrem grandes volumes de chuva concentrados em um pequeno espaço de tempo que se intercalam com períodos de ausência de chuvas. Porém, quando se analisa a precipitação anual acumulada, não é possível observar grandes alterações nos regimes pluviométricos. Com isso, Pessoa (2015) concluiu que os regimes de precipitação talvez não sejam o fator chave para desencadear uma crise hídrica, e sim a ausência de planejamento e gestão em locais estratégicos, ou seja, locais que apresentam esse tipo de evento e que já se é sabido. Além disso, Pessoa (2015) ainda pontua que a perda da qualidade da água disponível no estado, que vem sendo observada nas últimas décadas, seja pela falta de saneamento ou pelo uso indiscriminado de agrotóxicos, também pode ser um fator prejudicial a disponibilidade hídrica.

Em um âmbito geral, visando a gestão de recursos hídricos, o aumento de temperatura média também culmina em uma maior evaporação da água presente nos recursos hídricos superficiais. Sabe-se que a mesma volta para o Ciclo Hidrológico, porém não necessariamente no mesmo local. Com isso, é fundamental gerir os recursos hídricos da região, visando, conforme indica a lei nº 9.433/1997, suprir os usos prioritários que são o consumo humano e a dessedentação animal, e gerir sempre buscando atender os usos múltiplos.

7. Considerações Finais

A partir da análise da influência das mudanças climáticas na demanda de água para irrigação de culturas agrícolas em 27 municípios da região Sul e Campanha do Rio Grande do Sul, utilizando três modelos climáticos globais regionalizados pelo modelo ETA (CANESM2, HADGEM2-ES e MIROC5) para o período histórico e dois cenários futuros RCP 4.5 e RCP 8.5, subdivididos em três períodos: F1 (2006-2040), F2 (2041-2070) e F3 (2071-2099), chega-se as seguintes conclusões abaixo apresentadas.

Através do presente estudo, é possível verificar a tendência do aumento da temperatura média até o final do século XIX, independente de qual caminho de emissões de gases do efeito estufa e preservação do meio ambiente o homem tomar, já que os dois cenários de projeções climáticas (Caminhos Representativos de Concentração - RCP 4.5 e RCP 8.5) indicam esse aumento linear ao longo do tempo. Porém, as temperaturas médias serão mais amenas de acordo com a projeção do cenário RCP 4.5, e superiores considerando um cenário mais pessimista (RCP 8.5).

Analisando as médias de precipitação anual, é possível concluir que há grandes indícios que os regimes de chuva terão volumes maiores com o passar do tempo nos dois cenários futuros, sendo que no RCP 8.5 esse fato apresenta-se de forma mais recorrente. Porém também há modelos que projetam certa diminuição de precipitação após um período de pico. Assim sendo, há uma tendência de aumento de precipitação anual ao longo do período futuro quando comparado com os valores do período histórico, porém há incertezas devido a variação de valores e tendência que existe na comparação entre os modelos climáticos globais regionalizados pelo modelo ETA (CANESM2, HADGEM2ES e MIROC5). Há existência de anomalias positivas e negativas para as precipitações futuras para as duas projeções, porém é possível observar que a tendência é predominantemente positiva para os períodos analisados, cenários e modelos. Tal resultado também indica o aumento de precipitação ao longo dos períodos futuros.

De acordo com os resultados obtidos na modelagem, também há incertezas na demanda de água para as culturas agrícolas no futuro, já que alguns modelos indicam diminuição e outros aumentos de demanda de água quando comparados com o

período base. Esse resultado pode se relacionar para alguns municípios com menores regimes de precipitação, ou com o aumento de temperatura que é observado ao longo do tempo, sendo esse maior no período futuro, o que consequentemente faz com que as culturas demandem maior volume de água. Assim sendo, mesmo cenários futuros mais chuvosos não garantem totalmente o suprimento de água para as culturas, fazendo assim necessário o uso de técnicas de irrigação para suprir essas demandas.

A modelagem para demanda de água para irrigação também não pode ser considerada totalmente precisa, já que há grande rotatividade nas culturas, além de que o período futuro (F3) é muito distante do atual, sendo impossível inferir quais os cultivos, técnicas utilizadas para seu plantio e desenvolvimento e as áreas plantadas que ocorrerão de fato no futuro.

Os resultados concordam com conclusões de outros autores, que mostram que os regimes de precipitação da metade Sul são menores do que os da metade Norte do estado, fato esse que interfere diretamente nas demandas de água dos cultivos da região sul, tornando os resultados mais elevados quando comparados com os da outra metade do estado do Rio Grande do Sul.

Referências bibliográficas

ADAM, K. N.; COLLICHONN, W. Análise dos Impactos de Mudanças Climáticas nos Regimes de Precipitação e Vazão na Bacia Hidrográfica do Rio Ibicuí. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 18, n. 3, p. 69-79, Jul/Set 2013.

Agência Nacional de Águas (Brasil). Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2017: relatório pleno / Agência Nacional de Águas. -- Brasília: ANA, 2017.

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements. Rome: FAO, 1998. 300 p. (FAO – Irrigation and Drainage Paper, 56).

ALMEIDA, A. S.; ARAÚJO, F. S.; SOUZA, G. S. Determinação da curva parcial de retenção de água de um latossolo vermelho por tensiometria, **Revista Scientia Plena**, v. 6, n. 9, p. 1-5, 2010.

ALVIM, A. M.; STULP, V. J. Eficiência técnica da produção agropecuária nas regiões do Rio Grande do Sul de 1975 a 2006. **Planejamento e Políticas Públicas**. n. 43, jul./dez. 2014.

AQUINO, S. R. F.; CAVALHEIRO, L. P. R.; PELLEZ, M. Análise da legislação brasileira sobre a água: a necessidade de um redimensionamento diante de sua imprescindibilidade à manutenção da vida. **Revista Direito Ambiental e sociedade**, v. 7, n. 2, p. 61-82, 2017.

ARAUJO, L. M. **Indicadores agrometeorológicos no perímetro irrigado pontal sul**. 2018. 166 f. Tese (Doutorado em Agronomia (Irrigação e Drenagem)) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2018.

AVZARADEL, P. C. S. Mudanças climáticas: uma análise dos impactos sobre o meio ambiente e os direitos humanos. **Lex Humana**, nº 1, p. 85-108, 2010.

BARROS, A. H. C. **Desenvolvimento de funções de pedotransferência e sua utilização em modelo agro-hidrológico**. 2010, 149 f. Tese (Doutorado em Ciências) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010.

BERLATO, M. A.; FONTANA, D. C. Variabilidade interanual pluvial e rendimento da soja no estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 7, n. 1, p. 119-125, 1999.

BERLATO, M. A.; MELO, R. W.; FONTANA, D. C. Risco de ocorrência de granizo no Estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 8, n.1, p. 121-132, 2000.

BERLATO, M. A.; FARENZENA, H.; FONTANA, D. C. Associação entre El Niño Oscilação Sul e a produtividade do milho no Estado do Rio Grande do Sul. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 50, n. 5, p. 423-432, mai. 2005.

BERLATO, M. A.; ALTHAUS, D. Tendência observada da temperatura mínima e do número de dias de geada do Estado do Rio Grande do Sul. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, Porto Alegre, v. 16, n. 1 e 2, p. 7-16, 2010.

BERLATO, M. A.; CORDEIRO, A. P. A. Sinais de mudanças climáticas globais e regionais, projeções para o século XXI e as tendências observadas no Rio Grande do Sul: uma revisão. **Agrometeoros**, Passo Fundo, v. 25, n. 2, p. 273-302, dez. 2017.

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de Irrigação**. 8.ed. UFV, 2006. 625 p.

BLAIN, G. C.; KAYANO, M. T.; CAMARGO, B. P. de; LULU, J. Variabilidade amostral das séries mensais de precipitação pluvial em duas regiões do Brasil: Pelotas-RS e Campinas-SP. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 24, n. 1, p. 1-11, 2009.

BRAZ, D. F.; PINTO, L. B.; CAMPOS, C. R. J. Ocorrência de eventos severos em regiões agrícolas do Rio Grande do Sul. **Geociências**, São Paulo, v. 36, n. 1, p. 89-99, 2017.

BRASIL. Lei nº 9.433 de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal e altera o artigo 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990 de 28 de dezembro de 1989. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, 1997.

BRAVO, J. M.; MARQUES, D. da M.; TASSI, R.; CARDOSO, A. Avaliação de projeções de anomalias de temperatura e precipitação em cenários climáticos futuros na região do sistema hidrológico do Taim, RS. In: **XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, Maceió, 2011.

BRITTO, F. P.; BARLETTA, R.; MENDONÇA, M. Regionalização sazonal e mensal da precipitação pluvial máxima no estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Climatologia**, Curitiba, v. 3, p. 83-99, 2008.

BRONDANI, A. R. P.; WOLLMANN, C. A.; RIBEIRO, A. de A. A percepção climática da ocorrência de estiagens e os problemas de abastecimento de água na área urbana do município de Bagé-RS. **Revista do Departamento de Geografia – USP**, v. 26, p. 2014-232, 2013.

BUCKRIDGE, M. S. Mudanças climáticas, biodiversidade e sociedade: como a teoria de redes pode ajudar a compreender o presente e planejar o futuro? **Revista Multiciência**, Campinas, n. 8, mai. 2007.

CAMPOS, E. J. D. O papel do oceano nas mudanças climáticas globais. **Revista USP**, São Paulo, n. 103, p. 55-66, 2014.

CERA, J. C.; FERRAZ, S. E. T. Variações climáticas na precipitação no sul do Brasil no clima presente e futuro. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 30, n. 1, p. 81-88, 2015.

CHOU, S. C., 1996: Regional Eta Model. In: Climanálise. **Edição Comemorativa de 10 anos**. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Cachoeira Paulista, SP.

CHOU, S.C; LYRA, A.; MOURÃO, C.; DEREZYNSKI, C.; PILOTTO, I.; GOMES, J. , BUSTAMANTE, J.; TAVARES, P.; SILVA, A.; RODRIGUES, D.; CAMPOS, D.; CHAGAS, D.; SUEIRO, G.; SIQUEIRA, G.; NOBRE, P.; MARENGO, J. Evaluation of the Eta Simulations Nested in **Three Global Climate Models**. **American Journal of Climate Change**, 3,2014, 438-454.

CHOU, S. C.; LYRA, A.; MOURÃO, C.; DEREZYNSKI, C.; PILOTTO, I.; GOMES, J.; BUSTAMANTE, J.; TAVARES, P.; SILVA, A.; RODRIGUES, D.; CAMPOS, D.; CHAGAS, D.; SUEIRO, G.; SIQUEIRA, G.; MARENGO, J. Assessment of Climate Change over South America under RCP 4.5 and 8.5 Downscaling Scenarios. **American Journal of Climate Change**, 3, p. 512-527, dez. 2014.

CONAB. **Calendário de Plantio e Colheita de Grãos no Brasil**. 2017. 73 p.

CONTI, J. B. Considerações sobre as mudanças climáticas globais. **Revista do Departamento de Geografia**, n. 16, p. 70-75, 2005.

CORDEIRO, A. P. A.; BERLATO, M. A.; FONTANA, D. C.; ALVES, R. de C. M. Tendências climáticas das temperaturas do ar no estado do Rio grande do Sul, Sul do Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 9, n. 3, p. 868-880, 2016.

COSTA, W. A.; OLIVEIRA, C. A. da S.; KATO, E. Modelos de ajuste e métodos para a determinação da curva de retenção de água de um latossolo-vermelho-amarelo. **Revista Brasileira de Ciência do solo (online)**, n. 2, v. 32, p. 513-523, 2008.

CUNHA, G. R. da; SANTI, A.; DALMAGO, G. A.; NICOLAU, M.; PASINATO, A. Análise de tendências na temperatura do ar e na precipitação pluvial na região de Passo Fundo, RS. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento (CNPT)**, Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2007. 15 p.

CUNHA, D. A.; COELHO, A. B.; FÉRES, J. G.; BRAGA, M. J. Effects of climate change on irrigation adoption in Brazil. **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 36, n. 1, p. 1-9, jan./mar. 2014.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA); Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas (SEBRAE). **Catálogo Brasileiro de Hortaliças**. Brasília, DF. 2010. 59 p.

ENVIRONMENT AND CLIMATE CHANGE CANADA (ECCC). **Second generation Canadian Earth System Model**. Mai. 2017. Disponível em: <<http://www.ec.gc.ca/ccmac-cccma/default.asp?lang=En&xml=1A3B7DF1-99BB-4EC8-B129-09F83E72D645>> Acesso em: 27 fev. 2019.

FÉRES, J. G.; REIS, E. J.; SPERANZA, J. S. Mudanças climáticas globais e seus impactos sobre o uso do solo no Brasil. **47º Congresso Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural**, Porto Alegre, p. 1 – 21, 2009.

FEIX, R. D.; LEUSIN JÚNIOR, S.; AGRANONIK, C. **Painel do agronegócio no Rio Grande do Sul — 2016**. Porto Alegre: FEE, 2016

FELÍCIO, R. A. “Mudanças Climáticas” e “Aquecimento Global” – Nova Formatação e Paradigma para o Pensamento Contemporâneo? **Ciência e Natura**, Santa Maria, v. 36, ed. Especial, p.257-266, 2014.

FIRPO, M. A. F.; SANSIGOLO, C. A.; ASSIS, S. V. Climatologia e variabilidade sazonal do número de ondas de calor e de frio no Rio Grande do Sul associadas ao ENOS. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 27, n. 1, p. 95-106, 2012.

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). **Crop Information**. Disponível em: < <http://www.fao.org/land-water/databases-and-software/crop-information/>> Acesso em: 28 fev. 2019.

FUNDAÇÃO DE ECONOMIA E ESTATÍSTICA (FEE). **Perfil Econômico – Região Corede Sul**. Porto Alegre, out. 2011. Disponível em: < <http://planejamento.rs.gov.br/upload/arquivos/201512/15134058-20150319163519perfis-todos.pdf>> Acesso em 29 jul. 2018.

FUNDAÇÃO DE ECONOMIA E ESTATÍSTICA (FEE). **COREDES**, 2015a. Disponível em: <<https://www.fee.rs.gov.br/perfil-socioeconomico/coredes/>>. Acesso em 17 jul. 2018.

FUNDAÇÃO DE ECONOMIA E ESTATÍSTICA (FEE). **Características da agropecuária do RS**, 2015b. Disponível em: <<https://www.fee.rs.gov.br/sinteseilustrada/caracteristicas-da-agropecuaria-do-rs/>>. Acesso em 28 jul. 2018.

FUNDAÇÃO DE ECONOMIA E ESTATÍSTICA (FEE). **Dados Abertos (2017)**. Disponível em: <<https://dados.fee.tcche.br/>> Acesso em: 27 fev. 2019.

GHINI, R. **Impactos das mudanças climáticas sobre doenças de importantes culturas no Brasil**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2011. 356 p.

GONÇALVES, F. N.; BACK, A. J. Análise da variação espacial e sazonal e de tendências na precipitação da região sul do Brasil. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 41, n. 3, p. 11-20. 2018.

GONÇALVES, S. L.; SIBALDELLI, R. N. R. Riscos climáticos e viabilidade econômica da produção de soja no sul do Rio Grande do Sul. **Comunicado técnico 94, Embrapa**. Londrina, PR, p. 7, jul. 2018.

GROSS, J. A.; CASSOL, R. Ocorrências de índices de anomalia de chuva negativos no estado do Rio Grande do Sul. **Revista Geografia Acadêmica**, v. 9, n. 2, p. 21-33, 2015.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). **Indicadores agropecuários 1996-2003**. Coordenação de Agropecuária, n. 3, p. 68, Rio de Janeiro, 2004.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). **Levantamento Sistemático da Produção Agrícola**: Pesquisa mensal de previsão e acompanhamento das safras agrícolas no ano civil. 2014. Disponível em: <ftp://ftp.ibge.gov.br/Producao_Agricola/Levantamento_Sistematico_da_Producao_Agricola_%5Bmensal%5D/Fasciculo/2014/lspa_201412.pdf>. Acesso em: 10 jan. 2019.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). **Censo agropecuário: resultados preliminares**. Rio de Janeiro, 2017.

IPCC. **Intergovernmental Panel on Climate Change. Climate Change 2007: Synthesis Report**. Core Writing Team, PACHAURI, R. K.; REISINGER, A. (eds). Geneva: IPCC, 104 p., 2007.

IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change. **The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, USA, 1539 p., 2013.

KLEIN, C.; KLEIN, V. A. Estratégias para potencializar a retenção e disponibilidade de água no solo. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental – REGET**, v. 19, n. 1, p. 21-29, jan/abr 2015.

KROES, J. G.; VAN DAM, J. C.; GROENENDIJK, P.; HENDRIKS, R. F. A.; JACOBS, C. M. J. SWAP 3.2. Theory description and user manual. Wageningen, Alterra, Alterra Report 1649(02) – SWAP32 Theory description and user manual.doc., 262 p., 2008.

KUPLICH, T. M.; CAPOANE, V.; COSTA, L. F. F. O avanço da soja no bioma pampa. **Boletim Geográfico do Rio Grande do Sul**, Porto Alegre, n. 31, p. 83-100, jun. 2018.

LACERDA, F.; NOBRE, P. Aquecimento global: conceituação e repercussões sobre o Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 3, p. 14-17, 2010.

LAZZARI, M. R. Safra 2004/05 de grãos de verão do RS: produção e preços em baixa. **Indicadores Econômicos FEE**, Porto Alegre, v. 33, n. 2, p. 47-64, set. 2005.

LEIVAS, J. F.; BERLATO, M. A.; FONTANA, D. C. Risco de deficiência hídrica decenal na metade sul do Estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 10, n. 2, p. 297-407, 2006.

LIMA, C. L. R. de; PILLON, C. N.; SUZUKI, L. E. A. S.; CRUZ, L. E. C. da. Atributos físicos de um Planossolo Háptico sob sistemas de manejo comparados aos do campo nativo. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, n. 32, p. 1849-1855, 2008.

LIMA, J. W. M.; COLISCHONN, W.; MARENGO, J. A. **Efeitos das mudanças climáticas na geração de energia elétrica**. São Paulo: AES Tietê, 2014. 357 p.

LYRA, A.; TAVARES, P.; CHOU, S.C.; SUEIRO, G.; DERECHYNSKI, C.P.; SONDERMANN, M.; SILVA, A.; MARENGO, J.; GIAROLLA, A. Climate change projections over three metropolitan regions. In: **Southeast Brazil using the non-hydrostatic Eta regional climate model at 5-km resolution Theor Appl Climatol**. 2017.

MALUF, J.R.T.; MATZENAUER, R.; MALUF, D.E. Zoneamento Agroclimático da Mandioca no Estado do Rio Grande do Sul – Uma alternativa para a produção de etanol. Porto Alegre: FEPAGRO, 2011. **BOLETIM FEPAGRO**, n. 22, 60p.

MARENGO, J.A.; SOARES, W.R. **Impacto das mudanças climáticas no Brasil e possíveis futuros cenários climáticos: síntese do terceiro relatório do IPCC 2001**. Cachoeira Paulista, SP: CPTEC-INPE, 2003. 29p.

MARENGO, J. A. **Mudanças climáticas globais e seus efeitos sobre a biodiversidade: caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do século XXI**. Brasília: MMA, 2006, 212 p.

MARENGO, J. A. O futuro clima do Brasil. **Revista USP**, n. 103, p. 25-32, São Paulo, 2014.

MATZENAUER, R. et al. Consumo de água e disponibilidade hídrica para milho e soja, no Rio Grande do Sul. Porto Alegre: **FEPAGRO**, 2002. 104 p. (BOLETIM FEPAGRO, 10)

MATZENAUER, R.; RADIN, B.; MALUF, J. R. T. O fenômeno ENOS e o regime de chuvas no Rio Grande do Sul. **Revista Agrometeoros**, Passo Fundo, v. 25, n. 2, p. 323-331, dez. 2017.

MELO, T. M. **Simulação Estocástica dos Impactos das Mudanças Climáticas Sobre as Demandas de Água para Irrigação na Região Noroeste do Rio Grande do Sul**. 2015. 133 f. Tese (Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015.

MELLO, C. R.; SILVA, A. M. da. **Hidrologia: princípios e aplicações em sistemas agrícolas**. Lavras, Editora UFLA, 2013. 455 p.

MENDONÇA, F. Aquecimento Global e suas manifestações regionais e locais – Alguns indicadores para a região Sul do Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia**, n. 2, p. 71-86, 2007.

MIRANDA, L. de A.; ARAÚJO, R. de S. Mudanças climáticas: análise de dois pontos de vista. **Ciências Humanas e Sociais Aplicadas**. v. 9, n. 4, p. 47-55, 2014.

MONTEIRO, J. B. A. **Agrometeorologia dos Cultivos: O fator meteorológico na produção agrícola**. Brasília, DF: INMET, 2009. 530 p.

MONZONI, M.; OSÓRIO, G.; GROSS, A.; PERES, E. P; ROCHA, C.; LEFÈVRE, G. B.; SANTOS, I.; CARNEIRO, R. A.; MARTINS, S. 2013. **Diagnóstico Preliminar**

das Principais Informações sobre Projeções Climáticas e Socioeconômicas, Impactos e Vulnerabilidades Disponíveis em trabalhos e projetos dos atores mapeados. Escola de Administração de Empresas da Fundação Getulio Vargas (FGV-EAESP). p. 218.

MUALEM, Y. A New Model for Predicting the Hydraulic Conductivity of Unsaturated Porous Media. **Water Resources Research**, v. 12, n. 3, p. 513-522, jun, 1976.

NEDEL, A.; SAUDEN, T. M.; SAITO, S. M. Zoneamento dos desastres naturais ocorridos no estado do Rio Grande do Sul no período 1989 – 2009: granizo e vendaval. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 27, n. 2, p. 119-126, 2012.

NOBRE, C. A. Mudanças climáticas globais e o Brasil: Porque devemos nos preocupar. **Boletim da Sociedade Brasileira de Meteorologia**, v. 31, n. 1, p. 7-11, abr. 2007.

NOBRE, C. A.; SAMPAIO, G.; SALAZAR, L. Cenários de mudança climática para a América do Sul para o final do século 21. **Parcerias Estratégicas**, Brasília, DF, n. 27, dez. 2008.

NOBRE, P.; SIQUEIRA, L. S. P.; ALMEIDA, R. A. F. de; MALAGUTTI, M.; GIAROLLA, E.; CASTELÃO, G. P.; BOTTINO, M. J.; KUBOTA, P.; FIGUEROA, Silvio N.; COSTA, Mabel, C.; BAPTISTA JR., M.; IRBER JR., Luiz; MARCONDES, G. G. Climate Simulation and Change in the Brazilian Climate Model. **Journal of Climate**. v. 26, p. 6716-6732, set. 2013.

NOBRE, C. A.; MARENGO, J. A. **Mudanças climáticas em rede: um olhar interdisciplinar.** São José dos Campos, SP: INCT, 2017. 608 p.

OTTONI, M. V. et al. Hydrophysical Database for Brazilian Soils (HYBRAS) and Pedrotransfer Functions for Water Retention. **Vadose Zone Journal**, 17, n. 1, 2018. 1-17.

PAZ, V. P. da S.; TEODORO, R. E. F.; MENDONÇA, F. C. Recursos hídricos, agricultura irrigada e meio ambiente. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 4, n.3, p. 465-473, 2000.

PAIVA, C. A. RS em Mapas e Dados: bases georrefenciadas para a comparação do desempenho socioeconômico dos municípios gaúchos entre 1966 e 2006. Porto Alegre/Santa Cruz do Sul: FEE/Unisc, 2008. Disponível em: <<https://www.fee.rs.gov.br/rs-em-mapas-e-dados/>> Acesso em: 28 fev. 2019.

PBMC. **Mudanças Climáticas e Cidades.** Relatório Especial do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas, COPPE - UFRJ. Rio de Janeiro, Brasil. 116 p., 2016.

PESSOA, M. L. O Rio Grande do Sul corre o risco de enfrentar uma crise hídrica? **Carta de Conjuntura FEE**. n. 3, ano 24, p. 1, mar. 2015.

PESSOA, M. L. (Org.). Clima do RS. In: _____. **Atlas FEE**. Porto Alegre: FEE, 2017. Disponível em: < <http://atlas.fee.tche.br/rio-grande-do-sul/socioambiental/clima/> >. Acesso em: 29 de junho de 2018.

PINHEIRO, A.; GRACIANO, R. L. G.; SEVERO, D. L. Tendência das séries temporais de precipitação da região Sul do Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 28, n. 3, p. 281-290, 2013.

PROJETO ESTRATÉGICO DE P&D nº 010/2008 DA ANEEL. Efeito de mudanças climáticas no regime hidrológico de bacias hidrográficas e na energia assegurada de aproveitamentos hidrelétricos.

RASEIRA, G.; CAMPOS, C. R. J. de. Análise Sazonal das Regiões do Rio grande do Sul Atingidas por Eventos Severos Gerados por SCM no Período de 2004 a 2008. **Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ**, v. 36, p.61-69, 2/2013.

RASEIRA, A. et al. Instalação e Manejo do Pomar. In: MEDEIROS, C. A.; RASEIRA, M. C. B. A Cultura do Pessegueiro. Brasília: Embrapa, 1998. p. 130-160.

RECKZIEGEL, B. W. Levantamento dos desastres desencadeados por eventos naturais adversos no estado do Rio Grande do Sul no período de 1980 a 2005. 2007. 261 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.

RECHARDT, K.; TIMM, L. C. **Água e sustentabilidade no sistema solo-planta-atmosfera**. 1. ed. Barueri, SP. Manole, 2016, 228 p.

RESENDE, N.; CHOU, S. C. Influência das condições do solo na climatologia da previsão sazonal do modelo ETA. **Revista Brasileira de Climatologia**, ano 10, v. 15, p. 64-79, jul./dez. 2014.

RIBEIRO, P. L.; BAMBERG, A. L.; REIS, D. A.; OLIVEIRA, A. C. B. de. Condições físico-hídricas de Planossolo cultivado com soja em plantio direto e preparo convencional. **Pesquisas agropecuárias brasileiras**. Brasília, v. 51, n. 9, p. 1484-1491, set. 2016.

RICHARDS, L. A. Capillary Conduction of Liquids through Porous Mediums. **Journal of Applied Physics**, v. 1, p. 318-333, nov. 1931.

ROSSATO, M. S. **Os Climas do Rio Grande do Sul**: variabilidade, tendências e tipologia. 2011. 240 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

SAMPAIO, G.; DIAS, P. L. da S. Evolução dos modelos climáticos e de previsão de tempo e clima. **Revista USP**. São Paulo, n. 103, p. 41-54, 2014.

SANTOS, H. G. dos., et al. **O novo mapa dos solos do Brasil**: legenda atualizada. Dados eletrônicos. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011, 67 p.

SARTORI, M. da G. B. A dinâmica do clima do Rio Grande do Sul: indução empírica e conhecimento científico. **Revista Terra Livre: São Paulo**, v. 1, n. 2, p.27-49, jan./jul. 2003.

SEPLAN. Secretaria do Planejamento e Desenvolvimento Regional. Governo do Estado do rio Grande do Sul. **Perfis – COREDEs e Regiões Funcionais de Planejamento**. Porto Alegre: Governo do Estado do Rio Grande do Sul, 82 p., março 2015.

SILVA, E. W. C.; PAULA, B. L. de. Causa do aquecimento global: antropogênica versus natural. **Terra e Didática**, n. 5, v. 1, p. 42-49, 2009.

SILVA, M. R. M da. Identificação da ocorrência de estiagens em Bagé (RS) entre 1961 – 2009. 2010. 81 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Geografia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

SILVA, M. V. da; CAMPOS, R. J. de. Anomalias decadais do regime hídrico do RS no período de 1977 a 2006. **Ciência e Natura**, Santa Maria, v. 33, n. 1, p. 75-89, 2011.

SILVA, M. V. da; CAMPOS, C. R. J. de; PINTO, L. B. Regime Hídrico do RS durante os eventos ENOS dos anos 1987 e 1999. **Ciência e Natura**, Santa Maria, v. 36, n. 1, p. 39-41, jan./abr. 2014.

SILVA, K. K. da; SIQUEIRA, T. M.; ADAM, K. N.; CASTRO, A. S.; CORRÊA, L. B.; LEANDRO, D. Future irrigation water requirements in the Ijuí River basin, RS. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v. 22, n. 1, p. 57-62, 2018.

SIVAKUMAR, M.V.K.; GOMMES, R.; BAIER, W. Agrometeorology and sustainable agriculture. **Agricultural and Forest Meteorology**, 103, p.11-26, 2000.

SILVEIRA, A. L.; LOUZADA, J. A.; BELTRAME, L. F. Infiltração e Armazenamento de água no solo. In: TUCCI, E.M. **Hidrologia: Ciência e aplicação**. 2. ed. Porto Alegre: Ed. Universidade/ UFRGS. ABRH, 2001. 943 p.

SILVEIRA, D. C.; BONETTI, L. P.; ROSSLER, G. P. Efeito das ondas de calor na agricultura – Safra 1013/2014. **Revista Gestão e Desenvolvimento em Contexto – Edição Especial**, v. 2, n. 2, 2014.

SILVEIRA, C. da S.; FILHO, F. de A. de S.; MARTINS, E. S. P. R.; OLIVEIRA, J. L.; COSTA, A. C.; NOBREGA, M. T.; SOUZA, S. A. de; SILVA, R. F. V. Mudanças climáticas na bacia do rio São Francisco: Uma análise para precipitação e temperatura. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 21, n. 2, Porto Alegre, abr./ jun. p. 416-428, 2016.

STRECK, N. A.; ALBERTO, C. M. Simulação do impacto da mudança climática sobre a água disponível do solo em agrossistemas de trigo, soja e milho em Santa Maria, RS. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 36, n. 2, p. 424-433, mar./abr., 2006.

TEIXEIRA, C. F. A.; DAMÉ, R. de C. F.; BACELAR, L. C. S.; SILVA, G. M. da; COUTO, R. S. do. Intensidade da seca utilizando índices de precipitação. **Revista Ambiente & Água**, v. 8, n. 3, Taubaté, p. 203-213, set./dez. 2013.

TEIXEIRA, J. **HadGEM2**. ENES – European Network for Earth System Modelling. Set. 2015. Disponível em: <<https://portal.enes.org/models/earthsystem-models/metoffice-hadley-centre/hadgem2-es>> Acesso em: 27 fev. 2019.

Terceira Comunicação Nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima. Executive

Summary: <<http://unfccc.int/resource/docs/natc/branc3es.pdf>>

Volume 1: <<http://unfccc.int/resource/docs/natc/branc3v1.pdf>>

Volume 2: <<http://unfccc.int/resource/docs/natc/branc3v2.pdf>>

Volume 3: <<http://unfccc.int/resource/docs/natc/branc3v3.pdf>>

VAN DAM, J. C.; HUYGEN, J.; FEDDES, R. A.; KABAT, p; VAN WALSUM, P. E. V.; GROENENDIJK, P.; VAN DIEPEN, C. A. **Theory of SWAP version 2.0**. Report 71, Departament Water Resources, Wageningen Agricultural University. Technical Document 45. DLO Winand Staring Centre, Wageningen, 1997.

VAN DAM, J. C. Field scale water flow and solute transport. SWAP model concepts, parameter estimation and case studies. **PhD thesis**, Wageningen University, 167 p, 2000.

VAN GENUCHTEN, M. T. A closed form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 44, p. 892-989, 1980.

VARGAS JR, V. R. de; CAMPOS, C. R. J. de. Eventos Severos no Rio Grande do Sul no Período 2004-2008. **Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ**, v. 38, p. 137-146, 2015.

VIANA, D.R.; AQUINO F. E.; MATZENAUER, R. Comportamento espaçotemporal da precipitação no rio Grande do Sul entre 1945-1974 e 1975-2004. In: **Congresso Brasileiro de Agrometeorologia**, 2006. Florianópolis, SBMET, 2006.

WATANABE, M.; SUZUKI, T.; O'ISHI, R.; KOMURO, Y.; WATANABE, S.; EMORI, S.; TAKEMURA, T.; CHIKIRA, M.; OGURA, T.; SEKIGUCHI, M.; TAKATA, K.; YAMAZAKI, D.; YOKOHATA, T.; NOZAWA, T.; HASUMI, H.; TETEBE, H.; KIMOTO, M. Improved climate simulation by MIROC5: mean states, variability, and climate sensitivity. **Journal of Climate**, v. 23, n. 23. p. 6312–6335, dez. 2010.

WREGE, M. S.; JÚNIOR, C. R.; STEINMETZ, S.; RADIN, B.; FRITZSONS, E. Risco de déficit hídrico para espécies florestais e frutíferas no Rio Grande do Sul. **Revista Ra'eGa**, Curitiba, v.44, p. 55-68, mai. 2018.

Apêndices

Apêndice A – Tabela com dados de temperatura média e precipitação para os municípios da região Sul e Campanha para os modelos CANESM2, HADGEM2-ES e MIROC5.

Bagé				
Variável	Período	CANESM2	HADGEM2-ES	MIROC5
T _{méd} (°C)	Base	17,6	18,2	16,4
P (mm)	Base	1735	1569	815
RCP 4.5		CANESM2	HADGEM2-ES	MIROC5
T _{méd} (°C)	F1	18,8	19,7	16,8
	F2	19,7	20,3	17,3
	F3	20,2	20,6	17,4
P (mm)	F1	1898	1658	867
	F2	1983	1651	885
	F3	1921	1817	904
RCP 8.5		CANESM2	HADGEM2-ES	MIROC5
T _{méd} (°C)	F1	18,9	20,1	16,9
	F2	20,4	20,9	17,8
	F3	22,1	22,7	18,5
P (mm)	F1	1937	1590	877
	F2	2027	1751	872
	F3	1658	1929	1010
Caçapava do Sul				
Variável	Período	CANESM2	HADGEM2-ES	MIROC5
T _{méd} (°C)	Base	18,0	18,5	16,4
P(mm)	Base	1882	1526	858
RCP 4.5		CANESM2	HADGEM2-ES	MIROC5
T _{méd} (°C)	F1	19,3	20,0	16,8
	F2	20,2	20,6	17,3
	F3	20,6	21,0	17,4
P (mm)	F1	2039	1646	938
	F2	2204	1981	955
	F3	2083	1846	991
RCP 8.5		CANESM2	HADGEM2-ES	MIROC5
T _{méd} (°C)	F1	19,4	20,5	16,9
	F2	20,9	21,2	17,8
	F3	22,7	23,1	18,5
P (mm)	F1	2073	1574	965
	F2	2148	1713	973
	F3	1683	1861	1109

Candiota				
Variável	Período	CANESM2	HADGEM2-ES	MIROC5
T _{méd} (°C)	Base	17,4	17,9	16,1
P (mm)	Base	1725	1565	836
RCP 4.5		CANESM2	HADGEM2-ES	MIROC5
T _{méd} (°C)	F1	18,6	19,4	16,5
	F2	19,5	20,0	17,0
	F3	20,0	20,4	17,1
P (mm)	F1	1861	1603	878
	F2	1953	1695	901
	F3	1883	1779	929
RCP 8.5		CANESM2	HADGEM2-ES	MIROC5
T _{méd} (°C)	F1	18,7	19,8	16,7
	F2	20,1	20,5	17,5
	F3	21,8	22,4	18,2
P (mm)	F1	1915	1565	895
	F2	1988	1726	901
	F3	1615	1863	1036

Dom Pedrito				
Variável	Período	CANESM2	HADGEM2-ES	MIROC5
T _{méd} (°C)	Base	18,2	18,7	16,9
P (mm)	Base	1706	1486	782
RCP 4.5		CANESM2	HADGEM2-ES	MIROC5
T _{méd} (°C)	F1	19,4	20,2	17,2
	F2	20,3	20,9	17,8
	F3	20,8	21,2	17,9
P (mm)	F1	1866	1666	855
	F2	1961	1671	861
	F3	1861	1770	889
RCP 8.5		CANESM2	HADGEM2-ES	MIROC5
T _{méd} (°C)	F1	19,5	20,7	19,5
	F2	21,0	21,5	21,0
	F3	22,8	23,4	22,8
P (mm)	F1	1879	1518	1879
	F2	1955	1644	1955
	F3	1549	1827	1549

Hulha Negra				
Variável	Período	CANESM2	HADGEM2-ES	MIROC5
T _{méd} (°C)	Base	17,5	18,0	16,2
P (mm)	Base	1744	1565	824
RCP 4.5		CANESM2	HADGEM2-ES	MIROC5
T _{méd} (°C)	F1	18,7	19,5	16,6
	F2	19,6	20,1	17,1
	F3	20,1	20,5	17,2
P (mm)	F1	1900	1638	874
	F2	1995	1642	895
	F3	1926	1805	921
RCP 8.5		CANESM2	HADGEM2-ES	MIROC5
T _{méd} (°C)	F1	19,2	19,9	16,8
	F2	20,3	20,7	17,6
	F3	22,2	22,5	18,3
P (mm)	F1	1958	1590	890
	F2	2040	1750	897
	F3	1608	1923	1031

Lavras do Sul				
Variável	Período	CANESM2	HADGEM2-ES	MIROC5
T _{méd} (°C)	Base	17,6	18,1	16,4
P (mm)	Base	1891	1580	853
RCP 4.5		CANESM2	HADGEM2-ES	MIROC5
T _{méd} (°C)	F1	18,9	19,7	16,8
	F2	19,8	20,3	17,3
	F3	20,3	20,6	17,4
P (mm)	F1	2055	1708	931
	F2	2206	1809	932
	F3	2089	1899	978
RCP 8.5		CANESM2	HADGEM2-ES	MIROC5
T _{méd} (°C)	F1	19,0	20,1	16,9
	F2	20,5	20,9	17,8
	F3	22,3	22,8	18,5
P (mm)	F1	2087	1617	948
	F2	2181	1772	947
	F3	1751	1968	1086

Amaral Ferrador				
Variável	Período	CANESM2	HADGEM2-ES	MIROC5
T _{méd} (°C)	Base	18,5	-	17,2
P (mm)	Base	1910	-	996
RCP 4.5		CANESM2	HADGEM2-ES	MIROC5
T _{méd} (°C)	F1	19,7	18,7	17,6
	F2	20,6	19,2	18,1
	F3	21,0	19,5	18,2
P (mm)	F1	2056	1656	1065
	F2	2253	1720	1075
	F3	2186	1815	1141
RCP 8.5		CANESM2	HADGEM2-ES	MIROC5
T _{méd} (°C)	F1	19,87	20,8	17,84
	F2	21,27	21,5	18,55
	F3	22,73	23,2	19,32
P (mm)	F1	2135,92	1609	1053,85
	F2	2204,10	1755	1110,64
	F3	1860,10	1916	1213,69

Arroio do Padre				
Variável	Período	CANESM2	HADGEM2-ES	MIROC5
T _{méd} (°C)	Base	18,0	18,4	16,9
P (mm)	Base	1685	1487	967
RCP 4.5		CANESM2	HADGEM2-ES	MIROC5
T _{méd} (°C)	F1	19,1	19,9	17,3
	F2	20,0	20,4	17,7
	F3	20,4	20,8	17,9
P (mm)	F1	1803	1483	1006
	F2	1906	1698	1031
	F3	1853	1635	1090
RCP 8.5		CANESM2	HADGEM2-ES	MIROC5
T _{méd} (°C)	F1	19,2	20,2	17,5
	F2	20,5	20,8	18,1
	F3	21,9	22,5	18,9
P (mm)	F1	1853	1472	1013
	F2	1912	1605	1071
	F3	1579	1721	1173

Arroio Grande				
Variável	Período	CANESM2	HADGEM2-ES	MIROC5
T _{méd} (°C)	Base	17,9	18,5	17,0
P (mm)	Base	1682	1556	1007
RCP 4.5		CANESM2	HADGEM2-ES	MIROC5
T _{méd} (°C)	F1	19,1	19,9	17,4
	F2	20,0	20,4	17,8
	F3	20,4	20,8	18,0
P (mm)	F1	1770	1539	1023
	F2	1829	1882	1052
	F3	1804	1765	1091
RCP 8.5		CANESM2	HADGEM2-ES	MIROC5
T _{méd} (°C)	F1	19,2	19,1	17,6
	F2	20,4	19,6	18,3
	F3	21,7	20,6	18,9
Precipitação (mm)	F1	1796	1550	1054
	F2	1852	1678	1084
	F3	1562	1806	1215

Canguçu				
Variável	Período	CANESM2	HADGEM2-ES	MIROC5
T _{méd} (°C)	Base	17,4	17,9	16,3
Precipitação (mm)	Base	1596	1398	841
RCP 4.5		CANESM2	HADGEM2-ES	MIROC5
T _{méd} (°C)	F1	18,6	19,4	16,7
	F2	19,5	20,0	17,2
	F3	19,9	20,3	17,3
Precipitação (mm)	F1	1711	1417	885
	F2	1798	1598	896
	F3	1726	1545	939
RCP 8.5		CANESM2	HADGEM2-ES	MIROC5
T _{méd} (°C)	F1	18,7	19,7	16,9
	F2	20,1	20,4	17,6
	F3	21,5	22,1	18,3
P (mm)	F1	1764	1381	1054
	F2	1792	1505	1084
	F3	1466	1612	1215

Capão do Leão				
Variável	Período	CANESM2	HADGEM2-ES	MIROC5
T _{méd} (°C)	Base	18,4	18,9	17,4
P (mm)	Base	1790	1680	1132
RCP 4.5		CANESM2	HADGEM2-ES	MIROC5
T _{méd} (°C)	F1	19,5	20,2	17,8
	F2	20,4	20,8	18,2
	F3	20,9	21,1	18,4
P (mm)	F1	1887	1575	1143
	F2	1984	1997	1184
	F3	1966	1799	1244
RCP 8.5		CANESM2	HADGEM2-ES	MIROC5
T _{méd} (°C)	F1	19,6	20,4	18,0
	F2	20,9	21,1	18,6
	F3	22,1	22,7	19,4
P (mm)	F1	1924	1600	1178
	F2	2017	1729	1239
	F3	1687	1851	1353

Cerrito				
Variável	Período	CANESM2	HADGEM2-ES	MIROC5
T _{méd} (°C)	Base	17,9	18,4	16,8
P (mm)	Base	1704	1557	977
RCP 4.5		CANESM2	HADGEM2-ES	MIROC5
T _{méd} (°C)	F1	19,0	19,8	17,2
	F2	19,9	20,4	17,7
	F3	20,4	20,7	17,8
P (mm)	F1	1800	1555	993
	F2	1891	1761	1020
	F3	1857	1719	1070
RCP 8.5		CANESM2	HADGEM2-ES	MIROC5
T _{méd} (°C)	F1	19,1	20,1	17,4
	F2	20,4	20,8	18,1
	F3	21,8	22,4	18,8
P (mm)	F1	1848	1508	1011
	F2	1919	1655	1040
	F3	1611	1764	1153

Herval				
Variável	Período	CANESM2	HADGEM2-ES	MIROC5
T _{méd} (°C)	Base	17,2	17,8	16,4
P (mm)	Base	1572	1444	815
RCP 4.5		CANESM2	HADGEM2-ES	MIROC5
T _{méd} (°C)	F1	18,4	19,2	17,2
	F2	19,2	19,8	17,8
	F3	19,7	20,1	17,9
P (mm)	F1	1675	1501	855
	F2	1732	1607	861
	F3	1689	1651	889
RCP 8.5		CANESM2	HADGEM2-ES	MIROC5
T _{méd} (°C)	F1	19,5	19,6	16,9
	F2	21,0	20,2	17,7
	F3	22,8	21,9	18,3
P (mm)	F1	1879	1446	860
	F2	1955	1596	864
	F3	1549	1699	999

Jaguarão				
Variável	Período	CANESM2	HADGEM2-ES	MIROC5
T _{méd} (°C)	Base	17,8	18,5	17,0
P (mm)	Base	1671	1551	966
RCP 4.5		CANESM2	HADGEM2-ES	MIROC5
T _{méd} (°C)	F1	19,0	19,7	17,4
	F2	19,8	20,3	17,8
	F3	20,3	20,7	18,0
P (mm)	F1	1751	1583	1010
	F2	1793	1916	1003
	F3	1791	1834	1035
RCP 8.5		CANESM2	HADGEM2-ES	MIROC5
T _{méd} (°C)	F1	19,0	20,0	17,5
	F2	20,3	20,7	18,2
	F3	21,6	22,3	18,9
P (mm)	F1	1778	1609	1020
	F2	1831	1737	1048
	F3	1541	1834	1194

Morro Redondo				
Variável	Período	CANESM2	HADGEM2-ES	MIROC5
T _{méd} (°C)	Base	17,7	18,2	16,7
P (mm)	Base	1631	1475	939
RCP 4.5		CANESM2	HADGEM2-ES	MIROC5
T _{méd} (°C)	F1	18,9	19,7	17,1
	F2	19,7	20,2	17,5
	F3	20,2	20,5	17,7
P (mm)	F1	1734	1467	967
	F2	1825	1656	993
	F3	1777	1613	1053
RCP 8.5		CANESM2	HADGEM2-ES	MIROC5
T _{méd} (°C)	F1	18,9	20,0	17,3
	F2	20,3	20,6	18,0
	F3	21,7	22,3	18,7
P (mm)	F1	1779	1443	981
	F2	1837	1574	1023
	F3	1529	1668	1135

Pedras Altas				
Variável	Período	CANESM2	HADGEM2-ES	MIROC5
T _{méd} (°C)	Base	17,2	17,2	16,2
P (mm)	Base	1661	1456	800
RCP 4.5		CANESM2	HADGEM2-ES	MIROC5
T _{méd} (°C)	F1	18,4	18,5	16,6
	F2	19,3	19,3	17,0
	F3	19,7	19,8	17,2
P (mm)	F1	1724	1535	838
	F2	1781	1593	852
	F3	1733	1672	878
RCP 8.5		CANESM2	HADGEM2-ES	MIROC5
T _{méd} (°C)	F1	19,1	19,1	16,7
	F2	20,4	20,5	17,6
	F3	21,8	21,9	18,2
P (mm)	F1	1848	1508	849
	F2	1919	1655	854
	F3	1611	1764	989

Pedro Osório				
Variável	Período	CANESM2	HADGEM2-ES	MIROC5
T _{méd} (°C)	Base	17,9	18,4	16,8
P (mm)	Base	1704	1557	977
RCP 4.5		CANESM2	HADGEM2-ES	MIROC5
T _{méd} (°C)	F1	19,0	19,8	17,2
	F2	19,9	20,4	17,7
	F3	20,4	20,7	17,8
P (mm)	F1	1800	1555	993
	F2	1891	1761	1020
	F3	1857	1719	1070
RCP 8.5		CANESM2	HADGEM2-ES	MIROC5
T _{méd} (°C)	F1	19,1	20,1	17,4
	F2	20,4	20,8	18,1
	F3	21,8	22,4	18,8
P (mm)	F1	1848	1508	1011
	F2	1919	1655	1040
	F3	1611	1764	1153

Pelotas				
Variável	Período	CANESM2	HADGEM2-ES	MIROC5
T _{méd} (°C)	Base	18,4	18,9	17,4
P (mm)	Base	1790	1680	1132
RCP 4.5		CANESM2	HADGEM2-ES	MIROC5
T _{méd} (°C)	F1	19,5	20,2	17,8
	F2	20,4	20,8	18,2
	F3	20,9	21,1	18,4
P (mm)	F1	1887	1612	1143
	F2	1984	1997	1184
	F3	1966	1799	1244
RCP 8.5		CANESM2	HADGEM2-ES	MIROC5
T _{méd} (°C)	F1	19,6	20,4	18,0
	F2	20,9	21,1	18,6
	F3	22,1	22,7	19,4
P (mm)	F1	1924	1600	1178
	F2	2017	1729	1239
	F3	1687	1851	1353

Pinheiro Machado				
Variável	Período	CANESM2	HADGEM2-ES	MIROC5
T _{méd} (°C)	Base	17,2	17,8	16,1
P (mm)	Base	1661	1482	823
RCP 4.5		CANESM2	HADGEM2-ES	MIROC5
T _{méd} (°C)	F1	18,5	19,3	16,5
	F2	19,4	19,9	17,0
	F3	19,8	20,2	17,1
P (mm)	F1	1788	1556	865
	F2	1869	1609	880
	F3	1813	1691	880
RCP 8.5		CANESM2	HADGEM2-ES	MIROC5
T _{méd} (°C)	F1	18,6	19,7	16,7
	F2	20,0	20,4	17,5
	F3	21,6	22,1	18,2
P (mm)	F1	1847	1497	875
	F2	1901	1640	883
	F3	1550	1761	1011

Piratini				
Variável	Período	CANESM2	HADGEM2-ES	MIROC5
T _{méd} (°C)	Base	17,0	17,5	16,0
P (mm)	Base	1624	1428	803
RCP 4.5		CANESM2	HADGEM2-ES	MIROC5
T _{méd} (°C)	F1	18,2	19,1	16,4
	F2	19,1	19,7	16,9
	F3	19,6	20,0	17,0
P (mm)	F1	1753	1522	852
	F2	1845	1686	861
	F3	1783	1643	899
RCP 8.5		CANESM2	HADGEM2-ES	MIROC5
T _{méd} (°C)	F1	18,3	19,5	16,6
	F2	19,7	20,1	17,4
	F3	21,3	21,9	18,0
P (mm)	F1	1822	1469	859
	F2	1870	1616	874
	F3	1580	1734	992

Rio Grande				
Variável	Período	CANESM2	HADGEM2-ES	MIROC5
T _{méd} (°C)	Base	18,5	19,0	17,6
P (mm)	Base	1713	1595	1114
RCP 4.5		CANESM2	HADGEM2-ES	MIROC5
T _{méd} (°C)	F1	19,5	20,1	17,9
	F2	20,4	20,6	18,3
	F3	20,8	21,0	18,5
P (mm)	F1	1771	1439	1134
	F2	1841	1801	1175
	F3	1786	1646	1189
RCP 8.5		CANESM2	HADGEM2-ES	MIROC5
T _{méd} (°C)	F1	19,6	20,3	18,2
	F2	20,7	20,9	18,8
	F3	21,8	22,4	19,6
P (mm)	F1	1764	1433	1161
	F2	1832	1546	1242
	F3	1482	1621	1327

Santa Vitória do Palmar				
Variável	Período	CANESM2	HADGEM2-ES	MIROC5
T _{méd} (°C)	Base	17,5	18,3	16,9
P (mm)	Base	1385	1323	998
RCP 4.5		CANESM2	HADGEM2-ES	MIROC5
T _{méd} (°C)	F1	18,6	19,4	17,3
	F2	19,4	20,0	17,7
	F3	19,9	20,3	18,0
P (mm)	F1	1435	1405	1056
	F2	1414	1574	1021
	F3	1458	1553	1022
RCP 8.5		CANESM2	HADGEM2-ES	MIROC5
T _{méd} (°C)	F1	18,6	19,6	17,5
	F2	19,8	20,3	18,1
	F3	21,0	21,7	18,8
P (mm)	F1	1464	1368	1041
	F2	1389	1452	1064
	F3	1146	1534	1266

Santana da Boa Vista				
Variável	Período	CANESM2	HADGEM2-ES	MIROC5
T _{méd} (°C)	Base	17,7	18,2	16,4
P (mm)	Base	1841	1512	855
RCP 4.5		CANESM2	HADGEM2-ES	MIROC5
T _{méd}	F1	19,0	19,7	16,7
	F2	19,9	20,3	17,3
	F3	20,3	20,7	17,4
P (mm)	F1	1986	1646	934
	F2	2146	1908	942
	F3	2027	1820	973
RCP 8.5		CANESM2	HADGEM2-ES	MIROC5
T _{méd} (°C)	F1	19,1	20,1	16,9
	F2	20,6	20,7	17,8
	F3	22,3	21,7	18,5
P (mm)	F1	2046	1563	953
	F2	2102	1699	960
	F3	1684	1860	1086
São José do Norte				
Variável	Período	CANESM2	HADGEM2-ES	MIROC5
T _{méd} (°C)	Base	18,5	18,0	17,6
P (mm)	Base	1713	1595	1114
RCP 4.5		CANESM2	HADGEM2-ES	MIROC5
T _{méd} (°C)	F1	19,5	20,1	18,0
	F2	20,4	20,6	18,4
	F3	20,8	21,0	18,6
P (mm)	F1	1771	1439	1134
	F2	1841	1801	1175
	F3	1786	1646	1189
RCP 8.5		CANESM2	HADGEM2-ES	MIROC5
T _{méd} (°C)	F1	19,6	20,3	18,2
	F2	20,7	20,9	18,8
	F3	21,8	22,4	19,6
P (mm)	F1	1764	1433	1161
	F2	1832	1546	1242
	F3	1482	1621	1327

São Lourenço do Sul				
Variável	Período	CANESM2	HADGEM2-ES	MIROC5
T _{méd} (°C)	Base	18,8	19,3	17,8
P (mm)	Base	1853	1636	1192
RCP 4.5		CANESM2	HADGEM2-ES	MIROC5
T _{méd} (°C)	F1	19,9	20,6	18,2
	F2	20,8	21,1	18,6
	F3	21,2	21,4	18,8
P (mm)	F1	1970	1628	1229
	F2	2110	1931	1274
	F3	2068	1789	1332
RCP 8.5		CANESM2	HADGEM2-ES	MIROC5
T _{méd} (°C)	F1	20,0	20,8	18,4
	F2	21,2	21,4	19,0
	F3	22,4	23,0	19,8
P (mm)	F1	2013	1606	1240
	F2	2087	1735	1340
	F3	1731	1880	1429
Tavares				
Variável	Período	CANESM2	HADGEM2-ES	MIROC5
T _{méd} (°C)	Base	19,4	19,7	18,2
P (mm)	Base	1679	1416	1126
RCP 4.5		CANESM2	HADGEM2-ES	MIROC5
T _{méd} (°C)	F1	20,4	21,0	18,6
	F2	21,3	21,5	19,0
	F3	21,7	21,8	19,2
P (mm)	F1	1763	1385	1173
	F2	1880	1469	1206
	F3	1859	1480	1238
RCP 8.5		CANESM2	HADGEM2-ES	MIROC5
T _{méd} (°C)	F1	20,6	21,0	18,8
	F2	21,7	21,5	19,4
	F3	22,9	21,8	20,2
P (mm)	F1	1780	1385	1160
	F2	1834	1412	1261
	F3	1468	1480	1305

Turuçu				
Variável	Período	CANESM2	HADGEM2-ES	MIROC5
T _{méd} (°C)	Base	18,5	18,9	17,4
P (mm)	Base	1763	1558	1076
RCP 4.5		CANESM2	HADGEM2-ES	MIROC5
T _{méd} (°C)	F1	19,6	20,3	17,80
	F2	20,5	20,8	18,2
	F3	20,9	21,2	18,3
P (mm)	F1	1885	1577	1111
	F2	1998	1790	1143
	F3	1963	1709	1210
RCP 8.5		CANESM2	HADGEM2-ES	MIROC5
T _{méd} (°C)	F1	19,7	20,5	18,0
	F2	21,0	21,1	18,6
	F3	22,2	22,8	19,4
P (mm)	F1	1930	1540	1119
	F2	2007	1681	1195
	F3	1674	1814	1293

Apêndice B – Anomalias de precipitação para os municípios da região Sul e Campanha do Rio Grande do Sul

Bagé		
CANESM2	RCP 4.5	RCP 8.5
F1	163,4	201,8
F2	248,6	292,2
F3	186,5	-77,1
HADGEM2-ES	RCP 4.5	RCP 8.5
F1	88,43	20,83
F2	81,83	181,17
F3	247,35	359,69
MIROC5	RCP 4.5	RCP 8.5
F1	52,2	61,8
F2	69,6	57,2
F3	88,8	195,1
Caçapava do Sul		
CANESM2	RCP 4.5	RCP 8.5
F1	156,3	190,1
F2	321,5	265,5
F3	200,1	-199,0
HADGEM2-ES	RCP 4.5	RCP 8.5
F1	120,27	48,71
F2	454,97	186,94
F3	320,21	335,36
MIROC5	RCP 4.5	RCP 8.5
F1	80,0	106,7
F2	96,6	114,7
F3	132,5	250,4

Candiota		
CANESM2	RCP 4.5	RCP 8.5
F1	135,9	189,4
F2	228,2	263,2
F3	157,9	-110,6
HADGEM2-ES	RCP 4.5	RCP 8.5
F1	38,30	-0,17
F2	130,23	161,01
F3	214,34	298,59
MIROC5	RCP 4.5	RCP 8.5
F1	42,0	58,6
F2	64,3	64,3
F3	92,8	199,7
Dom Pedrito		
CANESM2	RCP 4.5	RCP 8.5
F1	160,8	173,3
F2	255,7	249,6
F3	155,7	-156,9
HADGEM2-ES	RCP 4.5	RCP 8.5
F1	180,03	32,69
F2	185,65	158,36
F3	284,68	341,06
MIROC5	RCP 4.5	RCP 8.5
F1	72,4	1096,7
F2	78,9	1173,0
F3	106,8	766,4
Hulha Negra		
CANESM2	RCP 4.5	RCP 8.5
F1	156,8	214,0
F2	251,7	296,7
F3	182,6	-135,5
HADGEM2-ES	RCP 4.5	RCP 8.5
F1	73,24	25,19
F2	77,29	184,95
F3	239,96	358,16
MIROC5	RCP 4.5	RCP 8.5
F1	66,0	49,2
F2	72,2	71,1
F3	206,4	97,0

Lavras do Sul		
CANESM2	RCP 4.5	RCP 8.5
F1	164,5	196,1
F2	315,7	290,4
F3	198,3	-139,9
HADGEM2-ES	RCP 4.5	RCP 8.5
F1	128,80	37,15
F2	229,32	192,60
F3	319,08	388,73
MIROC5	RCP 4.5	RCP 8.5
F1	78,1	95,0
F2	78,7	94,1
F3	124,7	233,3
Amaral Ferrador		
CANESM2	RCP 4.5	RCP 8.5
F1	145,6	225,0
F2	342,9	293,2
F3	275,2	-50,7
HADGEM2-ES	RCP 4.5	RCP 8.5
F1	-	-
F2	-	-
F3	-	-
MIROC5	RCP 4.5	RCP 8.5
F1	68,2	57,0
F2	79,0	113,8
F3	144,8	216,8
Arroio do Padre		
CANESM2	RCP 4.5	RCP 8.5
F1	117,5	167,6
F2	220,9	226,0
F3	167,3	-106,1
HADGEM2-ES	RCP 4.5	RCP 8.5
F1	-3,84	-14,77
F2	211,62	118,13
F3	148,18	234,50
MIROC5	RCP 4.5	RCP 8.5
F1	39,0	46,1
F2	63,6	103,7
F3	123,2	206,2

Arroio Grande		
CANESM2	RCP 4.5	RCP 8.5
F1	88,3	114,7
F2	147,2	169,9
F3	121,9	-119,9
HADGEM2-ES	RCP 4.5	RCP 8.5
F1	-16,67	-6,10
F2	326,00	122,25
F3	209,55	249,86
MIROC5	RCP 4.5	RCP 8.5
F1	16,0	46,9
F2	44,9	77,2
F3	84,6	208,0
Canguçu		
CANESM2	RCP 4.5	RCP 8.5
F1	115,8	168,0
F2	202,0	196,4
F3	130,8	-129,4
HADGEM2-ES	RCP 4.5	RCP 8.5
F1	18,58	-16,91
F2	199,62	106,35
F3	146,47	213,78
MIROC5	RCP 4.5	RCP 8.5
F1	43,7	212,7
F2	55,4	243,1
F3	98,4	373,9
Capão do Leão		
CANESM2	RCP 4.5	RCP 8.5
F1	96,8	134,0
F2	193,5	227,2
F3	175,6	-103,5
HADGEM2-ES	RCP 4.5	RCP 8.5
F1	-105,49	-80,06
F2	316,82	48,74
F3	118,82	170,81
MIROC5	RCP 4.5	RCP 8.5
F1	10,9	46,8
F2	52,5	107,4
F3	112,3	221,3

Cerrito		
CANESM2	RCP 4.5	RCP 8.5
F1	96,8	144,0
F2	187,4	215,1
F3	153,1	-93,0
HADGEM2-ES	RCP 4.5	RCP 8.5
F1	-1,61	-49,03
F2	203,72	98,54
F3	162,25	207,26
MIROC5	RCP 4.5	RCP 8.5
F1	15,7	34,0
F2	42,3	62,4
F3	93,0	175,6
Herval		
CANESM2	RCP 4.5	RCP 8.5
F1	39,4	44,7
F2	45,9	48,4
F3	73,8	184,1
HADGEM2-ES	RCP 4.5	RCP 8.5
F1	56,99	1,50
F2	163,01	152,05
F3	207,07	254,42
MIROC5	RCP 4.5	RCP 8.5
F1	102,5	306,8
F2	159,7	383,1
F3	116,8	-23,4
Jaguarão		
CANESM2	RCP 4.5	RCP 8.5
F1	79,5	106,2
F2	121,5	159,2
F3	119,5	-130,7
HADGEM2-ES	RCP 4.5	RCP 8.5
F1	32,41	58,46
F2	365,18	186,32
F3	283,43	283,61
MIROC5	RCP 4.5	RCP 8.5
F1	43,9	53,8
F2	36,7	81,2
F3	68,8	227,1

Morro Redondo		
CANESM2	RCP 4.5	RCP 8.5
F1	102,4	147,3
F2	194,1	205,6
F3	145,5	-102,2
HADGEM2-ES	RCP 4.5	RCP 8.5
F1	-8,20	-32,35
F2	181,20	98,38
F3	137,91	192,31
MIROC5	RCP 4.5	RCP 8.5
F1	28,3	42,5
F2	54,2	84,5
F3	114,2	195,8
Pedras Altas		
CANESM2	RCP 4.5	RCP 8.5
F1	62,9	186,3
F2	119,9	257,3
F3	71,9	-50,7
HADGEM2-ES	RCP 4.5	RCP 8.5
F1	78,79	51,42
F2	136,25	198,99
F3	216,08	307,71
MIROC5	RCP 4.5	RCP 8.5
F1	37,8	49,6
F2	51,8	54,7
F3	78,3	189,3
Pedro Osório		
CANESM2	RCP 4.5	RCP 8.5
F1	96,8	144,0
F2	187,4	215,1
F3	153,1	-93,0
HADGEM2-ES	RCP 4.5	RCP 8.5
F1	-1,61	-49,03
F2	203,72	98,54
F3	162,25	207,26
MIROC5	RCP 4.5	RCP 8.5
F1	15,7	34,0
F2	42,3	62,4
F3	93,0	175,6

Pelotas		
CANESM2	RCP 4.5	RCP 8.5
F1	96,8	134,0
F2	193,5	227,2
F3	175,6	-103,5
HADGEM2-ES	RCP 4.5	RCP 8.5
F1	-68,52	-80,06
F2	316,82	48,74
F3	118,82	170,81
MIROC5	RCP 4.5	RCP 8.5
F1	10,9	46,8
F2	52,5	107,4
F3	112,3	221,3
Pinheiro Machado		
CANESM2	RCP 4.5	RCP 8.5
F1	126,5	185,3
F2	207,7	239,1
F3	151,3	-111,1
HADGEM2-ES	RCP 4.5	RCP 8.5
F1	73,49	14,99
F2	126,81	157,19
F3	208,61	278,14
MIROC5	RCP 4.5	RCP 8.5
F1	41,6	51,7
F2	57,1	60,3
F3	57,1	187,8
Piratini		
CANESM2	RCP 4.5	RCP 8.5
F1	128,7	197,6
F2	221,3	246,1
F3	159,0	-43,7
HADGEM2-ES	RCP 4.5	RCP 8.5
F1	94,27	41,22
F2	258,72	188,69
F3	215,07	306,38
MIROC5	RCP 4.5	RCP 8.5
F1	49,5	55,7
F2	58,0	71,2
F3	96,0	189,0

Rio Grande		
CANESM2	RCP 4.5	RCP 8.5
F1	57,2	50,4
F2	128,1	118,2
F3	72,9	-230,9
HADGEM2-ES	RCP 4.5	RCP 8.5
F1	-156,06	-161,43
F2	206,64	-48,58
F3	50,94	26,67
MIROC5	RCP 4.5	RCP 8.5
F1	20,2	46,8
F2	61,5	127,8
F3	75,1	213,2
Santa Vitória do Palmar		
CANESM2	RCP 4.5	RCP 8.5
F1	49,6	78,6
F2	28,5	3,4
F3	72,5	-239,1
HADGEM2-ES	RCP 4.5	RCP 8.5
F1	81,50	44,93
F2	250,52	129,07
F3	230,13	211,00
MIROC5	RCP 4.5	RCP 8.5
F1	57,8	43,6
F2	23,5	65,9
F3	24,7	268,3
Santana da Boa Vista		
CANESM2	RCP 4.5	RCP 8.5
F1	145,5	205,1
F2	305,2	261,3
F3	185,9	-156,8
HADGEM2-ES	RCP 4.5	RCP 8.5
F1	133,85	51,24
F2	395,81	187,19
F3	308,05	348,48
MIROC5	RCP 4.5	RCP 8.5
F1	78,7	97,8
F2	86,4	105,3
F3	117,9	230,3

São José do Norte		
CANESM2	RCP 4.5	RCP 8.5
F1	57,2	50,4
F2	128,1	118,2
F3	72,9	-230,9
HADGEM2-ES	RCP 4.5	RCP 8.5
F1	-156,06	-161,43
F2	206,64	-48,58
F3	50,94	26,67
MIROC5	RCP 4.5	RCP 8.5
F1	20,2	46,8
F2	61,5	127,8
F3	75,1	213,2
São Lourenço do Sul		
CANESM2	RCP 4.5	RCP 8.5
F1	117,4	160,7
F2	257,0	234,5
F3	215,2	-121,6
HADGEM2-ES	RCP 4.5	RCP 8.5
F1	-8,50	-30,64
F2	294,61	98,77
F3	152,51	243,82
MIROC5	RCP 4.5	RCP 8.5
F1	36,6	47,9
F2	81,9	147,4
F3	139,7	236,8
Tavares		
CANESM2	RCP 4.5	RCP 8.5
F1	83,9	100,7
F2	200,8	155,2
F3	179,8	-210,7
HADGEM2-ES	RCP 4.5	RCP 8.5
F1	-31,66	-31,66
F2	52,96	-4,29
F3	63,46	63,46
MIROC5	RCP 4.5	RCP 8.5
F1	46,8	33,9
F2	79,4	134,4
F3	111,3	179,0

Turuçu		
CANESM2	RCP 4.5	RCP 8.5
F1	122,5	167,7
F2	235,3	244,4
F3	199,9	-88,9
HADGEM2-ES	RCP 4.5	RCP 8.5
F1	18,91	-17,92
F2	231,35	122,29
F3	151,06	255,81
MIROC5	RCP 4.5	RCP 8.5
F1	35,5	43,9
F2	67,7	119,4
F3	134,4	217,1

Apêndice C – Anomalias de demanda de água para irrigação para os municípios da região Sul e Campanha do Rio Grande do Sul

Bagé		
CANESM2	RCP 4.5	RCP 8.5
F1	-1,19	-1,98
F2	1,41	-0,10
F3	1,58	9,92
HADGEM2-ES	RCP 4.5	RCP 8.5
F1	3,34	2,69
F2	4,61	2,01
F3	4,18	2,98
MIROC5	RCP 4.5	RCP 8.5
F1	-0,77	-4,38
F2	0,48	-1,06
F3	-2,33	-2,57
Caçapava do Sul		
CANESM2	RCP 4.5	RCP 8.5
F1	-3,99	-3,27
F2	-1,58	1,54
F3	-1,91	36,94
HADGEM2-ES	RCP 4.5	RCP 8.5
F1	15,52	20,17
F2	14,14	13,79
F3	11,78	23,02
MIROC5	RCP 4.5	RCP 8.5
F1	-9,22	-14,86
F2	-0,52	-6,90
F3	-13,30	-8,72

Candiota		
CANESM2	RCP 4.5	RCP 8.5
F1	-0,52	-1,60
F2	1,78	0,16
F3	2,27	9,69
HADGEM2-ES	RCP 4.5	RCP 8.5
F1	3,87	4,10
F2	5,12	3,80
F3	4,77	6,25
MIROC5	RCP 4.5	RCP 8.5
F1	0,34	-1,82
F2	1,20	0,91
F3	-1,78	-0,19
Dom Pedrito		
CANESM2	RCP 4.5	RCP 8.5
F1	-4,22	-4,97
F2	-1,73	-2,59
F3	-0,02	29,04
HADGEM2-ES	RCP 4.5	RCP 8.5
F1	5,84	25,21
F2	9,41	20,25
F3	6,07	23,36
MIROC5	RCP 4.5	RCP 8.5
F1	8,29	-12,73
F2	16,80	-0,51
F3	6,00	-7,60
Hulha Negra		
CANESM2	RCP 4.5	RCP 8.5
F1	-1,09	-2,80
F2	1,56	-6,53
F3	2,26	17,22
HADGEM2-ES	RCP 4.5	RCP 8.5
F1	4,81	6,39
F2	6,64	5,24
F3	6,84	9,50
MIROC5	RCP 4.5	RCP 8.5
F1	-1,93	-5,80
F2	-0,07	-0,72
F3	-5,63	-2,73

Lavras do Sul		
CANESM2	RCP 4.5	RCP 8.5
F1	-1,87	-2,76
F2	-1,11	-1,89
F3	-0,35	18,44
HADGEM2-ES	RCP 4.5	RCP 8.5
F1	5,30	7,04
F2	5,89	3,91
F3	5,29	7,15
MIROC5	RCP 4.5	RCP 8.5
F1	-1,52	-6,16
F2	1,69	-1,50
F3	-5,27	-0,59
Amaral Ferrador		
CANESM2	RCP 4.5	RCP 8.5
F1	-2,47	-4,92
F2	-2,13	-3,30
F3	-4,89	21,33
HADGEM2-ES	RCP 4.5	RCP 8.5
F1	-	-
F2	-	-
F3	-	-
MIROC5	RCP 4.5	RCP 8.5
F1	-3,37	-6,97
F2	-0,17	-1,40
F3	-9,38	1,71
Arroio do Padre		
CANESM2	RCP 4.5	RCP 8.5
F1	-0,53	-0,64
F2	0,49	0,17
F3	-0,10	5,75
HADGEM2-ES	RCP 4.5	RCP 8.5
F1	3,17	1,92
F2	2,59	2,18
F3	4,06	1,98
MIROC5	RCP 4.5	RCP 8.5
F1	0,05	-0,93
F2	0,91	0,30
F3	-1,63	0,67

Arroio Grande		
CANESM2	RCP 4.5	RCP 8.5
F1	1,43	-2,38
F2	6,79	3,25
F3	10,11	21,30
HADGEM2-ES	RCP 4.5	RCP 8.5
F1	14,99	-16,39
F2	22,69	-12,80
F3	21,91	-7,74
MIROC5	RCP 4.5	RCP 8.5
F1	0,50	-3,98
F2	2,17	3,21
F3	-1,71	2,52
Canguçu		
CANESM2	RCP 4.5	RCP 8.5
F1	1,01	-3,61
F2	6,36	5,03
F3	12,02	45,88
HADGEM2-ES	RCP 4.5	RCP 8.5
F1	23,80	32,10
F2	29,52	29,18
F3	32,75	42,87
MIROC5	RCP 4.5	RCP 8.5
F1	-7,52	-16,74
F2	-1,11	-3,87
F3	-12,67	-8,93
Capão do Leão		
CANESM2	RCP 4.5	RCP 8.5
F1	-0,74	-1,76
F2	1,53	0,14
F3	1,69	6,17
HADGEM2-ES	RCP 4.5	RCP 8.5
F1	4,09	4,98
F2	5,81	4,98
F3	5,49	6,81
MIROC5		
F1	-0,26	-1,09
F2	0,76	-0,04
F3	-1,82	0,30

Cerrito		
CANESM2	RCP 4.5	RCP 8.5
F1	0,64	-1,96
F2	4,87	1,15
F3	6,62	17,56
HADGEM2-ES	RCP 4.5	RCP 8.5
F1	8,73	9,33
F2	11,93	9,03
F3	12,00	13,86
MIROC5	RCP 4.5	RCP 8.5
F1	1,20	-2,83
F2	2,49	3,30
F3	-2,36	3,25
Herval		
CANESM2	RCP 4.5	RCP 8.5
F1	0,77	3,63
F2	5,93	5,48
F3	7,77	35,73
HADGEM2-ES	RCP 4.5	RCP 8.5
F1	8,93	9,05
F2	12,06	7,91
F3	13,35	14,51
MIROC5	RCP 4.5	RCP 8.5
F1	16,41	-6,24
F2	20,96	1,12
F3	13,20	-1,49
Jaguarão		
CANESM2	RCP 4.5	RCP 8.5
F1	0,94	3,17
F2	4,48	8,42
F3	7,37	14,60
HADGEM2-ES	RCP 4.5	RCP 8.5
F1	2,19	1,83
F2	5,09	3,00
F3	3,77	8,96
MIROC5	RCP 4.5	RCP 8.5
F1	-1,30	-2,50
F2	1,88	0,56
F3	-0,05	1,28

Morro Redondo		
CANESM2	RCP 4.5	RCP 8.5
F1	-0,34	4,67
F2	3,14	7,00
F3	4,31	14,00
HADGEM2-ES	RCP 4.5	RCP 8.5
F1	-2,10	10,18
F2	0,16	8,43
F3	1,02	13,78
MIROC5	RCP 4.5	RCP 8.5
F1	-0,65	-4,25
F2	0,84	1,11
F3	-5,10	1,05
Pedras Altas		
CANESM2	RCP 4.5	RCP 8.5
F1	2,08	-2,09
F2	5,88	2,31
F3	9,07	16,31
HADGEM2-ES	RCP 4.5	RCP 8.5
F1	1,39	1,34
F2	6,88	2,04
F3	5,29	5,04
MIROC5	RCP 4.5	RCP 8.5
F1	-2,43	-6,73
F2	1,60	-1,54
F3	-2,78	-3,37
Pedro Osório		
CANESM2	RCP 4.5	RCP 8.5
F1	-0,13	-1,32
F2	1,89	0,25
F3	2,12	5,80
HADGEM2-ES	RCP 4.5	RCP 8.5
F1	2,66	2,99
F2	4,42	3,58
F3	4,20	4,53
MIROC5	RCP 4.5	RCP 8.5
F1	-0,17	-1,29
F2	0,61	0,99
F3	-1,52	1,16

Pelotas		
CANESM2	RCP 4.5	RCP 8.5
F1	33,42	29,05
F2	40,13	34,89
F3	43,14	66,61
HADGEM2-ES	RCP 4.5	RCP 8.5
F1	50,35	57,31
F2	59,58	59,66
F3	58,38	72,85
MIROC5	RCP 4.5	RCP 8.5
F1	26,56	21,08
F2	29,54	33,36
F3	22,71	29,56
Pinheiro Machado		
CANESM2	RCP 4.5	RCP 8.5
F1	-0,43	-2,82
F2	4,43	1,60
F3	5,92	24,85
HADGEM2-ES	RCP 4.5	RCP 8.5
F1	11,17	11,47
F2	13,05	9,53
F3	14,93	16,95
MIROC5	RCP 4.5	RCP 8.5
F1	0,33	-6,12
F2	2,78	1,29
F3	-4,34	-1,10
Piratini		
CANESM2	RCP 4.5	RCP 8.5
F1	0,09	-3,69
F2	4,39	0,65
F3	4,68	22,41
HADGEM2-ES	RCP 4.5	RCP 8.5
F1	12,33	12,97
F2	12,53	9,93
F3	15,69	17,59
MIROC5	RCP 4.5	RCP 8.5
F1	-0,12	-5,12
F2	2,00	1,33
F3	-5,14	0,34

Rio Grande		
CANESM2	RCP 4.5	RCP 8.5
F1	0,82	-0,52
F2	2,16	1,54
F3	2,57	6,69
HADGEM2-ES	RCP 4.5	RCP 8.5
F1	2,99	3,28
F2	4,54	3,81
F3	4,95	5,64
MIROC5	RCP 4.5	RCP 8.5
F1	6,27	-0,42
F2	6,82	1,02
F3	5,23	1,86
Santa Vitória do Palmar		
CANESM2	RCP 4.5	RCP 8.5
F1	1,66	-0,80
F2	4,89	4,16
F3	6,32	9,88
HADGEM2-ES	RCP 4.5	RCP 8.5
F1	2,44	0,89
F2	5,32	2,80
F3	2,34	2,28
MIROC5	RCP 4.5	RCP 8.5
F1	-0,93	-1,69
F2	0,48	1,74
F3	-0,01	-0,66
Santana da Boa Vista		
CANESM2	RCP 4.5	RCP 8.5
F1	-1,12	-2,73
F2	0,72	1,03
F3	0,78	24,95
HADGEM2-ES	RCP 4.5	RCP 8.5
F1	10,15	14,98
F2	9,43	10,49
F3	10,22	16,52
MIROC5	RCP 4.5	RCP 8.5
F1	-9,30	-12,26
F2	-2,11	-5,11
F3	-9,11	-6,85

São José do Norte		
CANESM2	RCP 4.5	RCP 8.5
F1	1,48	-0,66
F2	2,50	3,52
F3	6,11	17,52
HADGEM2-ES	RCP 4.5	RCP 8.5
F1	24,77	26,43
F2	25,14	24,79
F3	28,94	32,88
MIROC5	RCP 4.5	RCP 8.5
F1	0,07	-2,57
F2	0,37	0,85
F3	1,14	3,86
São Lourenço do Sul		
CANESM2	RCP 4.5	RCP 8.5
F1	0,43	-3,63
F2	3,06	-0,98
F3	2,08	19,86
HADGEM2-ES	RCP 4.5	RCP 8.5
F1	12,94	11,33
F2	11,32	11,65
F3	18,13	15,50
MIROC5	RCP 4.5	RCP 8.5
F1	-3,18	-2,58
F2	-1,50	2,59
F3	-6,89	4,42
Tavares		
CANESM2	RCP 4.5	RCP 8.5
F1	4,65	1,21
F2	3,77	6,18
F3	3,78	37,22
HADGEM2-ES	RCP 4.5	RCP 8.5
F1	18,47	18,47
F2	14,74	14,74
F3	24,89	26,50
MIROC5	RCP 4.5	RCP 8.5
F1	-3,06	-3,98
F2	-0,34	-0,76
F3	-1,68	6,43

Turuçu		
CANESM2	RCP 4.5	RCP 8.5
F1	0,53	-2,23
F2	3,14	0,51
F3	3,52	14,95
HADGEM2-ES	RCP 4.5	RCP 8.5
F1	9,70	9,95
F2	10,27	10,39
F3	13,57	14,53
MIROC5	RCP 4.5	RCP 8.5
F1	-1,9	-4,05
F2	0,13	0,23
F3	-4,11	0,78