RELATÓRIO AMB-1
VERSÃO FINAL

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE TRANSPORTES PÚBLICOS - ANTP

Avaliação de Vulnerabilidade Ambiental e Socioeconômica para o Município de Curitiba

Project nº: 604470 – Adaptação Curitiba

FEVEREIRO DE 2012

SNC·LAVALIN

AVALIAÇÃO DE VULNERABILIDADE AMBIENTAL E SOCIOECONÔMICA PARA O MUNICÍPIO DE CURITIBA

Relatório Final AMB-1

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE TRANSPORTES PÚBLICOS - ANTP
São Paulo, São Paulo

N/Ref.: 604470 – Adaptação Curitiba

V/Ref.: GEF nº 007

Fevereiro de 2012

Preparado por: Wanda Batista de Amorim Data: 23/02/2012
Wanda Batista de Amorim, Ph.D.
Especialista Ambiental

Preparado por: _____ Data: 29/02/12
Luc Vescovi, Ph.D.
Especialista em Adaptação às Mudanças Climáticas

Verificado por: Myrzah Bello Data: 29/02/2012.
Myrzah Bello, M. Sc., M. Eng
Diretora, Mudanças climáticas

SNC • LAVALIN
Projetos

AVISO

Este documento exprime a opinião profissional de SNC-Lavalin Projetos Ltda. ("SLPL") no que diz respeito aos assuntos que nele são abordados. A opinião foi formulada com base nas competências profissionais no assunto e tomando as precauções que se impõem. O documento deve ser interpretado no contexto do contrato datado do dia 21 de novembro de 2011 celebrado entre a SLPL e a ANTP, tendo igualmente em conta a metodologia, os procedimentos e as técnicas utilizadas, e as hipóteses da SLPL, bem como as circunstâncias e os constrangimentos que prevaleceram durante a execução deste mandato. O único objectivo deste documento é o que está definido na Convenção, destinando-se exclusivamente ao uso do Cliente e sendo os recursos limitados aos que estão previstos na Convenção. Deve ser lido como um todo, não podendo uma parte ou um extrato isolado serem lidos fora do seu contexto.

Ao preparar as suas estimativas, sempre que for o caso, SLPL seguiu o método e os procedimentos requeridos e tomou as precauções adequadas ao grau de exatidão visado, com base nas suas competências profissionais no assunto e tomando as precauções que se impunham, sabendo que há uma forte probabilidade que os valores reais sejam compatíveis com as estimativas. No entanto, a exatidão destas estimativas não pode ser garantida. Salvo indicação contrária expressa, SLPL não contra-verificou as hipóteses, os dados e as informações provenientes de outras fontes (incluindo o Cliente, os outros consultores, os laboratórios de ensaio, os fornecedores de equipamentos, etc.) e sobre as quais a sua opinião é fundada. SLPL não assume de modo algum a sua exatidão e declina qualquer responsabilidade a esse respeito.

Tanto quanto o permitem as leis aplicáveis, a SLPL declina além disso qualquer responsabilidade para com o Cliente e para com terceiros no que diz respeito à utilização (publicação, reenvio, referência, citação ou divulgação) da totalidade ou de parte do presente documento, bem como de qualquer decisão tomada ou ação empreendida baseando-se no presente documento.

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO 7
1.1 Descrição dos modelos e da metodologia adotada para extração dos dados do CRU e dos modelos Regional e Global 9
1.1.1 Dados do CRU 9
1.1.2 Dados do modelo global 10
1.1.3 Dados do modelo regional 11
1.2 Descrição dos cenários 12

2. CAPÍTULO I: FORNECIMENTO DE DADOS EM FORMATO SIMPLES (CLIMA ATUAL) .. 15

3. CAPÍTULO II: CARACTERIZAÇÃO DO CLIMA ATUAL (1961-1990) PARA A CIDADE DE CURITIBA - PR 16
3.1 Dados do CRU 17
3.2 Dados do modelo Regional HadRM3P 20
3.3 Dados do modelo Global CCCma_cgcm3 22
3.4 Comparação entre os dado CRU, HadRM3P e CGCM3 32

4. CAPÍTULO III: FORNECIMENTO DE DADOS EM FORMATO SIMPLES (CLIMA FUTURO) 33

5. CAPÍTULO IV: CARACTERIZAÇÃO DO CLIMA FUTURO (2010 – 2100) PARA A CIDADE DE CURITIBA – PR 34

6. CAPÍTULO V: IMPACTOS DE UM POSSÍVEL CLIMA FUTURO MAIS QUENTE 35
6.1 Revisão da literatura 35
6.1.1 Análise regional a partir de modelos globais 35
6.1.2 Análise regional a partir de modelos regionais 37
6.2 Análise a partir dos dados extraídos 40
6.2.1 CGCM3 40
6.2.2 HadRM3P 46

7. CONCLUSÕES 52

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1: Grid do modelo global do CGCM. 7
Figura 1.2: Grid do modelo regional HadRM3P 8
Figura 1.3: Grid dos dados do CRU 8
Figura 1.4: Esquema de um modelo de circulação global da atmosfera. 10
Figura 1.5: Esquema de um modelo regional do clima 12
Figura 1.6: Representação dos cenários SRES, extraída do relatório do IPCC (2007) 13
Figura 1.7: Cenários de emissões de GEE de 2000 a 2100 (na ausência de políticas climáticas extras) e as previsões de temperatura de superfície (à direita), extraída do relatório do IPCC (2007) 14
Figura 3.1: Médias móveis de temperatura de 10 anos na escala mensal para os dados do CRU 17
Figura 3.2: Médias móveis de precipitação de 10 anos na escala mensal para os dados do CRU 18
Figura 3.3: Médias móveis de temperatura de 10 anos na escala sazonal para os dados do CRU 19
Figura 3.4: Médias móveis de precipitação de 10 anos na escala sazonal para os dados do CRU 19
Figura 3.5: Médias móveis de temperatura de 10 anos na escala mensal para os dados do HadRM3P 20
Figura 3.6: Médias móveis de precipitação de 10 anos na escala mensal para os dados do HadRM3P 20

Figura 3.7: Médias móveis de temperatura de 10 anos na escala sazonal para os dados do HadRM3P 21
Figura 3.8: Médias móveis de precipitação de 10 anos na escala sazonal para os dados do HadRM3P 21
Figura 3.9: Médias móveis de temperatura de 10 anos na escala mensal para R1 dos dados do CCCma_cgcm3 22
Figura 3.10: Médias móveis de temperatura de 10 anos na escala mensal para R2 dos dados do CCCma_cgcm3 22
Figura 3.11: Médias móveis de temperatura de 10 anos na escala mensal para R3 dos dados do CCCma_cgcm3 23
Figura 3.12: Médias móveis de temperatura de 10 anos na escala mensal para R4 dos dados do CCCma_cgcm3 23
Figura 3.13: Médias móveis de temperatura de 10 anos na escala mensal para R5 dos dados do CCCma_cgcm3 24
Figura 3.14: Médias móveis de precipitação de 10 anos na escala mensal para R1 dos dados do CCCma_cgcm3 24
Figura 3.15: Médias móveis de precipitação de 10 anos na escala mensal para R2 dos dados do CCCma_cgcm3 25
Figura 3.16: Médias móveis de precipitação de 10 anos na escala mensal para R3 dos dados do CCCma_cgcm3 25
Figura 3.17: Médias móveis de precipitação de 10 anos na escala mensal para R4 dos dados do CCCma_cgcm3 26
Figura 3.18: Médias móveis de precipitação de 10 anos na escala mensal para R5 dos dados do CCCma_cgcm3 26
Figura 3.19: Médias móveis de temperatura de 10 anos na escala sazonal para R1 dos dados do CCCma_cgcm3 27
Figura 3.20: Médias móveis de temperatura de 10 anos na escala sazonal para R2 dos dados do CCCma_cgcm3 27
Figura 3.21: Médias móveis de temperatura de 10 anos na escala sazonal para R3 dos dados do CCCma_cgcm3 28
Figura 3.22: Médias móveis de temperatura de 10 anos na escala sazonal para R4 dos dados do CCCma_cgcm3 28
Figura 3.23: Médias móveis de temperatura de 10 anos na escala sazonal para R5 dos dados do CCCma_cgcm3 29
Figura 3.24: Médias móveis de precipitação de 10 anos na escala sazonal para R1 dos dados do CCCma_cgcm3 29
Figura 3.25: Médias móveis de precipitação de 10 anos na escala sazonal para R2 dos dados do CCCma_cgcm3 30
Figura 3.26: Médias móveis de precipitação de 10 anos na escala sazonal para R3 dos dados do CCCma_cgcm3 30
Figura 3.27: Médias móveis de precipitação de 10 anos na escala sazonal para R4 dos dados do CCCma_cgcm3 31
Figura 3.28: Médias móveis de precipitação de 10 anos na escala sazonal para R5 dos dados do CCCma_cgcm3 31
Figura 3.29: Médias mensais de temperatura (1961-1990) a partir dos dados do CRU, do CGCM3 e do HadRM3P 32
Figura 3.30: Médias mensais de precipitação (1961-1990) a partir dos dados do CRU, do CGCM3 e do HadRM3P 32
Figura 6.1: Tendência do aquecimento climático para o Sul da América do Sul (Extraído de Christiansen et al. 2007) 35
Figura 6.2: Tendência das mudanças climáticas para o Sul da América do Sul (Extraído de Christiansen et al. 2007) 36
Figura 6.3: Modelagem regional para a América do Sul (Extraído de Marengo et al. 2009a) 37
Figura 6.4: Modelagem regional das precipitações para a América do Sul (Extraído de Marengo et al. 2009a) 38
Figura 6.5: Zonas de estudo da análise de mudanças climáticas através da modelagem regional (extraída de Marengo et al., 2009a) 38
Figura 6.6: Ciclo anual modelado para a temperatura para a região S (extraído de Marengo et al. 2009a) 39

Figura 6.7: Ciclo anual modelado das precipitações para a região S (extraído de Marengo et al. 2009a) ... 39
Figura 6.8: Anomalias mensais das temperaturas simuladas pelo modelo CGCM3 sobre Curitiba ... 40
Figura 6.9: Anomalias sazonais das temperaturas modeladas para as cinco execuções do modelo global CGCM3 sobre Curitiba ... 40
Figura 6.10: Evolução da temperatura para o verão no século XXI (CGCM3) ... 41
Figura 6.11: Evolução da temperatura para o outono no século XXI (CGCM3) ... 41
Figura 6.12: Evolução da temperatura para o inverno no século XXI (CGCM3) ... 42
Figura 6.13: Evolução da temperatura para a primavera no século XXI (CGCM3) ... 42
Figura 6.14: Delta das precipitações mensais simuladas pelo modelo global CGCM3 sobre Curitiba ... 43
Figura 6.15: Delta das precipitações sazonais simuladas pelo modelo global CGCM3 sobre Curitiba ... 44
Figura 6.16: Precipitações previstas pelo modelo global CGCM3 para o verão no século XXI ... 44
Figura 6.17: Precipitações previstas pelo modelo global CGCM3 para o outono no século XXI ... 45
Figura 6.18: Precipitações previstas pelo modelo global CGCM3 para o inverno no século XXI ... 45
Figura 6.19: Precipitações previstas pelo modelo global CGCM3 para a primavera no século XXI ... 46
Figura 6.20: Anomalias sazonais das temperaturas simulados pelo modelo regional HadRM3P sobre Curitiba ... 47
Figura 6.21: Médias móveis de 10 anos para o verão do século XXI (HadRM3P) ... 47
Figura 6.22: Médias móveis de 10 anos para o outono do século XXI (HadRM3P) ... 48
Figura 6.23: Médias móveis de 10 anos para o inverno do século XXI (HadRM3P) ... 48
Figura 6.24: Médias móveis de 10 anos para a primavera do século XXI (HadRM3P) ... 49
Figura 6.25: Variações das precipitações sazonais simuladas pelo HadRM3P sobre Curitiba ... 49
Figura 6.26: Evolução das precipitações no verão para o século XXI (HadRM3P) ... 50
Figura 6.27: Evolução das precipitações no outono para o século XXI (HadRM3P) ... 50
Figura 6.28: Evolução das precipitações no inverno para o século XXI (HadRM3P) ... 51
Figura 6.29: Evolução das precipitações na primavera para o século XXI (HadRM3P) ... 51

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1: Lista de arquivos referentes ao Capítulo I ... 15
Tabela 3.1: Lista de arquivos referentes ao Capítulo II ... 16
Tabela 4.1: Lista de arquivos referentes ao Capítulo III ... 33
Tabela 5.1: Lista de arquivos referentes ao Capítulo IV ... 34
Tabela 6.1: Médias regionais das projeções de temperatura e precipitação geradas por 21 modelos globais para o cenário A1B (extraída de Christiansen et al. 2007) para a região SSA ... 35
Tabela 7.1: Sumário preliminar das mudanças climáticas previstas para a região metropolitana de Curitiba ... 52

ABREVIATURAS

ANTP	Associação Nacional de Transportes públicos
CRU	*Climatic Research Unit*
CCCM	*Canadian Center for Climate Modeling*
CCCma	*Canadian Centre for Climate Modelling and Analysis*
CGCM	*Coupled Global Climate Model*
CGCM3	*Coupled Global Climate Model version 3*
DDC	*Data Distribution Centre*
GEE	*Gases a Efeito Estufa*
HadCM3	*Hadley Centre Coupled Model version 3*
HadRM3P	*Hadley Centre Regional Model version 3*
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
SLPL	SNC-Lavalin Projetos Ltda.
IPCC	*Intergovernmental Panel on Climate Change*
MCG	Modelo de Circulação Geral
MGC	Modelo Global do Clima
MRG	Modelo Regional do Clima
MCGA2	Modelo de Circulação Geral da Atmosfera versão 2
RH	Umidade Relativa
SH	Umidade específica
SP	Pressão superficial
SRES	*Special Report on Emissions Scenarios*
SSA	Sul da América do Sul
T	Temperatura
UK	*United King*

1. INTRODUÇÃO

Este documento trata-se do Primeiro Relatório Técnico relativo à etapa de Avaliação das Vulnerabilidades e Potencialidades Ambientais. Os produtos apresentados neste relatório foram gerados a partir dos dados meteorológicos observacionais do CRU (*Climatic Research Unit)*, dos modelos climáticos regional HadRM3P e global CCCma_cgcm3.

Vale salientar que modelos em geral apresentam incertezas. Logo, a interpretação dos resultados dos mesmos tem que levar em consideração estas incertezas.

Conforme estabelecido na seção V do Termo de Referência, este relatório apresenta 5 (cinco) capítulos.

Visto que grande parte das informações apresentadas se encontra em formato Excel, cada um dos capítulos apresenta a lista dos itens solicitados assim como os nomes dos arquivos onde se encontram os dados em formato Excel.

A Figura 1.1 apresenta os *grids* do CGCM (*Canadian Center for Climate Modeling), conforme apresentado no site GIS do projeto:* https://envirgis.snclavalin.com/flexbraziltest/index.html. O domínio dos dados extraídos está apresentado em azul e o ponto do *grid* localizado mais próximo da região de Curitiba cujos dados foram extraídos e se encontram apresentados neste relatório está em destaque. As longitudes e as latitudes dos grids das extremidades do domínio extraído também estão apresentadas nesta Figura, vale salientar que os pares de valores são negativos.

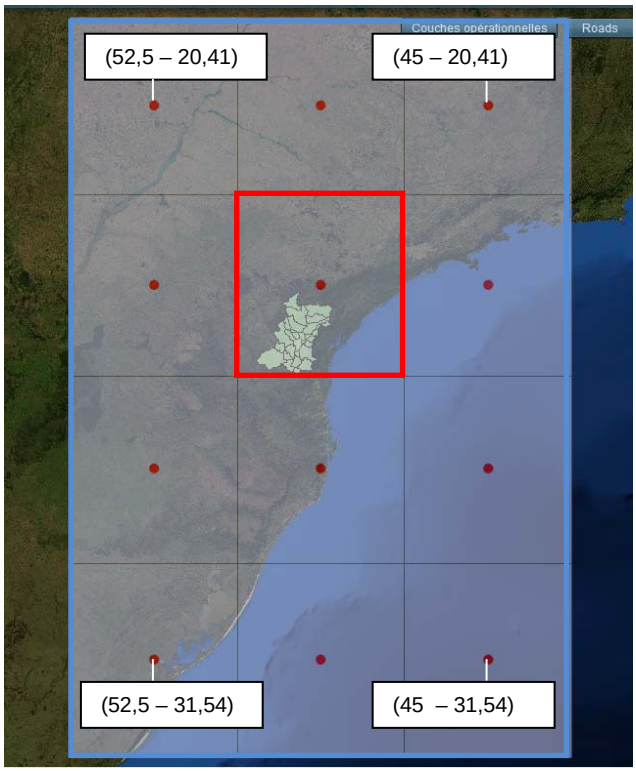

Figura 1.1: Grid do modelo global do CGCM.

A Figura 1.2 apresenta os *grids* do modelo regional HadRM3P, *conforme apresentado no site GIS do projeto:* https://envirgis.snclavalin.com/flexbraziltest/index.html. O domínio dos dados extraídos está apresentado em azul e os pontos de *grids* localizados na região de Curitiba cujos dados foram extraídos e se encontram apresentados neste relatório está em destaque. As longitudes e as latitudes (valores negativos) dos grids das extremidades do domínio extraído também estão apresentadas nesta Figura.

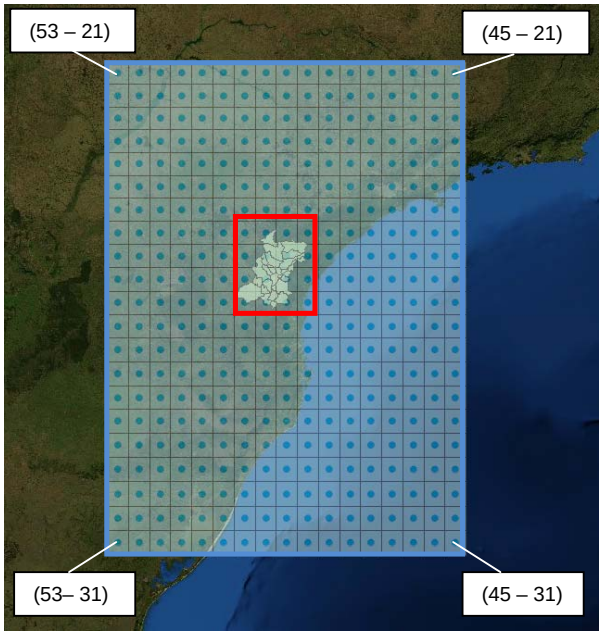

Figura 1.2: Grid do modelo regional HadRM3P

O domínio dos dados extraídos do CRU é similar ao domínio dos dados extraídos do HadRM3P, conforme apresentado na Figura 1.3. Os dois *grids* em destaque são os que foram considerados para extrair os dados referentes a cidade de Curitiba. As longitudes e as latitudes (valores negativos) dos *grids* das extremidades do domínio extraído também estão apresentadas nesta Figura.

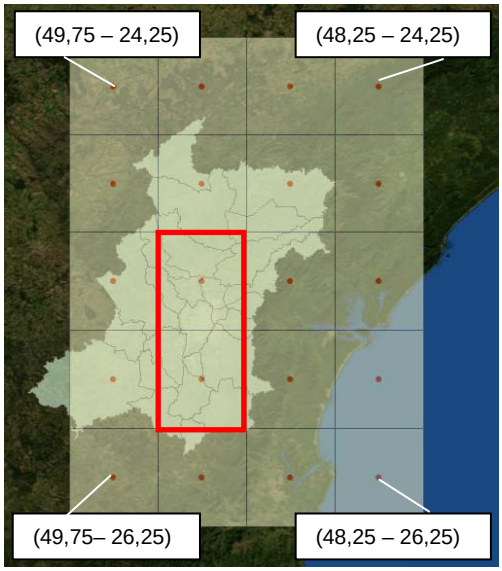

Figura 1.3: Grid dos dados do CRU

1.1 Descrição dos modelos e da metodologia adotada para extração dos dados do CRU e dos modelos Regional e Global

1.1.1 Dados do CRU

O *CRU* é internacionalmente reconhecido como sendo uma instituição líder nos estudos relacionados às mudanças climáticas naturais e antropogênicas. O instituto faz parte integrante da Universidade East Anglia localizada em Norwich, Reino Unido. Composta de uma equipe de aproximadamente trinta cientistas e estudantes, o instituto tem desenvolvido uma série de conjuntos de dados amplamente utilizados em pesquisas climáticas como, por exemplo, o registro das temperaturas globais usado para monitorar o sistema climático e o instituto também tem desenvolvido pacotes de softwares estatísticos e de modelos climáticos. O CRU conta com a rede *CLIMATE* para atualizar suas séries de dados em tempo quase-real. Depois de feito o controle qualidade do Centro Hadley, estas informações são disponibilizadas ao público[1] (desde 2000).

Os dados do CRU *Global Climate* estão disponíveis através do Centro de Distribuição de Dados (*Data Distribution Centre,* DDC) do IPCC (*Intergovernmental Panel Climate Change*). Os dados disponíveis consistem em médias mensais climatológicas para o período de 1961-1990 assim como para períodos de 10 anos. No entanto, visto que o Termo de referência solicita a apresentação de séries temporais de temperatura e precipitação mês a mês e não apenas médias mensais para períodos anuais como disponibilizados pelo IPCC, a SNC teve que obter os dados diretamente do *British Atmospheric Data Centre* (https://badc.nerc.ac.uk/sso/wayf?r=aHR0cHM6Ly9iYWRjLm5lcmMuYWMudWsvYnJvd3Nl). Os dados de temperatura e precipitação foram baixados para o período de 1901 a 2009. Os dados estão dispostos em *grids* 0,5 grau o que inclui 720 colunas (longitudes) e 360 linhas (latitudes) para todos os meses do período. A primeira coluna encontra-se na direção mais a oeste (centrada no ponto 179.75W). Para identificar que células deveriam ser extraídas, foi necessário contar de cima e da esquerda da tela. Por exemplo, a latitude do ponto do domínio do estudo localizada mais ao sul é 26,00S. Isto equivale a linha 128 de cada *grid*. Um cálculo similar pode ser feito para a latitude mais ao norte, a longitude mais ao norte do domínio do estudo é 50,00W. Isto equivale à coluna 260 de cada *grid*. Os cálculos realizados foram realizados com o apoio do Sr. Harris Ian, responsável pelo suporte técnico do site.

[1] http://hadobs.metoffice.com/crutem3/data/station_updates

1.1.2 Dados do modelo global

O modelo de circulação global da atmosfera de terceira geração (CGCM3) é a terceira versão do modelo agrupado do clima desenvolvido pelo Centro Canadense de modelagem e de análise climática. Em um modelo agrupado, os diferentes componentes da atmosfera do oceano e da superfície do solo são integrados, conforme apresentado na Figura 1.4.

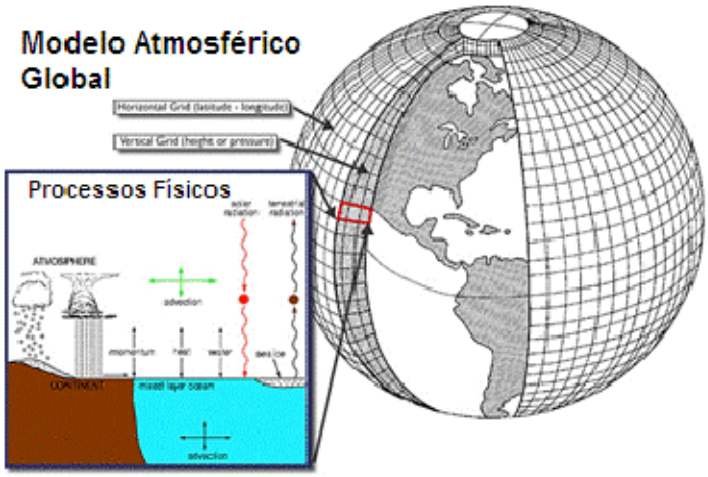

Figura 1.4: Esquema de um modelo de circulação global da atmosfera.

O modelo CGCM3 foi utilizado para produzir uma sequência exaustiva de simulações para o quarto relatório de avaliação do IPCC. Os dados se encontram disponíveis ao público no site do CCCMA: http://www.cccma.ec.gc.ca/data/data.shtml.

O tratamento dos inúmeros processos físicos parametrizados no modelo CGCM3 é similar ao observado no modelo de geração anterior (MCGA2), do ponto de vista qualitativo. Contudo, algumas características importantes são novas como em particular a introdução do modulo CLASS que permite tratar os processos da superfície terrestre (Verseghy et al., 1992). Este novo esquema apresenta 3 camadas de solo e uma camada de neve onde aplicável e pode considerar a cobertura vegetal.

A versão MCCG3.1 do modelo é executada em duas resoluções diferentes. A versão T47 da qual foram utilizados os resultados neste relatório utiliza uma malha de superfície cuja resolução espacial é de aproximadamente 3,75 graus na latitude e longitude, com 31 níveis na vertical. A malha oceânica utiliza o mesmo perfil terrestre que a malha atmosférica, mais possui quatro malhas sob cada malha atmosférica. A resolução da malha oceânica é, portanto de aproximadamente 1,85 graus, com 29 níveis na vertical.

Os dados diários e mensais simulados pelo CGCM3 foram baixados do site do *Canadian Center for Climate Modeling and Analysis* (http://www.cccma.ec.gc.ca/data/data.shtml). Os dados de temperatura, precipitação, umidade específica e pressão para cada dia e mês do período 1961 a 2001 foram baixados para as cinco execuções (*Runs*) do modelo. Como os dados de umidade relativas não são fornecidos diretamente do modelo foi utilizada a fórmula a seguir, obtida através de comunicação pessoal com o CCCMA (2012), para conversão dos dados de umidade específica, a qual leva em consideração que a fase aquosa (E) é uma função da Temperatura (T):

$$E = \exp(A - \frac{B}{T})$$

$$RH = SH * \frac{SP - Eps2 \cdot E}{Eps1 \cdot E}$$

Onde A, B, Eps1 e Eps2 são constantes:
A = 21,656;
B = 5423;
$Eps1 = 0{,}622$ e $Eps2 = 0{,}378$;
RH = umidade relativa em %;
SH = umidade específica em kg/kg;
SP = pressão superficial em Pa;
T = temperatura em K.

A umidade relativa para cada dia e mês foi calculada a partir dos valores diários ou mensais de pressão superficial, temperatura e umidade específica. Os valores de temperatura e pressão para os cenários A1B e A2 também foram baixados do site.

As taxas de precipitação fornecidas pelo modelo em kg/m^2.s foram convertidas em quantidade de precipitação total (mm) por mês, através da multiplicação da taxa de acumulada em kg/m^2.s pelo número de segundos do mês e pela densidade da água.

1.1.3 Dados do modelo regional

Um Modelo Regional do clima (MRC) permite aumentar a resolução horizontal e vertical do Modelo Global do Clima (MGC) para uma área de interesse menor, conforme apresentado na Figura 1.5, e permite cobrir uma zona de 5000 km x 5000 km. O modelo global determina os efeitos em grande escala de evolução das concentrações de GEE, das erupções vulcânicas, etc. sobre o clima mundial. O modelo regional utiliza como dados de entrada o clima (temperatura, vento, etc.) calculado pelo modelo global.

O modelo regional HadRM3P do *Hadley Centre* é baseado no modelo do *UK Met Office* de Circulação Geral HadCM3. O HadCM3 é a terceira versão do modelo agrupado do Centro Hadley e foi também um dos principais modelos utilizados no relatório de avaliação do IPCC.

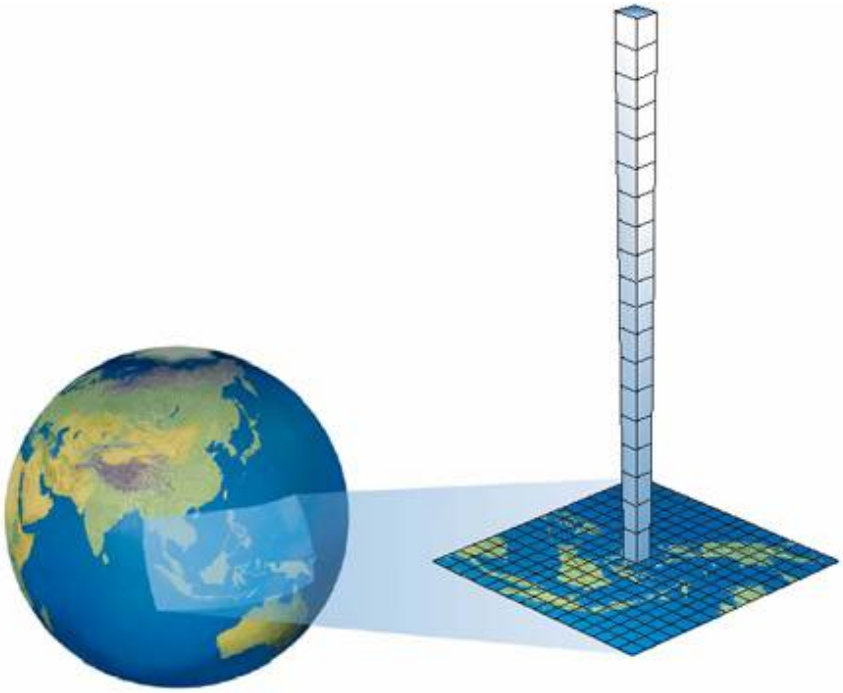

Figura 1.5: Esquema de um modelo regional do clima

Os dados de temperatura e precipitação do modelo regional HadRM3P foram obtidos com o apoio do INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais), visto que a equipe de pesquisa do INPE foi responsável pela realização das modelagens usando este modelo na região de estudo. Vale salientar que a base de dados extraída para a região de estudo apresentava alguns dados faltantes, para completá-la a SLPL usou a média dos dados disponíveis nos demais anos para o dia em questão. Os dias para os quais a base de dados não apresentavam dados foram os seguintes por cenário:

Para o cenário B2 (Temperatura e Pressão): 14 a 15 de julho de 2071, 14 de janeiro de 2080 e 4 a 13 e 21 a 30 de novembro de 2079.

Para o cenário atual (Temperatura e Pressão): 14 e 23 a 30 de novembro de 1966.

1.2 Descrição dos cenários

Os cenários de emissões de Gases a Efeito Estufa (GEE) geralmente denominados SRES foram publicados em 2001 no terceiro relatório do IPCC e foram igualmente a base dos trabalhos do quarto relatório de avaliação do IPCC de 2007. Eles equivalem a quatro evoluções futuras possíveis de emissões de gases a efeito estufa. A Figura 1.6 apresenta as famílias de cenários: A1, A2, B1 e B2.

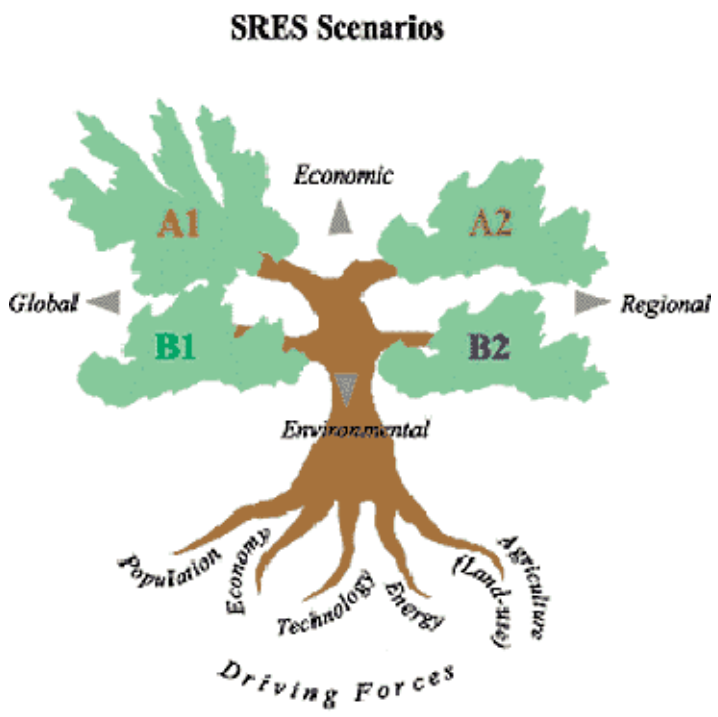

Figura 1.6: Representação dos cenários SRES, extraída do relatório do IPCC (2007)

Dois dos cenários dão mais ênfase às riquezas materiais (letra A) e os outros dois são mais voltados para a sustentabilidade e a equidade (letra B). Além disso, dois cenários enfatizam a globalização (número 1) e os outros dois o nível regional (número 2). Desta forma, os cenários possíveis são os seguintes:

- A1: mundo globalizado homogêneo (tendência do mercado);
- A2: mundo regionalizado heterogêneo (incompatibilidade das civilizações) e forte atividade econômica;
- B1: mundo regionalizado marcado por políticas voltadas para a sustentabilidade e a equidade (desenvolvimento sustentável);
- B2: mundo regionalizado marcado por políticas voltadas para a sustentabilidade e a equidade (mistura da zona verde).

Estes cenários são levados em consideração pelos modelos de circulação globais e regionais para simular o clima futuro.

A Figura 1.7 (extraída do relatório do IPPC de 2007) mostra a evolução total das emissões anuais mundiais de CO_2 provenientes de todas as fontes (energia, indústria e mudança de utilização das terras) de 1990 a 2100 (em gigatoneladas de carbono por ano, $GtCO_2$/ano) para as famílias (A1, A2, B1 e B2) e os grupos: A1F1 forte consumo de energias fósseis (carbono, petróleo e gases), A1T utilização predominante de combustíveis não-fósseis, A1B consumo equilibrado de combustíveis. A elevação global das temperaturas associada aos cenários e consequentemente ao aquecimento é apresentada no gráfico da direita da Figura 1.7, a linha rosa não se refere a um cenário apenas indica a evolução da temperatura considerando a hipótese que a partir do ano de 2000 não haverá mais emissões.

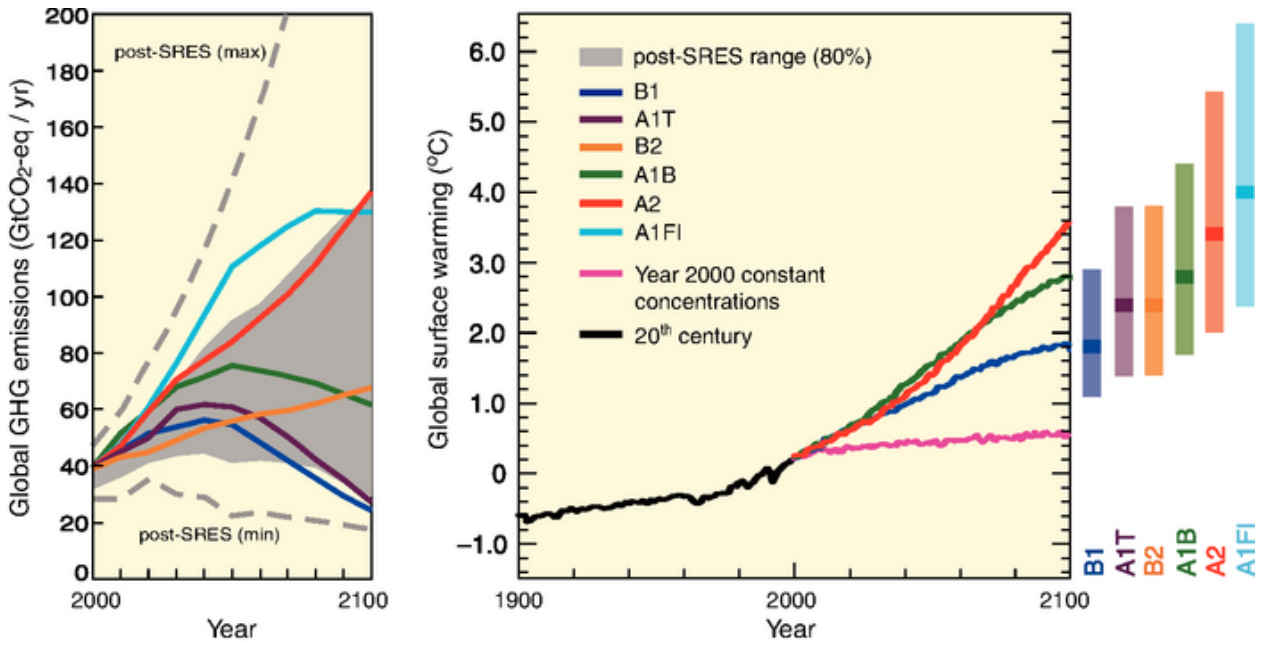

Figura 1.7: Cenários de emissões de GEE de 2000 a 2100 (na ausência de políticas climáticas extras) e as previsões de temperatura de superfície (à direita), extraída do relatório do IPCC (2007)

2. CAPÍTULO I: FORNECIMENTO DE DADOS EM FORMATO SIMPLES (CLIMA ATUAL)

Todos os produtos que fazem parte deste capítulo são fornecidos em arquivos Excel. A Tabela 2.1 apresenta os nomes dos arquivos assim como seus respectivos conteúdos.

Os dados do modelo global CGCM3 foram obtidos do CCCMA (*Canadian Center for Climate Modeling and Analysis*). Vale salientar que são apresentados dados para as cinco execuções (*Runs*) do modelo Global para o ponto de *grid* apresentado na Figura 1.1.

Os dados apresentados para o modelo regional HadRM3P foram obtidos a partir da média dos valores extraídos para os 16 pontos de *grids* destacados na Figura 1.2.

Da mesma forma, os dados apresentados para os dados extraídos do CRU foram obtidos a partir da média dos valores extraídos para os 20 pontos de *grids*.

Tabela 2.1: Lista de arquivos referentes ao Capítulo I

Arquivo	Conteúdo
CRU mês a mês 1961-1990.xlsx	Séries de dados temporais de temperatura e precipitação observados (CRU) mês a mês desde 1961 até 1990
HadRM3P diária 1980-1989.xlsx	Séries temporais de temperatura e precipitação do modelo regional HadRM3P média diária desde 1980 até 1989
CCCma_cgcm3 diária 1961-2000.xls	Séries temporais de temperatura e precipitação do modelo Global CCCma_cgcm3 média diária desde 1961 até 2000
CCCma_cgcm3 mensal 1961-2000.xls	Séries temporais de umidade relativa, temperatura e precipitação do modelo Global CCCma_cgcm3 média mensal desde 1961 até 2000
CRU média sazonais para 5 e 10 anos.xlsx	Médias sazonais para 5 e 10 anos dos dados do CRU
HadRM3P sazonais 5 e 10 anos 1961-1990.xlsx	Médias sazonais para 5 e 10 anos dos dados do modelo regional HadRM3P
CCCma_cgcm3 sazonais 5 e 10 anos 1961-1990.xlsx	Médias sazonais para 5 e 10 anos dos dados do modelo Global CCCma_cgcm3

3. CAPÍTULO II: CARACTERIZAÇÃO DO CLIMA ATUAL (1961-1990) PARA A CIDADE DE CURITIBA - PR

O capítulo II é composto pelos arquivos de dados em Excel e pelos gráficos que caracterizam o clima atual. A Tabela 3.1 apresenta os nomes dos arquivos assim como seus respectivos conteúdos. Conforme solicitado no Termo de referência, os dados do CRU apresentados neste capítulo foram obtidos através da média dos dados dos dois *grids* localizados na cidade de Curitiba. Vale salientar que por convenção os meses adotados para o verão: dezembro, janeiro e fevereiro; para o outono: março, abril e maio; para o inverno: junho, julho e agosto e para a primavera: setembro, outubro e novembro. Vale salientar que os dados de temperatura apresentados nos arquivos estão em Kelvin.

Tabela 3.1: Lista de arquivos referentes ao Capítulo II

Arquivo	Conteúdo
CRU médias móveis 10 anos 1960-1991.xlsx	Médias móveis de 10 anos nas escalas mensal e sazonal para os dados do CRU dos grids (-25,5, -49,5) e (25,5, -49)
HadRM3P médias móveis 10 anos 1960-1991.xlsx	Médias móveis de 10 anos nas escalas mensal e sazonal para os dados do modelo regional HadRM3P
CCCma_cgcm3 médias móveis 10 anos 1960-1991.xlsx	Médias móveis de 10 anos nas escalas mensal e sazonal para os dados do modelo Global CCCma_cgcm3

Os itens 3.1, 3.2 e 3.3 apresentam os gráficos das médias móveis obtidas a partir dos dados do CRU, do modelo regional HadRM3P e do modelo global CCCma_cgcm3, respectivamente. Vale salientar que devido a enorme quantidade de dados não foi viável colocar os resultados obtidos pelos três modelos em um mesmo gráfico. Os resultados obtidos mostram que os dados do CRU, do modelo regional e do modelo global seguem a mesma tendência sazonal para a variável precipitação, maiores quantidades para o inverno e para a primavera e menores para o outono e o inverno. O tratamento dos dados permitiu a confirmação de que os dados do modelo regional se aproximam mais dos dados observados do que os do modelo regional. Além disso, o tratamento dos dados permitiu também confirmar as observações feitas por Marengo et al., 2010 que os modelos regional e global são mais confiáveis para a variável temperatura do que para a variável precipitação.

3.1 Dados do CRU

As Figuras 3.1 a 3.2 apresentam as médias móveis de temperatura e precipitação de 10 anos na escala mensal para os dados do CRU, respectivamente.

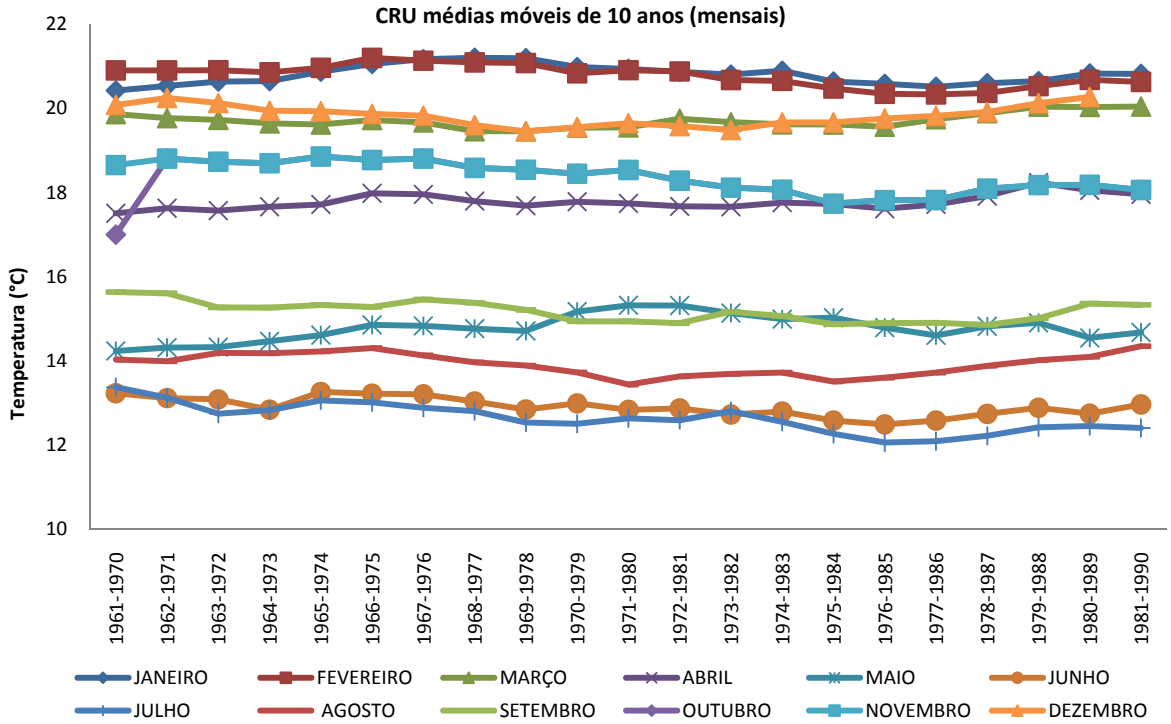

Figura 3.1: Médias móveis de temperatura de 10 anos na escala mensal para os dados do CRU

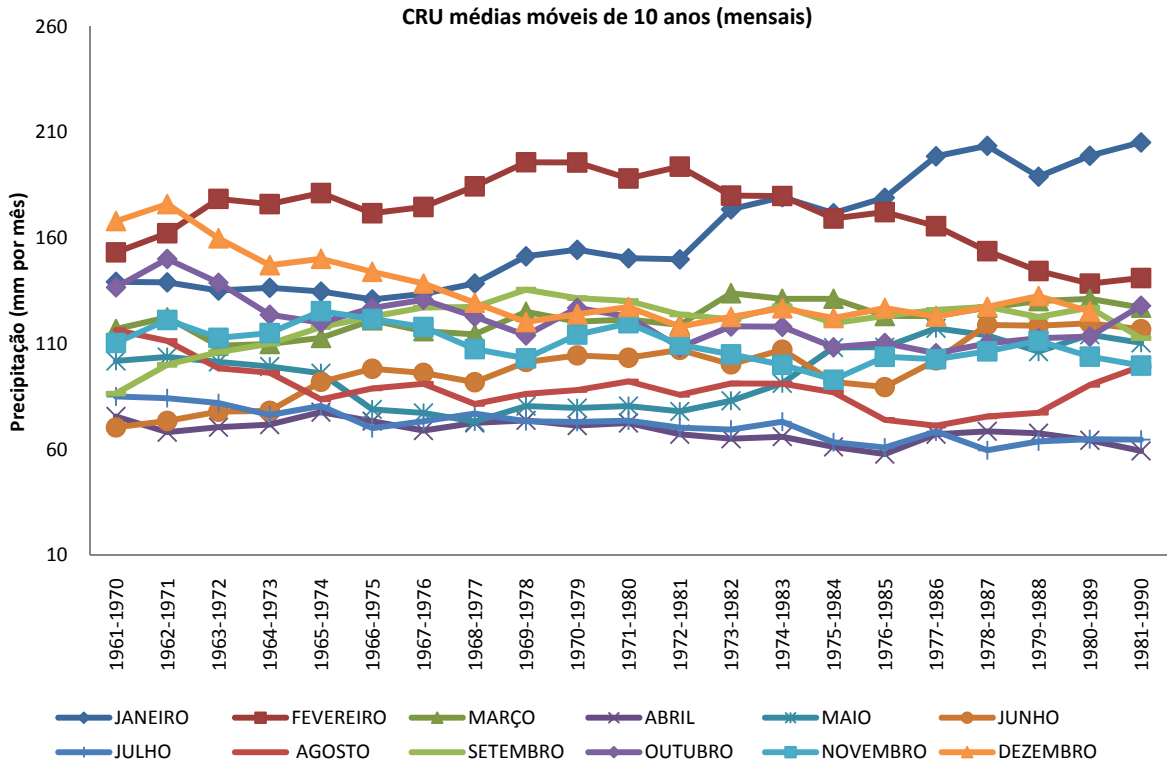

Figura 3.2: Médias móveis de precipitação de 10 anos na escala mensal para os dados do CRU

As Figuras 3.3 a 3.4 apresentam as médias móveis de temperatura e precipitação de 10 anos na escala sazonal para os dados do CRU, respectivamente.

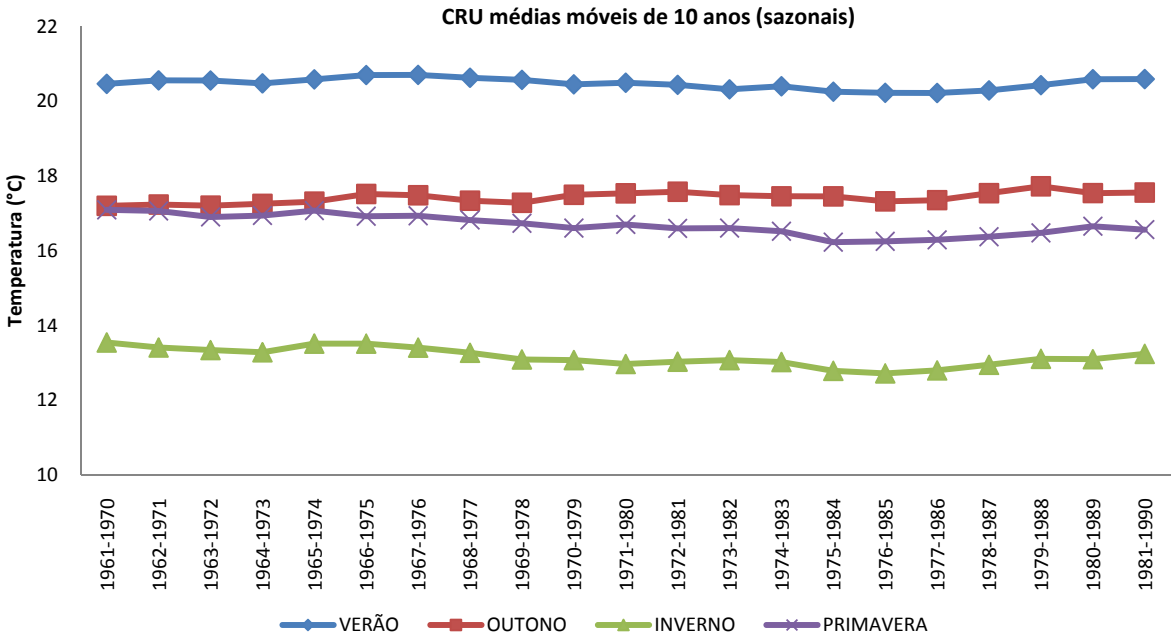

Figura 3.3: Médias móveis de temperatura de 10 anos na escala sazonal para os dados do CRU

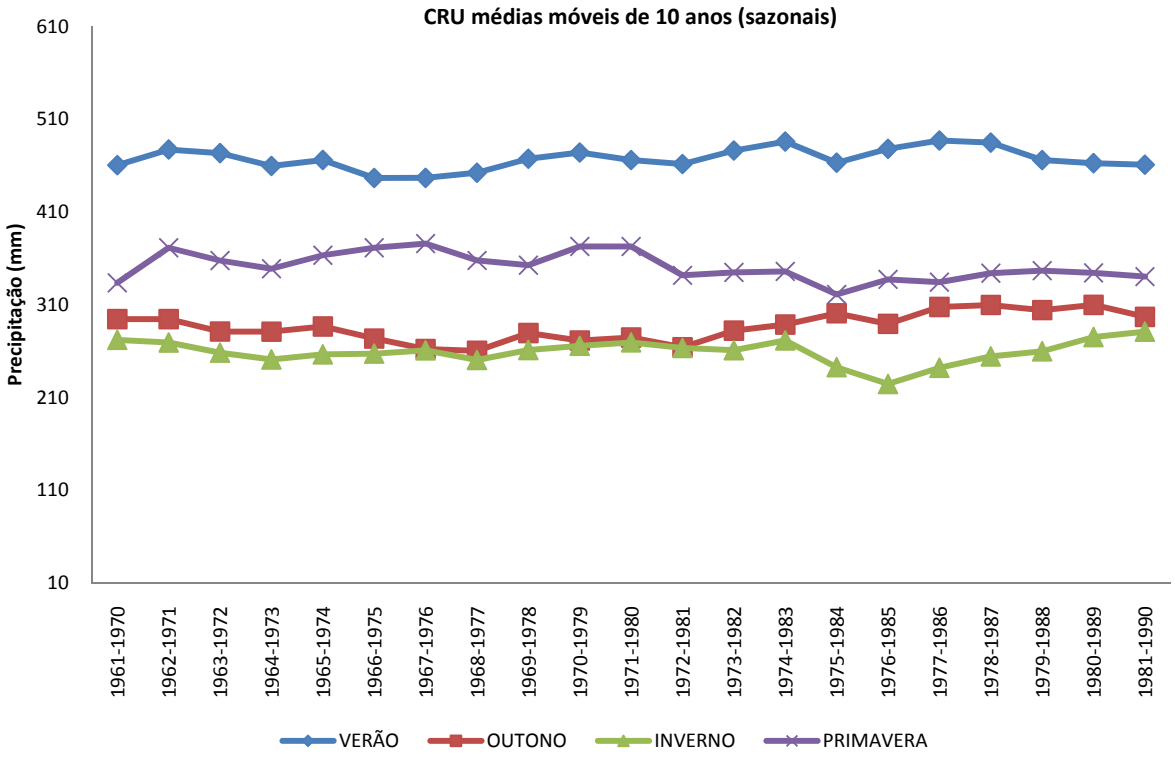

Figura 3.4: Médias móveis de precipitação de 10 anos na escala sazonal para os dados do CRU

3.2 Dados do modelo Regional HadRM3P

As Figuras 3.5 a 3.6 apresentam as médias móveis de temperatura e precipitação de 10 anos na escala mensal para os dados do HadRM3P, respectivamente.

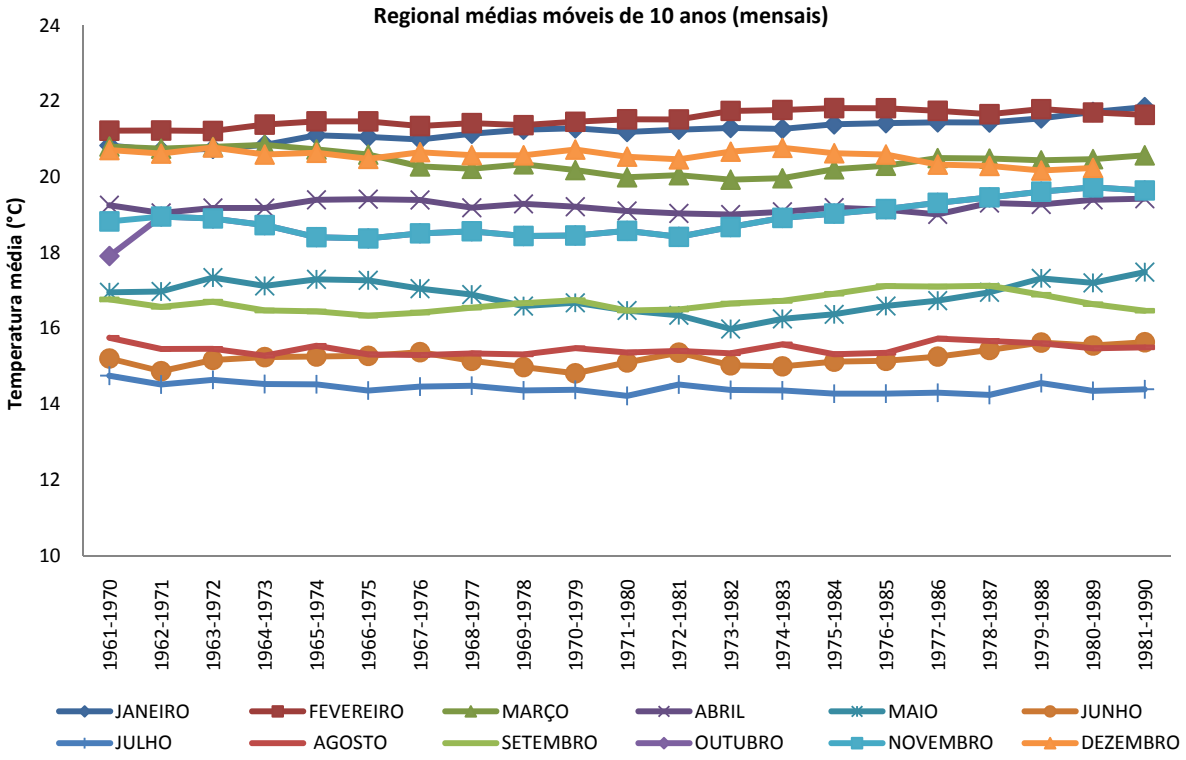

Figura 3.5: Médias móveis de temperatura de 10 anos na escala mensal para os dados do HadRM3P

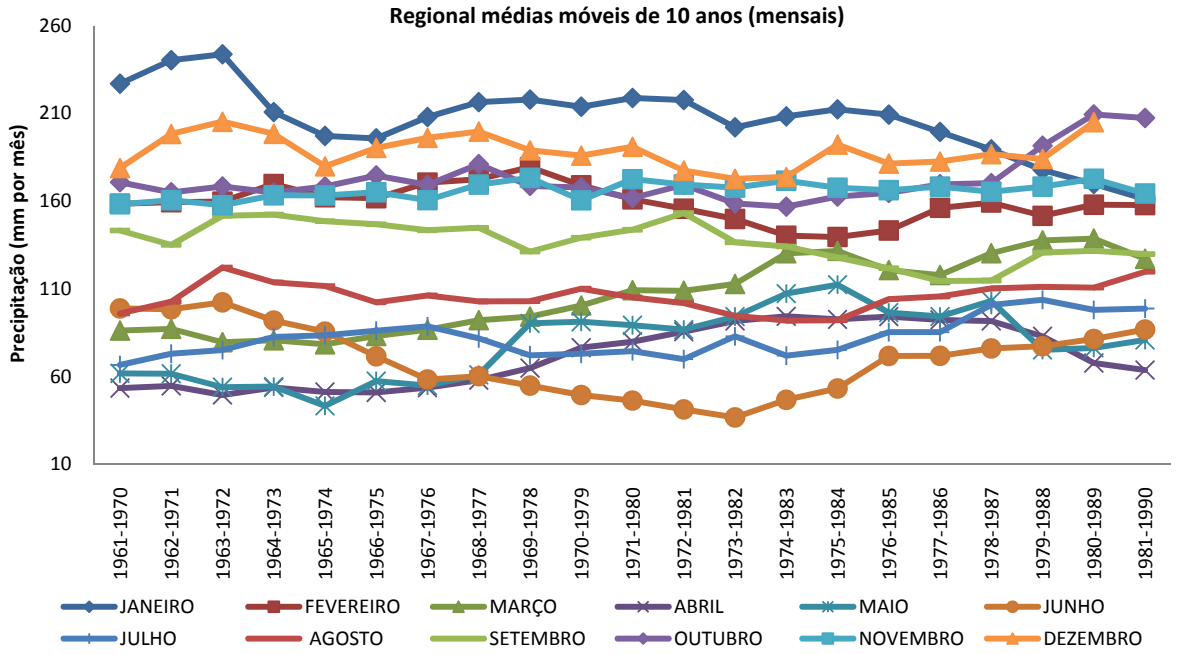

Figura 3.6: Médias móveis de precipitação de 10 anos na escala mensal para os dados do HadRM3P

As Figuras 3.7 e 3.8 apresentam as médias móveis de temperatura e precipitação de 10 anos na escala sazonal para os dados do HadRM3P, respectivamente.

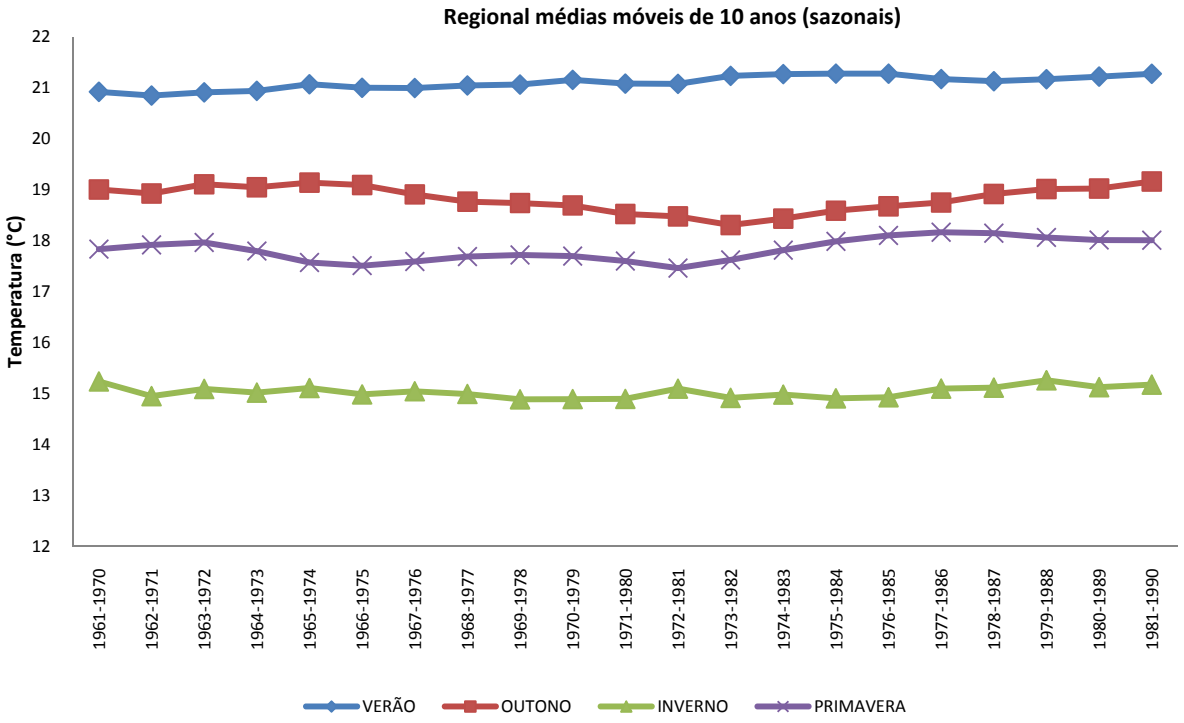

Figura 3.7: Médias móveis de temperatura de 10 anos na escala sazonal para os dados do HadRM3P

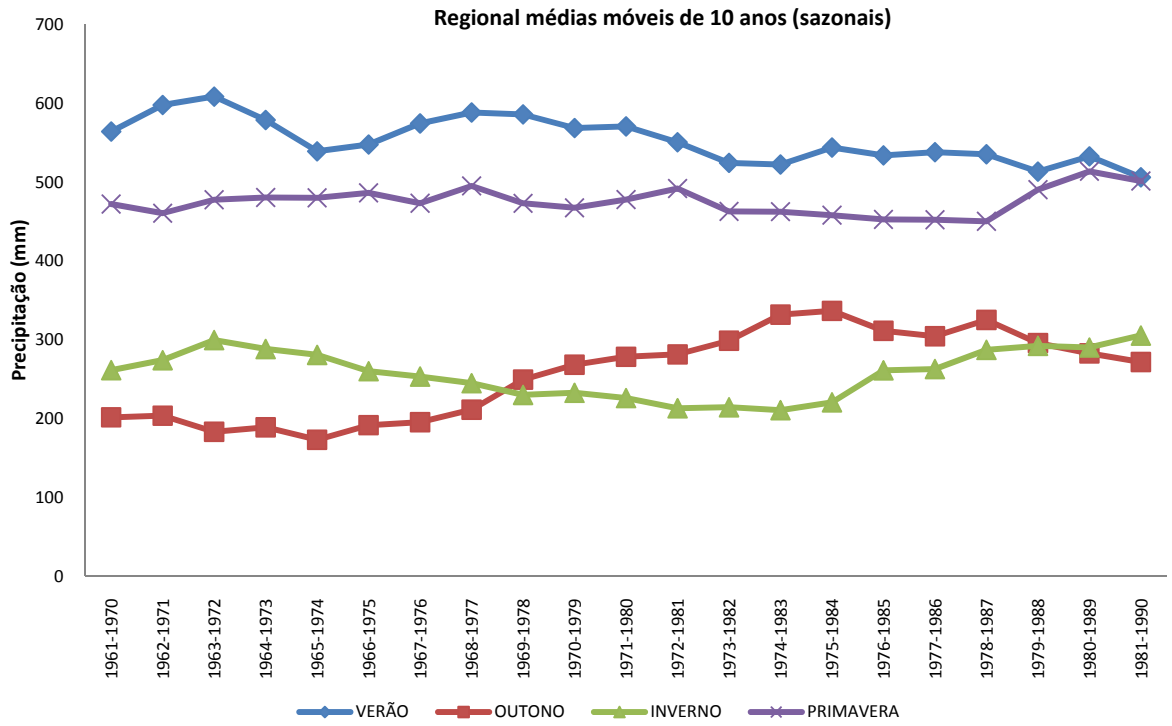

Figura 3.8: Médias móveis de precipitação de 10 anos na escala sazonal para os dados do HadRM3P

3.3 Dados do modelo Global CCCma_cgcm3

As Figuras 3.9 a 3.13 apresentam as médias móveis de temperatura de 10 anos nas escala mensal para as cinco execuções (*Runs*) do modelo global, respectivamente.

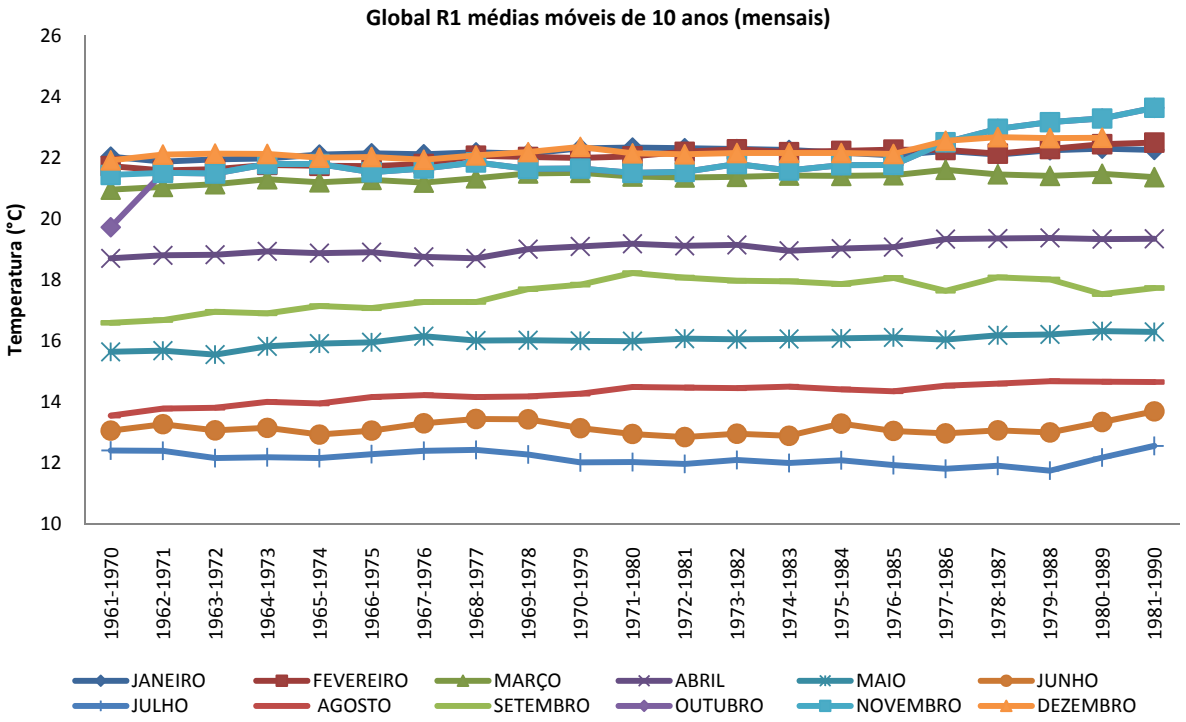

Figura 3.9: Médias móveis de temperatura de 10 anos na escala mensal para R1 dos dados do CCCma_cgcm3

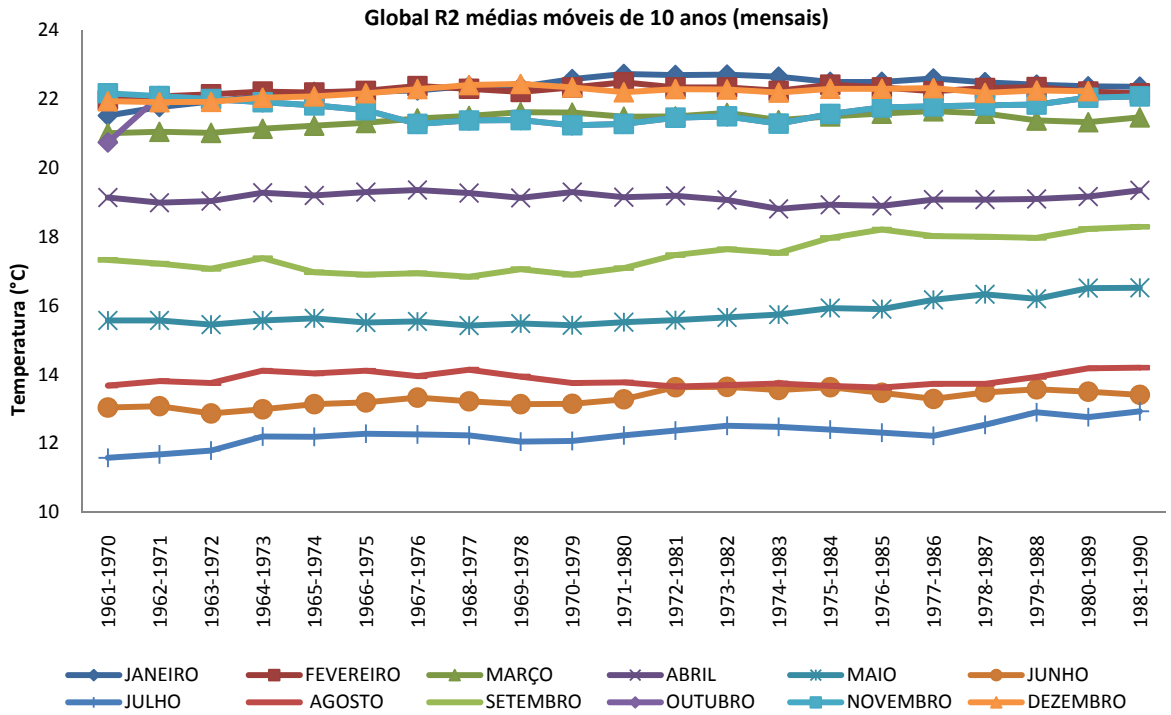

Figura 3.10: Médias móveis de temperatura de 10 anos na escala mensal para R2 dos dados do CCCma_cgcm3

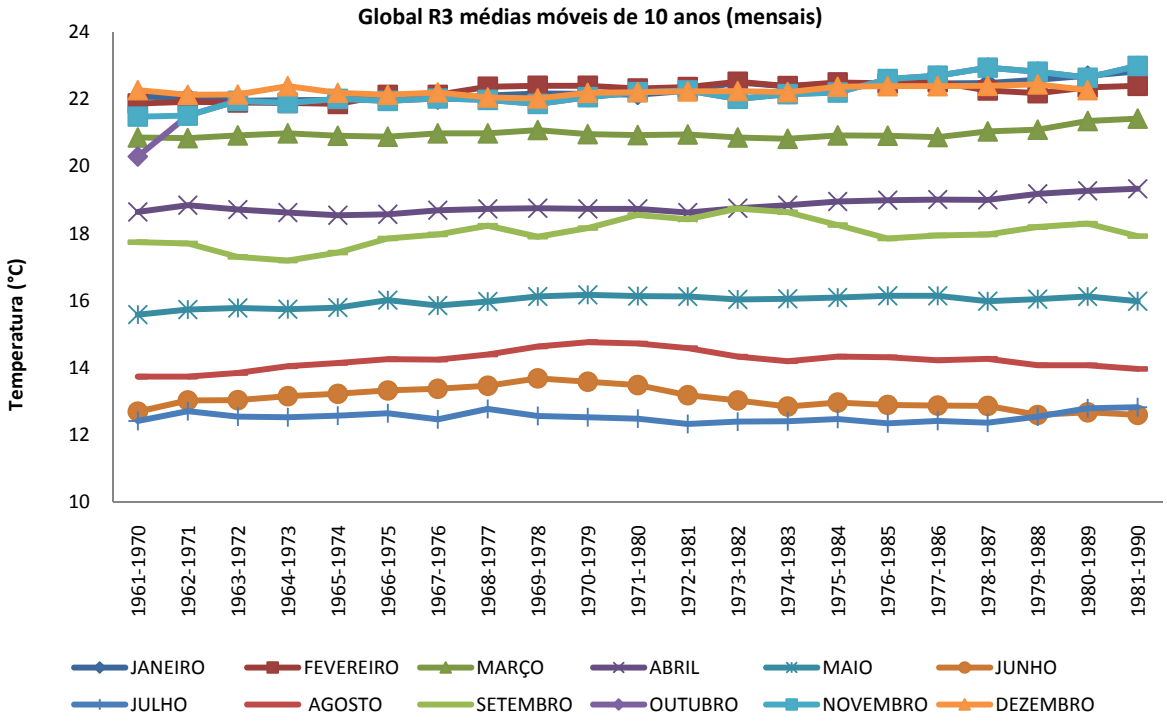

Figura 3.11: Médias móveis de temperatura de 10 anos na escala mensal para R3 dos dados do CCCma_cgcm3

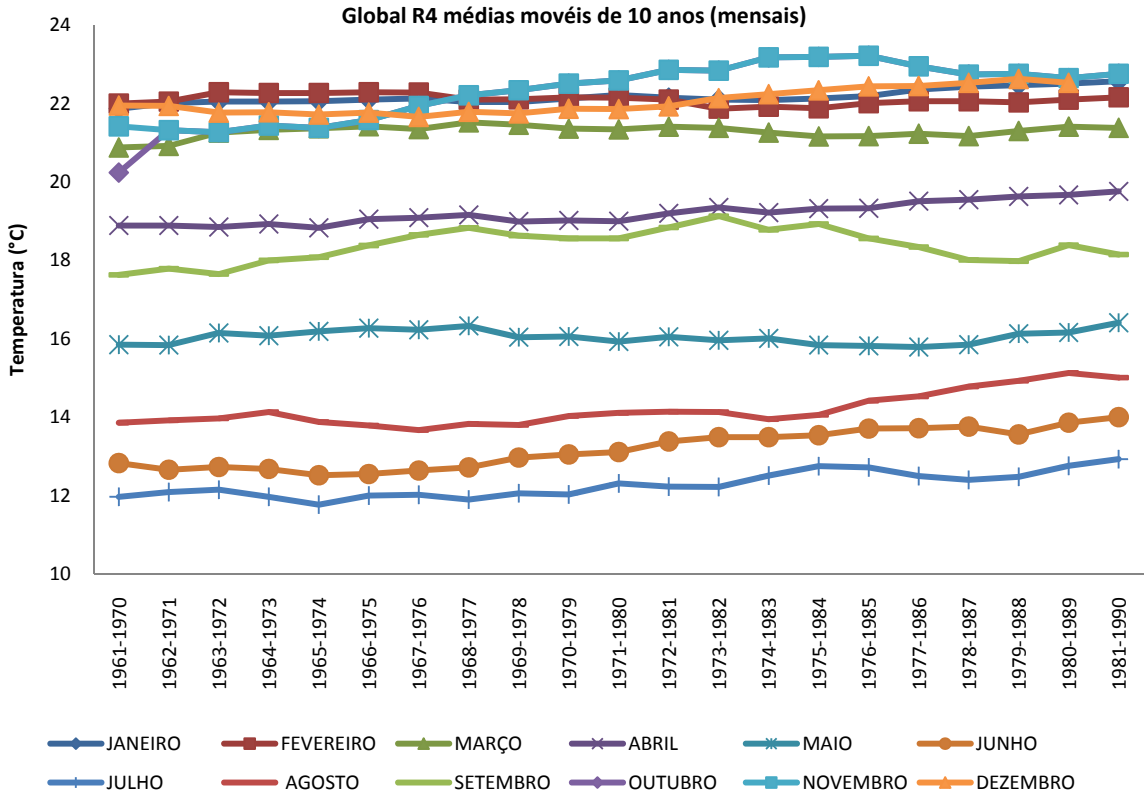

Figura 3.12: Médias móveis de temperatura de 10 anos na escala mensal para R4 dos dados do CCCma_cgcm3

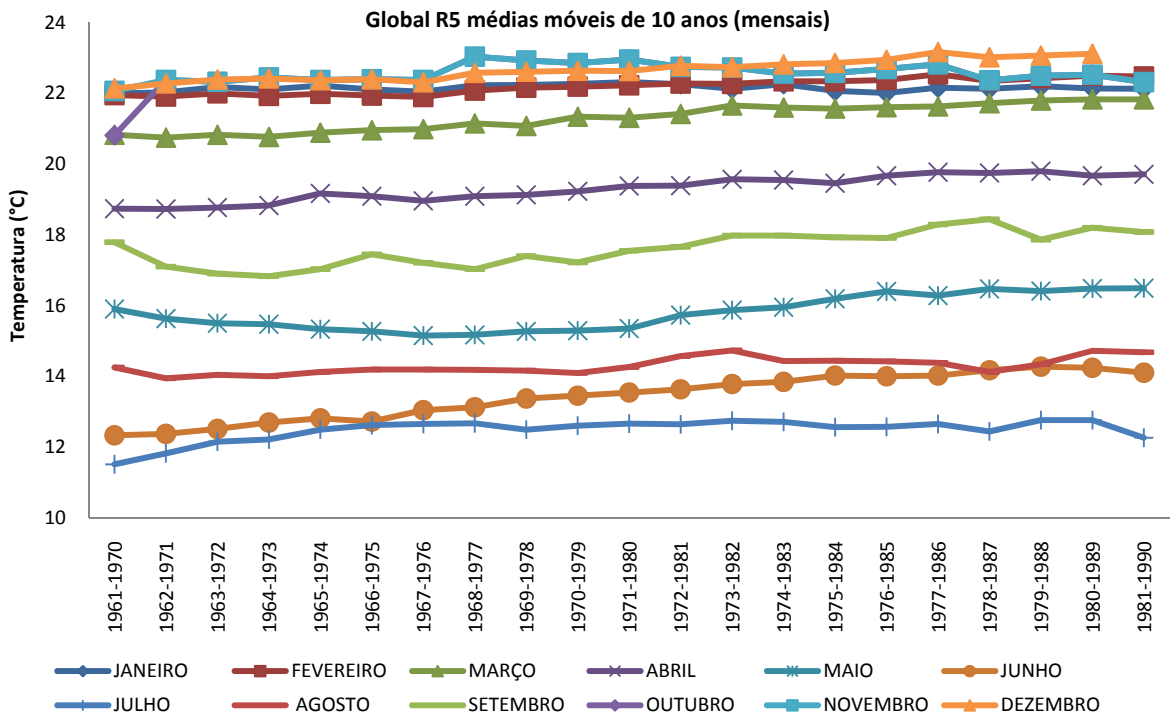

Figura 3.13: Médias móveis de temperatura de 10 anos na escala mensal para R5 dos dados do CCCma_cgcm3

As Figuras 3.14 a 3.18 apresentam as médias móveis de precipitação de 10 anos na escala mensal para as cinco execuções (*Runs*) do modelo global, respectivamente.

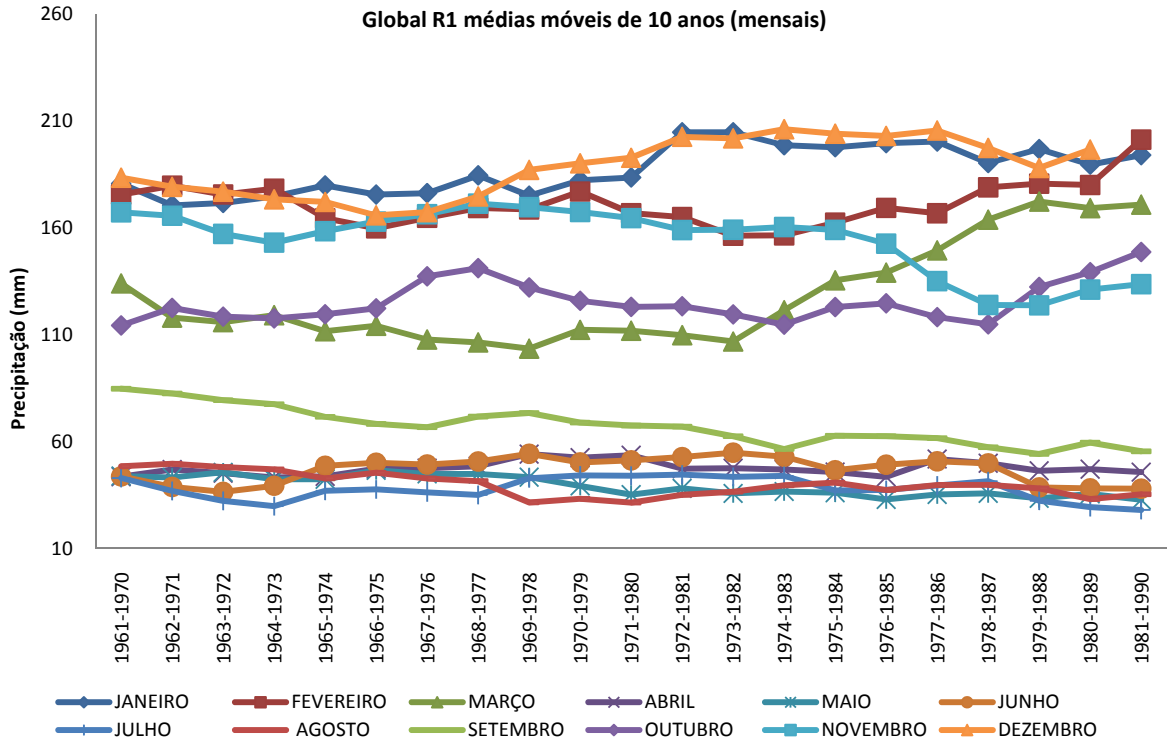

Figura 3.14: Médias móveis de precipitação de 10 anos na escala mensal para R1 dos dados do CCCma_cgcm3

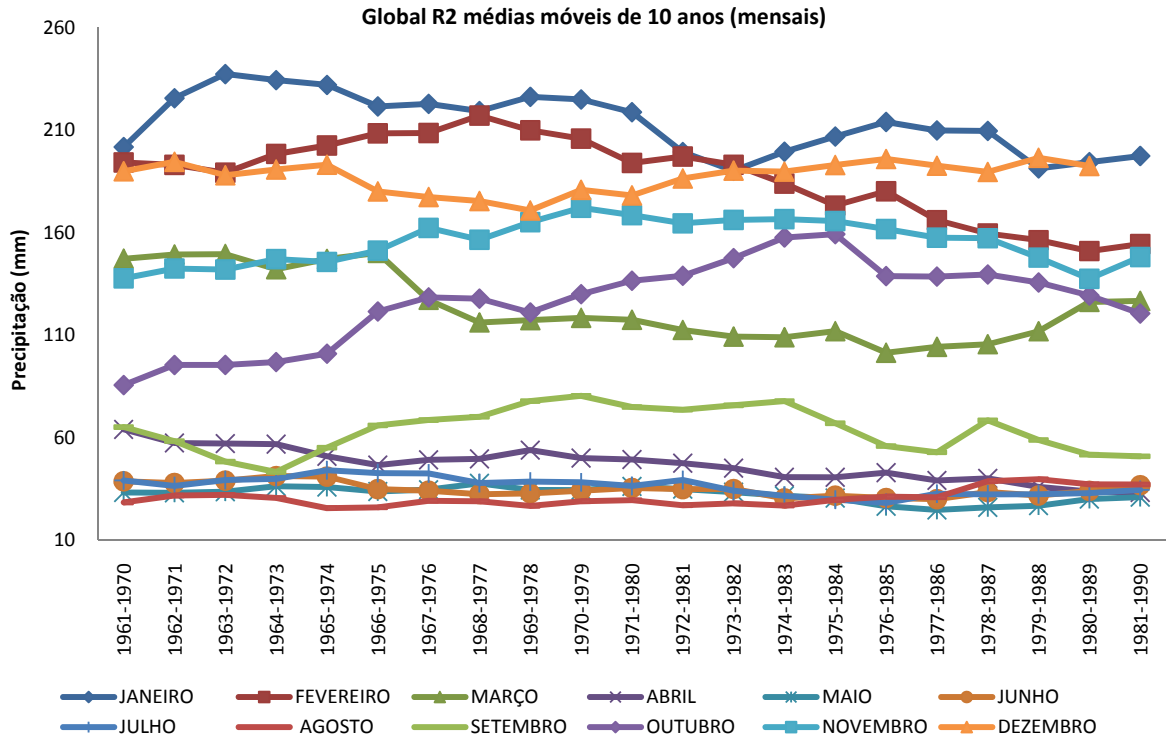

Figura 3.15: Médias móveis de precipitação de 10 anos na escala mensal para R2 dos dados do CCCma_cgcm3

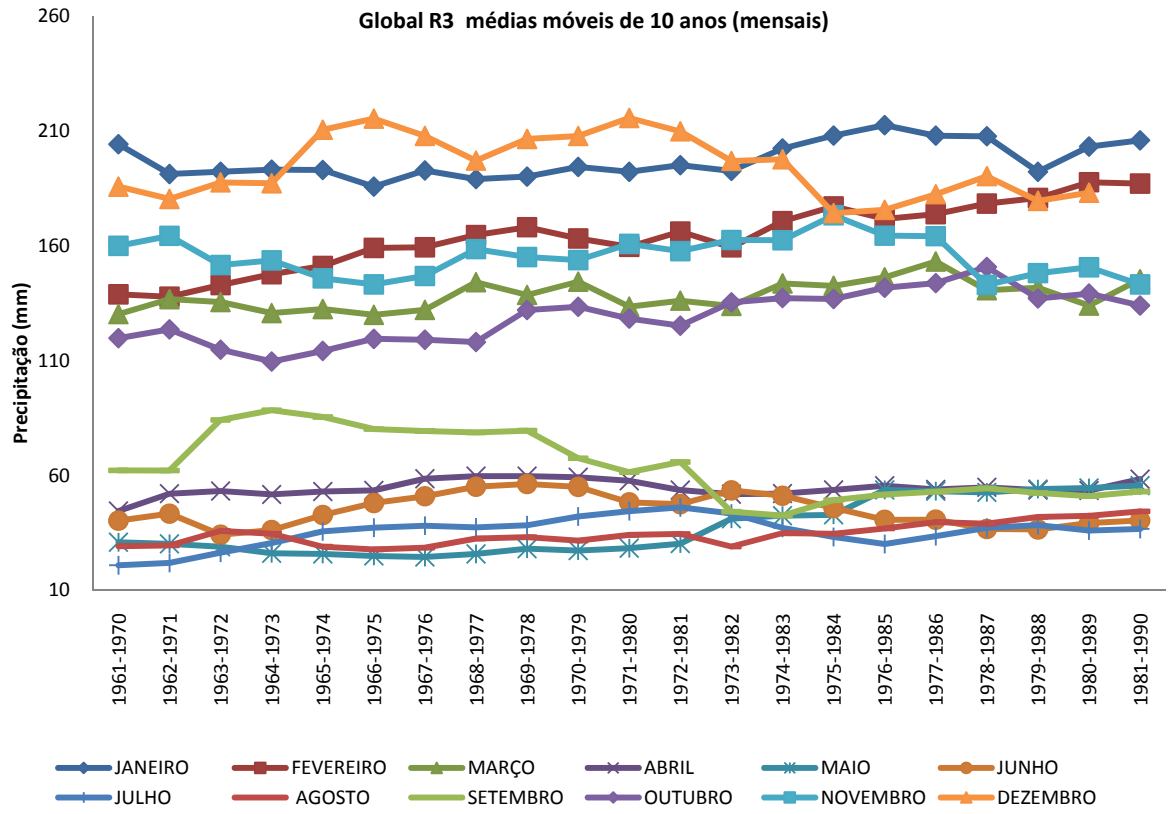

Figura 3.16: Médias móveis de precipitação de 10 anos na escala mensal para R3 dos dados do CCCma_cgcm3

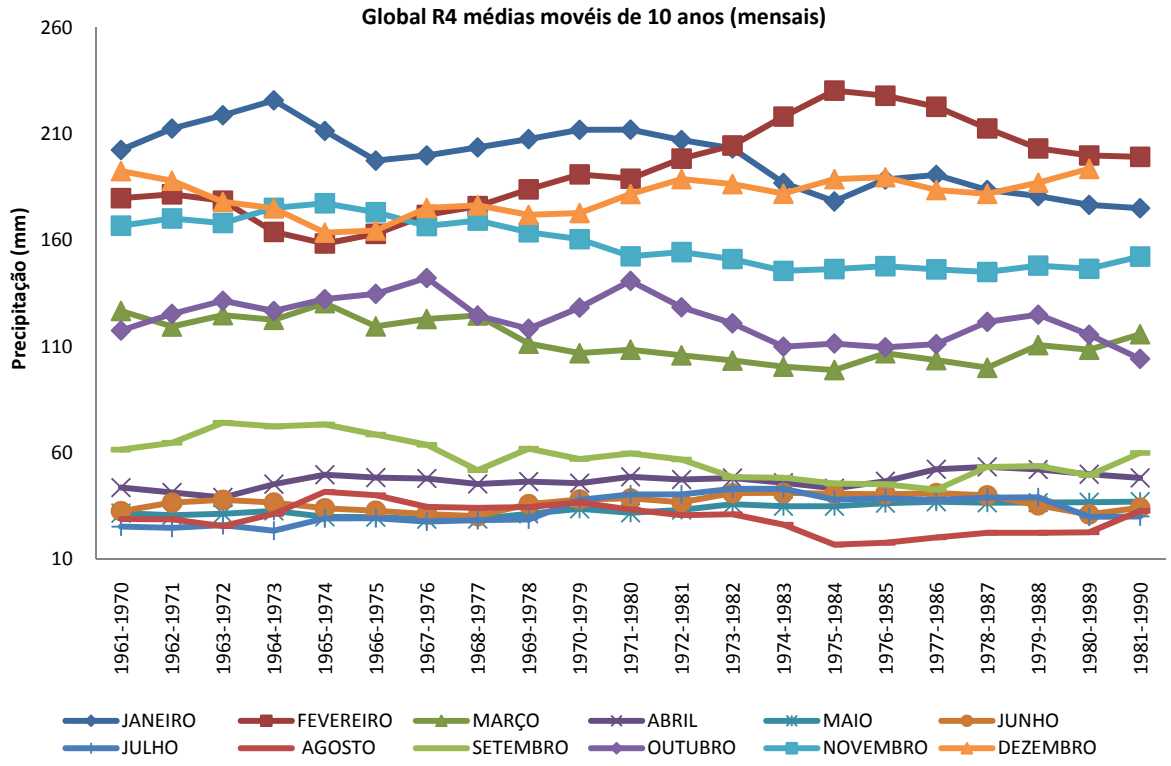

Figura 3.17: Médias móveis de precipitação de 10 anos na escala mensal para R4 dos dados do CCCma_cgcm3

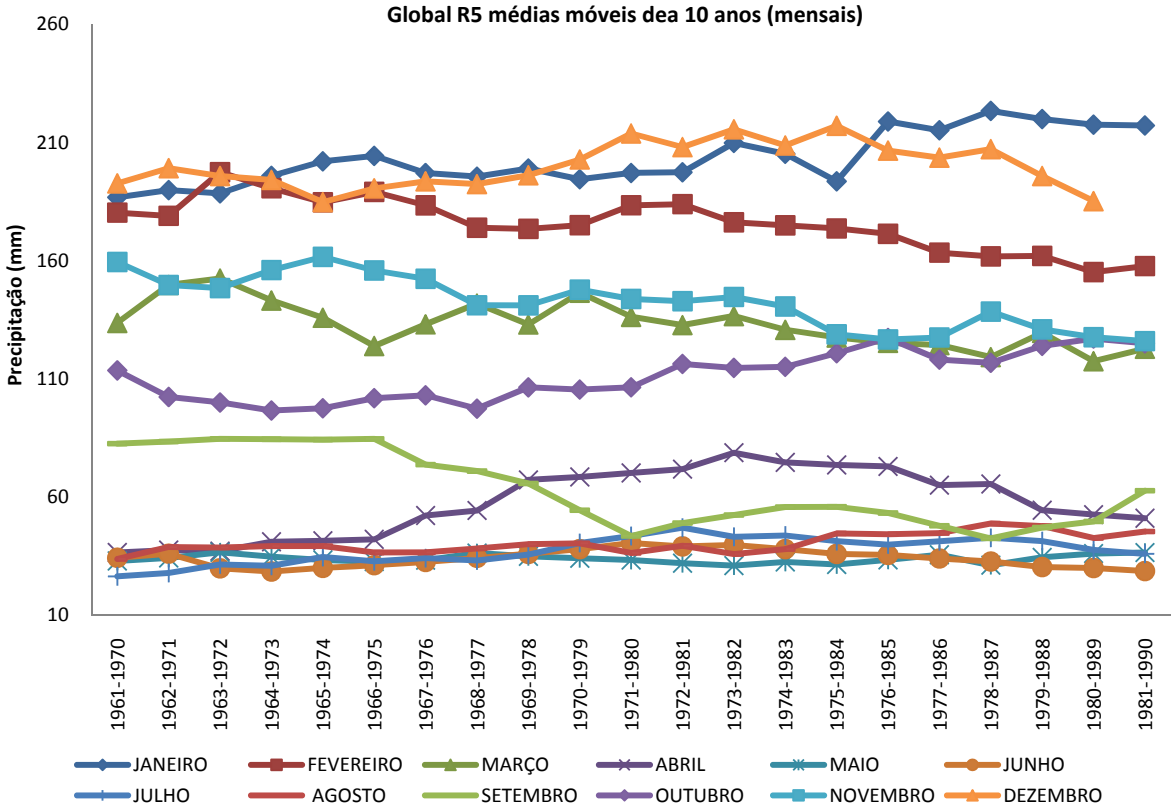

Figura 3.18: Médias móveis de precipitação de 10 anos na escala mensal para R5 dos dados do CCCma_cgcm3

As Figuras 3.19 a 3.23 apresentam as médias móveis de temperatura de 10 anos na escala sazonal para os dados do CRU e do HadRM3P, respectivamente.

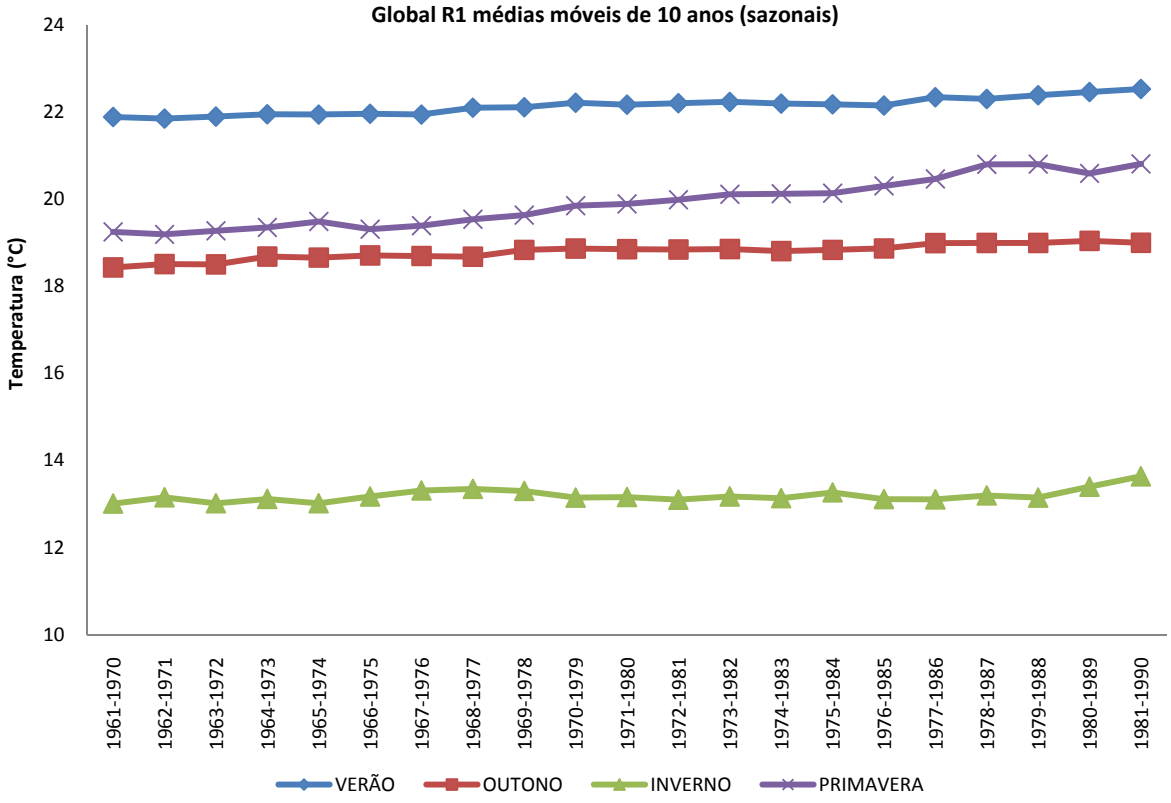

Figura 3.19: Médias móveis de temperatura de 10 anos na escala sazonal para R1 dos dados do CCCma_cgcm3

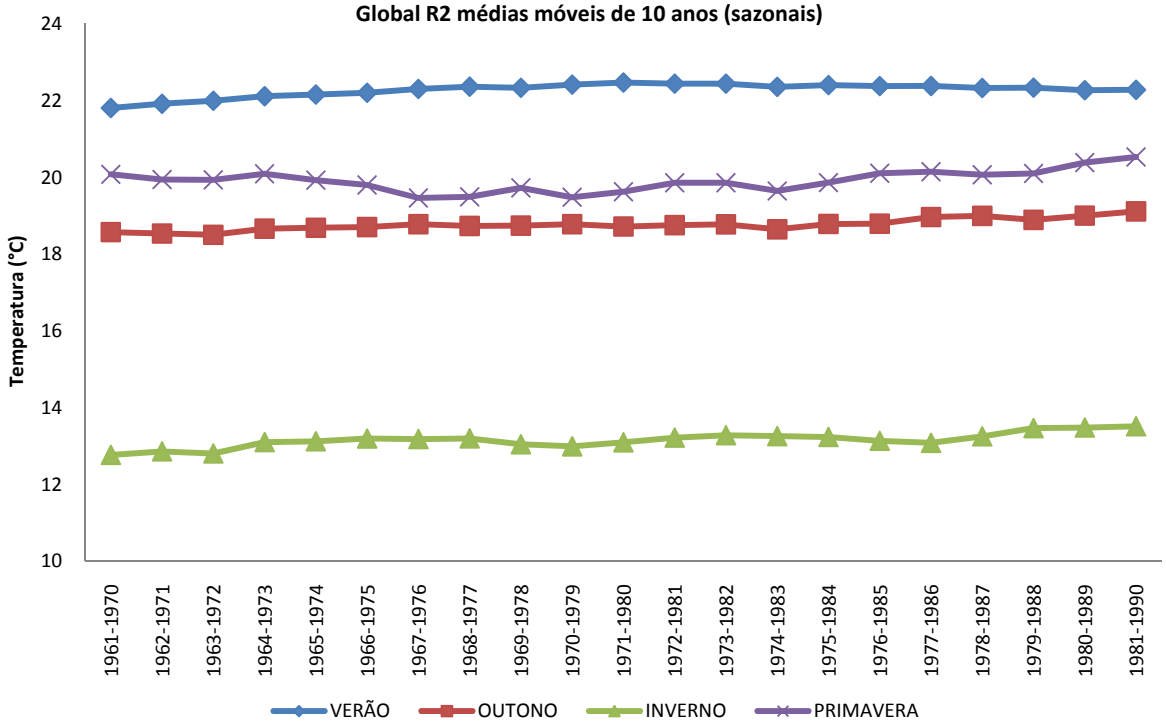

Figura 3.20: Médias móveis de temperatura de 10 anos na escala sazonal para R2 dos dados do CCCma_cgcm3

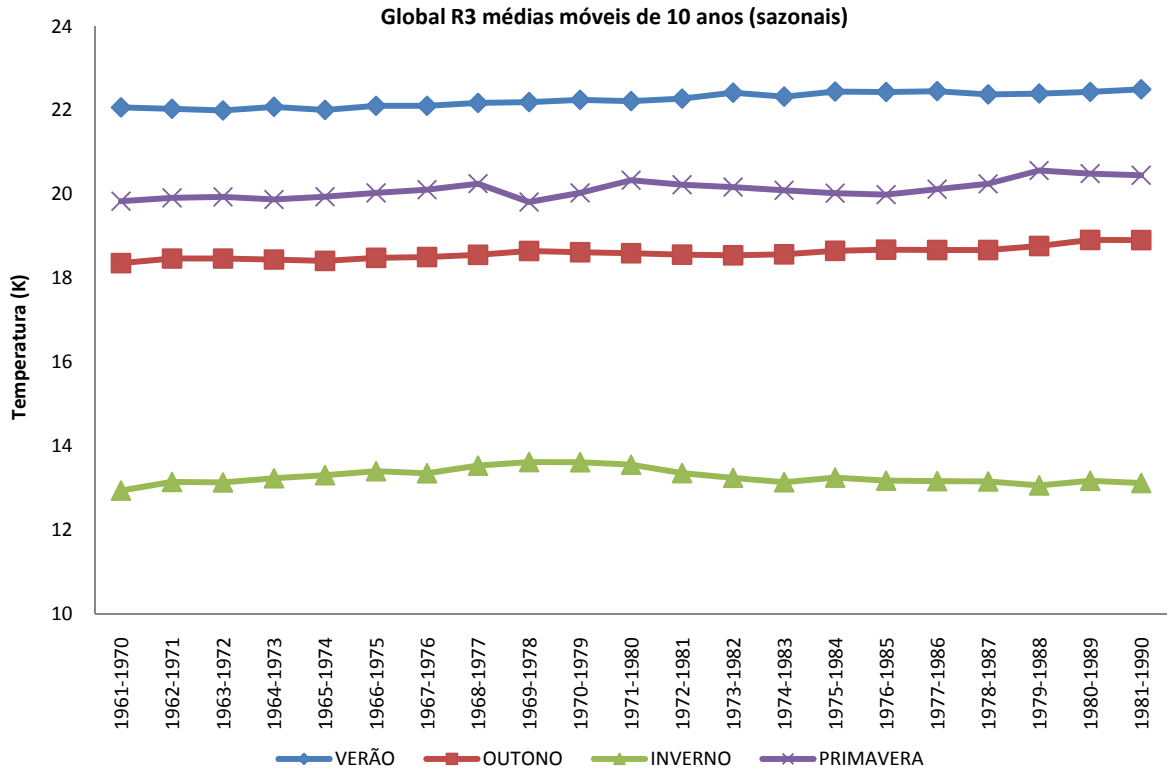

Figura 3.21: Médias móveis de temperatura de 10 anos na escala sazonal para R3 dos dados do CCCma_cgcm3

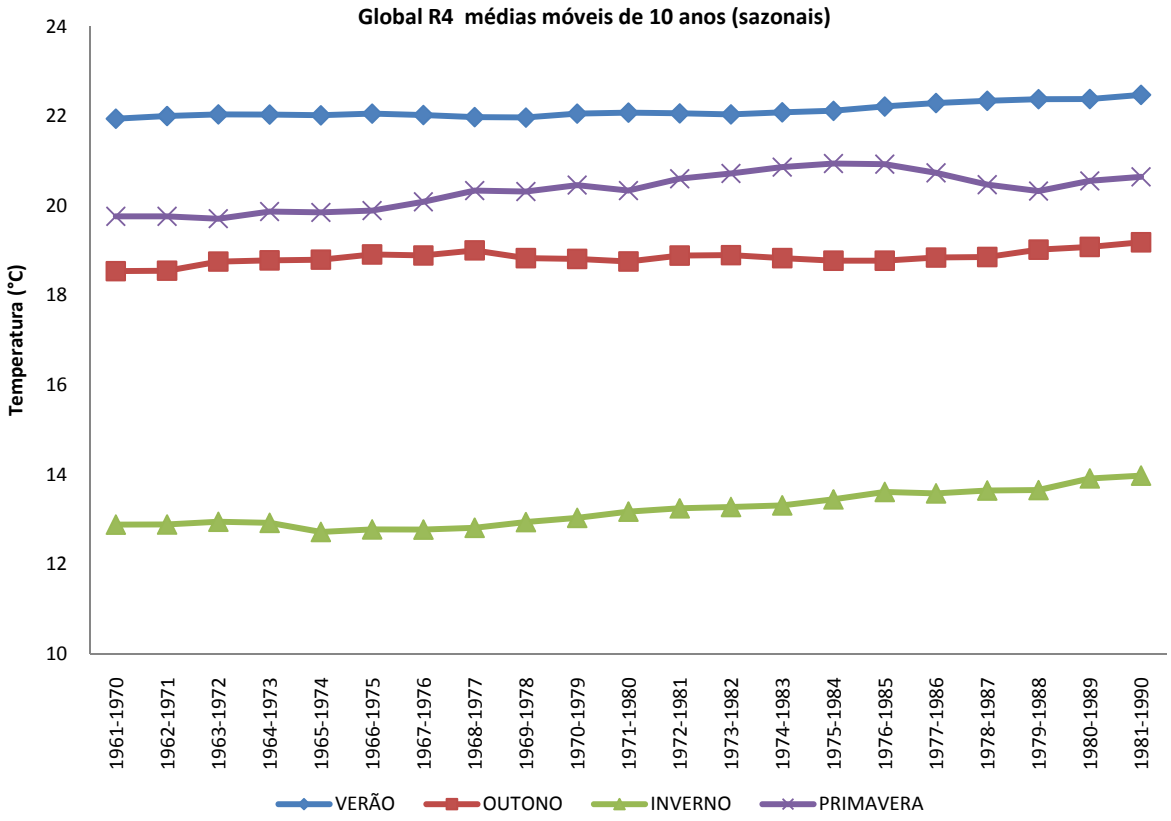

Figura 3.22: Médias móveis de temperatura de 10 anos na escala sazonal para R4 dos dados do CCCma_cgcm3

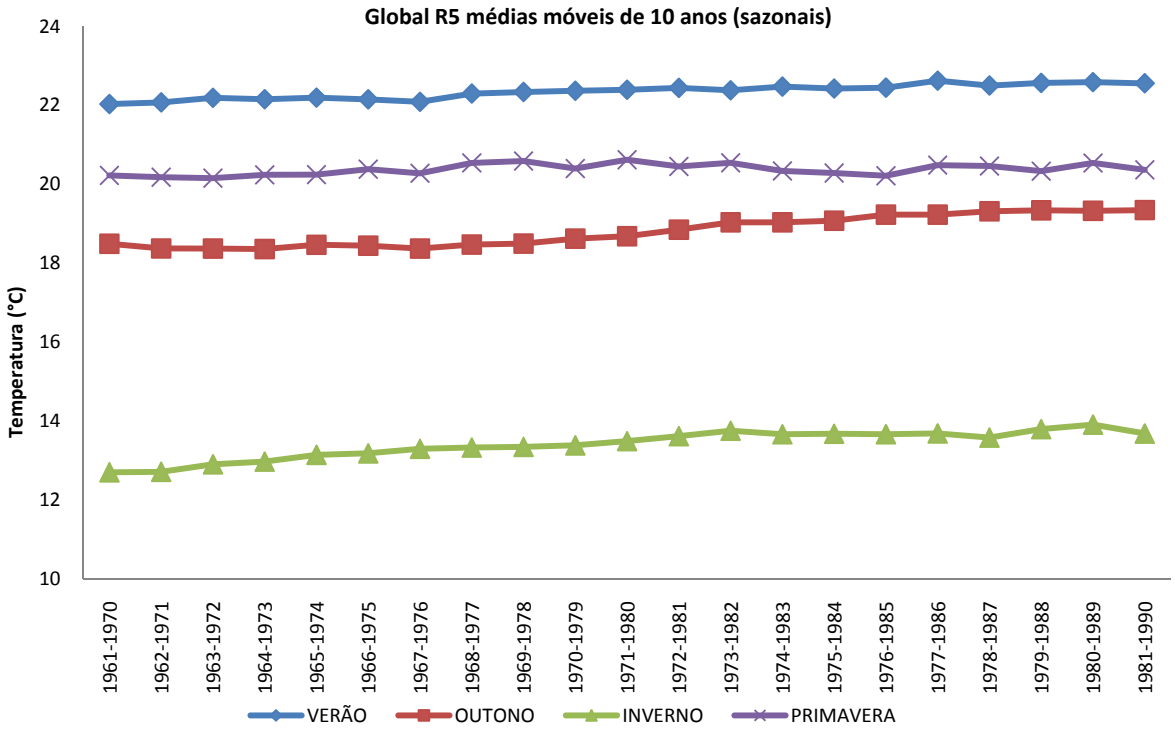

Figura 3.23: Médias móveis de temperatura de 10 anos na escala sazonal para R5 dos dados do CCCma_cgcm3

As Figuras 3.24 a 3.28 apresentam as médias móveis de temperatura 10 anos nas escala sazonal para as cinco execuções (*Runs*) do modelo global, respectivamente.

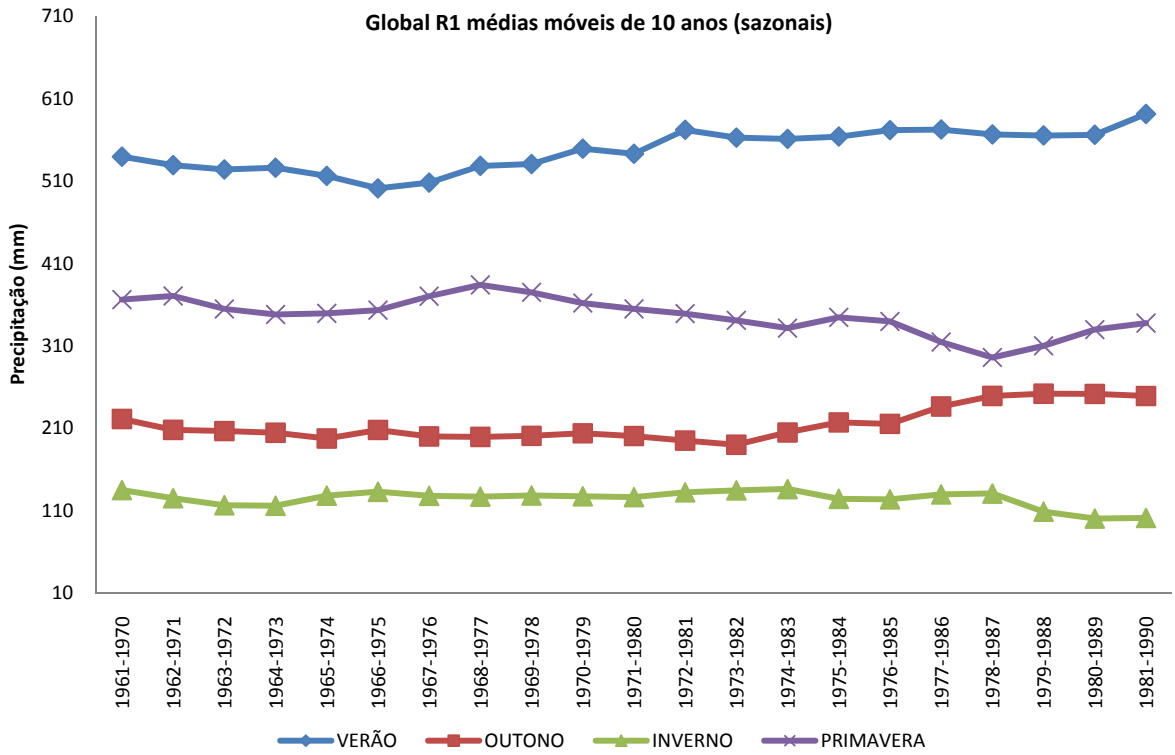

Figura 3.24: Médias móveis de precipitação de 10 anos na escala sazonal para R1 dos dados do CCCma_cgcm3

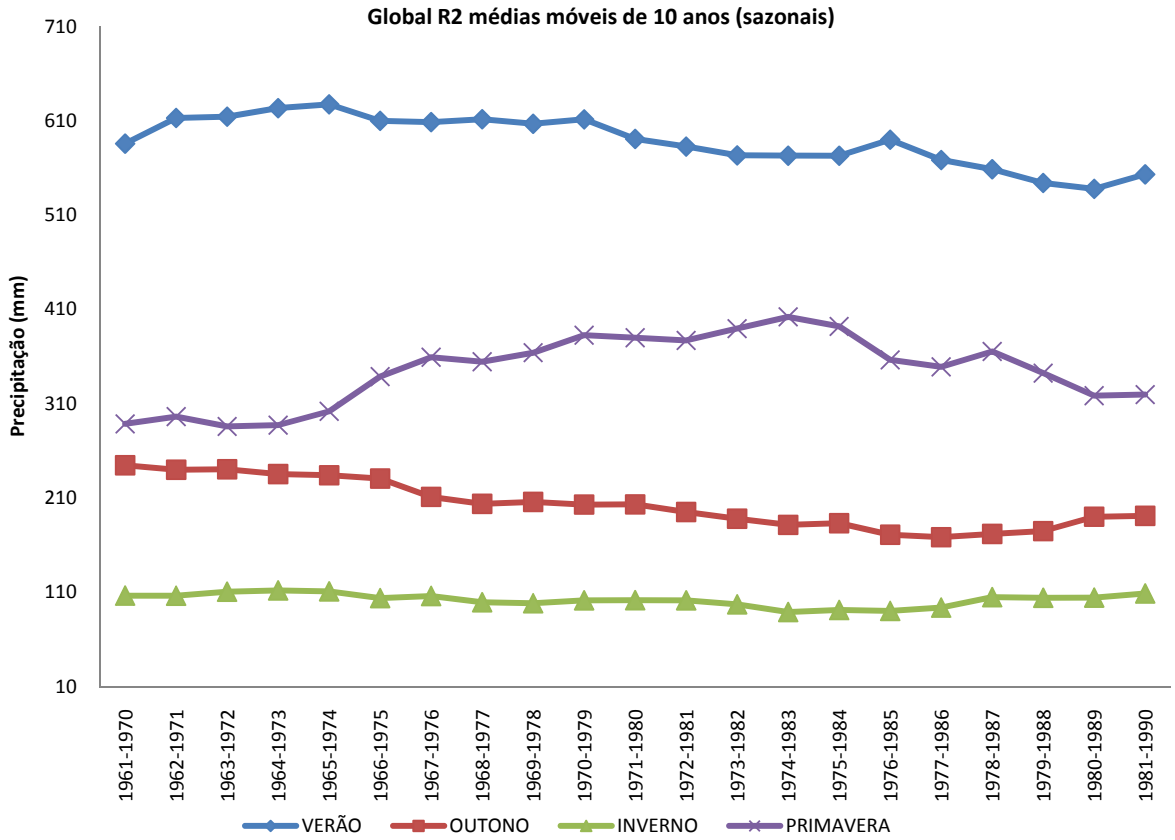

Figura 3.25: Médias móveis de precipitação de 10 anos na escala sazonal para R2 dos dados do CCCma_cgcm3

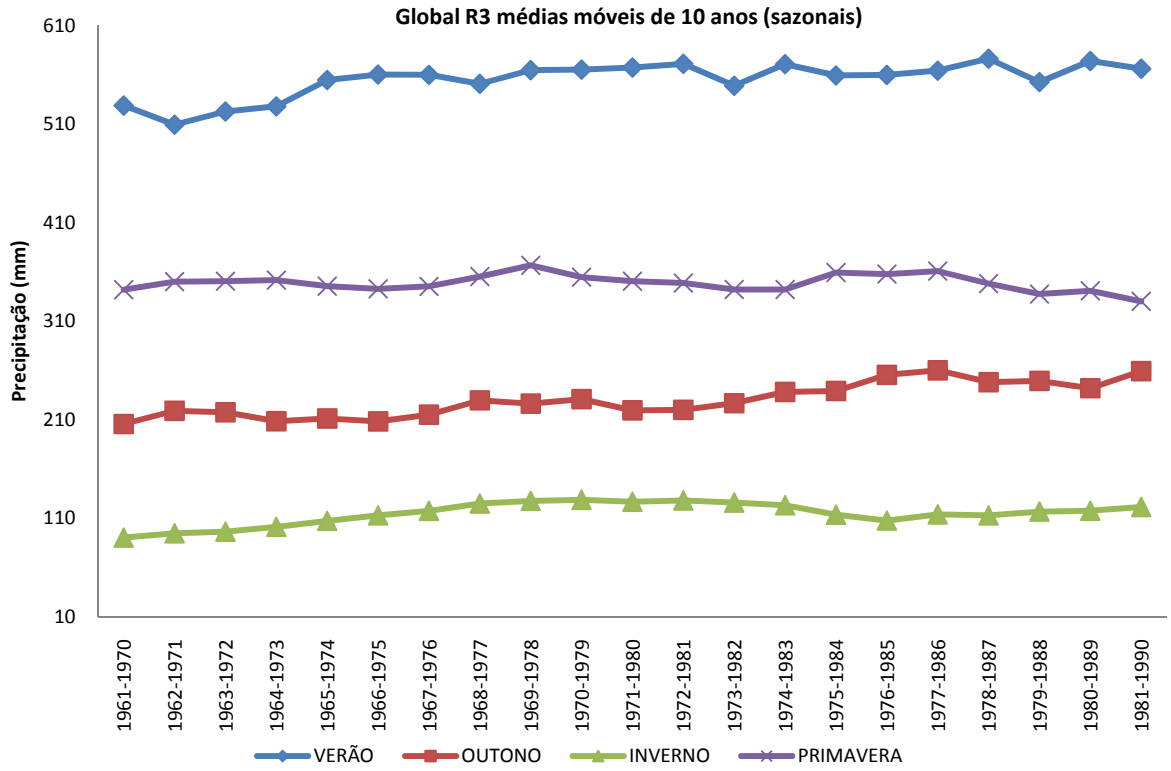

Figura 3.26: Médias móveis de precipitação de 10 anos na escala sazonal para R3 dos dados do CCCma_cgcm3

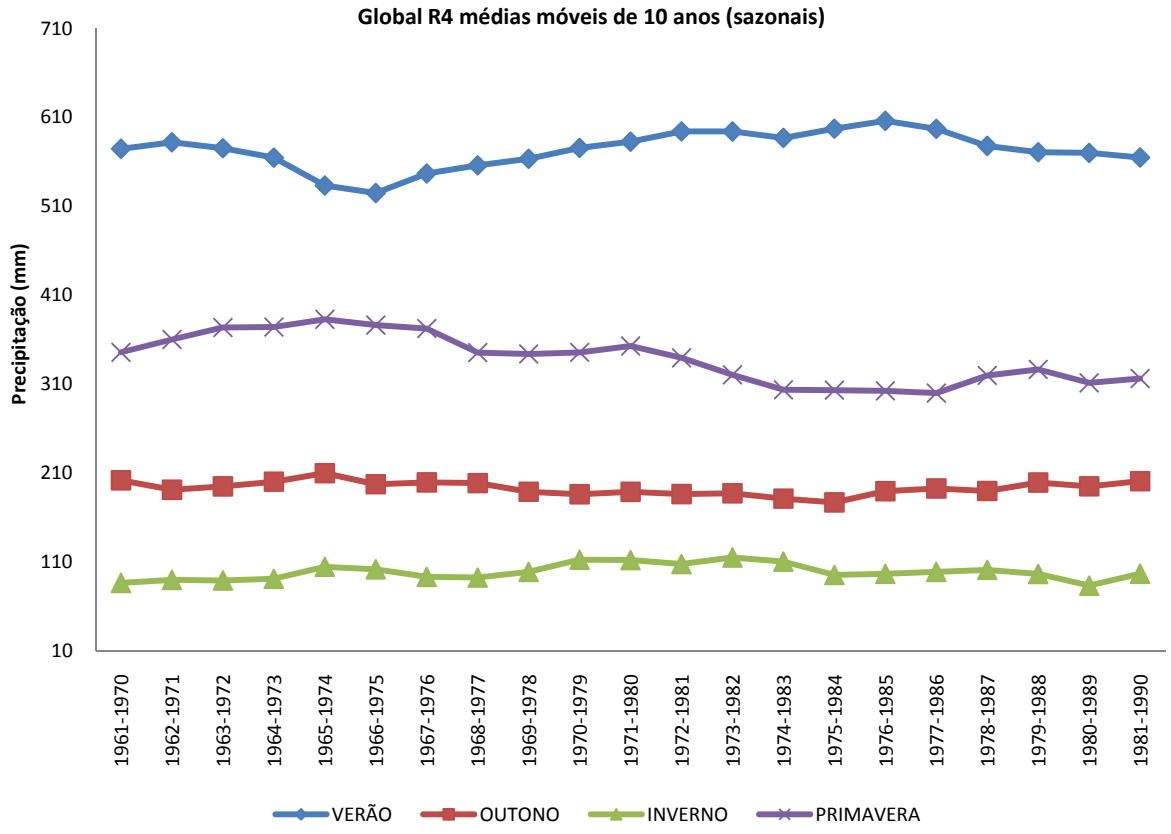

Figura 3.27: Médias móveis de precipitação de 10 anos na escala sazonal para R4 dos dados do CCCma_cgcm3

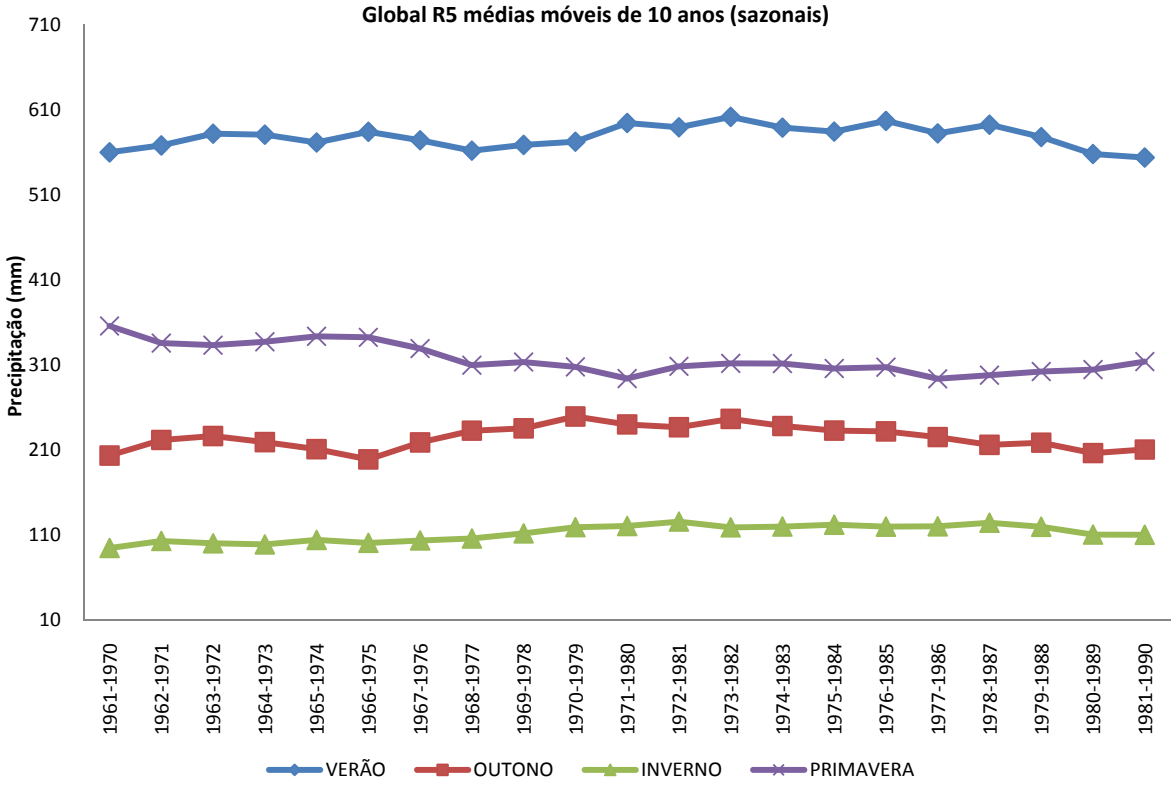

Figura 3.28: Médias móveis de precipitação de 10 anos na escala sazonal para R5 dos dados do CCCma_cgcm3

3.4 Comparação entre os dado CRU, HadRM3P e CGCM3

As Figuras 3.29 e 3.30 mostram as normais de temperatura e precipitação, respectivamente, para o período de 1961 a 1990 obtidas a partir dos dados do CRU, das diferentes execuções (*Runs*) para o clima atual do modelo global (CGCM3) assim como as simulações obtidas a partir do modelo regional (HadRM3P). Em comparação com os dados observados do CRU, verifica-se que o modelo representa mais adequadamente o clima atual. A concordância é muito boa para a variável temperatura, conforme apresentado na Figura 3.29. Quanto a variável precipitação, apesar da concordância não ser tão boa, o ciclo anual é bem representado, conforme pode ser observado na Figura 3.30. Conforme previsto, o modelo global apresenta uma maior quantidade de resultados possíveis tanto para as temperaturas quanto para a precipitação. Contudo, de maneira geral, pode-se dizer o ciclo anual também se reproduz bem o modelo global.

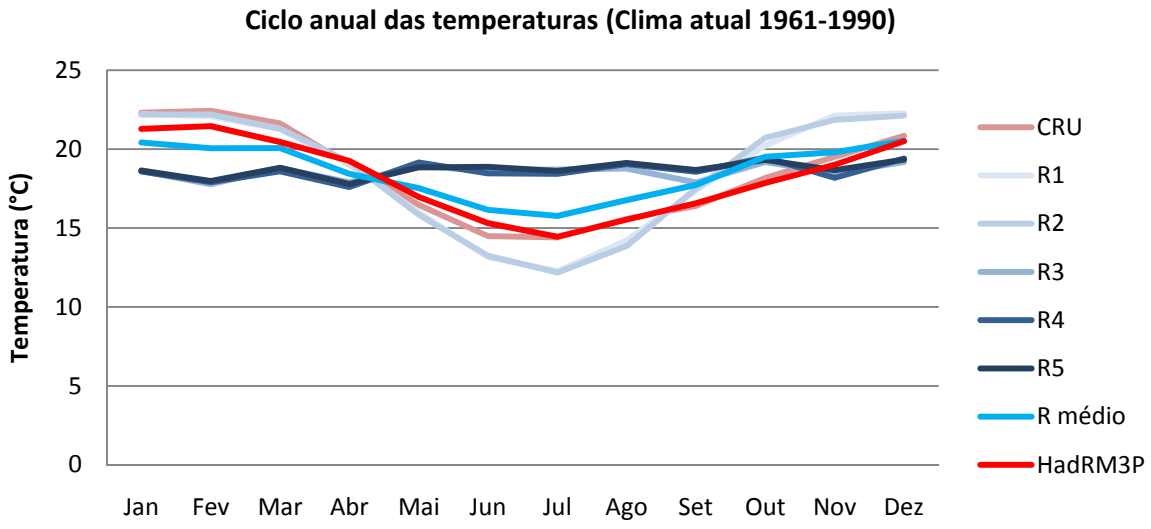

Figura 3.29: Médias mensais de temperatura (1961-1990) a partir dos dados do CRU, do CGCM3 e do HadRM3P

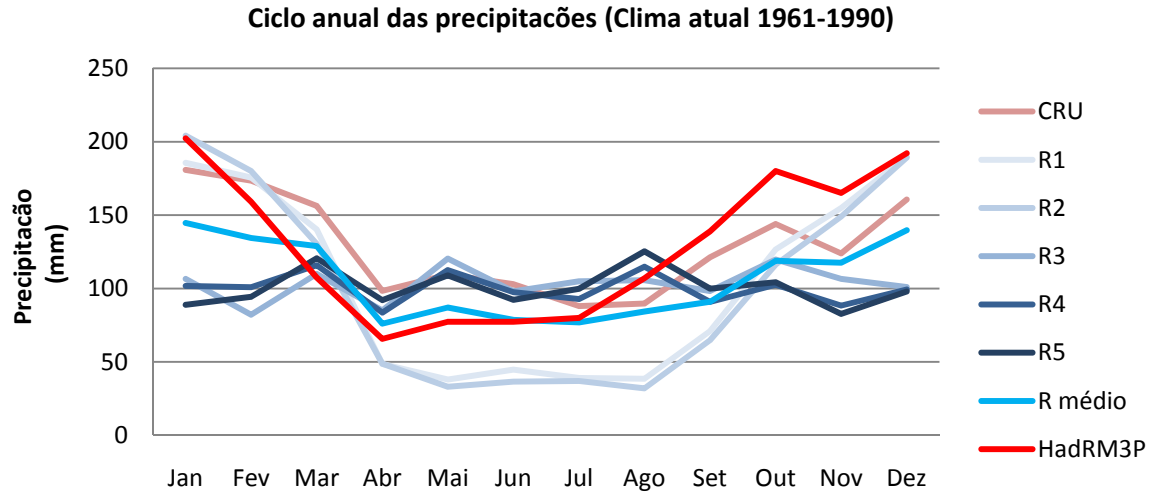

Figura 3.30: Médias mensais de precipitação (1961-1990) a partir dos dados do CRU, do CGCM3 e do HadRM3P

4. CAPÍTULO III: Fornecimento de dados em formato simples (clima futuro)

Todos os produtos que fazem parte deste capítulo são fornecidos em arquivos Excel. A Tabela 4.1 apresenta os nomes dos arquivos assim como seus respectivos conteúdos. Conforme citado anteriormente, os dados de temperatura apresentados nos arquivos estão em Kelvin.

Tabela 4.1: Lista de arquivos referentes ao Capítulo III

Arquivo	Conteúdo
HadRM3P mês a mês 2080-2089 (SRES A2).xlsx	Séries temporais de temperatura e precipitação do modelo regional HadRM3P mês a mês desde 2080 até 2089 (SRES A2)
CCCma_cgcm3 média diária 2046-2065 (SRES A2 e A1B).xlsx CCCma_cgcm3 média diária 2081-2100 (SRES A2 e A1B).xlsx	Séries temporais de temperatura e precipitação do modelo Global CCCma_cgcm3 média diária desde 2046 até 2065 e 2081 até 2100 (SRES A2 e A1B)
HadRM3P médias sazonais 5 e 10 anos (SRES A2).xlsx	Médias sazonais de 5 e 10 anos dos dados do modelo regional
CCCma_cgcm3 médias sazonais de 5 e 10 anos (SRES A1B).xlsx	Médias sazonais de 5 e 10 anos dos dados do modelo global
CCCma_cgcm3 médias mensais 2010-2100 (SRES A2).xlsx CCCma_cgcm3 médias mensais 2010-2100 (SRES A1B).xlsx	Médias mensais de umidade relativa, temperatura e precipitação para o período de 2010 até 2100 (SRES A2 e A1B)

5. CAPÍTULO IV: CARACTERIZAÇÃO DO CLIMA FUTURO (2010 – 2100) PARA A CIDADE DE CURITIBA – PR

De acordo com o termo de referência, o capítulo IV deveria ser composto pelos arquivos de dados em Excel e pelos gráficos que caracterizam o clima futuro. No entanto, visto que o capítulo V avalia os impactos do clima futuro, a SLPL optou por apresentar os gráficos referentes a este capítulo no capítulo V. A Tabela 5.1 apresenta os nomes dos arquivos assim como seus respectivos conteúdos. Conforme comentado no capítulo anterior, os dados de temperatura estão em Kelvin.

Tabela 5.1: Lista de arquivos referentes ao Capítulo IV

Arquivo	Conteúdo
HadRM3P médias móveis de 10 anos (SRES A2).xlsx	Médias móveis de 10 anos nas escalas mensal e sazonal para o modelo regional SRES A2 (Altas emissões)
HadRM3P médias móveis de 10 anos (SRES B2).xlsx	Médias móveis de 10 anos nas escalas mensal e sazonal para o modelo regional SRES B2 (mais baixas emissões)
CCCma_cgcm3 médias móveis de 10 anos (SRES A2).xlsx	Médias móveis de 10 anos nas escalas mensal e sazonal para o modelo global SRES A2 (Altas emissões)
CCCma_cgcm3 médias móveis de 10 anos (SRES A1B).xlsx	Médias móveis de 10 anos nas escalas mensal e sazonal para o modelo global SRES A1B (baixas emissões)

6. CAPÍTULO V: IMPACTOS DE UM POSSÍVEL CLIMA FUTURO MAIS QUENTE

6.1 Revisão da literatura

6.1.1 Análise regional a partir de modelos globais

As conclusões do relatório AR4 do IPCC sobre o impacto das mudanças climáticas na América do Sul mencionam que a maioria dos 21 modelos globais para o cenário A1B indica um aumento da ocorrência de precipitações assim como um aumento nas temperaturas para esta região (Christiansen et al. 2007). De maneira mais específica, para o sul da América Latina (que engloba a região deste estudo) o aquecimento varia e o aquecimento previsto pela metade dos modelos varia entre 2,3 e 3,1 ^{o}C para o fim do século 21. A Tabela 6.1 apresenta as médias regionais das projeções de temperatura e precipitação para o conjunto dos 21 modelos globais para a região Sul da América do Sul (SSA).

Tabela 6.1: Médias regionais das projeções de temperatura e precipitação geradas por 21 modelos globais para o cenário A1B (extraída de Christiansen et al. 2007) para a região SSA

		Temperatura Resposta (°C)						Precipitação Resposta (%)				
Região	**Estação**	**Min**	**25**	**50**	**75**	**Max**	**T anos**	**Min**	**25**	**50**	**75**	**Max**
SSA	Verão (DJV)	1.5	2.5	2.7	3.3	4.3	10	-16	-2	1	7	10
	Outono (MAM)	1.8	2.3	2.6	3.0	4.2	15	-11	-2	1	5	7
56S,76W	Inverno (JJA)	1.7	2.1	2.4	2.8	3.6	15	-20	-7	0	3	17
a	Primavera (SON)	1.8	2.2	2.7	3.2	4.0	15	-20	-12	1	6	11
20S,40W	**Anual**	**1.7**	**2.3**	**2.5**	**3.1**	**3.9**	**10**	**-12**	**-1**	**3**	**5**	**7**

A Figura 6.1 mostra as anomalias de temperatura em relação ao período de 1901-1950 para o Sul da América do Sul (SSA) de 1906 a 2006 (linha preta) e de 2001 a 2100 (contorno vermelho). Os dados simulados provenientes dos modelos globais incorporam as condições do cenário A1B. As barras na parte direita da figura representam as mudanças projetadas para o período de 2091 a 2100 para o cenário B1 (azul), o cenário A1B (laranja) e o cenário A2 (vermelho).

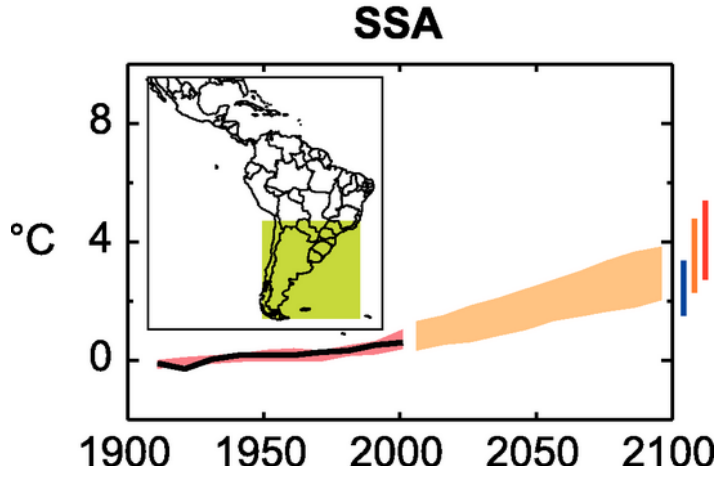

Figura 6.1: Tendência do aquecimento climático para o Sul da América do Sul (Extraído de Christiansen et al. 2007)

A Figura 6.2 apresenta as mudanças de temperatura e precipitação sobre a América Central e do sul. A linha superior apresenta a mudança, segundo a média dos 21 modelos, de temperatura entre o período de 1980 a 1999 e o de 2080 a 2099 em média anual, no verão (DJF) e no inverno (JJA). A linha do meio apresenta as mudanças para a variável precipitação. A linha de baixo apresenta a quantidade de modelos dentre os 21 que prevêem um aumento nas precipitações.

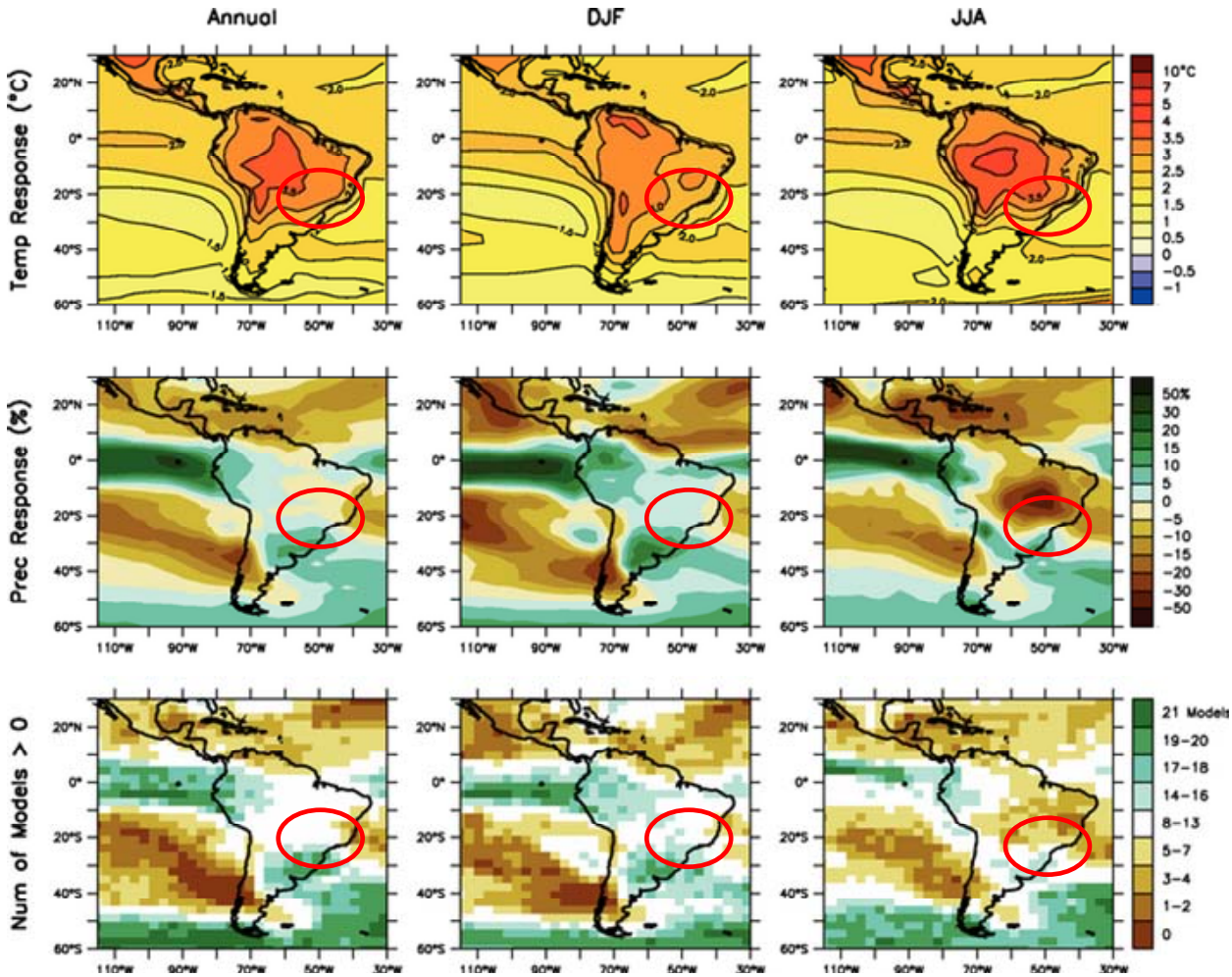

Figura 6.2: Tendência das mudanças climáticas para o Sul da América do Sul (Extraído de Christiansen et al. 2007)

6.1.2 Análise regional a partir de modelos regionais

Vários artigos publicados recentemente analisam o clima da América do Sul utilizando modelos regionais do clima (Munez *et al.,* 2008; Marengo et al. 2009). Com relação ao Brasil, a análise das mudanças climáticas a partir de modelos regionais foi realizada recentemente por Marengo et al. 2009 para o período de 2071 a 2100. Três modelos climáticos regionais (Eta CSC, RegCM3 e HadRM3P) foram agrupados ao modelo global HadAM3P. As simulações cobrem períodos de 30 anos: um período representando o clima atual (1961-1990) e outro representando o período futuro 2071-2100 com base no cenário A2 do IPCC. Os três modelos regionais mostram que no sul da América do Sul o aquecimento no verão varia entre 2 e 4 ^{o}C e no inverno entre 3 e 5 ^{o}C, conforme apresentado na Figura 6.3. Com relação as ocorrências de precipitações as incertezas são mais significativas. Conforme apresentado na Figura 6.4, entre os três modelos avaliados o HadRM3P é o mais úmido. As simulações regionais reproduzem de maneira mais refinada as grandes tendências das simulações geradas a partir dos modelos globais que foram objeto do relatório AR4. Em resumo, para a América do sul a modelagem da mudança climática futura parece bastante robusta para algumas regiões, como no lado noroeste do Peru, norte da Argentina, leste da Amazônia e norte do Brasil. Para outras regiões como no centro-oeste e no sudeste do Brasil o sinal é menos claro.

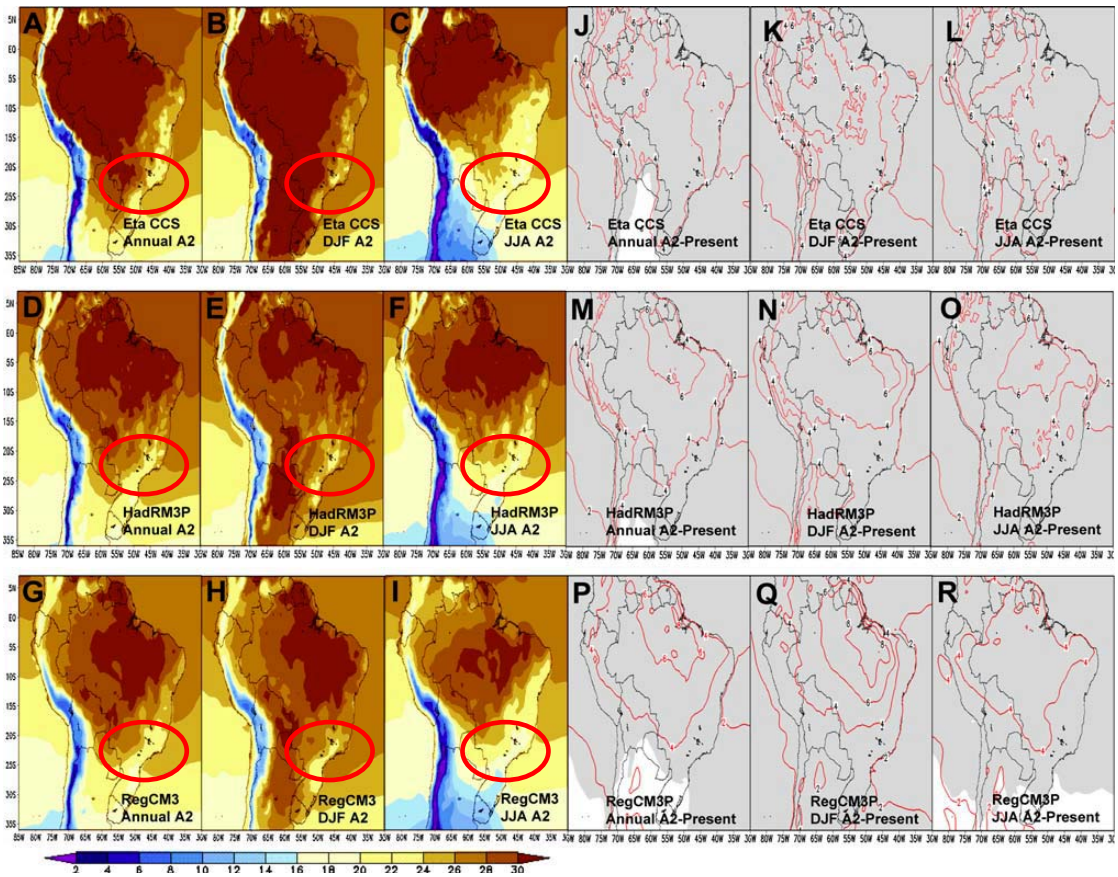

Figura 6.3: Modelagem regional para a América do Sul (Extraído de Marengo et al. 2009a)

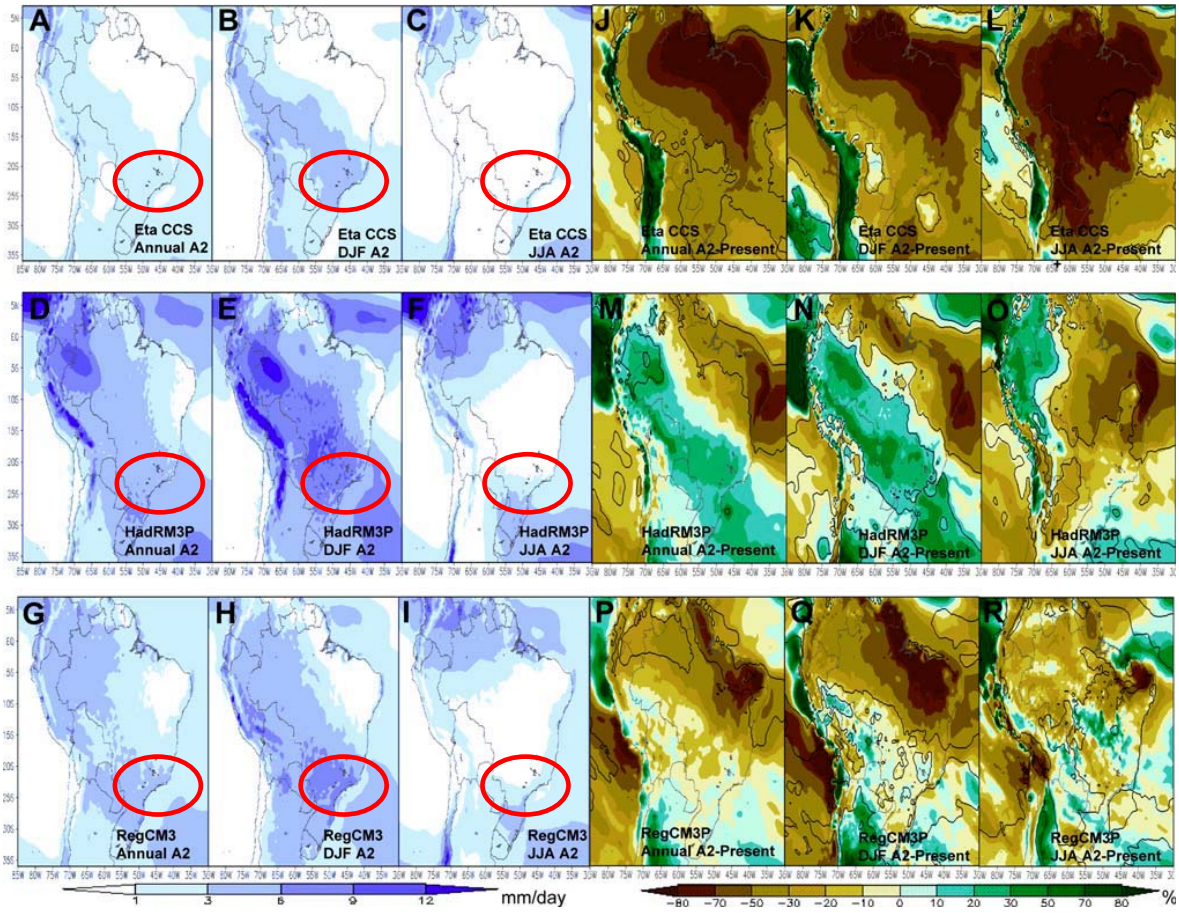

Figura 6.4: Modelagem regional das precipitações para a América do Sul (Extraído de Marengo et al. 2009a)

Curitiba se situa no limite setentrional da região S estudada por Marengo et al, 2009, conforme apresentado na Figura 6.5. Os gráficos apresentados na Figura 6.6 mostram claramente o aquecimento da região. Com relação às precipitações o ciclo anual modelado é respeitado. Os três modelos representam todos os ciclos anuais, mas todos não convergem para conclusões similares. O HadRM3P é o mais úmido dos três (Figura 6.7 L); para o verão, no entanto, as precipitações simuladas permanecem bem próximas dos valores atuais. Além das tendências mensais, os climatologistas concluem que é principalmente devido à ocorrência de eventos extremos que as mudanças climáticas afetarão os sistemas naturais e antrópicos. Isto deve ser levado em consideração durante a colocação em prática de medidas de adaptação para a região.

Figura 6.5: Zonas de estudo da análise de mudanças climáticas através da modelagem regional (extraída de Marengo et al., 2009a)

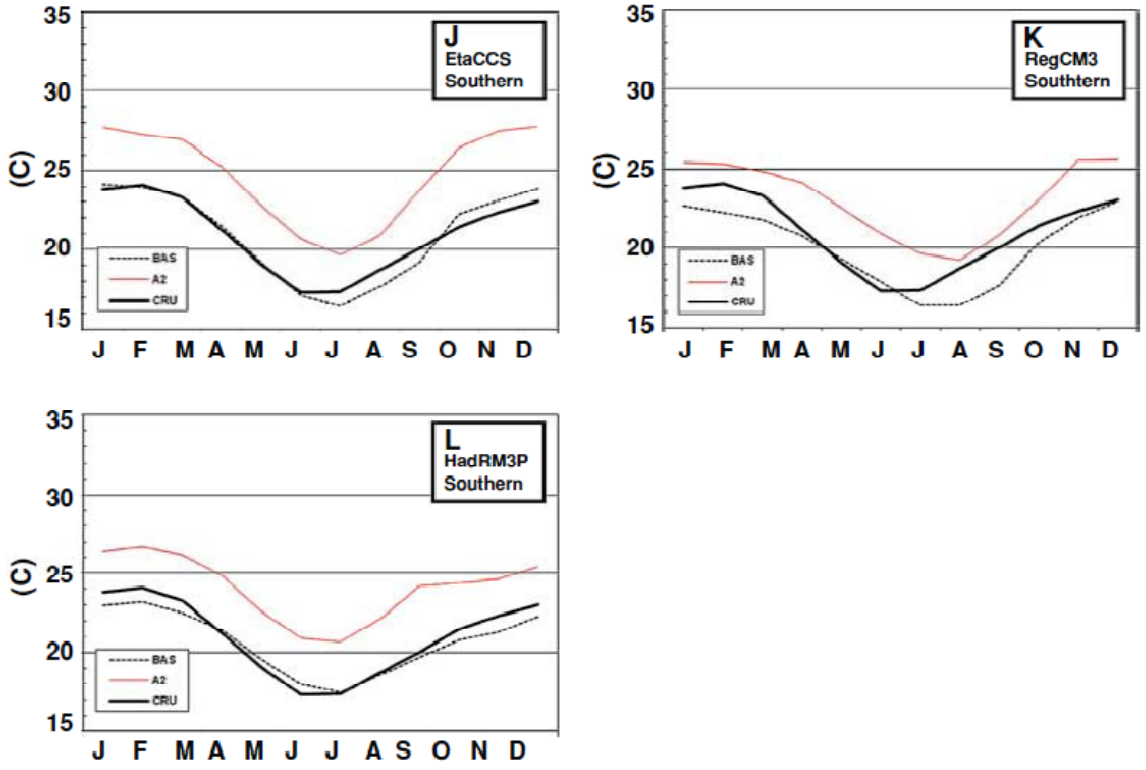

Figura 6.6: Ciclo anual modelado para a temperatura para a região S (extraído de Marengo et al. 2009a)

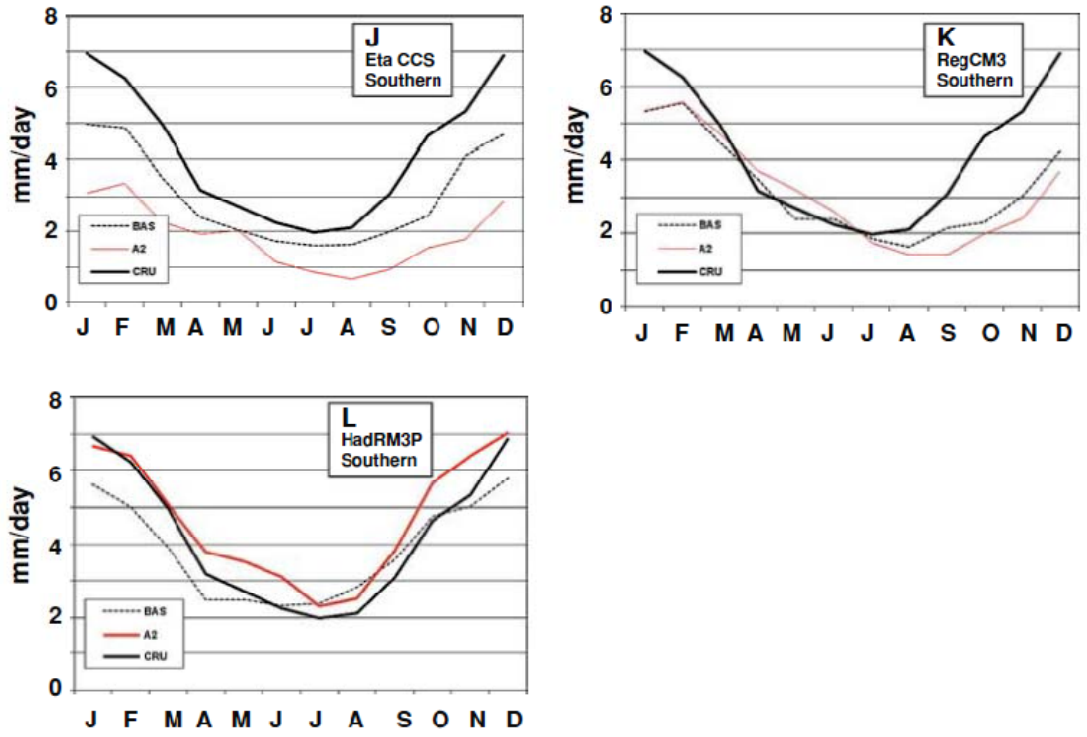

Figura 6.7: Ciclo anual modelado das precipitações para a região S (extraído de Marengo et al. 2009a)

6.2 Análise a partir dos dados extraídos

6.2.1 CGCM3

As Figuras 6.8 e 6.9 ilustram o aquecimento tal como previsto no local do *grid* do CGCM3 que cobre a região metropolitana de Curitiba. Os resultados seguem as tendências médias discutidas na literatura. Como antecipado o aquecimento é mais significativo para o cenário A2 (linhas em vermelho) que para o cenário A1B (linhas em azul). Os resultados das cinco execuções (*Runs*) do modelo são menos robustas para os meses de setembro e outubro. Segundo as cinco execuções, conforme apresentado na Figura 6.9, o aquecimento na primavera bem que identificada será mais incerta (dentro de suas amplitudes) no período de 2071-2100.

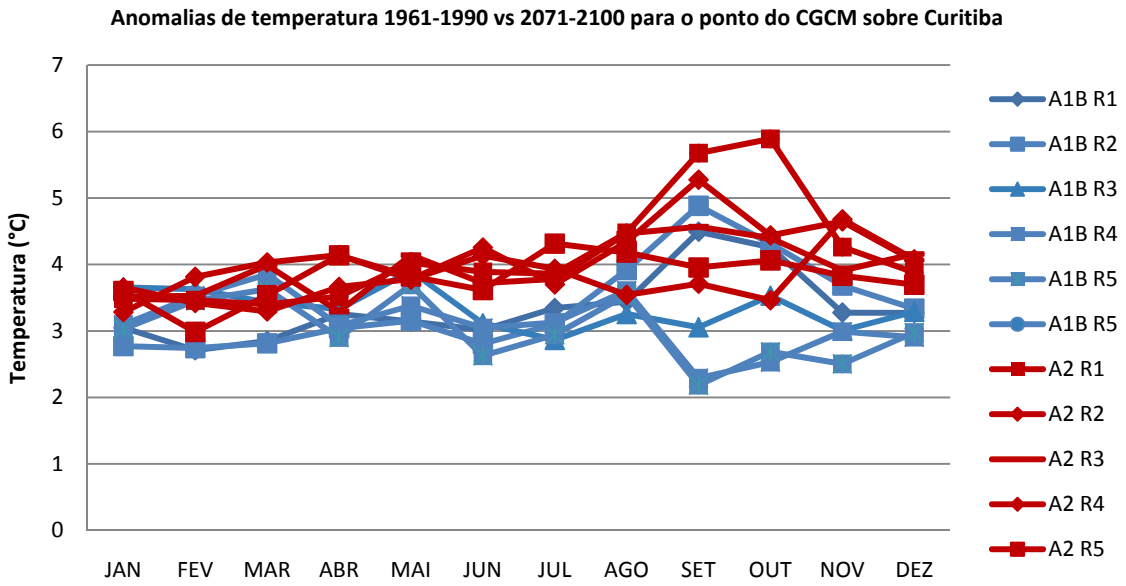

Figura 6.8: Anomalias mensais das temperaturas simuladas pelo modelo CGCM3 sobre Curitiba

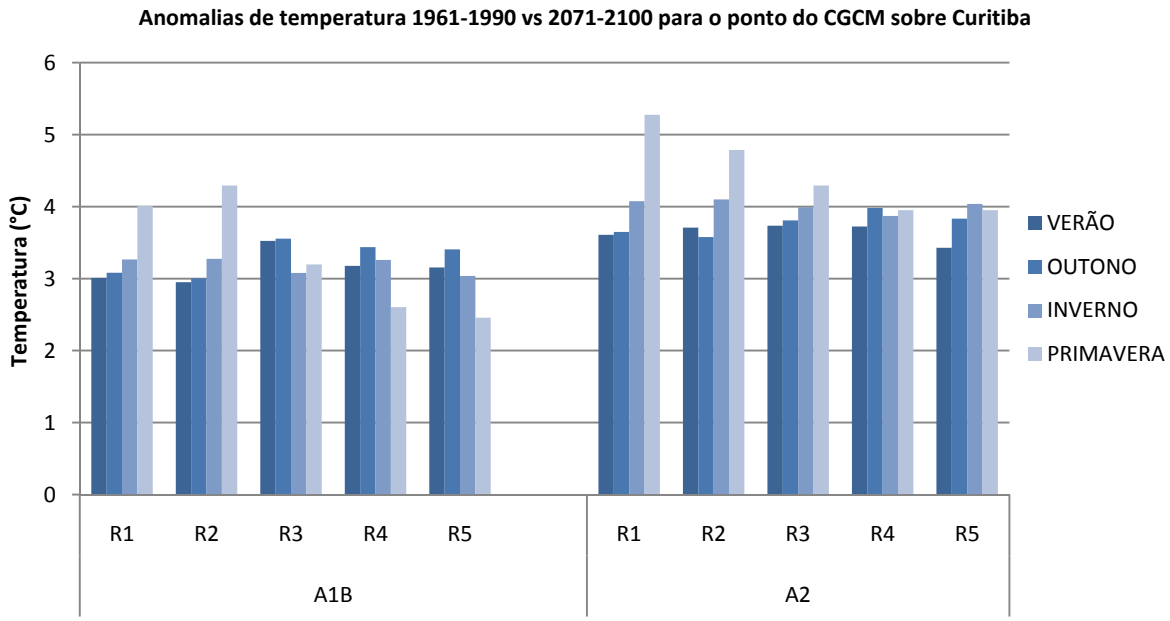

Figura 6.9: Anomalias sazonais das temperaturas modeladas para as cinco execuções do modelo global CGCM3 sobre Curitiba

As Figuras 6.10 a 6.13 apresentam as médias móveis de 10 anos para as temperaturas simuladas para o século XXI. O aquecimento é nítido e regular para todas as estações e conforme citado anteriormente as simulações para a primavera são mais voláteis. Observa-se uma nítida separação entre os resultados modelados para A2 e A1B no final do século (a partir da década de 2074-2083).

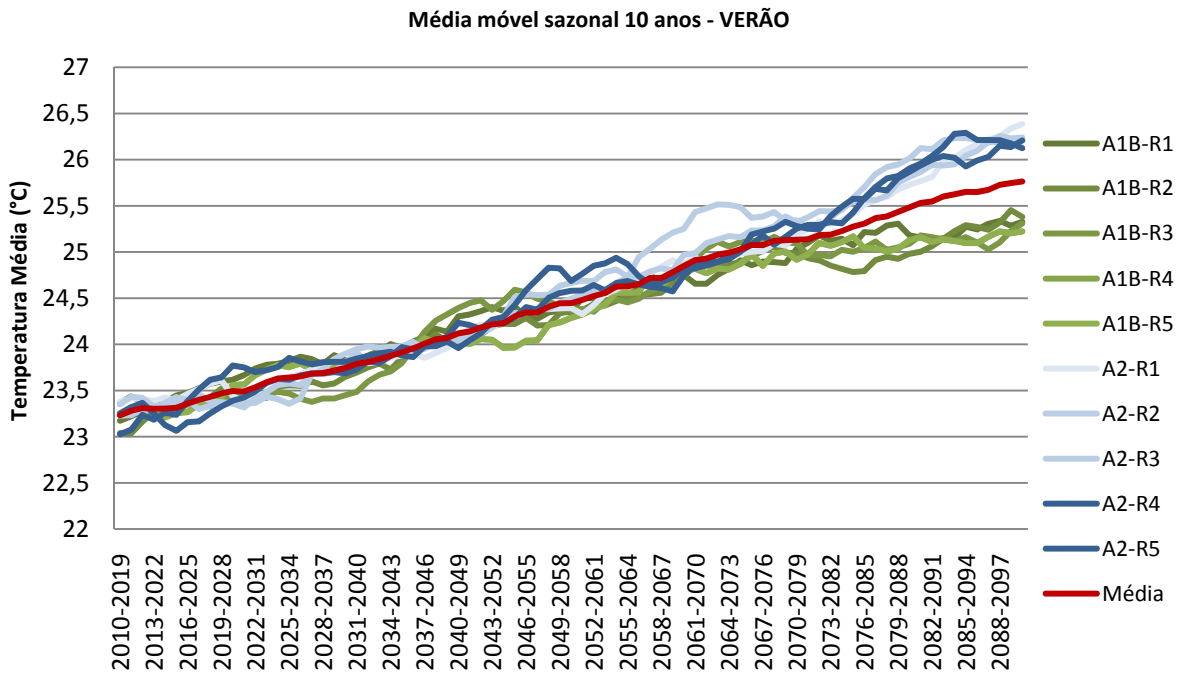

Figura 6.10: Evolução da temperatura para o verão no século XXI (CGCM3)

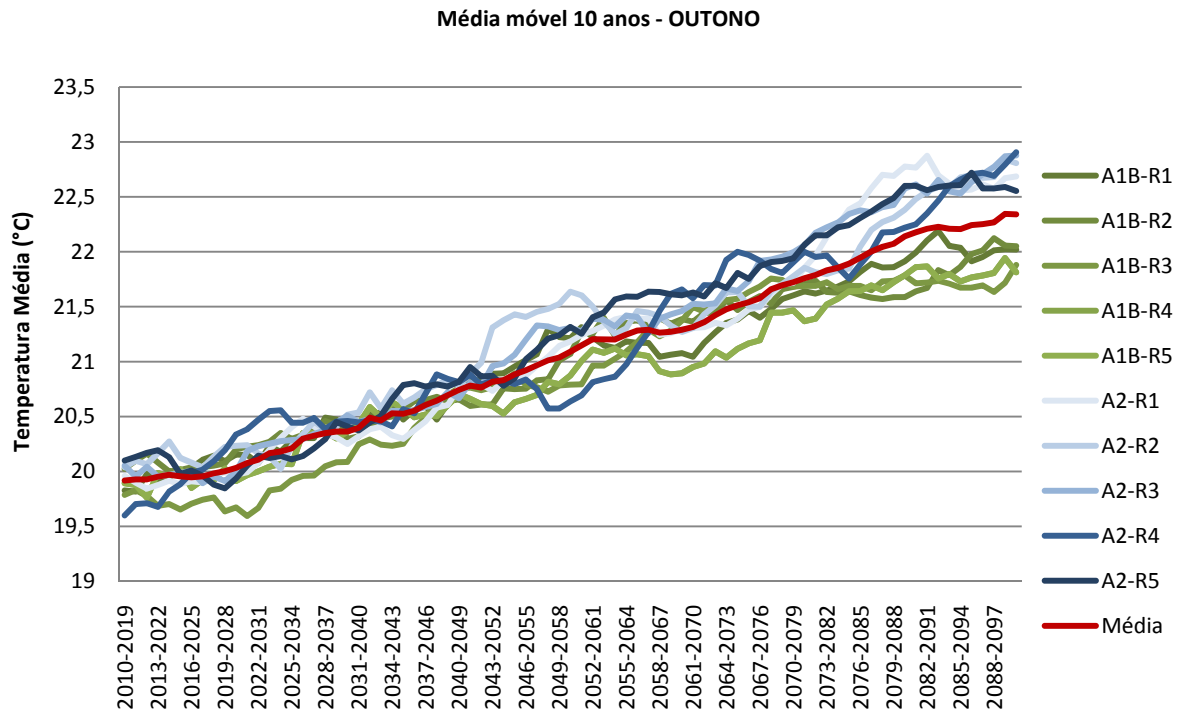

Figura 6.11: Evolução da temperatura para o outono no século XXI (CGCM3)

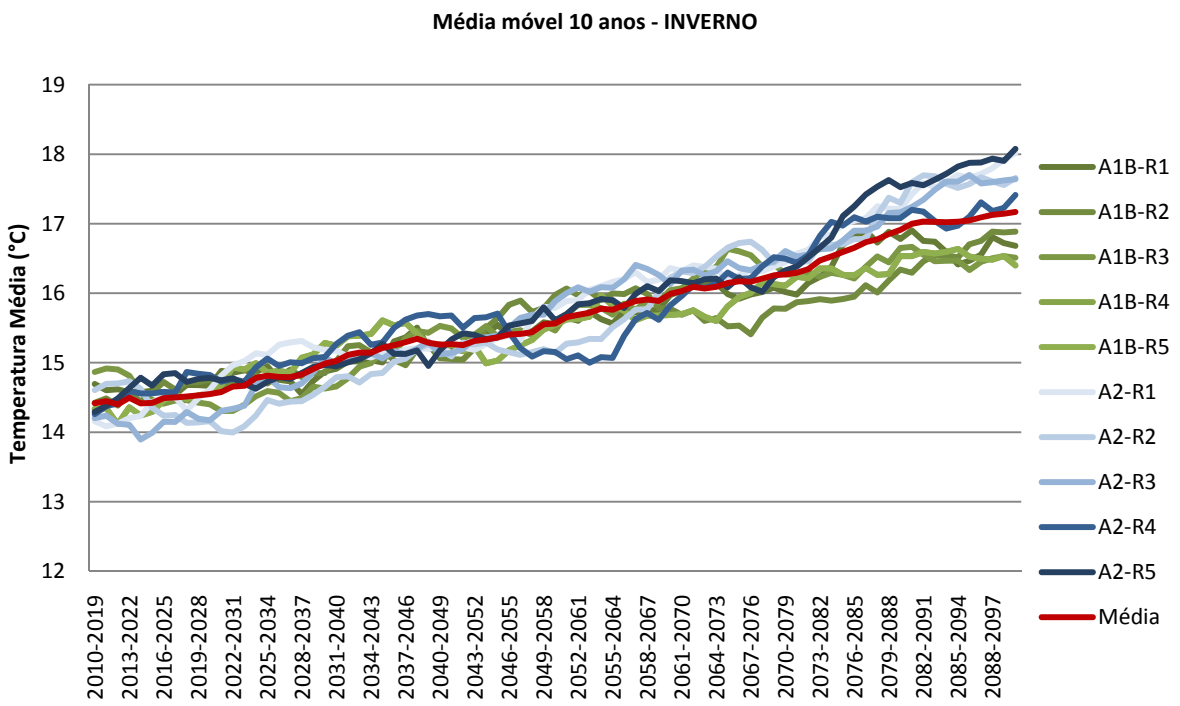

Figura 6.12: Evolução da temperatura para o inverno no século XXI (CGCM3)

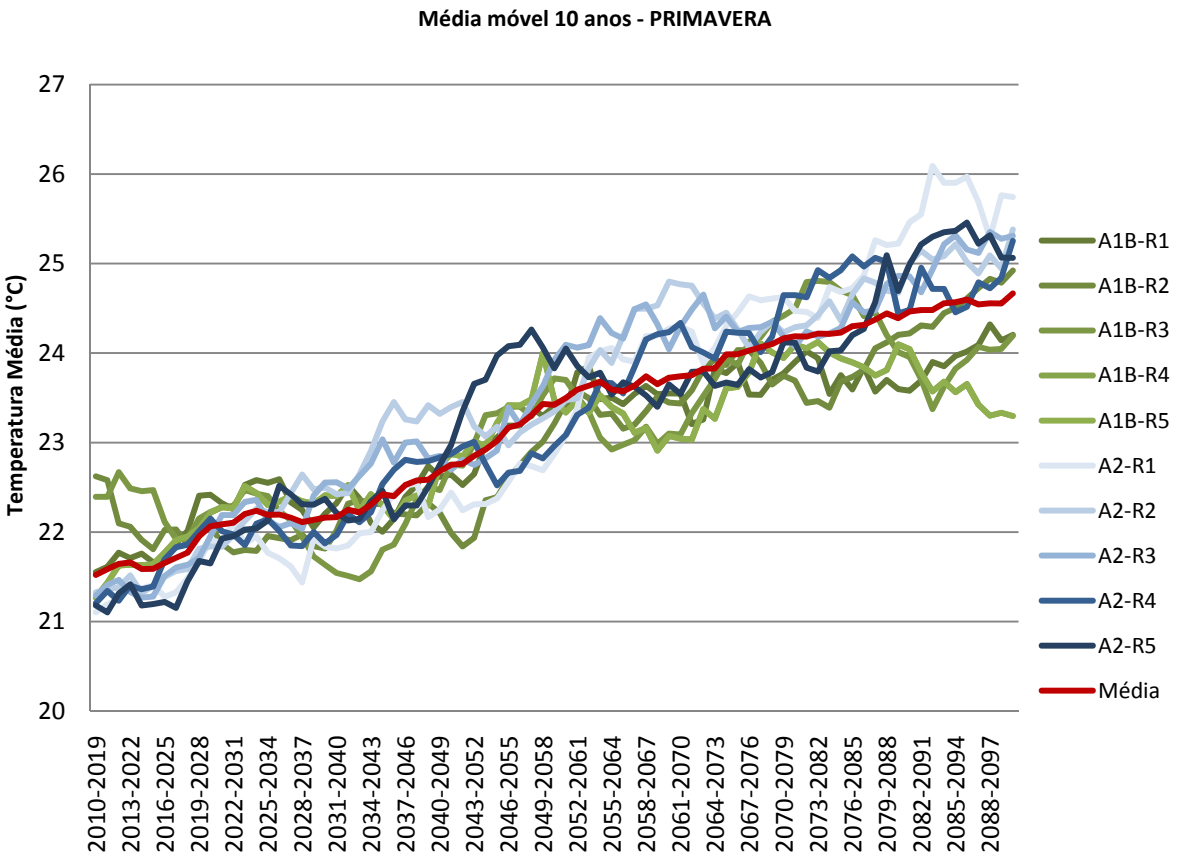

Figura 6.13: Evolução da temperatura para a primavera no século XXI (CGCM3)

Com relação às precipitações, as Figuras 6.14 a 6.19 mostram igualmente o alto nível de incerteza das simulações para o final do século XXI. Na realidade, as 5 execuções (*Runs*) cobrem um grande espectro de tendências possíveis. Contudo, o inverno parece ser mais afetado por uma redução das precipitações (Figuras 6.14 e 6.15). De maneira geral, segundo as simulações do CGCM3 sobre Curitiba, a região não parece ser afetada por uma ausência de precipitação. Isto não quer dizer que não poderá ocorrer períodos de escassez. Na realidade, os estudos climatológicos regionais sobre os extremos climáticos (Marengo et al. 2010b) indicam que as mudanças nos extremos são compatíveis com o aquecimento global: as tendências são particularmente positivas para as noites quentes e são negativas para o surgimento de noites frias. O estudo mostra também uma tendência positiva para a ocorrência de fortes precipitações e de dias secos consecutivos. Estas observações poderão fazer parte de estudos futuros mais específicos.

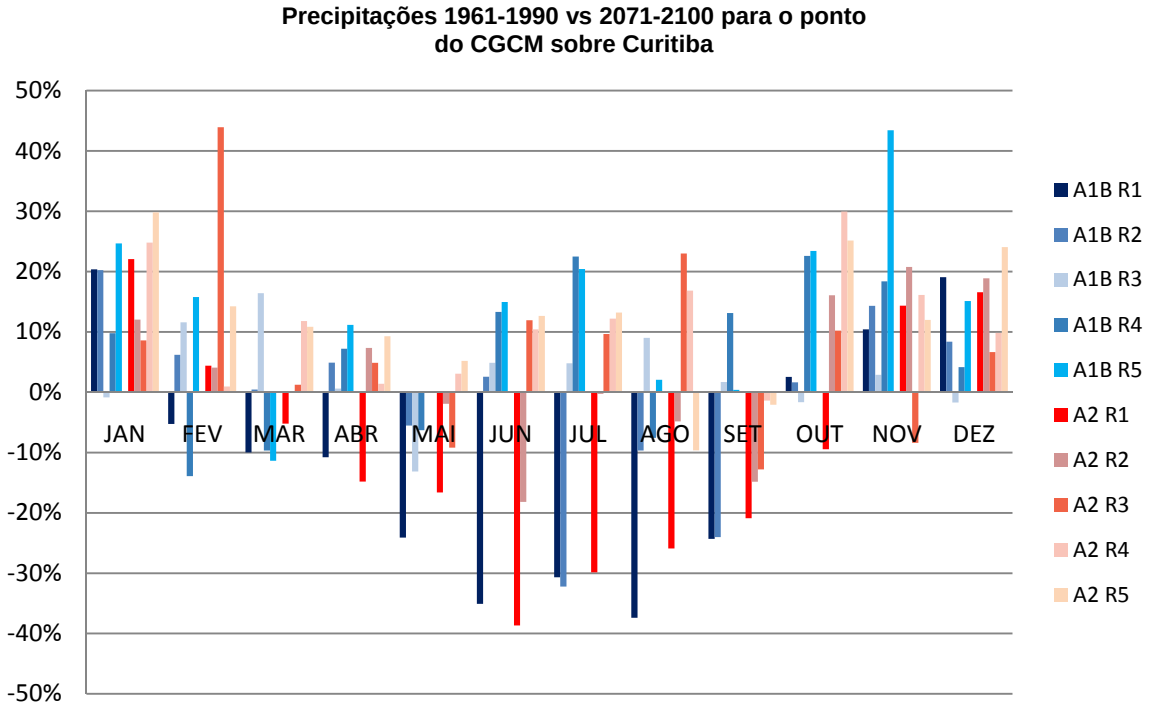

Figura 6.14: Delta das precipitações mensais simuladas pelo modelo global CGCM3 sobre Curitiba

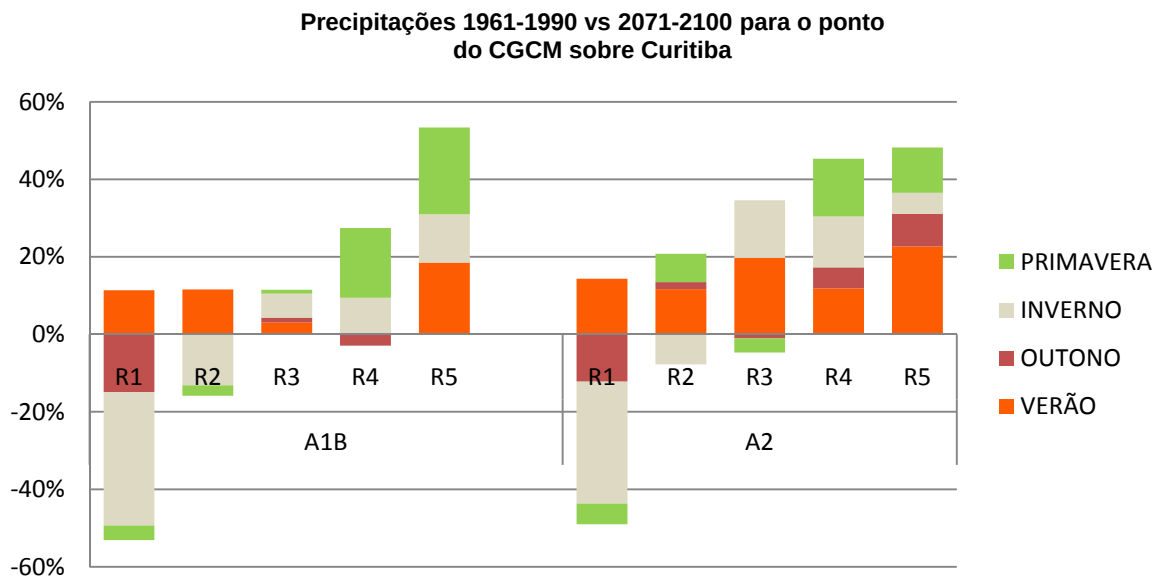

Figura 6.15: Delta das precipitações sazonais simuladas pelo modelo global CGCM3 sobre Curitiba

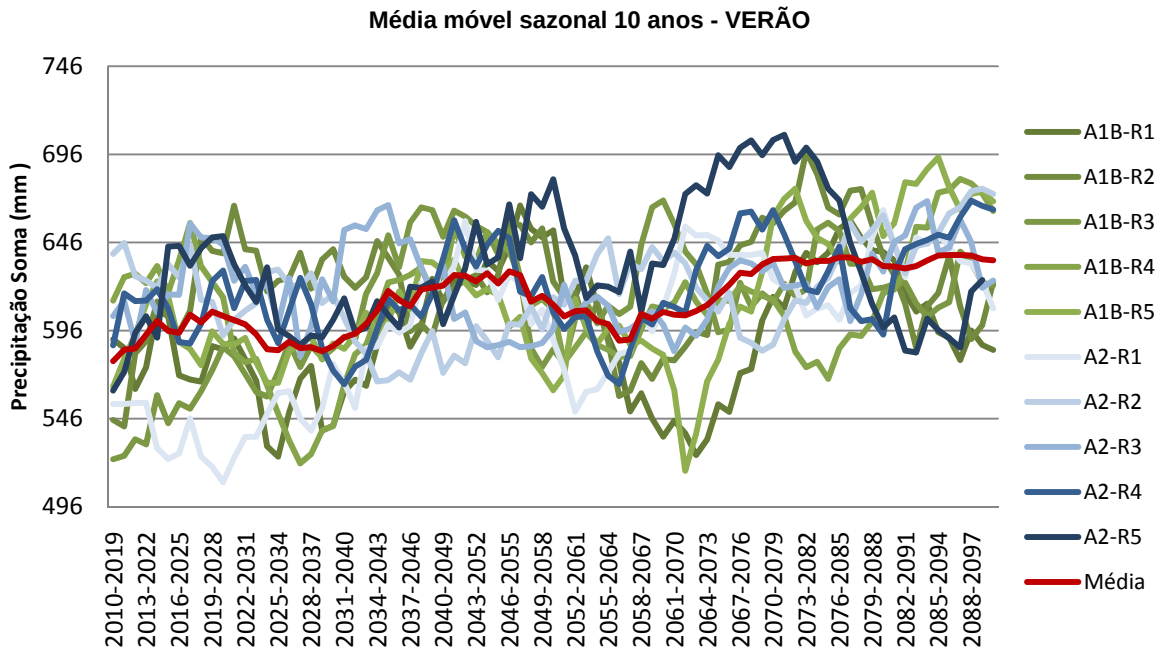

Figura 6.16: Precipitações previstas pelo modelo global CGCM3 para o verão no século XXI

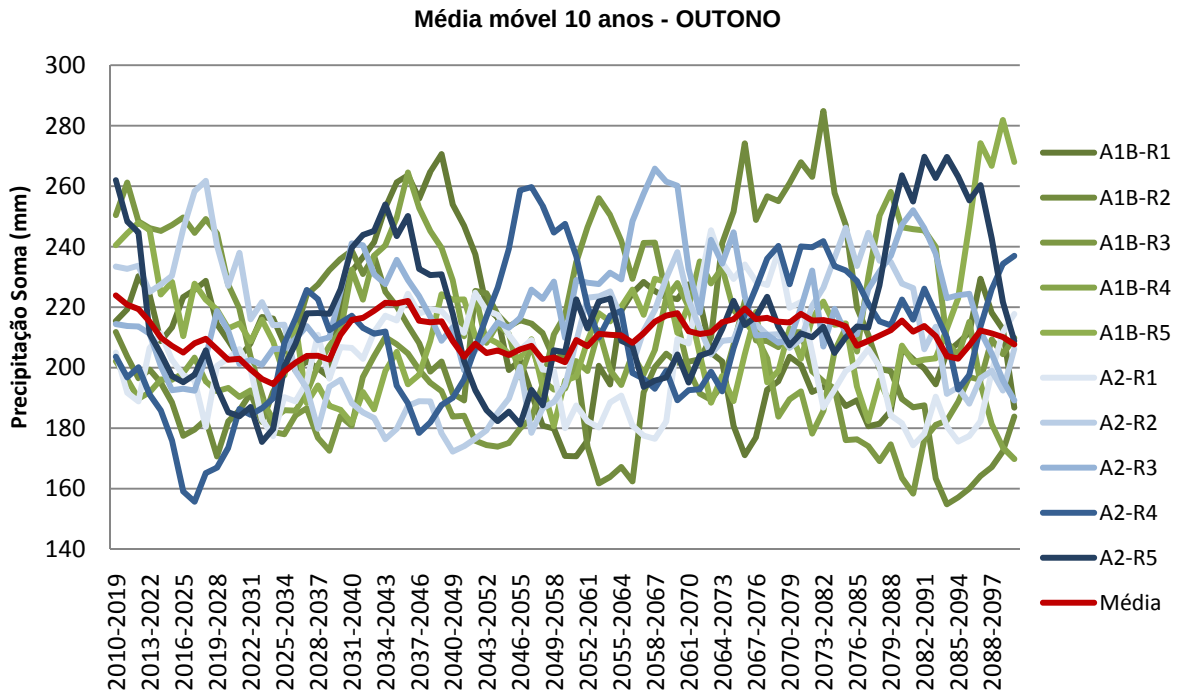

Figura 6.17: Precipitações previstas pelo modelo global CGCM3 para o outono no século XXI

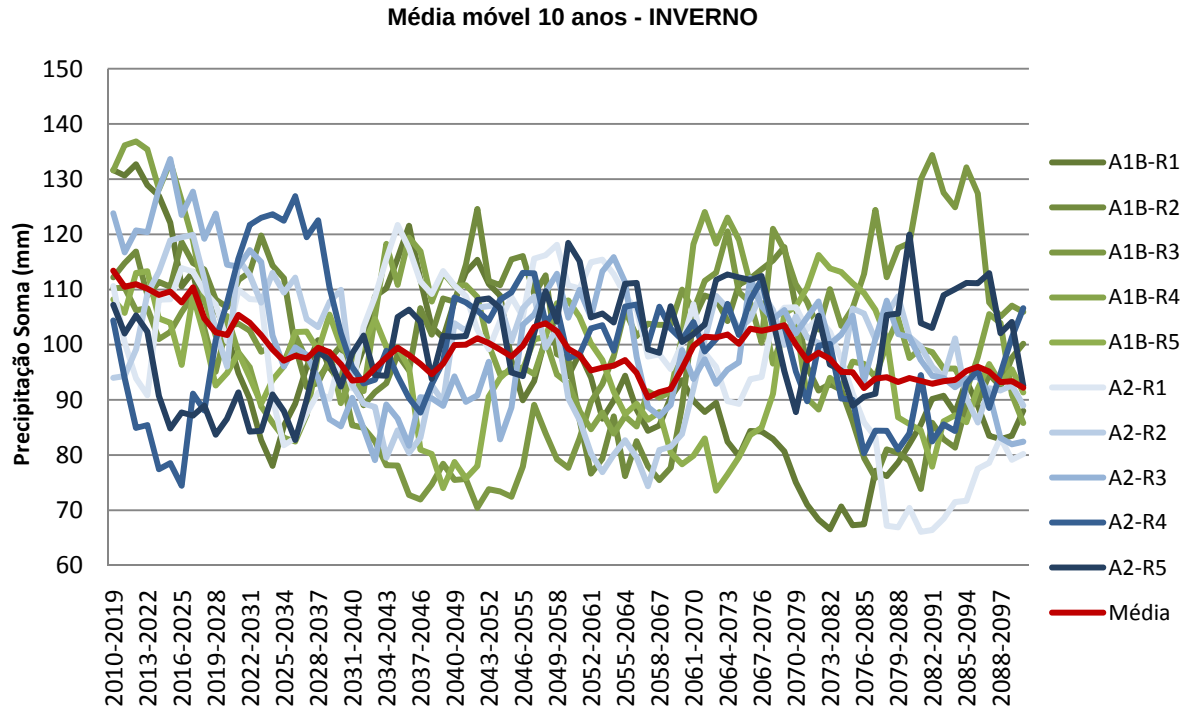

Figura 6.18: Precipitações previstas pelo modelo global CGCM3 para o inverno no século XXI

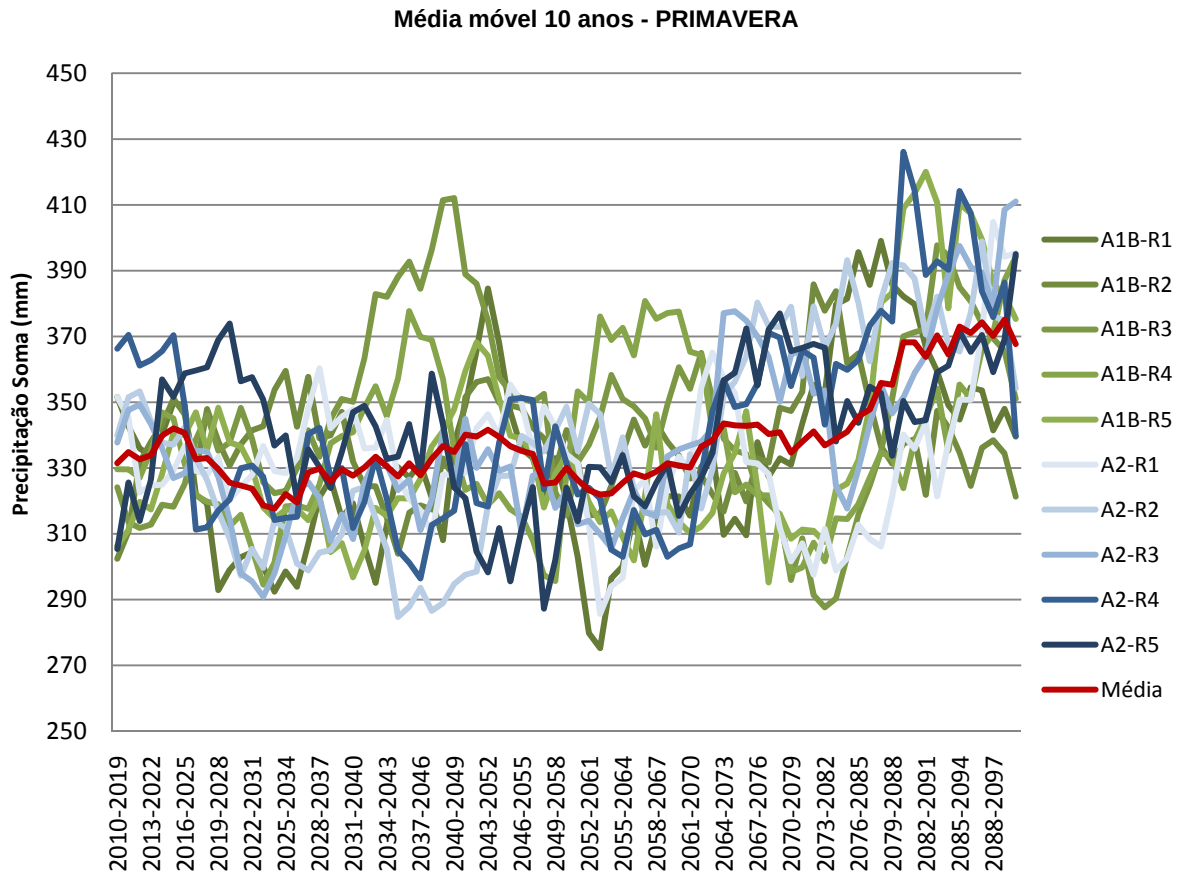

Figura 6.19: Precipitações previstas pelo modelo global CGCM3 para a primavera no século XXI

6.2.2 HadRM3P

As Figures 6.20 a 6.29 apresentam os resultados obtidos a partir do modelo regional HadRM3P conduzido pelo modelo global britânico HadAM3P. A Figura 6.20 apresenta as anomalias entre as temperaturas sazonais do clima atual (1961-1990) em relação às médias sazonais das projeções de clima futuro (2071-2100). As tendências ao aquecimento no final do século variam entre 2 e 4 graus, em concordância com os resultados obtidos por Marengo et al. 2009, o cenário A2 prevê um aquecimento mais significativo do que o B2.

As evoluções da temperatura (médias móveis de 10 anos) para o século XXI são apresentadas nas Figuras 6.21 a 6.24.

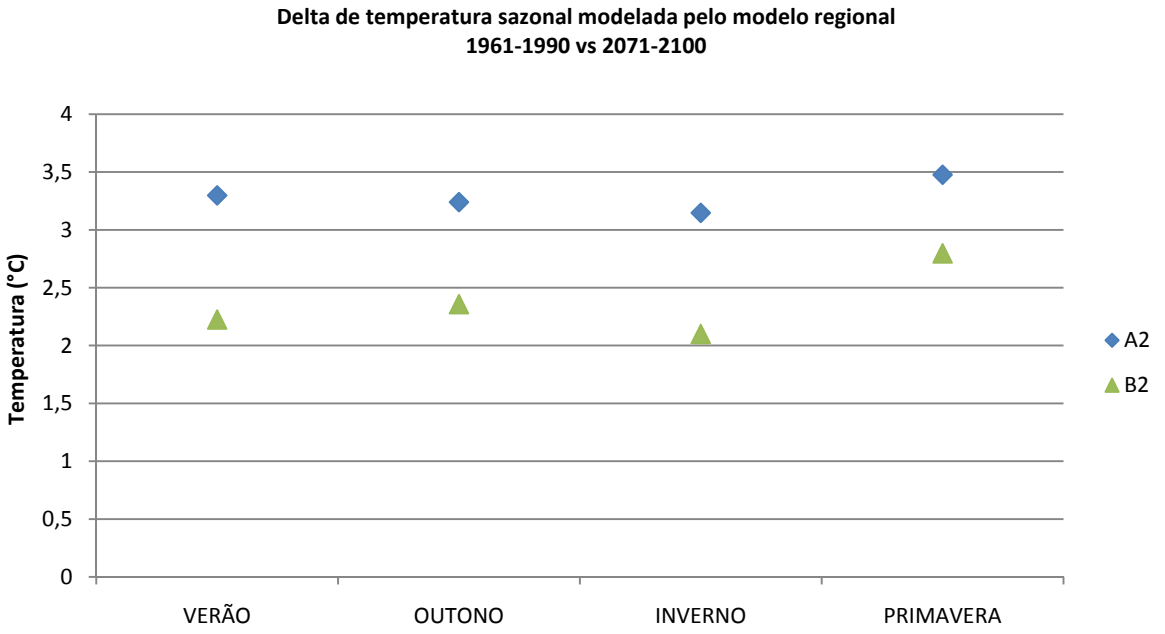

Figura 6.20: Anomalias sazonais das temperaturas simulados pelo modelo regional HadRM3P sobre Curitiba

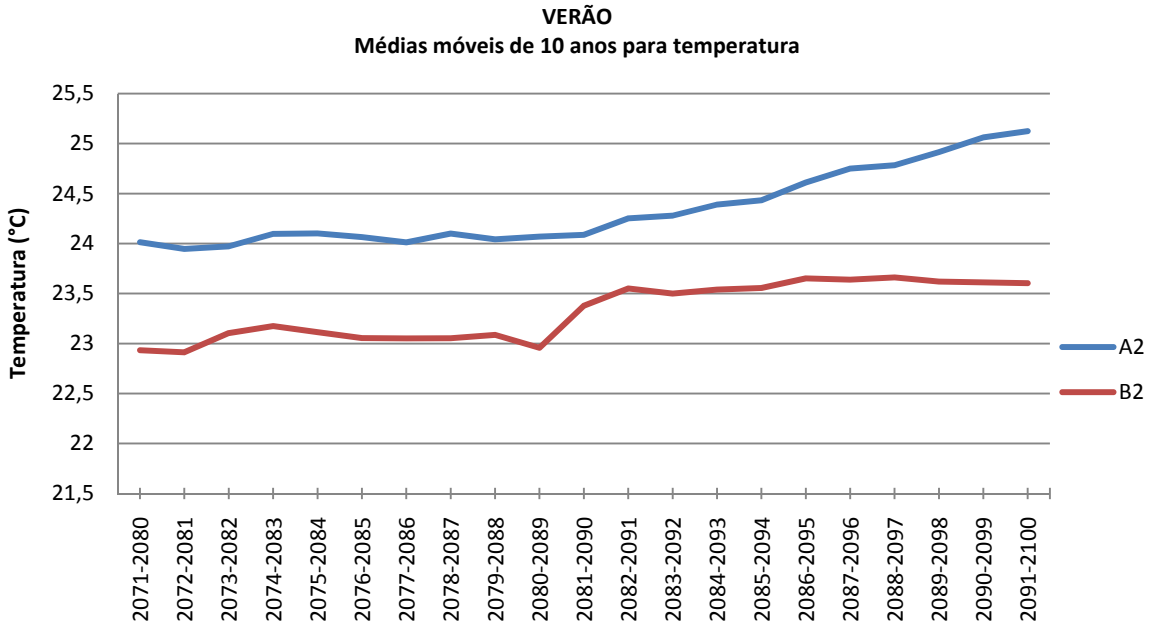

Figura 6.21: Médias móveis de 10 anos para o verão do século XXI (HadRM3P)

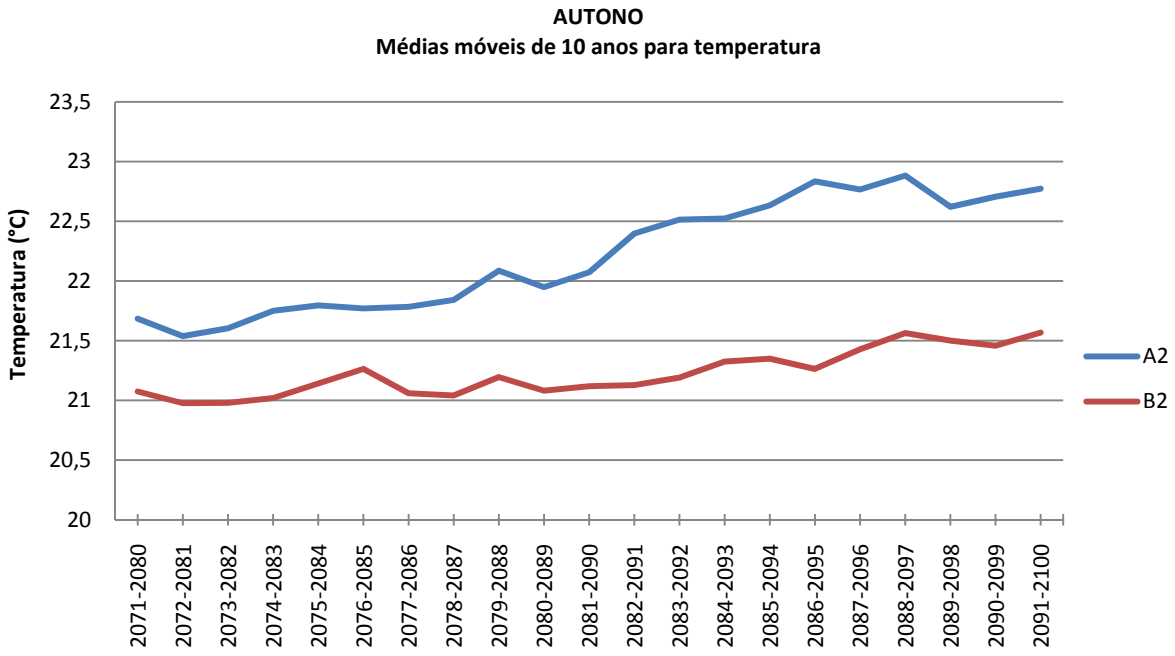

Figura 6.22: Médias móveis de 10 anos para o outono do século XXI (HadRM3P)

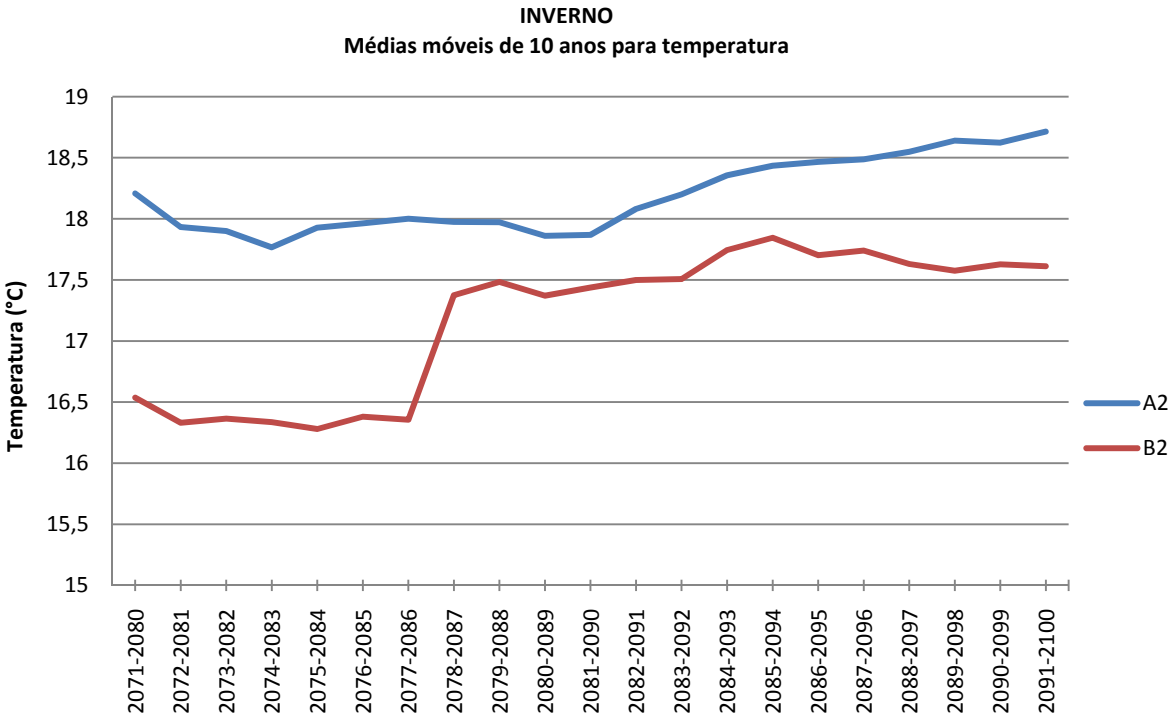

Figura 6.23: Médias móveis de 10 anos para o inverno do século XXI (HadRM3P)

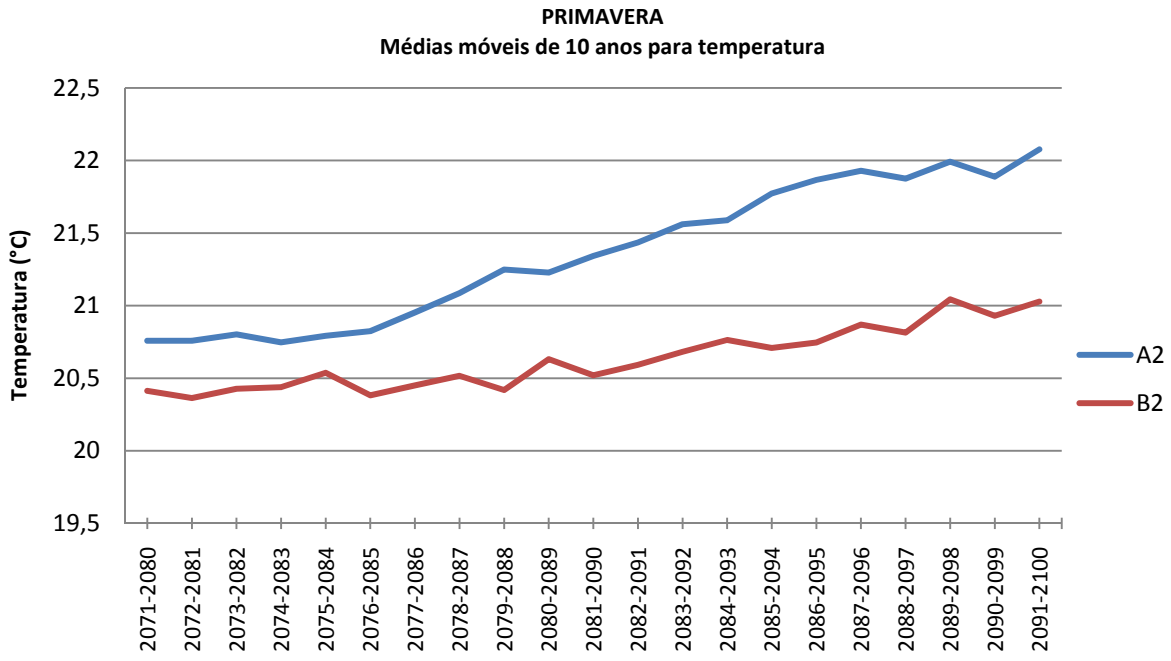

Figura 6.24: Médias móveis de 10 anos para a primavera do século XXI (HadRM3P)

A Figura 6.25 apresenta as variações entre 1961-1990 e 2071-2100 para as precipitações sazonais. Com relação aos resultados do CGCM3, mesmo também contendo incertezas as tendências de aumento são mais nítidas. As evoluções das precipitações (médias móveis de 10 anos) para o século são apresentadas nas Figuras 6.26 a 6.29.

A Figura 6.25 mostra que modelo regional HadRM3P simula para o final do século XXI uma quantidade maior de precipitação para a região de estudo. Entretanto, no inverno esta tendência é menos nítida.

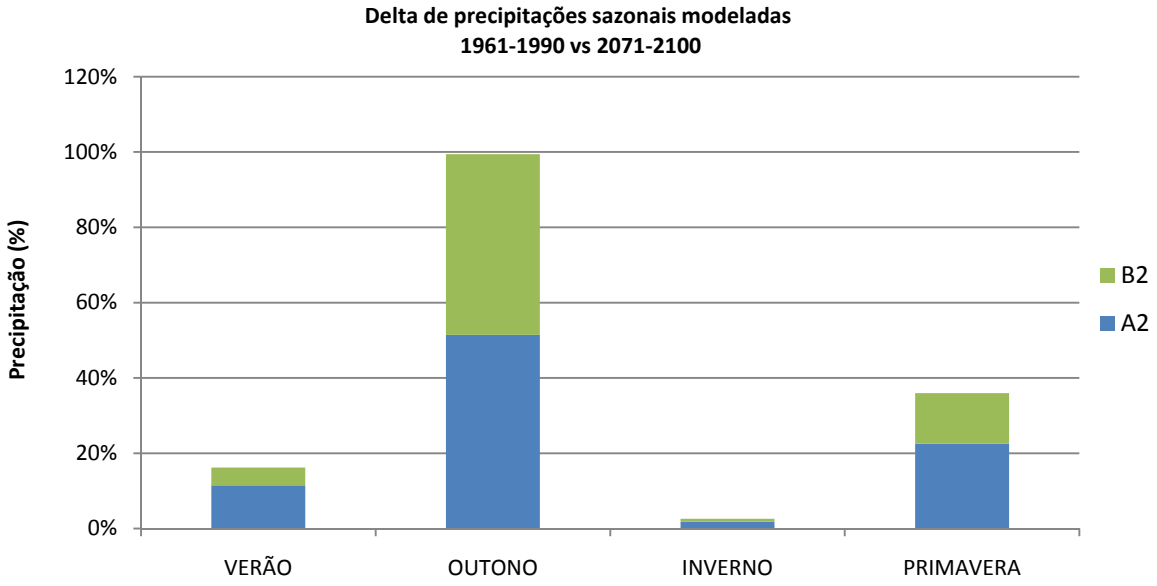

Figura 6.25: Variações das precipitações sazonais simuladas pelo HadRM3P sobre Curitiba

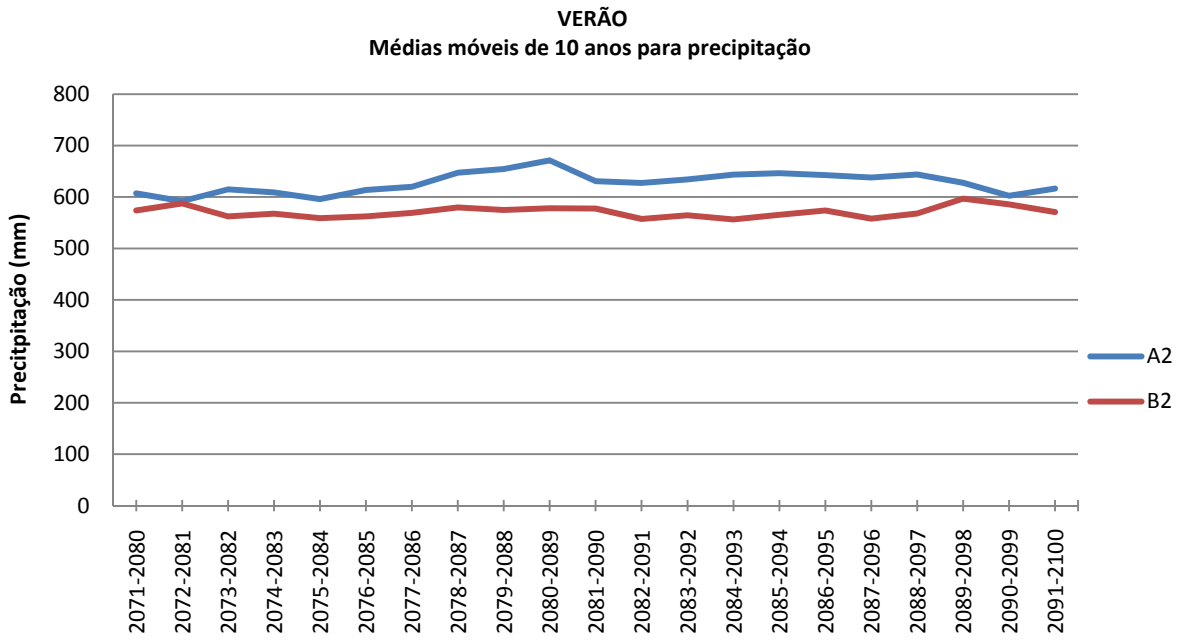

Figura 6.26: Evolução das precipitações no verão para o século XXI (HadRM3P)

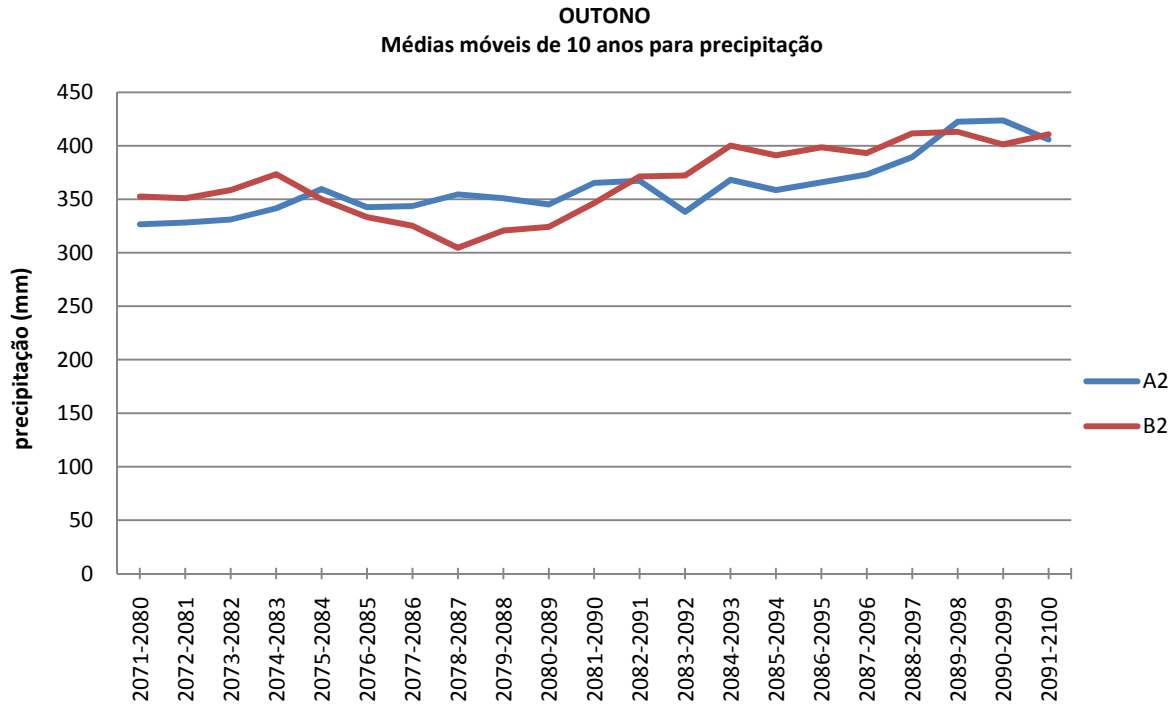

Figura 6.27: Evolução das precipitações no outono para o século XXI (HadRM3P)

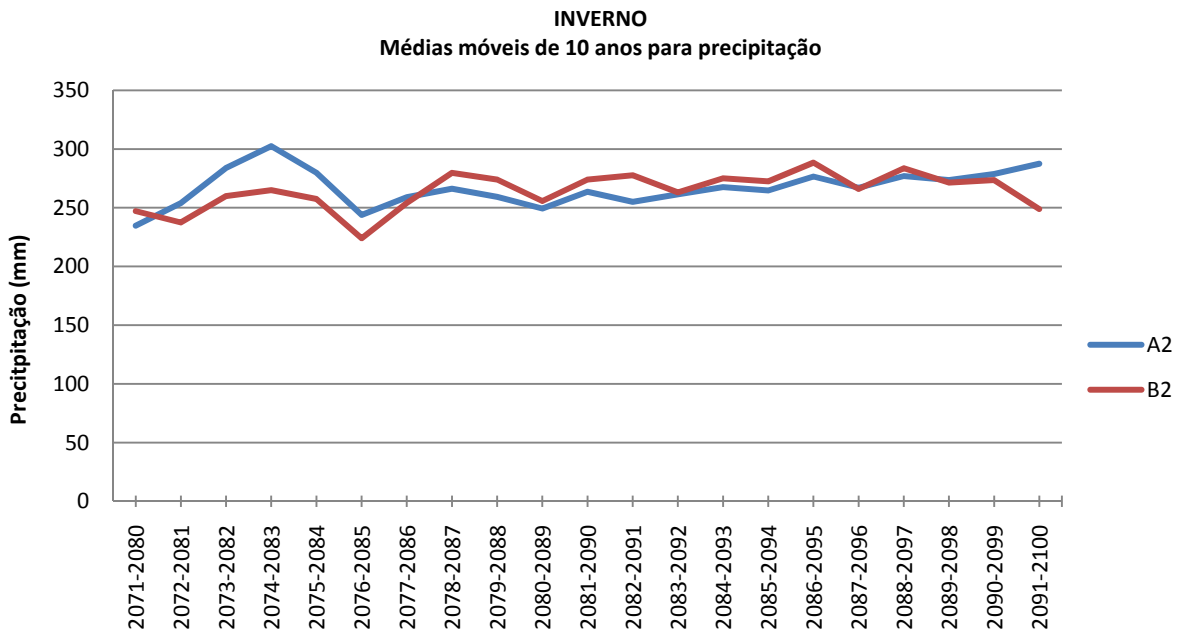

Figura 6.28: Evolução das precipitações no inverno para o século XXI (HadRM3P)

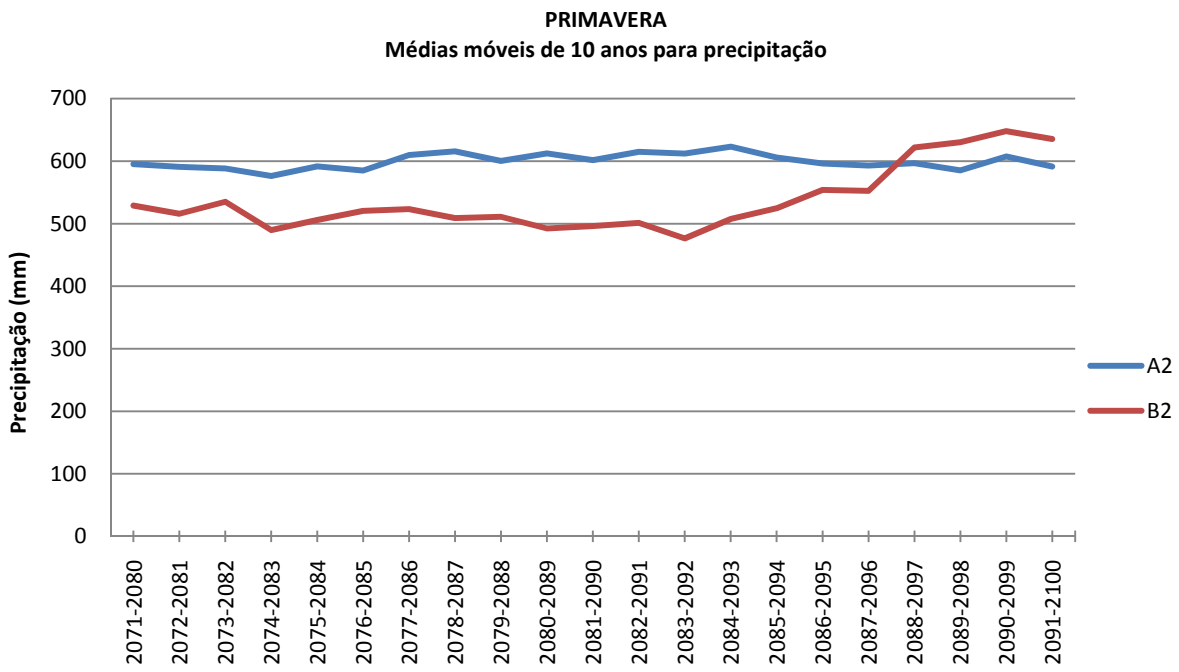

Figura 6.29: Evolução das precipitações na primavera para o século XXI (HadRM3P)

7. CONCLUSÕES

Levando em consideração a revisão da literatura e as análises fornecidas, a Tabela a 7.1 apresenta os impactos decorrentes das mudanças climáticas para a região metropolitana de Curitiba. As tendências ao aquecimento são nítidas. Com relação às precipitações, deve-se prever a gestão de um ciclo hídrico perturbado em relação ao atual. As tendências relacionadas aos eventos extremos são particularmente interessantes. Na verdade, estes eventos extremos aumentando, deve-se prever a ocorrência de fortes chuvas e períodos prolongados sem chuva. Estas tendências serão úteis para antecipar as vulnerabilidades e as potencialidades relacionadas às mudanças climáticas para a região de Curitiba. No entanto, na avaliação dos impactos destas tendências devem-se levar em conta as incertezas dos resultados apresentados pelos modelos o que será realizado nos próximos relatórios.

Tabela 7.1: Sumário preliminar das mudanças climáticas previstas para a região metropolitana de Curitiba

Variável	1961-1990 (atual)	Confiabilidade	2071-2100 (futuro)	Confiabilidade
Temperatura	Aumento	Boa	Aumento	Boa
Precipitação	Aumento	Boa	Aumento	Variável

Indicadores mais específicos serão calculados a partir dos dados coletados para os próximos relatórios. No entanto, pode-se induzir que os setores da agricultura, de drenagem urbana, planejamento urbano, gestão de infra-estruturas assim como saúde publica devem antecipar medidas de adaptação para combater os efeitos adversos e aproveitar as oportunidades decorrentes do aquecimento previsto. Esta discussão será objeto dos próximos relatórios.

REFERÊNCIAS

Christensen JH, Hewitson B, Busuioc A, Chen A, Gao X, Held I, Jones R, Kolli RK, Kwon W-T, Laprise R, Magan˜a Rueda V,Mearns L, Mene´ndez CG, Ra¨isa¨nen J, Rinke A, Sarr A, WhettonP (2007a) Regional climate projections. Em: Solomon S, Qin D, Manning M, Chen Z, Marquis M, Averyt KB, Tignor M, Miller HL (eds) Climate change 2007: the physical science basis. Capítulo 11, contribuição do grupo de trabalho para o quarto relatório de avaliação do *Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, UK. http://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg1/en/ch11.html.

IPCC (2007). Fourth Assessment Report: Climate Change 2007. http://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/syr/en/contents.html.

Marengo Jose A., Tercio Ambrizzi, Rosmeri P. da Rocha Lincoln M. Alves, Santiago V. Cuadra, Maria C. Valverde Roger R. Torres, Daniel C. Santos, Simone E. T. Ferraz. (2009a). Future change of climate in South America in the late twenty-first century: intercomparison of scenarios from three regional climate models. *Climate Dynamics*, Volume 35, Número 6, 1073-1097, DOI: 10.1007/s00382-009-0721-6.

Marengo J. A., R. Jones, L. M. Alves, M. C. (2009b). Future change of temperature and precipitation extremes in South America as derived from the PRECIS regional climate modeling system. *International Journal of Climatology*. Volume 29, Issue 15, páginas 2241–2255, Dezembro 2009. DOI: 10.1002/joc.1863.

Nobre Carlos A., Young Andrea F., Saldiva Paulo, Marengo José A., Nobre Antonio D., Alves Jr. Sinézio., Silva Gustavo Costa Moreira da., Lombardo Magda. Vulnerabilidades das Megacidades Brasileiras às Mudanças Climáticas: Região Metropolitana de São Paulo (sumário executivo), 32 páginas, Junho de 2010, disponível em: http://issonaoenormal.com.br/CLIMA_SP_FINAL.pdf, acessado em: 08 de dezembro de 2012.

Nunez MN, Solman SA, Cabré MF (2008) Regional climate change experiments over southern South America. II: climate Change scenarios in the late twenty-first century. *Clim Dyn*. Doi 10.1007/s00382-008-0449-8.

Verseghy, D.L., N.A. McFarlane, and M. Lazare, 1993: A Canadian Land Surface Scheme for GCMs:II. Vegetation model and coupled runs. Int. J. Climatol., 13, 347-370.

www.snclavalin.com

SNC-LAVALIN PROJETOS LTDA.
Rua Bandeira Paulista, 702 – Conjunto 101 – 10º andar
04532-002 São Paulo, SP
Brasil
Tel.: (55 11) 3077-1200
Fax: (55 11) 3077-1201