

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS
CENTRO DE ENGENHARIAS
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA



Trabalho de Conclusão de Curso

Projeções de temperatura e precipitação para detecção de mudanças climáticas na Bacia do Rio Taquari-Antas, RS

Carina Krüger Bork

Pelotas, 2015

CARINA KRÜGER BORK

Projeções de temperatura e precipitação para detecção de mudanças climáticas na Bacia do Rio Taquari-Antas, RS

Trabalho acadêmico apresentado ao Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, da Universidade Federal de Pelotas, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenheiro Ambiental e Sanitarista.

Orientadora: Prof^ª. Dr^ª. Tirzah Moreira de Melo

Pelotas, 2015

Banca examinadora:

Prof^a. Dr^a. Tirzah Moreira de Melo - Centro de Engenharias/UFPeI -
Orientadora

Prof^a. Dr^a. Andréa Souza Castro - Centro de Engenharias/UFPeI

Prof^a. MSc. Katiúcia Nascimento Adam - Faculdade de Tecnologia
TecBrasil – Unidade Porto Alegre

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus, pela força, fé, ânimo e determinação para superar os desafios da vida.

Aos meus pais, Erno e Serlei, pela motivação e por acreditarem em mim, estando ao meu lado independente da situação, sendo meu maior incentivo. E ao meu querido irmão André pelo companheirismo.

À professora Tirzah de Melo pela oportunidade de trabalharmos juntas e por ser sua primeira orientada. Agradeço a orientação, amizade e tranquilidade, sempre disponível a ajudar.

À professora Luciara Corrêa, por ser essa pessoa tão dedicada, amiga e conselheira em todos os momentos.

A todos os professores que tive a oportunidade de conhecer durante a graduação, pelo conhecimento que souberam compartilhar, de maneira especial aos professores da Engenharia Ambiental e Sanitária.

Aos amigos que Pelotas me proporcionou em especial à Maíra, Cássia, Camila e Sara.

Aos colegas, amigos que a Engenharia Ambiental e Sanitária favoreceu à Daniela da Rosa, Carliana Favretto, e em especial Kássia Bazzo, Karen Bés, Gustavo Bracher e Gustavo Colares por partilharem desta reta final.

À Universidade Federal de Pelotas, pela estrutura e auxílios que foram fundamentais para minha formação.

Às pessoas queridas, que de algum modo, contribuíram em determinado momento na minha graduação.

MUITO OBRIGADA!

RESUMO

BORK, Carina Krüger. **Projeções de temperatura e precipitação para detecção de mudanças climáticas na Bacia do Rio Taquari-Antas, RS.** 2015. 95f. Trabalho de Conclusão de Curso (TCC). Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

O processo de mudanças climáticas é justificado em função do aumento da concentração de gases de efeito estufa (GEE) na superfície da terra. O Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) confirma que as ações antrópicas são as principais responsáveis por este aumento. O impacto das mudanças climáticas no comportamento da precipitação e temperatura média pode alterar consideravelmente a disponibilidade de recursos ambientais, o que torna importante os estudos sobre estas variáveis, principalmente para países em desenvolvimento como o Brasil. Neste sentido a região da Bacia do Rio Taquari-Antas caracteriza-se por apresentar um setor industrial em crescimento e uma produção de soja e milho importantes para a economia do Estado. Deste modo, o objetivo do trabalho foi detectar alterações nos padrões de temperatura e precipitação na bacia desses rios, comparando dados atuais com os futuros. Foram utilizados os dados das projeções de temperatura e precipitação para três postos na bacia, referentes aos períodos de 1961-1990 (atual) e 2011-2100 (futuro) gerados por modelos de circulação global (MCG) e modelos de circulação regional (MCR), sobre o cenário climático A1B. Para cada posto havia dez projeções climáticas diferentes geradas por tais modelos. Após uma análise inicial das projeções foi realizada uma investigação sazonal de temperatura e precipitação. Os eventos extremos foram estimados por meio de índices extremos, somente para a variável precipitação. As projeções indicaram um aumento de temperatura média anual de quase 3°C até o final do século, bem como um aumento expressivo na precipitação anual acumulada. Os ciclos mensais de temperatura e precipitação demonstram que os meses das culturas de verão serão menos afetados pelo aumento destas variáveis, porém os possíveis extremos aparecerão no início dos cultivos devido ao aumento de precipitação nos meses de outubro e novembro. Contudo o mês de maio merece atenção pelo histórico de inundações e pela projeção de expressivo aumento de precipitação. Para a precipitação anual acumulada os MCRs projetam maiores anomalias que os MCGs, os quais também demonstraram tendências positivas nos índices. O clima futuro na região de estudo sofrerá com o aumento de eventos extremos de precipitação, principalmente pelo acréscimo de precipitação total anual, o que pode ser verificado pelo aumento de dias com chuvas acima de 30 mm (índice R30), dentre outros. Essas alterações podem influenciar positivamente a economia do Estado, uma vez que haverá mais água disponível para a agricultura e geração de energia, contudo devem ser avaliados os possíveis impactos gerados pela pressão de novos empreendimentos na bacia. Impactos negativos podem ser encontrados nas partes mais baixas da bacia, visto a possibilidade de maior número de inundações. De certa forma, essas informações podem servir de alerta, assim como viabilizar ações preventivas na bacia como um todo.

Palavras-chave: mudanças climáticas; modelos climáticos; índices extremos de precipitação

ABSTRACT

BORK, Carina Krüger. Projections of temperature and precipitation for climate change detection at the Taquari-Antas River Basin, RS. 2015. 95f. Course Conclusion Paper (TCC). Graduation in Environmental and Sanitary Engineering. Federal University of Pelotas, Pelotas.

The climate change is associated with an increased concentration of greenhouse gases in the earth's surface. The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) assumes the human activities as the main responsible for this increase. The impact of climate change on precipitation and temperature might greatly alter the availability of natural resources, which makes it a relevant subject of study, especially in developing countries as Brazil. The Taquari-Antas River Basin is characterized by having a growing industry, as well as significant soybean and corn production, which are important to the region economy. Thus, the aim of this study was to detect changes in temperature and precipitation patterns in this region, comparing current data with those estimated by predictive models. Data of temperature and precipitation from three climatic stations at Taquari-Antas River Basin was used. Data taken were both for the periods of 1961-1990 (actual) and those generated by global circulation models (GCM) and regional circulation models (RCM) for the period 2011-2100 included in the A1B climate scenario. For each station ten different climate projections were generated by GCM and RCM. After an initial projection analysis, the seasonal temperature and precipitation research was conducted. Extreme events were estimated by extreme indexes, and only for the precipitation variable. Data from projections have indicated an increase in the annual temperature average of almost 3°C by the end of the century, as well as a significant increase in the accumulated annual precipitation. The estimated monthly cycles of temperature and precipitation shows that summer-growing crops will be less affected by increased temperatures, although eventual extremes might occur at the initial growth stage in October and November. However, special attention on May is necessary once historic climate data indicate significant increase of precipitation in this month. For the accumulated annual rainfall, the RCM projections indicates higher anomalies than GCMs projections, the last one indicating positive trends in this index. The future climate in the region will be under projected increase in extreme precipitation events, especially the annual total precipitation, which is indicated by increased frequency of daily precipitation above 30 mm (R30 Index), among others. These changes can positively influence the region economy, once there will be more water available for agriculture and power generation. However, the possible impacts of new enterprise projects in the region should be evaluated. In this way, negative impacts might be expected in the lower parts of the basin, more susceptible to flooding. In conclusion, this local climate information and analysis shows the potential to provide a warning tool to extreme climate conditions as well as to contribute to preventive actions in this region.

Key-words: climate change; climate models; extreme precipitation indices

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
1.1 OBJETIVOS	16
1.1.1 Objetivo Geral	16
1.1.2 Objetivo Específico.....	16
2. REVISÃO DE LITERATURA	17
2.1 Mudanças Climáticas	17
2.2 Modelos Climáticos	22
2.3 Impactos das mudanças climáticas sobre o meio ambiente.....	30
2.4 Índices de eventos climáticos extremos	32
2.5 Histórico das mudanças climáticas no Estado do Rio Grande do Sul	35
3. METODOLOGIA.....	39
3.1 Caracterização da área de estudo	39
3.2 Dados Meteorológicos e Modelos Climáticos.....	40
3.2.1 Método de remoção de viés nas projeções climáticas	44
3.3 Processos Estatísticos	45
3.3.1 Teste de Mann-Kendall	46
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	48
4.1 Análise das projeções de temperatura e precipitação	48
4.2 Anomalias de temperatura e precipitação	54

4.3 Análise sazonal	57
4.4 Índices de precipitação extrema.....	64
5. CONCLUSÃO.....	69
REFERÊNCIA	72
APÊNDICES.....	85
Apêndice A - Gráficos de projeções de temperatura e precipitação acumulada dos MCGs e MCRs para os postos de estudo.	86
Apêndice B - Tabela de índices extremos de precipitação por modelos utilizados a cada posto de estudo.	92

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Processos que causam variabilidade e mudanças climáticas.	18
Figura 2. Emissões globais de CO ₂ e por setor.....	19
Figura 3. Projeções segundo diferentes cenários climáticos do AR4 e do AR5.	22
Figura 4. Diagrama esquemático dos processos físicos envolvidos em um modelo de circulação global (MCG).	24
Figura 5. Temperaturas médias no Brasil ao longo do ano para o cenário atual e projeções futuras segundo o cenário A2.	27
Figura 6. Precipitação média diária do Brasil ao longo dos meses do ano para os anos de 2020, 2050 e 2080.	28
Figura 7. (a) Números de decretos de ocorrência de seca. (b) Registros ao longo dos meses do ano no Estado do Rio Grande do Sul entre 2003 e 2009.	36
Figura 8. (a) Registro mensal da ocorrência de inundações na Bacia do Rio Taquari–Antas. (b) Casos de inundações no período de 1980 a 2007 na Bacia do Rio Taquari–Antas.	37
Figura 9. Mapas de anomalias da vegetação para a região Sul do Brasil.....	38
Figura 10. Mapa da Bacia do Rio Taquari-Antas.....	40
Figura 11. Projeções de temperatura e precipitação anual acumulada para os MCGs e MCRs ao longo do período estudado.....	53
Figura 12. Anomalias de temperatura e precipitação anual acumulada projetada por MCRs e MCGs para cada posto nos períodos futuros.	55
Figura 13. Médias mensais das projeções de precipitação para os MCGs e MCRs a) posto 1, b) posto 2, c) posto 3.	61
Figura 14. Períodos mensais de anomalias de (a) temperatura e (b) precipitação. As curvas correspondem a variável média de todas as projeções dos postos.....	63

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Modelos utilizados no AR4 e AR5.	25
Tabela 2. Índices de temperatura e precipitação.....	33
Tabela 3. Descrição dos postos de estudo.	41
Tabela 4. Modelos de Circulação Global utilizados.....	41
Tabela 5. Projeções de aumento/diminuição de temperatura e precipitação anual acumulada ao longo do século XXI.	49
Tabela 6. Médias mensais das projeções de temperaturas para os MCGs e MCRs.	58
Tabela 7. Principais culturas da Bacia do Rio Taquari-Antas	61
Tabela 8. Médias anuais dos índices de precipitação extrema.	66

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ANEEL	Associação Nacional de Energia Elétrica
AR	Relatório de Avaliação
CEDEC/RS	Coordenadoria Estadual de Defesa Civil do Rio Grande do Sul
FEE	Fundação de Economia e Estatística
FEPAM	Fundação Estadual de Proteção Ambiental
GEE	Gases de Efeito Estufa
IPCC	Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas
MCG	Modelo de Circulação Global
MCGAO	Modelo Acoplado de Circulação Geral Atmosfera-Oceano
MCR	Modelo de Circulação Regional
MST	Modelo do Sistema Terrestre
ONU	Organização das Nações Unidas
P	Precipitação
PCH	Pequena Central Hidrelétrica
PIB	Produto Interno Bruto
RCP	Caminhos Representativos de Concentração
SIN	Sistema Interligado Nacional
SRES	Relatório Especial sobre Cenários de Emissões
T	Temperatura

1. INTRODUÇÃO

A sociedade humana é extremamente dependente do clima de uma determinada região, tendo suas características socioeconômicas moldadas e adaptadas aos diferentes padrões mensais e sazonais das variáveis meteorológicas. Qualquer mudança destes padrões climáticos, assim como nos principais processos físicos envolvidos neste complexo sistema, acarretam modificações ao equilíbrio do meio ambiente (CAMARGO et al., 2011).

O clima na Terra define-se pela entrada e saída de energia e interações entre a atmosfera, terra, oceanos, gelo e os seres vivos. Acima da superfície terrestre são encontrados naturalmente os gases de efeito estufa (GEE), tais como o vapor d' água, o dióxido de carbono (CO_2), o metano (CH_4), o ozônio (O_3) e o óxido nitroso (N_2O) (BANCO MUNDIAL, 2010).

Os GEE têm a capacidade de armazenar o calor na atmosfera, permitindo que as ondas eletromagnéticas derivadas do Sol atravessem a atmosfera e aqueçam a superfície terrestre. Isto dificulta a saída da radiação infravermelha emitida pela Terra, mantendo-a, assim, aquecida (SANTOS et al., 2009). Se ocorrer alguma alteração na composição natural dos gases na atmosfera, pode-se desencadear um processo de mudança climática, baseado principalmente, na intensificação do efeito estufa, o qual aumenta o calor retido na superfície do planeta.

Os principais fatores responsáveis pela mudança climática e que contribuem para o efeito estufa são o desmatamento, a alteração do uso do solo, o aumento da concentração de GEE derivados do uso de combustíveis fósseis, entre outras atividades antrópicas (IPCC, 2014).

Neste contexto, o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) surgiu como um organismo internacional responsável por reunir informações referentes às mudanças climáticas, disponibilizando regularmente relatórios de avaliação (AR), sendo o mais recente o AR5, emitido no ano de 2014 (LIMA, 2014).

Conforme consta no quarto relatório (AR4), já foi registrado um aumento de 0,74°C na temperatura média global. No entanto, este aumento é pequeno se confrontado com as projeções derivadas dos modelos globais do IPCC-AR4 que projetam, em um cenário mais pessimista, um aumento de 1,1 a 6,4°C na temperatura até o fim do século XXI (SAMPAIO, 2013). Além disso, acredita-se que algumas consequências sobre o sistema hidrológico, como eventos extremos de secas e/ou enchentes mais severas, possam causar influências nas vazões dos rios (IPCC, 2007).

No Brasil, algumas dessas alterações também estão ocorrendo devido a mudanças nos regimes de precipitação. A região norte sofre com uma das piores cheias da história (CAMPOS et al., 2013), enquanto que o sudeste enfrenta com dificuldades uma crise hídrica. Murumkar et al. (2014) destacam que a precipitação é um dos principais indicadores nos estudos de impacto de mudanças climáticas, salientando a sua importância frente a gestão dos recursos hídricos. Adam (2011) em análise de sensibilidade na Bacia Hidrográfica do Rio Ibicuí observou que a variável precipitação é a mais difícil de modelar, em função da incerteza dos *feedbacks* e dos modelos de circulação global errarem mais na projeção de precipitação.

Na análise dos impactos das mudanças climáticas, torna-se indispensável definir o ambiente como um sistema composto por elementos mais amplos do que apenas os recursos naturais. Desse modo, entende-se o ambiente como o meio de onde a sociedade extrai os recursos essenciais à sobrevivência e os necessários ao processo de desenvolvimento socioeconômico (SÁNCHEZ, 2008). Segundo a legislação brasileira, Lei Federal nº 6.938/81, tem-se a definição de ambiente: “conjunto de condições, leis, influências e interações de ordem física, química e biológica, que permite, abriga e rege a vida em todas as suas formas”. Desta maneira, estamos constantemente sofrendo as consequências das mudanças impostas pelo sistema ambiental no qual nos inserimos.

Portanto, as mudanças no ambiente decorrentes de alterações do clima terão efeitos nas mais diversas atividades humanas. Dentre elas, pode-se destacar a agricultura, com efeitos sobre a manutenção da sustentabilidade, a perda da

diversidade, o aumento de vetores de doenças, afetando assim, a produtividade das culturas brasileiras mais relevantes como a soja, o milho, o café, o trigo e a cana (GHINI, et al., 2011; SIMONI, 2009). Ao mesmo tempo as comunidades consideradas pobres e vulneráveis poderão sentir de uma forma ainda mais grave os impactos, quando comparadas com outros setores da economia, como a silvicultura, pecuária e a indústria.

Tais impactos podem ser avaliados pelo uso de modelos climáticos, os quais são capazes de simular (passado) e/ou projetar (futuro) o clima de uma determinada região ou mesmo do globo. Enquanto os modelos de circulação global (MCG) estão limitados pela sua baixa resolução espacial, os modelos de circulação regional (MCR) destinam-se a modelar o clima em uma área geográfica mais restrita devido a sua maior resolução. Em geral, os maiores benefícios dos MCRs estão em permitir incorporar maiores informações em escala local, tais como: a topografia de áreas montanhosas e tempestades convectivas em regiões tropicais (JALOTA et al., 2013; STONE e KNUTTI, 2011).

A ocorrência de desastres naturais no Brasil tem exigido permanente atenção dos órgãos de defesa civil nos últimos anos. Eventos climáticos extremos, como tempestades de granizo, vendavais, enchentes e enxurradas, secas e deslizamentos de terras têm castigado o país e ocasionado danos à sociedade, afetando milhares de pessoas, em especial o Estado do Rio Grande do Sul (NEDEL et al., 2012). No período de 2003-2009 Nedel et al. (2010) demonstraram que a estação preferencial a ocorrência de seca é o verão, com 811 eventos seguido do outono, com 442 eventos registrados no Estado.

Atualmente, tem-se estudado esses eventos extremos por meio de índices estatísticos de temperatura e precipitação (ARAUJO e BRITO, 2011; DEREZYNSKI et al., 2013; DONAT et al., 2013; KIKTEV et al., 2003; SANTOS, et al., 2009; SANTOS, et al., 2013; VALVERDE e MARENCO, 2014; VINCENT et al., 2005). Estes índices são utilizados para detectar se no futuro tais eventos se tornarão mais (ou menos) frequentes quando comparados com o clima do passado.

Marengo et al. (2009) revelam que são esperados altos índices extremos de precipitação, mostrando aumento na frequência e na intensidade das chuvas no Sul e no Sudeste do Brasil e, em menor grau, no oeste da Amazônia e na área litorânea do leste da Amazônia e no norte da região Nordeste.

O Estado do Rio Grande do Sul têm sua economia fortemente baseada na produção agrícola, altamente dependente de geração hidrelétrica e sujeito a inúmeros problemas sociais e ambientais associados com os padrões de desenvolvimento e urbanização. Este conjunto sofre constantemente com os extremos de temperatura e precipitação, que causam grandes danos econômicos (TORRES e MARENGO, 2013).

Apesar da importância do Estado do Rio Grande do Sul, existem ainda poucos estudos em nível regional sobre as consequências dos eventos extremos. A ocorrência de tais eventos acarreta significativas perdas nas produções de soja e milho que acabam afetando a agricultura, influenciando também os demais setores da economia. Além disso, as populações das cidades do entorno dos rios também sofrem danos materiais causados pelas enchentes.

Bombassaro e Robaina (2010) citam o crescimento urbano e a falta de planejamento como os principais agravantes que tornam as cidades e as populações cada vez mais vulneráveis a eventos de maior magnitude. Rodrigues (2011) percebe que os municípios integrantes da Bacia do Rio Taquari-Antas estão enfrentando, em curtos períodos de tempo, impactos decorrentes de inundações e estiagens.

Dentro desta problemática ambiental se faz necessário o presente estudo na região da Bacia do Rio Taquari-Antas, a fim de alertar a sociedade e contribuir com informações ao poder público, tendo como propósito determinar se diferentes eventos extremos ocorrerão com maior relevância ao longo do século XXI.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

O objetivo deste trabalho é detectar alterações nos padrões de temperatura e precipitação como indicativo de mudanças climáticas na Bacia do Rio Taquari-Antas RS ao longo do século XXI (2011-2100), comparando com o clima no período atual (1961-1990), por meio de projeções destas variáveis geradas por diferentes modelos climáticos com base no cenário climático A1B do AR4.

1.1.2 Objetivo Específico

- Explorar estatisticamente as projeções de temperatura e precipitação para a Bacia do Rio Taquari-Antas.
- Analisar sazonalmente as projeções de temperatura e precipitação para a Bacia do Rio Taquari-Antas para o período futuro e atual, com o propósito de identificar os meses cujos impactos sobre o meio ambiente são prováveis de serem mais críticos.
- Utilizar índices estatísticos para detectar a ocorrência de eventos extremos de precipitação na região da Bacia do Rio Taquari- Antas RS, para o período futuro.
- Detectar tendências de aumento ou diminuição na distribuição temporal dos índices extremos e determinar como estes afetariam o meio ambiente segundo as projeções disponíveis para a área de estudo.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Mudanças Climáticas

Conforme definição do IPCC (2007), a variabilidade climática refere-se a flutuações no estado médio e outras estatísticas, tais como o desvio padrão, os extremos ou ainda a forma da distribuição de frequência de determinados elementos climáticos em todas as escalas espaciais e temporais, além de eventos climáticos individuais. Por outro lado, as mudanças climáticas são uma variação estatisticamente significativa no estado médio do clima ou em sua variabilidade, que persiste por um período prolongado, geralmente de décadas ou mais. Contudo, a variabilidade pode ser associada a processos internos naturais do sistema climático, ou a variações nas forçantes climáticas naturais ou antropogênicas persistentes na composição atmosférica e no uso da terra.

O quinto e último relatório (AR5) emitido pelo IPCC (2014), evidencia que a influência humana sobre o sistema climático tem crescido. Este confirma as hipóteses do AR4, publicado em 2007, o qual já apontava 90% de certeza de que mais da metade do aumento observado na temperatura média da superfície entre os anos de 1951 a 2010 teve como causa o aumento das concentrações de gases do efeito estufa, devido às atividades antropogênicas aliadas a forçantes climáticas (IPCC, 2014).

Segundo Barry e Chorley (2013) mesmo quando os sinais do clima são reais é difícil atribuí-los a causas únicas, devido à complexidade do sistema climático, pois este se configura por uma rede de interações entre seus diversos componentes, em uma variedade de escalas espaciais e temporais (Figura 1). A temperatura do ar junto à da superfície da Terra, é uma medida indireta de percepção das alterações impostas no sistema climático em certa escala temporal. Tais modificações são reflexo das forçantes climáticas e de seus respectivos *feedbacks*.

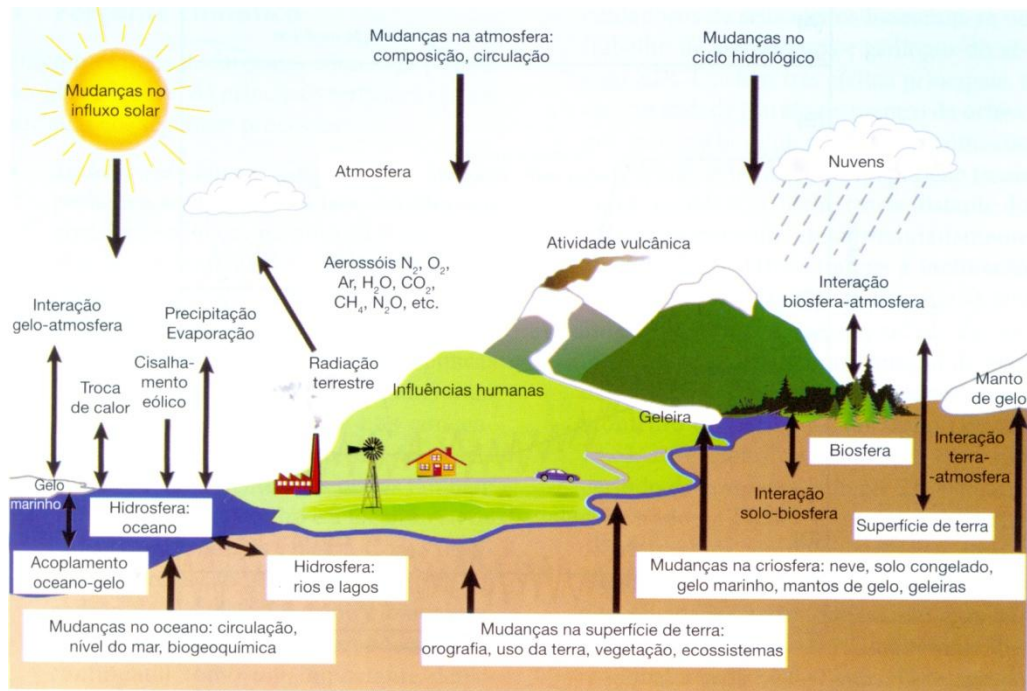


Figura 1. Processos que causam variabilidade e mudanças climáticas. Fonte: Barry e Chorley, 2013.

As forçantes são perturbações impostas sobre o sistema global, podendo ser positivas, quando induzem um aumento na temperatura média da superfície, ou negativas, quando levam a uma redução (FORSTER et al., 2007).

Conforme Barry e Chorley (2013), as principais forçantes podem ser tanto naturais como antropogênicos, sendo elas: tectônica de placas, periodicidade astronômicas, variabilidade solar, erupções vulcânicas e as mudanças na composição atmosférica e na cobertura do solo induzidas pelo ser humano. Como as forçantes atuam em diferentes escalas temporais, para o estudo de mudanças climáticas, levam-se em conta os últimos 100 anos. A variabilidade solar, a erupção vulcânica e as alterações antropogênicas tornam-se as forçantes mais relevantes. Estas são ditas forçantes radiativas e causam um impacto imediato sobre o balanço global de radiação no topo da atmosfera.

A magnitude da resposta na temperatura global frente à atuação das forçantes é então denominada pelos *feedbacks*, quando positivos amplificam esta mudança de temperatura, enquanto negativos, reduzem-a.

Para compreensão do termo *feedbacks*, considera-se o exemplo da forçante positiva aumento da concentração de CO₂ na atmosfera, pois resulta em um

acréscimo de temperatura. Em consequência do aumento da temperatura, há também elevação do nível da evaporação, originando uma atmosfera mais quente, ou seja, com maior vapor de água. Contudo, o vapor de água também é considerado um gás de efeito estufa, ocasionando ainda mais aquecimento. Desta forma, o vapor de água é considerado um *feedback* positivo do aumento da concentração de CO₂, em razão de ampliar o efeito da mudança na temperatura superficial, induzida pela forçante climática (BARRY e CHORLEY, 2013).

No período de 1750 a 2011, as emissões do principal gás do efeito estufa, o CO₂ cumulativo na atmosfera, foram de 2040 ± 310 Gt de CO₂. Entretanto 40% dessas emissões permanecem na atmosfera (880 ± 35 Gt de CO₂) e o restante é removido e armazenado na terra (através das plantas e dos solos) e nos oceanos. Somente o oceano tem absorvido 30% do CO₂ antropogênico emitido, o que causa a sua acidificação (IPCC, 2014).

Através da Figura 2 é possível notar a influência de diferentes setores na emissão dos GEE, onde todos são expressos em termos de CO₂ equivalente (CO₂e), ou seja, a quantidade de CO₂ que causaria o mesmo efeito no aquecimento.

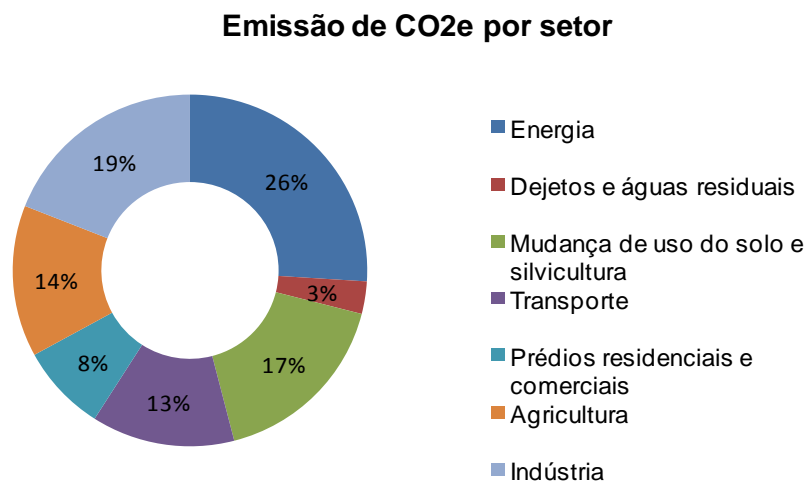


Figura 2. Emissões globais de CO₂e por setor. Fonte: Adaptado de Banco Mundial, 2010.

A preocupação com o aquecimento global induziu à criação do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) no ano 1988. Este órgão internacional concentra os principais estudos sobre o clima e mudanças climáticas, sendo composto por representantes de governos de todo o mundo.

Em 1992, durante a Convenção sobre Mudanças Climáticas no Rio de Janeiro, a Organização das Nações Unidas (ONU) aprovou a criação do Protocolo de Kyoto, o qual seria um marco na questão ambiental no mundo. A primeira meta do Protocolo (2008-2012) era uma redução média de 5,2% das emissões de GEE em relação ao ano de 1990, para os países desenvolvidos (BANCO MUNDIAL, 2010). Porém, alguns cientistas afirmaram que esta redução era considerada pequena, e acreditavam que a mesma deveria ser de 50% das emissões globais até ano 2050, para que o aumento de temperatura na Terra não ultrapasse o limite de 2°C, visto como ponto de colapso do clima (DELPURO, 2009).

Dentro desta perspectiva, o IPCC regularmente publica relatórios de avaliação (ARs), aumentando o seu nível de confiança nos resultados neles apresentados. Até o momento, foram emitidos cinco relatórios: o AR1 (1990), o AR2 (1995), o AR3 (2001), o AR4 no ano de 2007 e o mais recente AR5 em 2014, com o propósito de contribuir no planejamento e tomada de decisões pelos governantes.

Para auxiliar os estudos sobre mudanças climáticas, foram criados diferentes cenários climáticos, os quais têm por objetivo representar o clima futuro, descrevendo como este se modificará em decorrência de uma determinada alteração da composição da atmosfera, resultante das atividades antrópicas (CAMILLION e BIDEgain, 2005).

Esta representação vem sendo utilizada desde o AR3. O Relatório Especial sobre Cenários de Emissões (SRES) apresenta os cenários socioeconômicos, agrupados em diferentes famílias A1, A2, B1 e B2 (NAKICENOVIC et al., 2000). No AR5 os cenários são organizados conforme os Caminhos Representativos de Concentração (RCP) 8.5, 6.0, 4.5 e 2.6 Wm^{-2} de forçantes radiativas (VAN VUUREN et al., 2011).

O RCP 2.6 Wm^{-2} projeta um cenário com baixa emissão e baixa forçante radiativa, correspondendo a um aumento de cerca 1°C na temperatura média da superfície (similar B2 do SRES). O RCP 4.5 é similar ao cenário A1B do SRES e mais para o final do século assemelha-se ao RCP 8.5 o qual representa uma

forçante radiativa ainda maior, ou seja, um cenário de alta emissão, com um acréscimo de até 4°C (A2 do SRES) (CHOU et al., 2014; MARENGO et al., 2014).

Segundo Hamada et al. (2011), os cenários de mudanças climáticas do SRES podem ser descritos como:

A1- Descreve um mundo com rápido crescimento econômico, baixa taxa de crescimento populacional e rápida introdução de novas e mais eficientes tecnologias. As principais características incluem a convergência entre regiões, o desenvolvimento das capacidades e o aumento das interações culturais e sociais, com importante redução nas diferenças regionais da renda per capita. Considera direções alternativas de mudança tecnológica no sistema de energia. Dentro desta família estão inseridos os cenários A1F1 com ampla utilização dos combustíveis fósseis, A1T sem utilização e o cenário A1B que compreende um equilíbrio entre os anteriores.

A2- Descreve um mundo futuro muito heterogêneo, com preservação das identidades locais e da tradição. Os padrões de fertilidade entre regiões convergem muito lentamente, o que resulta em alto crescimento populacional. O desenvolvimento econômico per capita e a mudança tecnológica são mais fragmentados e mais lentos, comparados às outras famílias de cenários.

B1- Descreve um mundo convergente com baixo crescimento populacional, porém com rápidas mudanças nas estruturas econômicas, com redução na utilização de material e a introdução de tecnologias limpas e eficientes na utilização de recursos. A ênfase é nas soluções globais para a sustentabilidade econômica, social e ambiental, incluindo a melhoria na equidade, porém sem iniciativas climáticas adicionais.

B2- Descreve um mundo no qual a ênfase está em soluções locais para a sustentabilidade econômica, social e ambiental. É um mundo com moderado crescimento populacional, níveis intermediários de desenvolvimento econômico e mudanças climáticas menos rápidas e mais diversas do que B1 e o A1. É orientado para a proteção do meio ambiente e a igualdade social, mas com foco nos níveis local e regional.

Na Figura 3 estão apresentadas as projeções realizadas para distintos cenários do AR4 e do AR5, sendo o número de modelos utilizados indicado entre parênteses. O período base ou de comparação (histórico) compreende os anos de 1986 a 2005. As incertezas estão representadas pelo sombreado no entorno das curvas, em razão da diferença entre os números dos modelos utilizados, bem como das variáveis incorporadas aos diferentes modelos.

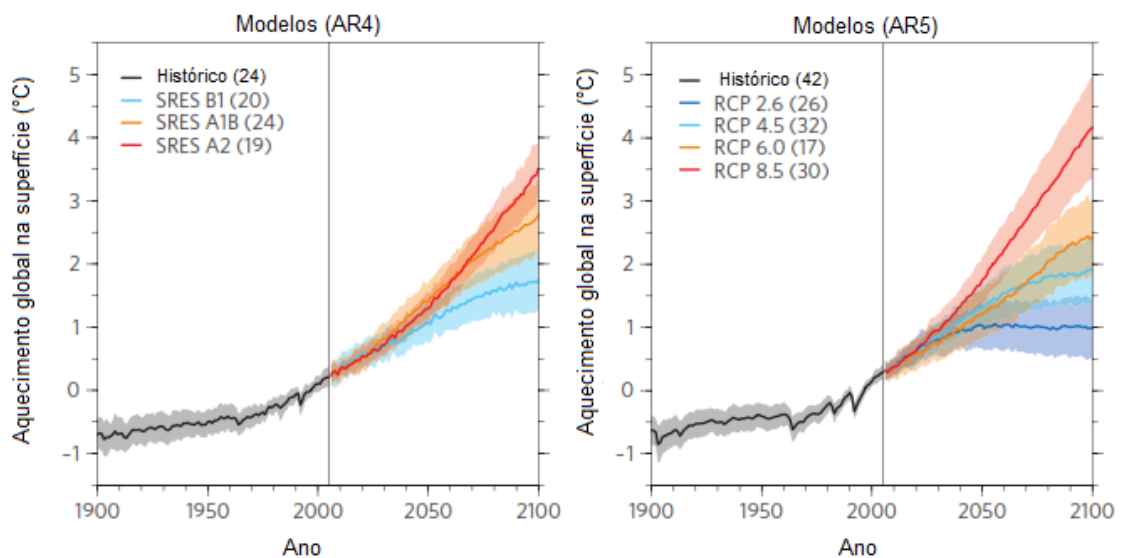


Figura 3. Projeções segundo diferentes cenários climáticos do AR4 e do AR5. Fonte: Adaptado de Knutti e Sedlacek, 2013.

Alexander (2010) em seu livro “Aquecimento Global Alarme Falso”, afirma que os modelos do IPCC são muito sensíveis ao CO₂, resultando em um aquecimento superestimado da superfície da Terra. Além disso, este autor reconhece que o planeta está aquecendo, mas destaca que o CO₂ não é a principal causa, embora não aponte indícios sobre as possíveis causas. Afirma também que o planeta vivencia uma fase de resfriamento global, enfatizando que, a partir de 2002, os termômetros globais estariam registrando uma diminuição nas temperaturas, tendência que permaneceria para os próximos 30 anos.

2.2 Modelos Climáticos

Os modelos climáticos são códigos computacionais com centenas de milhares de linhas, que representam aproximações numéricas de equações matemáticas, representativas das leis da física que regem os movimentos da atmosfera e as interações com a superfície. As aplicações incluem a simulação do clima passado

(paleoclima), do clima presente (passado recente), bem como estudos de sensibilidade para identificação de processos e entendimentos físicos. A previsão da variabilidade climática de curto prazo e sua mudança na escala sazonal e decadal, na elaboração de projeções do clima futuro e redução da escala espacial (*downscaling*) dessas projeções, têm como finalidade fornecer mais detalhamento nas escalas regionais e locais (MARENGO et al., 2014).

Nos Modelos de Circulação Global ou Geral (MCGs), os processos dinâmicos e termodinâmicos, bem como as trocas de radiação e massa são modelados utilizando-se de cinco conjuntos básicos de equações (Barry e Chorley, 2013):

1. Equações tridimensionais do movimento, ou seja, conservação de momento;
2. Equação da continuidade (conservação de massa ou equação hidrodinâmica);
3. Equação da continuidade para vapor de água atmosférico (conservação do vapor de água);
4. Equação de conservação de energia, ou seja, equação termodinâmica derivada da primeira lei da termodinâmica;
5. Equação de estado para a atmosfera.

Outros processos também se tornam necessários na resolução destas equações de forma acoplada, como a transferência radiativa através da atmosfera, atrito superficial, transferências de energia e os processos de formação de nuvens. Na Figura 4 é possível visualizar os processos físicos envolvidos em um modelo de circulação geral.

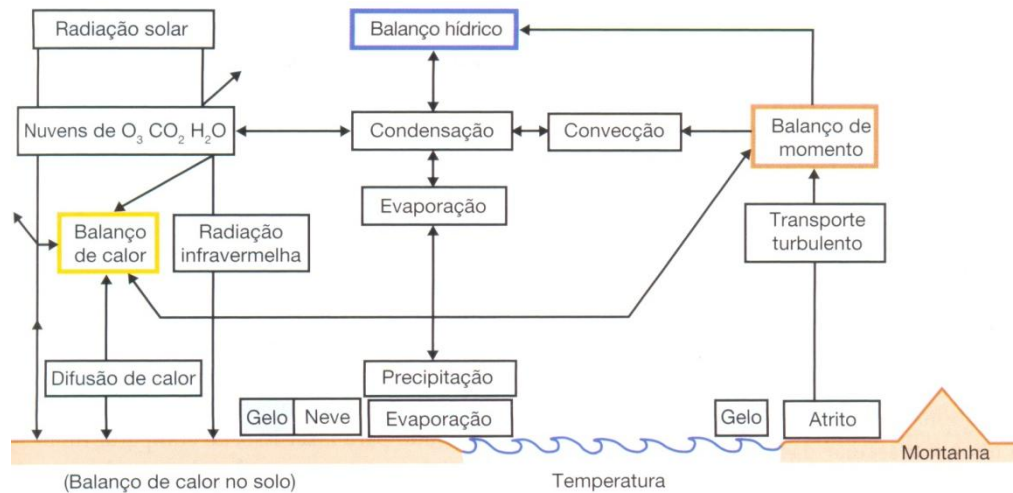


Figura 4. Diagrama esquemático dos processos físicos envolvidos em um modelo de circulação global (MCG). Fonte: Barry e Chorley, 2013.

Os modelos acoplados de Circulação Geral Atmosfera-Oceano (MCGAOs) foram os modelos climáticos padrões avaliados no AR4. Sua função primária era entender a dinâmica das componentes físicas do sistema climático (atmosfera, oceano, superfície e gelo marinho) e elaborar projeções baseadas nas forçantes de GEE no futuro e aerossóis (PITA, 2011). O AR5 apresenta Modelos do Sistema Terrestre (MSTs), os quais representam a evolução dos MCGAOs, pois incluem a representação de vários ciclos biogeoquímicos (FLATO et al., 2013). Chou et al. (2014) destacam que os MCGs utilizados no AR5 têm apresentado melhorias em relação as simulações de precipitação sobre áreas tropicais.

Os MCGs são a principal ferramenta para fornecer informações de alterações climáticas utilizando diferentes cenários de emissões de GEE. No entanto, as grades destes modelos possuem tamanhos de 200-100 km. Recursos locais, como topografia, bacias hidrográficas e zonas costeiras não podem ser capturados nas simulações realizadas por esses MCGs (CHOU et al., 2014).

A fim de gerar confiança ao desempenho dos MCGs, um projeto chamado Coupled Model Intercomparison (CMIP) foi implementado para avaliar e comparar modelos de vários centros de pesquisas climáticas ao redor do mundo. Esta avaliação é feita usando procedimentos comuns e dados padronizados, como por exemplo, a temperatura na superfície do mar, proporcionando assim uma ampla

documentação sobre a estrutura dos modelos e os detalhes de suas parametrizações.

Já os Modelos de Circulação Regional (MCRs) surgem da necessidade de transferir informações globais, reduzindo a escala das simulações climáticas para maiores resoluções na área de interesse, possibilitando o estudo do impacto local. Estes modelos utilizam as informações de um modelo global como condição de contorno, permitindo que efeitos de pequena escala como topografia, hidrografia e uso do solo sejam incluídos na simulação (BARRY e CHORLEY, 2013). Na Tabela 1 são apresentados os modelos globais utilizados nos dois últimos relatórios do IPCC e os países onde foram desenvolvidos.

Tabela 1 (*continua*). Modelos utilizados no AR4 e AR5.

	Nome do Modelo (AR5)	País		Nome do Modelo (AR4)	País
1	ACCESS 1.0, ACCESS 1.3	Austrália	1	BCC-CM1	China
2	BCC-CSM 1.1, BCC-CSM 1.1 (m)	China	2	BCCR-BCM 2.0	Noruega
3	BNU-ESM	China	3	CCSM3	Estados Unidos
4	CanCM4	Canadá	4	CGCM3.1(T47)	Canadá
5	CESM1 (BGC)		5	CGCM3.1(T63)	
6	CESM1 (WACCM)	Estados Unidos	6	CNRM-CM3	França
7	CESM1 (FASTCHEM)	Unidos	7	CSIRO-MK 3.0, CSIRO-MK 3.5	Austrália
8	CESM1 (CAM5)		8	ECHAM5/MPI-OM	Alemanha
9	CESM1 (CAM5, 1-FV2)	Estados Unidos	9	ECHO-G	Coréia
10	CMCC-CM, CMCC-CMS	Itália	10	FGOALS-g1.0	China
11	CMCC-CESM		11	GFDL-CM 2.0	Estados Unidos
12	CNRM-CM5	França	12	GFDL-CM 2.1	Unidos

Tabela 1 (continuação). Modelos utilizados no AR4 e AR5.

Nome do Modelo (AR5)		País	Nome do Modelo (AR4)		País
13	CSIRO- Mk 3.6.0	Austrália	13	GISS-AOM	Estados Unidos
14	EC-EARTH	Europa	14	GISS-EH	
15	FGOALS- g2	China	15	GISS-ER	Estados Unidos
16	FGOALS- s2		16	INGV-ECHAM4	Itália
17	FIO-ESM v 1.0	China	17	INM-CM 3.0	Rússia
18	GFDL- ESM2M, GFDL- ESM2G	Estados Unidos	18	IPSL-CM4	França
19	GFDL-CM 2.1		19	MIROC3.2(hires)	Japão
27	INM-CM4	Rússia			
28	IPSL-CMSA-LR/- CMSA-MR/ -CMSB-LR	França			
29	MIROC4h, MIROCS				
30	MIROC-ESM	Japão			
31	MIROC-ESM-CHEM				
32	MPI-ESM-LR/-ESM-MR/-ESM-P	Alemanha			
33	MRI-ESM1	Japão			
34	MRI-CGCM3				
35	NCEP-CFSv2	Estados Unidos			
36	NorESM1-M				
37	NorESM1-ME	Noruega			

Fonte: Adaptado de Flato et al., 2013.

Como observado por Dereczynski et al. (2013) e Melo et al. (2014) é extremamente difícil de simular adequadamente o clima. Por esta razão, os modelos climáticos, muitas vezes, fazem uso de algumas simplificações, representadas por diferentes parametrizações. O uso de vários conjuntos de parâmetros resulta em

uma saída diferente em cada simulação, representando a sensibilidade dos modelos aos parâmetros. Através do processo de análise de incertezas realizado nos modelos climáticos, os mesmos geram membros que são denominados como: “Ctrl” (controle), “Low” (baixo), “Mid” (médio) e “High” (alto). O termo “High”, por exemplo, refere-se a uma grande perturbação nas saídas associadas a um determinado conjunto de parâmetros, enquanto um termo “Low” indica que o modelo não é muito sensível. Isto não quer dizer que uma projeção de um membro “High” fornecerá, por exemplo, maiores temperaturas para uma determinada região do globo apenas, que este membro é mais sensível aos parâmetros utilizados.

Valverde e Marengo (2014) utilizando o MCG-HadCM3 acoplado com o MCR-Eta 40, constataram que eventos de precipitação intensa e em curta duração se tornaram mais frequentes nas principais bacias hidrográficas brasileiras.

Hamada et al. (2008) realizaram um estudo utilizando-se de projeções dos seguintes MCGs: CCSR/NIES, CGCM2, CSIRO-Mk2, ECHAM4, GFDL-R30 e HadCM3 do AR3 apenas para o cenário mais pessimista (A2) e o mais otimista (B2). Os resultados das projeções de temperatura média para o clima futuro do país estão apresentados na Figura 5 e foram comparados com o cenário atual (1961-1990). Contudo, as tendências indicam um aumento na temperatura de até 4°C em 2080, sendo mais significativas de junho a outubro, ou seja, os invernos se tornarão mais quentes em comparação com os verões.

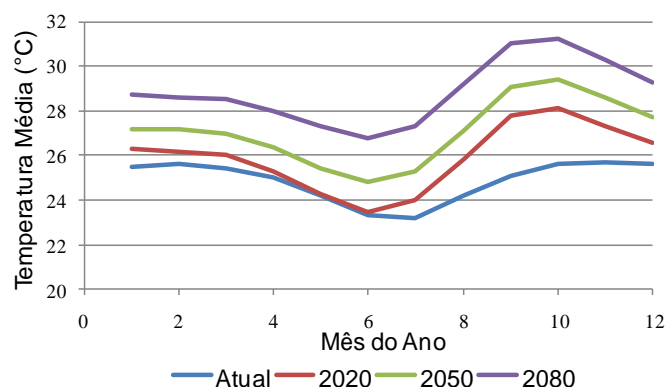


Figura 5. Temperaturas médias no Brasil ao longo do ano para o cenário atual e projeções futuras segundo o cenário A2. Fonte: Adaptado de Hamada et al., 2008.

Ainda no referido estudo, são apresentadas as anomalias referentes à temperatura (°C) e à precipitação (mm/dia) em comparação com o período atual

para as distintas estações e regiões do Brasil, referentes aos períodos 2010-2039, 2040-2069 e 2070-2099. Desta forma, a Região Sul do Brasil poderá sofrer com os maiores aumentos de temperatura, principalmente durante os meses de primavera, sendo que as projeções para o ano de 2080 no cenário A2 é de 5,5°C acima da média registrada para o período atual.

Segundo o Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas (PBMC) a região sul do bioma Mata Atlântica, situada a Bacia do Rio Taquari-Antas até meados de 2040 as projeções indicam aumento relativamente baixo de temperatura entre 0,5° e 1°C com um aumento de 5% a 10% na chuva. Na metade do século (2041-2070) mantêm-se as tendências de aumento gradual de 1,5° a 2°C na temperatura e de aumento de 15% a 20% nas chuvas, sendo que essas tendências acentuam-se ainda mais no final do século (2071-2100) com padrões de clima entre 2,5° e 3°C mais quente e entre 25% a 30% mais chuvoso (PBMC, 2013).

Sobre as alterações da precipitação média diária no Brasil, tem-se que, em geral, haverá uma diminuição dos totais mensais em relação ao clima atual, porém poucas diferenças entre os períodos (Figura 6). Além disto, estima-se que as maiores precipitações ocorrem, na média geral do Brasil, nos meses de verão (40%) e de outono (29%). As anomalias de precipitação observadas para a região Sul revelam uma pequena diminuição ao longo de todas as estações do ano (HAMADA et al., 2008).

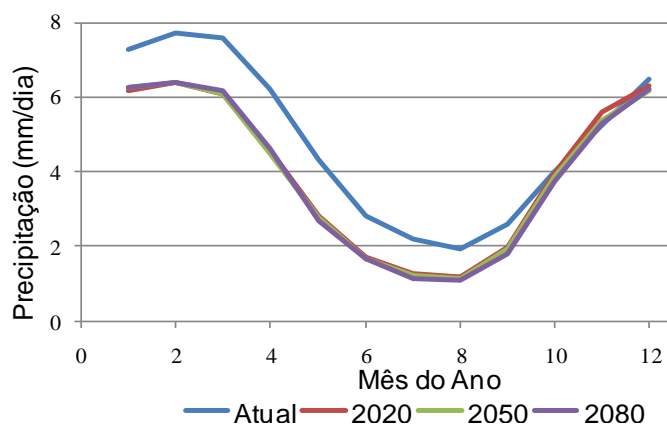


Figura 6. Precipitação média diária do Brasil ao longo dos meses do ano para os anos de 2020, 2050 e 2080. Fonte: Adaptação de Hamada et al., 2008.

Hamada et al. (2011) realizaram novos estudos utilizando 15 MCGs a partir dos dados do AR4, considerando o cenário A2 para o período de 2071 a 2100. Verificou-se que as anomalias de temperatura média anual serão variáveis nas regiões do País, com a maior anomalia ocorrendo nas regiões Norte e Centro-Oeste na primavera (4,5°C), enquanto que a menor está prevista para ocorrer na região Sul no verão (2,9°C). Para todas as estações do ano, as menores anomalias acontecerão na região Sul. Além disso, as maiores anomalias de temperatura média do ar ocorrerão na primavera, exceto para a região Sul, onde será no inverno (de junho a agosto).

A região Sul, no entanto, poderá sofrer com anomalias positivas de precipitação em todas as estações do ano, destacando-se o mês de fevereiro como o mais chuvoso (5,6 mm/dia) e o mais seco em julho (3,7 mm/dia). Nas demais regiões, a primavera se sobressairá com anomalias negativas.

Convém destacar que as previsões de uma pequena diminuição da precipitação apresentadas para o Sul do Brasil por Hamada et al. (2008), foram obtidas pelos MCGs do AR3. Marengo et al. (2009), utilizando projeções do AR4, encontraram um aumento para as precipitação no Sul, também verificado por Hamada et al. (2011) que observaram apenas anomalias positivas.

Melo et al. (2014) utilizaram cinco MCGs do AR4 e também projeções do modelo regional ETA Black (1994) para a região noroeste do Estado do Rio Grande do Sul. As projeções indicam um aumento de temperatura superior a 3°C até o fim do século, e um acréscimo significativo de precipitação, fornecidos principalmente pelos MGRs.

Estes resultados servem para evidenciar, entre outros aspectos, que o aperfeiçoamento dos MCGs é necessário para diminuir as incertezas, justificando a utilização de vários modelos concomitantemente e comparando suas variáveis de saída e a propagação destas incertezas para o modelo desejado. Além disso, as projeções fornecidas pelos modelos climáticos permitem investigações a nível regional, uma vez que as mudanças podem ocorrer de forma desigual até mesmo dentro do mesmo Estado (MELO, 2013).

2.3 Impactos das mudanças climáticas sobre o meio ambiente

Acredita-se que o aumento da temperatura irá acarretar o derretimento de parte do gelo das calotas polares, elevando o atual nível dos mares e trazendo sérios prejuízos para a humanidade e para os ecossistemas terrestres, principalmente nas áreas litorâneas. Em escala global serão sentidas alterações na umidade atmosférica e nos regimes de precipitação, devido a um ciclo hidrológico mais ativo, à mudança na circulação atmosférica e oceânica e ao aumento na capacidade de retenção de vapor de água do ar (BUCKERIDGE, 2007).

É possível que muitas espécies de animais e vegetais sofram com estas mudanças, necessitando se deslocar para pontos de maior latitude e/ou altitude em busca de ambientes mais compatíveis com a sua condição natural. As mudanças climáticas também poderão ter efeitos diretos no crescimento, morfologia, fisiologia, reprodução, sobrevivência e predisposição das plantas, resultando em alterações na ocorrência e severidade de doenças. No entanto, não necessariamente, estes impactos serão negativos. A redução do número de dias com chuva durante o verão, por exemplo, pode diminuir a dispersão de diversos patógenos (GHINI et al., 2011).

Um zoneamento de risco climático foi realizado no Brasil por Assad et al. (2008) para oito culturas (algodão, arroz, cana-de-açúcar, feijão, girassol, mandioca, milho e soja), além das pastagens e gado de corte. Observa-se através dos mapas que o aumento de temperatura poderá provocar, de um modo geral, uma diminuição de áreas aptas para o cultivo dos grãos, porém aumento de regiões de baixo risco climático à cultura da cana e mandioca. Contudo, Ghini et al. (2011) destaca que esta previsão na distribuição das culturas poderá afetar também o atual quadro das doenças de plantas.

Segundo Colombo e Pessoa (2014) no período de 1980-2008 foram mapeadas no Brasil 8,48 milhões de pessoas em áreas de maior risco de seca. Grande parte desta população vive em áreas semiáridas do Nordeste do país, local bastante afetado pela falta de chuvas. Outra fração dessa população reside em diferentes regiões que sofrem com tais eventos, tal como o Rio Grande do Sul, onde

a temperatura e a quantidade de chuvas são constantemente afetadas por fenômenos climáticos como o El Niño e o La Niña.

Este último fenômeno caracteriza-se pelo resfriamento das águas do oceano pacífico, o qual provoca reduções no índice pluviométrico na região centro-sul do Brasil, especialmente entre os meses de setembro e fevereiro (COLOMBO e PESSOA, 2014). Deste modo, alterações nos padrões de ocorrência destes fenômenos naturais poderão favorecer o aumento do número de municípios que decretam situação de emergência ou de calamidade pública no Estado.

A ocorrência de eventos recorrentes de estiagem implica um ônus econômico extremamente alto, em especial para populações mais pobres e vulneráveis a esses acontecimentos. No caso do Rio Grande do Sul, estimou-se que a ocorrência de estiagem gera uma redução de 9,2 pontos percentuais na variação do produto per capita dos municípios, em média, após controle de diversas outras variáveis que podem afetar a variação do Produto Interno Bruto (PIB). A não aleatoriedade das regiões geográficas constantemente atingidas, principalmente por secas, gera uma pressão para que desigualdades regionais de renda sejam mantidas e até mesmo acentuadas (COLOMBO e PESSOA, 2014).

Essas oscilações entre as variáveis meteorológicas impactam de diferentes formas à sociedade, não se restringindo apenas ao setor econômico, mas ainda é possível constatar o empobrecimento das populações, as migrações e as enfermidades.

Em especial o estado do Rio Grande do Sul sofre com prejuízos que afetam a sua economia. As reduzidas precipitações durante a estiagem prejudicam extensivamente a produção agrícola no estado, influenciando todos os estágios de desenvolvimento das culturas. Já as inundações bruscas e graduais provocam a perda das colheitas, ainda contribuindo para a contaminação por agrotóxicos e sua lixiviação nos solos (SAITO et al., 2011).

2.4 Índices de eventos climáticos extremos

Evento climático extremo refere-se a um evento raro que ocorre em um determinado local e época do ano. Eventos extremos isolados não podem ser diretamente atribuídos à mudança climática antropogênica, pois o evento em questão pode ter ocorrido naturalmente. Quando um padrão de evento extremo meteorológico persiste por algum tempo, como por exemplo, ao longo de uma estação do ano, este pode ser classificado como evento climático extremo (secas ou chuvas intensas durante a estação) (IPPC, 2007).

Também podem ser definidos como anomalias em relação à climatologia, em escalas de tempo que podem variar de dias até milênios. É difícil atribuir eventos extremos ao tempo e ao clima, pois têm diferentes considerações espaciais e temporais. Recentemente, eventos extremos de curta duração têm sido considerados como os mais importantes pelos climatologistas, pois alguns modelos climáticos e estudos de projeções de clima para o futuro apontam maiores frequências e intensidades destes eventos de curta duração (chuvas intensas, ondas de calor e frio, períodos secos), temporais e furacões, em cenários de aquecimento global (MARENGO et al., 2007).

A importância dos estudos de eventos climáticos extremos cresceu nos últimos anos e com ele a necessidade de se ter dados adequados de boa qualidade. Esta é uma das dificuldades enfrentada pelos pesquisadores, visto que não há informações disponíveis, ou estas estão incompletas e mal organizadas, favorecendo a perda das mesmas (VINCENT et al., 2005).

Na Tabela 2 estão descritos os principais índices para a temperatura e precipitação encontrados na literatura, sendo RR o valor da precipitação diária. Por convenção, um dia úmido ou chuvoso tem RR maior ou igual a 1,0 mm e um dia seco ou não chuvoso tem $RR < 1,0$ mm. TN é a temperatura máxima e TX é a temperatura mínima.

Tabela 2. Índices de temperatura e precipitação.

Símbolo índice	Definição (unidade)
CDD ^{2, 3, 4, 5, 6, 8}	Número máximo de dias consecutivos secos no ano com RR <1 mm (dias)
CWD ^{2, 3, 5, 6}	Número máximo de dias consecutivos úmidos no ano com RR >1 mm (dias)
DTR ^{2, 3}	A média da diferença entre TX e TN (°C)
PRCPTOT ^{2, 3, 5, 6, 8, 9}	Precipitação total anual de dias úmidos (mm)
R10 ^{1, 4}	Número de dias em 1 ano que a RR ≥ 10mm (dias)
R20 ^{1, 8}	Número de dias em 1 ano que a RR ≥ 20mm (dias)
R30 ^{2, 5}	Número de dias em 1 ano que a RR ≥ 30 mm (dias)
R95 p ^{2, 3, 5, 6, 8}	Precipitação total anual sobre os dias úmidos em que RR > percentil 95 (mm)
R99 p ^{2, 3, 5}	Precipitação total anual sobre os dias úmidos em que RR > percentil 99 (mm)
RX1 ^{2, 3, 5, 8}	Máximo de precipitação em 1 dia no ano (mm)
RX5 ^{2, 3, 4, 5, 6, 8}	Máximo de 5 dias consecutivo de precipitação no ano (mm)
SDII ^{1, 3, 4, 7}	Precipitação total anual dividida pelo número de dias úmidos (mm/dia)
SU25 ^{2, 3, 9}	Número de dias com TX > 25°C (dias)
TMAX mean ²	Média anual de TX (°C)
TMIN mean ^{2, 9}	Média anual de TN (°C)
TN 10 p ^{2, 3, 9}	Percentagem de dias com TN <percentil 10 (%)
TN 90 p ^{2, 3}	Percentagem de dias com TN > percentil 90 (%)
TX 10 p ^{2, 3, 9}	Percentagem de dias com TX <percentil 10 (%)
TX 90 p ^{2, 3, 9}	Percentagem de dias com TX > percentil 90 (%)
WSDI ^{2, 3}	Número de dias no ano com pelo menos 6 dias consecutivo de TX > percentil 90

Fonte: ARAUJO e BRITO, 2011¹; DEREZYNSKI et al., 2013²; DONAT et al., 2013³; KIKTEV et al., 2003⁴; MELO et al., 2014⁵; SANTOS et al., 2009⁶; SANTOS et al., 2013⁷; VALVERDE E MAREGO, 2014⁸; VINCENT et al., 2005⁹.

A principal função desses índices é avaliar as mudanças na intensidade, frequência e duração dos eventos de precipitação e temperatura (ALEXANDER et

al., 2006). Por exemplo, o índice (CDD), representa o número máximo de dias consecutivos com precipitação diária inferior a 1 mm ao longo de um ano.

Os índices climáticos são calculados a partir de dados observados ou projeções (no caso do uso de modelos climáticos) de variáveis meteorológicas individuais, tais como a precipitação e a temperatura máxima e mínima. O uso destes índices tem por objetivo sintetizar informações sobre as mudanças climáticas (ZWIERS et al., 2013). Contudo, o mais importante é contabilizar os eventos extremos de curto e/ou longo prazo, devido a seu potencial de causar impactos significativos (MARENGO et al., 2009).

Um exemplo do uso destes índices pode ser encontrado no trabalho realizado por Donat et al. (2013). Neste estudo, foram utilizados 17 índices de temperatura e 12 de precipitação, com base em temperaturas diárias máximas e mínimas, além de observações de precipitação. Os dados foram obtidos através de 7.000 estações meteorológicas de temperatura e 11.000 de precipitação ao redor do mundo, para o período de 1901 a 2010.

Os resultados mostraram mudanças significativas para os índices derivados da temperatura mínima diária ao longo de todos os 110 anos de registro, mas com tendências mais fortes para as últimas décadas. Observou-se um aquecimento em todas as estações, sendo mais relevante para os meses mais frios. Os índices de precipitação também mostraram tendências importantes, porém com mudanças mais heterogêneas espacialmente em comparação com as mudanças de temperatura. No entanto, os resultados indicaram mais áreas com tendências significativas de aumento na quantidade, intensidade e frequência de precipitação extrema, do que as áreas com tendências decrescentes.

Dias frios, noites frias e geadas têm se tornado menos frequentes, enquanto que o número de ocorrência de dias quentes, noites quentes e ondas de calor têm aumentado na América do Sul (MARENGO et al., 2009; VINCENT et al., 2005). O mesmo foi observado por Panda et al. (2014) na Índia.

Dereczynski et al. (2013) em estudo feito para duas estações no Rio de Janeiro, utilizaram as projeções do MCG-HadCM3 acoplado com o MCR-Eta 40,

considerando o cenário A1B, para calcular índices de eventos extremos no período futuro (2011-2100) comparando-os com dados observados (1961-1990). Verificarão que cerca de 40% a 70% dos dias do ano ficaram mais quentes, semelhante ao observado para as noites quentes (55% a 85% mais frequentes). Também destacam que as ocorrências de chuvas intensas se tornaram cada vez mais comuns ao ano.

Santos et al. (2009) analisaram 18 postos no Estado do Ceará, obtendo valores significantes de aumento para os índices de dias consecutivos secos (DCS), dias consecutivos úmidos (DCU) e mudanças positivas para a precipitação total, o que concorda com Marengo e Valverde (2007) que também encontraram aumento de precipitação para o nordeste brasileiro.

Melo et al. (2015) investigaram 7 localizações no noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, para o cenário A1B. Verificaram um aumento expressivo de precipitação para 4 localizações, enquanto para a localização mais ao sul da região observou-se uma redução a curto prazo. Revelando que as mudanças podem atingir de forma desigual uma mesma região.

2.5 Histórico das mudanças climáticas no Estado do Rio Grande do Sul

Devido a sua localização geográfica, o Estado do Rio Grande do Sul é influenciado pelos principais sistemas atmosféricos, tais como as frentes frias e os sistemas convectivos de mesoescala (SCM), os quais afetam e determinam a ocorrência de desastres naturais. Também é influenciado por fenômenos climáticos de interação oceano-atmosfera como El Niño e La Niña, que representam o aquecimento e resfriamento das águas do oceano pacífico equatorial, respectivamente. Tais fenômenos climáticos são determinantes para as ocorrências de inundações e secas severas na região Sul do Brasil (NEDEL et al., 2010).

As causas das maiores perdas de produtividade agrícola são devido as estiagem, pois geralmente coincidem com os períodos de cultivo das principais culturas de verão no RS. As culturas mais vulneráveis à estiagem são: soja, fumo, milho e feijão, que representam em média 60% do total do valor da produção das lavouras temporárias no Estado (FOCCHEZATTO e GRANDO, 2009).

No estudo realizado por Rodrigues (2011) para o Estado do Rio Grande do Sul durante o período de 2003 a 2009, verificou-se que os anos com maior ocorrência de registros de inundações foram 2003 e 2005, com 77 e 20 eventos, respectivamente. Já Nedel et. al. (2010), também em estudo para o Estado, observaram que os anos de 2004, 2005 e 2009 resultaram em um número maior de registros de seca (Figura 7 (a)). Na Figura 7 (b) observa-se que o período de dezembro a maio concentra maior quantidade de registros de seca.

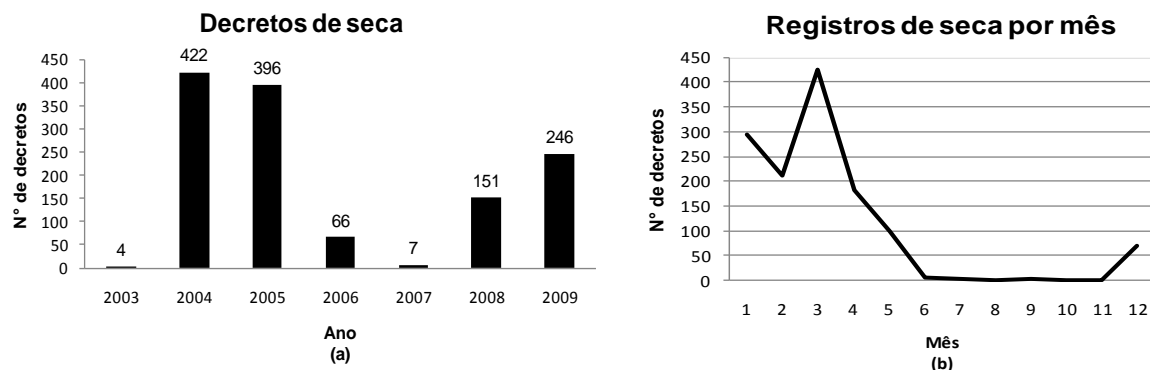


Figura 7. (a) Números de decretos de ocorrência de seca. (b) Registros ao longo dos meses do ano no Estado do Rio Grande do Sul entre 2003 e 2009. Fonte: Adaptado de Nedel et al., 2010.

A aglomeração urbana da Mesorregião nordeste do Estado que compreende parcialmente a Bacia do Rio Taquari-Antas, vem mantendo o crescimento de sua população total a taxas elevadas de 1,34% para o ano de 2000 e 1,69% no ano de 2010, superando o Estado que possui uma taxa de 0,49% a.a., influenciada principalmente pelo desenvolvimento dos municípios a sudeste da bacia (microrregião de Caxias do Sul) (STAMM, 2013).

Historicamente a região apresenta regimes torrenciais de escoamentos superficiais rápidos e bruscas variações de vazões nos rios, devido à declividade média elevada, rede de drenagem densa com tendência radial, pouca cobertura vegetal, pouca profundidade e baixa permeabilidade dos solos (FEPAM, 2015).

Segundo estudo de Bombassaro e Robaina (2010), os quais realizaram um inventário dos desastres naturais associados às inundações ocorridas no período de 1980 a 2007 nos municípios da Bacia do Rio Taquari-Antas, os meses preferenciais para a ocorrência destes desastres foram julho e outubro (Figura 8 (a)). Na Figura 8 (b) é possível notar que, para o mesmo período, os anos de 1983, 1989, 1990, 1997

e 2001, apresentaram maior número de municípios atingidos por inundações, causando enormes prejuízos à economia e à infraestrutura urbana.

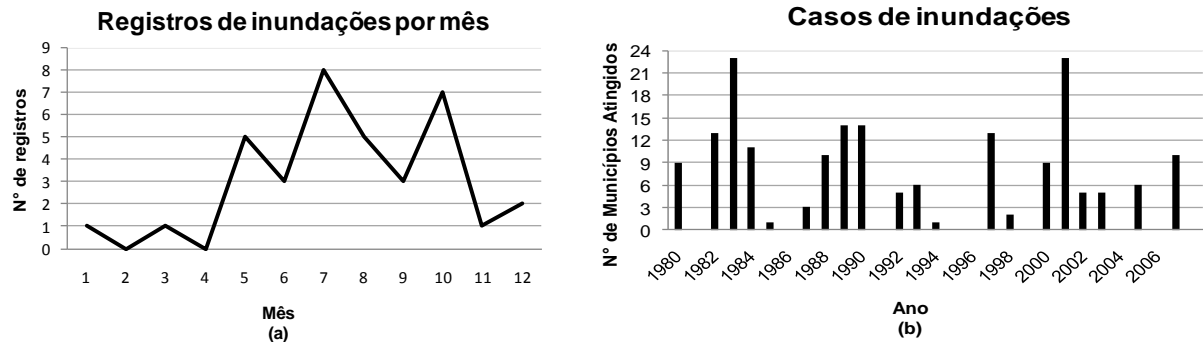


Figura 8. (a) Registro mensal da ocorrência de inundações na Bacia do Rio Taquari–Antas. (b) Casos de inundações no período de 1980 a 2007 na Bacia do Rio Taquari–Antas. Fonte: Adaptado de Bombassaro e Robaina, 2010.

Apesar dessas informações é necessário compreender o ocorrido, se tais fenômenos estão crescendo de forma natural ou em decorrência da alteração do uso do solo e do desenvolvimento da região. Deste modo, a diminuição do potencial de infiltração, pode agravar eventos antes considerados normais causando danos à sociedade.

Souza Junior et al, (2012) ao avaliarem a região Sul do Brasil durante o período de 2001 a 2012 por meio de imagens de satélite, observaram 3 grandes eventos de estiagens no Rio Grande do Sul que se destacaram perante os outros Estados. Na Figura 9 são apresentadas as estações do verão e outono de 2005, verão e outono de 2009 e verão de 2012. As anomalias na vegetação atingiram grandes áreas, sendo que no verão de 2012, 56% do território foi afetado, seguido pelo verão de 2005 (40,34%) e o de 2009 (36,98%). Estes percentuais refletiram na queda de produtividade da soja e do milho, conforme consta no banco de dados da Fundação de Economia e Estatística (FEE, 2015).

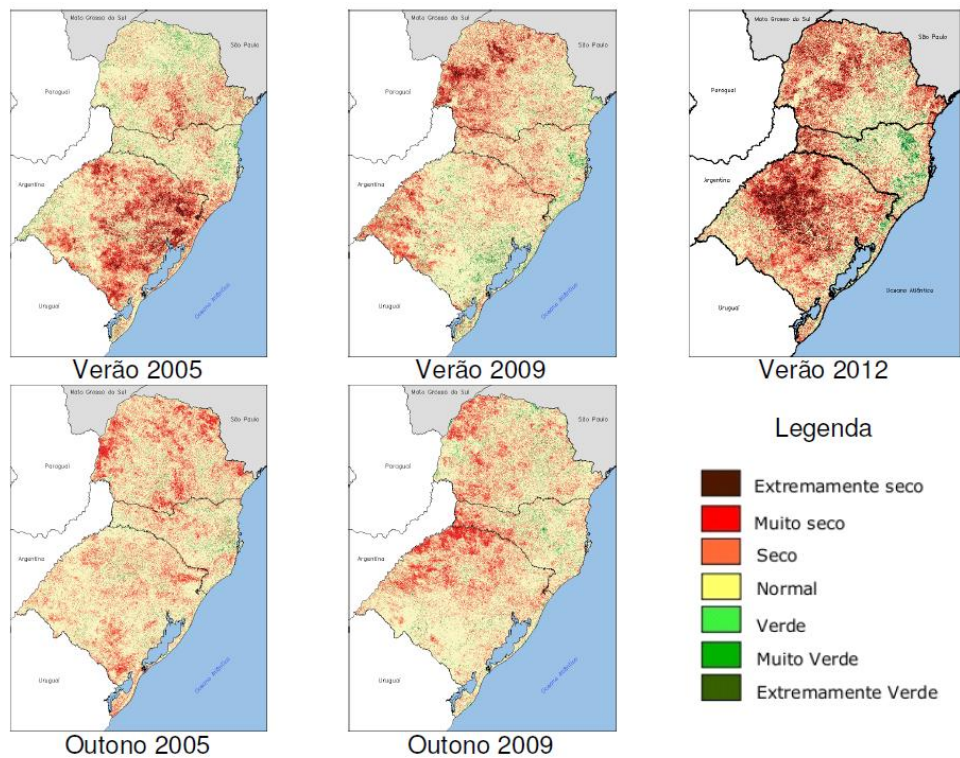


Figura 9. Mapas de anomalias da vegetação para a região Sul do Brasil. Fonte: Souza Junior et al., 2012.

A Bacia do Rio Taquari-Antas, área de estudo deste trabalho, também foi fortemente atingida nos verões de 2005 e 2012, confirmando o levantamento realizado por Rodrigues (2011) no período de 2003 a 2009. Este autor utilizou dados de desastres ambientais registrados junto a Coordenadoria Estadual de Defesa Civil do Rio Grande do Sul (CEDEC/RS), destacando que 75,1% destes desastres foram por estiagens, dos quais 38,5% ocorreram em 2004 e 36,6% em 2005. Este levantamento também possibilitou verificar que alguns municípios pertencentes à Bacia de estudo sofreram no mesmo ano com episódios de inundação e estiagem, o que caracteriza a falta de ações preventivas no sentido de armazenar a água da chuva em reservatórios para a utilização da mesma em período de estiagem.

3. METODOLOGIA

3.1 Caracterização da Área de Estudo

A Bacia do Rio Taquari-Antas (Figura 10) localiza-se a nordeste do Estado do Rio Grande do Sul, entre as coordenadas geográficas de 28°10' a 29°57' de latitude Sul e 49°56' a 52°38' de longitude Oeste. Compreende as províncias geomorfológicas do Planalto Meridional e Depressão Central, totalizando uma área de aproximadamente 26.406,05 Km². A bacia abrange total ou parcialmente 118 municípios (SEMA, 2012).

A Bacia faz parte da Região Hidrográfica do Guaíba, sendo o rio Taquari-Antas o principal afluente do rio Jacuí, que é o maior formador do Lago Guaíba. Seus principais afluentes pela margem esquerda são os rios Camisas, Tainhas e Lajeado Grande, e pela margem direita os rios Quebra-Dentes, da Prata, Carreiro, Guaporé, Forqueta e Taquari-Mirim (FEPAM, 2015).

As nascentes do rio Taquari-Antas localizam-se no extremo leste da Bacia, com a denominação de rio das Antas até a confluência com o rio Guaporé, quando passa a denominar-se rio Taquari, desembocando junto ao rio Jacuí. Possui uma extensão de 530 km desde as nascentes até a foz, sendo que, em 390 km denomina-se rio das Antas e em 140 km, rio Taquari (LARENTIS et al., 2008).

Larentis (2004) em estudo na Bacia do Rio Taquari-Antas observa que os regimes de precipitação ao longo do ano são bem distribuídos. Com gradiente decrescente dos valores médios anuais no sentido da montante para jusante, apresentando uma média em torno de 1700 mm.

O tipo climático predominante é o subtropical úmido, com duas variedades principais, segundo o sistema geral de Koeppen: Cfa refere-se ao clima temperado, com verão mais amenos não atingindo 22°C de temperatura no mês mais quente em regiões com altitudes inferiores a 600 m e Cfb destaca-se pelo clima subtropical com verão mais quente alcançando temperaturas superiores a 22°C em altitudes superiores a 600 m (PAGEL et al., 2015).

A bacia possui características físicas e antrópicas diferenciadas, como: áreas de alto índice de industrialização, áreas com predomínio de produção primária, zonas intensamente urbanizadas, onde os riscos também se tornam amplos desde a ocorrência de enchentes/inundações à perda na produção agrícola. Os municípios integrantes desta bacia concentram 20% do PIB estadual, caracterizando-se por possuírem a base econômica voltada para um setor industrial em crescimento. Quanto ao uso agrícola a área ocupada é maior que um milhão de hectares, com o predomínio das culturas de milho, soja e arroz nas partes mais planas, ao sul da bacia. Alguns dos problemas enfrentados na região são em decorrência das limitações do relevo, da drenagem, o que ocasiona o aumento de riscos a erosão levando assim ao assoreamento (FEPAM, 2015).

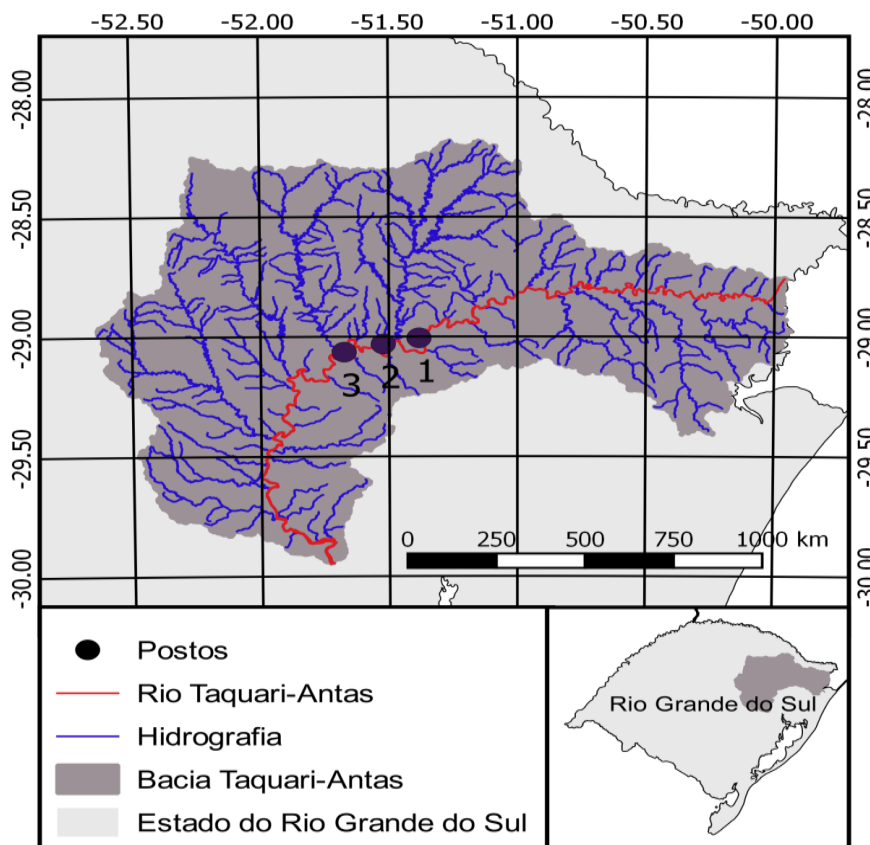


Figura 10. Mapa da Bacia do Rio Taquari-Antas.

3.2 Dados Meteorológicos e Modelos Climáticos

Os dados meteorológicos de temperatura e precipitação são provenientes do Projeto de Pesquisa “Efeitos de Mudanças Climáticas no Regime Hidrológico de Bacias Hidrográficas e na Energia Assegurada de Aproveitamentos Hidrelétricos”

(LIMA et al., 2014), e os resultados gerados pelo presente trabalho são produtos do Projeto de Pesquisa “Impacto das Mudanças Climáticas sobre a Agricultura no Estado do Rio Grande do Sul”, desenvolvido na UFPel.

Na Figura 10 estão indicadas as localizações dos postos considerados neste trabalho para os quais existem séries temporais diárias de dados meteorológicos gerados para o período de 2011-2100, bem como para o período de 1961-1990, aqui denominado como período atual. A Tabela 3 apresenta as características destes postos.

Tabela 3. Descrição dos postos de estudo.

Cidade	Posto	Longitude (°)	Latitude (°)	Altitude (m)
Nova Roma do Sul	1	-51.3831	-29.0054	221
Bento Gonçalves	2	-51.5223	-29.0307	175
Cotiporã	3	-51.6746	-29.0640	102

Os modelos de circulação global (Tabela 4) que originaram os dados meteorológicos utilizados neste trabalho foram selecionados de acordo com a metodologia proposta por Cavalcante (2011). Esta metodologia leva em consideração a capacidade do modelo em simular corretamente os padrões de chuva observados na América do Sul adotando os seguintes critérios:

1. Aderência da simulação 1980-2000 com a climatologia de chuvas do Brasil;
2. Uso de soluções numéricas diferentes, como volumes finitos e grades ajustáveis;
3. Uso de alta resolução espacial nos submodelos oceânicos e atmosféricos.

Tabela 4. Modelos de Circulação Global utilizados.

	Modelos AR4	Sigla	País
1	CCSM3	NRCCSM	Estados Unidos
2	ECHAM5/MPI-OM	MPEH5	Alemanha
3	GFDL-CM 2.1	GFCM21	Estados Unidos
4	MRI-CGCM 2.3.2	MRCGCM	Japão
5	UKMO-HadCM3	HADCM3	Estados Unidos

Fonte: Adaptado de Flato et al., 2013.

1. NRCCCSM: O modelo CCSM (Community Climate System Model) é um modelo climático global integrado por quatro modelos geofísicos que simulam simultaneamente os sistemas superfície (Community Land Model - CLM), atmosfera (Community Atmosphere Model - CAM), mar-gelo (Community Sea-Ice Model - CSIM) e oceano (Parallel Ocean Program - POP) e estão interligados por um acoplador central (VERTEINSTEIN et al., 2004) ;

2. MPEH5: Quinta versão deste modelo, se comparado com o seu predecessor ECHAM4, é mais flexível e devido às modificações realizadas no seu código, ele produz simulações climáticas significativamente diferentes das versões anteriores. O modelo é composto por um núcleo dinâmico espectral, um esquema de transporte advectivo de traços para os componentes da água (sólido, líquido e vapor) e substâncias químicas, um sistema de parametrização física que envolve esquemas de radiação de onda curta e longa, estratificação de nuvens, difusão horizontal e vertical, processos na superfície da Terra, entre outros (ROECKNER et al., 2003, 2004);

3. GFCM21: Este modelo foi desenvolvido para simular mais realisticamente uma faixa de fenômenos de flutuações de escala diurna e temporais (eventos extremos) em escala sinóptica para o clima ao longo de séculos. Da mesma forma, este modelo é composto por outros modelos (atmosfera, superfície, oceano e mar-gelo) interligados por um acoplador central. O modelo CM2.1 incorpora várias mudanças com relação à versão anterior CM2.0, que visam reduzir o viés das simulações, como, por exemplo, na componente da superfície terrestre, a evaporação é suprimida quando o solo está congelado a uma profundidade maior que 30 cm (DELWORTH et al., 2006);

4. MRCGCM: Este modelo foi desenvolvido para ser capaz de examinar mudanças climáticas transientes associadas às forçantes antropogênicas tais como a emissão de gases do efeito estufa e aerossóis de sulfato. O modelo já apresentou bons desempenhos para simulações dos fenômenos ENSO (El Niño e Southern Oscillation), as monções asiáticas de verão, entre outros. É também um exemplo de modelo global acoplado (YUKIMOTO et al., 2001);

5. HADCM3: Este é um dos modelos mais utilizados nas previsões e análises emitidas pelo Terceiro e Quarto Relatório do IPCC. Foi o primeiro modelo a não necessitar de ajustes artificiais de fluxos de calor e água para obtenção de boas simulações. Foi desenvolvido para produzir simulações por períodos de mil anos. É composto por duas componentes: modelo atmosférico (HadCM3) e o modelo oceânico (que inclui o modelo mar-gelo). As simulações são feitas para anos de 360 dias, 30 dias cada mês (GORDON et al., 2000).

Além destes MCGs, foram utilizadas também as projeções realizadas pelo modelo ETA. Este modelo é descendente do modelo HIBU (Hydrometeorological Institute and Belgrade University) previamente desenvolvido por Mesinger e Janjic (1974). Trata-se de um modelo de circulação regional (MCR) que acopla o modelo circulação global HADCM3 como condição de contorno lateral para simulações em mesoescala (BLACK, 1994; CHOU et al., 2014). O acoplamento do modelo global a este regional resultou em simulações de quatro membros que serão considerados neste trabalho - Ctrl, Low, Mid e High - representando a sensibilidade climática, ou seja, as variações de baixa, média e alta alteração aos parâmetros utilizados por este modelo até o final do século XXI.

As resoluções horizontais consideradas pelo modelo ETA foram de 40 km e 20 km, gerando mais 5 projeções de mesoescala (regional), a serem utilizadas:

6. ETA 40 - CTRL;
7. ETA 40 - LOW;
8. ETA 40 - MID;
9. ETA 40 - HIGH;
10. ETA 20 - CTRL.

Assim, para cada um dos 3 postos apresentados na Tabela 3, existem 10 conjuntos de dados meteorológicos, derivados destes diferentes modelos no cenário A1B os quais servirão, de base para a análise de incertezas das variáveis climatológicas.

3.2.1 Método de remoção de viés nas projeções climáticas

Os modelos climáticos não conseguem representar perfeitamente o clima do presente e futuro, ou seja, seus resultados apresentam erros. Esses erros ou vieses são sistemáticos e causados por uma imperfeita conceptualização dos fenômenos e processos que governam o clima e pela influência da discretização espacial dos modelos (TEUTSCHBEIN e SEIBERT, 2012). Neste sentido técnicas de remoção de viés são empregadas para corrigir as variáveis climatológicas evitando a propagação dos erros as demais etapas de análise.

Segundo Collischonn et al. (2014), a metodologia de remoção de viés denominada Taxa de Câmbio (Delta Change – GELLENS e ROULIN, 1998) é baseada no cálculo das anomalias entre os valores estimados pelos modelos climáticos no período atual e no período futuro. O valor da anomalia é posteriormente utilizado para perturbar a série observada da variável no período atual, gerando a série corrigida a ser utilizada nos períodos futuros. Essa metodologia foi aplicada no caso dos dados dos modelos globais.

O método seguiu o seguinte procedimento (COLLISCHONN et al., 2014):

1. Cálculo dos valores das normais climatológicas a partir da série temporal estimada pelo modelo climático no período atual.
2. Cálculo dos valores das normais climatológicas a partir da série temporal estimada pelo modelo climático nos períodos futuros.
3. Estimativa da taxa de câmbio: quociente entre os valores das normais climáticas nos períodos futuros e os valores das normais climatológicas no período atual para todas as variáveis, exceto para a temperatura, sendo realizada a operação de subtração. Isso resultou em uma taxa de câmbio para cada mês do ano.
4. Obtenção da série temporal das variáveis climatológicas nos períodos futuros: multiplicação dos valores diários da série de dados (ETA 40 CTRL) no período atual pelas taxas de câmbio estimadas em 3 e somente adição para a variável temperatura. Isto é, todos os valores diários do mês de janeiro são multiplicados

pela taxa de câmbio de janeiro, todos os valores diários do mês de fevereiro são multiplicados pela taxa de câmbio de fevereiro, etc. Esse procedimento é repetido até todos os dados observados serem perturbados pelas taxas de câmbio de cada mês.

5. Verificação dos valores diários da série temporal corrigida não superando limites físicos, como por exemplo, umidade relativa do ar superior a 100%. Caso os limites físicos fossem superados, o valor da variável naquele dia seria limitado ao valor do limite físico.

Em função da limitação de séries longas de dados observados na bacia analisada, neste trabalho as séries temporais perturbadas foram obtidas após a remoção do viés no membro controle (CTRL) do modelo ETA-40.

O procedimento de remoção do viés foi aplicado, de forma independente, aos valores das variáveis climatológicas estimados pelos diferentes modelos globais para a precipitação e temperatura.

3.3 Processos Estatísticos

Cada posto apresenta dados diários de temperatura (T, °C) e precipitação (P, mm) referentes ao período atual (1961-1990) e períodos futuros (2011-2040, 2041-2070 e 2071-2100), para os modelos descritos anteriormente.

1. Inicialmente, foram elaboradas tabelas no programa Microsoft Excel modelo 2010, processando os dados diários de todo o período em médias anuais de T e P anual acumulada. Em busca de uma melhor apresentação dos dados, foram construídos gráficos com as tendências de cada modelo, indicando aumento ou diminuição de T e P. Após determinou-se a média para o intervalo de 30 anos dos períodos futuros representados pelos anos centrais de cada período (2025s, 2055s e 2085s) e período atual, a cada um dos modelos utilizados.

2. Em seguida, foram calculadas as anomalias de T e P para o mesmo intervalo disposto anteriormente. Construindo-se gráficos com as anomalias projetadas de cada modelo para ambos os postos. A anomalia considerada neste trabalho é

definida como a diferença entre as médias de T ou P do período futuro com relação ao período atual.

3. Realizou-se também uma abordagem sazonal (mensal), para identificar os meses com maior aumento ou diminuição de T e P e assim identificar os impactos mais importantes em cada época do ano. Para facilitar a apresentação dos resultados, as análises foram agrupadas em média dos modelos regionais (RM) e globais (GM) e em seguida foi calculada a anomalia para cada período.

4. A etapa seguinte consistiu na investigação de eventos extremos de P. Não foram calculados índices para T, pois apenas dados de temperatura média estavam disponíveis, e seriam necessários dados de T mínima e máxima. Os índices utilizados correspondem aos índices destacados em negrito na Tabela 2.

5. Os índices mencionados foram obtidos para cada modelo (MCG e MCR), em cada localização e para cada ano no período de 2011 a 2100. Porém os resultados serão apresentados para cada período futuro (2025s, 2055s e 2085s), tomando-se a média de cada período de 30 anos de cada índice.

3.3.1 Teste de Mann-Kendall

De acordo com Goossens e Berger (1986), o teste estatístico não paramétrico de Mann-Kendall (KENDALL, 1975; MANN, 1945) é o método mais adequado para analisar mudanças climáticas em séries meteorológicas.

Este teste considera que, na hipótese de estabilidade de uma série, a sucessão de valores ocorre de forma independente, e a distribuição de probabilidade deve permanecer sempre a mesma (série aleatória simples) (BACK, 2001).

Back (2001) e Moraes et al. (1995) descrevem o método considerando uma série temporal de X_i de N termos ($1 \leq i \leq N$). O teste consiste na soma t_n do número de termos m_i da série, relativo ao valor X_i cujos termos precedentes ($j < i$) são inferiores ao mesmo ($X_j > X_i$), isto é:

$$t_n = \sum_{i=1}^n m_i$$

Equação 1

Para séries com grande número de termos, (N) sob a hipótese nula (H_0) de ausência de tendência, t_n apresentará uma distribuição normal com média ($E(t_n)$) e variância ($\text{Var}(t_n)$):

$$E(t_n) = \frac{N(N-1)}{4} \quad \text{Equação 2}$$

$$\text{Var}(t_n) = \frac{N(N-1)(2N+5)}{72} \quad \text{Equação 3}$$

Testando a significância estatística de t_n para a hipótese nula usando em teste bilateral, esta pode ser rejeitada para grandes valores da estatística $u(t)$ dada por:

$$u(t) = \frac{(t_n - E(t_n))}{\sqrt{\text{Var}(t_n)}} \quad \text{Equação 4}$$

O valor da probabilidade α_1 é calculado por meio de uma tabela da normal reduzida tal que:

$$\alpha_1 = \text{prob}(|u| > |u(t)|) \quad \text{Equação 5}$$

A hipótese nula é rejeitada, ou não, a um nível de significância α_1 se $\alpha_1 > \alpha_0$ ou $\alpha_1 < \alpha_0$, respectivamente. Em geral, considera-se o nível de significância do teste $\alpha_0 = 0,05$. A hipótese nula é rejeitada quando existe uma tendência significativa na série temporal. O sinal da estatística $u(t)$ indica se a tendência é crescente ($u(t) > 0$) ou decrescente $u(t) < 0$. Este teste foi realizado através do programa Matlab.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Análise das projeções de temperatura e precipitação

Na Tabela 5 estão apresentadas as médias de temperatura e precipitação anual acumulada previstas ao longo do século XXI, representadas pelos anos centrais de cada período (2025s, 2055s e 2085s) para cada um dos modelos climáticos utilizados. O período atual consiste em uma média de todas as projeções do modelo ETA. Informações mais detalhadas sobre estas projeções estão apresentadas nos gráficos do apêndice A.

Todas as projeções de temperatura apresentaram aumento, exceto a projeção do modelo ETA 40 LOW para os postos 2 e 3, os quais demonstraram uma diminuição ao longo do século XXI. No entanto, observa-se no gráfico deste modelo na Figura A2 e A3 do apêndice A, que o comportamento do mesmo não é normal, com grandes variações interanuais. Este comportamento pode ser justificado devido a algum erro nos dados ou no decorrer da correção de viés para esta projeção.

A projeção do ETA 40 HIGH em todo o período futuro para o posto 1 apresenta os maiores aumentos de temperatura, concordando com os postos 2 e 3 para os períodos de 2025s e 2055s. Já o modelo HADCM3 sugere os maiores aumentos para 2085s nesses postos.

Estes resultados reafirmam a perspectiva de alteração dos padrões da temperatura média da superfície da Terra, atingindo, no posto 1, uma anomalia de 4,3°C no final do século. Tais mudanças poderão resultar em efeitos diversos sobre o ambiente e consequências diretas a sociedade, incluindo os recursos hídricos, a agricultura e segurança alimentar, a saúde humana, os ecossistemas naturais e sua biodiversidade (LEITE et al., 2012).

O aumento da temperatura também poderá favorecer o crescimento e prolongamento no período de reprodução de bactérias, fungos, vírus e mosquitos, causando aumento na incidência de doenças infecciosas (CONFALONIERI et al., 2002).

Tabela 5. Projeções de aumento/diminuição de temperatura e precipitação anual acumulada ao longo do século XXI.

Variável	Modelo	Posto 1				Posto 2				Posto 3			
		Atual (*)	2025s	2055s	2085s	Atual (*)	2025s	2055s	2085s	Atual (*)	2025s	2055s	2085s
		14.8				16.8				17.3			
Temperatura (°C)	ETA 20		16.1	17.1	17.9		18.1	19.2	20.0		18.5	19.6	20.3
	ETA 40 CTRL		16.1	17.1	18.1		18.1	19.1	18.1		18.5	19.5	18.1
	ETA 40 HIGH		16.3	17.5	19.1		18.4	19.5	19.1		18.8	19.9	19.1
	ETA 40 LOW		15.7	15.8	17.5		15.7	15.8	17.5		15.7	15.8	17.5
	ETA 40 MID		16.3	17.4	18.7		18.3	19.4	18.7		18.7	19.8	18.7
	GFCM21		15.7	17.0	17.5		17.9	19.3	19.9		18.3	19.6	20.2
	HADCM3		15.9	16.8	18.0		18.0	19.0	20.3		18.4	19.4	20.6
	MPEH5		15.6	16.2	17.3		17.7	18.4	19.6		18.1	18.8	20.0
	MRCGCM		15.4	16.2	16.5		17.5	18.3	18.6		17.9	18.7	19.0
	NRCCSM		15.9	16.6	17.1		18.0	18.8	19.3		18.4	19.2	19.7
		1681.9				1712.5				1684.3			
Precipitação anual acumulada (mm/ano)	ETA 20		2038.1	2257.8	2390.9		2056.5	2271.6	2403.8		1974.8	2139.7	2263.5
	ETA 40 CTRL		2034.9	2216.5	2312.5		2070.1	2229.4	2371.1		2023.8	2190.0	2303.4
	ETA 40 HIGH		1939.4	2160.2	2367.6		1934.0	2131.3	2324.7		1884.6	2075.3	2263.6
	ETA 40 LOW		1931.9	2089.2	2382.8		1976.9	2162.9	2502.7		1909.5	2097.0	2392.5
	ETA 40 MID		2029.9	2338.4	2267.1		2058.1	2341.7	2242.3		2001.9	2279.0	2192.4
	GFCM21		1808.9	1578.8	1513.8		1811.6	1560.3	1508.5		1793.1	1546.1	1500.3
	HADCM3		1676.0	1835.8	1822.2		1703.3	1883.0	1854.3		1685.8	1859.8	1834.5
	MPEH5		1758.9	1962.9	2036.2		1771.9	1963.7	2051.2		1744.9	1916.9	2012.3
	MRCGCM		1763.1	1999.0	2014.0		1788.4	2024.9	2079.8		1762.8	1998.9	2060.4
	NRCCSM		1783.2	1812.8	1833.0		1833.0	1874.6	1909.5		1794.4	1850.4	1878.7

(*) média entre todas as projeções do modelo regional ETA.

Pellegrino et al. (2007) simularam cenários de aumento de temperatura de 1°C, 3°C e 5,8°C associados ao acréscimo de até 15% na precipitação. Os autores observaram um aumento na área inapta para o plantio de soja no Estado do Rio Grande do Sul à medida que a temperatura se eleva. Enquanto Jalota et al. (2013), ao analisar o aumento das temperaturas máximas e mínimas na Índia, observou uma queda na produtividade de trigo e arroz, o que é reflexo da diminuição de até 24 dias no período de cultivo. Desta forma, a agricultura sofrerá grandes mudanças devido a essas projeções, ou seja, o desenvolvimento de plantas mais resistentes ao aumento de temperatura serão necessárias.

As projeções de precipitação ao longo do século mostram um aumento mais elevado nos MCRs em comparação com os MCGs (Tabela 5). O modelo GFCM21 nos postos 1, 2, e 3 no período de 2055s e 2085s é o único que indica uma diminuição na precipitação anual acumulada, enquanto o modelo HADCM3 apresenta este comportamento para os postos 1 e 2 no período de 2025s.

Nos MCRs, entre as projeções com maior acréscimo de precipitação anual acumulada quando comparadas com o período atual, destacam-se: no período de 2025s, do modelo ETA 20 no posto 1 e o ETA 40 CTRL nos postos 2 e 3; em 2055s o modelo ETA 40 MID nos postos 1, 2 e 3; em 2085s as projeções do ETA 20 no posto 1 e ETA 40 LOW nos postos 2 e 3.

A maior anomalia é esperada para o posto 2 na projeção do ETA 40 LOW no final do século com 790 mm, correspondendo a quase a metade do que foi registrado no passado em um ano. Este aumento de precipitação poderá ser responsável por elevações nas vazões médias dos rios da Bacia do rio Taquari-Antas, no sentido montante-jusante, o que agravará a situação das cidades que estão localizadas mais a jusante devido ao grande volume de escoamento, gerando inundações.

Geralmente as regiões que sofrem com esse problema apresentam alto índice de construções irregulares revelando a vulnerabilidade das populações que ali residem. O sistema sanitário adotado muitas vezes não é o adequado, como fossas sépticas rudimentares ou valas a céu aberto. Quando somadas à susceptibilidade de alagamentos/enchentes e as deficiências do serviço público de esgotamento

sanitário, aumentam o índice de desigualdade social, assim como o surgimento de doenças infecciosas (ASMUS et al., 2013).

Alguns pesquisadores acreditam que essas mudanças aparentemente são equilibradas, pois à medida que a temperatura se eleva, tanto a taxa de evaporação quanto a capacidade de retenção de água da atmosfera também aumentam. Com maior vapor d'água na atmosfera, as chuvas convectivas tornam-se mais intensas, muitas vezes como enchentes (BANCO MUNDIAL, 2010). Blanc (2012) justifica que essa compensação da precipitação com o acréscimo de temperatura, até certo ponto é benéfico para aumento de rendimentos nas culturas do milho e sorgo. Desta forma, é possível que esta compensação tenha impactos positivos sobre a agricultura da região.

As projeções de temperatura e precipitação no período futuro de 2011 a 2100, bem como do período atual de 1960 a 1990 podem ser observadas na Figura 11. Cada curva nestes gráficos representa a média dos três postos para cada modelo. Para comparação dos MCGs com o período atual (1960-1990) foram consideradas as projeções do ETA 40 CTRL, uma vez que este modelo foi utilizado para a geração dos dados diários dos modelos globais.

O comportamento dos gráficos é cíclico devido à metodologia do cálculo de correção de viés para cada período futuro de 30 anos. É possível observar que a temperatura e a precipitação acumulada ao longo do período sofrerão tanto com a mudança de variabilidade quanto de tendência.

Os excessos podem ser benéficos para as atividades dependentes de precipitação como agricultura, silvicultura, produção hidrelétrica e ecossistemas alagadiços, porém uma persistência de condições anormalmente úmidas também pode causar efeitos graves, como inundações e atrasos nas colheitas (MARENGO et al., 2009).

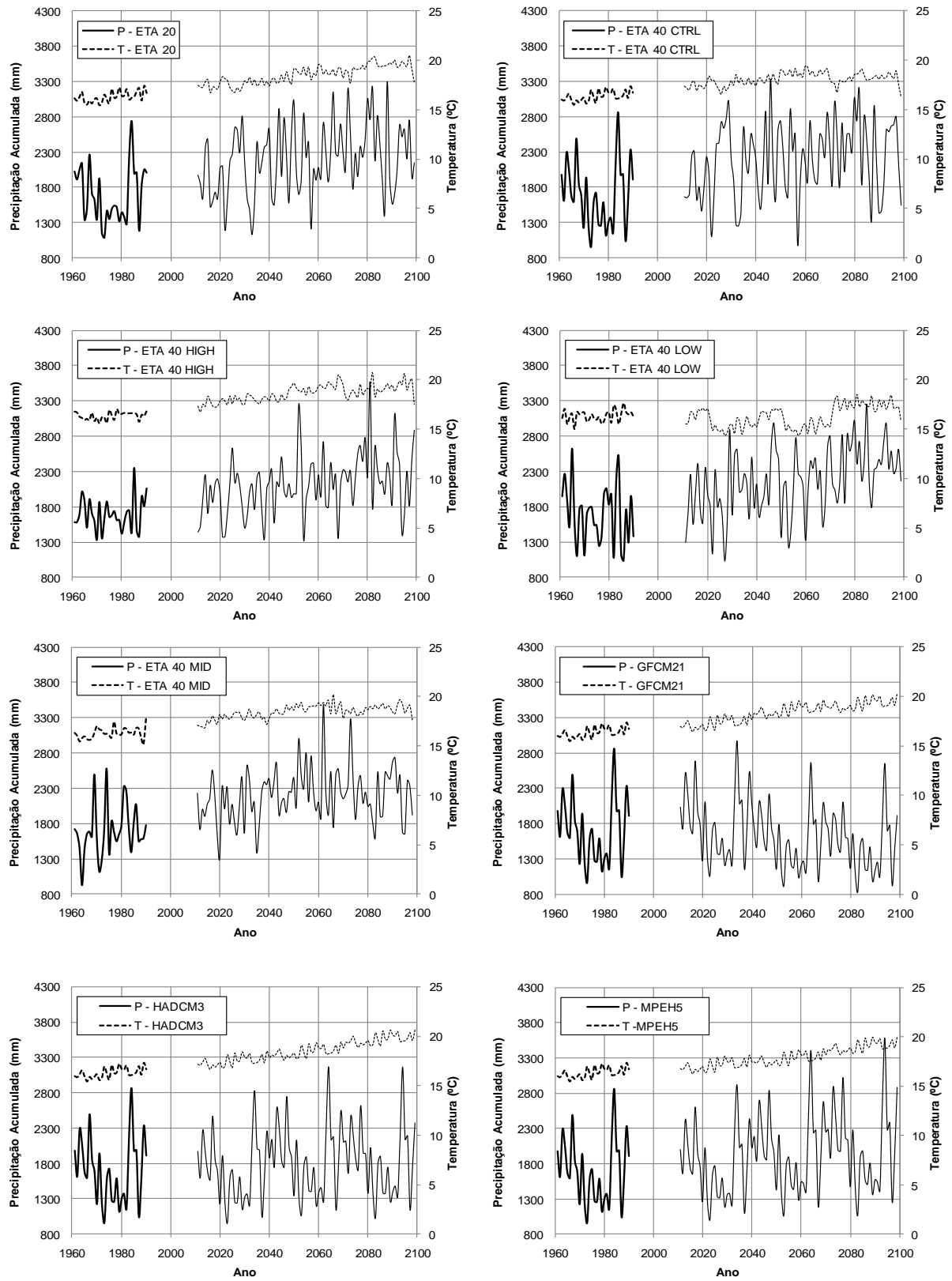


Figura 11 (continua). Projeções de temperatura e precipitação anual acumulada para os MCGs e MCRs ao longo do período estudado.

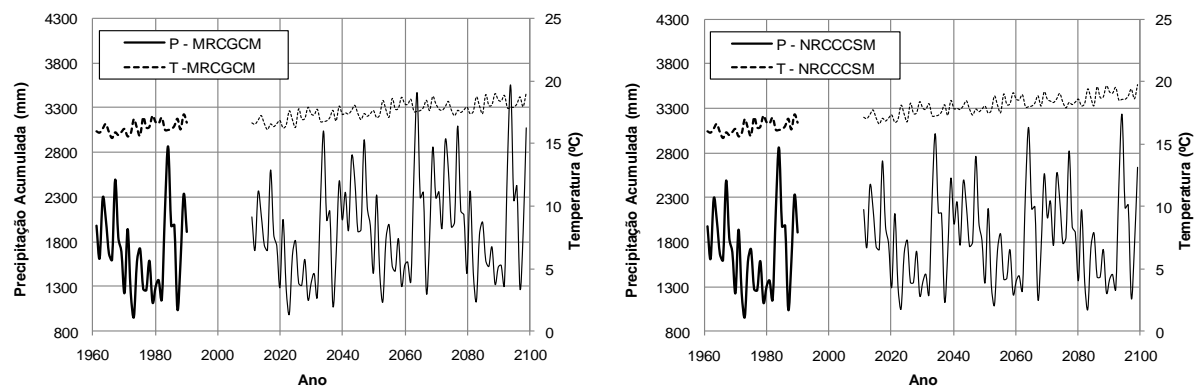


Figura 11 (continuação). Projeções de temperatura e precipitação anual acumulada para os MCGs e MCRs ao longo do período estudado.

Na Figura 11 também podem ser extraídas algumas projeções sobre a Bacia do rio Taquari-Antas. Analisando as características da mesma em paralelo, a parte leste e norte concentram a porção mais agricultável, onde os impactos possivelmente serão mais positivos, não havendo escassez de água para as culturas, instigando ainda mais o desenvolvimento desta região. Contudo o uso incorreto, pelo homem também pode causar impactos negativos nesta região da bacia devido à intensa modificação do solo e irregularidades do relevo criando condições favoráveis para que o processo erosivo se intensifique.

Segundo Marengo (2009) o desmatamento é outro fator agravante, pois favorece o aumento do escoamento superficial. O tipo de solo, assim como as condições de uso após o desmatamento podem interferir na quantidade de sedimentos carregados, pelo excesso de precipitação podendo desenvolver um problema de erosão.

As condições mais desfavoráveis estão presentes em solos desprovidos de cobertura vegetal, compactados e recentemente movimentados através de cultivos intensos, originando efeitos como o aumento na desagregação das partículas dos solos, diminuição da capacidade de infiltração de água e conseqüentemente aumento do escoamento superficial.

Este aumento de escoamento pode ocorrer mesmo com a conservação do solo, através de práticas agrícolas, introduzindo outros efeitos de variabilidade ao longo do ano como o aumento da erosão e a poluição difusa (TUCCI, 2002).

A lixiviação de agroquímicos utilizados na agricultura também contribui para a degradação dos solos, perda de produtividade e sustentabilidade necessitando-se do uso cada vez mais indiscriminado de tais produtos para manter os níveis de produção das culturas. Porém pode haver uma compensação em razão da carga de efluentes domésticos e industrial a qual ficaria mais diluída.

A qualidade da água depende da vazão nos rios. Quanto maior a vazão (devido a maiores precipitações projetadas), maior será a capacidade de diluição dos corpos de água. No entanto, deve-se considerar outro efeito que é o aumento da demanda bentônica (carga no fundo dos rios) quando a vazão aumenta a erosão do fundo incorpora esta carga no volume transportado pelo rio, reduzindo a sua qualidade (TUCCI, 2002).

A região centro-sul destaca-se por ser mais plana que o restante da bacia, onde encontram-se as cidades com maior grau de desenvolvimento industrial e adensamento populacional, caracterizando a parte mais impermeável da bacia. Isto potencializa os possíveis impactos negativos pelo aumento da precipitação, a qual ocasionaria escoamento superficial devido a maior impermeabilização do solo, deposição de sedimentos originários das partes mais altas, assoreando o fundo do rio e intensificando o risco de inundações.

4.2 Anomalias de temperatura e precipitação

A anomalia é definida como a diferença entre as médias de temperatura (°C) e precipitação acumulada (mm/ano) do período futuro com relação ao período atual. Na Figura 12 são observadas essas anomalias projetadas por MCRs e MCGs para cada posto nos períodos futuros.

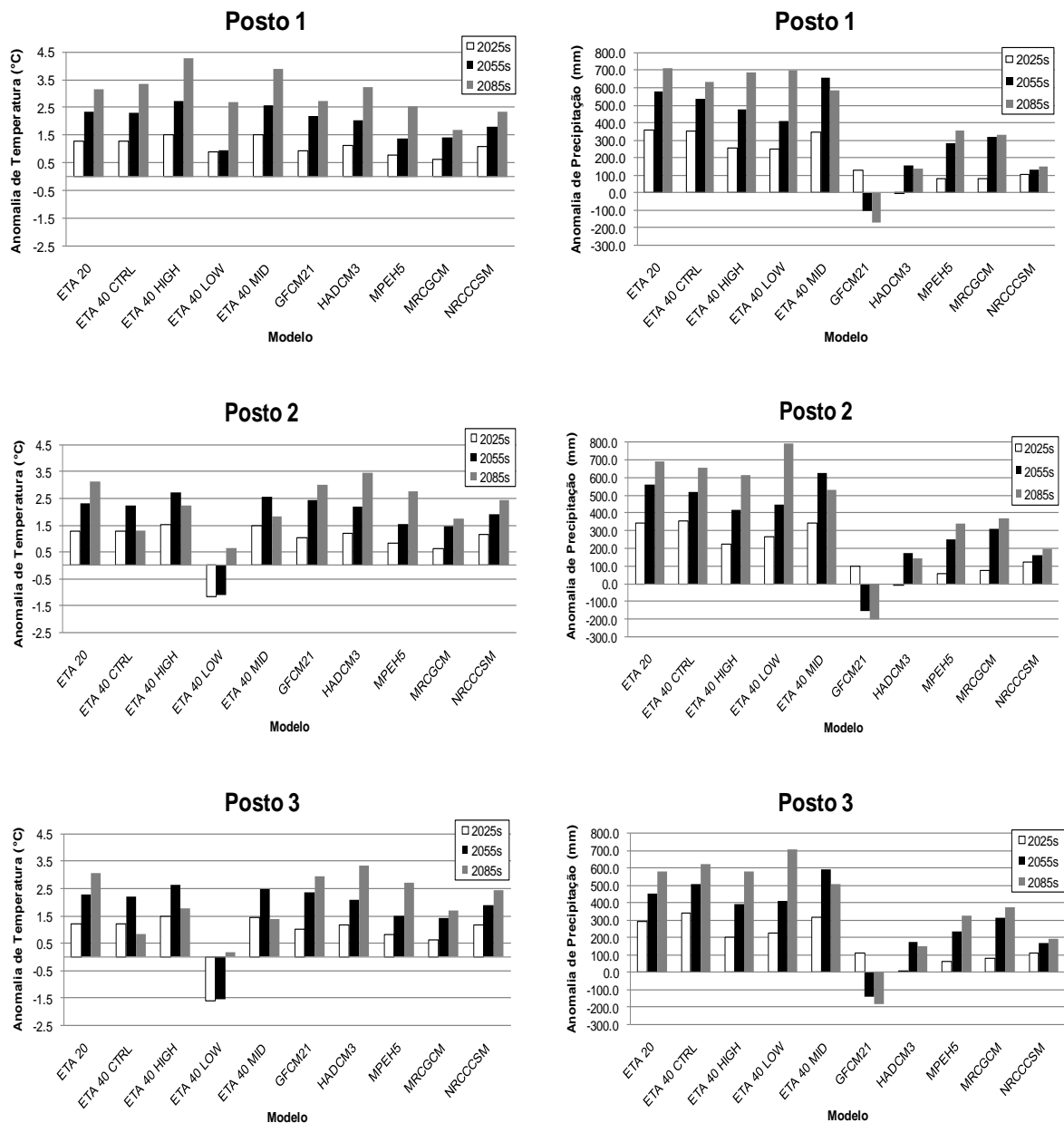


Figura 12. Anomalias de temperatura e precipitação anual acumulada projetada por MCRs e MCGs para cada posto nos períodos futuros.

No posto 1 todos os modelos concordam que as maiores anomalias de temperatura serão no final do século (2085s). O mesmo é observado para os MCGs dos postos 2 e 3. Já no posto 2 apenas as projeções do ETA 20 mantém essa perspectiva. No entanto, o ETA 40 LOW também indica aumento no final do século, porém no período 2025s e 2055s prevê uma diminuição mais expressiva que o aumento, refletindo aproximadamente uma anomalia de $-1,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ na temperatura média da superfície. O posto 3 se assemelha com o posto 2, destacando-se apenas

que a anomalia da temperatura alcançará $-1,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ em 2025s e $-1,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ em 2055s para este modelo.

Os MCRs apresentam uma anomalia na precipitação superior aos MCGs, principalmente no final do século, exceto as projeções do ETA 40 MID que prevê a maior anomalia para 2055s. Comportamento semelhante é observado para o modelo HADCM3, que a curto prazo não indica alteração de precipitação com relação ao período atual. Ainda o modelo GFCM21 revela uma anomalia positiva de 127 mm no período 2025s e posteriormente apresenta uma anomalia negativa que chegará a -103 mm em 2055s e a -168 mm em 2085s. Comportamentos semelhantes são demonstrados pelos postos 2 e 3 para este modelo.

Esses resultados relevam o grande potencial da região sul sobre a geração de energia elétrica por fontes hídricas, pois as perspectivas para o futuro no geral são bem otimistas. Bravo et al. (2014) em estudo sobre todas as usinas hidroelétricas do Sistema Interligado Nacional (SIN) destaca, através da utilização de um modelo hidrológico, que são previstas reduções de vazões em quase todas as usinas localizadas ao norte do paralelo 20°S , enquanto aumentos de mais de 15% são esperados nas vazões dos rios das usinas localizadas ao sul do mesmo paralelo. Essa zona de transição coincide aproximadamente com as divisas dos Estados de São Paulo, Minas Gerais e Goiás. Estados que já começam a sentir esses reflexos da escassez de água, prejudicando principalmente a qualidade da água para abastecimento e também as reduções nas barragens das usinas hidrelétricas. Gerando uma pressão sobre o sistema de energia elétrica dos Estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul que devido à escassez dos outros estados acabam bombardeados por novos empreendimentos.

Apesar de o sistema hidrelétrico apresentar uma grande interligação energética, o que reduz o risco de falha do sistema como um todo, grande parte do conjunto de usinas hidrelétricas está localizado na região Sudeste, o que concentra o risco de falha do ponto de vista espacial, porque as diversas usinas estão sujeitas a variabilidades climáticas simultâneas.

A topografia da região da Bacia do rio Taquari-Antas caracteriza-se pela presença de vales encaixados, o que favorece a instalação de pequenas centrais

hidrelétricas (PCHs). A Aneel (2015), em seu último relatório publicado em maio, destaca a aprovação de várias PCHs na região da Bacia, principalmente nos afluentes do rio Taquari-Antas como os rios: Forqueta, Guaporé, Carneiro e Prata atingindo mais de 40 unidades além dos existentes. Esta consequência é principalmente em relação à projeção de maior quantidade de água disponível para esta região como observado neste trabalho e por Bravo et al. (2014).

Os impactos gerados a partir de PCHs são menores quando comparados com grandes usinas, mas mesmo assim devem ser avaliadas as principais transformações neste ambiente, pois alterações no microclima poderão ser sentidas, devido ao elevado número de empreendimentos. Becker et al. (2013) preocupados com esses possíveis impactos, realizaram um inventário das espécies de peixes dessa bacia e revelam o alto grau de endemismo e a presença de *Salminus brasiliensis* uma espécie na lista de ameaçados de extinção. Desta forma, esses levantamentos mostram que a vida aquática e também os outros seres podem sofrer com a ameaça da ampliação do sistema de PCHs nesta bacia, ocasionando grandes mudanças/perdas caso não forem observadas e consideradas.

4.3 Análise sazonal

As projeções mensais de temperatura fornecidas pelos MCGs e MCRs aos diferentes postos foram agrupadas em médias globais (GM) e regionais (RM). Na Tabela 6 estão apresentados os resultados desta variável para os três períodos futuros (2025s, 2055s e 2085s) e à média do período atual (1960-1990) para comparação. No caso da precipitação acumulada mensal, os resultados foram trabalhados da mesma forma que a variável temperatura, mas demonstrados por meio de gráficos (Figura 13, a-c), uma vez que a magnitude das diferenças tornam-se mais perceptíveis.

Tabela 6 (continua). Médias mensais das projeções de temperaturas para os MCGs e MCRs.

Mês	Período	Posto 1		Posto 2		Posto 3	
		GM	RM	GM	RM	GM	RM
Jan	Atual	18.5		21.1		21.6	
	2025s	19.5	20.0	22.2	22.0	22.7	22.4
	2055s	20.4	20.7	23.0	22.8	23.5	23.1
	2085s	20.9	21.7	23.7	22.2	24.1	22.3
Fev	Atual	18.9		21.2		21.7	
	2025s	20.5	21.3	22.9	22.6	23.4	22.9
	2055s	19.8	20.5	22.1	22.3	22.6	22.7
	2085s	20.5	21.2	22.8	23.0	23.3	23.4
Mar	Atual	17.6		19.7		20.1	
	2025s	18.6	19.1	20.8	20.8	21.2	21.1
	2055s	19.5	19.9	21.7	21.5	22.1	21.8
	2085s	20.4	20.3	22.6	20.7	23.0	20.8
Abr	Atual	14.7		16.8		17.2	
	2025s	15.9	16.0	18.1	17.7	18.4	17.9
	2055s	16.7	16.7	18.9	18.4	19.3	18.6
	2085s	17.6	17.3	19.9	17.7	20.2	17.7
Mai	Atual	12.5		14.3		14.8	
	2025s	13.7	13.7	15.6	15.2	16.1	15.5
	2055s	14.5	14.7	16.4	16.2	16.8	16.5
	2085s	15.3	15.1	17.2	15.4	17.7	15.5
Jun	Atual	10.9		12.3		12.9	
	2025s	11.9	12.1	13.4	13.2	13.9	13.6
	2055s	12.7	13.1	14.3	14.2	14.8	14.6
	2085s	13.5	13.4	15.1	13.6	15.6	13.7
Jul	Atual	11.2		12.4		13.0	
	2025s	12.2	12.6	13.5	13.5	14.0	14.0
	2055s	13.0	13.7	14.3	14.6	14.9	15.0
	2085s	13.8	13.8	15.2	14.1	15.7	14.2
Ago	Atual	11.5		13.1		13.4	

Tabela 6 (*continuação*). Médias mensais das projeções de temperaturas para os MCGs e MCRs.

Mês	Período	Posto 1		Posto 2		Posto 3	
		GM	RM	GM	RM	GM	RM
Set	2025s	12.5	12.8	14.2	14.1	14.5	14.3
	2055s	13.6	13.9	15.4	15.1	15.6	15.3
	2085s	14.3	14.7	16.2	15.0	16.4	15.0
	Atual	13.1		14.8		15.2	
	2025s	14.0	14.5	15.8	15.8	16.1	16.1
Out	2055s	15.0	15.5	16.9	16.9	17.2	17.2
	2085s	15.8	16.1	17.7	16.5	18.0	16.5
	Atual	14.1		16.6		16.9	
	2025s	15.2	15.7	17.8	17.7	18.0	17.9
	2055s	15.9	16.6	18.6	18.7	18.8	18.8
Nov	2085s	16.7	18.1	19.4	18.5	19.6	18.6
	Atual	15.5		18.5		18.7	
	2025s	16.4	17.1	19.5	19.5	20.6	19.6
	2055s	17.4	17.7	20.5	20.1	21.7	20.2
	2085s	18.0	19.2	21.2	19.8	22.5	19.8
Dez	Atual	17.6		19.9		20.5	
	2025s	18.5	19.0	21.0	20.9	21.6	21.4
	2055s	19.5	19.9	22.0	21.7	22.5	22.2
	2085s	20.0	20.0	22.5	20.4	23.0	20.6

GM: média das projeções dos MCGs, RM: média das projeções dos MCRs.

Os dados mensais contidos na Tabela 6 demonstram que as maiores temperaturas para o posto 1 são fornecidas pelos MCRs (todos os meses, exceto em 2085s para março, abril, maio e junho), enquanto que para os postos 2 e 3 são os MCGs. Em alguns casos, ambos concordam com a mesma projeção, como é o caso do mês de setembro para o período de 2025s. No período atual, o posto 1 apresenta as menores médias de temperatura seguidas pelos postos 2 e 3, comportamento que permanecerá ao longo do século para todos os meses.

Os meses de janeiro e fevereiro se destacam por apresentarem as maiores temperaturas, mas fevereiro é o único mês que apresenta maior aumento no período de 2025s em todos os postos, enquanto que o mês de junho permanecerá com as menores médias. Hamada et al. (2011) concordam com esses resultados, mas citam o mês de julho com as menores médias de temperatura para a região sul do Brasil.

A estação do inverno em relação à estação do verão sofrerá mais com os aumentos de temperatura, o que pode implicar em menor ocorrência de dias frios e geadas no ano, comportamento também encontrado por Donat et al. (2013), Hamada et al. (2008), Melo et al. (2014) e Marengo et al. (2009). Temperaturas maiores no inverno, talvez sejam responsáveis pela antecipação das culturas deste período, principalmente os cereais que compõem as pastagens na criação de gado.

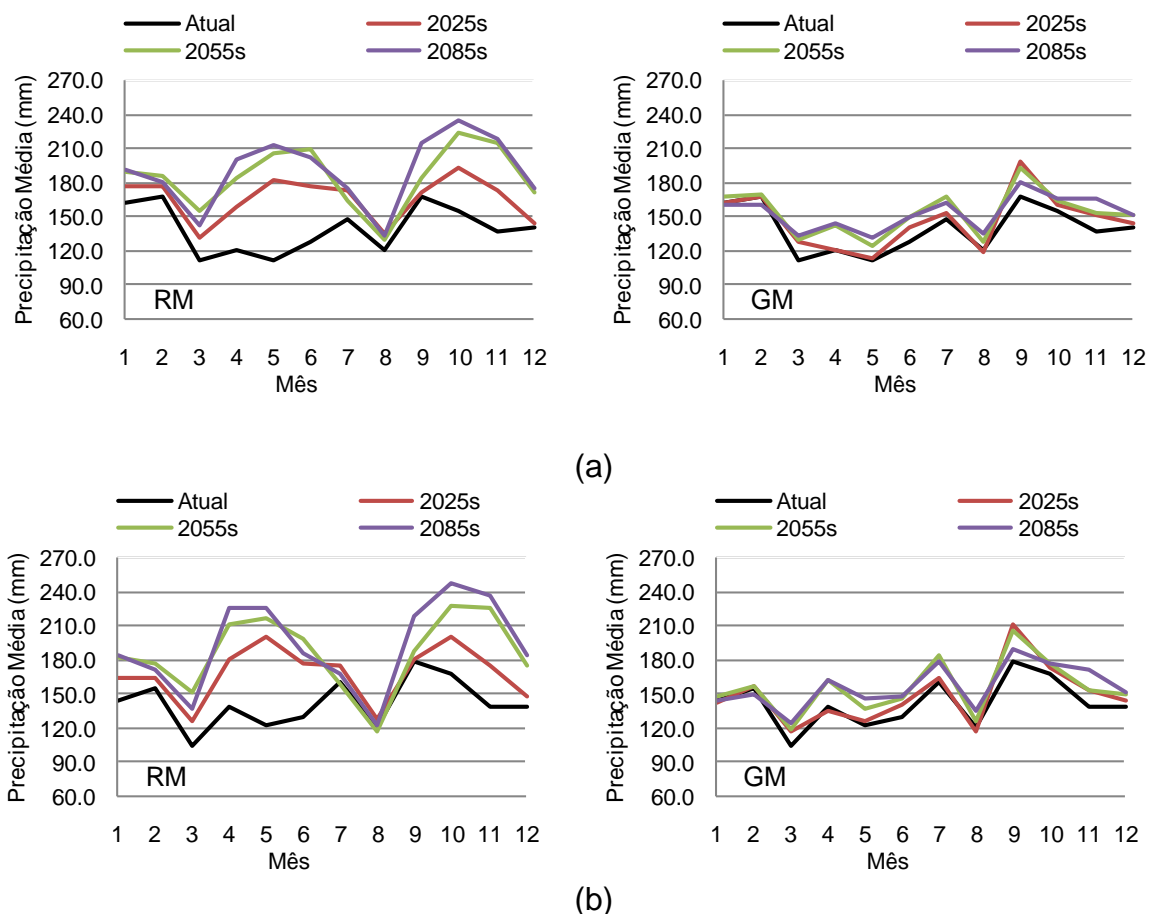
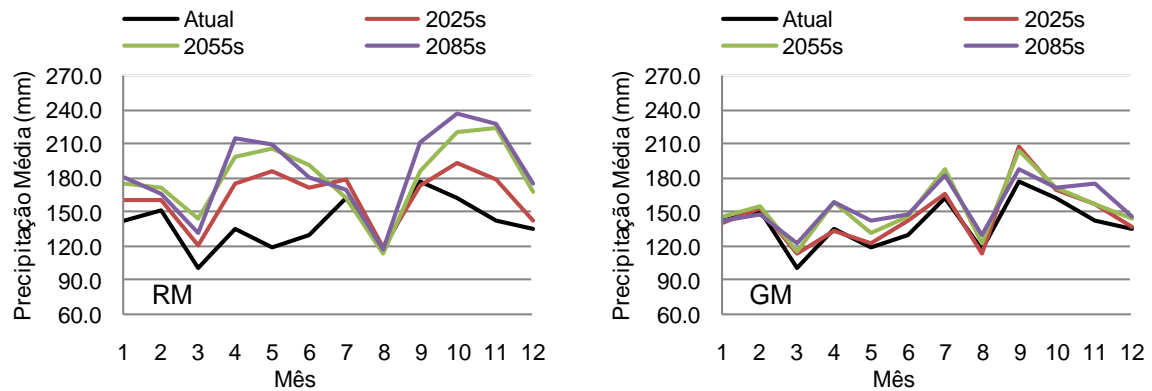


Figura 13 (continua). Médias mensais das projeções de precipitação para os MCGs e MCRs a) posto 1, b) posto 2, c) posto 3.



(c)

Figura 13 (continuação). Médias mensais das projeções de precipitação para os MCGs e MCRs a) posto 1, b) posto 2, c) posto 3.

Na Figura 13 a precipitação acumulada nos MCGs apresenta menor variabilidade mensal entre os períodos futuros e pouca diferença em relação ao período atual quando comparado com os MCRs. Em alguns casos fornecem projeções contrárias ao MCRs como observado no mês de maio. Observa-se que para os meses de outubro, novembro e dezembro os MCGs indicam que haverá pouca alteração ao comparar com o período atual, o que não implicaria em mudanças no período de plantio das principais culturas de verão como a soja e milho na região (Tabela 7).

Tabela 7. Principais culturas da Bacia do Rio Taquari-Antas (LIMA et al., 2014).

	Culturas	Plantio	Colheita
Verão	Arroz	Novembro	Março
	Cucurbitáceas	Novembro	Fevereiro
	Feijão	Novembro	Fevereiro
	Girassol	Dezembro	Março
	Mamona	Novembro	Abril
	Mandioca	Outubro	Maio
	Milho	Novembro	Março
	Pequenas Leguminosas	Dezembro	Abril
	Soja	Novembro	Março
Inverno	Bulbos	Junho	Outubro
	Batatas	Agosto	Dezembro
	Cereais	Junho	Outubro
	Tomate	Abril	Agosto

Os MCRs demonstram um aumento expressivo de precipitação para os meses de abril a junho e setembro a novembro, o que causaria consequências para a agricultura como a antecipação ou atraso de plantio/colheita de algumas culturas da região, porém essa situação poderia beneficiar as plantações de arroz.

Os registros de inundações mais significativos são nos meses de maio a outubro como citado por Bombassaro e Robaina (2010) no período de 1980 a 2007 tornam-se ainda mais relevantes quando observado as projeções de aumento no futuro para esses meses. Episódios como os anos de 1983, 1990, 1997, 2001, 2007 Bombassaro e Robaina (2010), 2008 e 2012 Greiner (2014) afetaram inúmeras cidades da bacia, mas em destaque as localizadas mais ao sul como Estrela, Lajeado, Taquari e Encantado por estarem na parte mais baixa e plana.

A maior anomalia positiva de precipitação acumulada é esperada para o mês de maio, afetando principalmente a cultura da mandioca (Tabela 7), que pode sofrer com o excesso de chuva ocasionando o apodrecimento de suas raízes, enquanto agosto é o mês que apresenta as menores anomalias e até uma diminuição o que provavelmente represente um benefício para as culturas de inverno (Tabela 7) uma vez que sofrem com o excesso de precipitação.

Os MCRs, em comparação com os MCGs, projetam maiores anomalias positivas, porém esta situação não significa ser favorável. A precipitação em excesso pode estar associada a eventos extremos, como chuva intensa de curta duração.

Na análise mensal das projeções de temperatura e precipitação foi calculada a média dessas variáveis, referentes a todos os modelos e postos de estudo, para calcular a anomalia em comparação com o período atual (1960-1990) (Figura 14). As anomalias referem-se à diferença entre cada período futuro de 30 anos e o período atual, também representado por uma série de 30 anos de dados.

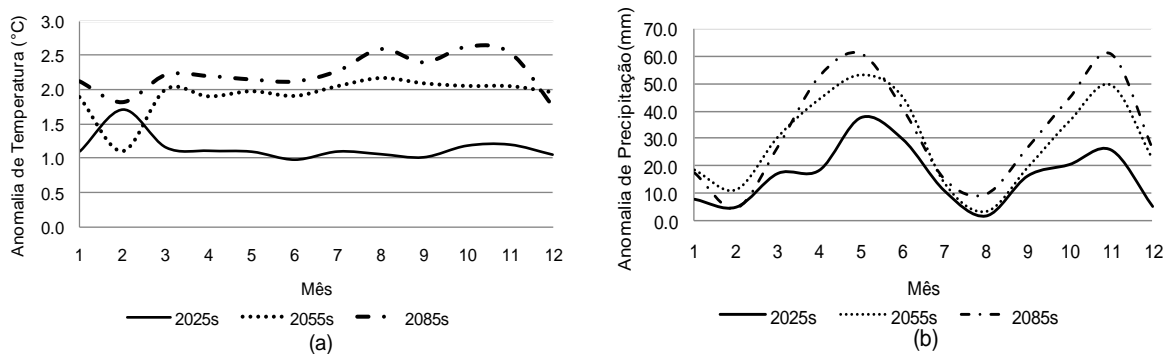


Figura 14. Períodos mensais de anomalias de (a) temperatura e (b) precipitação. As curvas correspondem a variável média de todas as projeções dos postos.

As maiores anomalias de temperatura são projetadas para 2085s no fim do inverno e durante a primavera nos meses de agosto a novembro. Ao contrário, o mês de fevereiro apresenta uma anomalia positiva de 1,7°C em 2025s, porém anomalias negativas do meio para o fim do século.

Nos demais meses a variabilidade é semelhante para todos os períodos futuros. A média da anomalia anual para 2025s, 2055s, e 2085s é de 1,1°C, 2,0 °C e 2,2 °C respectivamente. Melo et al. (2015) para mesmo período na região noroeste do Estado do Rio Grande do Sul encontraram 1,2°C, 2,1°C e 2,9°C, reafirmando a necessidade de cada vez mais realizar estudos detalhados, pois dentro de um mesmo Estado é possível notar diferenças significativas de mudanças climáticas principalmente para o fim do século.

Os meses com maior anomalia positiva de temperatura são fevereiro (2025s), agosto (2055s) e agosto e outubro (2085s). Melo et al. (2015) destacaram os meses de maio e outubro (2025s), e agosto e setembro (2055s e 2085s) com as maiores anomalias na região Noroeste do RS, o que representa grande diferença a curto prazo, o que pode representar impactos espacialmente distribuídos na economia do Estado.

De uma maneira geral as anomalias de precipitação são positivas para todas as estações nos postos de estudo, ou seja, a precipitação mensal acumulada irá aumentar. Comportamento semelhante também foi observado por Hamada et al. (2011) e por Marengo et al. (2010) para a região sul do Brasil. As menores anomalias médias previstas para precipitação acumulada, são esperadas durante os

meses de verão seguido pelo inverno. O mês de agosto revela as menores anomalias em 2025s e 2055s, e fevereiro em 2085s, enquanto que as maiores anomalias são esperadas para o mês de maio durante todo o futuro.

As mudanças podem atingir diferentes ambientes, mas em especial acarreta transformações no que se refere ao uso e cobertura do solo. Havendo a necessidade de adaptar o manejo convencional para um plantio direto com o objetivo de proteger o solo e evitar perdas em decorrência da chuva. Também em relação à topografia analisar as áreas que atualmente são utilizadas para atividades agrícolas como topos de morros e encostas de rios e fazer uso de coberturas mais apropriadas nestes locais com a finalidade de minimizar as perdas.

Neste contexto se insere a análise através de índices extremos de precipitação, a qual tem o objetivo de quantificar a intensidade desses fenômenos e averiguar a frequência dos mesmos, o que torna-se interessante principalmente quando a região já possui históricos de perdas por tais eventos.

4.4 Índices de precipitação extrema

Os custos econômicos e sociais com o aumento do número de eventos extremos também podem ser mais altos, e os impactos serão substanciais nas áreas e setores mais diretamente afetados, como agricultura, geração de hidroeletricidade, centros urbanos e biodiversidade (MARENGO et al., 2009). Com a finalidade de analisar/alertar a região sobre a ocorrência desses eventos no futuro, foram calculados os índices de precipitação extrema, pois os resultados anteriores já mostravam um aumento de precipitação anual.

Para melhor observação dos resultados, apenas os valores médios de cada período dos índices utilizados de precipitação projetados pelos MCGs e MCRs estão dispostos na Tabela 8. Os dados completos podem ser consultados no Apêndice B.

Uma das mais importantes questões relacionadas a eventos extremos a curto prazo é se sua ocorrência está aumentando ou diminuindo com o tempo, isto é, se há uma tendência de cenários propícios à ocorrência desses eventos. Com esse objetivo foi realizado o teste de Mann-Kendall para detecção de tendência para cada série anual dos índices analisados em cada posto e para todos os modelos.

O primeiro índice considerado, R95p, refere-se ao total da precipitação anual nos dias úmidos em que a mesma é maior que o percentil 95. Assim, se houver um aumento na tendência deste índice, pode significar que o aumento da precipitação anual acumulada esteja concentrado em 5% do total precipitado em dias úmidos.

O índice apresentou os maiores valores nos MCRs do que para os MCGs, e torna-se maior quanto mais se distancia do período atual (Tabela 8). O teste de hipótese revelou tendências crescentes nos modelos ETA 40 LOW, ETA 40 MID e HADCM3, e tendência decrescente para o GFCM21 para os três postos, os demais modelos não apresentaram tendências para este índice.

A análise do índice R99p segue o mesmo raciocínio do anterior, mas considera o acumulado de precipitação em dias de chuvas mais intensas, ou seja, acima do percentil 99% do total acumulado de precipitado sobre os dias úmidos. O posto 1 apresentou tendência em 6 modelos, mas apenas uma decrescente, para o modelo GFCM21.

Os índices R95p e R99p também representam quanto da precipitação total anual corresponde aos eventos mais intensos ou extremos. No caso do modelo ETA 20 no posto 1, a precipitação total anual projetada no ano de 2060 (não mostrado) é de 2.149 mm, sendo que, deste total, espera-se que 857 mm (aproximadamente 40%) precipitará em dias com precipitação acima do percentil 95 e 306 mm (aproximadamente 14%) ocorrerá em dias com a precipitação acima do percentil 99, o que também pode ser observado através das médias da Tabela 8. Mais de 50% da precipitação total anual terá características de ser extrema, implicando consequências em toda a bacia, por exemplo, a maioria dos sistemas de drenagem não estarão preparados para eventos deste porte.

Tabela 8. Médias anuais dos índices de precipitação extrema.

Modelo	Índice (unidade)	Posto 1				Posto 2				Posto 3			
		Atual	2025s	2055s	2085s	Atual	2025s	2055s	2085s	Atual	2025s	2055s	2085s
Regional	R95 p (mm)	729	812	880	911	732	826	895	930	748	822	889	918
	R99 p (mm)	248	263	284	295	250	274	292	304	257	273	290	298
	PRCPTOT (mm)	1673	1987	2205	2337	1700	2010	2220	2362	1673	1952	2150	2277
	R30 (dias)	14	19	23	24	14	19	22	24	15	18	22	24
	RX1 (mm)	80	81	88	91	81	85	90	94	84	86	90	92
	RX5 (mm)	149	167	180	191	148	168	183	192	151	166	176	187
	CDD (dias)	18	16	18	17	17	16	18	18	18	17	18	18
	CWD (dias)	8	8	9	9	8	9	9	9	8	8	8	8
	SDII (mm/dia)	10	13	14	14	11	13	14	15	12	14	15	15
Global	R95 p (mm)	723	762	799	807	724	763	800	813	739	779	817	834
	R99 p (mm)	244	260	272	276	246	262	275	279	254	272	284	289
	PRCPTOT (mm)	1673	1749	1829	1835	1701	1771	1850	1870	1674	1746	1825	1848
	R30 (dias)	14	15	17	17	14	15	16	17	15	16	17	18
	RX1 (mm)	78	84	87	89	79	85	89	90	82	89	93	95
	RX5 (mm)	151	161	169	170	156	165	173	176	153	162	170	175
	CDD (dias)	17	17	17	17	17	17	17	17	18	18	17	17
	CWD (dias)	8	8	8	8	9	9	9	9	9	9	8	8
	SDII (mm/dia)	10	11	11	11	11	11	12	12	12	12	13	13

Para os modelos que registram tendências positivas dos índices R95p ou R99p, estas podem ser associadas tanto à ocorrência de chuvas fortes (grande intensidade), como a ocorrências mais frequentes destes eventos de chuva extrema.

O índice PRCPTOT corresponde à precipitação total anual de dias chuvosos ($RR > 1$ mm). Os maiores valores para este índice foram fornecidos pelos MCRs, os quais preveem para o fim do século (2085s) no posto 1, uma anomalia de 664 mm em relação ao período atual (Tabela 8). Já os MCGs projetam 162 mm para o mesmo lugar. O teste de Mann-Kendall em relação a este índice detecta uma tendência positiva para os modelos ETA 20, ETA 40 LOW, ETA 40 MID e HADCM3 para o posto 1, ETA 40 CTRL, ETA 40 LOW, ETA 40 MID e HADCM3 posto 2 e ETA 40 LOW, ETA 40 MID e HADCM3 no posto 3.

O índice R30 caracteriza-se pelo número de dias em que a precipitação diária é maior ou igual a 30 mm. Este índice colabora na detecção de eventos extremos, pois pode ser relacionado com os índices anteriores. Ao associar os índices R95p e R30 das projeções do ETA 20 no posto 3 nos anos de 2019 e 2051 (não mostrado), é possível notar quantos dias são necessários para produzir certa quantidade de precipitação. Em 2019, por exemplo, onze dias (R30) serão responsáveis por 504 mm (R95p) e no ano de 2051, vinte dias (R30) corresponderão a uma precipitação de 904 mm (R95p). Estes dois anos foram tomados como exemplo, pois os percentis 95% correspondem à 30 mm e, portanto, pode-se fazer uma associação direta com o índice R30. Desta forma, o número de dias com precipitação acima de 30 mm irá aumentar para todos os postos, o que concorda com a elevação observada na precipitação total anual.

Para os MCRs, o índice R30 apresenta maior anomalia em comparação com os MCGs, revelando até dez dias de precipitação superior a 30 mm a mais do que no passado, o que corresponde a pelo menos 300 mm a mais no ano. Somente os modelos ETA 40 LOW e ETA 40 MID apresentaram tendências positivas em todos os postos, segundo o teste de Mann-Kendall.

A precipitação máxima em um dia (RX1), comparada com a precipitação máxima de cinco dias consecutivos no ano (RX5) é proporcionalmente muito mais extrema, porém apresentou tendência somente no modelo HADCM3 para os postos

1 e 2. Também no índice RX1 pode-se observar que haverá uma anomalia no geral de 10 mm em todos os postos até o final do século.

O índice CDD representa o número máximo de dias consecutivos secos no ano em que a precipitação diária é menor que 1 mm, e o CWD se refere ao número máximo de dias consecutivos úmidos no ano com precipitação diária maior que 1 mm. Estes índices não apresentam alterações/tendências significativas. Autores como Marengo et al. (2009) e Santos et al. (2009) justificam o aumento da precipitação total anual e a ocorrência de eventos extremos pela diminuição de CDD e acréscimo/redução de CWD. O que não é observado neste trabalho, de modo que o aumento da precipitação manifesta-se por meio dos índices R95p, R99p e R30. Este último fato também foi observado por Dereczynski et al. (2013), os quais justificaram o aumento dos eventos extremos de precipitação para o Rio de Janeiro por meio destes mesmos índices.

A precipitação total anual dividida pelo número de dias úmidos (SDII) mostrou um aumento apenas nos modelos regionais, sugerindo que os dias em que ocorrer precipitação os mesmos serão de caráter mais intenso. Tendências positivas foram observadas nos modelos ETA 40 MID e ETA 40 LOW. Os MCGs apresentam um aumento de 1 mm/dia, nos dias que ocorrer precipitação.

A ocorrência de eventos extremos de precipitação colabora para os deslizamentos de terra em regiões com características de serra, favorecendo-se ainda pela presença de camada rochosa logo abaixo do solo, mesmo em situações que apresentam cobertura vegetal, visto que, o solo encharcado não consegue manter-se estruturado, principalmente em relevos acentuados. Eventos como dos Estados de Santa Catarina em 2008 e do Rio de Janeiro em 2011, causaram grandes mudanças no relevo e impactos negativos no meio ambiente, alertando regiões de topográfica semelhante para eventuais situações de desastres.

Impactos também são gerados devido aos bloqueios de estradas, que causam a interrupção do fornecimento de água, alimentos e eletricidade a centenas de pessoas. Quanto maiores as anomalias entre os períodos, piores serão as consequências para a sociedade e o meio ambiente em zonas consideradas vulneráveis.

5. CONCLUSÃO

O estudo proposto teve como objetivo identificar as possíveis mudanças climáticas na região da Bacia do Rio Taquari-Antas localizada na mesorregião nordeste no Estado do Rio Grande do Sul, Brasil. Esta região destaca-se por apresentar um setor industrial forte e em crescimento, sendo, também importante produtora de soja e milho, o que representa economicamente 20% do PIB do Estado. Foram consideradas dez projeções de precipitação e temperatura geradas por modelos de circulação global (MCGs) e regional (MCRs) em três postos localizados na bacia dos rios Taquari-Antas. Os dados correspondem às simulações do cenário A1B do AR4, no período futuro de 2011 a 2100, comparados com o período atual (1960-1990).

Os MCGs e MCRs em sua maioria concordam com projeções de aumento da temperatura e precipitação nos postos estudados. As projeções indicam um aumento de temperatura média anual de quase 3°C até o fim do século, porém resultados superiores foram encontrados por outros autores na região Sul utilizando o cenário A2 considerado mais pessimista. Uma análise mais detalhada poderia ser feita caso os modelos fornecessem as projeções de temperatura mínima e máxima diária. Para a precipitação anual acumulada os MCRs projetam maiores anomalias que os MCGs, contudo concordam com os últimos estudos realizados na região sul de aumento de precipitação.

Os ciclos mensais de temperatura e precipitação mostram que os meses das culturas de verão serão menos afetados pelo aumento destas variáveis, porém os possíveis extremos aparecerão no início dos cultivos devido ao aumento de precipitação nos meses de outubro e novembro. Contudo o mês de maio merece atenção pelo histórico de inundações e pela projeção de expressivo aumento de precipitação.

A grande variabilidade observada entre as projeções dos MCRs e MCGs notada neste estudo pode ser confirmada pela análise das tendências nos índices extremos de precipitação, os quais mostraram que a maioria das tendências crescentes foram detectadas nas projeções do modelo ETA. As simulações de mudanças climáticas apresentam algumas incertezas que precisam ser levadas em

consideração nas análises. Tais incertezas estão impostas sobre a construção de cenários de emissões, que supõem cenários de desenvolvimento econômico e tecnológico, até a organização de modelos climáticos. Deste modo, as projeções de mudanças climáticas não são representadas na forma de um único valor, mas em um intervalo de possibilidades. Uma alternativa observada seria analisar um conjunto de parâmetros para cada intervalo de 30 anos e não para todo o século como no estudo, ou seja, a cada reflexo das ações propostas talvez o futuro possa ser ainda mais positivo ou negativo.

Os MCRs são construídos para escalas menores com maior resolução, suas projeções estão o mais próximo da realidade do que os MCGs. Com base nesta constatação, pode-se assumir que o clima futuro na região de estudo sofrerá com o aumento de eventos extremos de precipitação, principalmente pelo acréscimo de precipitação total anual, o que pode ser verificado pelo aumento de dias no índice R30 e maior concentração nos índices R95p e R99p.

Os resultados demonstrados revelam a importância da utilização de modelos regionais e as influências que os mesmos apresentam em relação às características locais, de modo que os MCGs são mais conservadores e não conseguem simular as peculiaridades de uma região, devido às limitações de escala. Entretanto, para estudos de impactos, vulnerabilidade e adaptação, é necessário maior detalhe, pois esses estudos tem um caráter informativo para uma determinada região.

A região de estudo também sofre influência de outros fenômenos climáticos, porém neste trabalho o interesse era apenas avaliar as projeções fornecidas pelos modelos climáticos em um determinado cenário.

O aumento de precipitação projetado para a região da Bacia do Rio Taquari-Antas serve de alerta para o aumento na intensidade e frequência de eventos extremos como: fortes chuvas, inundações e deslizamentos de terra. Tais informações devem ser levadas em consideração pelo comitê de bacia da região, com o propósito de construir um sistema de alerta para tais eventos, assim como ações preventivas com a população mais vulnerável.

Ações preventivas estão relacionadas com delimitação através do plano diretor de áreas críticas, desapropriação de populações ribeirinhas, manutenção dos

sistemas de drenagem das cidades, assim como atividades de educação ambiental para a sociedade. O excesso de precipitação para a agricultura torna ações de proteção do solo ainda mais importantes e devem ser desenvolvidas com os agricultores. A utilização de técnicas como a de plantio direto, com o objeto de manter ao máximo o solo coberto, para que a região possa usufruir dos benefícios gerados.

Uma proposta de estudo mais detalhada poderia ser realizada, utilizando-se dos mesmos índices de extremos de precipitação, mas em uma análise mensal para verificar se tais eventos serão pontuais ou difusos ao longo do ano.

As informações levantadas neste trabalho possibilitam que ações de planejamento para os municípios integrantes da bacia busquem ferramentas que auxiliem na melhor adaptação e mitigação dos impactos gerados pelas mudanças climáticas. Contudo, a diminuição de emissões ao longo dos próximos anos, deve ajudar na perspectiva de reduzir os custos e desafios a serem enfrentados, colaborando para um desenvolvimento sustentável.

REFERÊNCIA

ADAM, Katiúcia Nascimento. **Análise dos impactos de mudanças climáticas nos regimes de precipitação e vazão na Bacia do Rio Ibicuí**. 2011. 147f. Dissertação de Mestrado. (Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental), Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

ALEXANDER, L. V.; ZHANG, X.; CAESAR, T. C. J.; GLEASON, B.; KLEIN TANK, A. M. G.; HAYLOCK, M.; COLLINS, D.; TREWIN, B.; RAHIMZADEH, F.; TAGIPOUR, A.; RUPA, K.; REVADEKAR, J.; GRIFFITHS, G.; VINCENT, L.; STEPHENSON, D. B.; BURN, J.; AGUILAR, E.; BRUNET, M.; TAYLOR, M.; NEW, M.; ZHAI, P.; RUSTICUCCI, M.; VAZQUEZ-AGUIRRE J. L. Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation. **Journal of Geophysical Research**, v. 111, p.22, 2006.

ALEXANDER, Ralph B. **Aquecimento Global: Alarme Falso**. Rio de Janeiro: Gryphus, 2010. 201p.

ANEEL. Associação Nacional de Energia Elétrica- Relatório de Acompanhamento de Estudos e Projetos de Usinas Hidrelétricas. 2015.

ARAUJO, W. S.; BRITO, J. I. B. Índices de tendências de mudanças climáticas para os Estados da Bahia e Sergipe por meio de índices pluviométricos diários e sua relação com TSM do Pacífico e Atlântico. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.26, n.4, p.541–554, 2011.

ASMUS, G. F.; MELLO, A. Y. I.; SEIXAS, S. R. C.; BATISTELLA, M. Análise sociodemográfica da distribuição especial de ocorrências de diarreias agudas em áreas de risco de inundação, Caraguatatuba-SP. **Revista Vitas - Visões Transdisciplinares sobre Ambiente e Sociedade**. v. 3, n. 6, p.26, 2013.

ASSAD, E. D.; PINTO, H. S.; ZULLO JUNIOR, J.; MARIN, F. R.; PELLEGRINO, G. Q.; EVANGELISTA, S. R.; OTAVIAN, A. F. Aquecimento global e a nova geografia da produção agrícola no Brasil. Brasília, DF: **Embaixada Britânica**, 2008. v. 1, 82 p.

BACK, A.J. Aplicação de análise estatística para identificação de tendências climática. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v. 36, n. 5, p. 717-726, 2001.

BANCO MUNDIAL. **Relatório sobre o desenvolvimento mundial de 2010: desenvolvimento e mudança climática**. São Paulo: UNESP, 2010. 440 p.

BARRY, R. G.; CHORLEY, R. J. **Atmosfera, Tempo e Clima**. 9. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013. 512 p.

BECKER, F. G.; FRIES, L. C. C.; FERRER, J.; BERTACO, V. A.; AGOSTINHO, K. D. G. L.; SILVA, J. F. P.; CARDOSO, A. R.; LUCENA, Z. M. S.; LUCENA C. A. S. Fishes of the Taquari-Antas river basin (Patos Lagoon basin), southern Brazil. **Brazilian Journal of Biology**, v.73, n. 1, p. 79-90, 2013.

BLACK, T. L. The new NMC mesoscale Eta Model: Description and forecast examples. **Weather Forecasting**, v. 9, p. 265-278, 1994.

BLANC, E. The Impact of Climate Change on Crop Yields in Sub-Saharan Africa. **American Journal of Climate Change**, v.1, p.1-13, 2012.

BOMBASSORO, M.; ROBAINA, L. E. S. Contribuição Geográfica para o Estudo das Inundações na Bacia Hidrográfica do Rio Taquari-Antas, RS. Belo Horizonte, **Geografias** 06(2) p. 69-86, 2010.

BRASIL. Política Nacional do Meio Ambiente. Lei n.º 6.938 de 31 de agosto de 1981. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l6938.htm> Acesso em: 7 de abr. de 2015.

BRAVO, J. M.; COLLISCHONN, W.; SILVA, B. C.; RODRIGUEZ, D.; FAN, F. M.; QUIROZ, K.; PONTES, P. R. M.. Impactos nas aflúências das principais bacias. In: LIMA, J. W. M.; COLLISCHONN, W.; MARENGO, J. A.. **Efeitos das mudanças climáticas na geração de energia elétrica**. São Paulo: AES Tietê, 2014. 245-282 p.

BUCKERIDGE, M. S.; MORTARI, L. C.; MACHADO, M. R. Respostas fisiológicas de plantas às mudanças climáticas: alterações no balanço de carbono nas plantas podem afetar o ecossistema?. In: REGO, G. M.; NEGRELLE, R. R. B; MORELLATO,

L. P. C. (Ed.) Fenologia - Ferramenta para conservação e manejo de recursos vegetais arbóreos. Colombo, PR: Embrapa Florestas, 2007. p. 1-13.

CAMARGO, Cláudia G.; MALANDRIN, Daniela; BRAGA, Hugo; MACHADO, Ludmila. Análise de Eventos Extremos de Precipitação na Região Sul do Brasil Dados Históricos. In: XVII Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, 2011, Guarapari. Espírito Santo, 2011. p.5.

CAMILLONI, I.; BIGEGAIN, M.. Escenarios climáticos para El siglo XXI. In BARROS, V.; MENÉNDEZ, Á.; NACY, G.(Ed) El cambio climático em el rio de la Plata, Buenos Aires: CIMA/ CONICET/ UBA, 2005. p. 33-39.

CAMPOS, Catharina Ramos dos Prazeres; BARBOSA, Francisco de Assis dos Reis; SOUSA, Isabel Lopes. Cheias históricas dos principais rios Acreanos como subsídio ao projeto de sistema de alerta de cheias no Acre. In: XX Simpósio de Recursos Hídrico, 2013, Bento Gonçalves, RS. 2013. p. 17-22.

Cavalcanti, Iracema F. A.. Seasonal precipitation simulated by global and regional models and projected climate changes in Brazil. In: Simpósio Internacional de Climatologia, 2011, João Pessoa. IV-SIC anais 2011, 2011.

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**, v.3, p.512-525, 2014.

COLLISCHONN, W.; BRAVO, J. M.; SILVA, B. C.; RODRIGUES, D. A. Modelagem Hidrológica. In: LIMA, J. W. M.; COLISCHONN, W.; MARENGO J. A. (orgs). **Efeitos das mudanças climáticas na geração de energia elétrica**. São Paulo: AES Tietê, 2014. 95-143 p.

COLOMBO, Jefferson Augusto; PESSOA, Mariana Lisboa. Impacto econômico dos eventos de estiagem: evidências a partir dos municípios do Rio Grande do Sul. In: 7º Encontro de Economia Gaúcha, 2014, Porto Alegre. 2014. p.30.

CONFALONIERI, U. E. C.; CHAME, M.; NAJAR, A.; CHAVES, S A. DE M; KRUG, T; NOBRE, C; MIGUEZ, J. D. G.; CORTESÃO, J; HACON, S. Mudanças Globais e Desenvolvimento: Importância para a Saúde. **Informe Epidemiológico do SUS**. v. 11(3), p. 139-15, 2002.

DELPURO, Carlos Henrique. Protocolo de Quioto. In: FUJIHARA, M. A.; LOPES, F. G. (orgs). **Sustentabilidade e mudanças climáticas**: guia para o amanhã. São Paulo: Senac, 2009. p. 27-36.

DELWORTH, T. L.; BROCCOLI, A. J.; ROSATI, A.; STOUFFER, R. J.; BALAJI, V.; BEESLEY, J. A.; COOKE, W. F.; DIXON, K. W.; DUNNE, J.; DUNNE, K. A.; DURACHTA, J. W.; FINDELL, K. L.; GINOUX, P.; GNANADSIKAN, A.; GORDON, C. T.; GRIFFIES, S. M.; GUDGEL, R.; HARRISON, M. J.; HELD, I. M.; HEMLER, R. S.; HOROWITZ, L.W.; KLEIN, S. A.; KNUTSON, T. R.; KUSHNER, P. J.; LANGENHORST, A. R.; LEE, H. C.; LIN, S. J.; LU, J.; MALYSHEV, S. L.; MILLY, P. C. D.; RAMASWAMY, V.; RUSSELL, J.; SCHWARZFOPF, M. D.; SHEVLIAKOVA, E.; SIRUTIS, J. J.; SPELMAN, M. J.; STERN, W. F.; WINTON, M.; WITTENBERG, A. T.; WYMAN, B.; ZENG, F. ZHANG, R. GFDL's CM2 Global Coupled Climate Models. Part I: Formulation and Simulation Characteristics. **Journal of Climate** - Special Section, v. 19, p. 643-674, 2006.

DERECZYNSKI, C.; SILVA, W. L.; MARENGO, J. Detection and Projections of Climate Change in Rio de Janeiro, Brazil. **American Journal of Climate Change**, v. 2, p. 25-33, 2013.

DONAT, M. G.; AGUILAR, E.; KRUGER, A. C.; SALINGER, J.; VINCENT, L. A.; ALEXANDER, L. V.; BRUNET, M.; MARENGO, J.; ELRAYAH, A. S.; ZHAI, P.; YANG, H.; CAESAR, J.; DURRE, I.; HEWITSON, B.; PETERSON, T. C.; SEKELE, S. S.; ZHANG, X.; VOSE, R.; JACK, C.; RENOM, M.; SRIVASTAVA, A. K.; KITCHING .S.; DUNN, R. J. H.; WILLETT, K. M.; KLEIN TANK, A. M. G.; ORIA ROJAS, C.; TREWIN, B.; RUSTICUCCI, M.; VILLARROEL, C. Updated analyses of temperature and precipitation extreme indices since the beginning of the twentieth century: The HadEX2 dataset. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, v. 118, p.1–16, 2013.

FEE, Fundação de Economia e Estatística. Quantidade produzida de soja e milho. Disponível em: <<http://dados.fee.tche.br/>> Acesso em: 17 mar. 2015.

FEPAM, Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler. Qualidade das águas da bacia hidrográfica do Rio das Antas e Rio Taquari. Disponível em: <http://www.fepam.rs.gov.br/qualidade/qualidade_taquari_antas/taquariantas.asp> Acesso em: 26 jan. 2015.

FLATO, G.; MAROTZKE, J.; ABIODUN, B.; BRACONNOT, P.; CHOU, S.C.; COLLINS, W.; COX, P.; DRIOUECH, F.; EMORI, S.; EYRING, V.; FOREST, C.; GLECKLER, P.; GUILYARDI, E.; JAKOB, C.; KATTSOV, V.; REASON, C.; RUMMUKAINEN, M. Evaluation of Climate Models. In: STOCKER, T. F.; QIN, D.; PLATTNER, G. K.; TIGNOR, M.; ALLEN, S. K.; BOSCHUNG, J.; NAUELS, A.; XIA, Y.; BEX, V.; MIDGLEY, P. M. (eds.), **Climate Change 2013: 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, NY, USA. p.741-866, 2013.

FOCCHEZZATO, A.; GRANDO, M. Z. Efeitos da estiagem na economia do Rio Grande do Sul: uma abordagem multissetorial. Textos para Discussão FEE nº 62. Secretaria do Planejamento e Gestão Fundação de Economia e Estatística Siegfried Emanuel Heuser. Porto Alegre, p.21, 2009.

FORSTER, P.; RAMASWAMY, V.; ARTAXO, P.; BERNTSEN, T.; BETTS, R.; FAHEY, D. W.; HAYWOOD, J.; LEAN, J.; LOWE, D.C.; MYHRE, G.; NGANGA, J.; PRINN, R.; RAGA, G.; SCHULZ, M.; DORLAND, R. VAN. 2007: Changes in Atmospheric Constituents and in Radiative Forcing. In: SOLOMON, S.; QIN D.; MANNING, M.; CHEN, Z.; MARQUIS, M.; AVERYT, K.B.; TIGNOR M.; MILLER, H.L. (Eds.). **Climate Change 2007: The Physical Science Basis**. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. 2007, p. 129-234.

GELLENS, D.; ROULIN, E. Streamflow response of Belgian catchments to IPCC climate change scenarios. **Journal of Hydrology**, v. 210 (1-4), p. 242–258, 1998.

GHINI, R.; HAMADA, E.; BETTIOL, W. Impactos das mudanças climáticas sobre as doenças de plantas. In: GHINI, R.; HAMADA, E.; BETTIOL, W. (eds). **Impactos das mudanças climáticas sobre doenças de importantes culturas no Brasil**. Jaguariúna: EMBRAPA Meio Ambiente, 2011. p. 15-39.

GOOSSENS, C.; BERGER, A. Annual and seasonal climatic variations over the northern hemisphere and Europe during the last century. **Annales Geophysicae**, Berlin, v.4, n.4, p.385-400, 1986.

GORDON, C.; COOPER, C.; SENIOR, C. A.; BANKS, H.; GREGORY, J. M.; JOHNS, T. C.; MITCHELL, J. F. B.; WOOD, R. A. The simulation of SST, sea ice extents and ocean heat transports in a version of the Hadley Centre coupled model without flux adjustments. **Climate Dynamics**, v 16, p. 147-168, 2000.

GREINER, Claiton. **Avaliação do Referencial de Nível das Inundações da Cidade de Lajeado/RS com Relação à Régua Linimétrica do Porto de Estrela/RS**. 2014. 88 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Ambiental), Centro Universitário UNIVATES, Lajeado, 2014.

HAMADA, E.; GONÇALVES, R. R. V.; ORSINI, J. A. M.; GHINI, R. Cenários climáticos futuros para o Brasil. In: GHINI, R.; HAMADA, E. (eds). **Mudanças climáticas: impactos sobre doenças de plantas no Brasil**. Brasília: EMBRAPA Informação Tecnológica, 2008. p. 27-73.

HAMADA, E.; GHINI, R.; MARENGO, J. A.; THOMAZ, M. C. Projeções de Mudanças Climáticas para o Brasil no final do século XXI. In: GHINI, R.; HAMADA, E.; BETTIOL, W. (eds). **Impactos das mudanças climáticas sobre doenças de importantes culturas no Brasil**. Jaguariúna: EMBRAPA Meio Ambiente, 2011. p. 41-73.

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. Climate Change 2014: Synthesis Report. Core Writing Team, PACHAURI, R. K.; MEYER, Leo. (eds). Geneva: IPCC, 132 p, 2014.

JALOTA, S. K.; KAUR, H.; KAUR, S.; VASHISHT, B. B. Impact of climate change scenarios on yield, water and nitrogen-balance and use efficiency of rice-wheat cropping system. **Agricultural Water Management**, v. 116, p. 29-38, 2013.

KENDALL, M. G. **Rank Correlation Methods**. 4th ed. London: Charles Griffin, 1975.

KIKTEV, D.; SEXTON, D. M. H.; ALEXANDER, L.; FOLLAND, C. K. Comparison of Modeled and Observerd Trends in Indices of Daily Climate Extremes. **American Journal of Climate**, v. 16, p. 3560-3571, 2003.

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

LARENTIS, D. L.; COLLISCHONN, W.; TUCCI, C. E. M. Simulação da qualidade de água em grandes bacias: Rio Taquari-Antas, RS. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 13, n. 3, p. 05-22, 2008.

LARENTIS, DANTE GAMA. Modelagem matemática da qualidade da água em grandes bacias: Sistema Taquari-Antas- RS. 2004.177f. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental), Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

LEITE, J. G. D. B.; FEDERIZZI, L. C.; BERGAMASCHI, H. Mudanças climáticas e seus possíveis impactos aos sistemas agrícolas no Sul do Brasil. **Ciências Agrárias**, v. 7, n. 2, p. 337-343, 2012.

LIMA, J. W. M. Introdução. In: LIMA, J. W. M.; COLLISCHONN, W.; MARENGO, J. A. **Efeitos das mudanças climáticas na geração de energia elétrica**. São Paulo: AES Tietê, 2014. 15-19 p.

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

MANN, H. B. Non-parametric test against trend. **Econometrica**, v.13, p.245-259, 1945.

MARENGO, J. A.; ALVES, L. M.; TORRES, R. R.; CHAN, C. S.; LYRA, A. Bases para modelagem de mudanças climáticas. In: LIMA, J. W. M.; COLISCHONN, W.; MARENGO J. A. (orgs). **Efeitos das mudanças climáticas na geração de energia elétrica**. São Paulo: AES Tietê, 2014. 23-64 p.

MARENGO, J. A.; ALVES, L.; VALVERDE, M.; ROCHA, R.; LABORBE, R. **Eventos extremos em cenários regionalizados de clima no Brasil e América do sul para o Século XXI**: projeções de clima futuro usando três modelos regionais. Relatório 5, Ministério do Meio Ambiente – MMA, Secretaria de Biodiversidade e Florestas – SBR, Diretoria de Conservação da Biodiversidade – CDBio Mudanças do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do século XXI. Brasília, 2007. 77p.

MARENGO, J. A.; SCHAEFFER, R.; PINTO, H. S.; ZEE, D. M. W. **Mudanças climáticas e eventos extremos no Brasil**. Rio de Janeiro: FBDS, 2009. 76 p.

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

MELO, T. M.; LOUZADA, J. A. S.; PEDROLLO, O. C. Impacts of Climate Change on Soybean Irrigation Water Requirements in Northwest Region of Rio Grande do Sul, Brazil. **Irrigation Drainage Systems Engineering**, v. 3, p. 13, 2014.

MELO, T. M.; LOUZADA, J. A. S.; PEDROLLO, O. C. Trends in extreme precipitation indices and seasonal analysis of precipitation and temperature for detecting climate change in the Northwest Region of Rio Grande do Sul, Brazil. **American Journal of Climate Change**, v.4, p.184-202, 2015.

MELO, Tirzah Moreira. **Avaliação estocástica dos impactos das mudanças climáticas sobre a agricultura na região noroeste do Estado Rio Grande do Sul**.

2013. 94f. Exame de Qualificação (Doutorado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental), Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013.

MESINGER, F.; Z. I. JANJIC. Noise due to time-dependent boundary conditions in limited area models. The GARP Programme on Numerical Experimentation, Rep. N°. 4, WMO, Geneva, p. 31-32, 1974.

MORAES, J. M.; PELLEGRINO, G.; BALLESTER, M. V.; MARTINELLI, L. A.; VICTORIA, R. L. Estudo preliminar da evolução temporal dos componentes do ciclo Hidrológico da bacia do Rio Piracicaba. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 11.; SIMPÓSIO DE HIDRÁULICA E RECURSOS HÍDRICOS DOS PAÍSES DE LÍNGUA OFICIAL PORTUGUESA, 2., 1995, Recife. Anais...Recife : Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 1995. p. 27-32.

MURUMKAR, A. R.; ARYA, D. S. Trend and Periodicity Analysis in Rainfall Pattern of Nira Basin, Central India. **American Journal of Climate Change**, v.3, p. 60-70, 2014.

NAKICENOVIC, N.; ALCAMO, J.; DAVIS, G.; DE VRIES, B.; FENHANN, J.; GAFFIN, S.; GREGORY, K.; GRUBLER, A.; JUNG, TY.; LA ROVERE, EL.; MICHAELIS, L.; MORI, S.; MORITA, T.; PEPPER, W.; PITCHER, H.; PRICE, L.; RIAHI, K.; ROEHL, A.; ROGNER, HH.;SANKOVSKI, A.; SCHLESINGER, M.; SHUKLA, P.; SMITH, S.; SWART, R.; VAN ROOOIJEN, S.; VICTOR, N.; DADI, Z. Special report on emissions scenarios, **Cambridge University Press**, UK. p. 608, 2000.

NEDEL, A.; SAUSEN, 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.

NEDEL, A.; SAUSEN, T.; SAITO, S. Zoneamento dos desastres naturais ocorridos no estado do Rio Grande do Sul no período 2003-2009 – Parte I: Seca. In: XVI Congresso Brasileiro de Meteorologia, Belém, PA. Anais do XVI Congresso Brasileiro de Meteorologia. Belém. PA: SBMET. p. 1-5, 2010.

PAGEL, S. M.; FERRARO, L. W.; SEGALLA, M. D. D.; DICKI, I. R.; LEITE, E. H.; JUNQUEIRA, I. C.; COBALCHINI, M. S.. Diagnóstico Ambiental da Bacia do Taquari-Antas/RS. Disponível em:<<http://www.fepam.rs.gov.br/biblioteca/Taquari-Antas/pag1.html>> Acesso em: 20 de maio de 2015.

PANDA, D. K.; MISHRA, A.; KUMAR, A.; MANDAL, K. G.; THAKUR, A. K.; SRIVASTAVA, R. C. Spatiotemporal patterns in the mean and extreme temperature indices of India, 1971–2005. **International Journal of Climatology**. v. 34, p. 3585–3603, 2014.

PBMC: Contribuição do Grupo de Trabalho 1 ao Primeiro Relatório de Avaliação Nacional do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas. Sumário executivo GT1. PBMC, RJ, Brasil, 24p. 2013.

PELLEGRINO, G. Q.; ASSAD, E. D.; MARIN, F. R. Mudanças Climáticas Globais e a Agricultura no Brasil. **Revista Multiciência**. v. 8, p. 139-162, 2007.

PITA, Rodolfo Fernandes Queiroga. **Influências das Mudanças Climáticas no Cálculo da Evapotranspiração no Semi-Árido da Paraíba**. 2011.48 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Civil), Recursos Hídricos, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2011.

RODRIGUES, Andriago. **Estatística Espacial e Análise de Cluster em dados de desastres naturais**: Mapeamento das estiagens e inundações no Rio Grande do Sul ente 2003 e 2009. 2011. 77f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Estatística), Instituto de Matemática, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

ROECKNER, E.; BÄUML, G.; BONAVENTURA, L.; BROKOPF, R.; ESCH, M.; GIORGETTA, M.; HAGEMANN, S.; KIRCHNER, I.; KORNBLUEH, L.; MANZINI, E.; RHODIN, A.; SCHLESE, U.; SCHULZWEIDA, U.; TOMPKINS, A. The atmospheric general circulation model ECHAM5. Part I: Model Description. Report N°. 349. Hamburg: Max Planck Institute for Meteorology, p.140, 2003.

ROECKNER, E.; BROKOPF, R.; ESCH, M.; GIORGETTA, M.; HAGEMANN, S.; KORNBLUEH, L.; MANZINI, E.; SCHLESE, U.; SCHULZWEIDA, U. The atmospheric

general circulation model ECHAM5. Part II: Sensitivity of Simulated Climate to Horizontal and Vertical Resolution. Report N°. 354. Hamburg: Max Planck Institute for Meteorology, p.64, 2004.

SAITO, S. M.; SAUSEN, T. M.; LACRUZ, M. S. P.; MADRUGRA, R.; JUNIOR, E. R.L. Avaliação dos desastres naturais ocorridos no Rio Grande do Sul em 2008. Anais do XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2011, Curitiba, PR. 2011, INPE p.4828- 4834.

SAMPAIO, G. Projeções climáticas para o Brasil no século XXI: impactos na precipitação, temperatura e distribuição de biomas. **Cadernos Temáticos**. Rio de Janeiro. 2013. 19 p.

SÁNCHEZ, L. E. Conceitos e definições. In: **Avaliação de impacto ambiental**. Ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2008. p. 17-42.

SANTOS, C. A. C.; BRITO, J. I. B.; RAO, T. V. R.; MENEZES, H. E. A. Tendências dos Índices de Precipitação no Estado do Ceará. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 24, n. 1, p. 39-47, 2009.

SANTOS, D. C.; MEDEIROS, R. M.; CORREIA, D. S.; OLIVEIRA, V. G.; BRITO, J. I. B. Variabilidade de índices de precipitação e temperatura na Amazônia ocidental. In: I CONICBIO, II CONABIO, VI SIMCBIO, 2013, Recife, PE. v. 2, p.12, 2013.

SEMA. Secretaria de Meio Ambiente - Relatório Anual sobre a Situação dos Recursos Hídricos no Estado do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2012. 169 p.

SIMONI, Walter Figueiredo. Mudança do Clima. In: FUJIHARA, M. A.; LOPES, F. G. (orgs). **Sustentabilidade e mudanças climáticas: guia para o amanhã**. São Paulo: Senac, 2009. p. 21-26.

SOUSA JUNIOR, M. A.; LACRUZ, M. S. P.; SAUSEN, T. M.; COSTA, L. F. F.; PEREIRO, R. S. Estiagem na região sul do Brasil – Caracterização por meio de imagens EVI-MODIS. In: Congresso Brasileiro sobre Desastres Naturais, 2012, Rio Claro, SP. p. 10, 2012.

STAMM, Cristiano. **Determinação do movimento de trabalhadores pendulares na aglomeração urbana do nordeste do Rio Grande do Sul**: Uma análise a partir dos transportes coletivos. 2013. 279 f. Tese (Doutorado em Planejamento Urbano e Regional), Faculdade de Arquitetura, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013.

STONE, D. A.; KNUTTI, R. Weather and Climate. In: FUNG, F.; LOPES, A.; NEW, M. (eds). **Modelling the Impact of climate change on Water Resources**. Wiley-Blackwell, 2011. p.4-33.

Teutschbein, C.; Seibert, J. Bias correction of regional climate model simulations for hydrological climate-change impact studies: Review and evaluation of different methods. **Journal of Hydrology**. 456–457, p. 12-29, 2012.

TORRES, R. R.; MARENGO, J. A. Uncertainty assessments of climate change projections over South America. **Theoretical and Applied Climatology**, v.112, p. 253-272, 2013.

TUCCI, C. E. M. Impacto da variabilidade climática e uso do solo sobre os recursos hídricos. **Câmara Temática sobre Recursos Hídricos**. 150p. 2002.

VALVERDE, M. C.; MARENGO, J. A. Extreme Rainfall Indices in the Hydrographic Basins of Brazil. **Open Journal of Modern Hydrology**, v. 4, p. 10-26, 2014.

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

VERTEINSTEIN, M.; CRAIG, T.; HENDERSON, T.; MURPHY, S.; CARR JR, G. R.; NORTON, N. CCSM3.0 User's Guide. **Community Climate System Model National**. Center for Atmospheric Research, Boulder, CO, 2004.70 p.

VINCENT, L. A.; PETERSON, T. C.; BARROS, V. R.; MARINO, M. B.; RUSTICUCCI, M.; CARRASCO, G.; RAMIREZ, E.; ALVES, L. M.; AMBRIZZI, T.; BERLATO, M. A.; GRIMM, A. M.; MARENGO, J. A.; MOLION, L.; MONCUNILL, D. F.; REBELLO, E.;

ANUNCIACÃO, Y. M. T.; QUINTANA, J.; SANTOS, J. L.; BAEZ, J.; CORONEL, G.; GARCIA, J.; TREBEJO, I.; BIDEGAIN, M.; HAYLOCK, M. R.; KAROLY, D. Observed Trends in Indices of Daily Temperature Extremes in South America 1960-2000. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 18, p. 5011-5023, 2005.

YUKIMOTO, S.; NODA, A.; KITOH, A.; SUGI, M.; KITAMURA, Y.; HOSAKA, M.; SHIBATA, K.; MAEDA, S.; UCHIYAMA, T. The New Meteorological Research Institute Coupled GCM (MRI-CGCM2). Model Climate and Variability. **Meteorological Research Institute**, Tsukuba, Ibaraki, 2001.

ZWIERS, F. W.; ALEXANDER, L. V.; HEGERL, G. C.; KNUTSON, T. R.; KOSSIN, J. P.; NAVEAU, P.; NICHOLLS, N.; SCHÄR, C.; SENEVIRATNE, S. I.; ZHANG, X. Climate Extremes: Challenges in Estimating and Understanding Recent Changes in the Frequency and Intensity of Extreme Climate and Weather Events. Asrar, G. R.; Hurrell, J.W. (eds.). **Climate Science for Serving Society**, p.339-389, 2013. DOI 10.1007/978-94-007-6692-1_13

APÊNDICES

Apêndice A - Gráficos de projeções de temperatura e precipitação acumulada dos MCGs e MCRs para os postos de estudo.

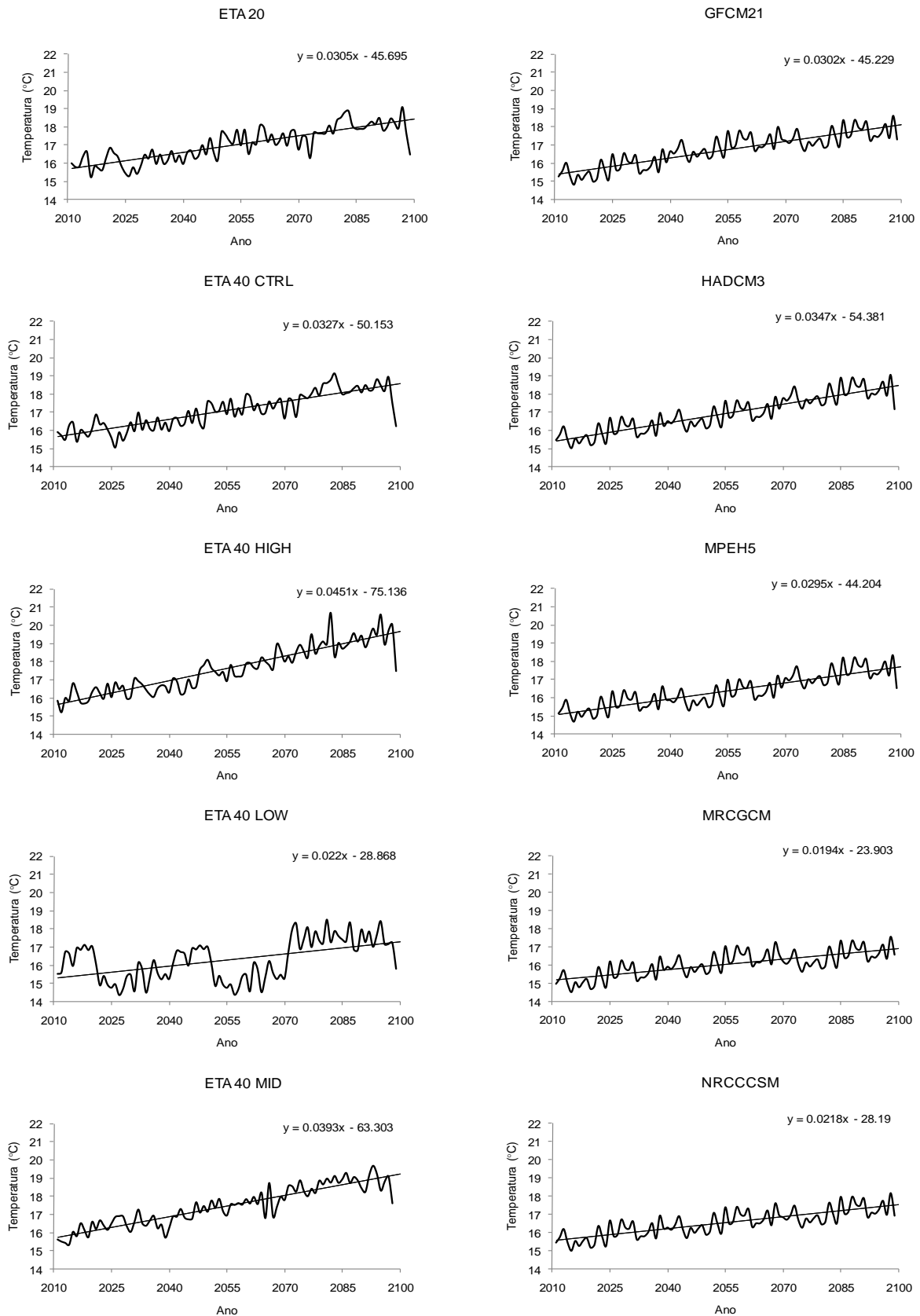


Figura A.1. Temperatura projetada por diferentes modelos para o período de 2011-2100 no Posto 1.

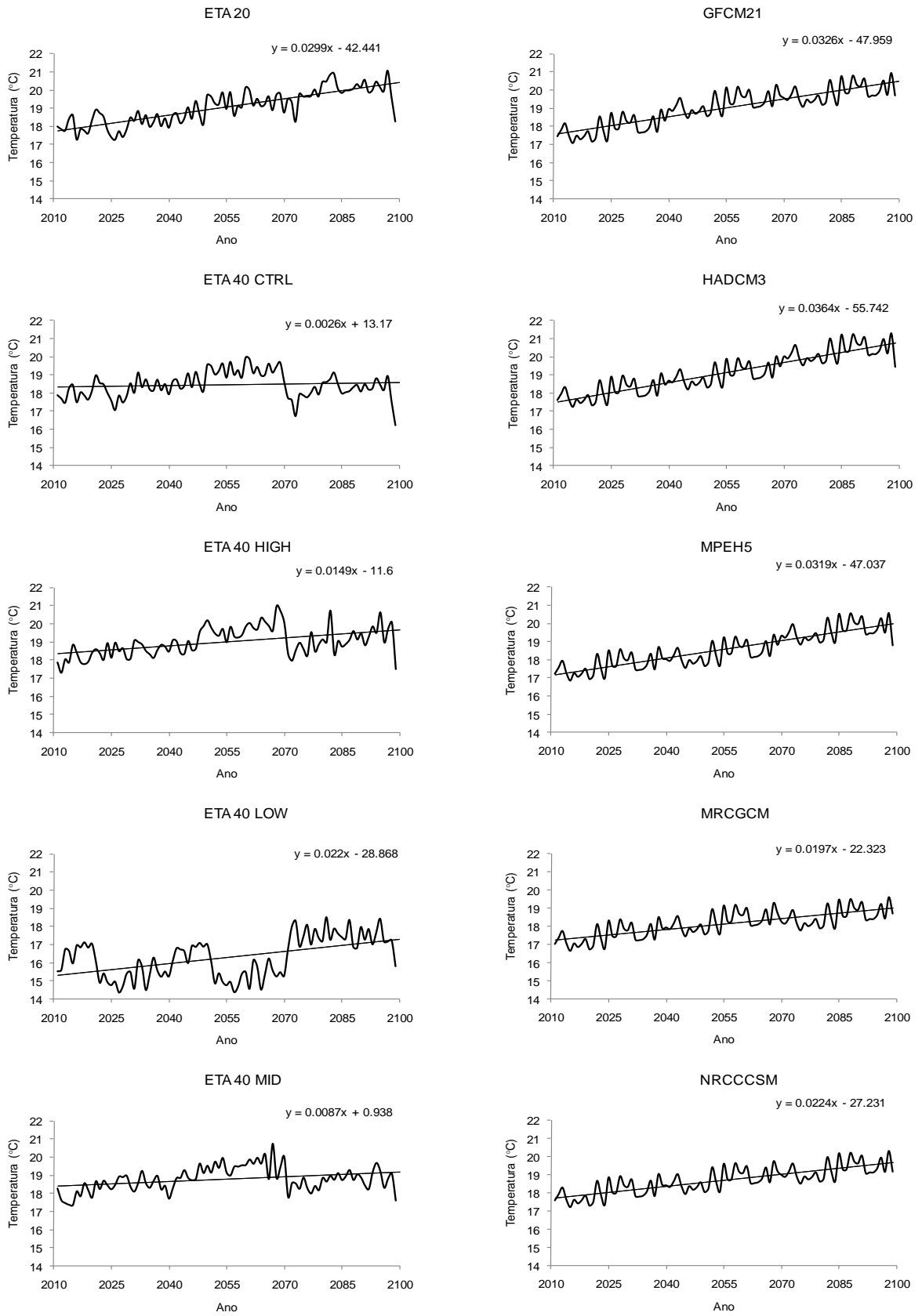


Figura A.2. Temperatura projetada por diferentes modelos para o período de 2011-2100 no Posto 2.

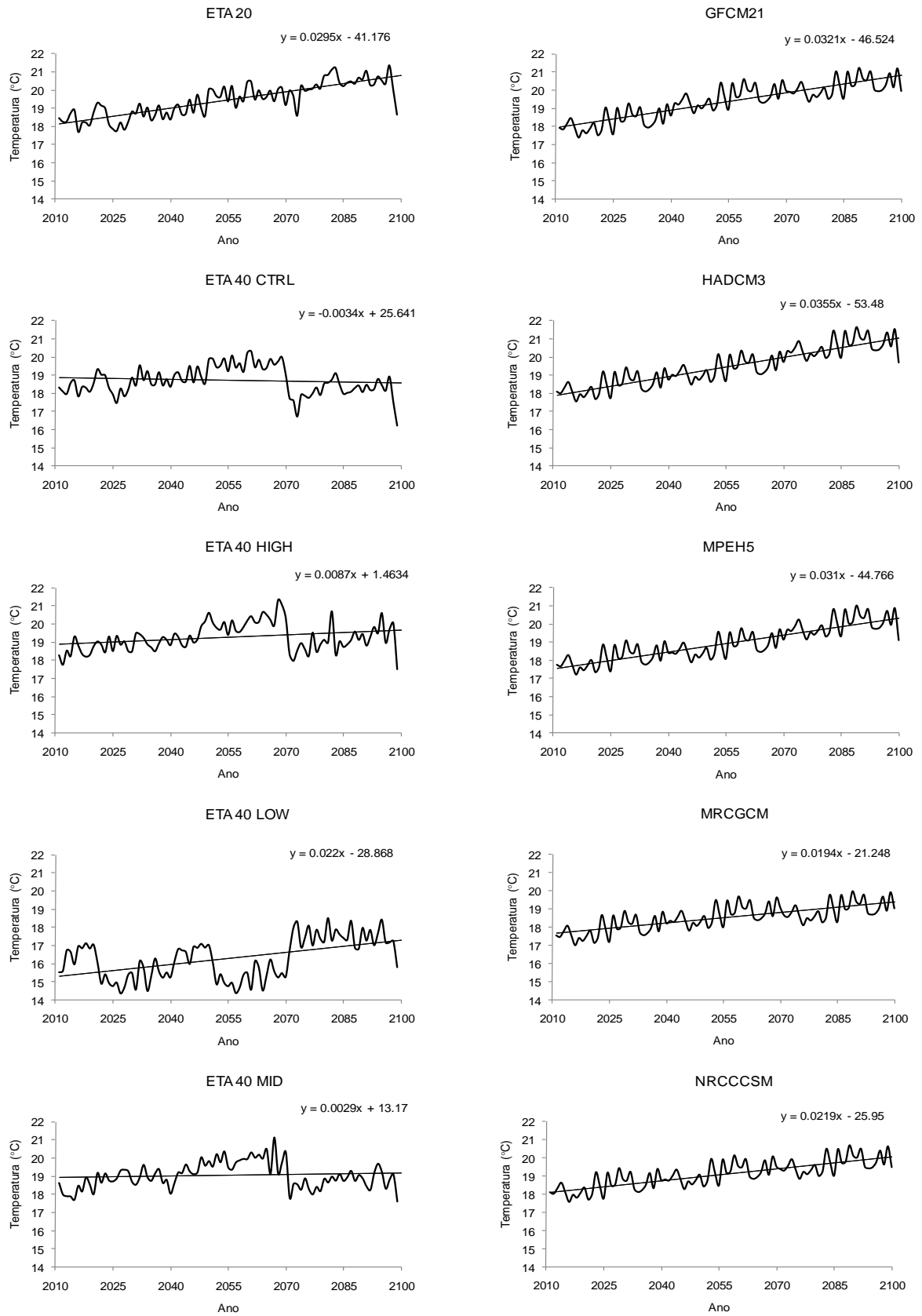


Figura A.3. Temperatura projetada por diferentes modelos para o período de 2011-2100 no Posto 3.

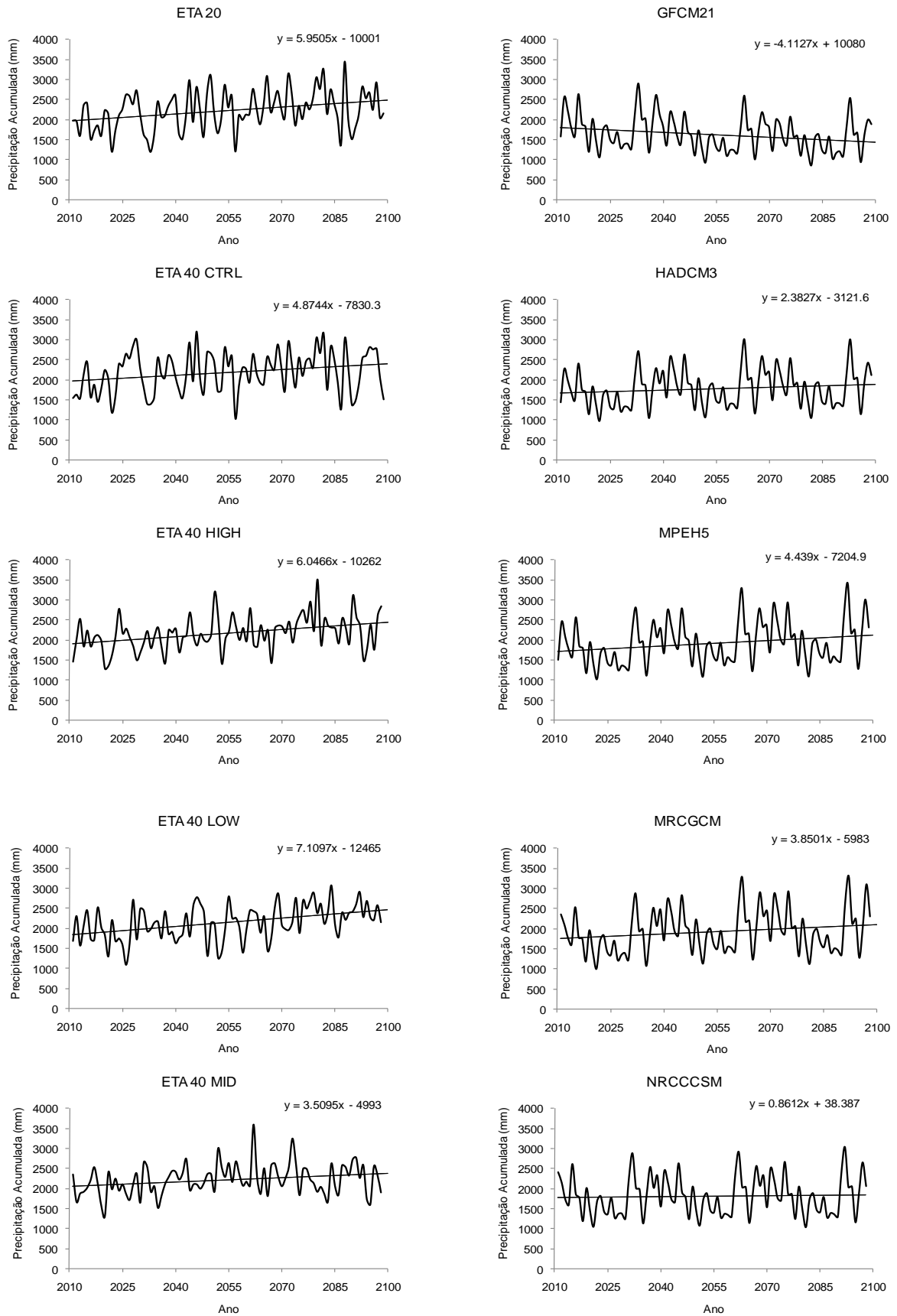


Figura A.4. Precipitação acumulada projetada por diferentes modelos para o período de 2011-2100 no Posto 1.

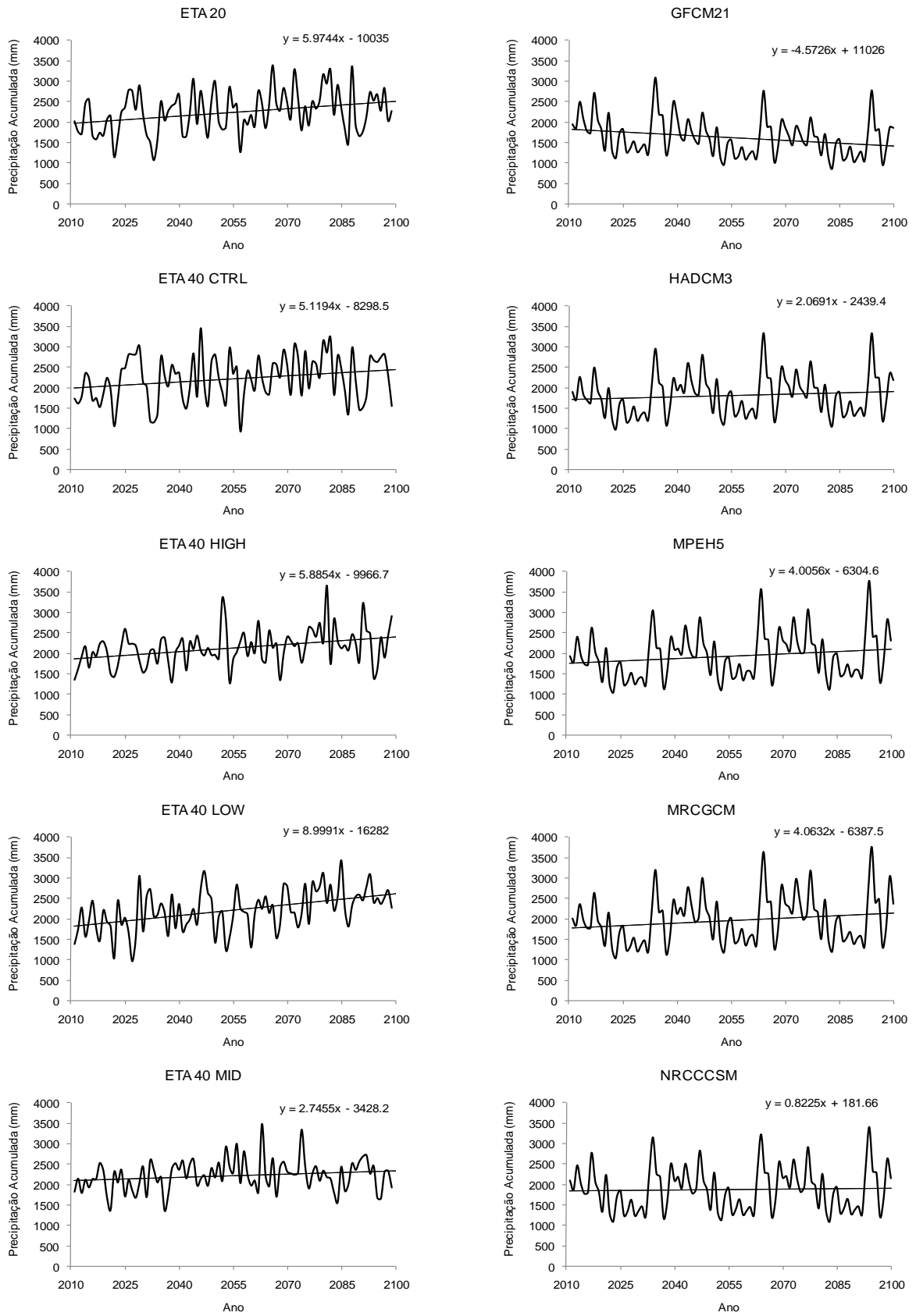


Figura A.5. Precipitação acumulada projetada por diferentes modelos para o período de 2011-2100 no Posto 2.

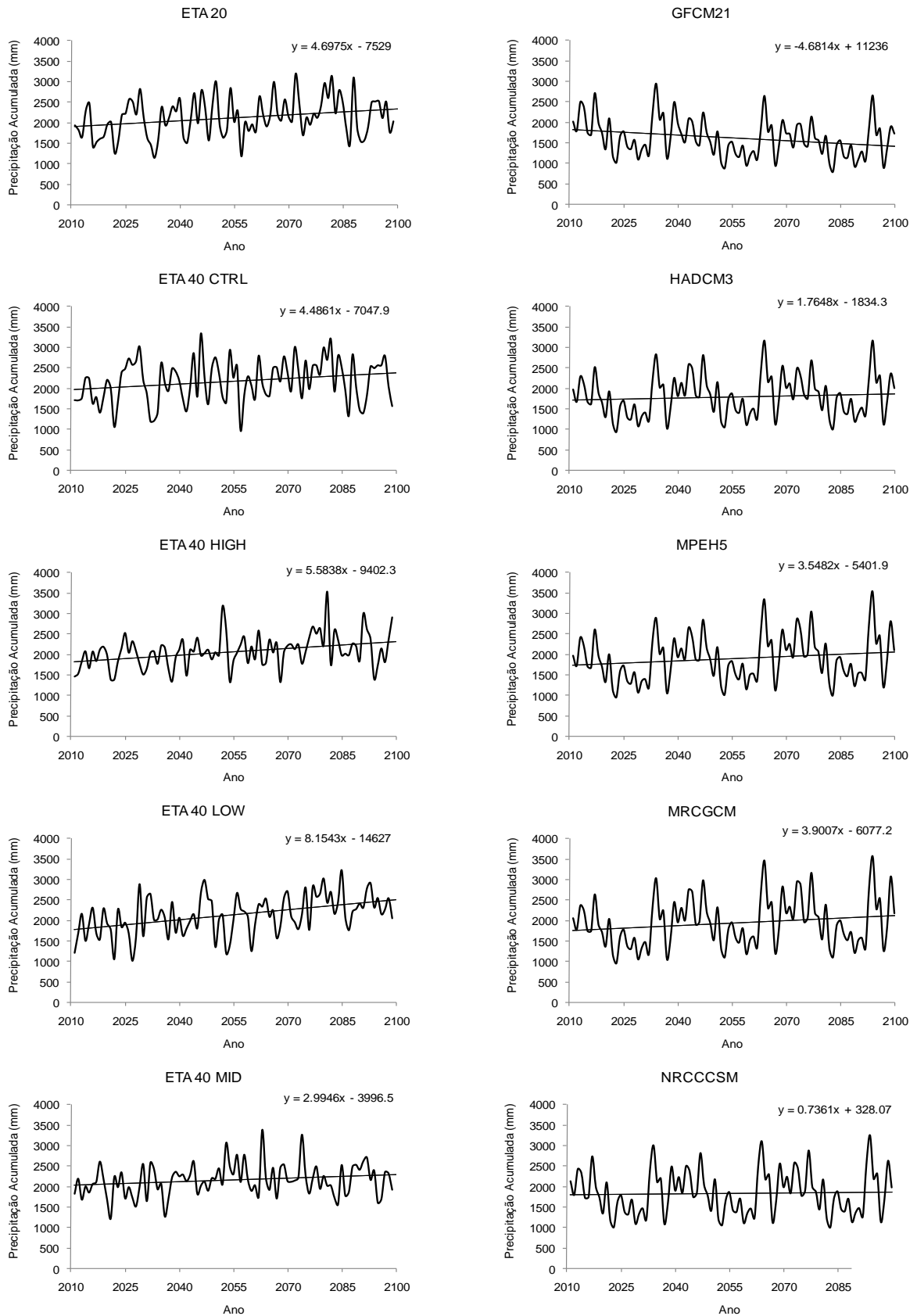


Figura A.6. Precipitação acumulada projetada por diferentes modelos para o período de 2011-2100 no Posto 3.

Apêndice B - Tabela de índices extremos de precipitação por modelos utilizados a cada posto de estudo.

Tabela B1(*continua*). Índices extremos de precipitação.

Modelo	Índice	Posto 1				Posto 2				Posto 3			
		Atual	2025s	2055s	2085s	Atual	2025s	2055s	2085s	Atual	2025s	2055s	2085s
ETA 20	R95 p	727	832	908	918	729	854	936	936	746	837	898	902
	R99 p	248	269	295	300	250	286	308	310	257	282	296	292
	PRCPTOT	1673	2032	2251	2385	1701	2052	2269	2400	1674	1970	2137	2260
	R30	14	20	24	25	14	20	24	24	15	19	22	23
	RX1	80	82	93	90	82	89	94	97	83	90	93	89
	RX5	156	164	186	204	157	171	192	204	156	166	176	191
	CDD	18	16	18	18	17	16	18	19	17	17	18	18
	CWD	8	8	8	9	8	9	9	9	8	9	8	8
	SDII	10	13	15	15	11	14	16	16	12	14	16	16
ETA 40 CTRL	R95 p	723	826	867	886	724	854	872	915	739	844	884	912
	R99 p	244	265	280	281	246	279	292	289	254	276	293	296
	PRCPTOT	1673	2029	2208	2304	1701	2061	2220	2363	1674	2017	2182	2297
	R30	14	20	22	24	14	20	22	24	15	21	22	24
	RX1	78	80	84	86	79	85	92	89	82	85	88	93
	RX5	151	172	179	184	156	175	175	190	153	170	175	192
	CDD	17	16	20	19	17	16	18	19	18	17	19	19
	CWD	8	8	9	9	9	9	8	9	9	9	9	9
	SDII	10	13	13	13	11	13	14	14	12	14	15	15
ETA 40 HIGH	R95 p	738	792	874	942	746	794	880	936	760	799	881	935
	R99 p	248	254	283	306	254	264	286	304	260	267	288	300
	PRCPTOT	1673	1931	2152	2359	1701	1925	2122	2318	1674	1876	2066	2256

Tabela B1 (continuação). Índices extremos de precipitação.

Modelo	Índice	Posto 1				Posto 2				Posto 3			
		Atual	2025s	2055s	2085s	Atual	2025s	2055s	2085s	Atual	2025s	2055s	2085s
ETA 40 LOW	R30	14	19	23	26	14	17	20	24	15	17	21	24
	RX1	80	80	87	94	82	83	87	93	84	86	89	90
	RX5	144	162	174	198	146	159	179	189	146	160	172	186
	CDD	16	16	18	18	16	16	18	18	16	18	19	18
	CWD	8	8	8	9	8	9	9	9	8	8	8	9
	SDII	10	12	13	14	11	12	13	15	12	13	14	15
	R95 p	727	794	833	890	728	805	859	940	744	799	855	914
	R99 p	250	264	264	286	247	266	272	310	258	266	268	294
	PRCPTOT	1673	1925	2083	2376	1701	1967	2154	2495	1674	1902	2090	2386
	R30	14	17	21	24	14	18	22	25	15	18	22	24
	RX1	81	83	81	86	81	81	83	94	85	85	83	91
	RX5	143	173	165	175	144	168	174	186	153	167	163	176
	CDD	18	17	17	15	17	16	16	14	19	18	17	16
	CWD	8	8	8	8	8	8	8	10	8	8	7	8
SDII	10	12	13	14	11	13	14	15	12	13	15	16	
R95 p	732	816	918	920	733	825	929	923	750	830	927	927	
R99 p	249	264	299	303	251	276	300	308	258	277	307	309	
PRCPTOT	1671	2021	2333	2260	1694	2049	2334	2234	1669	1994	2273	2186	
ETA 40 MID	R30	14	19	24	23	14	18	24	22	15	18	23	23
	RX1	79	82	93	96	81	87	96	95	86	86	96	97
	RX5	148	164	196	196	138	168	198	190	148	166	196	192
	CDD	19	17	17	18	18	16	17	19	19	17	17	19
	CWD	8	8	10	9	8	9	10	9	7	8	9	8
	SDII	10	13	14	14	11	13	15	15	12	14	15	15
GFCM21	R95 p	723	787	689	660	724	787	676	651	739	805	695	672

Tabela B1 (continuação). Índices extremos de precipitação.

Modelo	Índice	Posto 1				Posto 2				Posto 3			
		Atual	2025s	2055s	2085s	Atual	2025s	2055s	2085s	Atual	2025s	2055s	2085s
HADCM3	R99 p	244	271	235	222	246	276	233	220	254	284	241	231
	PRCPTOT	1673	1800	1570	1505	1701	1801	1548	1496	1674	1783	1535	1490
	R30	14	16	13	11	14	16	11	11	15	16	12	11
	RX1	78	87	75	69	79	90	75	71	82	93	80	75
	RX5	151	168	143	138	156	172	144	137	153	167	142	137
	CDD	17	17	18	17	17	17	17	17	18	18	18	18
	CWD	8	8	8	8	9	9	9	9	9	9	8	8
	SDII	10	11	10	9	11	12	10	10	12	12	11	10
	R95 p	723	722	793	786	724	723	808	791	739	741	826	814
	R99 p	244	244	270	266	246	245	277	267	254	256	286	280
	PRCPTOT	1673	1667	1827	1813	1701	1692	1872	1844	1674	1676	1851	1825
	R30	14	14	17	17	14	14	17	16	15	15	18	17
	RX1	78	79	88	86	79	79	91	88	82	84	94	92
	RX5	151	151	165	158	156	155	173	164	153	156	170	165
	CDD	17	17	17	17	17	17	17	17	18	18	17	17
CWD	8	8	8	8	9	9	9	9	9	9	9	9	
SDII	10	10	11	11	11	11	12	12	12	12	13	13	
MPEH5	R95 p	723	763	857	900	724	757	841	889	739	773	853	907
	R99 p	244	262	293	310	246	260	287	305	254	270	296	314
	PRCPTOT	1673	1750	1954	2028	1701	1761	1953	2041	1674	1735	1908	2003
	R30	14	15	19	20	14	15	18	20	15	16	19	21
	RX1	78	84	94	100	79	84	92	97	82	88	97	103
	RX5	151	161	178	186	156	162	179	191	153	158	178	191
	CDD	17	17	17	17	17	17	17	17	18	18	17	17

Tabela B1 (continuação). Índices extremos de precipitação.

Modelo	Índice	Posto 1				Posto 2				Posto 3			
		Atual	2025s	2055s	2085s	Atual	2025s	2055s	2085s	Atual	2025s	2055s	2085s
MRCGCM	CWD	8	8	8	8	9	9	9	9	9	9	8	8
	SDII	10	11	12	12	11	11	13	13	12	12	13	14
	R95 p	723	761	872	891	724	764	871	913	739	782	892	940
	R99 p	244	258	296	311	246	262	300	322	254	272	312	336
	PRCPTOT	1673	1754	1991	2006	1701	1778	2015	2069	1674	1753	1990	2051
	R30	14	16	19	20	14	15	19	20	15	16	20	21
	RX1	78	82	94	100	79	84	96	105	82	87	101	108
	RX5	151	156	185	195	156	163	190	206	153	159	189	203
	CDD	17	17	17	17	17	17	16	16	18	18	17	17
	CWD	8	8	8	8	9	9	9	9	9	9	9	9
	SDII	10	11	12	12	11	12	13	13	12	12	14	14
	NRCCCSM	R95 p	723	775	787	797	724	786	804	819	739	795	821
R99 p		244	265	268	273	246	271	276	280	254	277	285	286
PRCPTOT		1673	1775	1804	1824	1701	1822	1864	1899	1674	1785	1841	1869
R30		14	15	16	17	14	16	17	18	15	17	18	18
RX1		78	87	87	88	79	89	91	92	82	92	95	94
RX5		151	171	172	174	156	175	177	181	153	169	174	176
CDD		17	17	17	17	17	17	17	17	18	17	17	17
CWD		8	8	8	8	9	9	9	9	9	9	9	9
SDII	10	11	11	11	11	12	12	12	12	12	13	13	