



Projeções de temperatura e precipitação na Bacia do Rio Taquari-Antas/RS

BORK, C. K.¹; SIQUEIRA, T. M.²; ADAM, K. N.³; CASTRO, A. S.⁴; LEANDRO, D.⁵; CORRÊA, L. B.⁶

¹Universidade Federal de Pelotas – Centro de Desenvolvimento Tecnológico/CDTec, Rua Gomes Carneiro, 01 – Centro – Campus Porto – CEP 96010-610 – Pelotas/RS, Mestranda em Recursos Hídricos - borkcarina@gmail.com

²Universidade Federal de Pelotas – Centro de Engenharias/CEng, Rua Benjamin Constant, 989 – Sala 203 - Centro – CEP 96010-020 – Pelotas/RS, Professora Universidade Federal de Pelotas – Doutora em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental - tirzahmelo@hotmail.com

³Universidade Feevale – Instituto de Ciências Exatas e Tecnológicas, Rodovia RS 239, 2755 - Vila Nova - CEP 93525-075– Novo Hamburgo/RS, Professora Universidade Feevale – Doutora em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental - katiuciapinto@yahoo.com.br

⁴Universidade Federal de Pelotas – Centro de Engenharias/CEng, Rua Benjamin Constant, 989 – Sala 203 - Centro – CEP 96010-020 – Pelotas/RS, Professora Universidade Federal de Pelotas – Doutora em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental - andreascastro@gmail.com

⁵Universidade Federal de Pelotas – Centro de Engenharias/CEng, Rua Benjamin Constant, 989 – Sala 102 - Centro – CEP 96010-020 – Pelotas/RS, Professora Universidade Federal de Pelotas – Doutora em Ciências Geodésicas - diuliana.leandro@gmail.com

⁶Universidade Federal de Pelotas – Centro de Engenharias/CEng, Rua Benjamin Constant, 989 – Sala 200 - Centro – CEP 96010-020 – Pelotas/RS, Professora Universidade Federal de Pelotas – Doutora em Educação Ambiental - luciarabc@gmail.com

Palavras-chave: mudanças climáticas, modelos climáticos, sazonalidade

Resumo

O impacto das mudanças climáticas sobre a precipitação e a temperatura média pode alterar consideravelmente a disponibilidade de recursos ambientais, principalmente para países em desenvolvimento. A região da Bacia do Rio Taquari-Antas é economicamente importante para o Estado do Rio Grande do Sul. Por isso, o objetivo deste trabalho foi detectar alterações nos padrões de precipitação e temperatura nessa bacia, comparando dados considerados de referência com os futuros. Foram utilizados os dados das projeções de precipitação e temperatura para 3 pontos na bacia, referentes aos períodos de 1961-1990 e 2011-2100 gerados por modelos de circulação global e modelos de circulação regional, para o cenário climático A1B. As projeções indicaram um aumento de temperatura média anual de aproximadamente 3°C até o final do século, bem como um aumento expressivo na precipitação anual acumulada. Os ciclos mensais de precipitação e temperatura demonstraram que os meses das culturas de verão serão menos afetados pelo aumento dessas variáveis, porém os possíveis extremos aparecerão no início dos cultivos, devido ao aumento de precipitação nos meses de outubro e novembro.

Temperature and precipitation projections in the Taquari-Antas River basin/RS

Keywords: climate change, climate models, seasonality

Abstract

The impact of climate change on precipitation and temperature might greatly alter the availability of natural resources, especially in developing countries as Brazil. The Taquari-Antas River Basin region 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 precipitation and temperature patterns in this region, comparing

current data with those estimated by predictive models. Data of precipitation and temperature from three points at Taquari-Antas River Basin were used, for the periods of 1961-1990 and those generated by global circulation models and regional circulation models for the period 2011-2100, based on A1B climatic scenario. Data from projections have indicated an increase in the annual average temperature 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 precipitation and temperature shows that summer-growing crops will be less affected by increased temperature, although eventual extremes might occur at the initial growth stage in October and November.

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).

Os gases de efeito estufa (GEE) são capazes 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 desencadear um processo de mudança climática, baseado principalmente, na intensificação do efeito estufa, o qual aumenta o calor retido na superfície do planeta.

O estado do Rio Grande do Sul tem 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; 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

na produção agrícola, influenciando também os demais setores da economia. Além disso, a população das cidades do entorno dos rios também sofre danos materiais causados por eventos extremos, como as enchentes e os períodos secos.

Bombassaro; 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) destaca que os municípios integrantes da Bacia do Rio Taquari-Antas estão enfrentando, em curtos períodos de tempo, impactos decorrentes, tanto de inundações como de estiagens.

Os 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; KNUTTI, 2011).

Assim, objetivou-se 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). Esta comparação foi realizada por meio do cálculo de anomalias do período futuro com relação ao clima no período de referência compreendido entre 1961 a 1990, bem como por meio da análise sazonal destas variáveis.

MATERIAL E MÉTODOS

Caracterização da área de estudo

A Bacia do Rio Taquari-Antas 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 km². A bacia abrange no total, ou parcialmente, 118 municípios (SEMA, 2012).

A bacia em questão 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).

A nascente do rio Taquari-Antas localiza-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 observou que os regimes de precipitação ao longo do ano são bem distribuídos. Possui gradiente decrescente dos valores médios anuais de precipitação no sentido de montante para jusante, apresentando uma média anual acumulada em torno de 1700 mm.

O clima predominante é o subtropical úmido, com duas variedades principais, segundo classificação climática de Köppen: Cfa refere-se ao clima temperado, com verão mais ameno, não atingindo 22°C de temperatura no mês mais quente, em regiões com altitudes inferiores a 600 m e Cfb 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 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.

Dados meteorológicos e modelos climáticos

Os dados meteorológicos do Quarto Relatório de Avaliação (AR4) emitido pelo Painel

Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2007) utilizados são baseados no cenário socioeconômico A1B do Relatório Especial sobre Cenários de Emissões (SRES). Segundo Hamada et al. (2011), o cenário A1B destaca-se por um crescimento populacional, porém com uso de tecnologias mais limpas e menor consumo dos combustíveis fósseis.

Na Figura 1 e na Tabela 1 estão indicadas as localizações dos pontos considerados, para os quais existem séries temporais diárias de dados meteorológicos gerados para o período de 2011-2100, bem como para o período de referência 1961-1990.

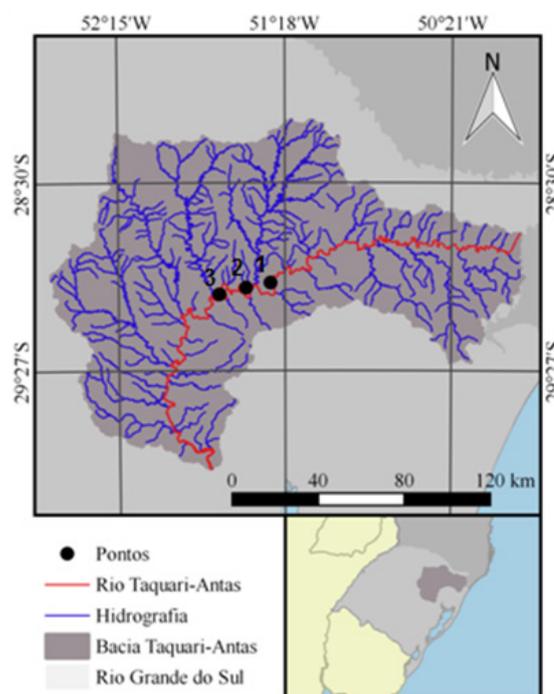


Figura 1. Mapa da Bacia do rio Taquari-Antas, com os respectivos pontos de estudo

Tabela 1. Coordenadas geográficas longitude e latitude, e a altitude dos pontos considerados

Ponto	Longitude (°)	Latitude (°)	Altitude (m)
1	-51,38	-29,01	221
2	-51,52	-29,03	175
3	-51,68	-29,06	102

Os modelos de circulação global (MCG) que originaram os dados meteorológicos estão apresentados na Tabela 2 e foram selecionados de acordo com a metodologia proposta por Cavalcanti (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: (a) aderência da simulação 1980-2000, com a climatologia de chuvas do Brasil; (b) uso de soluções numéricas diferentes, como volumes finitos e grades ajustáveis; e (c) uso de alta resolução espacial nos submodelos oceânicos e atmosféricos.

Tabela 2. Modelos de Circulação Global utilizados

Modelos AR4	Sigla	País
CCSM3	NRCCCSM	Estados Unidos
ECHAM5/MPI-OM	MPEH5	Alemanha
GFDL-CM 2.1	GFCM21	Estados Unidos
MRI-CGCM 2.3.2	MRCGCM	Japão
UKMO-HadCM3	HADCM3	Estados Unidos

Fonte: Adaptado de Flato et al. [2013].

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; 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 foram considerados neste trabalho - Ctrl, Low, Mid e High - representando a sensibilidade climática, ou seja, as variações de baixa, média e alta alteração dos parâmetros utilizados por esse modelo até o final do século XXI. As resoluções horizontais consideradas pelo modelo ETA foram de 20 e 40 km, gerando mais 5 projeções de mesoescala (regional) a serem utilizadas: ETA 40 - CTRL; ETA 40 - LOW; ETA 40 - MID; ETA 40 - HIGH e ETA 20 - CTRL.

Assim, para cada um dos 3 postos apresentados na Tabela 1, existem 10 conjuntos de dados meteorológicos, derivados destes diferentes modelos no cenário A1B os quais serviram, de base para a análise de incertezas das variáveis climatológicas.

Cálculo das anomalias e análise sazonal

Inicialmente, foram obtidas as médias anuais de temperatura (T, °C) e precipitação (P, mm)(acumulada) referentes ao período de referência (1961-1990) e períodos futuros (2011-2040, 2041-2070 e 2071-

2100) a partir dos dados diários. 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 de referência, para cada um dos modelos utilizados.

Em seguida, foram calculadas as anomalias de T e P para o mesmo intervalo disposto anteriormente. A anomalia foi considerada como sendo a diferença entre as médias de T ou P do período futuro, com relação ao período de referência.

Foi realizada 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, calculada a anomalia para cada período.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Análise das projeções de temperatura e precipitação

Na Tabela 3 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 de referência consiste em uma média de todas as projeções do modelo ETA. Todas as projeções de temperatura apresentaram aumento, exceto a projeção do modelo ETA 40 LOW para os pontos 2 e 3, os quais demonstraram uma diminuição ao longo do século XXI.

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

Estes resultados reafirmam a perspectiva de alteração dos padrões da temperatura média da superfície

Tabela 3. Projeções de aumento/diminuição de temperatura e precipitação anual acumulada ao longo do século XXI

Modelo	Ponto 1					
	T (°C)			P (mm)		
	Atual (*) 14.8			Atual (*) 1681.9		
	2025s	2055s	2085s	2025s	2055s	2085s
ETA 20	16,1	17,1	17,9	2038,1	2257,8	2390,9
ETA 40 CTRL	16,1	17,1	18,1	2034,9	2216,5	2312,5
ETA 40 HIGH	16,3	17,5	19,1	1939,4	2160,2	2367,6
ETA 40 LOW	15,7	15,8	17,5	1931,9	2089,2	2382,8
ETA 40 MID	16,3	17,4	18,7	2029,9	2338,4	2267,1
GFCM21	15,7	17,0	17,5	1808,9	1578,8	1513,8
HADCM3	15,9	16,8	18,0	1676,0	1835,8	1822,2
MPEH5	15,6	16,2	17,3	1758,9	1962,9	2036,2
MRCGCM	15,4	16,2	16,5	1763,1	1999,0	2014,0
NRCCSM	15,9	16,6	17,1	1783,2	1812,8	1833,0

Modelo	Ponto 2					
	T (°C)			P (mm)		
	Atual (*) 16.8			Atual (*) 1712.5		
	2025s	2055s	2085s	2025s	2055s	2085s
ETA 20	18,1	19,2	20,0	2056,5	2271,6	2403,8
ETA 40 CTRL	18,1	19,1	18,1	2070,1	2229,4	2371,1
ETA 40 HIGH	18,4	19,5	19,1	1934,0	2131,3	2324,7
ETA 40 LOW	15,7	15,8	17,5	1976,9	2162,9	2502,7
ETA 40 MID	18,3	19,4	18,7	2058,1	2341,7	2242,3
GFCM21	17,9	19,3	19,9	1811,6	1560,3	1508,5
HADCM3	18,0	19,0	20,3	1703,3	1883,0	1854,3
MPEH5	17,7	18,4	19,6	1771,9	1963,7	2051,2
MRCGCM	17,5	18,3	18,6	1788,4	2024,9	2079,8
NRCCSM	18,0	18,8	19,3	1833,0	1874,6	1909,5

Modelo	Ponto 3					
	T (°C)			P (mm)		
	Atual (*) 17.3			Atual (*) 1984.3		
	2025s	2055s	2085s	2025s	2055s	2085s
ETA 20	18,5	19,6	20,3	1974,8	2139,7	2263,5
ETA 40 CTRL	18,5	19,5	18,1	2023,8	2190,0	2303,4
ETA 40 HIGH	18,8	19,9	19,1	1884,6	2075,3	2263,6
ETA 40 LOW	15,7	15,8	17,5	1909,5	2097,0	2392,5
ETA 40 MID	18,7	19,8	18,7	2001,9	2279,0	2192,4
GFCM21	18,3	19,6	20,2	1793,1	1546,1	1500,3
HADCM3	18,4	19,4	20,6	1685,8	1859,8	1834,5
MPEH5	18,1	18,8	20,0	1744,9	1916,9	2012,3
MRCGCM	17,9	18,7	19,0	1762,8	1998,9	2060,4
NRCCSM	18,4	19,2	19,7	1794,4	1850,4	1878,7

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

da Terra, atingindo, no ponto 1, uma anomalia de 4,3°C no final do século, quando comparado com o período de referência. Tais mudanças poderão resultar em efeitos diversos sobre o ambiente e consequências diretas na sociedade, incluindo impactos nos recursos hídricos, na agricultura e por consequência na segurança alimentar, a saúde humana, nos ecossistemas

naturais e na 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).

Com relação às precipitações ao longo do século observa-se um aumento mais elevado nas projeções do MCR em comparação com os MCGs (Tabela 3) corroborando com os resultados de Melo et al. (2014). Os autores em questão utilizaram cinco MCGs do AR4 e também projeções do modelo regional ETA 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.

O modelo GFCM21 nos pontos 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 pontos 1 e 2, no período de 2025s. No MCR, estão as projeções com maior acréscimo de precipitação anual acumulada, quando comparadas com o período referência, destacam-se: no período de 2025s, do modelo ETA 20 no ponto 1 e o ETA 40 CTRL nos pontos 2 e 3; em 2055s o modelo ETA 40 MID nos pontos 1, 2 e 3; em 2085s as projeções do ETA 20 no ponto 1 e ETA 40 LOW nos pontos 2 e 3.

A maior anomalia é esperada para o ponto 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, possibilitando o aumento dos eventos de 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 às 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.

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).

Com as informações levantadas pela Tabela 3 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 dessa 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 et al. (2009) o tipo de solo, assim como as condições de uso, após o desmatamento, podem interferir na quantidade de sedimentos carreados pelo excesso de precipitação, podendo desenvolver problemas graves 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 o uso de sistemas conservacionistas, 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. Resultado do uso cada vez mais indiscriminado de tais produtos para manter os níveis de produção das culturas. Contudo pode haver uma compensação em razão da carga de efluentes domésticos e industrial a qual ficaria mais diluída.

A qualidade das águas depende de inúmeros fatores entre eles a vazão. 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.

Anomalias de temperatura e precipitação

Na Figura 2 são observadas as anomalias projetadas por MCRs e MCGs para cada ponto nos períodos futuros.

No ponto 1 todos os modelos convergem para que as maiores anomalias de temperatura aconteçam no final do século (2085s). O mesmo é observado para os MCGs dos pontos 2 e 3. Já no ponto 2 apenas as

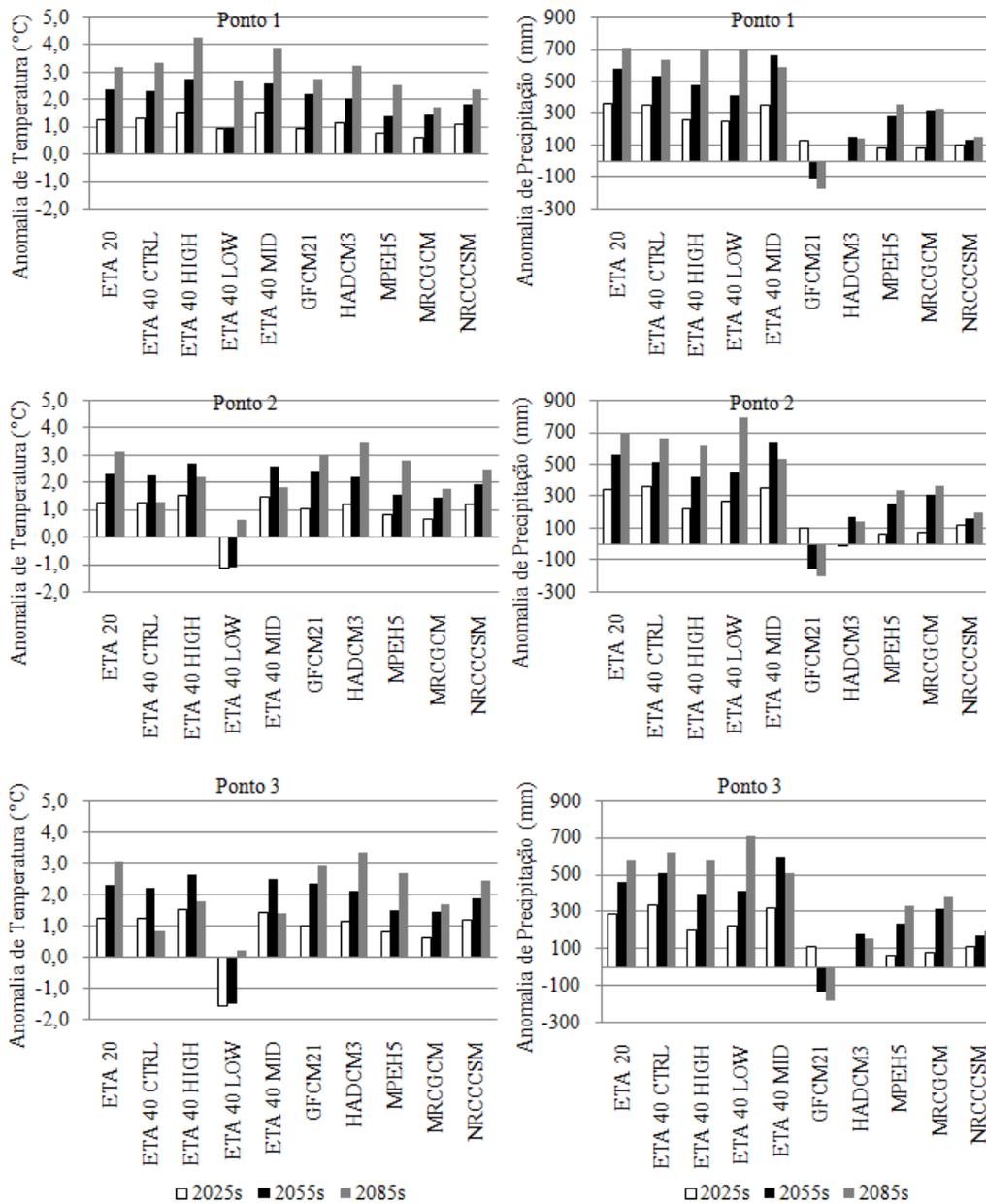


Figura 2. Anomalias de temperatura e precipitação anual acumulada projetada por MCRs e MCGs para cada ponto nos períodos futuros

projeções do ETA 20 mantém essa perspectiva.

O ETA 40 LOW também indicou aumento no final do século, porém no período 2025s e 2055s prevê uma diminuição mais expressiva que o aumento, refletindo aproximadamente uma anomalia de $-1,1^{\circ}\text{C}$, na temperatura média da superfície. O ponto 3 se assemelhou com o ponto 2, destacando-se apenas que a anomalia da temperatura alcançará $-1,6^{\circ}\text{C}$ em 2025s e $-1,5^{\circ}\text{C}$ em 2055s para este modelo.

Os MCRs apresentaram 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 de referência. 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 pontos 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. Estes estados sentem reflexos da escassez de água, prejudicando principalmente a qualidade da água para abastecimento e também as reduções nas barragens das usinas hidrelétricas. Isso poderá gerar 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 sendo explorados com 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, uma vez que 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 das 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 na análise de viabilidade ambiental destes novos empreendimentos.

Análise sazonal

As projeções mensais de temperatura fornecidas pelos MCGs e MCRs aos diferentes pontos foram agrupadas em médias das projeções regionais (Figura 3A-C) e médias dos modelos globais (Figura 3 D-F) para os três períodos futuros (2025s, 2055s e 2085s), Também está representada a média do período de referência (1960-1990), para comparação.

Os meses de janeiro e fevereiro se destacam por apresentarem as maiores temperaturas, mas fevereiro é o único mês que apresentará maior aumento no período de 2025s em todos os pontos, 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 Hamada et al. (2008), Marengo et al. (2009), Donat et al. (2013) e Melo et al. (2014). Temperaturas maiores no inverno, talvez sejam responsáveis pela antecipação das culturas deste período, principalmente os cereais que compõem as pastagens na criação de gado.

Os resultados da precipitação acumulada mensal foram também agrupados em médias das projeções regionais (Figura 4A-C) e médias dos modelos globais (Figura 4 D-F) para os três períodos futuros (2025s, 2055s e 2085s). Também está representada a média do período de referência (1960-1990), para comparação. Os resultados demonstram que as maiores temperaturas para o ponto 1 são fornecidas pelos MCRs (todos os meses, exceto em 2085s para março, abril, maio e junho), enquanto que para os pontos 2 e 3 são os MCGs. Em alguns casos, ambos concordam com a mesma projeção, como é o caso do mês de setembro

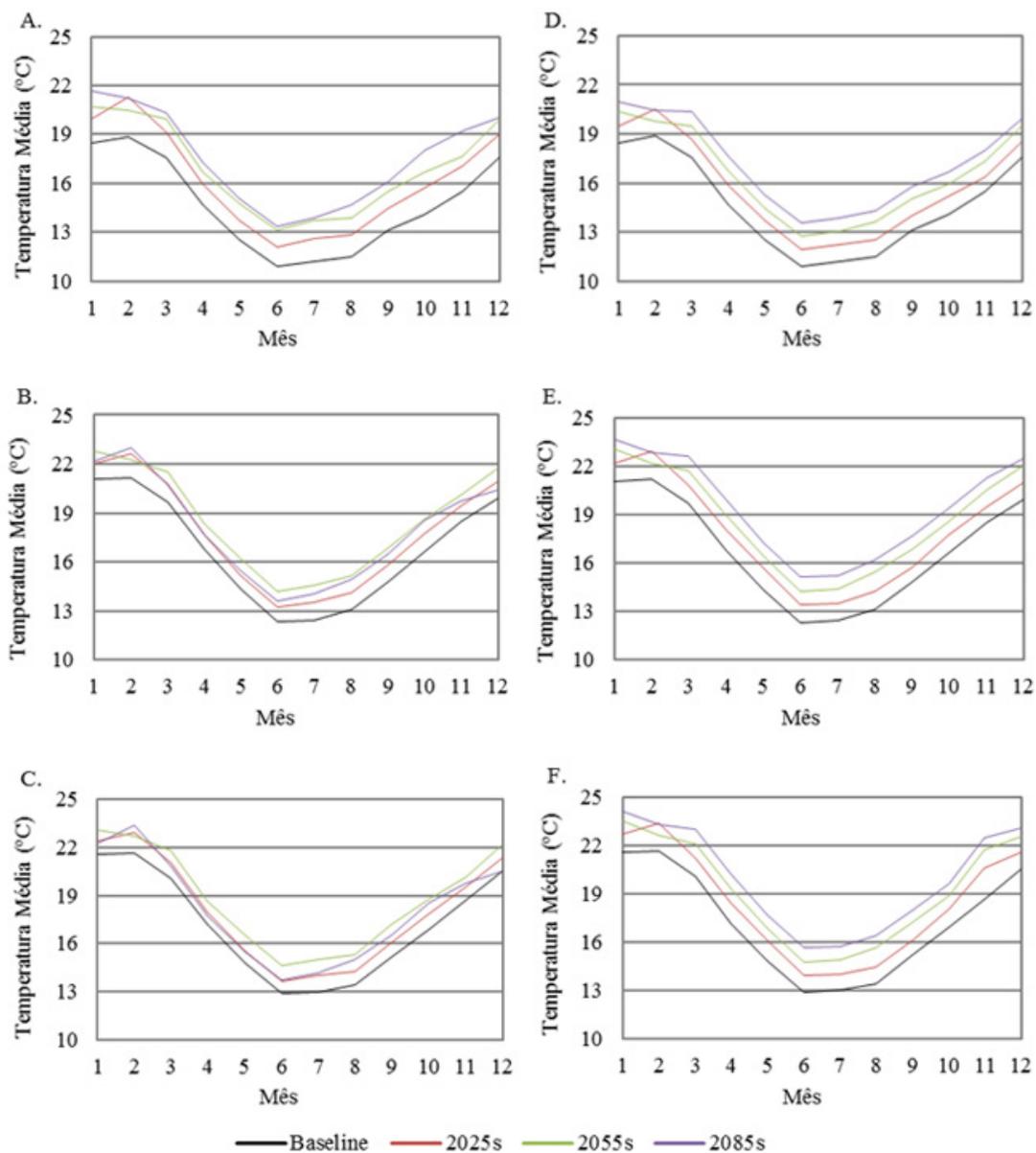


Figura 3. Médias mensais das projeções de temperaturas para os MCRs (A-C) e MCGs (D-F), referentes aos pontos 1, 2 e 3 de cima para baixo

para o período de 2025s. No período de referência, o ponto 1 apresenta as menores médias de temperatura seguidas pelos pontos 2 e 3, comportamento que permanecerá ao longo do século para todos os meses.

Na Figura 4 a precipitação acumulada nos MCGs apresenta menor variabilidade mensal entre os períodos futuros e pouca diferença em relação ao período de referência 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 de referência, o que não implicaria em mudanças no período de plantio das principais

culturas de verão como a soja e milho na região.

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; 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 e 2007 relatados por Bombassaro; Robaina

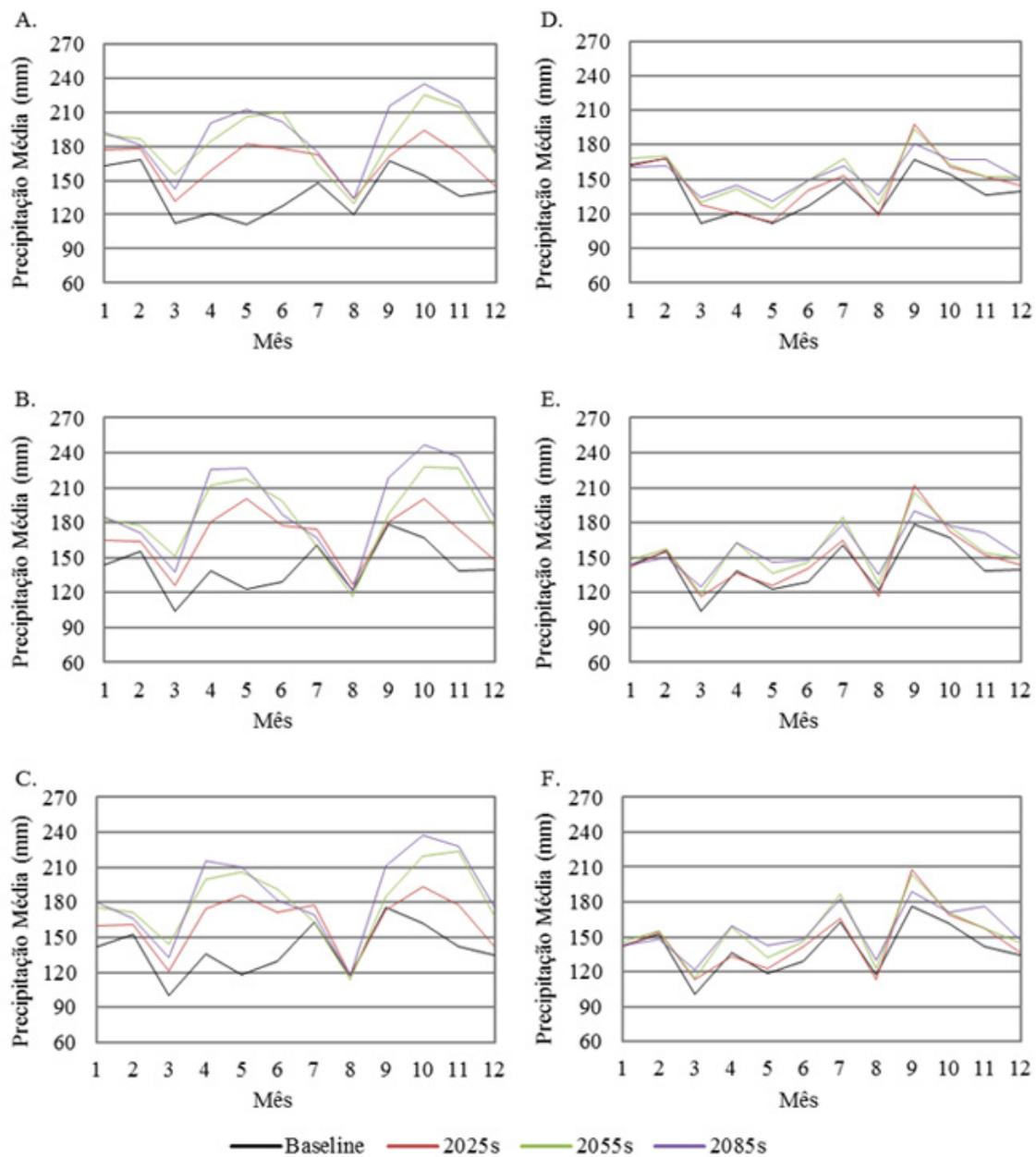


Figura 4. Médias mensais das projeções de precipitação para os MCRs (A-C) e MCGs (D-F), referentes aos pontos 1, 2 e 3 de cima para baixo

(2010), 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, 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, 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 pontos de estudo, para calcular a anomalia em comparação com o período de referência (1960-1990) (Figura 5). As anomalias referem-se à diferença entre cada período futuro de 30 anos e o período de referência, também representado por uma série de 30 anos de dados.

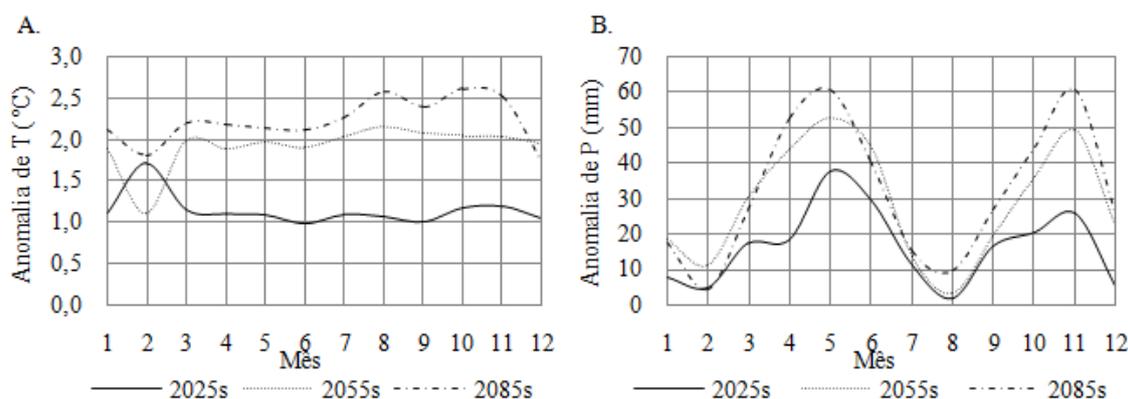


Figura 5. Períodos mensais de anomalias de (A) temperatura e (B) precipitação. As curvas correspondem a variável média de todas as projeções dos pontos

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, 2,0 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, 2,1 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, e 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 pontos de estudo, ou seja, a precipitação mensal acumulada irá aumentar. Comportamento semelhante também foi observado por Marengo et al. (2010) e por Hamada et al. (2011) 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. Tal fato resulta na 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, torna-se importante 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.

CONCLUSÃO

Os modelos de circulação global e regional, em sua maioria, concordam com projeções de aumento da temperatura e precipitação nos pontos estudados.

As projeções indicam um aumento de temperatura média anual de quase 3°C até o fim do século.

A estação do inverno, em relação à estação do verão, sofrerá mais com os aumentos de temperatura.

Os ciclos mensais de temperatura e precipitação mostram que os meses das culturas de verão serão menos afetados pelo aumento destas variáveis.

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, tais como fortes chuvas, inundações e deslizamentos de terra.

REFERÊNCIAS

- ANEEL. Associação Nacional de Energia Elétrica -**Relatório de acompanhamento de estudos e projetos de usinas hidrelétricas**. 2015.
- 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. v. 3, n. 6, p.26, 2013.
- BANCO MUNDIAL. **Relatório sobre o desenvolvimento mundial de 2010: desenvolvimento e mudança climática**. São Paulo: UNESP, 2010. 440 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.
- BOMBASSARO, M.; ROBAINA, L. E. S. **Contribuição geográfica para o estudo das inundações na Bacia Hidrográfica do Rio Taquari-Antas, RS**. Belo Horizonte, Geografias, v. 06, n.2, p. 69-86, 2010.
- 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.
- CAMARGO, C. G.; MALANDRIN, D.; BRAGA, H.; MACHADO, L. Análise de eventos extremos de precipitação na região sul do Brasil dados históricos. In: XVII Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, 2011, Guarapari. **Anais... Espírito Santo**, 2011. p.5.
- CAVALCANTI, I. 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 down scalingscenarios**. American Journal of Climate Change, v.3, p.512-525, 2014.
- 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.
- 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.
- 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.; KATTISOV, 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.
- 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.
- 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.
- 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, D. 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.

- 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, T. M. 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.
- 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.
- RODRIGUES, A. **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.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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- Blackuwe, 2011. p.4-33.
- TUCCI, C. E. M. Impacto da variabilidade climática e uso do solo sobre os recursos hídricos. Câmara Temática sobre Recursos Hídricos. 150p. 2002.