

AVALIAÇÃO DE PROJEÇÕES DE ANOMALIAS DE TEMPERATURA E PRECIPITAÇÃO EM CENÁRIOS CLIMÁTICOS FUTUROS NA REGIÃO DO SISTEMA HIDROLÓGICO DO TAIM, RS

*Juan Martín Bravo*¹; *David da Motta Marques*²; *Rutinéia Tassi*³; *Angélica Cardoso*⁴

RESUMO --- As estimativas de cenários climáticos futuros permitem avaliar possíveis impactos e planejar medidas mitigadoras. Nesse contexto insere-se este trabalho, onde foram estimadas projeções de anomalias de temperatura e precipitação em diferentes cenários climáticos futuros na região do sistema hidrológico do Taim (SHT). Um total de 1920 simulações foi feito a partir do uso do sistema MAGIC/ScenGen e 20 modelos de circulação geral (GCMs). Foram obtidos valores médios de incremento de temperatura do ar de 0,56°C a 0,87°C no futuro próximo e de 1,26°C a 2,35°C no futuro longo, nos diferentes meses do ano. Existe uma tendência a que os maiores incrementos de temperatura aconteçam nos meses de verão. Enquanto à precipitação, os resultados são mais contraditórios, com valores médios de anomalias entre -5,15% a 9,55% no SHT. É importante ressaltar as incertezas associadas a essas projeções, em função da discrepância quanto à intensidade das variações estimadas da precipitação e da temperatura do ar pelos GCMs, principalmente no caso da precipitação. Os resultados obtidos nessa etapa serão posteriormente utilizados para alimentar um modelo hidrológico-hidráulico-ecológico, no sentido de avaliar os efeitos de cenários de mudanças climáticas sobre a comunidade aquática do sistema.

ABSTRACT --- We present an assessment of climate change impacts on the temperature and precipitation regime in the region of the Taim Hydrological System (SHT), located in Central-East South America based on predictions of twenty Atmospheric/Ocean General Circulation Models (AOGCMs). We considered two climate change scenarios from the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) and two 30-years time intervals centered at 2030 and 2070, with a 1920 simulations made. We obtained average values of air temperature increase of 0.56 °C to 0.87 °C in the near future and 1.26 °C to 2.35 °C in the long future, in different months of the year. There is a tendency for the largest temperature increases occur in the summer months. Regarding to precipitation, results are contradictory, with average values of anomalies between -5.15% to 9.55% in SHT. It is important to emphasize the uncertainties associated with these projections, due to the discrepancy in the intensity of the estimated precipitation and air temperature anomalies by AOGCMs, especially in the case of precipitation. The results obtained at this stage will then be used to feed a hydrological-hydraulic-ecological model, in order to assess the effects of climate change scenarios on the aquatic community of the system.

Palavras-chave: Mudança climática, MAGIC/ScenGen, Sistema hidrológico do Taim.

¹ Professor Adjunto IPH/UFRGS. Av. Bento Gonçalves, 9500. Porto Alegre, RS. E-mail: jumarbra@iph.ufrgs.br

² Professor Adjunto IPH/UFRGS. Av. Bento Gonçalves, 9500. Porto Alegre, RS. E-mail: dmm@iph.ufrgs.br

³ Professora Adjunto Dpto. de Hidráulica e Saneamento, UFSM. Av. Roraima, 1000. Santa Maria. E-mail: rutineia@gmail.com

⁴ IPH/UFRGS. Av. Bento Gonçalves, 9500. Porto Alegre, RS. E-mail: magcardoso@yahoo.com.br

1. INTRODUÇÃO

Conforme os relatórios do *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC), as projeções no futuro das tendências de variáveis globais (temperatura, gases do efeito estufa, etc.) sugerem a possibilidade da ocorrência de significativas alterações no clima e na biosfera terrestre (IPCC, 2007). Existem diversas evidências que mostram que, tanto espécies como ecossistemas, têm sofrido impactos das mudanças climáticas. As respostas biológicas vão desde mudanças na distribuição espacial e temporal das espécies individuais, até mudanças completas do regime do ecossistema (Mooij et al., 2009).

Entre estes ecossistemas, podem ser citadas as terras úmidas, que são de particular interesse, pois comportam numerosos organismos vegetais e animais, que vão desde os micróbios até os mamíferos. Dessa forma, as terras úmidas se encontram entre os ecossistemas mais produtivos no mundo, comparáveis às florestas tropicais e recifes de coral (Tassi, 2008). Entre as principais funções desempenhadas pelas terras úmidas podem ser citadas: o armazenamento de água e amortecimento de cheias, a recarga de aquíferos e a melhoria na qualidade da água mediante a retenção de nutrientes, contaminantes e sedimentos. Assim, através das terras úmidas a sociedade se beneficia pelo turismo, pesca, abastecimento de água para população e atendimento da demanda de agricultura, entre outros (Mitsch e Gosselink, 1986).

As terras úmidas são caracterizadas e regidas pela frequência e duração do nível da água (ou hidroperíodo) que condicionam as características da vegetação e todos os processos físicos, químicos e biológicos associados a tais sistemas (Clymo et al., 1995). Além disso, a circulação da água, propriamente dita, constitui um dos fatores fundamentais para o funcionamento desse tipo de ecossistema (Aumen, 2003; Paz, 2003).

A alteração do hidroperíodo natural e do padrão geral do escoamento por estressores naturais ou antrópicos, tem impacto direto sobre a distribuição espacial da vegetação (Guasseli, 2005), e desencadeia uma série de consequências adversas, do ponto de vista ecológico, que ocasiona a degradação do ambiente. Entre elas, podem ser citadas: modificação da composição das espécies vegetais dominantes; alterações no ciclo reprodutivo de espécies da fauna; redução da diversidade de espécies e do número de indivíduos, tanto vegetais quanto animais; e o comprometimento do desempenho das funções e valores das áreas úmidas.

O sistema hidrológico do Taim, localizado no sul do Brasil, tem como característica marcante a existência da associação de áreas úmidas e lagos, e se apresenta como o local de estudo ideal para essa pesquisa, fundamentalmente, pela disponibilidade de dados, de trabalhos prévios e pela sua importância ecológica no nível nacional e internacional.

Torna-se evidente que para analisar e entender a complexa interação entre a hidrodinâmica desse sistema e dos fenômenos climáticos é necessária a utilização de ferramentas de simulação.

Assim, este trabalho representa uma primeira etapa da pesquisa onde as projeções de temperatura do ar e precipitação em cenários climáticos futuros são estimadas para a região de influência do sistema hidrológico do Taim. Posteriormente, a pesquisa proposta pretende avaliar, através da modelagem hidrológica-hidráulica-ecológica, os efeitos de cenários de mudanças climáticas e de enriquecimento de nutrientes sobre a comunidade aquática do sistema. Espera-se que, a ligação entre a hidrologia, a hidráulica, a representação de comunidades aquáticas, o uso da água e as mudanças climáticas permita verificar e quantificar a dinâmica e estado do sistema nas condições atuais e naquelas previstas pela mudança climáticas.

2. OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho é avaliar a influência de cenários de mudança climática nos padrões de precipitação e temperatura do ar na região do sistema hidrológico do Taim (SHT).

Como uma forma de alcançar este objetivo, propõe-se responder às seguintes perguntas:

- Qual é o efeito esperado provocado por cenários de mudança climática futuros na precipitação e na temperatura da região?
- Observam-se tendências nas projeções dessas duas variáveis nos cenários de mudança climática nessa região?
- Quais são as incertezas associadas às projeções dessas variáveis nos cenários de mudança climática?

3. ESTUDO DE CASO: Sistema hidrológico do Taim (SHT)

O Sistema Hidrológico do Taim (SHT) está localizado entre o oceano Atlântico e a lagoa Mirim, sul do Estado do Rio Grande do Sul, correspondendo partes dos Municípios de Santa Vitória do Palmar e de Rio Grande (**Figura 1**). Na área do sistema (2254 km²) encontra-se a Estação Ecológica do Taim (ESEC-Taim), situada na estreita faixa de terra entre o oceano Atlântico e a lagoa Mirim (alinhamento dos Banhados Pós-Planícies Marinho-Eólica). A área total desta unidade de conservação perfaz 33.935 ha, compreendendo praias oceânicas, dunas, campos, matas de restinga, lagoas e principalmente banhados e alagados. Associada com o clima subtropical, esta região se distingue de outras áreas alagáveis existentes no Brasil.

O SHT se reparte em diferentes subsistemas:

- a) Subsistema Norte (387 km²), composto pela lagoa Caiubá, lagoa das Flores e o banhado do Maçarico, este último com afluência para a lagoa das Flores;
- b) Subsistema do banhado (270 km²) é o banhado propriamente dito, também composto pelas lagoas Nicola e Jacaré. O escoamento é caracterizado por baixas velocidades superficiais, devido à existência de macrófitas aquáticas e biomassa, e a saída de água acontece pelas comportas no extremo norte, em direção à lagoa Mirim;
- c) Subsistema Sul (1597 km²) é formado pela lagoa Mangueira e sua bacia de contribuição.

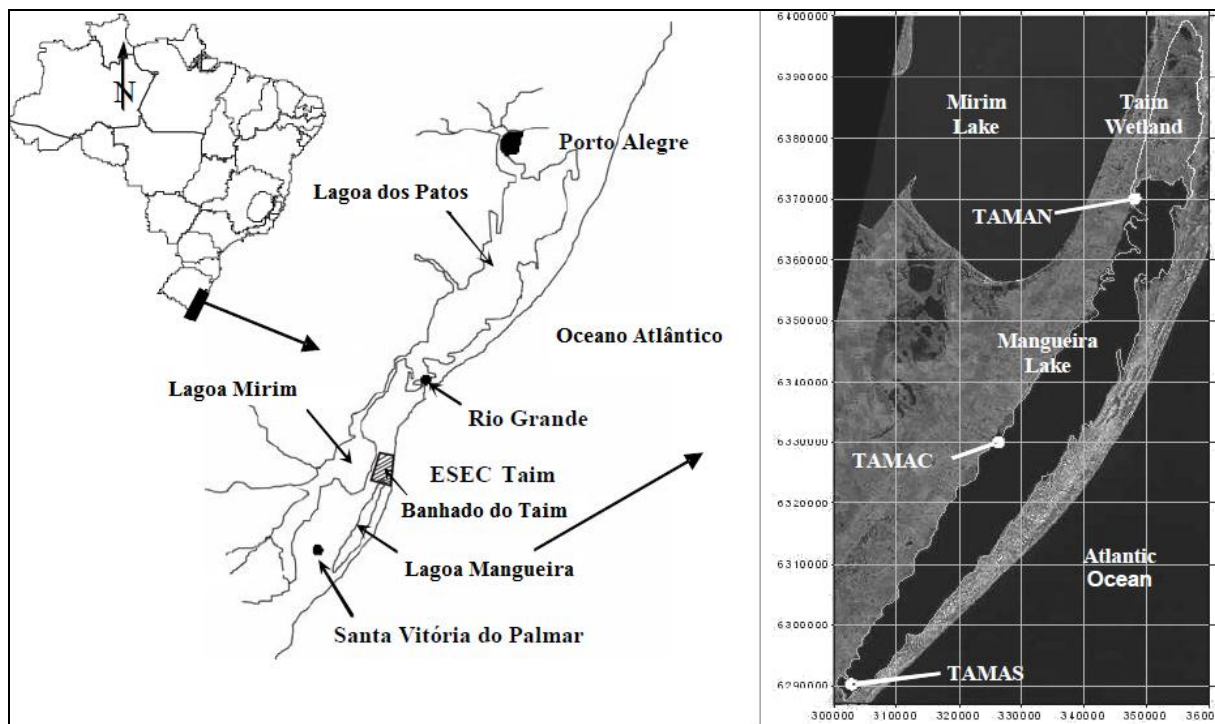


Figura 1 – Sistema hidrológico do Taim (SHT). Adaptado de Fragoso (2009).

A união do subsistema Sul com o banhado é realizada através: (1) do canal junto a BR-471 por escoamento concentrado; (2) da interface lagoa-banhado por escoamento difuso. Os fluxos nesses subsistemas são diferenciados conforme características próprias, tais como: topografia, cobertura de macrófitas aquáticas, condições climáticas e uso da água.

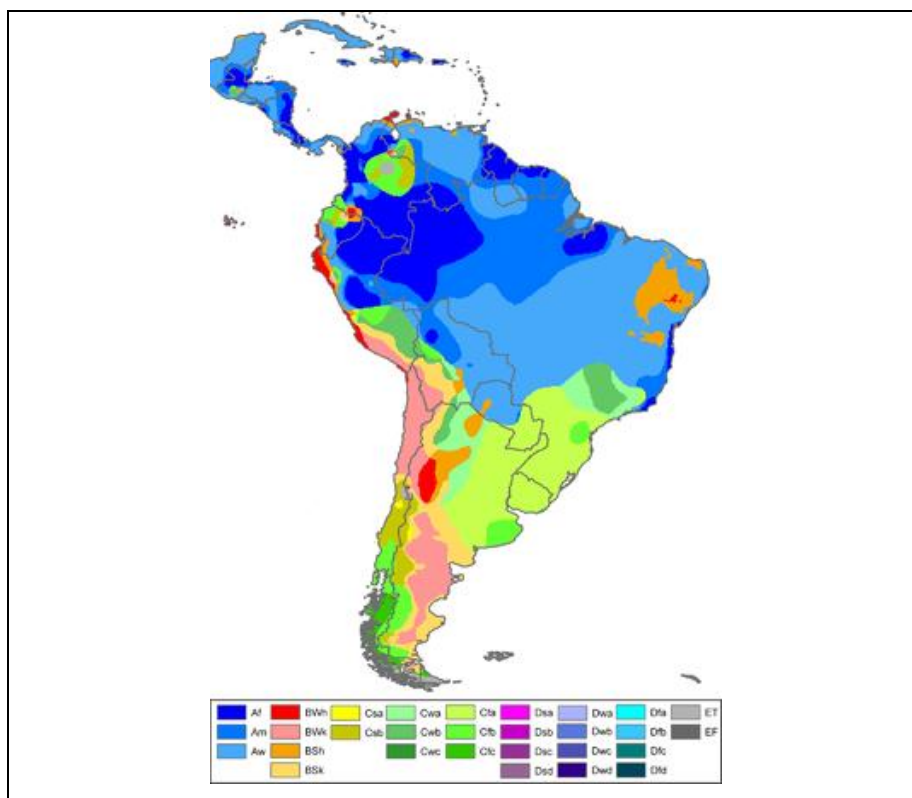
A influência do subsistema Norte sobre o banhado é mínima, sob o ponto de vista hidrológico. O fluxo de água no banhado é caracterizado por baixas velocidades superficiais devido à presença de grande quantidade de macrófitas. As lagoas Flores, Nicola e Jacaré caracterizam-se por pequenas áreas de superfície, correspondentes a 11,30 km², 2,58 km² e 1,45 km². As profundidades médias ficam em torno de 1,68, 1,10 e 1,57 m, respectivamente. A Lagoa Mangueira tem uma área superficial de 802 km² e profundidades médias de 2,49m.

Trata-se de uma região de terras baixas, onde os relevos mais rigorosos são formados pelas dunas litorâneas, que margeiam o oceano Atlântico e por falésias marginais adjacentes à Lagoa

Mirim, cuja estrutura geológica é formada pela deposição de sedimentos de origem marinha, lacustre e eólica. A área destinada à Estação Ecológica caracteriza-se pela existência de banhados, lagoas, campos e dunas de interessante aspecto paisagístico, que se localizam próximo à mata existente na área, que é considerada uma das mais meridionais do Brasil. Nessa mata há um bosque de corticeiras e figueiras, com árvores de grande porte (Garcia et al., 2006).

O sistema recebe água de uma bacia pouco maior do que a própria Lagoa Mangueira, ou seja, a maior parcela de entrada de água se dá por precipitação direta sobre o sistema. As saídas de água do sistema ocorrem basicamente por evaporação, demanda para irrigação e, quando o nível está alto, escoamento para a Lagoa Mirim por uma comporta (Paz, 2003; Villanueva, 1997).

A região onde se insere o sistema hidrológico do Taim apresenta clima tipo Cfa, segundo a classificação de Köppen (**Figura 2**), ou seja, clima temperado com forte influência oceânica e com invernos relativamente frios, verões tépidos e precipitações regularmente distribuídas durante o ano. A temperatura média anual da região é de 17,8 °C. O mês mais quente é janeiro, com temperatura média de 22,8 °C, e o mês mais frio é julho, com temperatura média de 12,8 °C. A precipitação média anual nesta região é de aproximadamente 1300 mm, porém a lâmina d’água correspondente a evapotranspiração média anual é próxima ao valor da precipitação, isto significa que a capacidade de recuperação do sistema é baixa, e que uma sequência de anos secos pode conduzir o sistema à escassez hídrica, modificando todo seu comportamento e funcionamento.



4. METODOLOGIA

O procedimento metodológico utilizado para estimar os valores das projeções de anomalias de precipitação e temperatura do ar em cenários de mudança climática é dividido em três etapas, descritas a seguir.

4.1- Seleção dos cenários de emissão

Os cenários de emissão representam uma visão possível do desenvolvimento futuro de emissões de substâncias que têm um efeito radiativo potencial (gases de efeito estufa, aerossóis), baseados numa combinação coerente e internamente consistente de assunções sobre forçamentos controladores como demografia, desenvolvimento socioeconômico, e mudança na tecnologia, assim como suas interações (Marengo, 2006).

Existem, basicamente, quatro família de cenários de emissões definidos pelo *Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas – IPCC* (IPCC, 2007), conforme apresentado na Figura 3 e cujos nomes são A1, A2, B1 e B2. A seguir é apresentada uma breve descrição destes cenários.

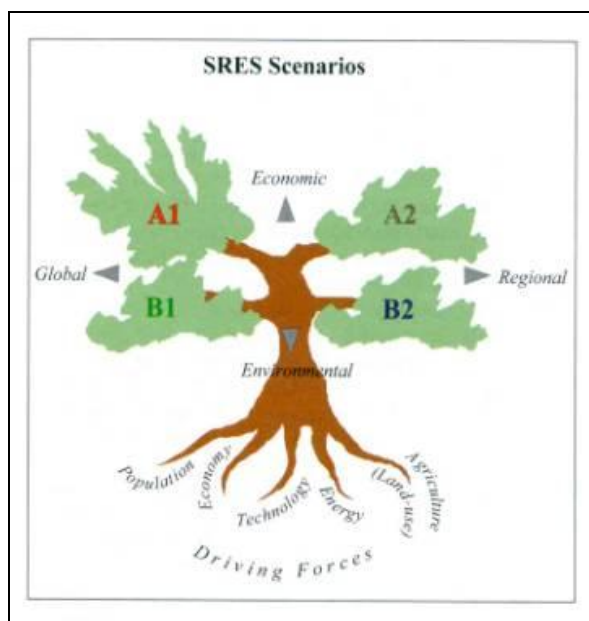


Figura 3 – Principais forçamentos controladores da emissão de gases considerados na definição de cenários (IPCC, 2000). Fonte: <http://sedac.ciesin.columbia.edu/ddc/sres/>.

Cenário A1: esse cenário descreve um mundo futuro onde a globalização é dominante, existindo um crescimento econômico rápido e um crescimento populacional pequeno, com um desenvolvimento rápido de tecnologias mais eficientes. Os temas subjacentes principais são: a convergência econômica e cultural, com uma redução significativa em diferenças regionais e renda per capita. Neste mundo, os indivíduos procuram riqueza pessoal em lugar de qualidade ambiental.

Cenário A2 (Altas emissões): esse cenário descreve um mundo futuro muito heterogêneo onde a regionalização é dominante. Existiria um fortalecimento de identidades culturais regionais, auto-suficiência em termos de recursos e menos ênfase nas interações econômicas, sociais e culturais entre as regiões são característicos para esse futuro. Outras características são: o crescimento populacional alto e a menor preocupação em relação ao desenvolvimento econômico rápido. O crescimento econômico resulta desigual em função das diferentes economias regionais.

Cenário B1: esse cenário descreve uma rápida mudança na estrutura econômica mundial, onde ocorre uma introdução de tecnologias limpas. Os elementos centrais do futuro B1 são um elevado nível de consciência ambiental e social, combinada com uma abordagem global para um desenvolvimento mais sustentável. O desenvolvimento econômico nesse cenário é equilibrado, sendo eficazes os procedimentos para conseguir uma distribuição equitativa da renda.

Cenário B2 (Baixas emissões): esse cenário descreve um mundo no qual a ênfase está em soluções locais, na sustentabilidade econômica, social e ambiental. As políticas públicas e as estratégias empresariais, a nível nacional e local, são influenciadas por conceitos ambientalistas, com uma tendência para a auto-suficiência local. A mudança tecnológica é mais diversa com forte ênfase nas iniciativas comunitárias e inovação social, em lugar de soluções globais.

Neste trabalho foram selecionados dois cenários: (1) Cenário A2, o qual apresenta altas emissões e (2) Cenário B2, o qual representa baixas emissões. Para cada cenário foram feitas estimativas das projeções de anomalias de precipitação e temperatura do ar média mensal para dois futuros: o futuro próximo, centrado no ano 2030, e o futuro longo, centrado no ano 2070. Os resultados aqui apresentados correspondem a valores médios em duas janelas de 30 anos, centradas nos anos 2030 e 2070.

4.2- Definição dos modelos utilizados

As estimativas das projeções de anomalias de precipitação e temperatura do ar média mensal na região analisada foi feita utilizando o modelo MAGICC/SCENGEN, (*Model for the Assessment of Greenhouse gas Induced Climate Change/SCENario GENERator*) versão 5.3 (Figura 4), que considera as principais diretrizes estabelecidas pelo Quarto Relatório de Avaliação do Grupo de Trabalho 1 (*Fourth Assessment Report, Working Group I, AR4*) do IPCC.

O MAGICC/SCENGEN é baseado em um modelo acoplado de ciclo de gases e clima (MAGICC, Hulme et al., 1995) que gera dados de modificação na temperatura média global utilizados pelo SCENGEN para gerar cenários de mudanças climáticas cujos resultados são apresentados em uma grade de $2,5^\circ \times 2,5^\circ$ que cobre a totalidade do planeta. O acoplamento entre esses modelos apresentado na Figura 5.

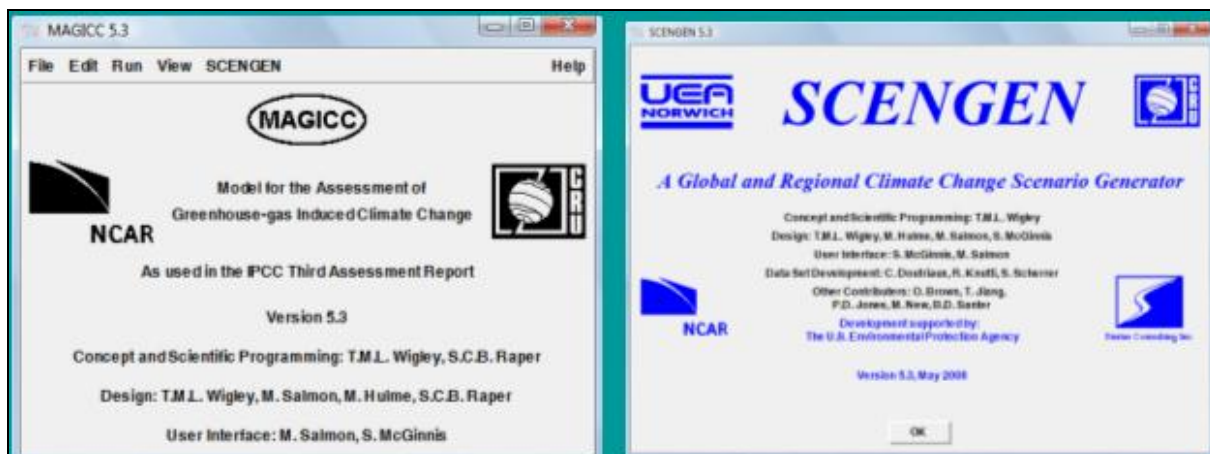


Figura 4 – Interfase gráfica dos modelos MAGICC e SCENGEN, versão 5.3.

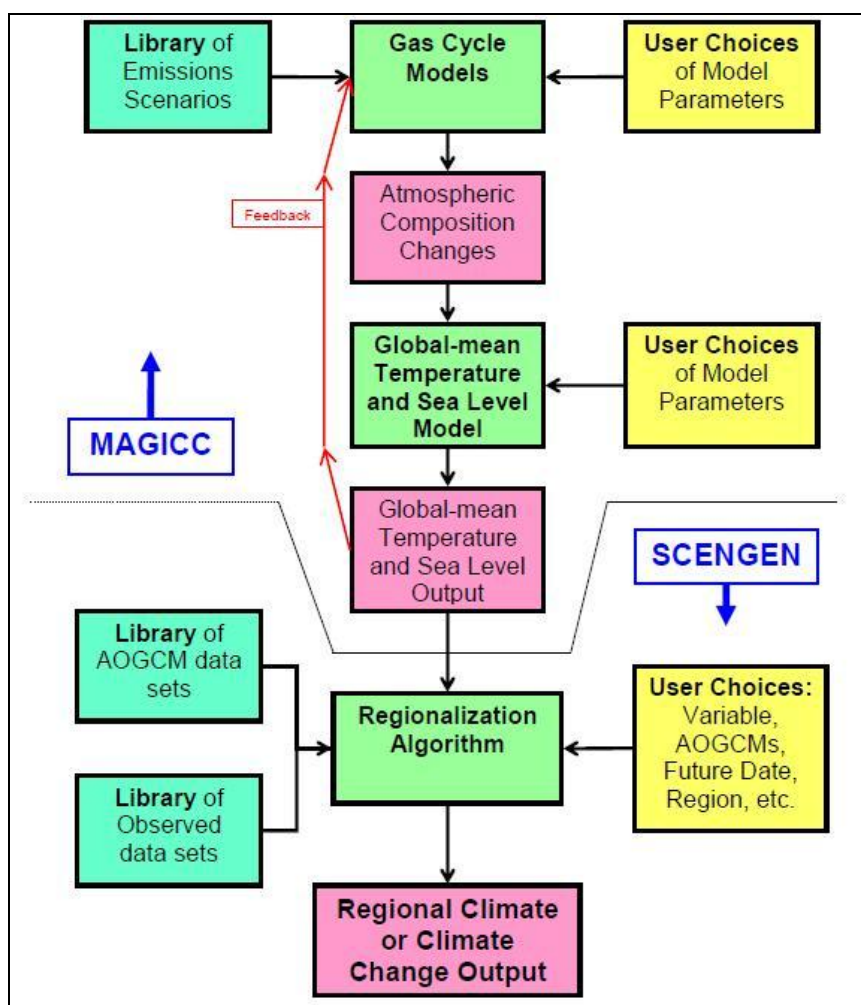


Figura 5 – Estrutura do modelo MAGIC/SCENGEN.

O MAGICC tem sido o principal modelo utilizado pelo IPCC para gerar projeções futuras de temperatura média global e nível médio do mar (Wigley, 2008). Baseado em cenários de emissões de gases do efeito estufa e de modelos de circulação geral (MCGs), o MAGICC calcula projeções de concentração de gases de efeito estufa, temperatura média global e nível médio do mar. Os

resultados de temperatura média global são utilizados pelo SCENGEN para produzir padrões espaciais de mudanças climáticas a partir de um banco de dados de resultados de MCGs e utilizando o método *pattern scaling* descrito em Santer et al (1990).

Nesse trabalho foram estimadas as projeções de anomalias de precipitação e temperatura do ar média mensal na região analisada, relativas aos dois cenários de emissões previamente selecionados, simulados por 20 modelos de circulação geral. Os modelos de circulação geral utilizados são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Modelos acoplados atmosfera-oceano de circulação geral utilizados no SCENGEN versão 5.3.

Nome SCENGEN	Pais	Nome	Instituição
BCCRBCM2	Noruega	Bergen Climate Model, version 2	Bjerknes Centre for Climate Research (BCCR), Univ. of Bergen
CCSM--30	EU	Community Climate System Model, version 3.0	National Center for Atmospheric Research (NCAR)
CCCMA-31	Canada	Canadian Centre for Climate Modelling & Analysis's	
CNRM-CM3	França	CNRM-CM3	Centre National de Recherches Météorologiques, Météo France
CSIRO-30	Australia	CSIRO Mark 3.0	CSIRO
MPIECH-5	Alemanha	ECHAM5/MPI-OM	Max Planck Institute for Meteorology
ECHO---G	Alemanha /Coreia	ECHO-G = ECHAM4 + HOPE-G	Meteorological Institute of the University of Bonn, Institute of KMA and Model and Data Group
FGOALS1G	China	FGOALS1.0	Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences
GFDLCM20	EU	CM2.0 - AOGCM	Geophysical Fluid Dynamics Laboratory - NOAA
GFDLCM21	EU	CM2.0 - AOGCM	Geophysical Fluid Dynamics Laboratory - NOAA
GIS--EH	EU	GISS ModelE-H	Goddard Institute for Space Studies (GISS), NASA
GIS--ER	EU	GISS ModelE-R	Goddard Institute for Space Studies (GISS), NASA
INMCM-30	Russia	INMCM3.0	Institute of Numerical Mathematics, Russian Academy of Science
IPSL_CM4	França	IPSL-CM4	Institut Pierre Simon Laplace (IPSL)

Nome SCENGEN	Pais	Nome	Instituição
MIROC-HI	Japão	MIROC3.2 (Model for Interdisciplinary Research on Climate)	CCSR/NIES/FRCGC
MIROCMED	Japão	MIROC3.2 (Model for Interdisciplinary Research on Climate)	CCSR/NIES/FRCGC
MRI-232A	Japão	MRI-CGCM2.3.2	Meteorological Research Institute, Japan Meteorological Agency
NCARPCM1	EU	Parallel Climate Model	National Center for Atmospheric Research NCAR
UKHADCM3	Inglaterra	HADCM3	Hadley Centre for Climate Prediction and Research
UKHADGEM	Inglaterra	Hadley Centre Global Environmental Model, version 1	Hadley Centre for Climate Prediction and Research

4.3- Estimativa das projeções de anomalias de precipitação e temperatura do ar

Para cada um dos cenários de emissão de gases previamente definidos foram estimadas as projeções de anomalias de precipitação e temperatura do ar média mensal em função dos 20 modelos de circulação geral, para dois futuros: o futuro próximo, centrado no ano 2030, e o futuro longo, centrado no ano 2070. Os resultados aqui apresentados correspondem a valores médios em duas janelas de 30 anos, centradas nos anos 2030 e 2070.

Um total de 1920 simulações foi feito com o sistema MAGICC/SCENGEN, permitindo obter as projeções de anomalias de temperatura do ar e de precipitação, em cada mês do ano, no futuro próximo e no futuro longo, com os 20 modelos de circulação geral (GCMs), para os dois cenários de emissão selecionados (Cenários A2 e B2).

Conforme discutido em outros trabalhos (por exemplo, Serrat-Capdevila et al., 2007), no conjunto de MCGs utilizados para produzir as projeções das variáveis no futuro, alguns modelos podem ser considerados mais ou menos adequados para a região de estudo, pois as deficiências próprias ou as simplificações existentes nas suas formulações podem não considerar adequadamente todos os fenômenos meteorológicos locais. Além disso, o modelo selecionado pode variar segundo qual seja a variável analisada na comparação, por exemplo, precipitação anual média, anomalias de precipitação anual, temperaturas médias mensais, etc.

Reichler e Kim (2008), Hagedorn et al. (2005) e Serrat-Capdevila et al. (2007) tem mostrado como as previsões de longo prazo, como aquelas tipicamente estimadas no contexto de mudança climática, obtidas por um conjunto de modelos, apresentam melhores resultados que aquelas obtidas com o uso de apenas aqueles modelos tradicionalmente considerados como os que melhor

representam a climatologia do local. Por este motivo, nesse trabalho foram utilizados os 20 MCGs mencionados, com o objetivo de definir uma caracterização representativa da incerteza dos resultados.

A Figura 6 apresenta a localização da região de estudo e a célula da grade dos MCGs onde os resultados são obtidos. Do conjunto de projeções em cada cenário de emissões, foram calculadas três estatísticas: a mediana, como uma medida de tendência central, e os percentis 10 e 90, para representar uma medida de dispersão ou incerteza.

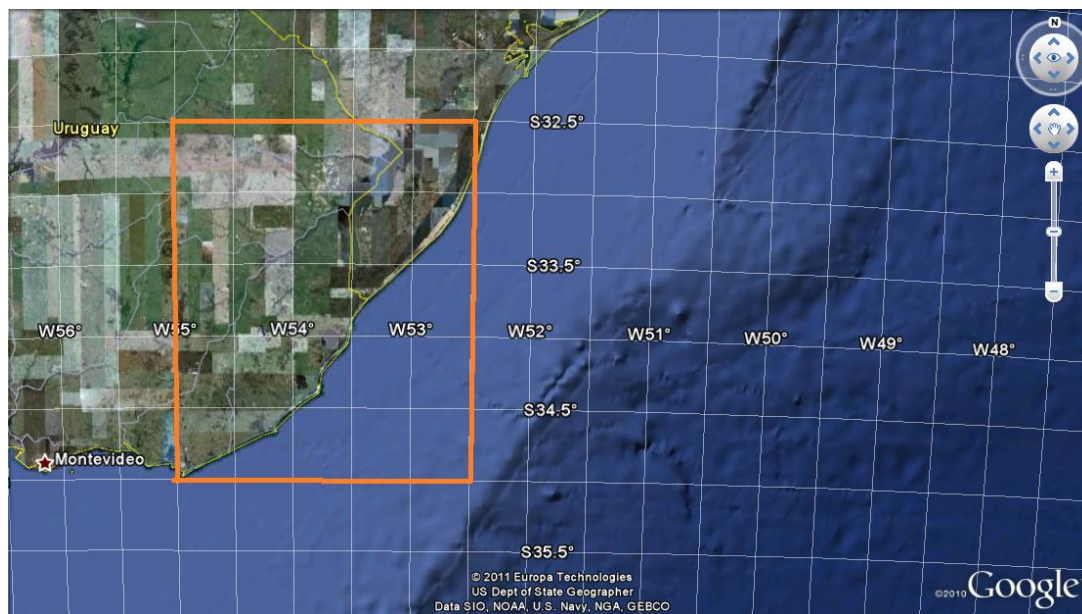


Figura 6 – Localização da região de estudo e célula da grade dos MCGs (na cor laranja) onde os resultados são obtidos.

5. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

5.1- Projeções de anomalias de precipitação

As projeções de anomalias de precipitação média mensal (em %) na região do Sistema Hidrológico do Taim são apresentadas na Figura 7 para os dois cenários, A2 e B2, e para os dois futuros (valor médio em intervalo de trinta anos centrado em 2030, no futuro próximo, e em 2070, no futuro longo). As estimativas de estas anomalias foram obtidas em termos de porcentagem em relação à precipitação média de cada mês.

Em termos gerais, os resultados mostram grandes anomalias projetadas, predominando as projeções de incremento de precipitação mensal, mas com uma grande dispersão entre os resultados dos vinte MCGs, como pode ser observado ainda na Figura 8.

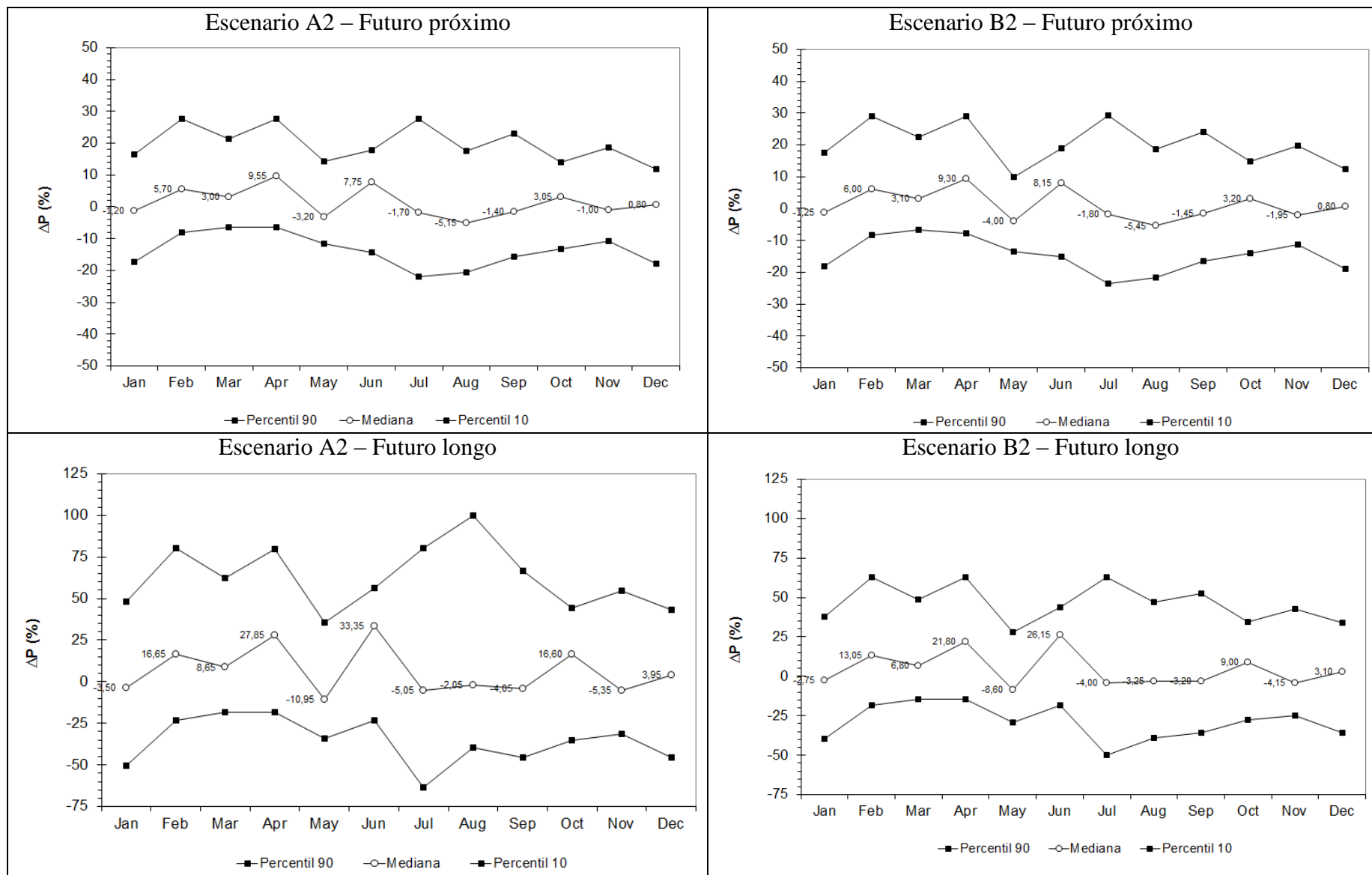


Figura 7 – Estatísticas das projeções mensais de anomalias de precipitação na região do Sistema Hidrológico do Taim (RS) nos cenários A2 e B2, para o futuro próximo (intervalo de 30 anos centrado em 2030) e para o futuro longo (intervalo de 30 anos centrado em 2070).

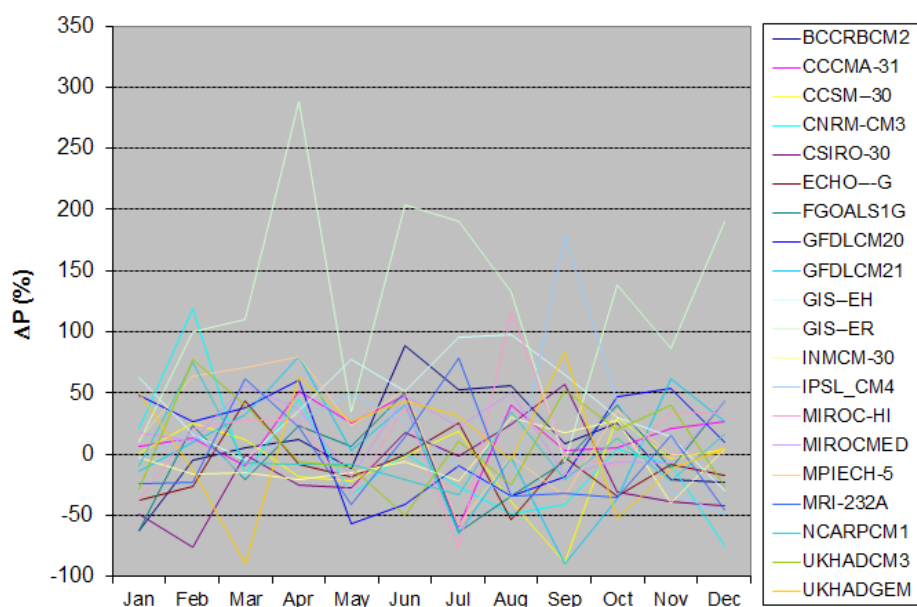


Figura 8 – Projeções mensais de anomalias de precipitação (em % do valor médio) na região do Sistema Hidrológico do Taim (RS) no cenário A2, futuro longo, para os 20 MCGs.

Nos resultados se observa no futuro próximo, pouca diferencia entre os cenários simulados, em termos das medianas e dos percentis das projeções do conjunto de MCGs. No caso do futuro longo, as incertezas aumentam em ambos os cenários, mas com maior evidencia no cenário A2. As projeções no futuro longo também apresentam uma maior discrepância entre os resultados dos dois cenários, que a existente no futuro próximo.

Em todos os cenários e futuros avaliados, a mediana das projeções do conjunto de MCGs resultou positiva, significando incrementos de precipitação em seis meses do ano, enquanto que os restantes meses do ano apresentam anomalias negativas. Analisando cada mês do ano, os resultados dos modelos foram mais contraditórios, pois alguns indicam incrementos de precipitação, enquanto outros, redução da mesma. Em consequência, a incerteza associada aos resultados é grande, conforme observado os valores do percentil 10 e do percentil 90, os que representam valores de anomalias negativas e positivas em todos os cenários e futuros avaliados. Nesse sentido, a incerteza nos resultados de anomalias de precipitação foi maior no futuro longo – como era esperado – devido às maiores antecedências das previsões, à alta não linearidade do clima e à propagação da incerteza associada aos modelos (estrutura e parâmetros) e às condições iniciais.

Para o cenário A2 e considerando o futuro próximo, as projeções de anomalias mensais de precipitação em termos de mediana dos valores dos vinte MCGs se apresentaram no intervalo -5,15% a 9,55%. Este intervalo é muito similar ao obtido no cenário B2 (-5,45% a 9,30%). De fato,

as projeções destes dois cenários não diferem muito entre si no futuro próximo, mas as medianas das projeções do cenário B2 são um pouco superiores às correspondentes do cenário A2.

As projeções de anomalias para o futuro longo possuem também uma maior dispersão entre os resultados dos MCGs. Por exemplo, no mês de agosto e no cenário A2, a mediana das projeções de anomalias no futuro próximo é 5,15% e os percentis 10 e 90 são iguais a -20,68% e 17,59%, respectivamente. Nesse mesmo cenário, mas no futuro longo, a mediana das projeções de anomalias é -2,05% e os percentis 10 e 90 foram -39,75% e 99,64%, respectivamente.

5.2- Projeções de anomalias de temperatura do ar

As projeções de anomalias de temperatura média mensal (em °C) na região do Sistema Hidrológico do Taim são apresentadas na Figura 9 para os dois cenários, A2 e B2, e para os dois futuros (valor médio em intervalo de trinta anos centrado em 2030, no futuro próximo, e em 2070, no futuro longo). As estimativas de estas anomalias foram obtidas em termos absolutos (em °C), em relação à temperatura média de cada mês.

Em termos gerais, os resultados mostram uma clara tendência a que as anomalias projetadas de temperatura média mensal sejam positivas em todos os meses do ano, significando incrementos de temperatura, mas com uma grande dispersão entre os resultados dos vinte MCGs (vide, por exemplo, a Figura 10), e com grandes diferenças entre um futuro e outro.

Enquanto ao futuro próximo, e considerando ambos os cenários, a mediana das projeções de anomalia de temperatura média mensal variou entre 0,56°C e 0,87°C. Para o futuro longo estas faixas de variação aumentam a 1,61°C e 2,35°C, no caso do cenário A2 e aumentam a 1,26°C e 1,84°C, no caso do cenário B2. Observa-se ainda que os maiores incrementos aconteçam nos meses de verão.

Da mesma forma que no caso das projeções de anomalias de precipitação, a incerteza dos resultados de anomalias de temperatura aumentou no futuro longo, em ambos os cenários.

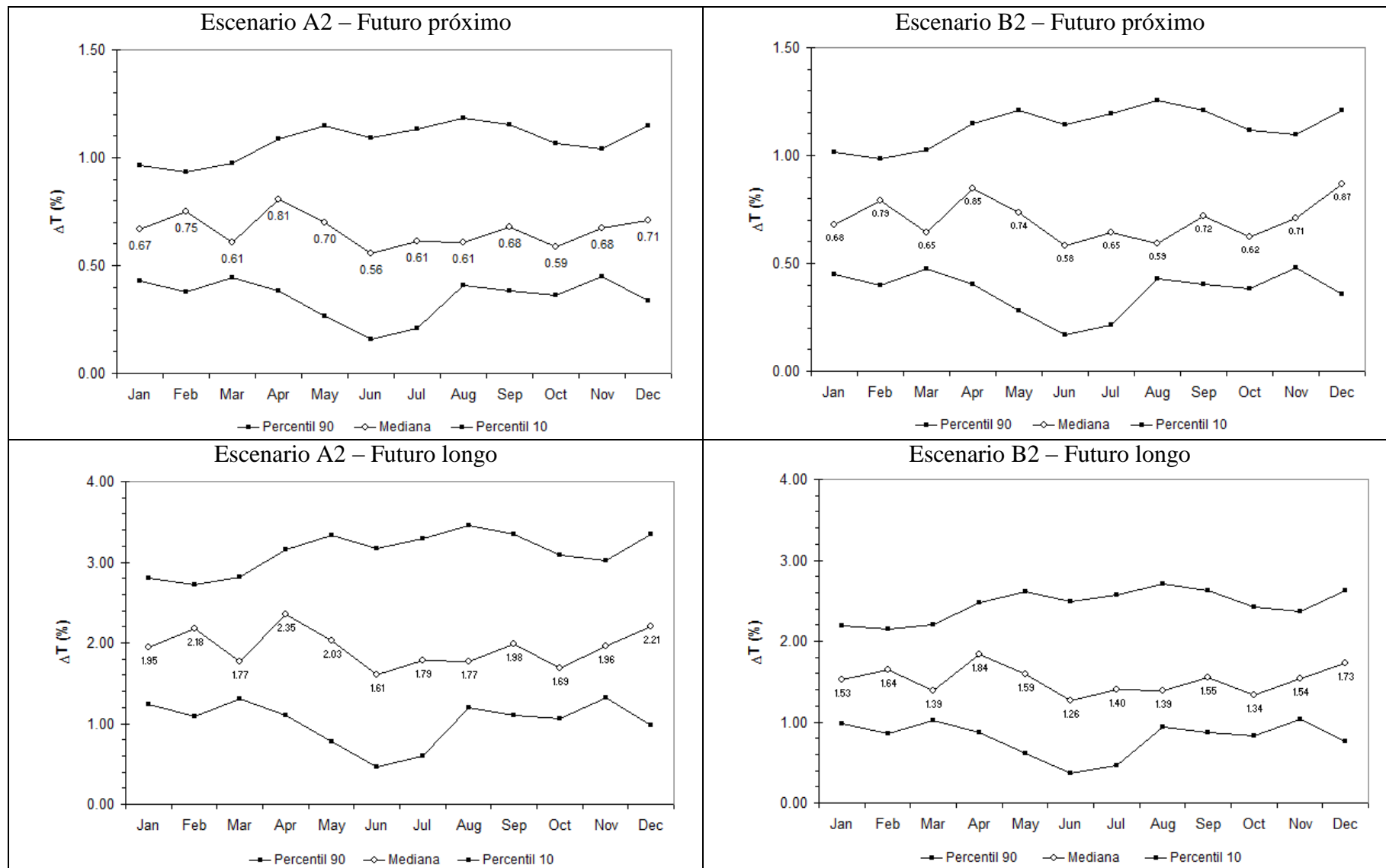


Figura 9 – Estatísticas das projeções mensais de anomalias de temperatura do ar na região do Sistema Hidrológico do Taim (RS) nos cenários A2 e B2, para o futuro próximo (intervalo de 30 anos centrado em 2030) e para o futuro longo (intervalo de 30 anos centrado em 2070).

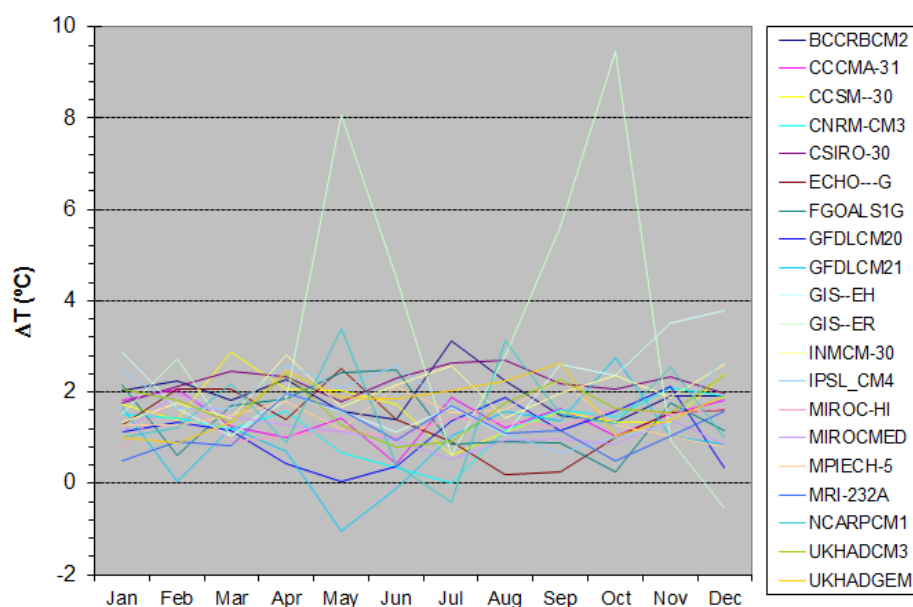


Figura 10 – Projeções mensais de anomalias de temperatura do ar na região do Sistema Hidrológico do Taim (RS) no cenário A2, futuro longo, para os 20 MCGs.

6. CONCLUSÕES

Nesse trabalho são apresentados os resultados das simulações de cenários de mudança climática na região do Sistema Hidrológico do Taim (SHT), considerando dois futuros: o futuro próximo, centrado no ano 2030, e um futuro mais longo, centrado no ano 2070. Foram feitas em torno de 2000 simulações, considerando dois cenários de mudanças climáticas (cenários A2 e B2).

As projeções estimadas mostraram uma clara tendência de aumento da temperatura em praticamente todos os meses do ano, sendo a grandeza do aumento dependente do horizonte da previsão e do cenário, com estimativas de maiores incrementos de temperatura para o futuro longo e no cenário A2.

Diferentemente da temperatura, as projeções de precipitação futura foram mais contraditórias, pois aumentaram e diminuíram em função do MCG utilizado. Nesse sentido, é importante ressaltar a incerteza associada a essas projeções, que mostraram grandes discrepâncias na estimativa da intensidade das anomalias de precipitação e temperatura do ar, principalmente no caso da precipitação.

Embora as projeções de precipitação futura não mostrassem uma clara tendência, os resultados desse trabalho serão utilizados para alimentar um modelo hidrológico-hidráulico-ecológico, no sentido de avaliar os efeitos de cenários de mudanças climáticas sobre a comunidade aquática do sistema.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Rio Grande do Sul (FAPERGS) e ao PELD/CNPq (Programa de Pesquisas Ecológicas de Longa Duração do Conselho nacional de desenvolvimento Científico e Tecnológico).

BIBLIOGRAFIA

- AUMEN, N.G. (ed.). (2003). *“The role of flow in the Everglades – ridge and slough landscape”*. Science Coordination Team – South Florida Ecosystem Restoration Working Group, 62 p.
- CLYMO, R.S. et al. (1995). *“Conclusion: directions for research on wetlands in Britain”*. In: Hughes, J.M.R.; Heathwaite, L. (eds), *Hydrology and hydrochemistry of British wetlands*, John Wiley & Sons, c. 25, p. 467-478.
- FRAGOSO, C.R. (2009). *“Modelagem tridimensional da estrutura trófica em ecossistemas aquáticos continentais rasos”*. Tese de Doutorado. Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 201 pp.
- GARCIA, A.M.; HOEINGHAUS, D.J.; VIEIRA, J.P.; WINEMILLER, K.O.; MARQUES, D.; BEMVENUTI, M.A. (2006). *“Preliminary examination of food web structure of Nicola Lake (Taim Hydrological System, south Brazil) using dual C and N stable isotope analyses”*. *Neotropical Ichthyology*, v. 4, pp. 279-284.
- GUASSELLI, L.A. (2005). *“Avaliação da dinâmica da vegetação no banhado do Taim, RS”*. Tese (Doutorado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 173 pp.
- HAGEDORN, R., DOBLAS-REYES, F.J., PALMER, T.N. (2005). *“The rationale behind the success of multi-model ensembles in seasonal forecasting – I. Basic concept”*. *Tellus 57A*, pp. 219–233.
- HULME, M., RAPER, S.C.B., WIGLEY, T.M.L. (1995). *“An integrated framework to address climate change (ESCAPE) and further developments of the global and regional climate modules (MAGICC)”*. *Energy Policy*, v. 23(4/5), pp. 347-355.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). (2000). *“Special Report on Emissions Scenarios”*. Cambridge University Press.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). (2007). *“Climate Change 2007: The Scientific Basis-Contribution of Working Group I to the IPCC Fourth Assessment Report”*.
- MARENGO, J.A. (2006). *“Mudanças Climáticas Globais e seus Efeitos sobre a Biodiversidade: Caracterização do Clima Atual e Definição das Alterações Climáticas para o Território Brasileiro ao Longo do Século XXI”*. Série Biodiversidade, v. 26, Brasília: MMA, 212 pp.
- MITSCH, W.J.; GOSSELINK, J.G. (1986). *“Wetlands”*. Van Nostrand Reinhold, New York.
- MOOIJ, W.M.; DOMIS, L.N.S.; JANSE, J.H. (2009). *“Linking species- and ecosystem-level impacts of climate change in lakes with a complex and a minimal model”*. *Ecological modeling*, v. 220, pp. 3011-3020.
- PAZ, A.R. (2003). *“Análise dos principais fatores intervenientes no comportamento hidrodinâmico do banhado do Taim (RS)”*. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul: Instituto de Pesquisas Hidráulicas – Porto Alegre. 155pp.

- REICHLER, T., KIM, J. (2008). “*How Well do Coupled Models Simulate Today's Climate?*” Bulletin of American Meteorology Society, v. 89, pp. 303-311.
- SANTER, B.D., WIGLEY, T.M.L., SCHLESINGER, M.E., MITCHELL, J.F.B. (1990). “*Developing Climate Scenarios from Equilibrium GCM Results*”. Max-Planck-Institut für Meteorologie Report No. 47, Hamburg, Germany, 29 pp.
- SERRAT-CAPDEVILA, A., VALDES, J.B., PÉREZ, J.G., BAIRD, K., MATA, L.J., MADDOCK, T. (2007). “*Modeling climate change impacts – and uncertainty – on the hydrology of a riparian system: The San Pedro Basin (Arizona/Sonora)*”. Journal of Hydrology, v. 347, pp. 48-66.
- TASSI, R. (2008). “*Gerenciamento ambiental de terras úmidas*”. Tese de doutorado. Programa de Pós-graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre-RS. 241 pp.
- VILLANUEVA, A.O.N. (1997). “*Simulação de áreas de inundação dinâmicas: canais compostos e wetlands*”. Tese de doutorado. Programa de Pós-graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre-RS. 125 pp.
- WIGLEY, T.M.L. (2008). “*MAGICC/SCENGEN 5.3: User Manual (version 2)*”. National Center for Atmospheric Research, Colorado, USA. 81 pp.