

MUDANÇAS CLIMÁTICAS GLOBAIS E SEUS IMPACTOS SOBRE O REGIME HIDROLÓGICO NA BACIA DO RIO MADEIRA

José Lázaro de Siqueira Júnior^{1*}; Javier Tomasella², Daniel Andrés Rodriguez¹,
Lucas Garofolo Lopes¹ e Rita de Cássia Silva Von Randow¹

Resumo: O Rio Madeira é dotado de riquezas essenciais à sociedade, seja por meio da navegação, irrigação de cultivos agrícolas, produção de energia elétrica e o desenvolvimento de atividades econômicas. Mas, com as fortes evidências de mudanças climáticas aliadas às alterações no uso do solo estes recursos hídricos podem ser seriamente impactados. O objetivo deste estudo foi analisar os processos hidrológicos do Rio Madeira para estudos em mudanças climáticas e no uso do solo. Desta forma, calibrou-se o modelo hidrológico de grandes bacias (MGB-INPE) para a representação do clima atual (1970 a 1990). Utilizando dados de modelos atmosféricos (Eta-CPTEC, MIROC5 e CSIRO-MK3), foram realizadas simulações dos cenários hidrológicos sob mudanças climáticas para os cenários futuros (2011 a 2099), empregando os ajustes obtidos na calibração. Dois experimentos foram realizados com as projeções futuras: Um considerando apenas as projeções das mudanças climáticas, previstas pelos modelos atmosféricos, e outro combinando as projeções das mudanças climáticas e as projeções do uso do solo. A análise das simulações hidrológicas permitiram avaliar a influência das mudanças climáticas na resposta hidrológica e o impacto das mudanças no uso do solo e da cobertura vegetal em termos de disponibilidade hídrica, sazonalidade e frequência de eventos extremos na bacia.

Palavras chave: Mudança Climática, Rio Madeira e Modelagem Hidrológica.

GLOBAL CHANGE E ITS IMPACTS ON THE HYDROLOCAL REGIME IN THE MADEIRA RIVER BASIN

Abstract: Madeira River provides essential services to society, either by navigation, irrigation of crops, the high potential for electricity production and development of economic activities. However, with the strong evidences of climate change associated with land use changes these water resources may be seriously impacted. The aim of this study was to analyze the hydrological processes in the Madeira River Basin to assess possible impacts of changes in land cover and climate change. Thus, the hydrological model for large basins (MGB-INPE) was first calibrated to represent current climate (from 1970 to 1990), and then it was driven by dynamic downscaling from the atmospheric models (Eta-CPTEC, MIROC5 e CSIRO-MK3) to simulate hydrological scenarios under climate change scenarios for the future (from 2011 to 2099). Two experiments were performed for future projections: one, considering only climate change projections, provided by the atmospheric models, and another combining climate change and land use projections. The hydrological simulations analysis allowed us to assess the influence of climate change on hydrological response and how these changes in land use and land cover impact the Basin, in terms of water availability, seasonality and frequency of extreme events.

Keywords: Climate Change, Madeira River and Hydrological Modelling.

¹ Centro de Ciência do Sistema Terrestre - Instituto Nacional de Pesquisa Espaciais, jose.lazaro@cptec.inpe.br

² Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais

* Autor Correspondente

1 INTRODUÇÃO

As mudanças climáticas e seus possíveis impactos vêm despertando atenções, fomentando discussões pelo mundo afora e concentrado esforços da comunidade científica há anos. De acordo com o quarto relatório do *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC, 2007), o aumento da temperatura média global observada nos últimos 50 anos não pode ser explicada por alguma razão natural. Estudos sugerem que estas alterações são decorrentes das atividades do homem no equilíbrio natural do sistema terrestre, destaque deve ser dado às práticas ligadas diretamente a utilização de combustíveis fósseis e ao desmatamento de sistemas florestais, induzindo ao aumento da temperatura global através das emissões de gases do efeito estufa (IPCC, 2007).

A Amazônia pode ser classificada como uma região de grande risco devido às ações antrópicas e às mudanças climáticas, pois, a região possui papel fundamental no controle do regime de precipitação e umidade em grande parte do continente sul-americano, e seus recursos hídricos são cruciais na manutenção da vida selvagem e da população, além da ampla contribuição econômica através da produção de energia elétrica (Nobre *et al.*, 2007, Rodriguez *et al.*, 2011).

O objetivo principal deste trabalho foi avaliar de que forma as mudanças climáticas e no uso do solo podem impactar os recursos hídricos na bacia do Rio Madeira. A região vêm sofrendo diversas alterações, naturais e antrópicas - destaque ao desflorestamento. Nesse contexto, aplicou-se o modelo MGB-INPE (Rodriguez, 2010) alimentado com as projeções de modelos atmosféricos correspondentes aos cenários de mudanças climáticas (período: 2011 a 2099) com o intuito de estudar os processos hidrológicos na bacia do Rio Madeira, na região Amazônica, avaliar o desempenho do modelo nas simulações de vazões e mensurar os efeitos das mudanças climáticas e no uso do solo na resposta hidrológica.

2 A BACIA DO RIO MADEIRA

A bacia do Rio Amazonas é a mais extensa rede hidrográfica mundial e o Rio Madeira é considerado um dos mais importantes tributários, constituindo 23% do total da bacia, estendendo-se por Bolívia (51%), Brasil (42%) e Peru (7%). Parte dos seus afluentes (Madre de Dios, Beni, Mamoré, Guaporé e Grande) nascem na cordilheira dos Andes, localizados na Bolívia e Peru.

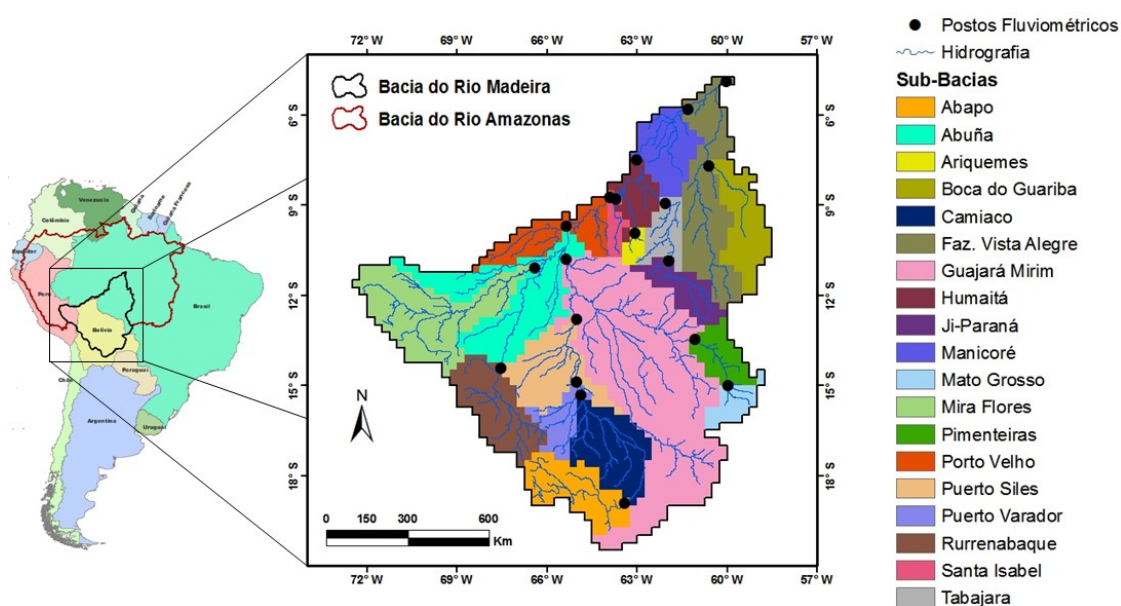


Figura 1 – Localização das bacias Amazônica e do Madeira; Em detalhe, a rede de drenagem e as estações fluviométricas utilizadas.

Nas bacias andinas da Bolívia e do Peru, o efeito do relevo é intenso e interfere no regime de precipitações, atingindo valores extremos superiores a 5000 mm/ano ao norte dos Andes e menos de 400 mm/ano ao sul dos Andes (Espinoza Villar *et al.*, 2009). A bacia do Rio Madeira possui área de drenagem de 1420000 km², precipitação média anual de 1834 mm e vazão média anual de 31704 m³s⁻¹. A bacia do Rio Madeira possui aspectos semelhantes à bacia Amazônica, caracterizando-se por um clima quente e úmido (clima equatorial) com temperatura média anual variando entre 24 e 26 °C na planície Amazônica.

3 MODELO HIDROLÓGICO MGB-INPE

O modelo hidrológico utilizado no estudo foi o MGB-INPE (Modelo Hidrológico de Grandes Bacias do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) (Tomasella e Rodriguez, 2013; Rodriguez, 2011), desenvolvido com base no MGB-IPH (Collischonn *et al.*, 2007), com alterações nas rotinas de estimativa de evaporação e separação de fluxos. O modelo é composto dos seguintes módulos: balanço de água no solo; evapotranspiração; escoamentos superficial, sub-superficial e subterrâneo na célula e escoamento na rede de drenagem. A parametrização do MGB-INPE combina a formulação probabilística de distribuição de colunas de água nos pontos de grade como no modelo Xinanjiang (Zhao, 1992; Zhao e Liu, 1995) com os princípios utilizados no TOPMODEL (Beven e Kirkby, 1979) para simular a resposta hidrológica. A perda d'água por interceptação é simulada através da metodologia proposta por Gash *et al.* (1995). A captura d'água da vegetação desde o solo é resolvida considerando o modelo de distribuição de raízes de Jarvis (1989). A evapotranspiração potencial é calculada utilizando o método proposto por Penman-Monteith (Allen, *et al.*, 1998), diretamente no modelo hidrológico. A restrição imposta à transpiração pelo incremento na evaporação potencial é considerada através da abordagem proposta por Feddes (1994). Quando ocorre o aumento do nível da água acima das margens do canal principal, o modelo ainda realiza o extravasamento de água do rio para às células de planície que possam existir. As trocas de água entre canal e planície podem ocorrer para todas as seções transversais dos canais principais e para os elementos de planície interconectados.

4 DADOS E METODOLOGIA

As informações topográficas foram obtidas do SRTM (*Shuttle Radar Topographic Mission*) com resolução espacial de ~90 metros, o que proporcionou a geração da rede de drenagem pelo sistema TerraHidro (Rosim *et al.*, 2008). Os dados históricos de vazões observadas foram coletados da Agência Nacional de Águas (ANA) e do *Geodynamical, hydrological and biogeochemical control of erosion/alteration and material transport in the Amazon basin* (HYBAM), os quais foram utilizados para a calibração do MGB-INPE. Foram selecionadas 19 estações fluviométricas (Figura 1), com informações disponíveis no período de 1970 a 1990. Os dados meteorológicos foram obtidos da base de dados do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Os dados da evolução histórica do uso do solo no período de calibração do MGB-INPE foram obtidos do trabalho realizado por Leite *et al.* (2010). Todos esses planos de informação foram utilizados nas etapas de calibração e validação do modelo hidrológico.

Os cenários de projeções climáticas utilizados no estudo, foram obtidos a partir de 3 modelos distintos. Foram utilizadas as informações dos membros (CTL, LOW, MED e HIG) do *downscaling* dinâmico das projeções globais do modelo HadCM-3, desenvolvidas com o modelo atmosférico Eta-CPTEC (Chou *et al.*, 2011), as projeções globais do modelo MIROC5, produzido pela comunidade Japonesa de pesquisa (Watanabe *et al.*, 2010), e do modelo global CSIRO-MK3 (Gordon *et al.*, 2002). As projeções regionais do modelo HadCM-3 correspondem ao cenário A1B do AR4 (IPCC, 2007), enquanto que as projeções dos modelos MIROC5 e CSIRO-MK3

correspondem aos novos cenários "*Representative Concentration Pathways*", RCP 4.5, do AR5. Os dados meteorológicos mencionados apresentam uma série diária para o clima atual (1961 a 1990) e futuro (2011 a 2099). As variáveis utilizadas foram: precipitação, temperatura ambiente do ar, pressão atmosférica, radiação solar incidente, umidade específica do ar e velocidade do vento. Os dados do uso do solo para os períodos futuros foram obtidos do trabalho de Soares-Filho *et al.* (2005).

4.1 Calibração e Validação

A calibração foi realizada de forma manual, comparando as vazões registradas durante o período histórico (1970-1990) às vazões simuladas pelo MGB-INPE alimentado com dados observados. O MGB-INPE foi validado com os dados simulados pelos modelos atmosféricos para o período histórico. As funções objetivo consideradas em ambas foram: o coeficiente de Nash Sutcliffe das vazões diárias (NS); o coeficiente de Nash Sutcliffe dos logaritmos das vazões diárias (NS_{\log}) e o erro relativo de volume baseado na integração das vazões diárias (ΔV) (Gupta *et al.*, 2009).

4.2 Correção de Erros Sistemáticos

Erros sistemáticos são comumente encontrados em dados produzidos por modelos atmosféricos, e estas inconsistências se não corrigidas podem influenciar fortemente na resposta hidrológica ou no seu equilíbrio (Wood *et al.*, 2002; Bárdossy e Pegram, 2011). Nesse contexto, foram empregadas duas metodologias distintas para minimizar estes erros. Nos campos de precipitação, utilizou-se o método estatístico percentil-percentil (Bárdossy e Pegram, 2011). Enquanto que para as outras variáveis meteorológicas, utilizadas no cálculo de evapotranspiração, foi adotada a metodologia *delta change* (Hay *et al.*, 2000; Xu *et al.*, 2005).

4.3 Experimentos

No caso das projeções futuras foram elaborados dois experimentos. O primeiro considera apenas as projeções das mudanças climáticas, previstas pelos modelos mencionados, mantendo as condições de cobertura e uso do solo de 1990 descritas por Leite *et al.* (2010). O segundo combina ambas as projeções futuras: mudanças climáticas e no uso do solo previstas por Soares-Filho *et al.* (2005). A comparação dos resultados em ambos experimentos considera como linha base as simulações obtidas com o modelo Eta CTL durante o período histórico, visto que o seu comportamento médio na etapa de calibração foi consideravelmente coerente. Essa relação entre as projeções dos modelos e a linha base permite identificar os impactos associados à cada modelo individualmente com suas respectivas forçantes.

Tabela 1: Postos fluviométricos utilizados na calibração seus respectivos coeficientes estatísticos.

CÓDIGO	ESTAÇÃO	RIO	LAT	LON	NS	NS_{\log}	ΔV
1	Mira Flores	Rio Madre de Dios	-11.11	-66.41	0.53	0.63	13.8%
2	Rurrenabaque	Rio Beni	-14.44	-67.54	0.74	0.68	-5.0%
3	Abapo	Rio Grande	-18.92	-63.42	0.72	0.72	1.9%
4	Camiaço	Rio Mamoré	-15.34	-64.86	0.77	0.75	5.8%
5	Puerto Varador	Rio Mamoré	-14.88	-65.00	0.78	0.80	7.7%
6	Puerto Siles	Rio Mamoré	-12.80	-65.00	0.82	0.74	-2.4%
7	Mato Grosso	Rio Guaporé	-15.01	-59.96	0.84	0.84	4.7%
8	Pimenteiras	Rio Guaporé	-13.49	-61.05	0.78	0.84	3.3%

9	Guajara-mirim	Rio Mamoré	-10.79	-65.35	0.72	0.73	-3.6%
10	Abuã	Rio Madeira	-9.70	-65.37	0.88	0.84	2.9%
11	Porto Velho	Rio Madeira	-8.75	-63.92	0.82	0.83	5.2%
12	Santa Isabel	Rio Candeias	-8.80	-63.71	0.79	0.79	0.3%
13	Ariquemes	Rio Jamari	-9.93	-63.07	0.58	0.76	7.5%
14	Ji-Paraná	Rio Ji-Paraná	-10.87	-61.94	0.79	0.87	-5.0%
15	Tabajara	Rio Ji-Paraná	-8.93	-62.06	0.84	0.88	-10.3%
16	Humaitá	Rio Madeira	-7.50	-63.02	0.78	0.80	5.2%
17	Manicoré	Rio Madeira	-5.82	-61.30	0.77	0.79	1.3%
18	Boca da Guariba	Rio Aripuanã	-7.71	-60.59	0.93	0.92	1.2%
19	Fazenda Vista Alegre	Rio Madeira	-4.90	-60.03	0.86	0.84	1.0%

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Calibração e Validação

Em geral, a calibração do modelo apresenta bons resultados. Apenas nas sub-bacias de Mira Flores e Tabajara o erro de volume foi superior a 10% (Tabela 1), podendo estar fortemente relacionado à carência de postos pluviométricos na região, pois, ambas apresentam poucas estações com dados observados disponíveis no período histórico.

Na etapa de validação, os resultados das simulações apresentam coerência comparados aos resultados obtidos na calibração. Embora, nas sub-bacias com menor área de drenagem e coincidentemente de cabeceiras, houve pioras na representação das vazões em alguns modelos [Mira Flores (Eta CTL, Eta HIG), Mato Grosso (Eta CTL, CSIRO-MK3), Pimenteirias (CSIRO-MK3), Abapo (MIROC5) e Ji-Paraná (CSIRO-MK3)], onde o erro de volume permaneceu acima de 20%.

Por simplicidade, dos 19 postos utilizados no estudo, os resultados apresentados nesta seção correspondem apenas à estação Fazenda Vista Alegre, referente à foz da bacia. Situada ao norte (jusante), a estação recebe contribuições de todas as sub-bacias do Rio Madeira (Figura 1). Na tabela 2, são apresentados os coeficientes estatísticos para a estação Fazenda Vista Alegre. Os resultados das simulações do período histórico mostram que o MGB-INPE representa as vazões médias mensais com acurácia. Contudo, nota-se uma defasagem na época de cheia, em que as vazões calculadas são subestimadas.

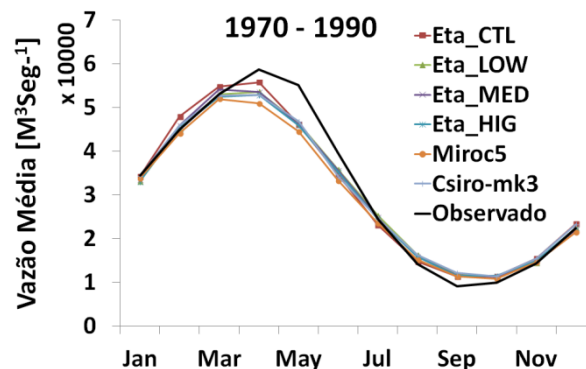


Figura 2 – Vazão média observada e calculada pelo MGB-INPE, utilizando como entrada os dados dos modelos supracitados (período de validação).

Tabela 2: Métricas estatísticas referente ao período de validação, na estação Faz. Vista Alegre.

	Eta CTL	Eta LOW	Eta MED	Eta HIG	MIROC5	CSIRO-MK3
NS	0.70	0.77	0.78	0.71	0.78	0.61
NS _{Log}	0.76	0.80	0.82	0.76	0.75	0.55
ΔV	-0.08	-0.06	-0.05	-0.06	-0.04	-0.05

5.2 Impactos das Mudanças Climáticas e Mudanças no Uso do Solo

Em geral, as simulações sugerem uma redução nas descargas em comparação ao clima atual (linha base referente ao modelo Eta CTL 1970-1990) em quase todos os modelos até o final do século, apenas os modelos MIROC5 e CSIRO-MK3 apresentam um sinal de aumento das vazões na época de cheia. O modelo Eta LOW também propõe um incremento nas vazões (referente aos períodos de 2041 a 2070 e 2071 a 2099) durante a estação de estiagem.

No primeiro experimento, onde são consideradas apenas as mudanças climáticas, é possível observar uma ampla variabilidade entre os modelos em relação ao aumento ou redução das vazões. Os impactos nas vazões são intensificados gradativamente no decorrer dos anos, onde, uma significativa redução das descargas é sugerida pela maioria dos modelos. Todavia, para o período de 2011 a 2040, o modelo CSIRO-MK3 indica um aumento das vazões iniciando no fim da época de cheia até o fim da época seca.

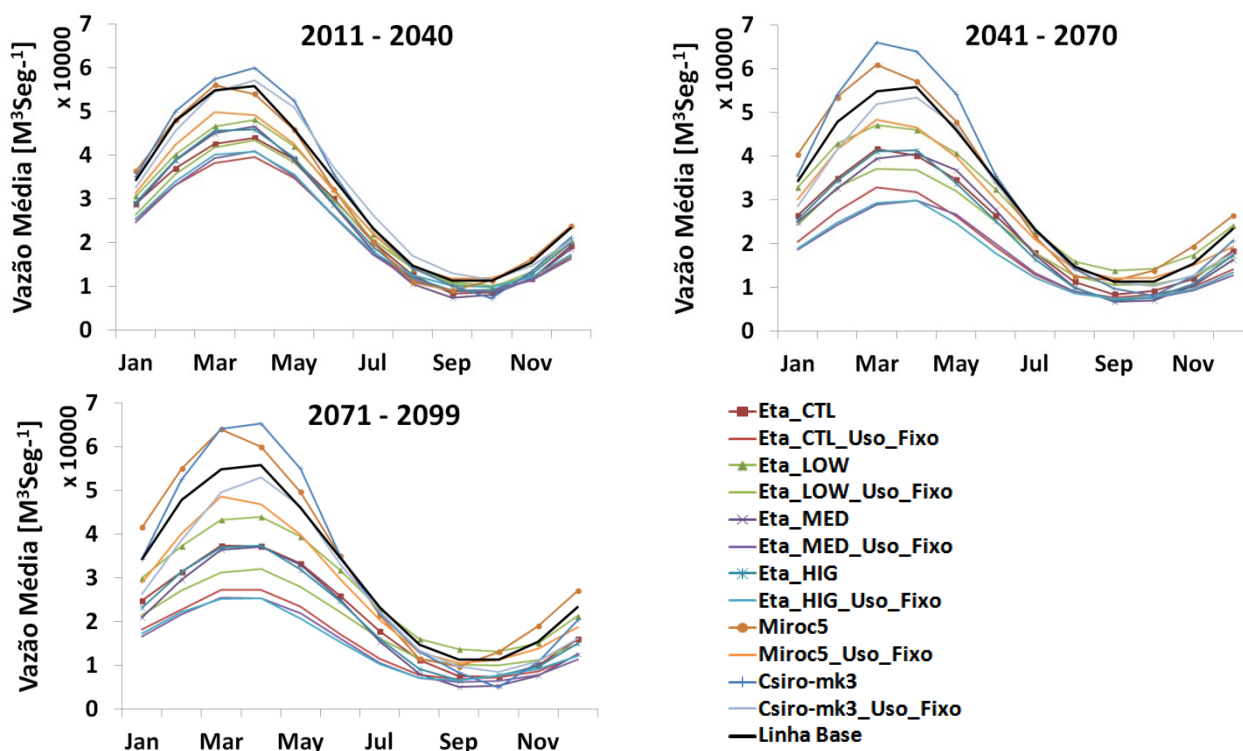


Figura 3 – Vazões médias mensais calculadas pelo MGB-INPE, para todos os modelos, na bacia do Rio Madeira. As linhas com marcadores indicam as simulações considerando as mudanças do uso do solo; as linhas sem marcadores indicam as simulações considerando apenas as mudanças climáticas e o uso do solo inalterado; a linha contínua em preto representa alinha base.

As análises das simulações mostram que os impactos nas descargas são suavizados ou menos intensos, quando são consideradas as alterações no uso do solo, comparado às simulações com o uso do solo inalterado. As projeções do modelo de simulação espacial de desmatamento sugerem

alterações/perda da cobertura florestal em aproximadamente 47% em toda a bacia, até o fim do século. A troca de floresta por pastagem ou cultivos favorecem a diminuição da evapotranspiração e o incremento da produção hídrica. Esse incremento compensa parte da diminuição das descargas associada com as mudanças climáticas, mas mantém o sinal de redução da disponibilidade hídrica em relação à linha base na maioria dos modelos utilizados.

Em síntese, não há um consenso de aumento ou redução das vazões entre os modelos, devido ao elevado grau de dispersão entre eles. Pois, os modelos MIROC5 e CSIRO-MK3 sugerem um incremento das vazões a partir do ano de 2041, especialmente na época de cheia. Nota-se também que, pequenos sinais de alterações na sazonalidade (adiantamento de ~ 1 mês) são insinuados pelo modelo MIROC5. Além disso, nas bacias com áreas de drenagem maiores, as reduções nas vazões foram mais frequentes na época chuvosa (dezembro a abril), mantendo padrões semelhantes. Enquanto que, nas bacias menores, os padrões foram relativamente distintos, prevalecendo a variabilidade entre os modelos.

6 CONCLUSÕES

Análises dos impactos das mudanças globais na bacia do Rio Madeira, um dos mais importantes afluentes do Amazonas, foram avaliadas considerando projeções de mudanças climáticas de modelos atmosféricos e mudanças de uso da terra. Em geral, o modelo hidrológico MGB-INPE apresentou um bom comportamento na simulação das séries históricas de vazões na bacia, possibilitando a sua aplicação para a obtenção de cenários futuros. Os dados disponibilizados pelos modelos atmosféricos apresentaram coerência e aplicabilidade em simulações hidrológicas, desde que seus erros sistemáticos sejam previamente minimizados.

Em geral, uma tendência de redução nas vazões até o final do século é indicada pelo MGB-INPE, associada às mudanças climáticas e no uso e cobertura do solo. Os impactos das mudanças climáticas e das mudanças no uso e cobertura do solo apresentam sinais antagônicos, onde o incremento das descargas associado à perda da floresta compensa parte dos efeitos de diminuição das mesmas, associado com o incremento de temperatura e diminuição de precipitação para os cenários de mudanças climáticas. O forte sinal de decaimento das vazões até o fim do século acompanha uma tendência de aumento da temperatura média ambiente (de até 6.2 °C no membro Eta HIG) e expressiva variabilidade negativa nos campos precipitação, apresentando uma redução em quase todos os períodos analisados (2011 a 2099). Porém, algumas simulações indicam um aumento das vazões em épocas específicas do ano, ou seja, não se estabelece uma conformidade nítida ou um consenso de incremento ou redução das vazões entre os modelos aplicados.

Os resultados apresentam uma grande variabilidade entre modelos, que provém das incertezas inerentes a cada um deles e à cadeia de modelos utilizadas para o estudo de impactos. Esta variabilidade pode limitar o desenvolvimento de políticas baseadas na identificação de soluções ótimas, mas ainda permite uma exploração de potencialidades do sistema, através das análises das incertezas. O modelo hidrológico apresenta algumas limitações relacionadas às diferenças de regime de vazões, tempo de propagação das ondas de cheia e efeitos de remanso. Estas limitações, somadas às incertezas presentes no modelo regional de projeções climáticas e no modelo de simulação espacial de desmatamento da Amazônia, além da complexidade existente na estimativa de escoamento dos rios Amazônicos, ainda representam grandes desafios à comunidade científica.

REFERÊNCIAS

ALLEN, R. G.; Pereira, D. R.; Smith, M. *Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water*. FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations. Roma, 1998. Disponível em: <<http://www.fao.org/docrep/X0490E/X0490E00.htm>>. Acesso em 14 de julho de 2010.

- BÁRDOSSY, A., G. Pegram (2011), Downscaling precipitation using regional climate models and circulation patterns toward hydrology, *Water Resour. Res.*, 47, W04505.
- BEVEN, K.J.; Kirkby, M.J. A physically based variable contributing area model of basin hydrology, *Hydrological Sciences Bulletin*, v. 24, p. 43-69, 1979.
- CHOU, S.C.; Marengo, J.A.; Lyra, A.A.; Sueiro, G.; Pesquero, J.F.; Alves, L.M.; Kay, G.; Betts, R.; Chagas, D.J.; Gomes, J.L.; Bustamante, J.F.; Tavares, P. ;Downscaling of South America present climate driven by 4-member HadCM3 runs. *Springer-Verlag* 2011.
- COLLISCHONN, W.; Allasia, D.; Da Silva, B. C. & Tucci, C. M. (2007): The MGB-IPH model for large-scale rainfall—runoff modelling, *Hydrological Sciences Journal*, 52:5, 878-895
- ESPINOZA VILLAR, J.C. . Spatio-temporal rainfall variability in the Amazon basin countries (Brazil, Peru, Bolivia, Colombia, and Ecuador). *International Journal of Climatology*, v. 29, p. 1574-1594, 2009.
- FEDDES, R.A. and K.J. Lenselink 1994. *Evapotranspiration. In: Drainage Principles and Applications*, H.P. Ritzema (ed), ILRI, Wageningen, 1125 p.
- GASH, J.H.C.; Lloyd, C.R.; Lachaud, G. Estimating sparse forest rainfall interception with an analytical model. *Journal of Hydrology*, v. 170, p. 79-86, 1995.
- GORDON, H.B., LD. Rotstain, J.L. McGregor, M.R. Dix, E.A. Kowalczyk, S.P. O’Farrell, L.J. Waterman, A.C. Hirst, S.G. Wilson, M.A. Collier, I.G. Watterson and T.I. Elliott (2002), The CSIRO Mk3 Climate System Model, CSIRO Atmospheric Research technical paper, 60, 130pp.
- GUPTA, H.V.; Kling, H.; Yilmaz, K.K.; Martinez, G.; Decomposition of the mean squared error and NSE performance criteria: implications for improving hydrological modeling. *Journal of hydrology*, v. 377, p. 80-91, 2009.
- HAY, L.E., R.L. Wilby, and G.H. Leavesley. 2000. A comparison of delta change and downscaled GCM scenarios for three mountainous basins in the United States. *J. Am. Water Res. Assoc.* 36:387–398 Hydrological Processes (25) 1228-1242, 2011.
- IPCC Climate Change 2007: Summary for policymakers. Contribution of working group I to the fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.
- JARVIS, N.J. A simple empirical model of root water uptake. *Journal of Hydrology*, v. 107, p. 57-72, 1989.
- LEITE, C. C. , Costa, M. H. , de Lima, C. A. , Ribeiro, C. A. A. S. and Sedyama, G. C.(2010) 'Historical reconstruction of land use in the Brazilian Amazon (1940-1995)', *Journal of Land Use Science*, First published on: 21 December 2010.
- NOBRE, Carlos A; Sampaio, G.; Salazar, L.; Mudanças climáticas e Amazônia. *Cienc. Cult.* , São Paulo, v. 59, n. 3, 2007 . Disponível em: <<http://cienciaecultura.bvs.br/pdf/cic/v59n3/a12v59n3.pdf>>. Acesso em: 06 Fev 2011.
- RODRIGUEZ, D. A.; *Impactos dos padrões espaciais da vegetação nas variáveis atmosférica e terrestre do ciclo hidrológico, em bacia de floresta amazônica*. 2011. 208 f. Tese (Doutorado em Meteorologia), Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2011.
- RODRIGUEZ, D.A.; Tomasella, J.; Linhares, C. Is theForest conversion to pasture affecting the hydrological response of Amazonian catchments? Signals in the Ji-Paraná Basin. *Hydrological Processes*, v. 24, p. 1254-1269, 2010
- ROSIM, S.; Monteiro, A. M. V.; Rennó, C. D.; Oliveira, J. R. F. Uma ferramenta open source que unifica representações de fluxo local para apoio à gestão de recursos hídricos no Brasil. IP. *Informática Pública*, v. n. 1, p. 29-49, 2008.
- SOARES-FILHO, Britaldo Silveira *et al.* Cenários de desmatamento para a Amazônia. *Estud. av.* [online]. 2005, vol.19, n.54 [cited 2012-11-03], pp. 137-152.
- TOMASELLA, J., RODRIGUEZ, D.A. A numerical approach for modelling sub-grid variability in tropical catchment . *Hydrological Processes* - Submitted 2013;
- WATANABE, Masahiro, and Coauthors, 2010: Improved climate simulation by miroc5: mean states, variability, and climate sensitivity. *J. Climate*, 23, 6312–6335.
- WOOD, A. W.; Maurer, E. P.; Kumar, A.; Lettenmaier, D. P. Long-range experimental hydrologic forecasting for the eastern United States. *Journal of Geophysical Research Atmospheres*, 107, 4429, 2002.
- XU, C.Y., E. Widen, and S. Halldin. 2005. Modeling hydrological consequences of climate change: Progress and challenges. *Adv. Atmospheric Sci.* 22(6):789–797.
- ZHAO, R.J. and Liu, X.R. The Xinanjiang model. In: Singh, V.P. (Ed.) *Computer Models of Watershed Hydrology*. Highlands Ranch: *Water Resources Publication*, 1995. p. 215–232.
- ZHAO, R.J. The Xinanjiang model applied in China. *Journal of Hydrology*, v. 135, p.371–381, 1992.