

Resposta hidrológica a cenários de mudanças globais na bacia do Rio Xingu

Maria Cecília Rodrigues do Prado, Daniel Andrés Rodriguez, Javier Tomasella
Earth System Science Center - Centro de Ciência do Sistema Terrestre
National Institute for Space Research - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
cecilia.prado@inpe.br

Abstract – Hydrologic Response to Scenarios of Climate Changes on the Xingu River Basin

The water resources are directly impacted by the climate conditions and land use, so, the effects of global changes are likely to affect the hydrological cycles, which may cause serious problems to society. Therefore, it is necessary to know these impacts, so mitigation activities can be done. In order to assess the effects of global changes in the Xingu river basin, one of the major tributaries of the Amazon River, this study resorted to the MGB/INPE, a macro scale hydrological model, feed by a scenery of future atmospheric condition, generated by the regional model Eta/CPTEC, for the period of 2011 to 2099. Model calibration was performed for the period of 1976 to 1990, followed by the bias correction. According to projections, the mean flow gradually decreased, reaching critical values which can cause serious damage to ecosystems and human population.

Hydrological modeling, climate change, Xingu River

Introdução

As mudanças climáticas decorrentes do aumento de gases de efeito estufa já estão ocorrendo e há indícios de que se agravarão. Seus efeitos são potencialmente ameaçadores às bases naturais de sustentação da vida no planeta, já que colocam em risco os recursos naturais, a produção agrícola e a saúde humana. As alterações previstas englobam o aumento do efeito estufa, danos à camada de ozônio, escassez e poluição de águas, degradação dos solos, perda de biodiversidade e pobreza. (ROSA; MALUF, 2010; IPCC, 2007; CHACON; OLIVEIRA, 2010)

Entre os efeitos desses processos na Amazônia está o aumento da suscetibilidade a ocorrências de queimadas como consequência das severas secas ocasionadas pela alteração da temperatura das águas dos oceanos, o que será cada vez mais comum à medida que se aumenta a concentração de gases de efeito estufa na atmosfera (FEARNSIDE, 2010). É possível que extensas áreas de florestas sejam substituídas por outros ecossistemas, a exemplo das savanas, mais tolerantes às novas condições de altas temperaturas, secas e queimadas, assim como há projeções de significativa porcentagem de extinção de espécies vegetais do Cerrado e da Floresta Amazônica (IPCC, 2007).

As mudanças climáticas, à medida que podem alterar a quantidade e qualidade da água, devem trazer efeitos adversos sobre o regime hidrológico. A distribuição de água para consumo humano pode ser prejudicada, levando grande quantidade da população a ficar sem acesso à água adequada para sua sobrevivência. Além disso, são comprometidas as atividades agrícolas, aumentando o risco da ocorrência de crises alimentares. Os recursos hídricos são fundamentais, ainda, na manutenção de ecossistemas naturais, que podem ser intensamente prejudicados. Adicionalmente, têm papel importante na matriz energética brasileira, constituída majoritariamente pela geração hidrelétrica.

Nesse contexto, a bacia do rio Xingu merece especial atenção, pois, além de abrigar diversas unidades de conservação e terras indígenas, é ainda um local estratégico para as políticas de geração de energia, já que o Governo Federal tem grande interesse na implantação da Usina Hidrelétrica de Belo Monte nessa região.

O rio Xingu é um dos tributários da calha sul do rio Amazonas, estendendo-se pelos estados de Mato Grosso e Pará. Possui cerca de 1600km de extensão e sua bacia abrange uma área de aproximadamente 51 milhões de hectares. Além de núcleos urbanos, convivem na região fazendeiros, colonos, população ribeirinha e indígena. Muitas de suas nascentes, em especial as localizadas na parte mato-grossense, se encontram em situação de vulnerabilidade devido à sua forma de ocupação e forte pressão para a expansão de fronteiras agrícolas. (WEISSHEIMER et al., 2007; ESCADA et al., 2005)

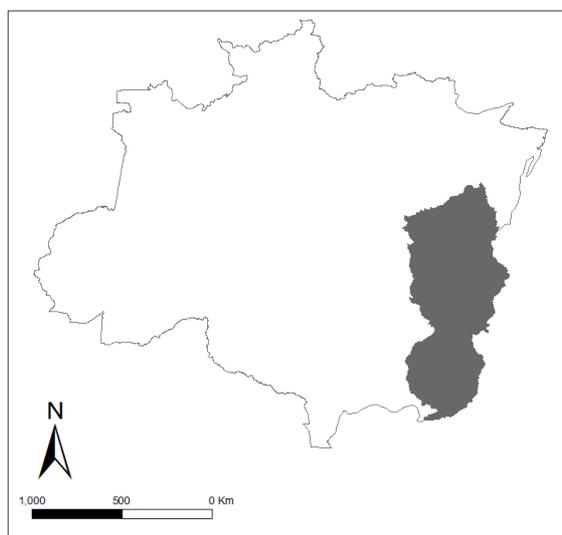


Figura 1 - Localização da bacia do rio Xingu na parcela brasileira da bacia Amazônica.

Em geral, a vegetação encontrada na bacia é constituída por Floresta Ombrófila, Floresta Estacional e Savana. Há significativa ocorrência de atividades antrópicas alteradoras da paisagem, como a agricultura e a pecuária. A figura 2 apresenta a distribuição dos grupos de vegetação encontrados na região e utilizados nesse trabalho e a tabela 1 apresenta as características desses grupos.

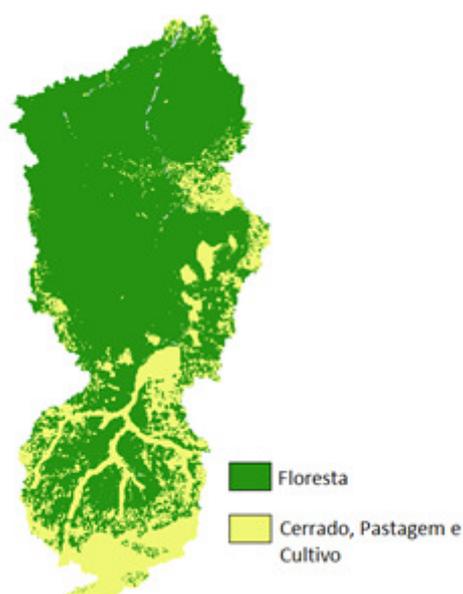


Figura 2 - Vegetação na bacia do rio Xingu. **Fonte:** Sestini et al., 2002

Tabela 1 - Características dos grupos de vegetação da bacia do rio Xingu

Grupo 1	Árvores latifoliadas perenes e árvores latifoliadas decíduas	Floresta
Grupo 2	Árvores latifoliadas com cobertura arbustiva/herbácea, arbustos latifoliados com cobertura herbácea perene, arbustos latifoliados com solo exposto, solo exposto, gramíneas, herbáceas e cultivos	Cerrado, pastagem e cultivo

Aproximadamente 75% do território da bacia se encontra coberto por vegetação classificada como grupo 1, enquanto cerca de 25% restante se classifica como grupo 2.

Dentre os tipos de solo encontrados na região, os mais abundantes são os Latossolos, solos Podzólicos, Gleissolos e solos Litólicos. A figura 3 apresenta a distribuição desses solos, divididos em grupos conforme algumas características de interesse para a modelagem hidrológica, identificadas na tabela 2.

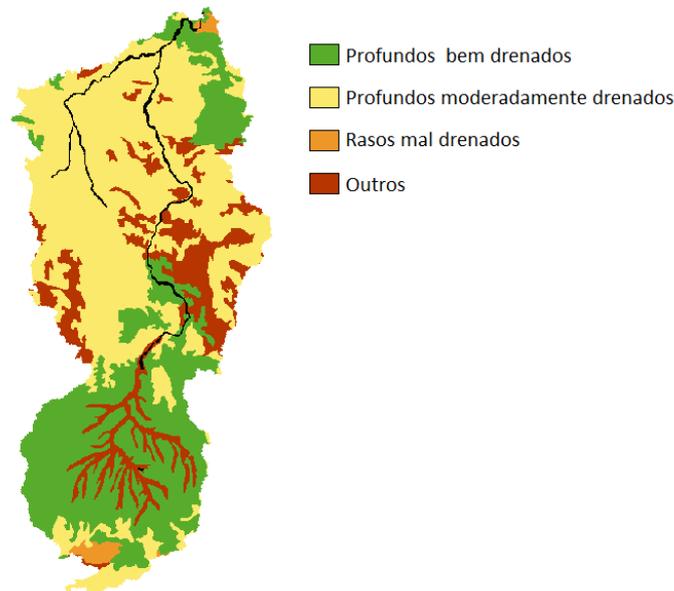


Figura 3 - Grupo de solos encontrados na bacia do rio Xingu. **Fonte:** Embrapa, 1981

Tabela 2 - Características dos grupos de solo da bacia do rio Xingu

Grupo 1	Latossolos (exceto Brunos Distróficos),	Profundos bem drenados
Grupo 2	Latossolos Brunos Distróficos, Terras Roxas Estruturadas, solos Arenoquarzosos, solos Podzólicos Brunos e Podzólicos Vermelhos,	Profundos moderadamente drenados
Grupo 3	Cambissolos, solos Aluviais, solos Podzólicos Plínticos e solos Podzol	Rasos mal drenados
Grupo 4	Brunizens, Regossolos, Lateritas Hidromórficas, Gleissolos, solos salinos, solos concrecionários, Brunos não cálcicos, Solonetz Solodizados, Vertissolos e Planossolos	Outros

Cerca de 50% da área da bacia é coberta por solos incluídos no grupo 2, 33% por solos incluídos no grupo 1, 15% de solos do grupo 4 e apenas 2% de solos englobados pelo grupo 3, evidenciando que, de modo geral a bacia apresenta boas condições para a drenagem de água.

Metodologia

O modelo hidrológico utilizado foi o Modelo de Grandes Bacias, MGB/INPE, desenvolvido com base no MGB do Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH) (COLISCHONN et al., 2007), modificado por Tomasella et al., (em fase de elaboração). As principais alterações ocorreram nos módulos de estimativa de evaporação e separação de fluxos e a utilização dos princípios do TOPMODEL (BEVEN; KIRKBY, 1979) junto com a formulação probabilística de reservatórios nos pontos de grade (RODRIGUEZ, 2011). A resposta hidrológica da bacia é correlacionada com padrões de auto-organização observados na grande escala e o modelo resolve separadamente as componentes de balanço de água no solo, evaporação de superfície livre, transpiração da vegetação, os escoamentos superficial, sub-superficial e subterrâneo para cada célula, além do escoamento da rede de drenagem (RODRIGUEZ, 2011).

O cálculo da evapotranspiração utiliza o método de Penman-Monteith (Allen, et al., 1988) e os parâmetros utilizados para a calibração são a transmissividade do solo quando o lençol freático se encontra na superfície, o fator de forma da relação transmissividade-profundidade, a condutividade hidráulica saturada, o parâmetro de Brooks-Corey, a porcentagem de umidade do solo que limita o movimento de água livre no solo, a anisotropia na condutividade hidráulica do solo, a capacidade de armazenamento na camada superior do solo e a espessura máxima da camada superior do solo (RODRIGUEZ, 2011).

Para a operação do modelo, foi necessário organizar e formatar informações fisiográficas sobre a área de estudo, sendo para isso utilizadas rotinas desenvolvidas por Paz e Collischonn (2008) e o *software* Idrisi. Foram obtidas imagens da *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM), que fornecem os Modelos

Digitais de Elevação (MDE) com resolução horizontal de 90m. As imagens tiveram sua resolução alterada para 250m por razões de limitação computacional e foram submetidas a um processo de preenchimento de depressões. Foi possível, então, a determinação das direções de fluxo do escoamento e as áreas de drenagem acumuladas para cada pixel. A partir dessas informações foram geradas a rede de drenagem e a delimitação da bacia para a alta resolução (250m). Com base nas coordenadas de estações fluviométricas da Agência Nacional das Águas (ANA) foram delimitadas também sub-bacias, sendo essas estações seus exutórios.

Com base nos resultados da alta resolução, foram geradas informações referentes à topografia e drenagem para a baixa resolução, definida em 10km para o lado de cada célula, associadas a atributos do solo e sua cobertura, necessários ao funcionamento do modelo. Foram utilizados o mapa de solos desenvolvido pela Embrapa (1981), com resolução de 1km, o mapa de vegetação desenvolvido pelo ProVeg (SESTINI et al., 2002) com resolução também de 1km e mapas anuais de uso do solo desenvolvidos por Cardille e Foley (2003), com resolução de 10km.

Foram necessários, ainda, dados meteorológicos como a precipitação e parâmetros para o cálculo da evapotranspiração, sendo utilizados os disponíveis na base de dados do Programa de Monitoramento Climático em Tempo Real da Região Nordeste (PROCLIMA) do CPTEC/INPE. Esses dados foram interpolados para o período de 1976 a 1990 para, posteriormente, realizar-se a calibração. Não foi possível a realização da calibração para anos anteriores a 1976 pelo fato de a maioria das estações fluviométricas terem sido instaladas após essa data.

O processo de calibração consistiu em modificar atributos do solo de modo que a vazão simulada fosse a mais próxima possível da vazão observada. Os parâmetros utilizados na calibração podem ser variáveis ao longo da bacia, por essa razão foram calibrados separadamente para cada sub-bacia delimitada. A avaliação da qualidade da calibração foi feita por meio do coeficiente de Nash-Sutcliffe (NSE) (Gupta, 2009) (Eq.1), do coeficiente de determinação (R_2) (Eq. 2), e do coeficiente de determinação do logaritmo das vazões (R_{log}) (Eq. 3), além do erro adimensional das vazões (ΔV) (Eq. 4). Abaixo são apresentadas as equações utilizadas para o cálculo desses coeficientes.

$$NSE = 1 - \frac{\sum_i (Q_{s_i} - Q_{o_i})^2}{\sum_i (Q_{s_i} - \bar{Q}_o)^2} \quad (1)$$

$$R_2 = \left[\frac{N \sum_i (Q_{s_i} Q_{o_i}) - (\sum_i Q_{s_i})(\sum_i Q_{o_i})}{\sqrt{[N \sum_i (Q_{s_i})^2 - (\sum_i Q_{s_i})^2][N \sum_i (Q_{o_i})^2 - (\sum_i Q_{o_i})^2]}} \right]^2 \quad (2)$$

$$R_{log} = \left[\frac{N \sum_i (\ln(Q_{s_i}) \ln(Q_{o_i})) - (\sum_i \ln(Q_{s_i}))(\sum_i \ln(Q_{o_i}))}{\sqrt{[N \sum_i (\ln(Q_{s_i}))^2 - (\sum_i \ln(Q_{s_i}))^2][N \sum_i (\ln(Q_{o_i}))^2 - (\sum_i \ln(Q_{o_i}))^2]}} \right]^2 \quad (3)$$

$$\Delta V = \frac{\sum_i Q_{s_i} - \sum_i Q_{o_i}}{\sum_i Q_{o_i}} \quad (4)$$

Onde Q_{s_i} e Q_{o_i} são as vazões simulada e observada no tempo i , e N é o total de dias utilizado na análise.

O coeficiente de determinação é eficiente em informar o grau de correlação entre os valores simulados e observados, enquanto o coeficiente de determinação do logaritmo é mais sensível aos valores mínimos. O valor desejável para esses dois coeficientes é o mais próximo possível da unidade. O coeficiente de Nash-Sutcliffe mensura a capacidade do modelo em reproduzir as vazões observadas e resultados desejáveis são os valores maiores que zero. Para o ΔV , os melhores resultados são os mais próximos de zero.

Foram obtidas previsões para as condições climáticas futuras através do *downscaling* dinâmico desenvolvido pelo CPTEC-INPE (CHOU et al., 2011) utilizando o modelo atmosférico Eta (MESINGER et al., 1988) e os cenários de mudanças climáticas do Hadley Center (GORDON et al., 2000; COLLINS et al., 2001), para os períodos compreendidos entre 1961 e 1990, 2011 e 2040, 2041 e 2070 e 2071 e 2099.

O Eta é um modelo de mesoescala, inicialmente desenvolvido na universidade de Belgrado em conjunto com o Instituto de Hidrometeorologia da Iugoslávia e utilizado operacionalmente pelo Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) do INPE. A versão utilizada fornece dados com resolução horizontal de 40km e vertical de 38 camadas. As variáveis simuladas são temperatura, ventos horizontais, umidade específica, pressão da superfície, energia cinética turbulenta e hidrometeoros de nuvens. (BUSTAMANTE, GOMES & BONATTI, 2000)

O cálculo das trocas turbulentas na vertical utiliza o esquema de Mellor-Yamada (1982), enquanto a o das trocas de energia na camada limite superficial utiliza a teoria de Monin-Obukhov e a simulação de chuva convectiva é feita conforme Miller-Janjic. A radiação de onda longa utiliza o esquema de Lacis e Hansen (1974), enquanto a radiação de onda curta é calculada pelo esquema de Fels e Schwarzkopf (1975). Utiliza, ainda, como modelo de superfície o NOAH (PAN; MAHRT, 1987; CHEN et al., 1997; EK et al., 2003)(CHOU et al., 2007; BUSTAMANTE; GOMES; BONATTI, 2000).

Os valores de precipitação simulados pelo Eta passaram por um processo de correção dos erros sistemáticos. Para o período de 1961-1990, a correção baseou-se em uma transformação da curva de distribuição de probabilidade de precipitação, enquanto para os cenários futuros foi utilizada uma distribuição do tipo Weibull com os coeficientes determinados pelo método dos mínimos quadrados.

O modelo hidrológico foi então alimentado pelos resultados corrigidos da simulação do modelo atmosférico. Os resultados para o período 1961-1990 foram utilizados para avaliação do desempenho dos modelos, através da comparação entre os valores simulados e observados.

Descobertas e Discussões

A calibração do modelo na maior parte da bacia se apresentou satisfatória, de acordo com os métodos de avaliação utilizados, como demonstra a tabela 3, que apresenta os coeficientes calculados para os exutórios das principais regiões da bacia, localizados na figura 4. O modelo conseguiu representar bem o comportamento sazonal da vazão, como exemplificado no hidrograma referente ao ponto exutório, apresentado na figura 5, embora esteja superestimando as vazões máximas. Nesse ponto foram consideradas as vazões médias mensais, pois não foram disponibilizadas vazões diárias para essa localidade.

Tabela 3 - Resultados dos coeficientes do de avaliação do ajuste

Sub-bacia	Área (km ²)	NSE	R ₂	R _{log}	ΔV
Fazenda Cipaúba	24575	0.913	0.964	0.797	0.377
Pedra do Ó	123827	0.900	0.929	0.905	0.065
Passagem BR-080	136937	0.363	0.875	0.866	0.382
UHE Pombal	262681	0.891	0.907	0.956	0.090
Belo Monte (Exutorio)	446573	0.785	0.919	0.955	0.250

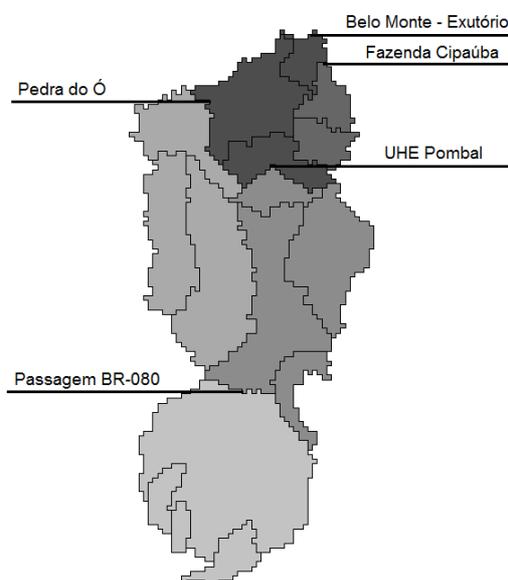


Figura 4 - Localização dos pontos exutórios das principais regiões da bacia.

Analisando o coeficiente de Nash-Sutcliffe, o modelo foi suficientemente eficiente na reprodução das séries observadas, já que todos os valores são maiores que zero. Os resultados para o coeficiente de determinação foram também bastante satisfatórios, assim como os resultados para o coeficiente de determinação para o logaritmo, sendo maiores que 0,75, intervalo no qual o desempenho da calibração é considerado bom.

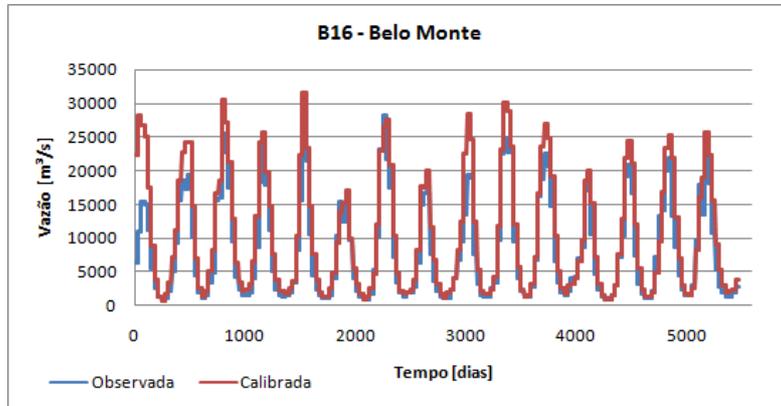


Figura 5 - Hidrograma das vazões observadas e calibradas para o período de 1976 a 1990.

As curvas de permanência para as vazões observadas e simuladas representadas na figura 6 demonstram uma tendência do modelo em superestimar as vazões, também observável na figura 5, à medida que na maior parte do tempo a curva descrita pelas vazões simuladas está acima da curva descrita pelas vazões observadas.

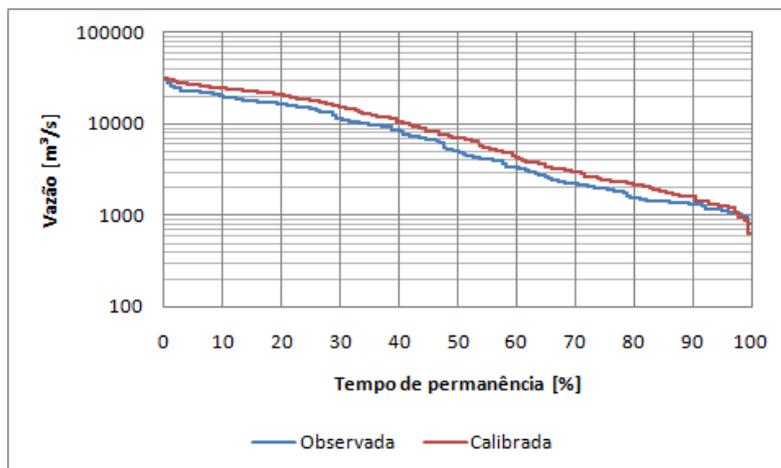


Figura 6 - Curvas de permanência de vazões calculadas e observadas no rio Xingu

Após a correção dos erros sistemáticos, os valores de precipitação simulados pelo Eta para o período de 1961 a 1990 se apresentaram bastante próximos aos valores observados para o período de 1970 a 1990, como demonstra a figura 7. A variação encontrada entre as médias anuais foi de apenas 3,4% a menos no volume de chuvas simulado pelo Eta.

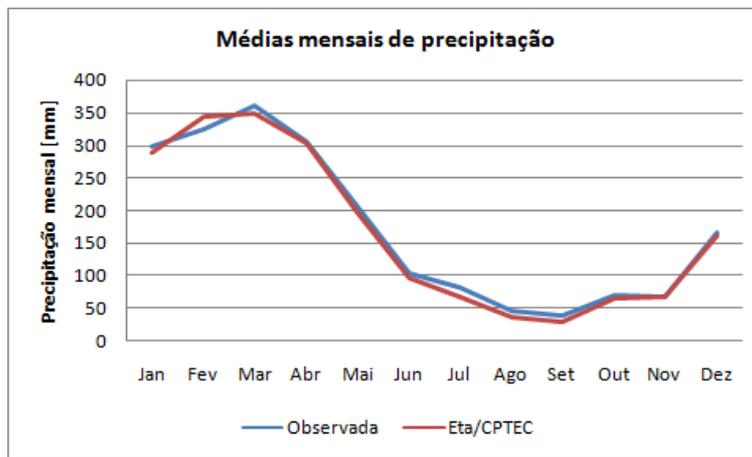


Figura 7 - Médias mensais de precipitação observadas e simuladas pelo Eta

As vazões simuladas utilizando os dados gerados pelo modelo regional Eta para o período de 1961 a 1990 se apresentaram bastante próximas às vazões simuladas com os dados observados, como demonstra a figura 8. A variação sazonal das vazões se encontra bem representada, sendo notável uma tendência de subestimação de valores máximos pela simulação com os dados do Eta. A média anual das vazões simuladas foi 11,6% menor que a média anual das vazões observadas, não sendo um valor muito alto, sugerindo que as informações simuladas pelo modelo atmosférico são adequadas à utilização pelo modelo hidrológico.

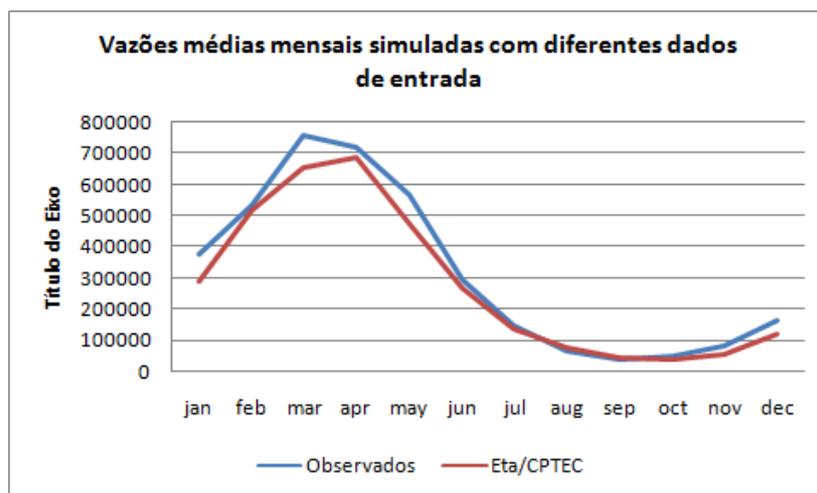


Figura 8 - Vazões médias mensais simuladas com dados de entrada observados e simulados pelo modelo Eta/CPTEC

A partir da curva de permanência dos valores diários, representada na figura 9, é possível notar um pequeno aumento nos valores máximos de vazão e, simultaneamente, diminuição significativa nos valores mínimos. Além disso, a frequência de ocorrência de baixos valores nos resultados da modelagem é maior, revelando uma tendência à simulação de tempos mais secos.

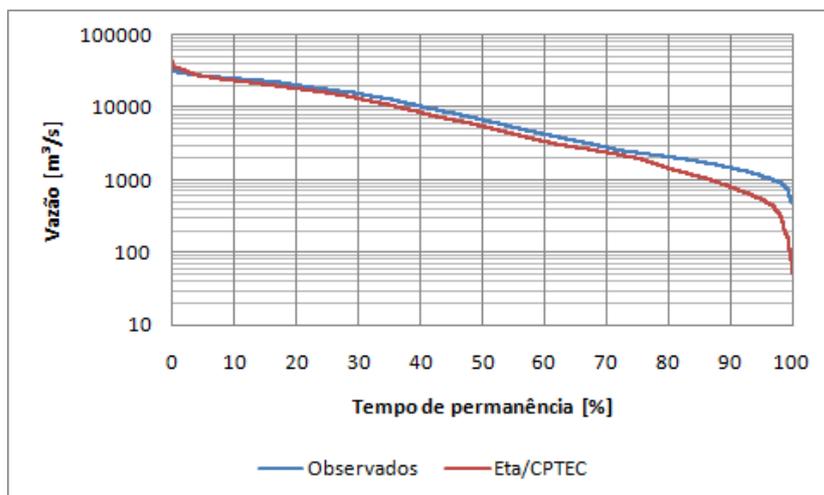


Figura 9 - Curva de permanência das vazões diárias simuladas com dados observados e dados simulados pelo modelo Eta/CPTEC

A precipitação simulada pelo Eta apresentou valores decrescentes ao longo do período analisado, como demonstrado na figura 10. Em relação aos valores observados, a diferença na precipitação média anual é 3,4% menor para o período de 1961 a 1990, e 15,4%, 26,3% e 32,9% inferior nos períodos de 2011 a 2040, 2041 a 2070 e 2071 a 2099, respectivamente.

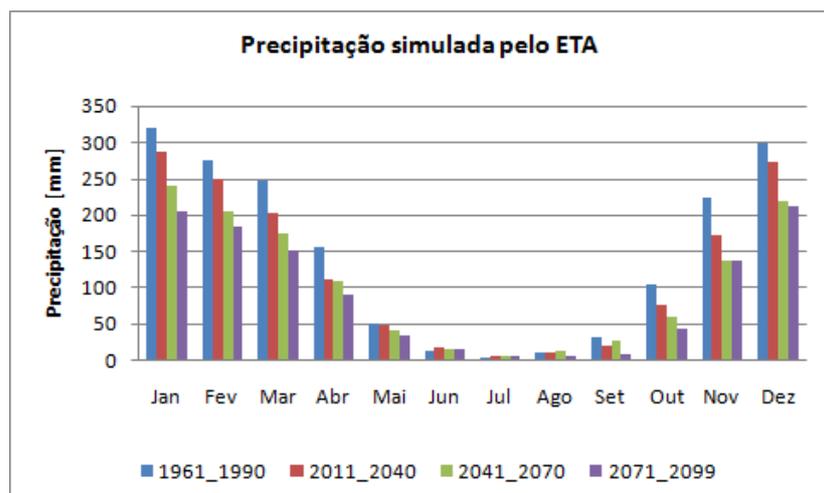


Figura 10 - Média dos valores mensais de precipitação simulados pelo Eta.

As médias dos valores mensais simulados para evapotranspiração são, na maioria dos meses, maiores ao longo do tempo, com exceção dos meses de setembro, outubro e novembro, nos quais esse comportamento não se observa, como demonstrado na figura 11. Esse resultado é, de certa maneira, esperado, pois são previstos aumentos na temperatura para o futuro e esta é um fator favorável à ocorrência da evapotranspiração.

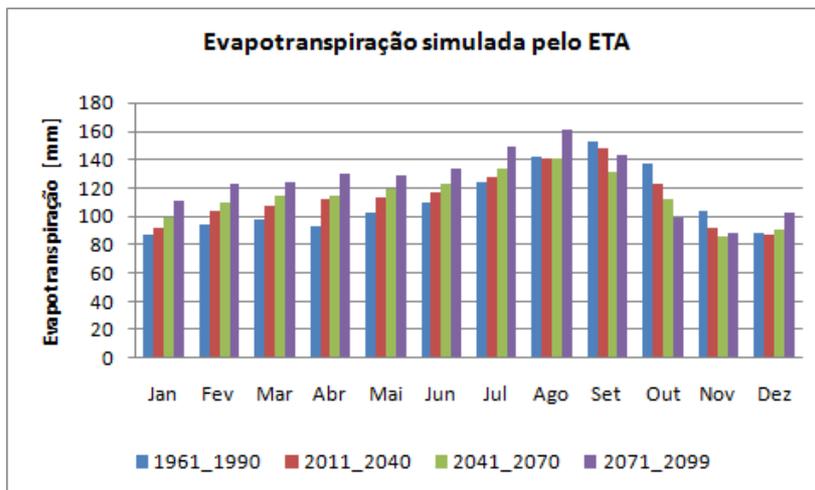


Figura 11 - Médias mensais de evapotranspiração simuladas pelo Eta.

Em relação ao período de 1961 a 1990, o valor médio anual para a evapotranspiração aumentou em 2,3%, 3,3% e 12,1% nos intervalos de 2011 a 2040, 2041 a 2070 e 2071 a 2099, respectivamente.

Os valores mais baixos de precipitação associados a valores em geral mais altos de evapotranspiração, resultaram em uma tendência clara de queda para a vazão. A diminuição nas médias anuais de vazão chegaram a 32,9%, 52,5% e 74,2% para os períodos de 2011 a 2040, 2041 a 2070 e 2071 a 2099, respectivamente. A figura 11 representa as vazões simuladas pelo MGB/INPE alimentado por dados simulados pelo Eta/CPTEC.

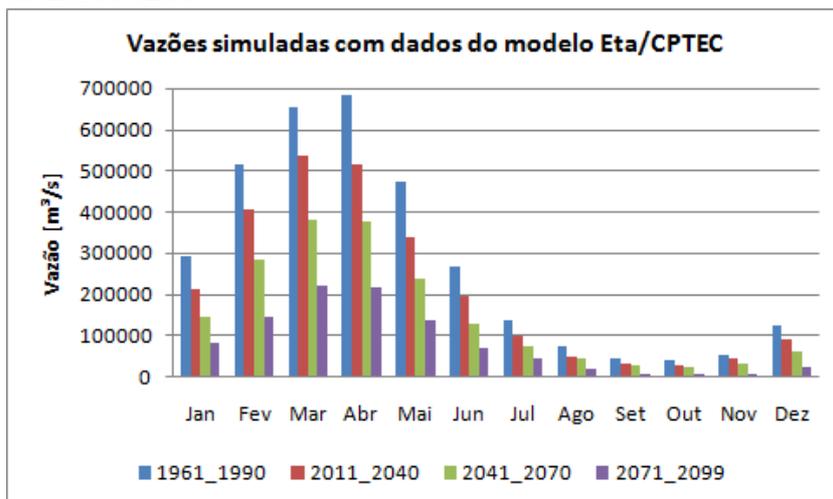


Figura 12 - Médias mensais das vazões simuladas pelo MGB/INPE alimentadas com dados simulados pelo modelo Eta/CPTEC, para os intervalos de tempo analisados.

A figura 13 é a representação da porcentagem do tempo em que as vazões foram excedidas. É possível notar que, enquanto as vazões máximas parecem não ter sofrido alterações significativas, as vazões mínimas tiveram seus valores diminuídos e sua frequência aumentada.

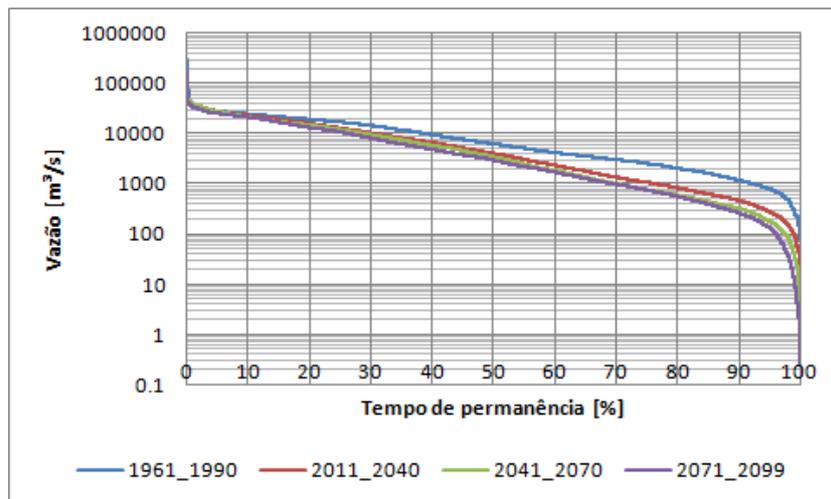


Figura 13 - Percentual do tempo em que a vazão é excedida para os valores simulados com o MGB/INPE alimentados com resultados do Eta/CPTEC

Conclusões

A modelagem hidrológica realizada aponta que a região da bacia do rio Xingu está vulnerável a sofrer estresse hídrico ocasionado por condições futuras de mudanças climáticas. A tendência geral é que a média da vazão do rio decaia gradativamente ao longo do tempo, devido à queda de valores de precipitação e aumento de valores de evapotranspiração.

O período em que os resultados se mostraram mais críticos foi o compreendido entre 2071 e 2099, no qual a vazão média anual poderá chegar a cerca de 25% da atual. Não foi possível observar grandes alterações nas vazões máximas, enquanto as vazões mínimas se tornam gradativamente menores e mais freqüentes, indicando a possibilidade de secas mais severas e mais prolongadas.

Embora esses resultados apresentem incertezas relativas à correção dos erros sistemáticos dos valores de precipitação, além da possibilidade de terem sofrido influência da tendência do modelo Eta em superestimar a evapotranspiração, os valores encontrados para o tempo passado se apresentaram bastante satisfatórios, aumentando a confiabilidade dos resultados para o futuro.

O cenário encontrado é bastante preocupante, configurando uma grande ameaça ao equilíbrio ecológico da região. Além de as condições apresentadas serem favoráveis à ocorrência de queimadas, a menor disponibilidade hídrica pode acarretar a substituição de florestas por outros biomas, resultando em perdas irreparáveis na biodiversidade e dificuldade na manutenção do modo de vida atual das populações humanas. Além disso, a geração hidroelétrica seria fortemente prejudicada, podendo tornar inviável a operação desse tipo de empreendimento na bacia.

Faz-se necessário, portanto um planejamento que defina estratégias para a prevenção e mitigação dos prováveis impactos das mudanças climáticas na região. É preciso desenvolver estudos mais detalhados, envolvendo as previsões para outros cenários de mudanças climáticas, além de cenários de mudanças de uso da terra para que sejam mais bem conhecidos os riscos ao quais a tão importante região Amazônica estará exposta.

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 junho de 2010.

BEVEN, K.J.; KIRKBY, M. J. A physically based variable contributing area model of basin hydrology. **Hydrological Sciences Bulletin**, v. 24, n. 1, 1979.

BUSTAMANTE, J. F. ; GOMES, J. L. ; BONATTI, J. P. . Avaliação preliminar das previsões do modelo regional Eta geradas a partir do sistema de assimilação de dados RPSAS. In: XI Congresso Brasileiro de

- Meteorologia, 2000, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Meteorologia, 2000. p. 3703-3710.
- CARDILLE, J. A.; FOLEY, J. A. Agricultural land-use change in Brazilian Amazônia between 1980 and 1995: Evidence from integrated satellite and census data. **Remote Sensing of Environment** n.87, p 551-562, 2003.
- CHACON, S. S.; OLIVEIRA, C. O. Breve discussão sobre os impactos das mudanças climáticas no território do Semiárido brasileiro. **Boletim da Sociedade Brasileira de Economia Ecológica** n. 23/24 p. 49-56, Brasília, 2010.
- CHEN, F.; JANJIC, Z. I.; MITCHELL, K. Impact of atmospheric surface-layer parameterization in the newland-surface scheme of the NCEP mesoscale Eta model. **Boundary Layer Meteorology**, v. 85, p. 391-421, 1997.
- CHOU, S. C. et al. Comparison of CPTEC GCM and Eta Model Results with Observational Data from the Rondonia LBA Reference Site, Brazil. **Journal of the Meteorological Society of Japan**, v.85A, p. 25-42, 2007.
- CHOU, S. C. et al. Downscaling of South America present climate driven by 4-member HadCM3 runs. **Climate Dynamics**, 2011. Disponível em: <http://www.springerlink.com/content/61w4x087r6lj6794/>. Acesso em: 26 de maio de 2011.
- COLLINS, M.; TETT, S.F.B.; COOPER, C. The internal climate variability of a HadCM3, a version of the Hadley Centre coupled model without flux adjustments. **Climate Dynamics**, v.17, p. 61-81, 2001.
- COLLISCHONN, W. et al. The NGB-IPH model for large-scale rainfall-runoff modelling. **Hidrological Sciences Journal**, v. 52, p. 878-895, 2007.
- EK, M. G. et al. Implementation of Noah land surface model advances in the National Centers for Environmental Prediction operational mesoscale Eta model. **Journal of Geophysical Research**, v. 108, n. D22, Art. n. 8851, 2003.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Mapa de Solos do Brasil**, 1981.
- ESCADA, M. I. S. et al. Processos de ocupação nas novas fronteiras da Amazônia: o interflúvio do Xingu/Iriri. **Estudos Avançados**, v. 19 n.54, p. 9-23, São Paulo, 2005. Disponível em: <<http://www.scielo.br>>. Acesso em 30 de março de 2010.
- FEARNSIDE, P. M. Amazônia e as negociações de clima. **Boletim da Sociedade Brasileira de Economia Ecológica** n. 23/24 p. 23-28, Brasília, 2010.
- FELS, S. B.; SCHWARZTKOPF, M. D. The simplified exchange approximation. A new method for radiative transfer calculations. **Journal of the Atmospheric Sciences**, v. 32, p. 1475-1488, 1975.
- GORDON, C. et al. The simulation of SST, sea ice extents and ocean heat transport in a version of the Hadley Centre coupled model without flux adjustments. **Climate Dynamics**, v. 16, p. 147-168, 2000.
- GUPTA, H. V. et al. Decomposition of the mean squared error and NSE performance criteria: implications for improving hydrological modeling. **Journal of Hydrology**, v. 377, p. 80-91, 2009.
- IPCC - PAINEL INTERGOVERNAMENTAL SOBRE MUDANÇAS CLIMÁTICAS. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Disponível em: <http://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg2/en/ch13.html>. Cambridge, e New York, Estados. Acesso em 03 de maio de 2011.

- LACIS, A. A.; HANSEN, J. E. A parameterization for the absorption of solar radiation in the Earth's Atmosphere. **Journal of the Atmospheric Sciences**, v. 31, p. 118-133, 1974.
- MELLOR, G. T.; YAMADA, T. Development of a turbulence closure model for geophysical fluid problems. **Reviews of Geophysics and Space Physics**, v. 20, n. 4, p. 851-875, 1982.
- MESINGER, F. et al. The step-mountain coordinate: Model description and performance for cases of Alpine lee cyclogenesis and for a case of Appalachian redevelopment. **Monthly Weather Review**, v. 116, p. 1493-1518, 1988.
- PAN, H. L.; MAHRT, L. Interaction between soil hydrology and boundary-layer development. **Boundary-Layer Meteorology**, v. 38, p. 185-202, 1987.
- PAZ, A. R.; COLLISCHONN, W. **Programas de manejo de dados hidrológicos**. 2008. Disponível em: <<http://galileu.iph.ufrgs.br/collischonn/MGB-IPH/MGB.html>>. Acesso em 26 de fevereiro de 2010.
- 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.
- ROSA, T. S.; MALUF, R. Populações vulnerabilizadas e o enfrentamento de eventos climáticos extremos: estratégias de adaptação e mitigação. **Boletim da Sociedade Brasileira de Economia Ecológica**. n 23/24, p. 40-48, Brasília, 2010.
- SESTINI, M. F. et al. **Elaboração de mapas de vegetação para utilização em modelos meteorológicos e hidrológicos**. São José dos Campos, INPE, 2002.
- WEISSHEIMER, C. et al. Caracterização Preliminar das Atividades da Agricultura Familiar em Assentamento de Reforma Agrária Situado em Domínio de Floresta na Bacia do Alto Xingu. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 2, n. 2, Porto Alegre, 2007.