

## IMPACTOS DO DESMATAMENTO E DA PRECIPITAÇÃO NA VAZÃO DO RIO JI-PARANÁ

*Débora Missio Bayer<sup>1\*</sup> & Walter Collischonn<sup>2</sup>*

**Resumo** – O impacto hidrológico das mudanças de uso da terra tem sido estudado por décadas em bacias relativamente pequenas utilizando a metodologia das bacias pareadas. Em grandes bacias este tipo de experimento tem uso limitado e a avaliação dos impactos somente pode ser feita aplicando modelos hidrológicos de base física. Neste artigo foi analisado o impacto do desmatamento e da precipitação na vazão do rio Ji-Paraná utilizando o modelo MGB-IPH. Três cenários de cobertura e uso da terra foram simulados: a condição pristina, com predominância (~100%) de floresta, a condição atual, com cerca de 57% de desmatamento, e um cenário hipotético, com 100% de desmatamento. Foram realizadas simulações considerando a precipitação original da bacia, uma redução em 20% na precipitação e aumentos em 20 e 60% na precipitação. Os resultados obtidos são consistentes com resultados de estudos experimentais desenvolvidos em bacias de outros locais do mundo.

**Palavras-Chave** – mudanças de uso e cobertura da terra, modelo MGB-IPH, modelo hidrológico distribuído.

## DEFORESTATION AND PRECIPITATION IMPACTS ON DISCHARGE OF THE JI-PARANÁ RIVER

**Abstract** - Hydrological impacts of land-use changes have been studied for several decades in relatively small basins using the paired catchment experimental approach. In large river basins this kind of experiment is of limited use, and the assessment of impacts can only be done by applying physically-based hydrological models. We analysed impacts of deforestation and precipitation on streamflow of the river Ji-Paraná using the MGB-IPH hydrological model. Three forest cover scenarios were simulated: pristine condition with predominant (~100%) forest cover; current condition with about 57% deforestation; and a hypothetical 100% deforestation scenario. In simulations were considered the actual precipitation, a reduction in 20% of precipitation, and an augmentation in 20 and 60% of precipitation. These results are consistent with worldwide experimental studies.

**Key words** land use change; MGB-IPH model; distributed hydrologic model

### INTRODUÇÃO

Os impactos de mudanças de usos da terra na hidrologia têm sido discutidos há séculos. Em geral, os estudos experimentais mostram que desmatamentos produzem um aumento na vazão média dos rios, no entanto que a sua magnitude pode ser variável (Bosch & Hewlett, 1982; Bruijnzeel, 1990; Andréassian, 2004).

Os estudos experimentais são limitados a bacias de pequenas áreas. Grandes bacias, por outro lado, tendem a apresentar um mosaico de diferentes usos e coberturas, com heterogeneidade de geologia, de topografia e de solo (Wilk *et al.*, 2001). Sendo assim, para avaliar o impacto de desmatamentos ou de reflorestamentos em grandes bacias são utilizados, normalmente, modelos

<sup>1</sup> Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, deborabayer@gmail.com..

<sup>2</sup> Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, collischonn@ufrgs.br

\* Autor Correspondente

hidrológicos de base física. Contudo, antes de utilizar um modelo para simular impactos de mudanças de vegetação deve-se realizar uma análise de sensibilidade do mesmo, em que os resultados obtidos devem ser verificados com o conjunto de resultados experimentais disponíveis na literatura, mesmo que este seja restrito a pequenas áreas.

Neste artigo foi analisado o impacto do desmatamento e da precipitação na vazão do rio Ji-Paraná, um tributário do rio Madeira, no sul da Amazônia, utilizando o modelo MGB-IPH. O resultado das simulações foi comparado com um conjunto de resultados experimentais de estudos realizados em diversos locais do mundo.

### **Estudos experimentais dos impactos das mudanças de uso da terra na hidrologia**

As avaliações experimentais dos impactos das mudanças de uso e de cobertura da terra sobre a resposta hidrológica de bacias hidrográficas começaram a ter resultados razoavelmente confiáveis e generalizáveis a partir da criação da técnica de bacias pareadas (*paired-watershed experiments*) (Andréassian, 2004). Este tipo de experimento foi aplicado pela primeira vez por Bates & Henry (1928) no Estado do Colorado, nos EUA (McCulloch & Robinson, 1993). A partir da década de 1930, ocorreu uma expansão das pesquisas relacionadas aos impactos da mudança da vegetação em bacias hidrográficas.

Uma das primeiras revisões sobre o impacto da mudança na vegetação na hidrologia foi feita por Hibbert (1967), que generalizou os resultados identificando que: (i) reduções na área florestada de bacias aumentam a produção de água; (ii) substituir uma área de vegetação escassa por uma cobertura florestal provoca uma diminuição na produção de água na bacia; (iii) as respostas ao tratamento são altamente variáveis e, na maioria, imprevisíveis.

Essas conclusões foram reafirmadas por Bosch & Hewlett (1982), que incorporaram novas bacias experimentais ao estudo. Os referidos autores sintetizaram os resultados na forma de tabelas e gráficos, em que são apresentadas relações entre porcentagem da área desmatada na bacia e mudanças no escoamento anual médio, obtidas a partir da análise de vários experimentos em todo o mundo (Figura 1(a)). Como pode ser observado, ocorre um aumento na magnitude da alteração do escoamento anual médio com aumento do percentual de alteração de uso. Um ajuste por meio de regressão linear simples foi proposto por Trimble *et al.* (1987) (ver Figura 3). Estes resultados mostram que há uma relação entre a redução da cobertura florestal e o aumento do escoamento anual médio e vice-versa. Ou seja, em termos qualitativos os resultados se mostram consistentes, contudo em termos qualitativos os mesmos são dispersos para diferentes bacias, tratamentos e localização.

Outra relação interessante pode ser vista na Figura 1(b), onde é apresentado o gráfico da precipitação média anual das bacias apresentadas por Bosch e Hewlett (1982) versus a alteração no escoamento anual médio. Como pode ser observado, a magnitude da alteração no escoamento anual médio também aumenta com o aumento da precipitação.

### **Representação da vegetação no modelo MGB-IPH**

O MGB-IPH é um modelo distribuído de grandes bacias que usa equações de base física e conceitual para simular os processos hidrológicos da superfície terrestre (Collischonn *et al.*, 2007). O MGB-IPH utiliza uma abordagem de discretização baseada em minibacias e em unidades de resposta hidrológicas (URH). A simulação de processos hidrológicos inclui o balanço hídrico no solo, semelhante ao do modelo Arno (Todini, 1996), balanço de radiação, evapotranspiração, interceptação, assim como escoamentos superficiais, subsuperficiais e subterrâneos. A vazão gerada é propagada através da rede de drenagem usando o método de Muskingum-Cunge ou hidrodinâmico

(Paiva *et al.*, 2012). Neste trabalho, as descrições detalhadas dos métodos utilizados no modelo são apresentadas apenas para balanço de radiação, evapotranspiração e interceptação, uma vez que esses processos estão intimamente relacionados com o papel hidrológico da vegetação. Maiores detalhes das características do MGB-IPH podem ser encontradas em Collischonn *et al.* (2007).

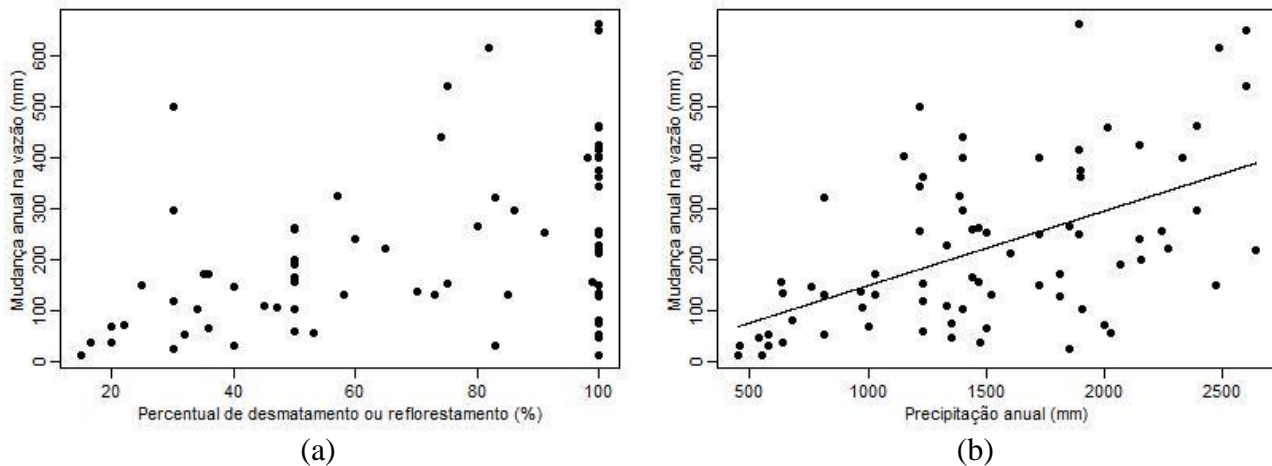


Figura 1. Resultados de diversos estudos experimentais desenvolvidos pelo mundo. (a) Mudanças da área florestada versus alterações na produção de água. O gráfico é uma reprodução do apresentado no artigo de Bosch & Hewlett (1982), com dados também disponíveis em Andréassian (2004). (b) Precipitação média anual versus a alteração na produção de água. A correlação entre a precipitação ( $P$ ) e a alteração na vazão ( $\Delta Q$ ) é de 0,54 com ajuste por regressão linear simples dado por  $\Delta Q = 0,15 \times P + 1,95$ .

A radiação líquida é a diferença entre a radiação solar incidente e a refletida mais a diferença entre a radiação de ondas longas de entrada no sistema e a de saída. A radiação líquida de ondas curtas é dada pela diferença entre a radiação de ondas curtas incidentes e a radiação de ondas curtas refletidas. A radiação de ondas curtas incidentes é estimada baseada nas horas de insolação medida em estações meteorológicas (Shuttleworth, 1993). A radiação de ondas curtas refletida é dependente do albedo da superfície ( $\alpha$ ), que é dado pelo ângulo de incidência da radiação e as características da superfície como umidade e rugosidade (Chang, 2006). O albedo é usualmente maior em áreas desmatadas, com coberturas de pastagens, do que em áreas de florestas.

A interceptação é o processo de retenção de precipitação antes que atinja o solo e é fortemente dependente da vegetação. A capacidade do reservatório de interceptação é simulada a partir da capacidade máxima de interceptação ( $S$ ), que é descrito como função do índice de área foliar (IAF) e do coeficiente de interceptação ( $\beta$ ) e tem a seguinte forma:  $S = \beta \times IAF$ . Os valores de IAF encontrados na literatura para floresta variam de 1,7 a 9,6; para cerrado de 0,4 a 1,0 e para pastagens de 0,66 a 3,9 (Miranda *et al.*, 1996, Roberts *et al.*, 1996, Honzák *et al.*, 1996, Caruzzo e Rocha, 2000, Pierce e Running, 2003, Xavier e Vettorazzi, 2003, Zanchi *et al.*, 2009). O valor do coeficiente de interceptação adotado no MGB-IPH para as simulações descritas neste trabalho foi de 0,4.

A evapotranspiração é estimada utilizando a equação de Penman-Monteith para dados diários (Shuttleworth, 1993). De acordo com esta equação, o fluxo de umidade do solo para a atmosfera depende da resistência estomática média do dossel, que também é chamada de resistência superficial e aerodinâmica. No MGB-IPH a resistência superficial depende da umidade do solo, seguindo o método proposto por Wigmosta *et al.* (1994). Quando a água no solo não é restritiva, a resistência superficial é dependente do tipo de vegetação. Valores de referência para diferentes tipos de vegetação não estão realmente disponíveis.

A taxa de vapor de água que é transferida para a atmosfera por difusão turbulenta é controlada pela resistência aerodinâmica. No MGB-IPH, a resistência aerodinâmica varia com a velocidade do vento e com a altura média da vegetação, conforme Shuttleworth (1993). Nesta abordagem, florestas, que geralmente possuem altura média maior que outros tipo de vegetação, tendem a ter uma resistência aerodinâmica menor que pastagens.

### **Bacia Hidrográfica do Rio Ji-Paraná**

O rio Ji-Paraná é um tributário do rio Madeira, no sudeste da Amazônia, e está localizado no estado de Rondônia. Foi definido o exutório da bacia em uma estação fluviométrica localizada na cidade de Ji-Paraná, totalizando uma área de drenagem de 33.200 km<sup>2</sup>. A precipitação média anual é de aproximadamente 1800 mm, com sazonalidade bem definida, de outubro a abril a estação úmida e de maio a setembro a estação seca.

Foi utilizado o modelo digital de elevação disponibilizado por Weber et al. (2004), que é baseado no SRTM (Farr et al., 2007). Um mapa de URH com 12 classes foi desenvolvido combinando o mapa de vegetações “Vegetation Map of South America” (Eva et al., 2002) e um mapa de solos baseado no RADAMBRASIL (1982) (Figura 2(a)).

Os dados de precipitação diária utilizados nas simulações são de estações pluviométricas obtidos na Agência Nacional de Águas (ANA). O modelo foi calibrado e validado utilizando cinco estações fluviométricas da ANA (Figura 2(b) e Tabela 1). O período de calibração foi de 1991 a 2000 e o período de validação de 2002 a 2005. O desempenho do modelo MGB-IPH foi medido pelo coeficiente de Nash-Sutcliffe (Tabela 1). Os valores obtidos na fase de validação são similares aos da fase de calibração sugerindo que a calibração é robusta.

### **Cenários de usos da terra**

Foram considerados três cenários de usos e cobertura da terra neste artigo. O Cenário 1 foi baseado no mapa de usos e coberturas da terra de Eva *et al.* (2002), que foi utilizado na calibração e verificação do modelo. Neste cenário, 57% da área de drenagem estavam cobertas por pastagem. O Cenário 1 pode ser visto na Figura 2(a).

A condição pristina da bacia foi representada pelo Cenário 0, em que foi considerado que toda a área da bacia era originalmente coberta por floresta. Isto é uma suposição simplificada, pois parte da região atualmente coberta por agricultura ou pastagem pode ter sido, originalmente, coberta por cerrado. Uma condição futura hipotética e extrema foi considerada no Cenário 2, em que considerou-se que 100% da área de drenagem seria coberta por pastagem. O percentual de cada URHs em cada cenário é apresentado na Tabela 2.

As mudanças de uso da terra foram representadas no modelo MGB-IPH pela mudança dos valores dos parâmetros albedo ( $\alpha$ ), IAF, altura média da vegetação (h) e resistência superficial ( $r_s$ ). Baseado na literatura, os valores adotados para floresta foram:  $\alpha = 0.12$ , LAI = 6, h = 10 m e  $r_s = 60$  s m<sup>-1</sup>. Para pastagem os valores adotados foram:  $\alpha = 0.24$ , LAI = 1, h = 0.5 m e  $r_s = 60$  s m<sup>-1</sup>. A resistência superficial foi definida de forma semelhante para todos os usos devido a incerteza e confiabilidade em valores reais deste parâmetro, assim como em Bathurst *et al.* (2004).

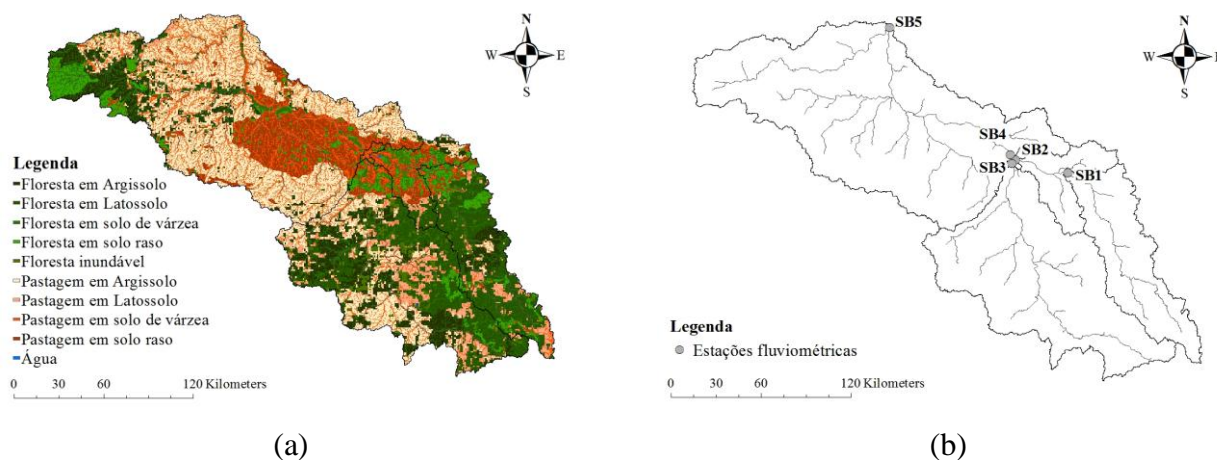


Figura 2. Estações fluviométricas e URH da bacia do Ji-Paraná. (a) Localização das estações fluviométricas nomeadas de SB1, SB2, SB3, SB4 e SB5. O nome das estações e o código conforme disponibilizado pela ANA pode ser visto na Tabela 1. (b) Cobertura vegetal e uso da terra no cenário atual, de acordo com Eva *et al.* (2002).

Tabela 1. Estações fluviométricas e valores obtidos para o Nash-Sutcliffe no período de calibração e validação do modelo. A localização das estações fluviométricas é apresentada na Figura 2.

	Estação Fluviométrica - Código ANA	Coeficiente de Nash-Sutcliffe	
		Calibração	Verificação
SB1	Fazenda Pimenta Bueno – 15552600	0,72	0,75
SB2	Ponte Comemoração – 15552700	0,74	0,87
SB3	Pimenta Bueno – 15558000	0,76	0,80
SB4	Sítio Bela Vista – 15559000	0,81	0,85
SB5	JiParaná – 15560000	0,81	0,60

Tabela 2. Porcentagem de URHs em cada cenário

URHs	Cenários		
	0 - 100% floresta	1 - 57% desmatada <sup>a</sup>	2 - 100% desmatada
Floresta inundável	2.96%	2.96%	0.00%
Floresta em argissolo	0.93%	0.34%	0.00%
Floresta em latossolo	52.96%	15.68%	0.00%
Floresta em solo de várzea	21.51%	16.14%	0.00%
Floresta em solo raso	21.63%	7.80%	0.00%
Pastagem <sup>b</sup> inundável	0.00%	0.00%	2.96%
Pastagem <sup>b</sup> em argissolo	0.00%	0.59%	0.93%
Pastagem <sup>b</sup> em latossolo	0.00%	37.28%	52.96%
Pastagem <sup>b</sup> em solo de várzea	0.00%	5.36%	21.51%
Pastagem <sup>b</sup> em solo raso	0.00%	13.83%	21.63%
Água	0.01%	0.01%	0.01%

<sup>a</sup> Cenário utilizado para calibração e verificação.

<sup>b</sup> A Pastagem inclui usos agrícolas, cerrados, capoeiras, estepes e pastagens (presentes no mapa de Eva *et al.* (2002)) pois os parâmetros LAI,  $\tau_s$ , h e  $\alpha$  foram adotados idênticos para todos.

## RESULTADOS

Foram analisados os impactos das mudanças de uso da terra no escoamento anual médio considerando o Cenário 0, 100% floresta, como referência. Além disso, os Cenários (0,1 e 2) de usos da terra foram simulados considerando alterações na precipitação anual média (P) da bacia,

com as seguintes situações: redução em 20% de P (P=1488 mm); mantendo a precipitação original da bacia (P=1860 mm) e aumentos em 20% de P (P=2232 mm) e em 60% de P (P=2976 mm).

Do Cenário 0 para o Cenário 1 cerca de 57% da bacia foi desmatada. Nesta condição, os incrementos no escoamento anual médio da bacia foram de 143, 184, 199 e 218 mm, para as precipitações anuais de 1488, 1860, 2232 e 2976 mm, respectivamente. Do Cenário 0 para o Cenário 2 foi considerada que toda a bacia foi desmatada (~100% de desmatamento). Nesta condição, os incrementos no escoamento anual médio foram de 230, 313, 353 e 395 mm, para as precipitações anuais de 1488, 1860, 2232 e 2976 mm, respectivamente. Esses resultados são coerentes com o comportamento médio dos resultados experimentais apresentados por Bosch e Hewlett (1982) e com o resultado para a situação real da bacia (com P = 1860 mm) muito próximo ao ajuste empírico feito por Trimble *et al* (1987).

O impacto do desmatamento sobre o escoamento anual médio foi maior em termos relativos ao ser considerada uma redução na precipitação de 20% (P=1488 mm). Nesta condição, o aumento no escoamento, considerando 100% de desmatamento, foi de 82%. Para o mesmo cenário de desmatamento, os incrementos relativos foram de 59, 42 e 26% para as precipitações anuais de 1860, 2232 e 2976 mm, respectivamente. Isso mostra que as mudanças de uso da terra poderiam ter consequências consideráveis em anos mais secos, pois em anos mais úmidos o solo manter-se-ia mais saturado, originando vazões mais homogêneas, independentemente da cobertura da terra.

O modelo MGB-IPH apresentou um bom comportamento nas simulações de desmatamentos, mostrando-se coerente no que se refere a modificações das magnitudes das precipitações e das áreas desmatadas.

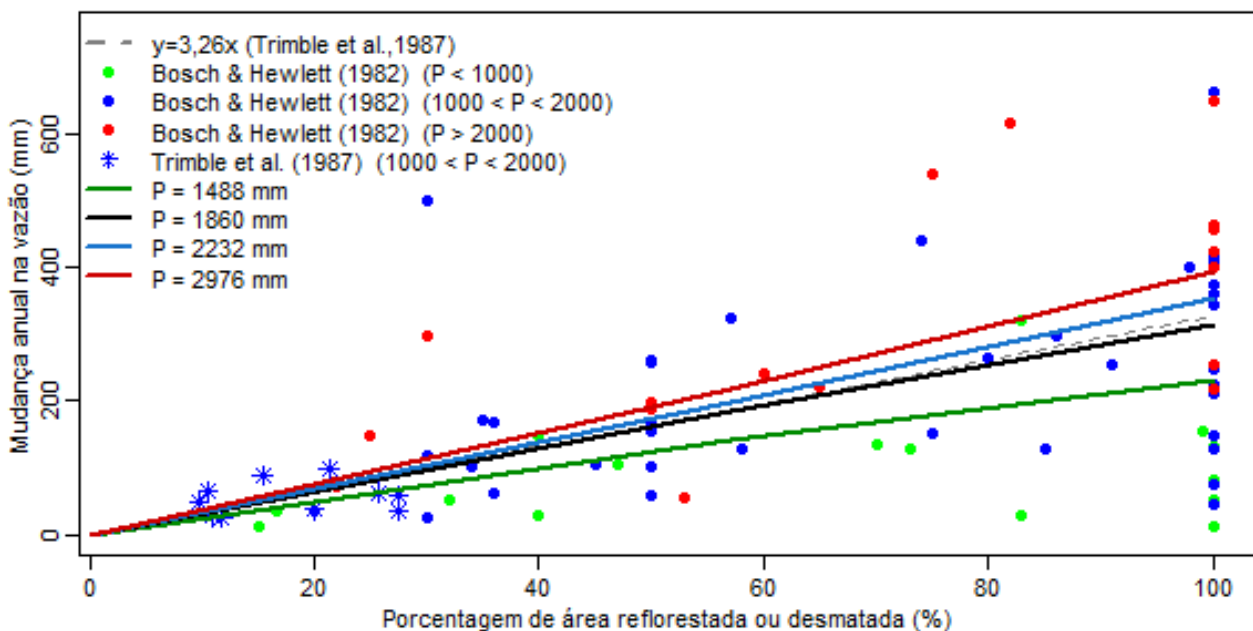


Figura 3 Alteração na cobertura florestal versus a mudança no escoamento anual médio. Os dados apresentados por círculos (verde, azul e vermelho) são resultados experimentais apresentados em Bosch & Hewlett (1982) e os apresentados por asteriscos azuis são apresentados em Trimble *et al.* (1987), com o ajuste por regressão linear simples (linha cinza tracejada) e os resultados das simulações no MGB-IPH para diferentes (linhas contínuas verde, preto, azul e vermelho).

## CONCLUSÕES

Os impactos do desmatamento e da precipitação na vazão do rio Ji-Paraná, simulados utilizando o

modelo hidrológico MGB-IPH, mostram um incremento na vazão média anual. Os resultados são consistentes com um conjunto de resultados experimentais sintetizados por Bosh e Hewlett (1982) e por Trimble *et al* (1987). No entanto, estes resultados não estão de acordo com a análise de vazões observadas realizada por Rodriguez *et al.* (2010). Uma possível explicação pode estar relacionada com o tipo de vegetação que cobria a área da bacia na condição pristina, que seria um mosaico de floresta e de cerrado. Isto será analisado com mais detalhes em trabalhos futuros.

## REFERÊNCIAS

- ANDRÉASSIAN, V. (2004) Water and forests: from historical controversy to scientific debate. *Journal of Hydrology*. 291, pp.1–27.
- BATES, C.G.; HENRY, A.J. (1928) Forest and streamflow experiment at Wagon Wheel Gap, Colorado. *Monthly Weather Review*. 30, pp.1–79.
- BATHURST, J. C.; EWEN, J.; PARKIN, G.; O'CONNELL, P.E.; COOPER, J.D. (2004) Validation of catchment models for predicting land-use and climate change impacts. 3. Blind validation for internal and outlet responses. *Journal of Hydrology*. 287, pp.74–94.
- BOSCH, J.M.; HEWLETT, J.D. (1982) A review of catchment experiment to determine the effect of vegetation changes on water yield and evapotranspiration. *Journal of Hydrology* 55, pp.3–23.
- BRUIJNZEEL, L.A. (1990) *Hydrology of moist tropical forest and effects of conversion: a state of knowledge review*. Netherlands IHP Committee, ITC, IAHS, VUA.
- CARUZZO, A.; ROCHA, H.R. (2000) Estimativa do índice de área foliar (IAF) em regiões de pastagem e floresta com o método indireto ('gap fraction') durante o experimento AMC/LBA-1999. In Anis do XI Congresso Brasileiro de Meteorologia. Rio de Janeiro.
- CHANG, M. (2006) *Forest Hydrology: An Introduction to Water and Forests*. Taylor & Francis, 474 p.
- COLLISCHONN, W.; ALLASIA, D. G.; SILVA, B. C.; TUCCI, C. E. M. (2007) The MGB-IPH model for large-scale rainfall–runoff modelling. *Hydrological Science Journal*, 52, pp.878–895.
- EVA, H.D.; MIRANDA, E.E; DI BELLA, C.M.; GOND, V.; HUBER, O.; SGRENZAROLI, M.; JONES, S.; COUTINHO, A.; DORADO, A.; GUIMARÃES, M.; ELVIDGE, C.; ACHARD, F.; BELWARD, A.S.; BARTHOLOMÉ, E.; BARALDI, A.; DE GRANDI, G.; VOGT, P.; FRITZ, S.; HARTLEY, A.(2002) A vegetation map of South America. European Commission.
- FARR, T.G.; CARO, E.; CRIPPEN, R.; DUREN, R.; HENSLEY, S.; KOBRICK, M.; PALLER, M.; RODRIGUEZ, E.; ROSEN, P.; ROTH, L.; SEAL, D.; SHAFFER, S.; SHIMADA, J.; UMLAND, J.; WERNER, M.; BURBANK, D.; OSKIN, M.; ALSDORF, D. (2007) The shuttle radartopography mission. *Review Geophysics*. 45(2).
- HIBBERT, A. (1967) Forest treatments effects on water yield. Org. por Sopper, W. E. e Lull, H. W. In International Symposium on Forest Hydrology, Oxford, 813 p.
- HONZÁK, M.; LUCAS, R.M.; AMARAL, I.; CURRAN, P.J.; FOODY, G.M.; AMARAL, S. (1996). Estimation of leaf area index and total biomass of tropical regenerating forest: comparison of methodologies. In: *Amazonian Deforestation and Climate*. Org por Gash, J.H.C., Nobre, C. A., Roberts, J. M. e Victoria, R.L. John Wiley & Sons. pp. 365–381.
- McCULLOCH, J. S. G.; ROBINSON M.. (1993) History of forest hydrology. *Journal of Hydrology*, 150. pp.189-216.

- PAIVA, R. C. D.; COLLISCHONN, W.; BUARQUE, D. C. 2012 Validation of a full hydrodynamic model for large-scale hydrologic modeling in the Amazon. *Hydrological Processes*, 27(3), pp.333–346.
- RADAMBRASIL (1982) Programa de Integração Nacional. *Levantamento de Recursos Naturais*. Ministério das Minas e Energia, Secretaria-Geral.
- ROBERTS, J.M.; CABRAL, O.M.R.; COSTA, J.P.; MCWILLIAM, A.L.C.; SÁ, T.D.A. (1996). An overview of the leaf area index and physiological measurements during ABRACOS. In: *Amazonian Deforestation and Climate*. Org. por Gash, J.H.C., Nobre, C. A., Roberts, J. M. e Victoria, R.L., John Wiley & Sons. pp. 287–306.
- RODRIGUEZ, D.; TOMASELLA, J.; LINHARES, C. (2010) Is the forest conversion to pasture affecting the hydrological response of Amazonian catchments? Signals in the Ji-Paraná Basin. *Hydrological Processes* 24, 1254–1269.
- SHUTTLEWORTH, W.J. (1993) Evaporation. In: *Handbook of Hydrology*. Org. por Maidment, D.R. McGraw-Hill. pp. 4.1–4.53
- TRIMBLE, S.W.; WEIRICH, F.H.; HOAG, B.L. (1987) Reforestation and reduction of water yield on the Southern Piedmont since circa 1940. *Water Resources Research*. 23(3), pp.425–437.
- TODINI, E. (1996) The ARNO rainfall—runoff model. *Journal of Hydrology* 175(1–4), pp.339–382.
- WEBER, E.; HASENACK, H.; FERREIRA, C.J.S. (2004) *Adaptação do modelo digital de elevação do SRTM para o sistema de referência oficial brasileiro e recorte por unidade da federação*. Porto Alegre, UFRGS Centro de Ecologia. ISBN 978-85-63843-02-9.
- WIGMOSTA, M. S.; VAIL, L. W.; LETTENMAIER, D. P. (1994) A distributed hydrology-vegetation model complex terrain. *Water Resources Research*, 30(6), pp.1665–1679.
- WILK, J.; ANDERSSON, L; PLERMKAMON, V. (2001) Hydrological impacts of forest conversion to agriculture in a large river basin in northeast Thailand. *Hydrological Processes* 15, pp. 2729–2748.
- XAVIER, A.C.; VETTORAZZI, C.A. (2003) Leaf area index of ground covers in a subtropical watershed. *Science. Agrícola*. 60(3), pp. 425–431.
- ZANCHI, F.B.; WATERLOO, M.J.; AGUIAR, L.J.G.; VONRANDOW, C.; KRUIJT, B.; CARDOSO, F.L.; MANZI, A.O. (2009) Estimativa do Índice de Área Foliar (IAF) e Biomassa em pastagem no estado de Rondônia, Brasil. *Acta Amazônica*. 39(2), pp. 335–348.