

O EFEITO DO REFLORESTAMENTO NAS ÁREAS DE PROTEÇÃO PERMANENTE RIPARIAS NA VAZÃO E EROÇÃO DO SOLO NA BACIA DO RIBEIRÃO DAS POSSES, EXTREMA (MG)

Jonathan Mota da Silva^{1}; Humberto Ribeiro da Rocha²; Sandra Isay Saad³; Emilia Maria do Santos Brasílio⁴*

Estudos científicos comprovam a necessidade de faixas de vegetação ripária presentes nas áreas de preservação permanente para manutenção dos recursos hídricos e proteção a inundações. No entanto, não existem estudos que aponte qual é a extensão de faixa segura da vegetação ripária necessária para minimizar os efeitos das vazões máximas, preservar a disponibilidade hídrica e promover a qualidade da água em bacias hidrográficas de micro e meso escala nas regiões tropicais. Este trabalho teve como objetivo avaliar o efeito causado na vazão e erosão do solo a partir de simulações realizadas com modelo hidrológico SWAT utilizando cenários de uso da terra com aumento progressivo do reflorestamento sobre as Áreas de Proteção Permanente ripária (APPs) durante 14 anos (1998-2011). As simulações indicaram que os cenários com reflorestamento atenuam os eventos extremos reduzindo a vazão máxima e o fluxo de sedimentos de maneira proporcional à área vegetada. Como continuação deste trabalho aliadas a investigação de campo espera-se apontar possíveis extensões das faixas da vegetação ripária relacionadas à proteção a inundações e erosão do solo.

Palavras-Chave – APP, pulso hidrológico, SWAT

THE EFFECT OF THE RIPARIAN PERMANENT PROTECTION AREAS ON STREAMFLOW AND SOIL EROSION IN POSSES RIVER BASIN, EXTREMA (MG)

Abstract – Scientific studies show the need for riparian vegetation present in permanent preservation areas for maintenance of water resources and flood protection. However, there are no studies in the tropics that point out the safe range of riparian vegetation necessary to minimize the effects of peak flows and provide the maintenance of water quality in micro scale river basins. This study aimed to evaluate the effect on the streamflow and soil erosion from 14 year (1998 -2011) simulations of the hydrological model SWAT using land use scenarios with a progressive increase on riparian Permanent Protection Areas (PPAs). The simulations indicated that reforestation scenarios promote attenuation of extreme events reducing the maximum streamflow and soil erosion in proportion to the vegetated area. As a continuation of this research, combined with other observational studies, it is expected to point out to a minimum extension of the riparian vegetation to protect for flooding and soil erosion.

Keywords – PPA, floods, SWAT

¹ Instituto de Astronomia, Geofísica e de Ciências Atmosféricas (IAG), Universidade de São Paulo. jmotasilva@gmail.com

² Instituto de Astronomia, Geofísica e de Ciências Atmosféricas (IAG), Universidade de São Paulo. humberto@model.iag.usp.br

³ Programa de Pós-Graduação em Ciência Ambiental (PROCAM), Universidade de São Paulo, e CLIMATEMPO. sandraisaad@gmail.com

⁴ Instituto de Astronomia, Geofísica e de Ciências Atmosféricas (IAG), Universidade de São Paulo. ebrasilio@gmail.com

* Autor Correspondente

INTRODUÇÃO

A faixa de vegetação ripária presentes nas áreas de preservação permanente mantêm os recursos hídricos evitando a ocorrência de inundações, retendo os sedimentos e mantendo a morfologia dos rios (USDA NRCS, 2003). No entanto, não existem estudos nas regiões tropicais que aponte qual é a faixa segura da vegetação da ripária necessária para minimizar os efeitos das vazões máximas e prover a manutenção da qualidade da água em bacias hidrográficas de grande relevância para o abastecimento urbano, como é o caso da bacia do Piracicaba, responsável pelo abastecimento de ~ 50% da água consumida pela região metropolitana de São Paulo. Esta bacia vem sofrendo significativa mudança no uso da terra nos últimos anos, sendo ocupada principalmente por áreas de pastagens e cana-de-açúcar (Ballester, 2008).

O Projeto Produtor de Águas da Agência Nacional das Águas (ANA) vem na contra partida da substituição da vegetação nativa das bacias, incentivando por meio remunerável o produtor rural a adotar boas práticas de conservação da água e solo em bacias importantes para o abastecimento. Como exemplo, temos a bacia do Ribeirão das Posses, localizada na cabeceira da bacia do Piracicaba, em Extrema (MG).

O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito causado na vazão e erosão do solo a partir de simulações realizadas com modelo hidrológico utilizando cenários de uso da terra com aumento progressivo do reflorestamento sobre as Áreas de Proteção Permanente ripária (APPs), que constituem as matas ciliares.

METODOLOGIA

As simulações de mudança de cenários de uso da terra foram realizadas utilizando o SWAT (*Soil and Water Assessment*), modelo hidrológico e de qualidade de água semi-distribuído que simula o ciclo hidrológico, a dinâmica da vegetação e o transporte de sedimentos em bacias de micro a grande escala (Gassman, *et al.*, 2007). O período de simulação foi de 1998-2011 e o domínio espacial das simulações compreendeu a microbacia do Ribeirão das Posses (Figura 1).

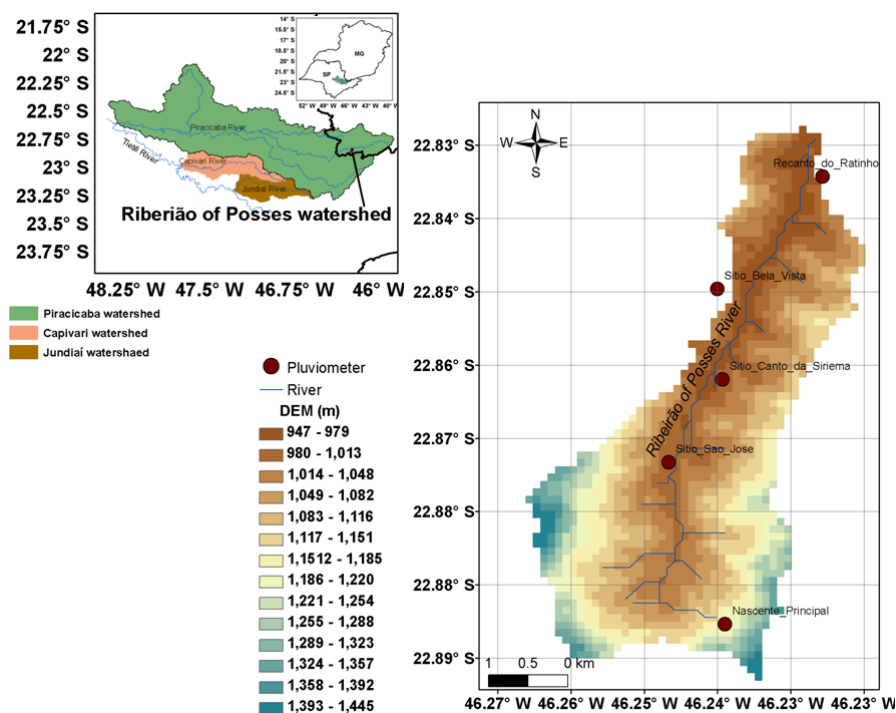


Figura 1 - Domínio da bacia do Ribeirão das Posses.

A resolução especial horizontal das simulações e do modelo elevação digital do terreno (do SRTM) foi de 90 m. Os forçantes climáticos utilizados foram compostos pela re-análise da CFSR (Saha, *et al.*, 2011), sendo que a precipitação utilizada foi interpolada da precipitação de pluviômetros do CPRN-ANA durante os anos de 2009-2011 (Figura 1). Os cenários de vegetação atual e recomposição por APPs foram constituídos por progressivos reflorestamentos com extensão de 50 m sobre as Áreas de Proteção Permanente ripária (APPs), partindo da cabeceira até a foz da bacia, conforme descrito a seguir:

- Vegetação Atual: adaptação de Calheiros (2009) (Figura 2a);
- App50m alto: Vegetação Atual, com as APPs ripárias reflorestadas em torno de 50 m ao longo dos rios na parte alta da Bacia (Figura 2b);
- App50m médio: Vegetação Atual, com as APPs ripárias reflorestadas, em torno de 50 m ao longo dos rios, da parte alta até a parte média da bacia (Figura 2c);
- App50m baixa: Vegetação Atual, com as APPs ripárias reflorestadas, em torno de 50 m ao longo dos rios, da parte alta até a parte baixa da bacia (Figura 2d);

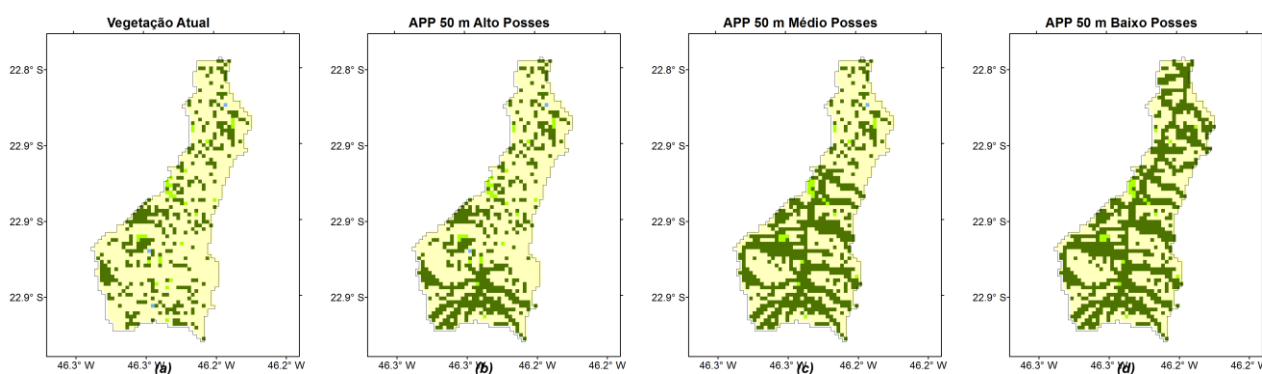


Figura 2 – Mapa de cenários de uso da terra utilizados nas simulações da bacia Ribeirão das Posses para: (a) Vegetação Atual, (b) App50m alto, (c) App50m médio e (d) App50m baixa.

O Percentual de Floresta e Pastagem utilizado nos cenários é mostrado na Tabela 1

Tabela 1 - Percentual das coberturas de Floresta e Pastagem dos cenários de vegetação utilizados nas simulações da bacia Ribeirão das Posses.

Cenário	Cobertura de Floresta (%)	Cobertura de Pastagem (%)
Atual	21.9	76.0
APP50m Alto	29.9	68.2
APP50m Médio	41.6	56.7
APP50m Baixo	48.6	50.0

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Desempenho da vazão simulada

Na Figura 3 são apresentadas a vazão média mensal simulada e observada na foz da bacia do Ribeirão das Posses. De modo geral, nota-se que a vazão foi satisfatoriamente simulada predominantemente entre os meses de abr-out, apesar de superestimar os picos no hidrograma (dez-

fev). Existe uma incerteza nas vazões observadas acima de 200 L s⁻¹ devido a não existência de amostras na relação funcional cota versus vazão utilizada para gerar uma versão preliminar da curva-chave, função que transforma cota em vazão. Portanto, é provável que os eventos de cheia observados tenham sido subestimados pela curva-chave e, por conseguinte as vazões simuladas nestes eventos superestimaram as observações.

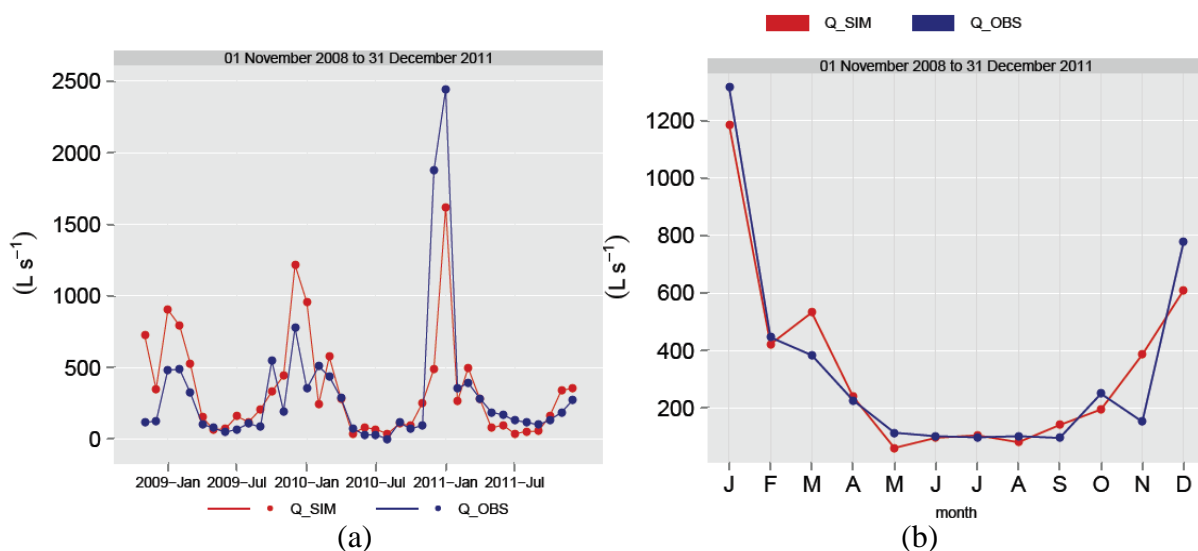


Figura 3 – Vazão simulada com cenário de vegetação atual e vazão observada no exutório da bacia Ribeirão das Posses para os casos: (a) mensal e (b) médio mensal.

Vazão e erosão do solo nos cenários de reflorestamento

Na Figura 4 são apresentadas para a foz da bacia do Ribeirão das Posses as vazões médias anuais e as vazões máximas absolutas anuais durante os anos de 1998-2011 para os cenários de vegetação atual e de recomposição por APPs. Observamos que a vazão média anual ao longo dos anos teve uma leve redução à medida que a área florestada dos cenários aumentou comparada à vazão do cenário com vegetação atual (Figura 4), devido a queda no escoamento básico ocasionado pelo aumento da evapotranspiração (Figura 5). Apesar das simulações com aumento da recomposição por APPs indicarem uma leve redução na vazão média anual, assim como estudos observacionais sobre vegetação ripária em pequenas bacias (Sameli *et al.*, 2012), o mais interessante é que a vazão máxima absoluta anual seguida pela erosão do solo tiveram uma expressiva redução à medida que área florestada aumentou (Figura 4 e Figura 5b), causada pela redução do escoamento superficial, que foi reduzido de 8 a 31% para o cenário da menor a maior área recomposta por APP (Figura 5a).

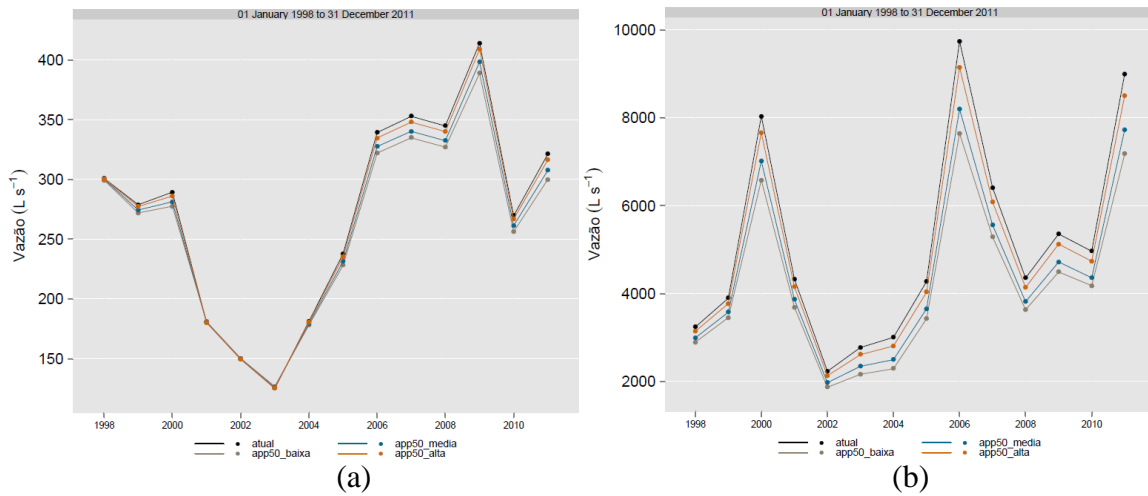


Figura 4 – Vazão ($L s^{-1}$) simulada na foz da bacia do Ribeirão das Posses com os cenários de: vegetação atual, App50m nas regiões alta, média e baixa para: (a) vazão média anual e (b) vazão máxima absoluta anual.

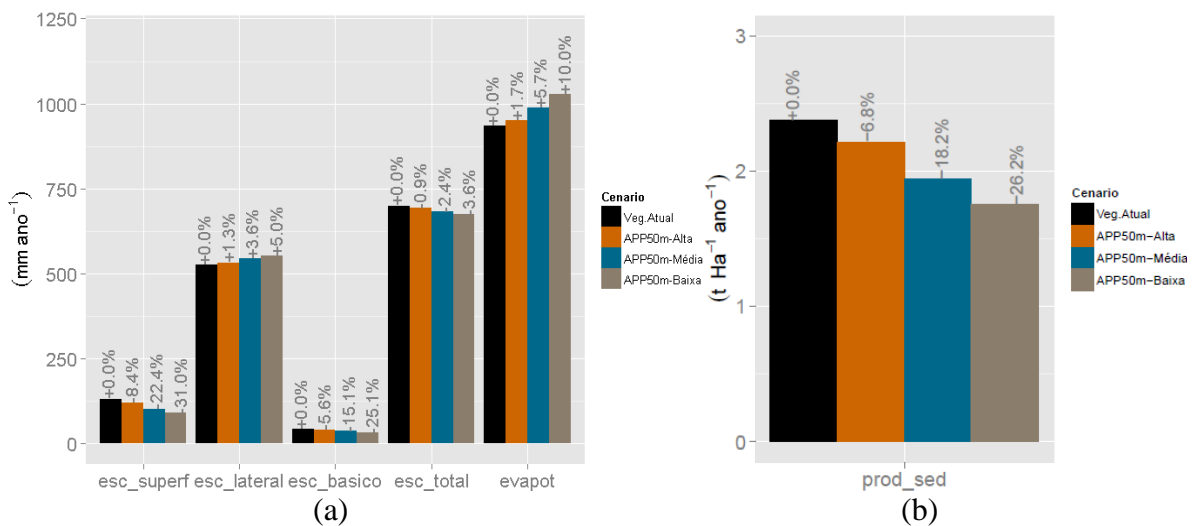


Figura 5 – Média anual (1998-2011) na bacia do Ribeirão das Posses para: (a) escoamento superficial (esc_superf), escoamento lateral (esc_lateral), escoamento básico (esc_basico), escoamento (esc_total) e evapotranspiração (evapot), todos em $mm ano^{-1}$; (b) erosão do solo pela MUSLE ($t Ha^{-1} ano^{-1}$). Acima das barras é mostrada a mudança percentual dos cenários em relação ao cenário de vegetação atual.

Eventos hídricos extremos

Na Figura 6 é mostrada a curva de permanência das vazões diárias durante os 14 anos de simulação no cenário de vegetação atual. A curva de permanência nos revela a frequência de ocorrência das vazões, retratando assim, a parcela de tempo em que uma determinada vazão é igualada ou superada. Desta forma, utilizando a curva de permanência (Figura 6) especificamos as vazões que expressam apenas os eventos extremos, ou seja, os pulsos hidrológicos e as vazões extremamente baixas, definidos aqui como sendo as vazões de 1 e 99% da curva de permanência, iguais a 2595 e $7,7 L s^{-1}$, respectivamente (Q1% e Q99%).

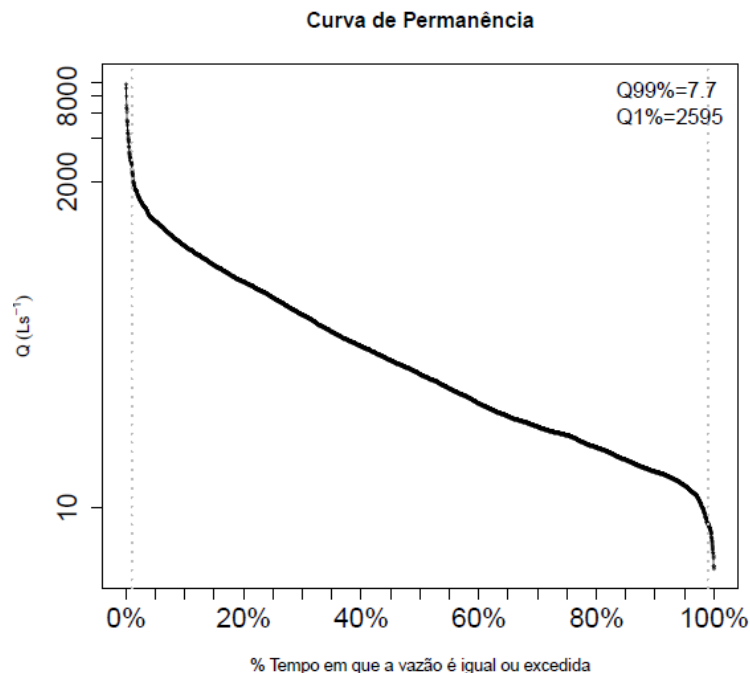


Figura 6 – Curva de permanência do logaritmo das vazões diárias (em Ls^{-1}) para bacia do Ribeirão das Posses no cenário de vegetação atual. As linhas tracejadas representam as frequências em que as vazões são igualadas ou superadas em 1 e 99% (Q1% e Q99%, respectivamente) no período 1998-2011.

O histograma somente com as vazões iguais ou superiores a $2595 Ls^{-1}$ (Q1% da curva de permanência) é mostrado na Figura 7. Neste histograma percebemos que os pulsos hidrológicos situados entre as classes de 6500 a $9500 Ls^{-1}$ tendem a se deslocar para faixas de vazões cada vez mais reduzidas à medida que a área de recomposição por APPs aumenta a cobertura florestal. Notamos ainda que no cenário com maior recomposição, o APP_Baixo, estes pulsos hidrológicos situam-se nas faixas entre 6500 a $8500 Ls^{-1}$, apresentado apenas 4 ocorrências, metade das ocorrências do cenário de Veg_Atual, e sem nenhum evento na faixa de $9500 Ls^{-1}$ (Figura 7). Logo, o reflorestamento promove uma redução da probabilidade de inundações, já que estão associados aos pulsos hidrológicos que ocorrem na bacia.

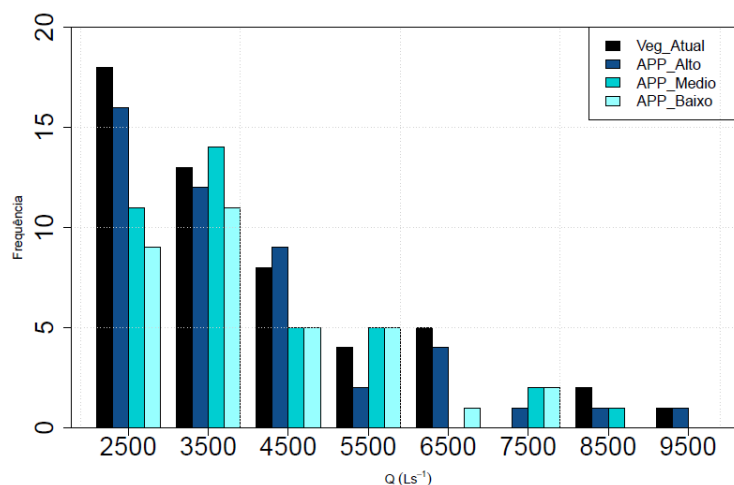


Figura 7 – Histograma da vazão diária simulada (1998-2011) para os cenários de vegetação atual e para os três cenários de APPs, concebido apenas para os casos onde a vazão foi igual ou superior a $2595 Ls^{-1}$, que representa a vazão com 1% de permanência (Q1%) no cenário de vegetação atual.

Na análise das vazões no limiar de secamento do rio, tomamos os eventos das vazões diárias extremamente baixas, iguais ou inferiores a $7,7 \text{ Ls}^{-1}$ e elaboramos um histograma destes eventos para os cenários estudados (Figura 8). Observamos que os cenários com APPs promovem uma queda na frequência das vazões extremamente baixas (menores que $5,8 \text{ Ls}^{-1}$) e para os eventos mais extremos ainda ($3,8$ a $4,2 \text{ Ls}^{-1}$), o cenário com maior e médio reflorestamento, não apresentaram ocorrências (Figura 8). Agora para as classes superiores $5,8 \text{ Ls}^{-1}$ existe uma alternância entre os cenários se posicionarem ora superior ao da vegetação atual ora inferior ao dela (Figura 8). Sendo assim, podemos afirmar que existe certa incerteza em afirmar se o reflorestamento reduz a vazão, devido esta alternância.

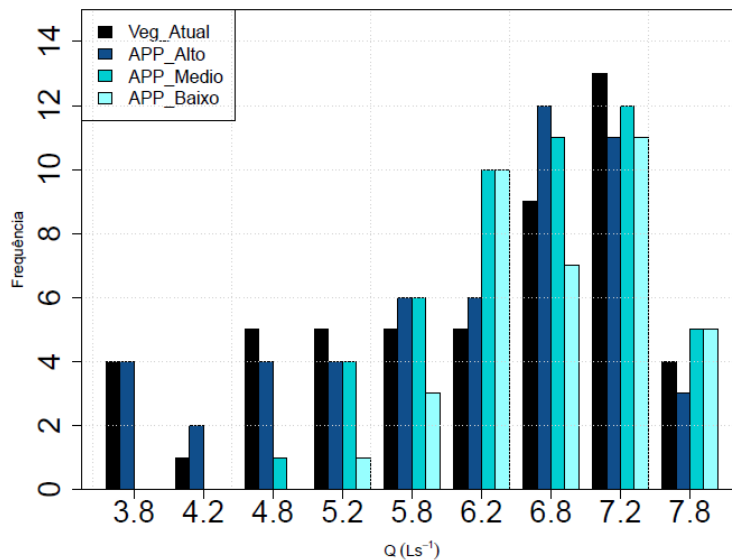


Figura 8 – Idem à Figura 7, mas para os casos onde a vazão foi igual ou inferior a $7,7 \text{ Ls}^{-1}$, que representa a vazão com 99% de permanência ($Q_{99\%}$) no cenário de vegetação atual.

CONCLUSÃO

As simulações com cenários de uso da terra, constituídos por reflorestamento sobre APPs ripárias, partindo da cabeceira até a foz da bacia do Ribeirão das Posses, mostraram que o reflorestamento reduziu a vazão média anual. Mas por outro lado, os cenários por reflorestamento promoveram a queda das vazões máximas e a erosão do solo conforme o reflorestamento ripário aumentava. O reflorestamento com as APPs ripárias reduziram a frequência dos pulsos hidrológicos associados aos eventos de cheia extremos e inundações, assim como também reduziram a frequência de vazões extremamente baixas que indicam o secamento do rio.

Estes resultados ainda não são os definitivos e além do que, são conferidos apenas para uma bacia de pequena escala, que possui respostas muito rápidas. Existe ainda certa incerteza nos resultados, já que a vazão e evapotranspiração não foram calibradas com o nível de exigência desejável. Também existem grandes incertezas nos estudos observacionais a respeito dos impactos da recuperação de APPs ripárias na quantidade de água, destacando-se a importância da investigação de campo em estudos específicos, como por exemplo, para a bacia do Ribeirão das Posses. As medidas de vazão e sedimentologia no Ribeirão das Posses ainda são insatisfatórias para definir um regime hidrosedimentológico limitando a calibração do modelo. Parte destas incertezas será sanada com a calibração dos fluxos hidrológicos e evapotranspiração do modelo utilizando medidas de vazão, nível do aquífero e variáveis meteorológicas em toda a extensão da bacia do Ribeirão das Posses. Estas investigações de campo serão realizadas brevemente por meio de projetos já aprovados.

AGRADECIMENTOS

A FAPESP pela concessão da bolsa de doutorado (processo 2009/50051-5). Ao Prof. Gré Araujo Lobo pelas valiosas discussões nas campanhas de campo realizadas no Ribeirão das Posses e ao João Guimarães da *The Nature Conservancy* pelas valiosas discussões e apoio deste estudo que culminaram na premiação pelo Consórcio PCJ do 6º prêmio Ação pela Água na categoria Pesquisa e Inovação.

REFERÊNCIAS

BALLESTER, M. V.R. (2008). *Mudanças na cobertura e uso do solo em paisagens do Brasil tropical e suas consequências para o funcionamento dos ecossistemas aquáticos*. Tese de Livre Docência, CENA/USP.

CALHEIROS, R. O. (2009). *Projeto de monitoramento da evolução das características hidrológicas em relação à recarga de água, características do solo quanto às perdas por erosão hídrica e da quantidade e qualidade da água produzida na microbacia do Ribeirão das Posses, Extrema, Minas Gerais*. IAC.

GASSMAN, P. W., REYES, M. R., GREEN, C. H., ARNOLD, J. G. (2007). THE SOIL AND WATER ASSESSMENT TOOL: HISTORICAL DEVELOPMENT, APPLICATIONS, AND FUTURE RESEARCH DIRECTIONS. *Transactions of the ASABE*, v. 50, n. 4, pp. 1211-1250.

SAHA, SURANJANA, E COAUTORES. (2010). *The ncep climate forecast system reanalysis*. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **91**, 1015–1057.

SALEMI L. F., GROppo J. D., TREVISAN R., MORAES J. M., LIMA W. P., MARTINELLI L. A. (2012). Riparian vegetation and water yield: A synthesis, *Journal of Hydrology*, 454–455, pp. 195–202.

USDA Natural Resources Conservation Service. (2003). *Where the Land and Water Meet: A Guide for Protection and Restoration of Riparian Areas First Edition*.