

ANÁLISE DE SENSIBILIDADE DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO ANUAL CALCULADA PELO MODELO HIDROLÓGICO MGB-IPH RELATIVA AO PARÂMETRO CAPACIDADE DE ARMAZENAMENTO DO SOLO

Adriano Rolim da Paz^{1} & Cássio Lemos Dutra Marçal² & Victor Santos Baptista^{3*} & Daniel de Castro Victoria⁴*

Resumo – Diversos tipos de incertezas são parcialmente compensados pela calibração de parâmetros em modelos hidrológicos. O entendimento de como cada parâmetro do modelo influencia a representação dos diversos processos hidrológicos torna-se importante no sentido de melhor adequar o modelo para estudos de mudança de uso da terra e cobertura vegetal. Este artigo apresenta uma análise de sensibilidade da evapotranspiração anual calculada pelo modelo hidrológico distribuído MGB-IPH em função de variações do parâmetro referente à capacidade de armazenamento de água do solo, considerando a bacia do rio Ji-Paraná (Rondônia) como estudo de caso. Os resultados mostram um amortecimento nesse efeito, no sentido de que mudanças da ordem de 30% no valor do W_m implicam em mudanças de no máximo 3% na evapotranspiração anual - tanto aumentando quanto reduzindo o W_m . Esse resultado indica pouca sensibilidade da simulação da evapotranspiração a esse parâmetro, o que pode servir como norteador em processos de calibração que procurem ajustar parâmetros com base na comparação entre a evapotranspiração simulada pelo modelo hidrológico e estimada por outras fontes, como a partir de dados de sensores remotos orbitais.

Palavras-Chave – modelagem hidrológica, análise de sensibilidade, Ji-Paraná

ANNUAL EVAPOTRANSPIRATION SENSITIVITY ANALYSIS TO SOIL WATER STORAGE CAPACITY IN THE MGB-IPH HYDROLOGICAL MODEL

Abstract – Several kinds of uncertainties are partially compensated through parameter calibration in hydrological models. The knowledge of how each model parameter may influence the representation of different hydrological processes could be important towards better preparing the model for studying land use/vegetation cover change. This paper presents a sensitivity analysis of the annual evapotranspiration calculated by the distributed hydrological model MGB-IPH to soil water storage capacity (W_m), considering the Ji-Parana river basin (Rondônia) as a study case. The results show a dampening effect on this influence, as 30%-changes in the values of W_m leads to a maximum of 3% change in the annual evapotranspiration. This result indicates small sensitivity of simulated evapotranspiration to this parameter, which can be useful information if adopting a calibration process that tries to adjust model parameters by comparing model evapotranspiration against estimates from other sources, like remote sensing data.

Keywords – hydrologic modeling, sensitivity analysis, Ji-Paraná

¹ Professor Adjunto do Depto de Eng. Civil e Ambiental – CT – UFPB. Campus I, João Pessoa-PB; (83) 3216 7355; adrianorpaz@yahoo.com.br.

² Estudante de Graduação em Engenharia Ambiental, aluno do PIVIC, Universidade Federal da Paraíba (UFPB). Campus I, João Pessoa-PB, 58051-900. cassio.sd@hotmail.com

³ Estudante de Graduação em Engenharia Civil, aluno do PIVIC, UFPB. Campus I, João Pessoa-PB, 58051-900. victorsgb@gmail.com

⁴ Pesquisador da Embrapa Monitoramento por Satélite, Embrapa Monitoramento por Satélite, Campinas-SP, 3070-115. (19) 3211 6200. Email daniel@cnpm.embrapa.br.

INTRODUÇÃO

Tendo o modelo hidrológico como a representação do sistema físico em uma linguagem de fácil acesso e uso é importante que esta representação seja a mais próxima da realidade (Tucci, 2005). O modelo hidrológico distribuído é importante nesse sentido porque leva em conta a variabilidade espacial das características físicas da bacia e das forçantes meteorológicas (precipitação, temperatura, umidade do ar etc) (Singh e Frevert, 2006). Esse tipo de modelo é adequado para simular a previsão das consequências de alterações no uso do solo, variabilidade climática e intervenções antrópicas sobre o regime hidrológico (Collischonn, 2001). A remoção da cobertura vegetal nativa pode acarretar mudanças nas descargas dos rios, reduzindo a disponibilidade hídrica (Bosch e Hewlett, 1982; Bruijnzeel, 1996) e alterando a composição química das águas (Neill et al., 2001). Já impactos antrópicos em escalas maiores ou em regiões remotas podem afetar os padrões de circulação atmosféricos, as temperaturas e o regime pluviométrico em uma bacia.

Entretanto, diversas incertezas existem no processo de modelagem e simulação, sejam relacionadas aos dados de entrada como precipitação, tipo de vegetação e de solo, até quanto à representação dos processos no modelo. A calibração de parâmetros do modelo permite de certa forma compensar tais incertezas, na medida em que são ajustados os valores dos parâmetros de forma que ocorra a melhor reprodução possível do regime de vazões observado em pontos ao longo da rede de drenagem. A qualidade dos resultados obtidos no processo de calibração depende da representatividade dos períodos usados no ajuste e na verificação (Tucci, 2005).

Tradicionalmente, modelos hidrológicos são avaliados apenas quanto ao desempenho na reprodução do regime de vazões ao longo da rede de drenagem. Entretanto, desde a entrada de precipitação até a geração das vazões nos rios, uma série de processos hidrológicos são representados mas não verificados, isto é, não são comparados com medições em campo. Essas medições raramente estão disponíveis, mas estimativas obtidas por sensores remotos orbitais podem ser utilizadas com essa finalidade (Immerzeel e Droogers, 2008). Em particular, avaliar o comportamento de processos como armazenamento de água no solo e evapotranspiração simulados pelo modelo hidrológico contribui consideravelmente no sentido de desenvolver um modelo com maior embasamento físico. Isso aumenta o potencial dessa ferramenta quanto à destreza em responder questões relativas ao efeito de mudanças da cobertura vegetal sobre a disponibilidade hídrica da bacia, além de permitir a geração de sistemas de monitoramento de risco à agricultura.

Face às incertezas existentes, torna-se importante avaliar a sensibilidade do comportamento do modelo frente a variações em parâmetros calibráveis. Nesse sentido, este artigo apresenta uma análise de sensibilidade da evapotranspiração anual calculada pelo modelo hidrológico distribuído MGB-IPH em função de variações do parâmetro referente à capacidade de armazenamento de água do solo, considerando a bacia do rio Ji-Paraná (Rondônia) como estudo de caso.

METODOLOGIA

Modelo hidrológico MGB-IPH

O modelo hidrológico MGB-IPH é do tipo distribuído, tendo sido originalmente concebido para discretizar a bacia modelada em células quadradas em uma malha regular, conectadas por canais de drenagem (Collischonn et al., 2007a). Esse modelo simula os processos de interceptação, evapotranspiração, escoamentos superficial, sub-superficial e subterrâneo e a propagação de vazões ao longo da rede de drenagem. A versão atual do modelo tem a discretização da bacia na forma de mini-bacias (Collischonn et al., 2010). Nesta pesquisa foi utilizada a versão original de discretização, com a adaptação de trabalhar com duas camadas de solo, conforme descrito em Collischonn et al. (2007b).

A caracterização do tipo de solo e do uso do solo representada no modelo se dá pela combinação de tais planos de informações sob a forma de unidades de resposta hidrológica (URH). Parâmetros considerados fixos e parâmetros considerados calibráveis tem seus valores ajustados em função da unidade de resposta hidrológica a qual se referem. Procura-se representar as principais ocorrências de tipo e uso do solo, evitando um grande número de combinações para não ter excessivo número de parâmetros a calibrar. A descrição completa do modelo, dos métodos utilizados na representação de cada processo hidrológico, do procedimento de calibração automática e dos parâmetros é apresentada em Collischonn et al. (2007a).

Área de estudo

A bacia hidrográfica do rio Ji-Paraná (RO) tem área aproximada de 75.400 km², sendo o tal rio um dos afluentes do rio Madeira, na Amazônia. A localização da bacia é indicada na Figura 1, assim com sua discretização em células de 0,1° x 0,1° utilizada no modelo MGB-IPH, conforme descrito e analisado em Paz et al. (2011). Na mesma figura é mostrada a sub-divisão em 13 sub-bacias, conforme a disponibilidade de dados fluviométricos e o interesse do projeto de pesquisa ao qual este estudo está associado.

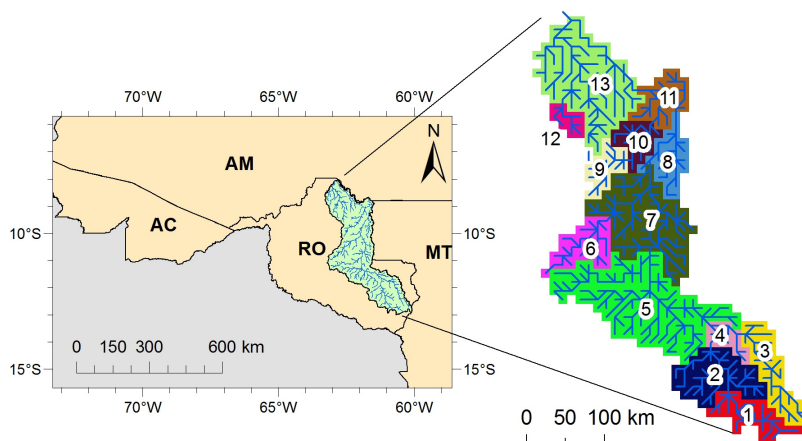


Figura 1 – Localização da bacia do Rio Ji-Paraná e discretização da bacia em grade de 0,1° x 0,1° com subdivisão em 13 sub-bacias.

Calibração e verificação do modelo hidrológico

A aplicação do MGB-IPH requer a obtenção de dados pluviométricos, fluviométricos e meteorológicos da bacia a ser simulada. Em função da disponibilidade dessas informações e tendo em vista ter uma representação mais atual das condições da bacia, foi selecionado o período de 2002 a 2005 para calibração do modelo e de 1998 a 2001 para verificação. O modelo foi rodado com passo de tempo diário. Para este estudo foram utilizados 36 postos pluviométricos disponibilizados pelo sistema HidroWEB da Agência Nacional de Águas, mesma fonte de dados dos 8 postos fluviométricos utilizados para calibração e verificação.

Das 13 sub-bacias, devido à indisponibilidade de dados fluviométricos em 5 delas a calibração foi realizada de forma conjunta com a sub-bacia de jusante. Em função da escassez de dados meteorológicos a nível diário para ambos períodos de calibração e verificação, optou-se por trabalhar com valores médios mensais em 5 estações com dados disponíveis.

A caracterização do uso e tipo de solo foi obtida a partir de dados organizados por Ballester et al. (2003), que montaram uma base para estudos biogeoquímicos da bacia do rio Ji-Paraná. Para tal, o mapeamento de uso e cobertura da bacia foi baseado em interpretação de imagens do satélite

Landsat 7 do 2001 (uma atualização do mapeamento apresentado no trabalho publicado, que é de 1999) e o mapa de solos foi obtido a partir da vetorização das cartas pedológicas, na escala 1:500,000 (EMBRAPA, 1983). Para o estabelecimento das URHs os diferentes tipos de solo da bacia foram agrupados em quatro classes, de acordo com o potencial de geração de escoamento: Baixo (Latosolos e nitossolos), Médio (Argissolos), Alto (Neossolos, cambissolos, planossolos e plintossolos) e solos de várzea (solos aluviais e hidromórficos). O mapa de uso e cobertura das terras foi agrupado em três classes distintas: Floresta, Cerrado e Agropastoril. As URHs foram definidas a partir do cruzamento dos mapas reclassificados de solo e uso e cobertura da terra porém, a fim de simplificar este mapa, unidades com pequenas áreas ou um reduzido número de polígonos foram identificadas e eliminadas, através de reclassificação ou união com a URH vizinha. No total foram definidas 13 URHs, cuja ocorrência por sub-bacia é apresentada na Figura 2.

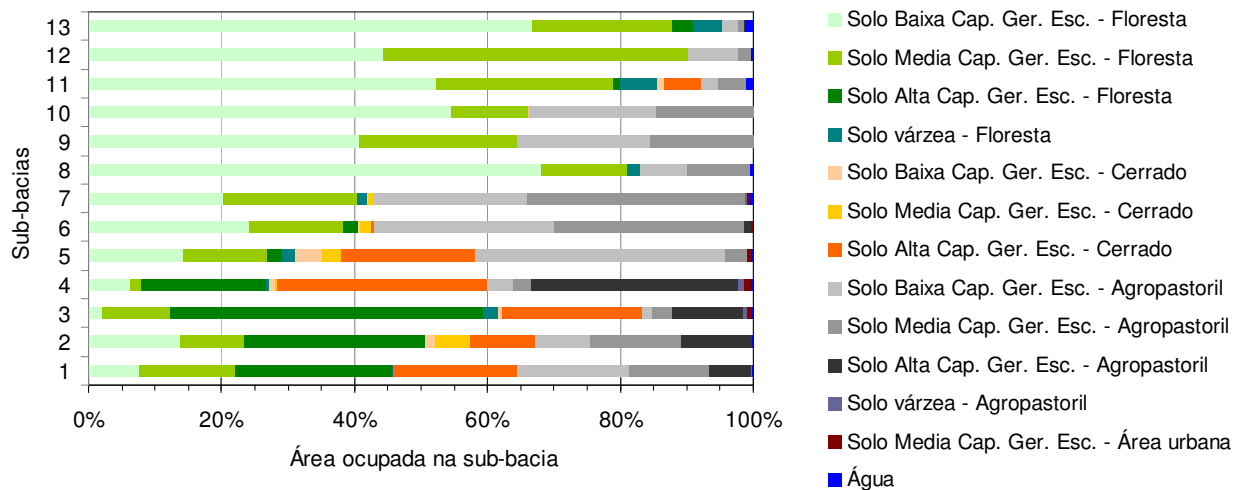


Figura 2 - Ocorrência das unidades de resposta hidrológica por sub-bacia da bacia do rio Ji-Paraná (RO).

Foi utilizada a calibração automática disponível no modelo hidrológico MGB-IPH, considerando as três funções-objetivo: coeficiente Nash-Sutcliffe aplicado às vazões (NS) e o mesmo coeficiente aplicado ao logaritmo das vazões (NSlog), e o erro de volume (EV). A estimativa do conjunto de valores iniciais para os parâmetros calibráveis e a definição do intervalo relativo no qual os possíveis valores ótimos dos parâmetros estariam contidos (ou seja, o espaço amostral de busca dos valores ótimos) foram realizadas com base em estudos prévios de Collischonn (2001) e Ribeiro Neto (2006). O procedimento de calibração iniciou-se por meio do uso do conjunto de parâmetros estimados previamente, das sub-bacias de montante para as de jusante. Vale ressaltar que algumas sub-bacias não apresentaram dados observados no período considerado, o que requereu o seguinte método de compensação: os parâmetros de uma sub-bacia sem dados observados foram considerados iguais aos da sub-bacia a jusante.

Rodadas do modelo hidrológico

Após calibração e verificação do modelo hidrológico, o mesmo foi rodado novamente para o período conjunto (calibração e verificação), de 1998 a 2005. Essa rodada considerando os valores ótimos dos parâmetros calibráveis é considerada a rodada base. Outras quatro rodadas do modelo para o período completo foram executadas variando-se os valores do parâmetro capacidade de armazenamento de água no solo (Wm) (Tabela 1).

Tabela 1 – Descrição das rodadas do modelo MGB-IPH aplicado à bacia do rio Ji-Paraná.

Rodada do modelo hidrológico	Descrição
Rodada base	Uso dos valores ótimos dos parâmetros calibráveis, inclusive do parâmetro W_m
$W_m+30\%$	Aumento de 30% nos valores de W_m da rodada base
$W_m+10\%$	Aumento de 10% nos valores de W_m da rodada base
$W_m-10\%$	Redução de 10% nos valores de W_m da rodada base
$W_m-30\%$	Redução de 30% nos valores de W_m da rodada base

O código computacional do modelo MGB-IPH foi alterado para geração de resultados em termos de evapotranspiração diária média por célula da discretização. Esses resultados foram processados em outra rotina computacional para extração de valores médios em termos temporal (média anual) e espacial (por sub-bacia), configurando a análise da sensibilidade do modelo ao parâmetro variado (W_m).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A calibração do modelo resultou em coeficientes NS variando de 0,68 a 0,95, NSlog variando de 0,75 a 0,96 e EV inferior a 0,9%. No período de verificação, tais estatísticas variaram de 0,65 a 0,94 para o NS, 0,55 a 0,94 para o NSlog e um máximo de -11% para o EV. A exceção foi verificada para a sub-bacia rotulada como 10, referente ao posto fluviométrico Piratininga, com valores bem inferiores das estatísticas (NS= 0,42; NSlog = 0,68; EV = 38%). Foi observado que existe uma clara mudança no regime de vazões entre os períodos de calibração e verificação, com vazões maiores de base e de cheia na calibração (2002 a 2005) do que no período de verificação (1998 a 2001), sem haver tão clara mudança no regime de chuvas entre os dois períodos. Possivelmente isso está associado ou à mudança no regime de vazões devido a mudanças no uso do solo, não representadas na modelagem, ou devido à alguma alteração sistemática na medição de nível d'água no rio, como alteração da seção de referência ou da curva-chave. Isso deverá ser investigado com maior propriedade com a continuidade da pesquisa.

Os valores calibrados do parâmetro W_m obtidos para cada URH são indicados na Figura 3. Em tal figura, mostra-se o valor médio do W_m ótimo de cada URH dentre as 13 sub-bacias, bem como os valores máximos e mínimos. Em uma análise mais detalhada da função do fator W_m no modelo hidrológico, constatou-se que este representa mais especificamente o armazenamento total da água no solo, o que difere do conceito agrônômico de disponibilidade de água para as culturas. Sendo assim, solos enquadrados como apresentando alto potencial de escoamento superficial deveriam ter sido colocados na classe de baixo potencial. Isso implica em alteração da composição e distribuição das URHs nas sub-bacias e nova calibração do modelo.

No entanto, apesar da necessidade de ajustes na descrição dos parâmetros físicos da bacia, este trabalho pode avaliar o efeito do fator W_m em um componente importante do balanço de energia e massa, a evapotranspiração (ET). Desta forma, foi possível verificar que o aumento do fator W_m resulta em uma maior quantidade armazenada, disponível para a cobertura vegetal, permitindo taxas mais elevadas de evapotranspiração durante os períodos secos e, conseqüentemente, aumento da evapotranspiração anual. Esse padrão está claramente bem representado nos mapas apresentados na Figura 4.

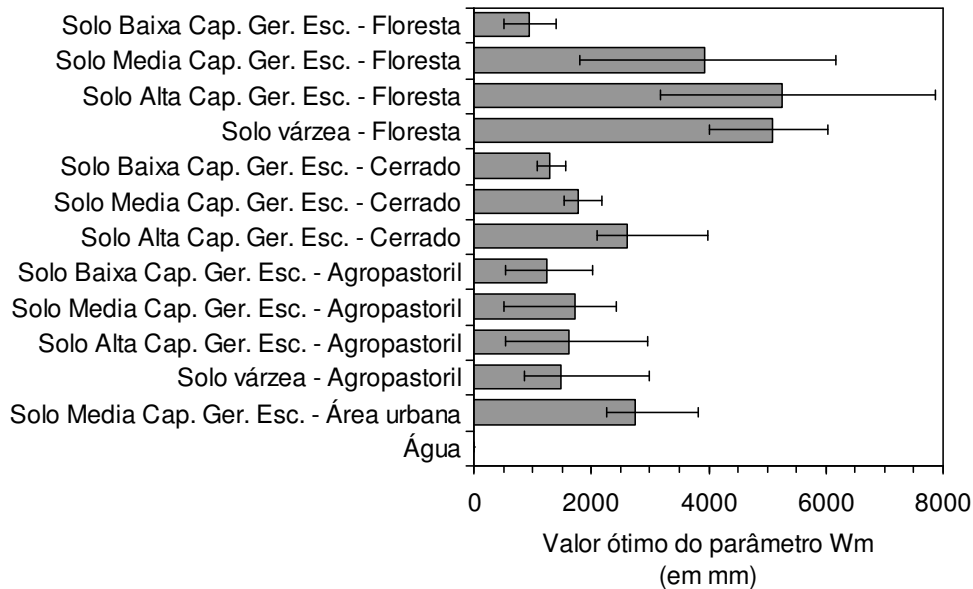


Figura 3 – Valores ótimos do parâmetro capacidade de armazenamento de água no solo (W_m) por unidade de resposta hidrológica (as barras indicam o valor médio dentre as sub-bacias e as linhas indicam os valores mínimos e máximos ocorridos no conjunto de sub-bacias).

Observa-se que a ET média anual na rodada base variou entre 1000 e 1200 mm. Ao variar todos os W_m sistematicamente por +30%, a ET média anual aumentou por até pouco mais de 30 mm, principalmente na parte centro-sul da bacia. Isso representa um aumento de cerca de menos de 3% na ET média anual. Na verdade, ao observar o impacto percentual do aumento de 30% no valor de W_m por cada sub-bacia e cada ano de simulação (Figura 5), vê-se que isso variou de menos de 1% para um máximo inferior a 3%, com algumas sub-bacias apresentando um pouco mais de amplitude do que outras.

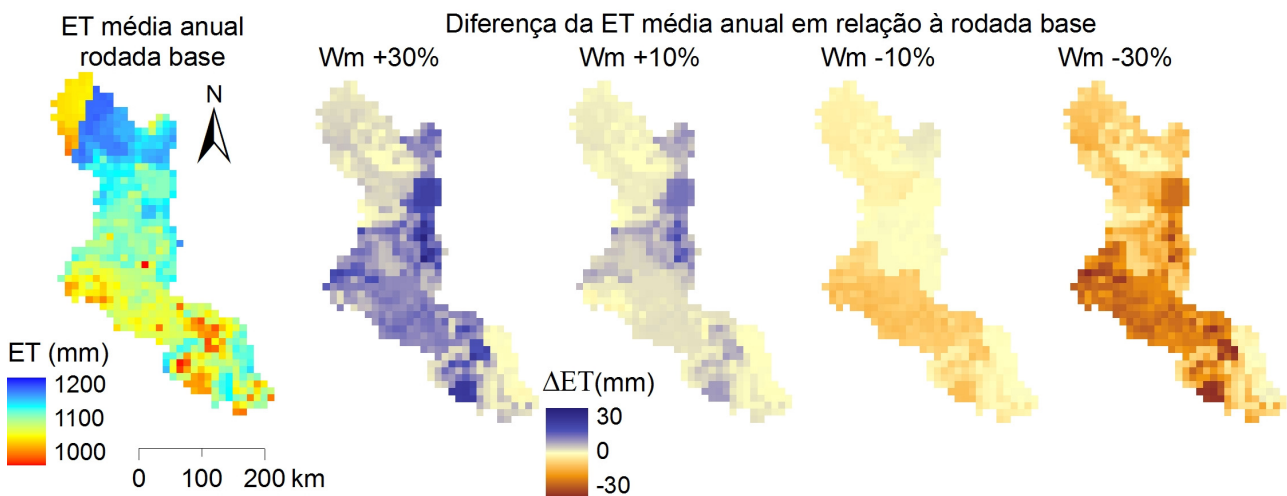


Figura 4 – Mapa de evapotranspiração média anual simulada na rodada base e mapas das diferenças de evapotranspiração média anual das rodadas variando o valor do parâmetro W_m em relação à rodada base.

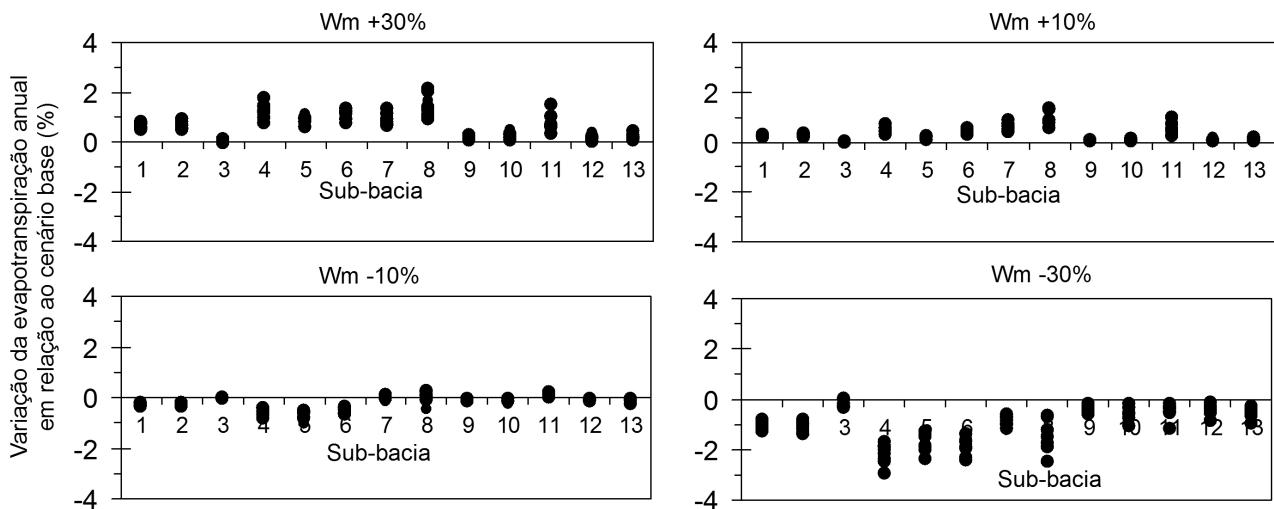


Figura 5 – Variação da evapotranspiração anual por sub-bacia para cada rodada de variação do parâmetro Wm em relação à evapotranspiração anual calculada para a rodada base (para cada sub-bacia, tem-se 8 pontos referentes aos 8 anos do período de simulação).

Com a mudança de +10% nos valores de Wm, também ocorre aumento na ET média anual como já explicado, e esse aumento não alcança 2%. Nos cenários Wm-10% e Wm-30%, tem-se o processo contrário, ou seja, a redução do Wm resulta em uma menor quantidade armazenada disponível para a cobertura vegetal, o que leva a menores taxas de ET. Entretanto, mesmo no cenário Wm-30% a redução proporcionada à evapotranspiração média anual em cada sub-bacia não passa de 3%.

CONCLUSÕES

O parâmetro Wm do modelo hidrológico MGB-IPH está relacionado à capacidade armazenamento de água no solo, de modo que o aumento do valor desse parâmetro leva à maior disponibilidade de água para a cobertura vegetal, resultando em maiores taxas de evapotranspiração durante o período seco e, por conseguinte, um aumento na evapotranspiração anual. A redução do valor de Wm funciona no sentido contrário, reduzindo a disponibilidade de água para a vegetação e reduzindo a evapotranspiração. Os resultados obtidos para a bacia do rio Ji-Paraná, entretanto, mostram um amortecimento nesse efeito, no sentido de que mudanças da ordem de 30% no valor do Wm implicam em mudanças de no máximo 3% na evapotranspiração anual - tanto aumentando quanto reduzindo o Wm. Esse resultado indica pouca sensibilidade da simulação da evapotranspiração a esse parâmetro, o que pode servir como norteador em processos de calibração que procurem ajustar parâmetros com base na comparação entre a evapotranspiração simulada pelo modelo hidrológico e estimada por outras fontes, como a partir de dados de sensores remotos orbitais.

A continuidade da pesquisa deverá reajustar os valores de Wm calibrados de modo a melhor representar a relação física desse parâmetro com os diferentes tipos de solo, além de detalhar a análise de sensibilidade em termos de ET mensal e diária, discriminando esse efeito em função das características de solo e vegetação.

AGRADECIMENTOS

Ao Programa Institucional Voluntário de Iniciação Científica no qual os dois primeiros autores participam.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BALLESTER, M. V. R. et al. (2003). A remote sensing/GIS-based physical template to understand the biogeochemistry of the Ji-Parana river basin (Western Amazonia). *Remote Sensing of Environment*, v. 87, n. 4, p. 429–445.
- BOSCH, J.; HEWLETT, J. (1982). A review of catchment experiments to determine effect of vegetation changes on water yield evapotranspiration. *Journal of Hydrology* 55(1-4), 3-23.
- BRUIJNZEEL, L.A. (1996). Predicting the hydrological impacts of land cover transformation in the humid tropics: the need for integrated research. In: *Amazonian Deforestation and Climate*, c. 2, 15-55. Chichester: John Wiley & Sons Ltd.
- COLLISCHONN, W. (2001). Simulação hidrológica de grandes bacias. Tese (Doutorado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 270 p.
- COLLISCHONN, W.; ALLASIA, D. G.; SILVA, B. C.; TUCCI, C. E. M.. (2007a). The MGB-IPH model for large-scale rainfall-runoff modelling. *Hydrological Sciences Journal*, v. 52, p. 878-895.
- COLLISCHONN, W.; BUARQUE, D. C. ; PAIVA, R. C. D. ; FAN, F. M. ; KAYSER, R. H. B. (2010) Manual de exemplos de aplicação do modelo MGB-IPH: rio das Almas - Versão 2.0. 63 p.
- COLLISCHONN, W.; TUCCI, C.E.M., CORBO, M.D., SILVA, B.C., COLLISCHONN, B., ALLASIA, D., BRAVO, J.M. (2007b). Modelo hidrológico de grandes bacias com duas camadas de solo. In: XXI Congresso Nacional del Agua, Tucumán (Argentina) – Anais do XXI CONAGUA.
- EMBRAPA (1983). Mapa de levantamento de reconhecimento de média intensidade dos solos do Estado de Rondônia. Mapas 73, 74, 75 e 76. CEPA, RO.
- IMMERZEEL, W. W., DROOGERS, P. (2008). Calibration of a distributed hydrological model based on satellite evapotranspiration. *Journal of Hydrology*, 349(3-4), 411–424.
- NEILL, C.; DEEGAN, L.; THOMAS, S.; CERRI, C. (2001). Deforestation for pasture alters nitrogen and phosphorus in small Amazonian stream. *Ecological Applications* 11(6), 1817-1828.
- PAZ, A.R.; BUARQUE, D.C.; COLLISCHONN, W.; VICTORIA, D.C.; ANDRADE, R.G. (2011). Discretização de modelos hidrológicos de grande escala: grade regular x mini-bacias. In: XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Maceió, ABRH.
- RIBEIRO NETO, A. (2006). Simulação hidrológica na Amazônia: bacia do rio Madeira. Tese (Doutorado em Engenharia Civil), Universidade Federal do Rio de Janeiro, 195 p.
- SINGH, V.P.; FREVERT, D.K. (2006). *Watershed Models*. Taylor & Francis, Boca Raton, EUA, 653 p.
- TUCCI, C.E.M. (2005). Modelos Hidrológicos. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2ª Ed.