

Análise de Sensibilidade do Modelo Hidrológico Distribuído DHSVM aos Parâmetros de Vegetação

Nadiane Smaha Kruk e Íria Fernandes Vendrame
Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos, SP.
nsmaha@ita.br

Chou Sin Chan
CPTEC/INPE, Cachoeira Paulista, SP

Francisco Sergio Bernardes Ladeira
UNICAMP, Campinas, SP

Recebido: 21/08/07 – revisado: 19/05/08 – aceito: 02/03/09

RESUMO

O modelo Distributed Hydrology Soil Vegetation Model (DHSVM) foi aplicado à bacia do Rio Bocaina, localizada na Serra do Mar no Estado de São Paulo. A modelagem hidrológica da região da Serra do Mar apresenta uma grande importância estratégica tanto na questão econômica, por ligar importantes cidades ao Oceano Atlântico, quanto na questão ambiental, por abrigar os remanescentes de Mata Atlântica. Por ser um modelo fisicamente baseado e distribuído, o modelo DHSVM demanda uma grande quantidade de parâmetros físicos. Conhecer a sensibilidade das respostas hidrológicas aos parâmetros é de fundamental importância para direcionar pesquisas de campo e também para selecionar parâmetros para futuras calibrações. Este trabalho sugere um conjunto de parâmetros necessários para a execução do modelo DHSVM para as classes de vegetação de pastagem e da Mata Atlântica. Dentre os parâmetros de vegetação, os resultados demonstram que o modelo apresentou-se mais sensível à variação do déficit de pressão de vapor, da resistência estomatal mínima, do índice de área foliar e da altura da vegetação.

Palavras-chave: Modelo DHSVM; parâmetros de vegetação.

INTRODUÇÃO

A ocorrência de chuvas intensas, enxurradas e enchentes na Serra do Mar no Estado de São Paulo tem um grande impacto nas atividades sócio-econômicas dessa região. A Serra do Mar possui um papel estratégico tanto na questão econômica, por ligar importantes cidades ao Oceano Atlântico, quanto na questão ambiental, por abrigar os remanescentes de Mata Atlântica.

A modelagem hidrológica dessa região apresenta-se como uma ferramenta importante para o estudo dos impactos de ações antrópicas, além de poder ser utilizada como parte de um sistema de alerta de eventos extremos.

Entretanto, regiões de topografia complexa como a Serra do Mar, apresentam comportamento específico com relação à modelagem matemática, o que força a necessidade de testarmos ferramentas próprias, adequadas e ajustadas para essa região. As

elevadas declividades e a presença da Mata Atlântica, demandam um modelo hidrológico que considere os efeitos da topografia e da cobertura vegetal. Outra característica importante é o tempo de concentração muito curto, onde o monitoramento da precipitação exclusivo das cabeceiras não forneceria tempo suficiente para alertas de enchentes nas partes mais baixas das bacias.

O modelo hidrológico utilizado neste trabalho é o *Distributed Hydrology Soil Vegetation Model* (DHSVM), o qual será descrito na Seção 2 deste artigo.

O objetivo deste trabalho é testar a sensibilidade do modelo hidrológico aos parâmetros de vegetação. Os parâmetros analisados são: fração de cobertura, fração de troncos, coeficiente de atenuação aerodinâmica, coeficiente de atenuação da radiação, altura da vegetação, máxima resistência estomatal, mínima resistência estomatal, limiar de umidade, déficit de pressão de vapor, fração de radiação fotossinteticamente ativa (PAR), fração de raízes,

índice de área foliar e albedo. Esses parâmetros podem ser especificados para duas alturas de vegetação.

Conhecer a sensibilidade das respostas hidrológicas aos parâmetros é de fundamental importância para direcionar pesquisas de campo e também para selecionar parâmetros para futuras calibrações.

Os objetivos deste estudo se encaixam dentro do Projeto Temático FAPESP "Estudos da Previsibilidade de Eventos Meteorológicos Extremos na Serra do Mar", do qual este trabalho faz parte.

O MODELO DHSVM

O *Distributed Hydrology Soil Vegetation Model* (DHSVM) é um modelo hidrológico distribuído, baseado em leis físicas, que representa os efeitos da topografia, solo e vegetação nos fluxos de água de uma bacia hidrográfica. Esse modelo começou a ser desenvolvido no começo da década de 1990 por Mark Wigmosta na Universidade de Washington. Posteriormente, outros pesquisadores dessa universidade e do *Pacific Northwest National Laboratory* contribuíram para o desenvolvimento do modelo.

Esse modelo pode ser aplicado em bacias de até 10.000 km² com um passo de tempo computacional inferior ao diário e um período de simulação de vários anos. Sua aplicação deu-se predominantemente nas bacias localizadas nas montanhas do noroeste dos Estados Unidos, apresentando bons resultados. Esse fato torna-se muito relevante uma vez que a área de estudo é a Serra do Mar.

O código do DHSVM, desenvolvido em linguagem C, pode ser copiado da página da Universidade de Washington (DHSVM, 2004) e pode ser executado no sistema operacional LINUX.

A descrição do modelo apresentada a seguir está baseada nos artigos de Wigmosta *et al.* (1994) e Wigmosta *et al.* (2002).

A discretização da bacia hidrográfica a ser modelada é feita dividindo-a em grades (células) computacionais, com uma resolução horizontal tipicamente entre 10 e 150 metros, centradas nos nós do modelo digital do terreno (MDT). A resolução utilizada neste trabalho é de 100 metros.

A caracterização da topografia é utilizada no controle da radiação solar absorvida, precipitação, temperatura do ar e na direção do movimento da água. As características da vegetação e as propriedades do solo são designadas para cada célula e essas propriedades podem variar ao longo da bacia. Em

cada passo de tempo, o modelo fornece soluções simultâneas das equações de balanço de água e energia para cada grade computacional.

As grades são hidrológicamente interligadas através de escoamento lateral superficial e sub-superficial (Figura 1).

Os módulos que compõem o modelo DHSVM são: cálculo de evapotranspiração; movimento da água em solo não saturado; escoamento sub-superficial em solo saturado; escoamento superficial; escoamento em canais; e cálculo de interceptação, acumulação e derretimento de neve.

A ÁREA DE ESTUDO

A micro-bacia do Rio Bocaina, com uma área de drenagem 251,36 km², faz parte da bacia do Rio Paraíba do Sul, que possui uma área de drenagem de 55.300 km² (Plano de Bacias, 2003). O Rio Bocaina tem um comprimento de aproximadamente 30 km e deságua no Rio Paraíba do Sul no município de Cachoeira Paulista, em seu curso médio-superior.

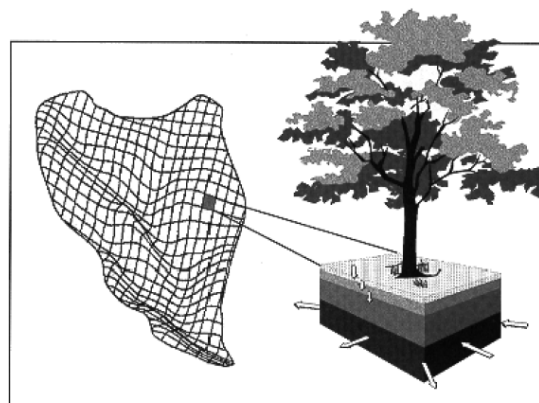


Figura 1 – Representação esquemática da discretização e fluxos calculados pelo modelo DHSVM. Fonte: Wigmosta, Nijssen e Storck (2002).

Existe uma captação da Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP), no Rio Bocaina, para abastecimento público da cidade de Cachoeira Paulista. Essa captação encontra-se a jusante da estação hidrológica cujos dados de vazão serão utilizados posteriormente para a calibração do modelo. As vazões captadas, portanto, não entrarão no cálculo do balanço hídrico da bacia, que será delimitada até a estação de medição de vazão (234 km²).

A Figura 2 apresenta a delimitação da bacia e localização das estações de monitoramento meteorológicas do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e hidrológica da Agência Nacional de Águas (ANA) com dados recentes e adequados à aplicação do modelo DHSVM. Os dados das estações meteorológicas necessários para a execução do modelo hidrológico são temperatura e umidade do ar, velocidade do vento, precipitação e radiação de ondas longas e curtas incidentes.

Sob o aspecto visual, a região da Bacia da Bocaina está praticamente toda devastada com algumas porções remanescente de Mata Atlântica já alterada. A paisagem predominante é de pastagens e o relevo forma o conhecido mar de morros.

A seguir serão apresentados os dados espaciais levantados e necessários para a execução do modelo hidrológico.



Figura 2 – Localização da bacia de estudo e das estações de monitoramento.

Modelo Digital do Terreno

Os dados de topografia foram obtidos das imagens topográficas do Shuttle Radar Topography Mission (SRTM2) com resolução de 3", ou cerca de 90m. Esses dados foram originados de um projeto da National Geospatial-Intelligence Agency (NGA) e da National Aeronautics and Space Administration (NASA) e estão disponíveis no sítio eletrônico da NASA (2006).

Esses dados estão georreferenciados ao Datum WGS-84 (World Geodetic System 1984) e em sistema de coordenadas geográficas. Para adequá-los um padrão adotado neste trabalho, foi feita a con-

versão para o Datum SAD-69 (South American Datum 1969), e o sistema de coordenadas UTM (Universal Transverse Mercator).

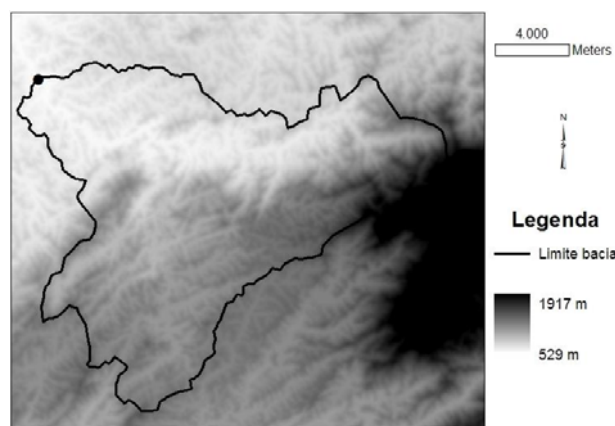


Figura 3 – Modelo digital do terreno com resolução de 100 m, gerado a partir dos dados do SRTM2. Círculo preto, localização da estação hidrológica.

Optou-se ainda por gerar uma grade com resolução de 100 metros por interpolação bilinear, para não precisar trabalhar com valores fracionados. O modelo digital do terreno para a área de estudo está apresentado na Figura 3.

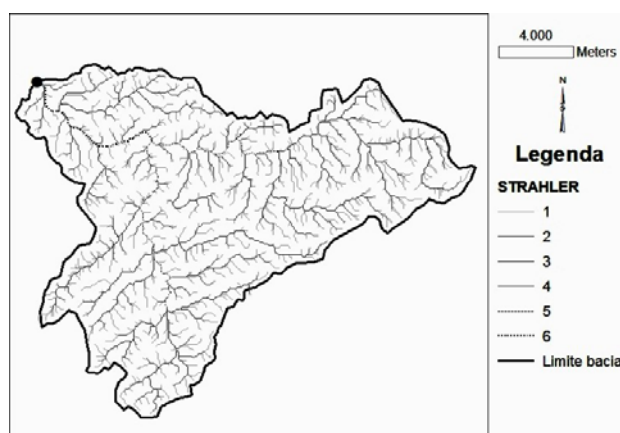


Figura 4 – Rede de drenagem gerada a partir da topografia do SRTM2 e classificada segundo o ordenamento de Strahler. Círculo preto, localização da estação hidrológica.

Rede de drenagem computacional

A rede de drenagem foi gerada utilizando arquivos de comandos para o ArcInfo, escritos em Arc Macro Language (AML) e disponíveis no endereço eletrônico DHSVM (2004).

A Figura 4 apresenta a rede de drenagem computacional gerada para a bacia do Rio Bocaina classificada segundo o ordenamento de Strahler (Maidment, 1992).

Vegetação

O mapa de vegetação utilizado foi o Atlas dos Remanescentes Florestais de Mata Atlântica da Fundação SOS Mata Atlântica/INPE, o qual resultou de trabalhos de fotointerpretação. O referencial Córrego Alegre, foi convertido para o SAD-69.

A Figura 5 apresenta esse mapa já convertido para a grade de 100 metros e para o referencial SAD-69. Nessa figura, os remanescentes, áreas de reflorestamento e sucessões secundárias de floresta em estágio intermediário de desenvolvimento, presentes no mapa original, foram agrupadas na classe de remanescentes de mata atlântica.

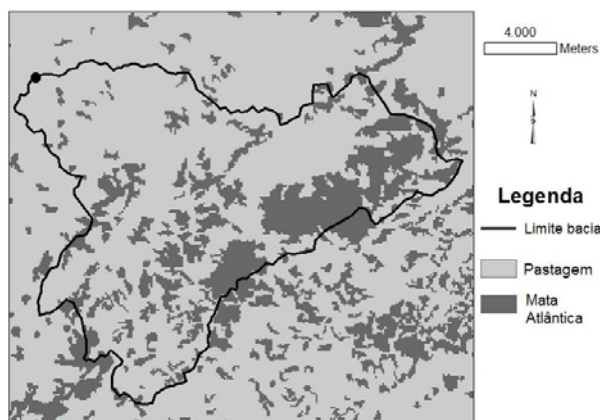


Figura 5 – Atlas dos Remanescentes Florestais de Mata Atlântica da Fundação SOS Mata Atlântica/INPE (ATLAS. 2003). Círculo preto, localização da estação hidrológica.

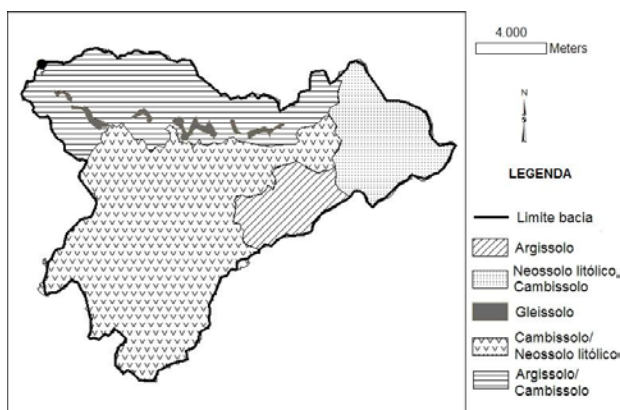


Figura 6 – Mapa pedológico. Círculo preto, localização da estação hidrológica.

Solos

O mapa pedológico foi determinado a partir do mapa de elevação do terreno e pela descrição morfológica de 46 perfis de solo analisados na bacia. A Figura 6 apresenta o resultado desse trabalho.

A legenda da Figura 6 pode ser assim descrita:

- Gleissolo = Gleissolo Háplico;
- Argissolo = Argissolo Vermelho-Amarelo;
- Neossolo/Cambissolo = Neossolo Litólico/ subordinadamente Cambissolo Háplico;
- Cambissolo/Neossolo = Cambissolo Háplico/ subordinadamente Neossolo Litólico;

PARÂMETROS DE REFERÊNCIA SUGERIDOS PARA A MATA ATLÂNTICA

O modelo DHSVM possui um tutorial no qual estão listados alguns tipos de vegetação com seus respectivos parâmetros. Essas vegetações, entretanto, não são totalmente adequadas às vegetações encontradas no Brasil.

Existem na literatura poucos trabalhos os quais apresentam alguns parâmetros biofísicos para a Mata Atlântica. A Tabela 1 mostra os parâmetros de referência sugeridos por este trabalho para as duas classes de vegetação encontradas na área de estudo.

De acordo com Lapola et al. (2007), a fração de cobertura para o tipo de vegetação denominado *floresta tropical sazonal*, no qual podemos inserir a Mata Atlântica, é de 0,98. Como na área de estudo os remanescentes de floresta apresentam elevada interferência humana, reduzimos esse parâmetros para 0,95.

A fração de troncos foi adotada como sendo a mesma sugerida pelo tutorial do modelo DHSVM da classe *evergreen broadleaf*, que significa uma vegetação permanentemente verde de folhas largas.

O coeficiente de atenuação aerodinâmica foi adotado como 2,5 pois Wigmosta et al. (1994) sugere valores de 2 a 3. O teste de sensibilidade do modelo a este parâmetro foi feito variando o valor do mesmo dentro desse intervalo.

O coeficiente de atenuação da radiação (k_b) é empregado na Equação 1.

$$\tau_o = \exp(-k_b LAI_o) \quad (1)$$

Tabela 1 - Parâmetros de vegetação indicados para Mata Atlântica e pastagem

Parâmetro	Remanescente de Mata Atlântica		Pastagem	Variação dos parâmetros em cada simulação
	Nível superior	Nível inferior		
Fração de cobertura	0,95	-	-	(-0,15; -0,10; -0,05; +0,05)
Fração de tronco até a copa	0,5	-	-	(-0,2; -0,1; +0,1; +0,2)
Coef. atenuação aerodinâmica	2,5	-	-	(-0,5; -0,25; +0,25; +0,5)
Coef. atenuação da radiação	0,88	-	-	($\tau_o-0,03$; $\tau_o+0,03$; $\tau_o+0,06$; $\tau_o+0,09$)
Altura (m)	20	1,0	0,6	(-20%; -10%; +10%; +20%)
Mínima resistência estomatal (s/m)	666,6	200	120	(-20%; -10%; +10%; +20%)
Máxima resistência estomatal (s/m)	5000	3000	5000	(-20%; -10%; +10%; +20%)
Limiar de umidade	0,180	0,180	0,216	(-20%; -10%; +10%; +20%)
Deficit de pressão de vapor	3663	3663	4202	(-20%; -10%; +10%; +20%)
Fração de radiação de onda curta que é fotossinteticamente ativa	0,43	0,17	0,43	(-20%; -10%; +10%; +20%)
Número de zonas de raízes	3	3	3	
Fração de raízes em cada zona	20, 60, 20	20, 80, 0	60, 40, 0	Tabela 2
LAI Jan	4,89	1,66	2,85	(-20%; -10%; +10%; +20%)
LAI Fev	4,60	1,56	2,35	
LAI Mar	4,13	1,40	2,55	
LAI Abr	3,73	1,27	1,70	
LAI Mai	3,26	1,11	1,50	
LAI Jun	3,15	1,07	1,35	
LAI Jul	3,03	1,03	1,55	
LAI Ago	2,97	1,01	1,45	
LAI Set	2,94	1,00	2,10	
LAI Out	2,88	0,98	2,25	
LAI Nov	2,97	1,01	2,05	
LAI Dez	3,15	1,07	2,85	
Albedo Jan	0,121	0,121	0,2	(-20%; -10%; +10%; +20%)
Albedo Fev	0,124	0,124	0,2	
Albedo Mar	0,132	0,132	0,2	
Albedo Abr	0,139	0,139	0,2	
Albedo Mai	0,141	0,141	0,2	
Albedo Jun	0,144	0,144	0,2	
Albedo Jul	0,142	0,142	0,2	
Albedo Ago	0,143	0,143	0,2	
Albedo Set	0,141	0,141	0,2	
Albedo Out	0,134	0,134	0,2	
Albedo Nov	0,126	0,126	0,2	
Albedo Dez	0,123	0,123	0,2	

sendo τ_0 a fração de radiação de onda curta transmitida pela vegetação superior e LAI_0 o índice de área foliar da vegetação do nível superior. O valor de referência 0,88 foi obtido para $\tau_0=0,047$ (Januário et al., 1992, para floresta tropical úmida na Amazônia) e $LAI_0=3,48$ (médio).

Segundo a Comissão Especial para Restauração da Serra do Mar, coordenada pela Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo, a altura da Mata Atlântica na sua forma primitiva é de 26 metros. Com início de degradação, essa altura passa a ser de 20 metros. Para o nível inferior da floresta sugerimos 1,0 m. Para a pastagem 0,6 m utilizaremos a altura indicada por Dorman e Sellers (1989) para a classe *groundcover*.

A máxima e a mínima resistência estomatal para a Mata Atlântica foram obtidas do tutorial do modelo DHSVM para a classe *evergreen broadleaf*, enquanto que para a pastagem foram obtidas de Wigmosta et al. (1994) da classe *grassland*.

Segundo Maidment (1992), o limiar de umidade, acima do qual não há restrição para transpiração, deve ser 50 a 80% da capacidade de campo, porém deve ser superior ao ponto de murchamento.

O déficit de pressão de vapor, acima do qual há fechamento estomatal (Pa), foi obtido de Dorman e Sellers (1989) da classe *broadleaf evergreen trees* para a Mata Atlântica e da classe *groundcover* para a pastagem.

Tabela 2 - Variação do parâmetro de fração de raízes

Simulação	Pastagem	Nível sup.	Nível inf.
1	40	20	20
	60	40	80
	0	40	0
2	50	20	30
	50	50	70
	0	30	0
Controle	60	20	40
	40	60	60
	0	20	0
4	70	20	50
	30	70	50
	0	10	0
5	80	40	60
	20	50	40
	0	10	0

Os valores da fração de radiação fotossinteticamente ativa (PAR) para a pastagem e o nível superior da Mata Atlântica foram obtidos do trabalho

de Gomes (2002). Para o nível inferior, o valor da fração de PAR foi obtido de Lee (1987).

As frações de raízes foram obtidas de observações aproximadas em campo. As variações estão apresentadas na Tabela 2.

O índice de área foliar (LAI) para a pastagem foi obtido de Zanchi et al. (2005). Para o nível superior de Mata Atlântica utilizaram-se os dados encontrados por Lapola et al. (2007) com um deslocamento de 6 meses para adaptação ao Hemisfério Sul. Para o nível inferior, foi considerado 34% do LAI total (Roberts, 1996).

Para a pastagem, o albedo foi obtido dos dados de Maidment (1992). Para a Mata Atlântica, os valores utilizados foram os encontrados por Culf et al. (1995) com um deslocamento de 2 meses para coincidir os valores de máximos albedos durante a estação seca na região de estudo (junho, julho, agosto).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A análise de sensibilidade do modelo hidrológico aos parâmetros de vegetação foi feita a partir de 53 simulações, variando-se um parâmetro de cada vez e mantendo os demais constantes, iguais à referência.

As simulações foram executadas para os anos de 2003 e 2004, sendo que são apresentados, neste trabalho, somente os resultados do ano de 2004. O ano de 2003 serviu como o período de aquecimento (*warm-up*) do modelo.

Embora o modelo seja altamente não linear, é importante conhecer a sensibilidade do modelo à variação de cada parâmetro separadamente, pois a falta de trabalhos específicos para a Mata Atlântica acarreta em grandes incertezas no conhecimento dos valores de cada parâmetro.

As variações dos parâmetros em cada simulação, apresentadas na Tabela 1, foram feitas buscando-se incluir as incertezas, dentro de possíveis valores de cada parâmetro.

Nomeou-se a simulação feita com os parâmetros de referência de *controle*. A figura 7 apresenta os resultados da vazões simuladas com os valores dos parâmetros de vegetação de referência. Ressalta-se que a vazão simulada depende também dos parâmetros de solo, não abordados neste trabalho. Pode-se observar por essa figura que o modelo acompanhou bem o padrão dos picos de vazão, embora essas vazões tenham sido superestimadas. Para o período de estiagem (agosto de 2004 a outubro de 2004), o modelo subestimou as vazões observadas.

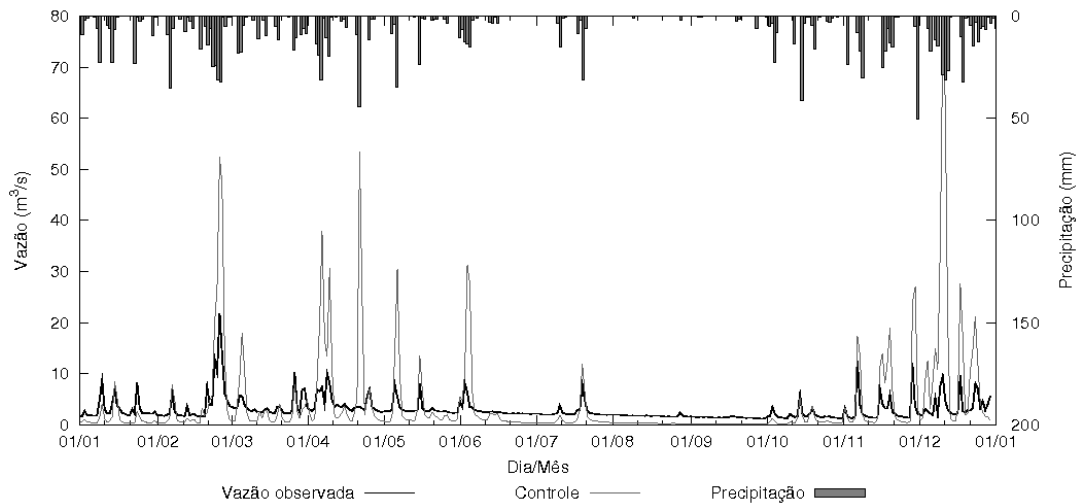


Figura 7 - Simulação Controle. Vazões observadas e modeladas com os parâmetros de referência apresentados na Tabela 1

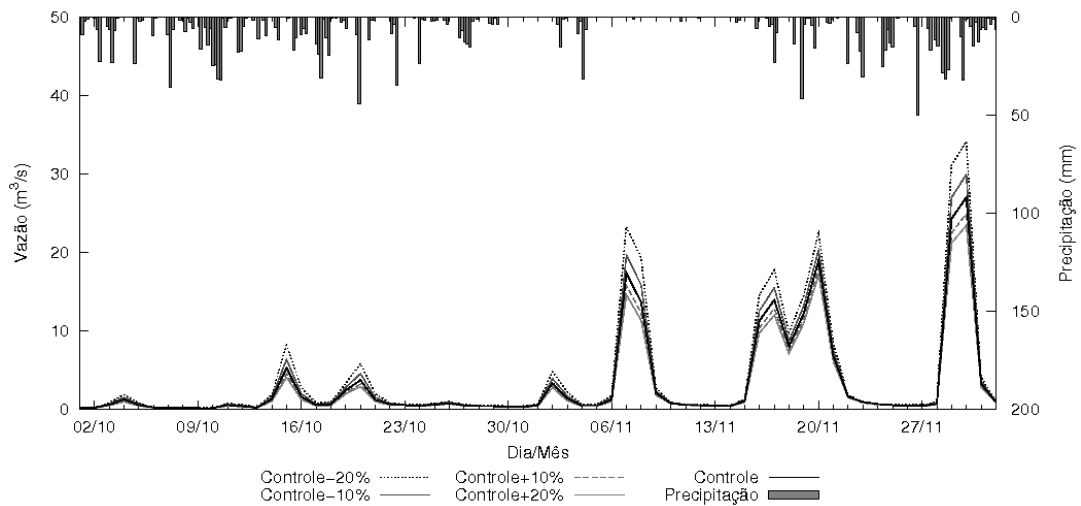


Figura 8 - Simulações realizadas com a variação do parâmetro déficit de pressão de vapor

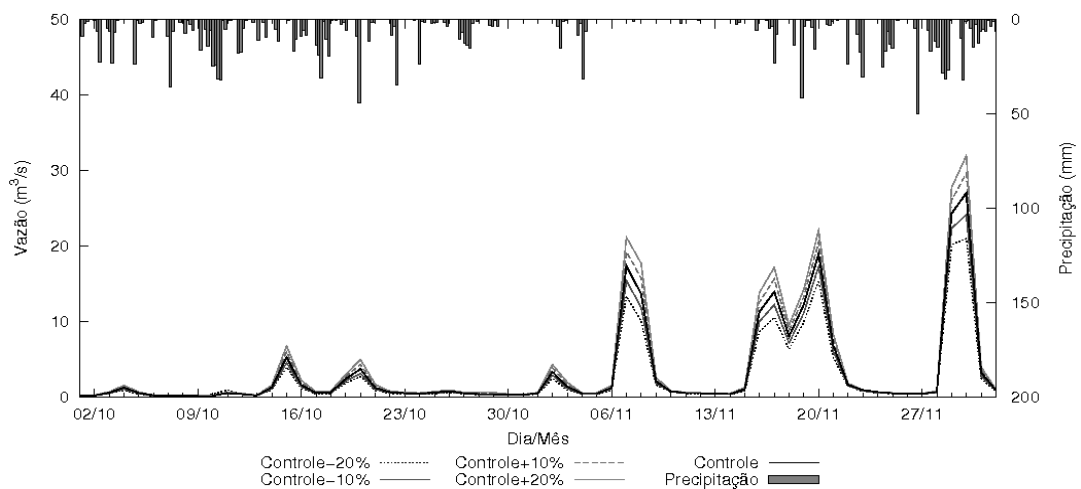


Figura 9 - Simulações realizadas com a variação do parâmetro resistência estomatal mínima

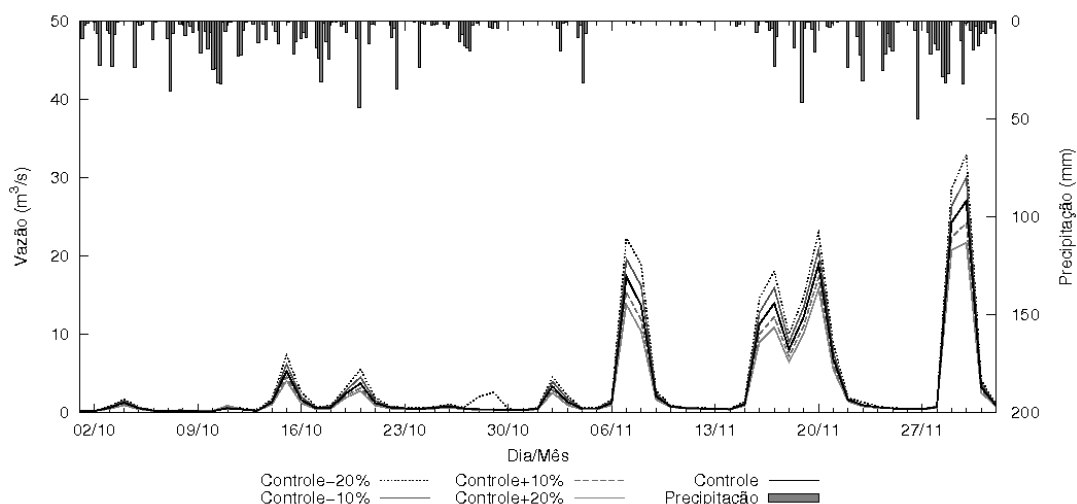


Figura 10 - Simulações realizadas com a variação do parâmetro índice de área foliar (LAI)

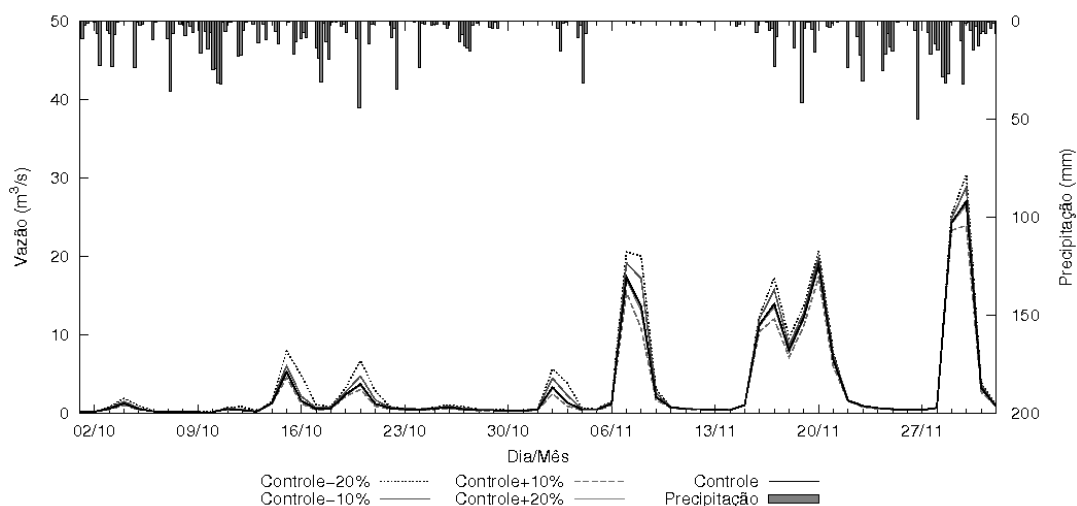


Figura 11 - Simulações realizadas com a variação do parâmetro altura da vegetação

De acordo com as diversas simulações, o modelo não apresentou sensibilidade às variações testadas dos parâmetros de máxima resistência estomatal, coeficiente atenuação aerodinâmica, coeficiente de atenuação da radiação, fração da vegetação fotossinteticamente ativa, e fração de troncos.

O modelo apresentou uma sensibilidade muito pequena à variação do limiar de umidade. Somente quando este parâmetro foi aumentado em 20%, as vazões simuladas apresentaram-se ligeiramente superiores às observadas. O modelo apresentou uma instabilidade numérica quando este parâmetro foi reduzido em 20%. Com uma variação de 10%, para mais ou para menos, o modelo não apresentou sensibilidade.

As variações do albedo, da fração de raízes e da fração de cobertura testadas alteraram as vazões simuladas de maneira muito pouco significativa e somente nos picos de máximas.

As Figuras 8 a 11 apresentam, como exemplo, os resultados de vazões simuladas para os meses de outubro e novembro de 2004. O padrão de comportamento dos resultados foi o mesmo em todo o período simulado.

A Figura 8 apresenta as vazões modeladas com variações do parâmetro déficit de pressão de vapor. Verifica-se que aumentando o valor desse parâmetro, há um decréscimo nas vazões simuladas, principalmente nos picos de máximas. Reduzindo esse parâmetro, observa-se um aumento nas vazões máximas simuladas.

A Figura 9 apresenta as simulações feitas com variações no parâmetro de mínima resistência estomatal. Verifica-se que reduzindo o valor desse parâmetro, tem-se um decréscimo nas vazões máximas simuladas, e aumentando-o, tem-se um acréscimo dessas vazões. Praticamente não houve alteração nas vazões mínimas.

As variações do índice de área foliar (Figura 10) e altura da vegetação (Figura 11) provocaram impacto semelhante ao das simulações feitas com variações do déficit de pressão de vapor.

CONCLUSÕES

A análise de sensibilidade de parâmetros em modelo distribuídos é de fundamental importância para direcionar trabalhos de campo, selecionar parâmetros para calibração e para analisar o impacto de incertezas dos valores de cada parâmetro nas respostas modeladas.

Os resultados retrataram que o modelo consegue acompanhar os padrões das vazões observadas, apesar de superestimar as vazões de pico e subestimar as vazões nos períodos de recessão. Entretanto, não se buscou, neste trabalho, a calibração do modelo hidrológico e sim analisar a sensibilidade do mesmo com relação à variação dos parâmetros de vegetação.

De acordo com os resultados apresentados, as vazões simuladas pelo modelo hidrológico DHSVM apresentaram-se mais sensíveis à variação dos parâmetros de déficit de pressão de vapor, resistência estomatal mínima, índice de área foliar e altura da vegetação.

As variações dos parâmetros de fração de tronco, fração de radiação PAR, máxima resistência estomatal, coeficiente de atenuação da radiação e coeficiente de atenuação aerodinâmica não alteraram as respostas de vazão do modelo hidrológico.

O modelo apresentou sensibilidade muito pequena às variações estudadas dos parâmetros de limiar de umidade, fração de raízes, fração de cobertura e albedo.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pelo suporte financeiro ao Projeto Temático e à Coordenação

de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo suporte financeiro em forma de bolsa de doutorado.

Agradecemos também ao Prof. Dr. Humberto Ribeiro da Rocha (IAG/USP) e ao pesquisador Dr. Marcos Daisuke Oyama (IAE/CTA) pela indicação de literaturas para obtenção dos parâmetros.

REFERÊNCIAS

- ATLAS dos Remanescentes Florestais de Mata Atlântica (2003). Fundação SOS Mata Atlântica/INPE.
- CULF, A. D.; FISCH, G. e HODNETT, M. G. (1995). "The albedo of amazonian forest and ranchland". Journal of Climate, v.8, pp. 1544-1554.
- DHSVM (2004). Distributed Hydrology Soil Vegetation Model. Disponível em: <<http://www.hydro.washington.edu/Lettenmaier/Models/DHSVM/>>. Acesso em: 17 set. 2004.
- DORMAN, J. L. e SELLERS, P. J. (1989). "A global climatology of albedo, roughness length and stomatal resistance for atmospheric general circulation models as represented by the simple biosphere model (SiB)". Journal of Applied Meteorology 28: 833-855.
- GOMES, E. N. (2002). "Medida e modelos da radiação fotosinteticamente ativa global, direta na incidência e horizontal". Dissertação de Mestrado. UNESP-Botucatu.
- JANUÁRIO, M.; VISWANADHAN, Y. e SENNA, R.C. (1992). "Radiação solar total dentro de floresta tropical úmida de terra firme (Tucuruí, Pará)". Acta Amazonica, vol. 22, pp. 335-340.
- LAPOLA, D. M.; OYAMA, M. D.; SAMPAIO, G.; NOBRE, C. A. (2007). "A new world natural vegetation map for global change studies". Anais da Academia Brasileira de Ciências. Artigo aceito.
- LEE, D.W. (1987) "The spectral distribution of radiation in two neotropical rainforests." Biotropica, v. 19, n. 2, pp. 161-166.
- MAIDMENT, D. R. (1992). *Handbook of Hydrology*. McGraw-Hill. New York, 1424 p.
- NASA (2006). National Aeronautics and Space Administration. Disponível em: <<ftp://e0srp01u.ecs.nasa.gov/srtm/>>. Acesso em: 07 fev. 2006.
- PLANO DE BACIAS 2000-2003 (2003). UGRHI 2 Paraíba do Sul.: CPTI - Cooperativa de Serviços, Pesquisas Tecnológicas e Industriais. Disponível em: <<http://www.comiteps.sp.gov.br/mapas.html>>. Acesso em: 05 mar. 2006.
- ROBERT S J. M. et al. (1996). "An overview of the leaf area index and physiological measurements during AB-RACOS", in *Amazonian Deforestation and Climate*.

- Org. Gash, J. H. C.; Nobre, C. A.; Roberts, J. M. e Victoria R. L. John Wiley & Sons. Chichester, 611 p.
- WIGMOSTA, M. S.; NIJSSEN, B. e STORCK, P. (2002). "*The Distributed Hydrology Soil Vegetation Model*", in *Mathematical models of small watershed. Hydrology and applications*. Org. Singh, V. P. e Frevert, D. K. Ed. Water Resource Publications, Littleton – CO, pp. 7–42.
- WIGMOSTA, M. S.; VAIL, L. W. e LETTENMAIER, D. P. (1994). "*A distributed hydrology-vegetation model for complex terrain*". *Water Resources Research*, v. 30, n. 6, pp. 1665–1679.
- ZANCHI F. B.; WATERLOO, M. J.; ROCHA, H. R.; AGUIAR, L. J. G.; RANDOW, C. V.; KRUIJT, B.; CARDOSO, F. L.; MANZI, A. O. (2005) . "*Estimativa do índice de área foliar (IAF) e biomassa em pastagem o Estado de Rondônia, Brasil*". *Acta Amazônica*, v.35, n.4.

Analysis of the Sensitivity of the Distributed Hydrologic Model DHSVM to Vegetation Parameters

ABSTRACT

The Distributed Hydrology Soil Vegetation Model (DHSVM) was applied to the Bocaina watershed, located in Serra do Mar in São Paulo State, Brazil. Hydrological modeling of this region is of great strategic importance both economically, due to its position connecting important cities to the Atlantic Ocean, and environmentally, due to areas of remaining native forest called Mata Atlântica (Atlantic Forest). Distributed hydrological models have many physical parameters, and knowing the most relevant ones in simulated outflows may guide future investments on experimental research to determine them, and may also indicate the most relevant for calibration. Among the vegetation parameters, the model presented greater sensitivity to the variations of vapor pressure deficit, minimum stomatal resistance, leaf area index and vegetation height.

Keywords: DHSVM Model; Vegetation Parameters