

MODELAGEM HIDROLÓGICA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO PARQUE ESTADUAL DAS FONTES DO IPIRANGA – TOPMODEL E GR5H

Angélica Nardo Caseri^{1*}; *Augusto José Pereira Filho*²; *Maria Helena Ramos*³

Resumo – O Parque Estadual das Fontes do Ipiranga (PEFI) é um fragmento de mata Atlântica inserido na região metropolitana de São Paulo (RMSP). O Laboratório de Hidrometeorologia do IAG USP desenvolve pesquisas hidrometeorológicas tais como o balanço hídrico da bacia do PEFI. Os estudos são fundamentados em medições de variáveis de interesse (precipitação, vazão, interceptação, infiltração e percolação, temperatura e umidade do ar e do solo, espectro de gotas, radiação de onda curta e longa, fluxos de calor e massa, entre outras). Utilizou-se neste estudo a modelagem hidrológica para analisar os principais processos hidrológicos desta microbacia. Este trabalho objetiva simular alguns dos processos hidrológicos por meio dos modelos TOPMODEL e GR5H.

Palavras-Chave – modelos de transformação chuva-vazão, bacia do PEFI, microbacia rural.

HYDROLOGIC MODELING OF THE PARQUE ESTADUAL DAS FONTES DO IPIRANGA WATERSHED WITH THE TOPMODEL AND GR5H

Abstract – The Parque Estadual das Fontes do Ipiranga (PEFI) is a patch of the Atlantic Rainforest within the Metropolitan Area of São Paulo (MASP). The Hydrometeorology Lab of IAG USP develops basic research on hydrometeorology such as water budget for the PEFI basin. These studies are based on measurements of variables of variables (rainfall, stream flow, interception, infiltration, percolation, air and soil temperatures, drop spectra, short and long irradiance, heat and mass fluxes, among others). The present study uses hydrological modeling to analyze some hydrologic processes within this small basin. This paper aims at simulating some of the hydrologic processes by means of the TOPMODEL and GR5H models.

Keywords – rainfall-runoff models, PEFI watershed, small rural basin.

*¹UNESP - Universidade Estadual Paulista: angelika_caseri@hotmail.com

² USP- Universidade de São Paulo: apereira@model.iag.usp.br

³IRSTEA - Institut national de recherche en sciences et technologies pour l'environnement et l'agriculture : maria-helena.ramos@irstea.fr

1. Introdução

Cerca de 240 inundações ocorreram na América do Sul entre 1997 e 2002 (ONU, 2003). Elas causam cerca de 50% dos prejuízos por desastres naturais (Kron, 2003). Mais de 30% dos municípios do estado de São Paulo são afetados por enchentes (IBGE, 2005). O processo de urbanização alterou o uso e ocupação do solo, que influenciam o escoamento da chuva com grande impacto no escoamento superficial, tempo e vazão de pico (Pereira Filho, 1998). A RMSP aumentou 40% entre 1960 e 1990 com impermeabilização da superfície e intensificação das enchentes se (Rocha Filho, 2010). Cerca de 70% das enchentes mais recentes estavam associados com a circulação de brisa e a ilha de calor na RMSP (Pereira Filho et al., 2004). A bacia do PEFI se localiza na RMSP e é um fragmento de Mata Atlântica cercado pela urbanização. O Laboratório de Hidrometeorologia do IAG USP realiza medições de variáveis meteorológicas no PEFI desde 2007. Este estudo objetiva modelar a bacia do PEFI com modelos matemáticos conceituais, fundamentados em reservatórios de armazenamento que simulam os processos hidrológicos.

2. Metodologia

Bacia do PEFI - Trata-se da nascente do Rio Ipiranga situada no PEFI com área total de 0,55 km² e altitude média de 798 m (Fig. 1). O microclima é tropical com chuvas associadas às frentes frias e linhas de instabilidade, e tempestades locais. A precipitação anual é de 1300 mm. O período menos chuvoso esta entre julho e agosto, e, o mais chuvoso, entre setembro e março durante, com 80% das chuvas. O PEFI foi criado em 1969 e tem importantes funções climáticas e controle de cheias do seu entorno. Esta pequena bacia proporciona grande infiltração da chuva no riacho Ipiranga (Bicudo et al., 2002). A estação meteorológica do IAG-USP realiza medições há 80 anos. Há dois tipos de ocupação do solo na região: mata Atlântica primária, preservada e, o urbanizado no entorno (Fig. 1). A estação meteorológica do IAG USP mede variáveis meteorológicas desde novembro de 1932 a intervalos horários. A conservação da reserva florestal do PEFI permitiu que no decorrer dos anos as condições físicas ambientais permanecessem em equilíbrio, propiciando uma boa consistência dos dados da longa série climatológica (Pereira Filho, 2009).

Utilizou-se neste trabalho simulações hidrológicas para analisar os processos envolvidos. Esses são úteis também na previsão hidrológica com base em séries de dados (Christofoletti, 2002). A simulação da transformação chuva-vazão é realizada com modelos que simulam o escoamento superficial em escalas de tempo variáveis a partir de medições (Ceballos e Schnabel, 1998). A simulação requer uma série de dados para a calibração e a validação de parâmetros modelísticos (Ferreira, 2004). Na bacia do PEFI foram utilizados os modelos TOPMODEL e GR5H, brevemente descritos a seguir.

TOPMODEL - Trata-se de um modelo conceitual (Senarath et al., 2000,) desenvolvido por Beven e Kirkby (1979), semidistribuído baseado em relações físicas de processos hidrológicos. O modelo é simples e possui poucos parâmetros ajustáveis ou calibráveis (Beven, 1995). Os parâmetros são obtidos da geomorfologia da bacia (Hornberger, 1985). Podem ser ajustados de acordo com conceituais físicos nas simulações estabelecidas (Saulnier, 1996). Os dados necessários são: distribuição do índice topográfico, características hidrológicas da bacia, precipitação (mm) e índice de evapotranspiração potencial. Os escoamentos subsuperficiais e subterrâneos ocorrem em armazenamentos. Determina-se a quantidade de água armazenada no solo e o escoamento superficial. O escoamento superficial é dependente da área saturada na bacia, estabelecida por dois parâmetros: o índice topográfico (área de contribuição e declividade do terreno) e o déficit de armazenamento, que quantifica a água disponível no solo. A topografia da bacia hidrográfica é essencial para a geração de escoamento superficial. A simulação hidrológica é obtida de uma série de informações e dados organizados e preparados. A Fig. 2a mostra o fluxograma das etapas de execução do modelo.

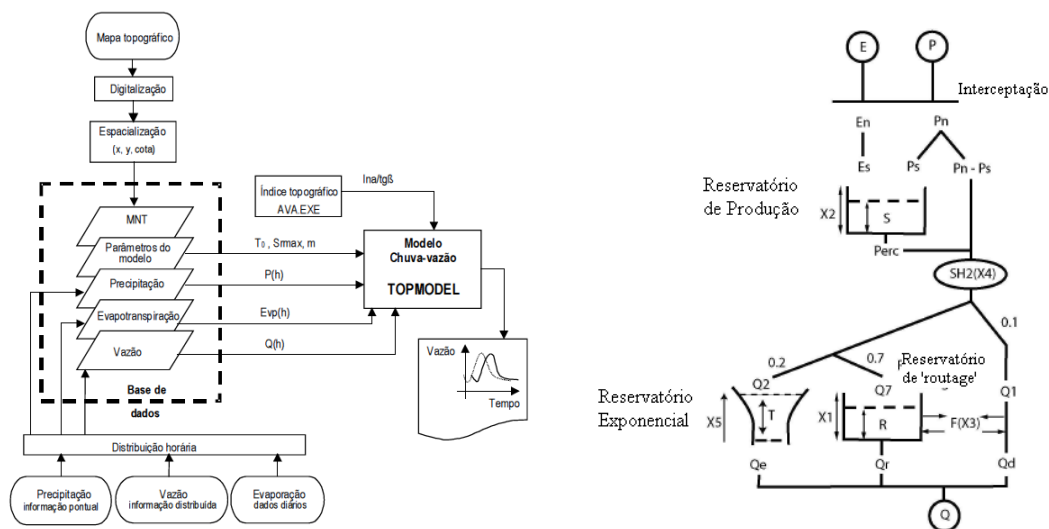


Figura 2 – (a) Fluxograma do TOPMODEL (Varella e Campana, 2000); e (b) do GR5H (Mathevet, 2005).

GR5H – Trata-se de um modelo hidrológico distribuído de transformação chuva-vazão (Fig. 2b) com resolução temporal horária (Mathevet, 2005). Trata-se de um modelo da família GR com escala de tempo variável de hora a anual (Mouelhi, 2003). Possui dois reservatórios de produção de retenção, dois hidrogramas unitários e uma função que realiza transporte no lençol freático. O escoamento superficial é discriminado rápido (hidrograma unitário) e lento (hidrograma e reservação). Possui cinco parâmetros: X1: capacidade do reservatório de retenção: este parâmetro parametriza o reservatório não-linear de transferência de grandes volumes e controlar as recessões; X2: capacidade do reservatório de produção: parametrização do reservatório de produção da precipitação efetiva a partir dos dados de entrada de precipitação, e as perdas por evapotranspiração; X3: coeficiente de trocas subterrâneas: ele parametriza as trocas subterrâneas as quais influenciam no nível de enchimento do reservatório de retenção; X4: tempo de base do hidrograma unitário: dois hidrogramas unitários são utilizados no modelo, eles dividem o tempo da precipitação efetiva e simulam o atraso entre a chuva e os picos de cheias. Ambos os hidrogramas unitários dependem do parâmetro X4, expresso em horas; X5: parâmetro de esvaziamento do reservatório exponencial: parametrização da taxa de esvaziamento do reservatório exponencial. O objetivo do GR5H identificar os operadores que reproduzem os processos e vazões. O modelo pode ser utilizado em diferentes bacias, assim como os dados de entrada necessários (chuva e ETP). Os dados de entrada são divididos para calibração e para validação do modelo. O primeiro é composto por: (I) um ano para ajuste, onde os níveis dos reservatórios (variáveis internas) são gradualmente estabilizados; (II) um período de calibração de parâmetros. O período de validação é caracterizado pelo teste de parâmetros obtidos no primeiro período em um espaço de tempo distinto do qual foi utilizado anteriormente. Esta etapa auxilia na verificação de robustez do modelo.

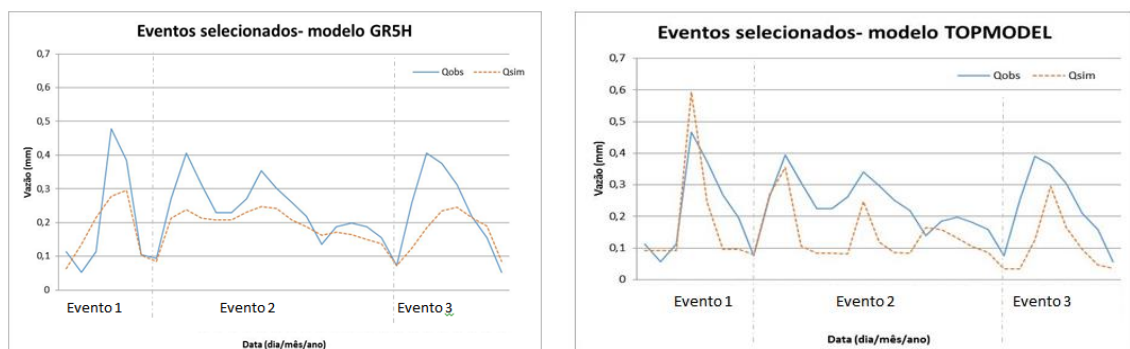


Figura 3 - Simulação vazão (mm) de eventos de 2001 com o modelo GR5H (esquerda) e TOPMODEL (direita). A vazão observada é indicada pela linha azul e, a simulada, pela laranja. Os eventos são: (1) 01:00 h – 20:00 h de 09/01/2001; (2) 18:00 h de 05/02/2001 às 00:00 h de 07/02/2001 e; (3) 15:00 h de 09/12/2001 às 14:00 h de 10/12/2001.

3. Resultados

Foram selecionados os principais eventos hidrológicos ocorridos no período 2000 e 2001 para gerar hidrogramas simulados para calibrar e validar os modelos TOPMODEL e GR5H. A Figuras 4 mostra os resultados das simulações com os modelos GR5H e TOPMODEL, respectivamente. Os resultados indicam que ambos os modelos subestimam as vazões medidas, principalmente nos eventos de maior pico de vazão (e.g., 09/12/2001). Entretanto, o TOPMODEL superestimou o evento de 09/01/2001. Os eventos simulados com o GR5H estão em fase com as observações. Os eventos simulados com o TOPMODEL têm menor duração ou antecipam a subida da vazão. Utilizaram-se o erro de volume e o coeficiente Nash-Sutcliffe (NS) (NASH; SUTCLIFFE, 1970) para avaliar o desempenho dos modelos. Os valores de Nash dos modelos GR5H e TOPMODEL são, respectivamente, 0,54 e 0,46. A Tabela 2 apresenta a precipitação efetiva simulada e observada com o GR5H e TOPMODEL.

Tabela 2 – Erro volume TOPMODEL e GR5H.

Erro de volume modelo GR5H			
Eventos	Volume observado (mm)	Volume simulado (mm)	Erro de volume (%)
Evento 1	1,14	1,11	13,73
Evento 2	3,72	2,24	19,70
Evento 3	1,85	0,84	26,98

Erro de volume modelo TOPMODEL			
Eventos	Volume observado (mm)	Volume simulado (mm)	Erro de volume (%)
Evento 1	1,14	1,11	2,63
Evento 2	3,72	2,24	39,71
Evento 3	1,85	0,84	54,66

Desta forma, verifica-se que na maioria dos casos o modelo GR5H possui erro de volume menor do que do modelo TOPMODEL. Por exemplo, o erro do terceiro evento com GR5H foi 27%, e, com TOPMODEL, 55%. Todavia, para o primeiro evento, o modelo TOPMODEL apresentou um resultado mais satisfatório, o erro de volume foi de 3%. Em contraposição, o GR5H apresentou, para este mesmo evento, um erro de 14%.

4. Conclusão

A bacia do PEFI é afetada por grandes eventos de chuva nos meses de verão com escoamento superficial rápido e baixo pico de vazão. As simulações de vazões dessa bacia rural evidenciam a complexidade. Os resultados apresentados sugerem melhor desempenho com o modelo GR5H, exceto para o primeiro evento.

Agradecimentos: Ao Laboratório de Hidrometeorologia e EM-IAG USP pelas séries de dados, à FUNDESPA pelo financiamento do primeiro autor e ao ISRTEA pelo suporte com o GR5H.

REFERÊNCIAS

- BEVEN, K. J.; KIRKBY, M. J.(1979). A Physically based, variable contributing area model of basin hydrology. *Hydrological Sciences Bulletin*, v. 24, n. 1, pp. 43-69.
- BICUDO, D.C., FORTI, M.C., BICUDO, C.E.M. (2002). *Parque Estadual das Fontes do Ipiranga: unidade de conservação que resiste à urbanização de São Paulo*. Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo, São Paulo.
- BRAVO, J. M.; ALLASIA, D. G.; COLLISCHONN, W.; TASSI, R.; MELLER, A.; TUCCI, C. E. M. Avaliação visual e numérica da calibração do modelo hidrológico IPH II com fins educacionais. In XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, São Paulo, 2007.
- CEBALLOS, A.; SCHNABEL, S. (1998). Hydrological behaviour of a small catchment in the dehesa landuse system. *Journal of Hydrology*, v.210, p.146-160.
- FERREIRA, L. (2004). Simulação hidrológica utilizando o modelo TOPMODEL em bacias rurais, estudo de caso na bacia do Ribeirão dos Marins – Seção Monjolinho –SP. Campinas. 229p. Tese (Doutorado) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual De Campinas, Campinas, 2004.
- HORNBERGER, G.M.; BEVEN, K.J.; COSBY, B.J.; SAPPINGTON, D.E. (1985). Shenandoah watershed study: Calibration of a topography-based, variable contributing area hydrological model to a small forested catchment. *Water Resources Research*, v. 21, pp. 1841-1850.
- IBGE – Institut de Géographie et Statistique. (2005). Direction de recherches, coordination de population et indicateurs sociales. Recherche National d'Assainissement: Basique. Atlas d'assainissement. 2005.
- KRON, W. (2003). Flood Catastrophes: causes, losses and prevention an international re-insure's viewpoint. In International Workshop on Precautionary Flood Protection in Europe, Bonn, 2003.
- MATHEVET, T. (2005). Which rainfall-runoff model at the hourly time-step? Empirical development and intercomparison of rainfall-runoff models on a large sample of watersheds, Tese (Doutorado) – Universidade ENGREF, Paris, 2005.
- NASH, J. E.; STUCLIFFE, J. V. (1970). River flow forecasting through conceptual models part I: a discussion of principles. *Journal of Hydrology*, v. 10, pp. 282-290.
- ONU – Organização das Nações Unidas. (2003). United Nations; International Strategy for Disaster Reduction. Living with Risk: Turning the tide on disasters towards sustainable development. World Disaster Reduction Campaign, Genebra, 2003.
- PEREIRA FILHO, A. J.; CRAWFORD, K. C.; HARTZELL, C. (1998). Improving WSR-88D hourly rainfall estimates. *Weather and Forecasting*, v.13, p. 1016-1028.
- PEREIRA FILHO, A.J.; MASSAMBANI,O.; LOBO,G.A.; CASTILHANO,L.L. (2002). Balanço hídrico da bacia hidrográfica do IAG. In Parque Estadual das Fontes do Ipiranga: unidade de conservação que resiste à urbanização de São Paulo. Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo, São Paulo.
- PEREIRA FILHO, A. J.; BARROS, M.T.L.; HALLAK, R.;GANDU,A.W. (2004). Enchentes na Região Metropolitana de São Paulo: Aspectos de Mesoescala e Avaliação de Impactos. In XIII Congresso Brasileiro de Meteorologia, Fortaleza, 2004.
- PEREIRA FILHO, A. J.; HALLAK, R. ; VEMADO, F.(2009). Evaluation of a hydrometeorological forecast system for the metropolitan area of São Paulo. In WMO Symposium on Nowcasting, Whistler, 2009.
- ROCHA FILHO, K. L. (2010). Modelagem hidrológica da bacia do rio Pirajuçara com Topmodel, telemetria e radar meteorológico. São Paulo. 139p. Tese (Mestrado) – Departamento de Ciências Atmosféricas do Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.
- SAULNIER, G. M. (1996). Information pedologique spatialisee et traitements topographiques ameliorees dans la modelisation hydrologique par TOPMODEL. Grenoble. Tese (Doutorado) - Institut National Polytechnique de Grenoble, Grenoble, 1996.
- SENARATH, S. U. S.; et al.(2000). On the calibration and verification of two-dimensional, distributed, Hortonian, continuous watershed models. *Water Resources Research*, v.36, n.6, pp.1495 – 1510.
- VARELLA, R. F.; CAMPANA, N. A. (2000). Simulação matemática do processo de transformação de chuva em vazão: estudo do modelo TOPMODEL. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v.5, n.4, pp.121-139.