

CONSIDERAÇÕES SOBRE UM MODELO DETERMINÍSTICO CHUVA-VAZÃO APLICADO A BACIAS DO SEMI-ÁRIDO NORDESTINO

* Marcos Airton de Sousa Freitas

** Adonai de Sousa Porto

No presente trabalho são apresentadas diversas particularidades do uso de modelos hidrológicos determinísticos chuva-vazão. A seguir, são apresentados os resultados e perspectiva do uso do modelo CN-3S (Curve Number with Three Steps Antecedent Precipitation), em bacias do semi-árido nordestino.

Abstract

The work reported in this paper concentrates on several particularities in the of rainfall-runoff deterministic hydrologic models.

After the results and perspective o the use o the CN-3S (Curve Number with Three Steps Antecedent Precipitation) model, when it is applied to norheart semi-arid watersheds, are presented.

1. INTRODUÇÃO

Um aspecto de relevante interesse em hidrologia aplicada diz respeito a modelagem do ciclo hidrológico. Dentro dessa perspectiva, a determinação das vazões de rios a partir de certos parâmetros físicos, tais como, precipitação, evaporação, vegetação, solo e outros é vital para o estudo de cheias, estudo dos efeitos de mudanças na bacia e para o gerenciamento dos recursos hídricos, de maneira geral.

Durante a primeira metade do século XIX foram publicados registros de medições de vazões de vários rios europeus, doravante usados para o desenvolvimento dos modelos de processo hidrológico (LINSLEY, 1981).

Com a incorporação do uso de computadores digitais, na década de 60, os modelos chuva-vazão tiveram enorme progresso até atingirem o estado-de-arte atual.

Para uma perfeita escolha do modelo, o hidrólogo deveria observar, afora, é claro, a disponibilidade do modelo, dois aspectos: (1) o objetivo do uso do modelo e (2) a confiabilidade dos resultados como um todo: dados, modelo, calibração, validação e aplicação.

Como os modelos são representações simplificadas do sistema real (natureza), nem sempre o que incorpora maior complexidade e o mais indicado para determinada utilização, haja visto que se deve considerar a disponibilidade de dados. Por tanto, é imprescindível ter-se em mente a finalidade do uso do modelo.

2. ASPECTOS RELACIONADOS AO USO DE MODELOS CHUVA-VAZÃO

Sendo o modelo uma representação simplista da complexa realidade, é notório o aparecimento de im-

* Engo. Civil e Prof. da UNIFOR

** Engo. Civil e técnico da SIRAC

perfeições. Urge, portanto, atentarmos para as diversas fontes de incerteza. O'DONNELL e CANEDO (1980) relacionaram as principais fontes de incerteza, quais sejam: registros de dados hidrometeorológicos da bacia hidrográfica, estruturas dos modelos chuva-vazão e calibração de modelos chuva-vazão.

RETNAM e WILLIAN (1988) relatam estudos de erros decorrentes do uso de medições pontuais de uma variável de entrada contínua no espaço. WOOD et al. (1988) estudam os efeitos da variabilidade espacial e problema de escala em se tratando de modelos hidrológicos. DELHOMME (1979), SEVEN et al. (1989) e SMITH e HEBBERT (1979) fazem análise da variabilidade espacial e incertezas dos parâmetros.

Problemas relacionados a estrutura dos modelos chuva-vazão derivam, principalmente, dos imperfeitos conhecimentos da física dos processos hidrológicos. Os processos de infiltração e percolação do solo são os que, geralmente, impedem a obtenção de melhores resultados no uso de modelos chuva-vazão.

Tucci et al. (1988) procurando sanar esse problema relacionado com a infiltração, propõem algoritmos que consideram a variabilidade espacial da capacidade de infiltração e que podem ser incorporados a modelos chuva-vazão.

Outro aspecto interessante levantado por SO-ROOSHIAN e GUPTA (1985) trata da identificabilidade estrutural de modelos. O artigo enfoca um procedimento para determinar se a estrutura do modelo é um auxílio ou um obstáculo para a determinação dos valores ótimos dos parâmetros.

GUPTA e SOROOSHIAN (1985) travam uma discussão acerca dos parâmetros "threshold" os quais levam o modelo a operar em diferentes modos de vizinhança dependendo de seu estado.

CANEDO, SILVA e XAVIER (1989) amenizaram esse problema com o uso de técnicas de suavização.

Com relação a influência de tamanho da série, CANEDO (1979) mostrou que 5 anos seria o tamanho recomendado, desde que houvesse disponibilidade para uso no processo de calibração.

PILGRIM et al. (1982) apresentaram um importante estudo dos efeitos do tamanho da bacia nas relações de escoamento.

Quanto a função objetivo, segundo SOROOSHIAN, GUPTA e FULTON (1983), deve ser tal que abstraia de forma eficiente as informações contidas nos dados.

DISKIN e SIMON (1977) propuseram um procedimento sistemático para seleção de funções objetivas, porém envolvendo bastante subjetividade.

Os métodos de otimização podem ser classificados em métodos diretos e indiretos. Os métodos indiretos podem, ainda, serem subdivididos em métodos de 1ª ordem e métodos de 2ª ordem.

Discussão sobre o uso de um outro método pode ser encontrado em KUESTER e MIZE (1974), GUPTA e SOROOSHIAN (1983) e BARD (1974).

3. O MODELO CN-3S

Dentro dessa abordagem, anteriormente citada, o uso de modelos de maior complexidade em estudos de bacias do semi-árido nordestino esbarra, principalmente, nas séries de vazões observadas.

A aplicação atual de modelos chuva-vazão, recai, em maior intensidade na geração de séries sintéticas usadas na simulação de operação de reservatórios no projeto de barragens de irrigação.

O modelo CN-3S (Curve Number Three Steps) foi desenvolvido com o intuito inicial de simular a lâmina mensal de escoamento, ou seja, a soma das lâminas de escoamentos diretos e de base (TABORGA e FREITAS, 1987).

O modelo baseia-se nas relações desenvolvidas pelo U.S. Conservation Service das curvas CN (Curve Number) e é composto de seis parâmetros de calibragem. A descrição completa, incluindo, fluxograma do modelo pode ser encontrada em TABORGA e FREITAS (1987).

As séries de precipitações utilizadas como entrada para o modelo, correspondem as séries de precipitações médias mensais ponderadas, através dos polígonos de Thiessen, dos diversos postos pluviométricos pertencentes as bacias utilizadas.

Os dados de vazões correspondem as séries de vazões médias mensais na secção de controle. Não são usados dados de evaporação ou evapotranspiração pois tais perdas estão implícitas no modelo.

Convém ressaltar que a discretização temporal dos dados de vazão e precipitação bem como a variabilidade espacial da precipitação e infiltração implicam, obviamente, em imperfeições.

4. APLICAÇÃO DO MODELO CN-3S

O modelo foi aplicado a diversas bacias de vários estados do nordeste brasileiro. Tanto as séries de precipitação quanto as de vazões utilizadas foram a nível mensal.

Dados de área, número de postos pluviométricos, período, bem como, os valores ótimos dos parâmetros e estatísticas podem ser encontradas na tabela 1.

Na figura 1 pode-se ver as séries de vazões observadas e calculadas para as bacias.

5. CONCLUSÕES

Nota-se que, devido a simplicidade do modelo associada a razoável disponibilidade dos dados de entrada e facilidade de calibração, o modelo CN-3S atende sobremaneira aos objetivos para os quais foi desenvolvido.

TABELA 1
RESULTADOS DA APLICAÇÃO DO MODELO CN-3S

NOME DA BACIA	PEDRA REDONDA	GROAIRAS	MATRIZ	ANTENOR NAVARRO	ALDEIA	PAJEÚ
Área (km ²)	3340	2759	468	1257	3340	6170
Estado	Piauí	Ceará	Pernambuco	Paraíba	—	Ceará
Período estudado	1976/83	—	1971/76	—	—	—
Nº de postos utilizados	3	—	1	—	—	—
Chuva média anual no período	636,8	—	711	810,8	564,4	720,8
PARÂMETRO INICIAL						
Lençol freático	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
PARÂMETROS CALIBRADOS						
CN1	24,0	26,5	21,1	15,5	30,5	16,5
AL FA	0,2	0,2	0,225	0,2	0,2	0,2
BETA	0,00300	0,00135	0,00260	0,00390	0,00120	0,00600
KQ	0,57	0,88	1,0	0,69	0,89	0,25
K1	0,0105	0,0110	0,0090	0,0180	0,0090	0,0600
K2	0,42	0,95	0,95	0,40	0,50	0,40
SÉRIE OBSERVADA						
Média (mm)	2,02	8,50	2,19	4,59	1,88	6,20
Desvio Padrão (mm)	6,01	31,12	7,40	15,98	6,19	20,08
Assemetria	4,13	6,09	5,11	4,34	4,42	5,69
SÉRIE CALCULADA						
Média (mm)	2,05	8,33	2,15	4,59	1,89	6,86
Desvio padrão (mm)	5,83	31,43	7,24	12,75	5,67	18,98
Assemetria	3,98	5,92	5,29	3,85	3,84	6,54
COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO						
Correlação mensal	0,916	0,978	0,983	0,921	0,898	0,956
Correlação anual	0,884	—	0,998	0,984	0,943	0,993
Correlação das médias mensais	0,982	—	0,987	0,987	0,919	0,971

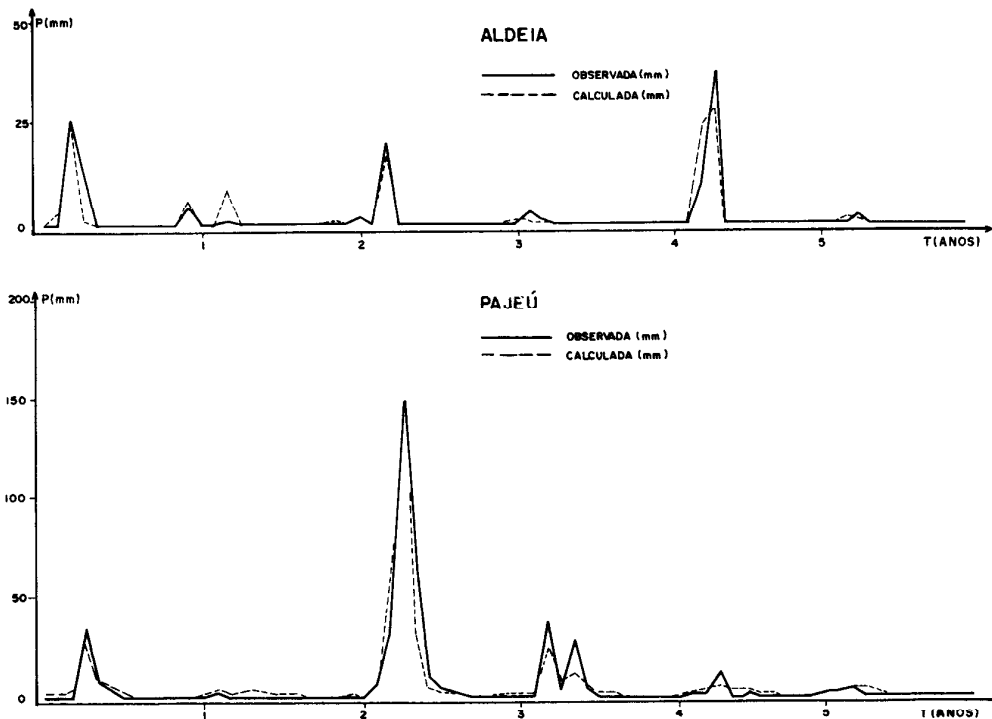


Figura 1 – Vazões Observadas e Calculadas

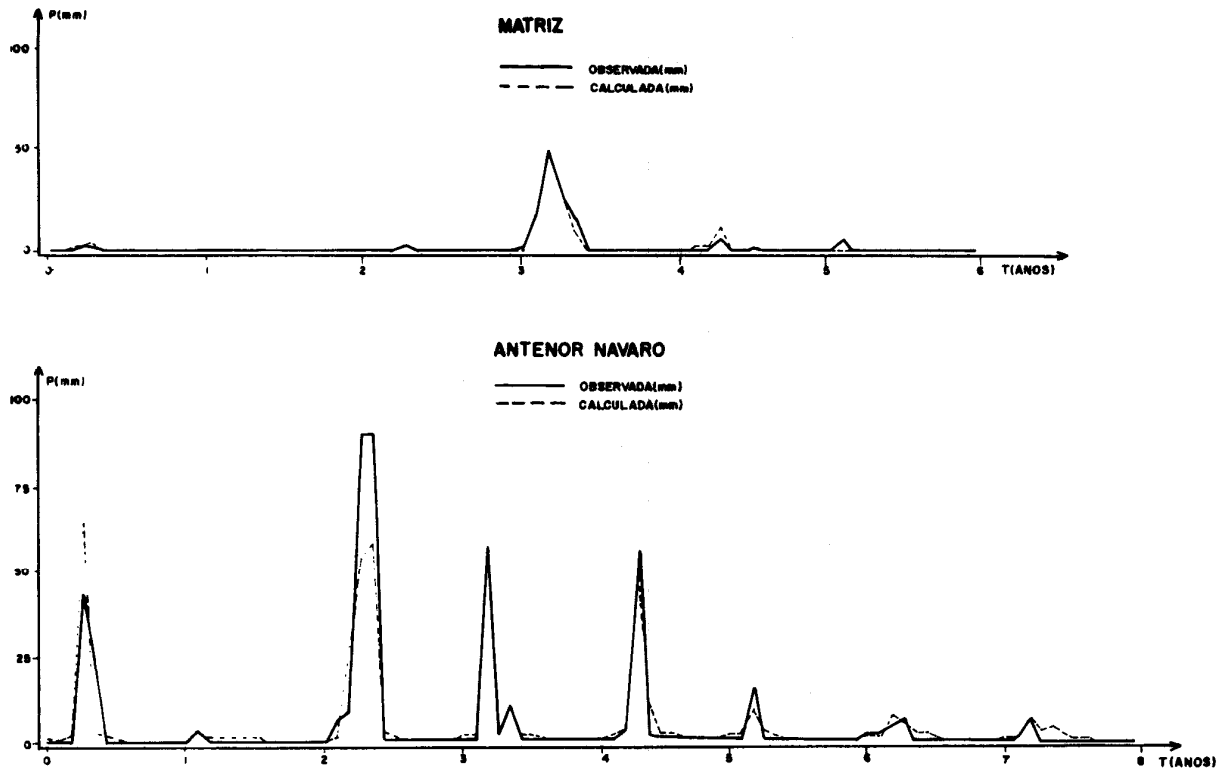


Figura 2 – Vazões Observadas e Calculadas

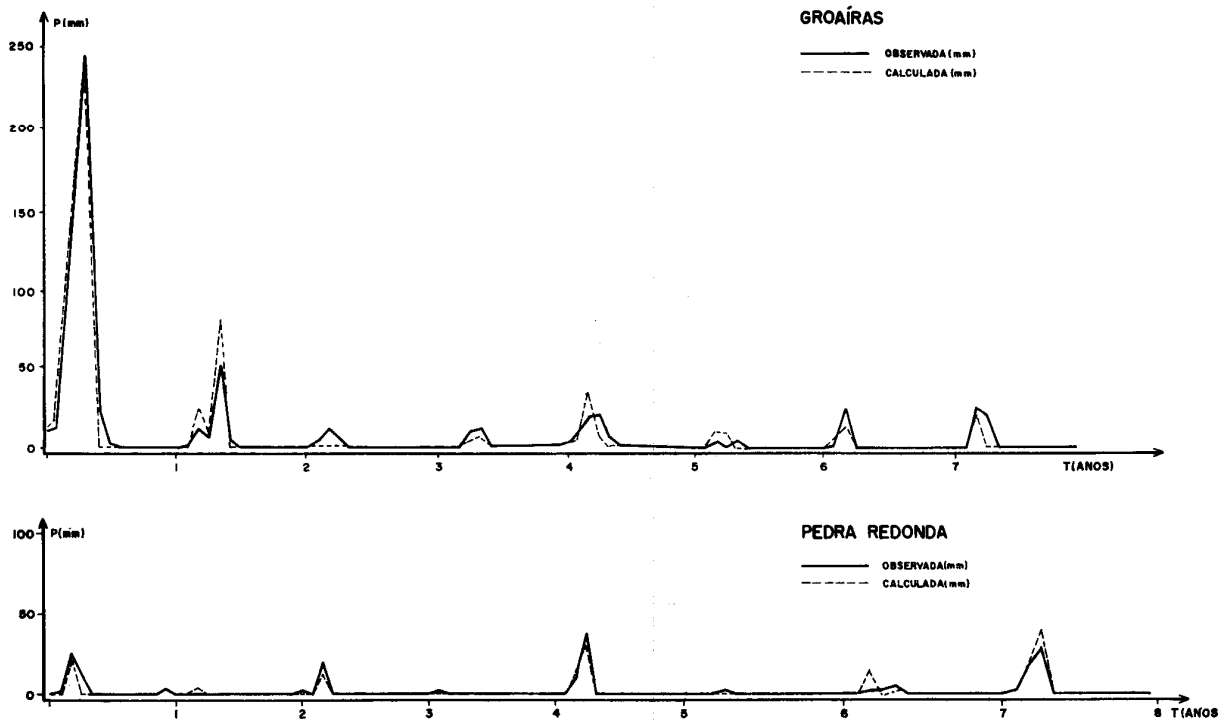


Figura 3 – Vazões Observadas e Calculadas

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

01. BARD, Y. "Nonlinear Parameter Estimation", Academic, Orlando, Fla., 1974.
02. BEVEN, K. J. et al. "On Hydrological Heterogeneity – Catchment Morphology and Catchment Response" J. Hydrol., 100, 353-375, 1988.
03. CANEDO, P. M. "The Reliability of Conceptual Catchment Model Calibration", PhD. Thesis, University of Lancaster, U.K., 1979.
04. CANEDO, P. M., SILVA, L. P. & XAVIER, A. E. "Calibração Automática de Modelos Chuva-Vazão por meio de Técnicas de Suavização", IV Simpósio Luso-Brasileiro de Hidráulica e Recursos Hídricos, Vol. 2, 277-287, Lisboa, 1989.
05. DELHOMME, J. P. "Spatial Variability and Uncertainty in Groundwater Flow Parameters: A Geostatistical Approach", Vol. 15, nº 02, 269-280, 1979.
06. DISKIN, M. H. & SIMON, E. "A Procedure for the Selection of Objective Functions for Hydrologic Simulation Models", J. Hydrol., 34 (1/2), 129-149, 1977.
07. GUPTA, V. K. & SOROOSHIAN, S. "Uniqueness and Observability of Conceptual Rainfall – Runoff Model Parameters: The Percolation Process Examined", Water Resources Research, Vol. 19, nº 01, 269-267, 1983.
08. GUPTA, V. K. & SOROOSHIAN, S. "The Automatic Calibration of Conceptual Catchment Methods Using Derivative-Based Optimization Algorithms", Water Resources Research, 21 (4), 473-485, 1985.
09. KUSTER, J. L. & MIZE, J. H. "Optimization Techniques With Fortran", McGraw – Hill Book Company, 1976.
10. LINSLEY, R. K. "Rainfall-Runoff Relationship", edited by V. P. Singh, Water Resources Publications, 3-22 1981.
11. O'DONNELL, T. & CANEDO, P. M. "The Reliability of Conceptual Basin Model Calibration", Proceedings of the Oxford symposium on Hydrological Forecasting, IAHS, Publ., nº 129, 1980.
12. PILGRIM, D. H. et al, "Effects of Catchment Size on Runoff Relationship", J. Hydrol., 58, 205-211, 1982.
13. RETNAM, M. T. P. & WILLIAMS, B. J. "Input Errors in Rainfall-Runoff Modelling", Mathematics and Computers in Simulation, 30, 119-131, North-Holland, 1988.
14. SMITH, R. E. & HERBERT, R. H. B. "A Monte Carlo Analysis of the Hydrologic Effects of Spatial Variability of Infiltration", Water Res. Research, 15 (2), 419-429, 1979.
15. SOROOSHIAN, S. & GUPTA, V. K. "The Analysis of Structural Identifiability: Theory and Application to Conceptual Rainfall-Runoff Models", Water Resour. Res., 21 (4), 487-495, 1985.
16. SOROOSHIAN, S., GUPTA, V. K. & FULTON, J. C. "Evaluation of Maximum Likelihood Parameter Estimation Techniques for Conceptual Rainfall-Runoff Models: Influence of Calibration Data Variability and Length of Model Credibility", Water Resources Research, 10 (1), 251-259, 1983.
17. TABORGA, J. & FREITAS, M. A. S. "Simulação da Lâmina de Escoamento Mensal", VII Simpósio Brasileiro de Hidrologia e Recursos Hídricos, Vol. 2, 558-570, 1987.
18. TUCCI et. al., Revista Brasileira de Engenharia, 1988.
19. WOOD, E. F. et al. "Effects of Spatial Variability and Scale With Implications to Hydrologic Modeling", J. Hydrol., 102, 29-47, 1988.