

VERIFICAÇÃO DA EFICIÊNCIA DOS MODELOS DE FUNÇÃO DE PRODUÇÃO GR3 E RESERVATÓRIO TOMANDO COMO BASE O USO DA METODOLOGIA DPFT: aplicação para a estação fluviométrica de Ponte Raul Soares na bacia do rio das Velhas, M.G.

Marcus Felipe Matos Cruz¹ & Bruno Rabelo Versiani²

RESUMO --- A escassez de informações hidrológicas face à realidade das redes hidroluviométricas brasileiras, faz com que se procure entender o comportamento das bacias hidrográficas através de modelos empíricos globais mais simples, com poucos parâmetros calibráveis. No método DPFT (Diferenças Primeiras da Função de Transferência) utiliza-se de um conjunto multi-eventos precipitação-vazão e um algoritmo iterativo para a identificação simultânea do Hidrograma Unitário (Função de Transferência) médio da bacia hidrográfica e de uma série de precipitações efetivas associadas a cada evento. Esta última particularidade, permite a calibração e comparação, à posteriori, de diferentes modelos de Função de Produção, relacionando as precipitações observadas às precipitações efetivas calculadas pela metodologia. Apresentam-se aqui resultados da aplicação do método na bacia do rio das Velhas, estação fluviométrica de Ponte Raul Soares. À bacia selecionada, calibraram-se dois modelos simples de Função de Produção: modelo GR3 e modelo de Reservatório. Os resultados dos ajustes destes modelos foram analisados e comparados.

ABSTRACT --- The scarcity of hydrologic information related to the reality of the Brazilian hydropluviometric networks, leads one to study the behavior of the basins by means of simpler global empirical models, with few parameters to calibrate. In DPFT method (First Differences of the Transfer Function) one uses a multi-events rainfall-runoff set and an iterative algorithm for the simultaneous identification of the average Unit Hydrograph (Transfer Function) of the basin and of a series of effective precipitations associates to each event. This last particularity allows to the calibration and comparison, a posteriori, of different Loss Function models, relating observed precipitations to calculated effective precipitations identified by the methodology. Results of the application of the method are presented here, concerning the Velhas river basin, in the Ponte Raul Soares station. To the selected basin, two simple Loss Function models were calibrated: GR3 model and a reservoir model. The results were analyzed and compared.

Palavras-chave: Metodologia DPFT, modelos reservatório e GR3, função de produção.

1) Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos da UFMG. E-mail marcus.felipe@terra.com.br
2) Professor Associado do Departamento de Engenharia Hidráulica e Recursos Hídricos – Escola de Engenharia da UFMG, Av. do Contorno, 842 – 8º andar – CEP 30110-066, Belo Horizonte – MG. E-mail versiani@ehr.ufmg.br

1 - INTRODUÇÃO

Em geral as redes de estações hidropluviométricas brasileiras dispõem somente de dados de precipitação e de vazão, e, na maior parte dos casos, somente dados diários são disponíveis. A escassez de dados e a fraca densidade espacial de observações apresentam um contraste com a necessidade de dados, inerente aos modelos distribuídos. Devido a dificuldade de calibração do grande número de parâmetros que os modelos conceituais geralmente apresentam, a aplicação de modelos empíricos globais são hoje adotados em pesquisas e aplicações tecnológicas, tais como projetos de obras hidráulicas e sistemas de previsão e alerta de cheias. O uso da metodologia de identificação do Hidrograma Unitário e das precipitações efetivas denominada DPFT (Diferenças Primeiras da Função de Transferência), a partir de conjuntos de precipitação total e vazões observadas, nos possibilita obter o modelo de Função de Produção que melhor se ajusta às características da bacia hidrográfica em estudo.

Com o objetivo de verificar a eficiência dos modelos GR3 e reservatório como modelos de Função de Produção adequados para a estação de Ponte Raul Soares, aplicou-se o método DPFT nesta seção da bacia hidrográfica do rio das Velhas, com área de drenagem com 4996 km².

2 - MATERIAL E MÉTODOS

Esquemáticamente, o método do Hidrograma Unitário (HU) propõe que, para uma dada bacia hidrográfica, a vazão é resultado de uma Função de Produção (FP) e de uma função de transferência linear (H). A FP é fortemente não-linear, transforma a precipitação total medida, média aritmética ou ponderada, (P), em precipitação efetiva (Pe), a qual produz o escoamento superficial. Esta transformação depende do tipo e uso do solo e das suas condições de umidade, antes do evento chuvoso. A função de transferência linear (H) propaga ao longo do tempo a chuva efetiva Pe, para se obter a vazão superficial.

Classicamente, impõe-se um modelo de FP (suposto como o mais apropriado para a bacia) para se obter a chuva efetiva para cada evento. Desta forma, o hidrograma pode ser identificado resolvendo-se a equação de convolução, que liga Pe (chuva efetiva), H_i (ordenadas discretizadas do HU) e Q_j (vazão no tempo j):

$$Q_j = \sum_{i=1}^k H_i \cdot Pe_{j-i+1} \quad (1)$$

Ao contrário desta abordagem clássica, o método DPFT, a partir de um conjunto de episódios chuva total – vazão, determina, a função de transferência (H) e as chuvas efetivas (Pe) para cada episódio e a relação P-Pe (Duband *et al.* (1993); Maia *et al.* (2006)). Esta particularidade permite a comparação e escolha da melhor função de produção para uma dada bacia hidrográfica. A

metodologia DPFT, usa um algoritmo iterativo que identifica a função de transferência média, H , de uma série de eventos chuva-vazão e a série correspondente de chuvas efetivas, Pe , para cada evento, sem assumir uma estrutura a priori para a FP.

Os cálculos são feitos utilizando-se a diferença primeira, ou seja, calculam-se as variações das vazões em um intervalo de tempo. Para isso, partindo-se da equação (1), obtém-se:

$$q_j = Q_j - Q_{j-1} = \sum_{i=1}^k (H_i - H_{i-1}) Pe_{j-i+1} \quad (2)$$

$$q_j = \sum_{i=1}^k h_i Pe_{j-i+1} \quad (3)$$

em que q_j representa a variação da vazão no instante j :

$$q_j = Q_j - Q_{j-1} \quad (4)$$

e h_i são os coeficientes da DPFT:

$$h_i = H_i - H_{i-1} \quad (5)$$

Este algoritmo iterativo consiste em se fazer uma primeira aproximação dos valores de h_i (coeficientes da DPFT) utilizando-se a diferença entre as vazões observadas q_j em um intervalo de tempo e a chuva total P , como uma primeira estimativa da chuva efetiva, como dados de entrada (Duband *et al.* (1993)).

Após a identificação do Hidrograma Unitário, procede-se a calibração da Função de Produção que relaciona a série de chuvas totais, P , às chuvas efetivas, Pe , calculadas na última iteração.

2.1 - Funções de produção utilizadas

Neste trabalho, foram analisados 2 modelos simples de Função de Produção, modelo GR3 e modelo de Reservatório.

2.1.1 O modelo GR3

O modelo GR3 é um modelo empírico global com 3 parâmetros, ao passo de tempo diário, desenvolvido por Edijatno e Michel (1989). Ele é o resultado de uma pesquisa na qual o objetivo principal seria obter uma representação empírica mais simples possível do processo chuva-vazão, que fosse capaz de permitir uma simulação correta das transformações chuva-vazão em uma bacia hidrográfica, assegurando a precisão requisitada pelas aplicações usuais deste tipo de modelo (Nascimento (1995)).

O modelo, em seu formato original, é composto por dois reservatórios, o reservatório solo, associado à Função de Produção e o reservatório água-gravitacional, associado à Função de Transferência. A Função de Transferência utiliza ainda duas ferramentas: um hidrograma unitário

que produz uma decalagem entre a formação da chuva efetiva e a chegada da água ao reservatório-água-gravitacional, permitindo melhor simular a subida do hidrograma de cheia e um outro hidrograma unitário que deriva uma parte do escoamento diretamente até o exutório. Com o segundo hidrograma unitário, o objetivo a alcançar é a melhor representação das reações rápidas de certas bacias às flutuações da quantidade de chuva, durante os eventos pluviométricos de longa duração. Estas reações são características para os picos de vazão superpostos a estes hidrogramas mais regulares.

No entanto, uma adaptação deste modelo, foi realizada, uma vez que o Hidrograma Unitário a ser utilizado, é o Hidrograma obtido pelo uso da metodologia DPFT. Desta forma, somente o primeiro reservatório é considerado (reservatório solo), conforme Figura 1. Assim, este modelo recria a condição de um reservatório onde uma neutralização entre a precipitação diária “P” e a evaporação diária “E” (aqui tomada como sendo constante durante toda a análise, igual a 5 mm/dia) é prevista, de modo que sempre existirá somente uma entrada no modelo. Se $P \geq E$, a entrada será $P_n = P - E$; se $E > P$, a entrada será $E_n = E - P$, negativa e $P_n = 0$, onde P_n é a chuva efetiva.

Os parâmetros a se calibrar são A que caracteriza a bacia e S_1 , que simula a condição inicial do terreno, em cada episódio considerado, o que nos fornece a relação S_1/A .

O reservatório solo tem uma capacidade máxima A, primeiro parâmetro do modelo, e um nível S_1 , segundo parâmetro, que muda conforme a ação de P_n ou de E_n .

A Figura 1 ilustra o funcionamento do modelo GR3.

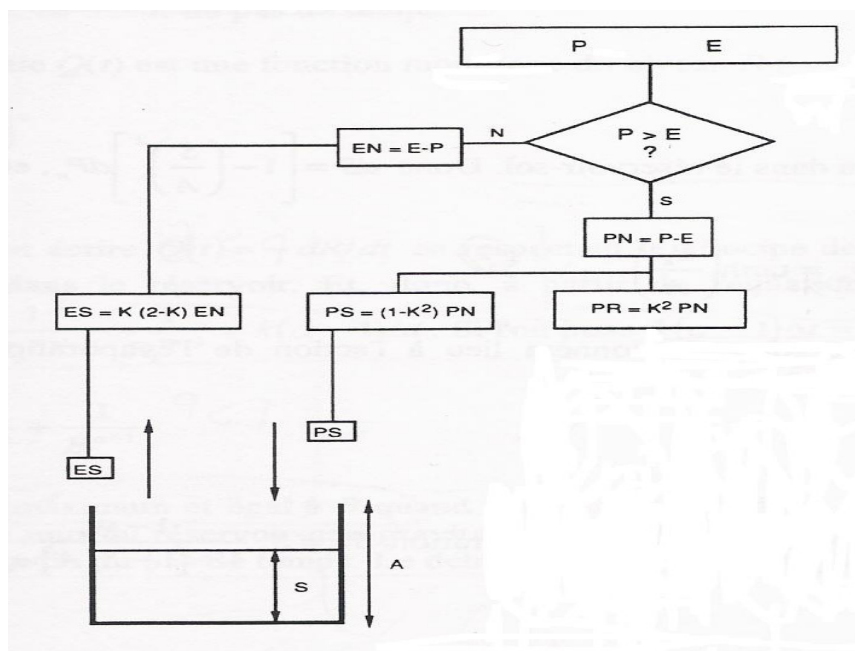


Figura 1 – Esquema do modelo GR3

Se à entrada do modelo considera-se um evento dP_n , o excesso de precipitação será $\left(\frac{S}{A}\right)^2 dP_n$

Desta forma, colocará dentro do reservatório solo $\left[1 - \left(\frac{S}{A}\right)^2\right] dP_n$

Então, $dS = \left[1 - \left(\frac{S}{A}\right)^2\right] dP_n$ e por integração,

$$S_2 = \frac{S_1 + Aw_p}{1 + \left(\frac{S_1}{A}\right)w_p} \quad (6)$$

onde,

$$w_p = \tanh\left(\frac{P_n}{A}\right) \quad (7)$$

Se $P_n = 0$, a evaporação E_n dará lugar à ação de evapotranspiração real no reservatório solo, conforme a relação:

$$\frac{S}{A} \left[2 - \frac{S}{A}\right] dE_n \quad (8)$$

e, então, $dS = -\frac{S}{A} \left[2 - \frac{S}{A}\right] dE_n$ e por integração,

$$S_2 = S_1 \frac{1 - w_e}{1 + \left[1 - \frac{S_1}{A}\right]w_e} \quad (9)$$

onde,

$$w_e = \tanh\left(\frac{E_n}{A}\right) \quad (10)$$

2.1.2 Modelo de Reservatório

Este modelo, proposto por Lorent (1975), relaciona os fenômenos que ocorrem em uma bacia hidrográfica aos que ocorreriam em um reservatório, e calcula Pe por meio de:

$$Pe(t) = P(t) - W(t); \quad [0 < Pe(t) < P(t)] \quad (11)$$

em que a taxa de perdas, $W(t)$, é obtida usando-se uma equação exponencial que depende do déficit do reservatório, $D(t) = SMAX - S(t)$, que representa a evolução hidrológica da bacia durante o evento (Figura 2), ou seja:

$$W(t) = [SMAX - S(t-1)] [1 - \exp\{-\beta P(t)/(SMAX - S(t-1))\}] \quad (12)$$

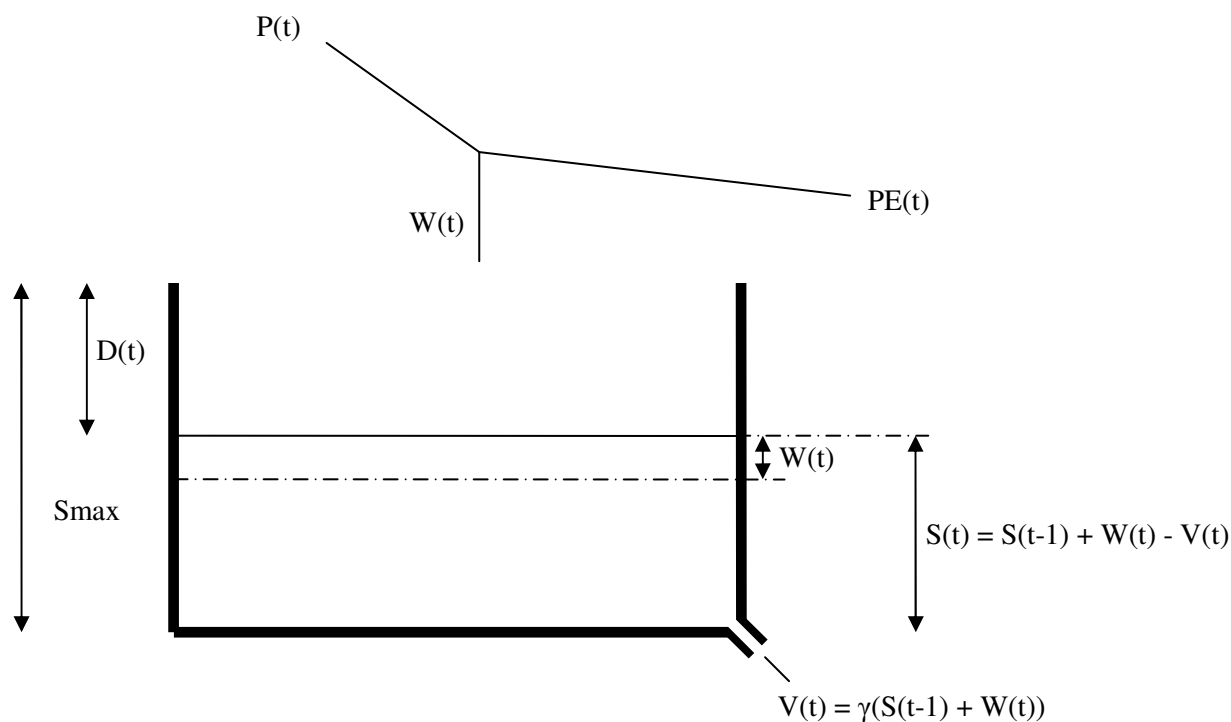


Figura 2 – Esquema do modelo de Reservatório

Na Figura 2,

$P(t)$ = precipitação observada no pluviômetro (media aritmética ou ponderada), no tempo t ;

$W(t)$ = retenção ou perda do reservatório em t ;

$S(t)$ = armazenagem do reservatório em t ;

$D(t)$ = deficit do reservatório em t ;

$Pe(t)$ = chuva efetiva em t ;

$V(t)$ = saída do reservatório em t ;

S_{MAX} = armazenagem máxima do reservatório.

O comportamento do déficit do reservatório é controlado por,

$$D(t) = D(t-1) - W(t) + V(t) = (1 - \alpha)D(0) + \alpha[D(t-1) - W(t-1)] \quad (13)$$

Onde:

$$\alpha = (1 - \gamma) \quad (14)$$

em que α e β são dois parâmetros caracterizando a bacia e devem ser calibrados respeitando-se a condição $0 < (\alpha, \beta) < 1$. $D(0)$ é um parâmetro que caracteriza as condições iniciais para cada evento, levando-se em conta o estado hidrológico prévio (condições de umidade antes do início do episódio).

2.2 - Área de estudo e base de dados

Neste trabalho foram utilizados dados de uma bacia do alto rio São Francisco (bacia do rio das Velhas). A estação fluviométrica escolhida foi a de Ponte Raul Soares (com 4996 km² de área de drenagem).

A bacia do rio das Velhas, um dos principais afluentes do alto rio São Francisco, localiza-se inteiramente no Estado de Minas Gerais, fazendo parte da sub-bacia 41. O rio se estende do município de Ouro Preto até o município de Pirapora desaguando no rio São Francisco.

Para calibração do Hidrograma Unitário e das chuvas efetivas relativas à estação fluviométrica da bacia do rio das Velhas, foram utilizados dados de vazões médias diárias e precipitações diárias. As precipitações médias foram calculadas pelos polígonos de Thiessen sendo usados dados de 6 estações pluviométricas, (Cruz, 2007).

Os dados de vazão e de precipitação foram obtidos da ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica) e cedidos pela CEMIG (Companhia Energética de Minas Gerais).

Foram selecionados eventos significativos, que ocorreram principalmente nos períodos de cheias acentuadas na região, entre os meses de outubro a março.

3 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 - Aplicação de metodologia DPFT

De acordo com Cruz (2007), a amostra 1 apresentou 19 dos 22 episódios selecionados com coeficiente de Nash (NSE) superior a 0,7 (considerados no estudo como indicador de um bom ajuste), quando comparadas as vazões observadas com as vazões calculadas pela metodologia DPFT. Da amostra 2, 24 dos 26 episódios selecionados se apresentaram nesta condição, conforme mostra o Quadro 1.

Quadro 1 – Coeficientes de Nash correspondentes aos episódios (Metodologia DPFT)

Estação de Ponte Raul Soares			
Amostra 1		Amostra 2	
Episódio	NSE	Episódio	NSE
5	0,9956	11	0,9973
18	0,9895	4	0,9786
19	0,9870	24	0,9784
21	0,9865	23	0,9782
8	0,9771	19	0,9702
13	0,9747	25	0,9674
10	0,9731	10	0,9599
3	0,9729	26	0,9590
4	0,9727	21	0,9550
6	0,9556	13	0,9547
12	0,9307	8	0,9528
11	0,9303	14	0,9497
16	0,9105	5	0,9394
1	0,9002	1	0,9344
7	0,9002	12	0,9304
17	0,8982	22	0,9262
14	0,8949	6	0,9182
15	0,8602	15	0,8938
2	0,8414	16	0,8736
9	0,5881	3	0,8478
20	0,4621	7	0,8129
22	0,3490	17	0,7908
		18	0,7877
		9	0,7339
		20	0,1975
		2	-0,3625

As Funções de Transferência (Hidrogramas Unitários) em valores adimensionais, são mostradas na Figura 3.

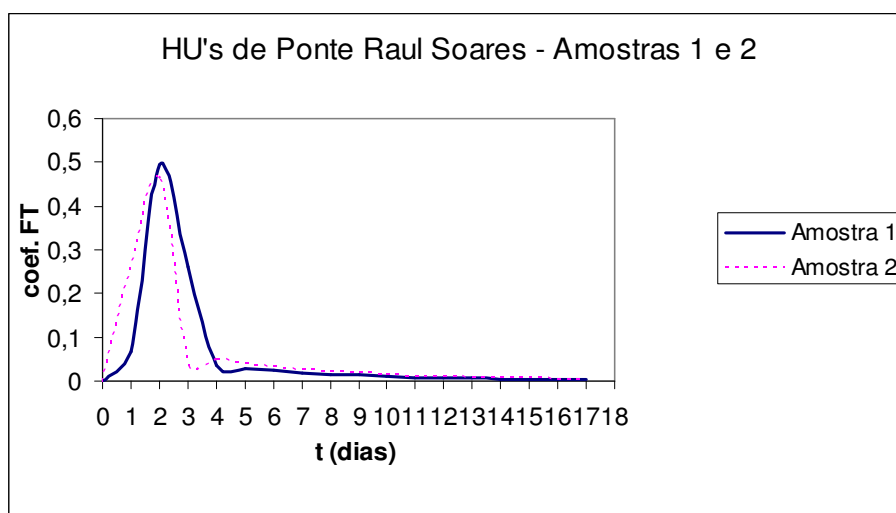


Figura 3 – Funções de Transferência – método DPFT

Como na calibração foram usadas unidades de milímetro para precipitações e vazões, os Hidrogramas Unitários (Equação 1) são adimensionais. Pela Figura 3 observa-se que o HU em Ponte Raul Soares apresenta o valor máximo no segundo dia.

O intervalo de tempo unitário adotado (igual ao dia) mostrou-se compatível com o tamanho da bacia, no que se refere ao tempo de resposta dos hidrogramas. O método pode, portanto, ser adotado em bacia deste porte, como no caso em questão, no qual o horizonte de tempo de previsão de vazões é superior ao dia, pois a inércia da bacia é superior ao dia. O problema consiste em se ter uma boa estimativa da precipitação média na bacia. Sabe-se que, quanto maior a área, maior a variabilidade espacial das precipitações. Portanto, quanto maior a área, maior o risco de erro na sua estimativa. Nos casos estudados, a estimativa adotada foi a de Thiessen.

A título de ilustração apresenta-se os gráficos para os episódios 10 e 14 (Amostra 1 de Ponte Raul Soares).

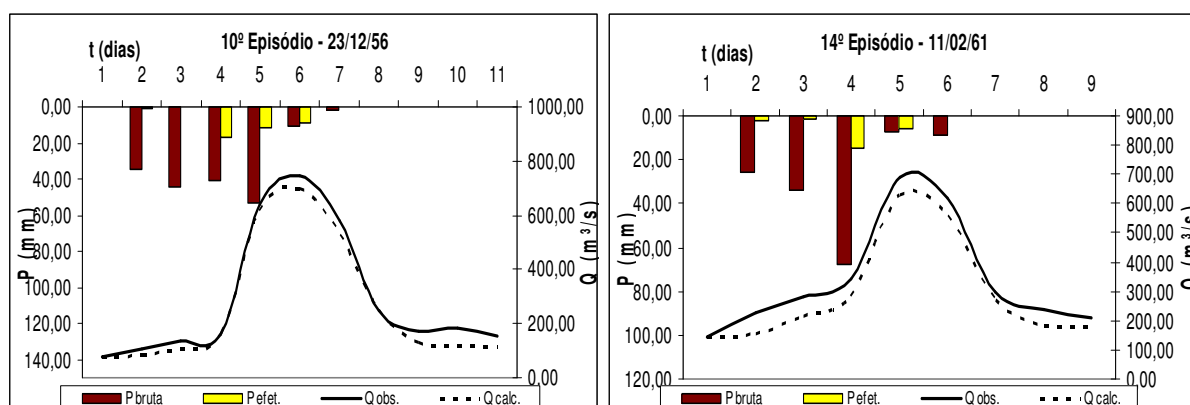


Figura 4 – Precipitações totais e efetivas calculadas pelo método DPFT; vazões observadas e calculadas

Observa-se que as chuvas efetivas calculadas pelo método reconstituem bem as vazões observadas.

3.2 - Funções de Produção

Para os episódios chuva-vazão selecionados, foram calibrados os parâmetros das 2 Funções de Produção usadas neste trabalho. Nesta calibração foram empregados programas de minimização do erro quadrático médio entre precipitações efetivas calculadas pelo método DPFT e precipitações efetivas calculadas, respectivamente, pelo modelo GR3 (Equações 6 a 10) e modelo de reservatório (Equações 11 a 14), implementando-se códigos FORTRAN e MATLAB.

Foram encontrados os seguintes valores (Quadro 2):

Quadro 2 – Parâmetros calibrados para os modelos GR3 e Reservatório (Amostra 1)

Ponte Raul Soares - Amostra 1					
Ep.	Reservatório			GR3	
	alfa (α)	beta (β)	D(0) (mm)	A (mm)	S ₁ (mm)
1	0,99	0,99	134	190	10
2	0,99	0,99	191	250	10
3	0,99	0,99	83	150	40
4	0,99	0,99	58	70	0,0*
5	0,99	0,99	101	80	0,0*
6	0,99	0,94	811	420	70
7	0,77	0,82	40	840	500
8	0,99	0,98	162	570	200
9	0,78	0,99	131	540	140
10	0,99	0,99	185	320	50
11	0,99	0,92	811	670	170
12	0,95	0,99	153	580	140
13	0,99	0,86	271	700	270
14	0,99	0,99	193	250	30
15	0,77	0,85	201	1100	410
16	0,99	0,92	811	290	0,0*
17	0,99	0,88	811	250	50
18	0,77	0,77	22	630	500
19	0,77	0,77	101	590	270
20	0,77	0,86	32	810	500
21	0,86	0,94	109	1100	450
22	0,77	0,95	811	1100	240
média	0,91	0,93	282,82	522,727	184,09

Nota: * Valores muito próximos de "zero" assumidos como "zero" no cálculo do parâmetro S₁ no modelo GR3

As Figuras 5 e 6 mostram os gráficos gerados pelos modelos de função de produção para os episódios 3 e 4 (escolhidos aleatoriamente).

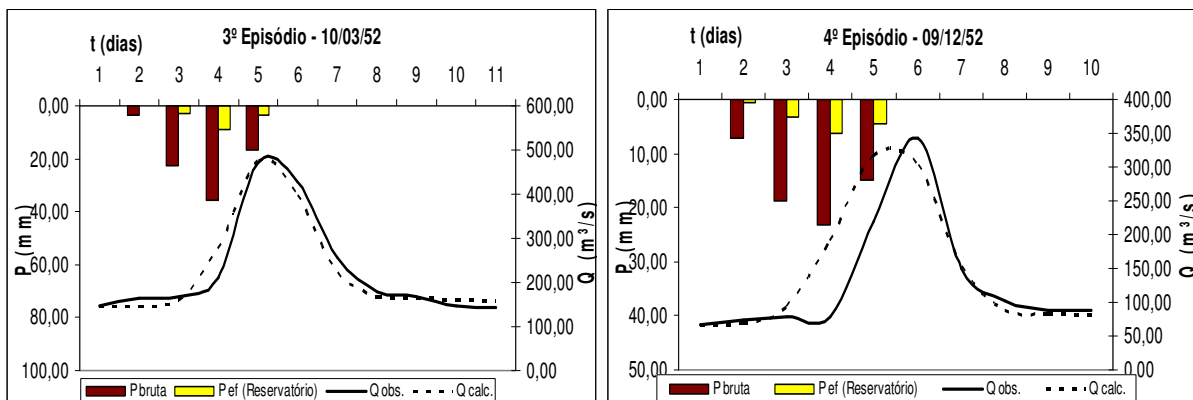


Figura 5 – Precipitações totais e efetivas calculadas pelo modelo de reservatório; vazões observadas e calculadas

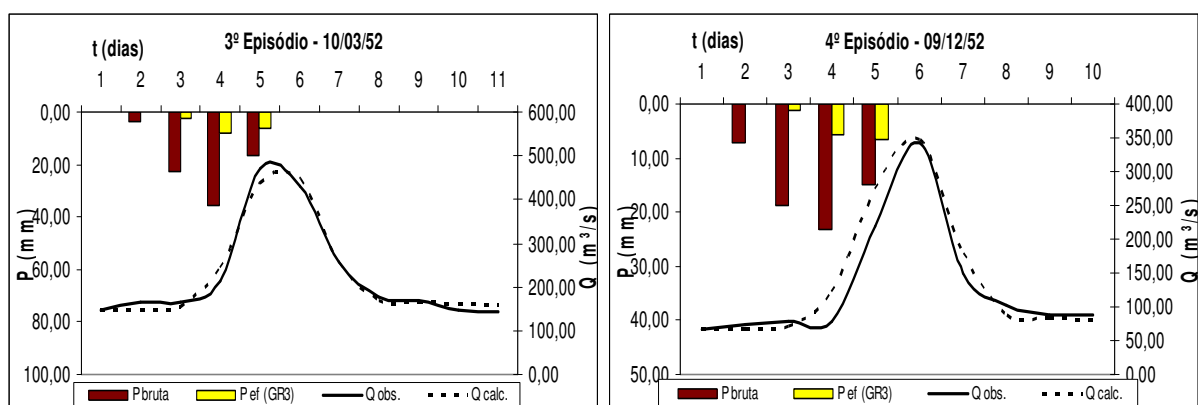


Figura 6 – Precipitações totais e efetivas calculadas pelo modelo GR3; vazões observadas e calculadas

Os coeficientes de Nash para os episódios da amostra 1 referentes à comparação entre vazões observadas e vazões calculadas através da Equação 1 pelas chuvas geradas pelos modelos de Função de Produção GR3 e Reservatório são apresentados no Quadro 3.

Quadro 3 – Coeficientes de Nash para os episódios da amostra 1 (Modelos GR3 e Reservatório)

Reservatório		GR3	
Episódio	NSE	Episódio	NSE
18	0,9730	3	0,9730
3	0,9421	18	0,9671
1	0,9194	5	0,9337
12	0,8866	1	0,9179
8	0,8822	4	0,9058
21	0,8545	8	0,8863
19	0,8284	10	0,8450
5	0,7668	13	0,8427
13	0,7201	16	0,8384
10	0,6870	19	0,8345
14	0,6724	21	0,8020
7	0,6635	12	0,7759
11	0,6415	14	0,7725
4	0,6254	2	0,7109
15	0,6027	17	0,7093
9	0,5697	11	0,6949
2	0,5357	7	0,5801
17	0,4535	15	0,5292
6	0,4356	6	0,5124
20	0,3436	9	0,4746
22	0,2432	20	0,3609
16	0,0361	22	0,0364

Foram realizadas análises entre S_1/A , $D(0)$ e a chuva dos cinco dias anteriores aos episódios selecionados. As Figuras 7 e 8 mostram estas relações.

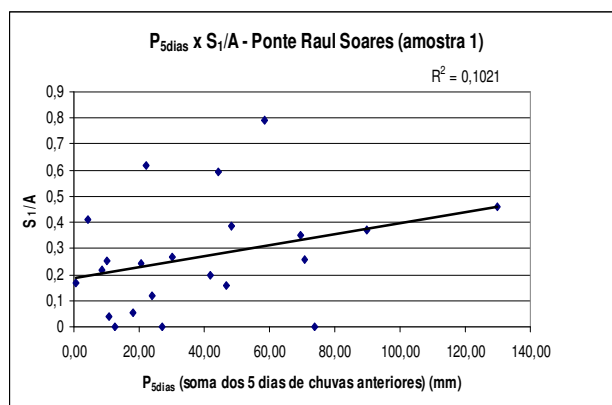


Figura 7 – Relação entre S_{1/A} com o somatório de 5 dias das chuvas anteriores aos episódios.

Analisando a Figura 7, observou-se uma tendência entre os maiores valores de S_{1/A} (característica de terrenos com maior capacidade de produzir escoamento superficial) com os maiores valores de umidade antecedente, o que vem a confirmar e a hipótese de que terrenos mais úmidos, podem produzir grandes escoamentos superficiais.

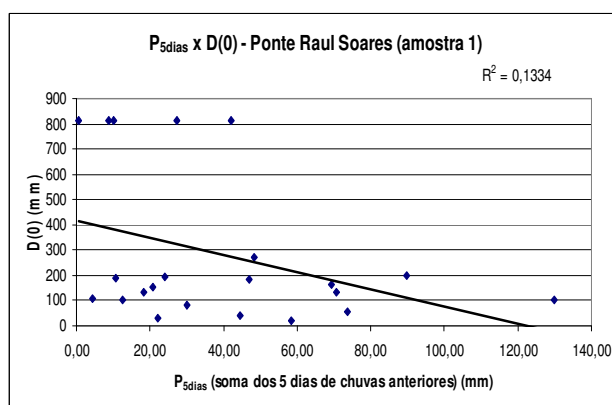


Figura 8 – Relação entre o déficit do reservatório D(0) com o somatório de 5 dias das chuvas anteriores aos episódios.

De acordo com a Figura 8, observou-se uma tendência de decréscimo entre o déficit do reservatório D(0) com o aumento de P_{5dias} (somatório das chuvas de 5 dias anteriores), ou seja, um maior déficit de umidade corresponde à situação onde o solo apresenta pouca contribuição das chuvas nos 5 dias anteriores ao passo que quando a chuva dos 5 dias anteriores ao episódio torna-se mais significativa, o déficit do reservatório encontra-se menor, conforme esperado.

Procedimento similar foi realizado para a amostra 2. Verificou-se (Quadro 4) que para o modelo de Reservatório foram encontrados os valores para os parâmetros: $\alpha = 0,21$, $\beta = 0,92$ e $D(0) = 371,8$ mm (valores médios). O modelo GR3 forneceu como parâmetros médios $A = 905,8$ mm e $S_1 = 334,2$ mm.

Quadro 4 – Parâmetros calibrados para os modelos GR3 e Reservatório (Amostra 2)

Ponte Raul Soares - Amostra 2					
Ep.	Reservatório			GR3	
	alfa (α)	beta (β)	D(0) (mm)	A (mm)	S ₁ (mm)
1	0,5	0,87	811	120	30
2	0,01	0,99	171	1080	340
3	0,5	0,95	811	1060	250
4	0,38	0,99	138	1090	350
5	0,01	0,89	811	1030	290
6	0,5	0,99	57	810	300
7	0,5	0,84	761	1100	340
8	0,01	0,83	811	1100	390
9	0,01	0,87	589	1100	400
10	0,5	0,86	151	270	90
11	0,01	0,84	85	760	360
12	0,12	0,99	45	1070	500
13	0,01	0,99	110	1100	460
14	0,01	0,99	79	1070	500
15	0,01	0,89	811	1090	340
16	0,01	0,99	50	1020	500
17	0,5	0,81	206	1100	460
18	0,29	0,99	89	1100	370
19	0,5	0,99	81	110	10
20	0,01	0,99	419	1090	290
21	0,01	0,91	811	660	160
22	0,5	0,81	157	830	490
23	0,01	0,99	131	1100	450
24	0,01	0,99	56	1090	500
25	0,5	0,81	615	500	190
26	0,01	0,88	811	1100	330
média	0,21	0,92	371,81	905,77	334,23

As Figuras 9 e 10 mostram os gráficos gerados pelos modelos de função de produção para os episódios 13 e 14 (escolhidos aleatoriamente).

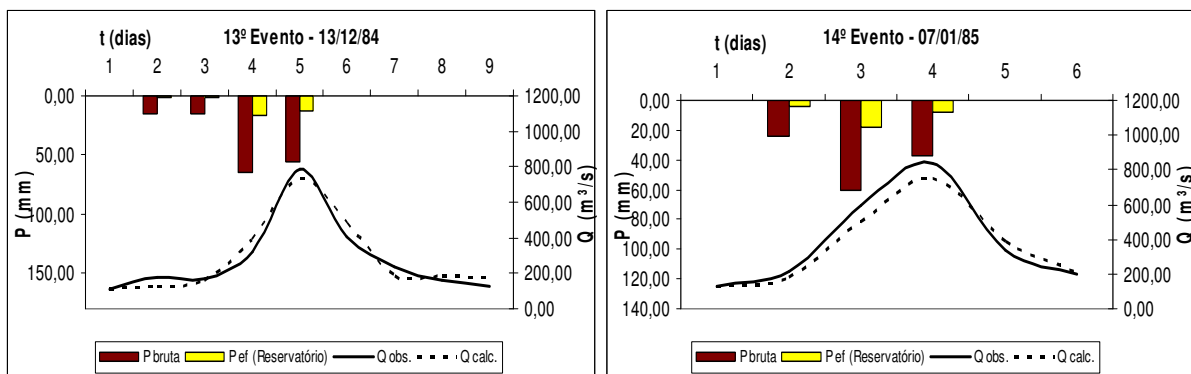


Figura 9 - Precipitações totais e efetivas calculadas pelo modelo de reservatório; vazões observadas e calculadas

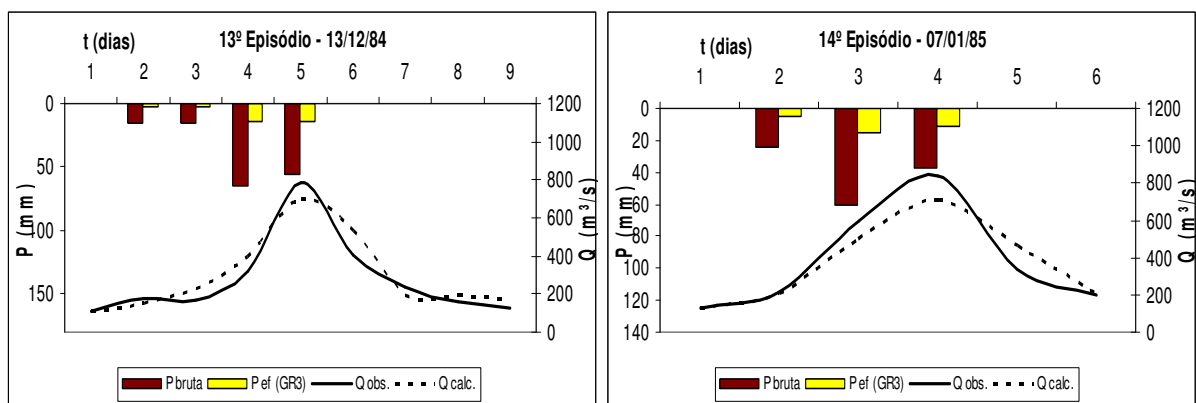


Figura 10 - Precipitações totais e efetivas calculadas pelo modelo de reservatório; vazões observadas e calculadas

Os coeficientes de Nash para os episódios da amostra 2 referentes à comparação entre vazões observadas e vazões calculadas através da Equação 1 pelas chuvas geradas pelos modelos de Função de Produção GR3 e Reservatório são apresentados no Quadro 5.

Quadro 5 – Coef. de Nash para os episódios da amostra 2 (Modelos GR3 e Reservatório)

Reservatório		GR3	
Episódio	NSE	Episódio	NSE
23	0,9772	10	0,9682
11	0,9753	11	0,9626
22	0,9488	19	0,9592
24	0,9439	22	0,9199
13	0,9433	13	0,8871
14	0,9315	24	0,8869
19	0,9121	23	0,8758
10	0,8860	14	0,8584
4	0,8656	4	0,8184
6	0,8245	21	0,7722
12	0,8245	25	0,7513
16	0,8189	6	0,7338
7	0,7853	16	0,7292
21	0,6860	12	0,7266
25	0,6517	3	0,7214
3	0,6256	7	0,7172
17	0,6235	17	0,6764
9	0,4760	18	0,6351
1	0,4758	1	0,6272
18	0,4644	9	0,4773
5	0,4025	15	0,4602
8	0,3392	5	0,4121
15	0,3267	26	0,3895
20	0,1990	8	0,3506
26	0,1354	20	0,2038
2	-0,3253	2	-0,3204

As análises realizadas entre os parâmetros calibrados entre S_1/A , $D(0)$ e a chuva dos cinco dias anteriores aos episódios selecionados da amostra 2, também mostraram as mesmas relações encontradas para a amostra 1 (Figuras 11 e 12).

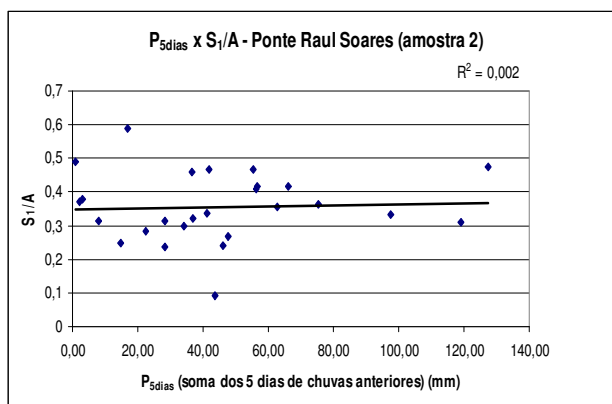


Figura 11 – Relação entre S_1/A com o somatório de 5 dias das chuvas anteriores aos episódios.

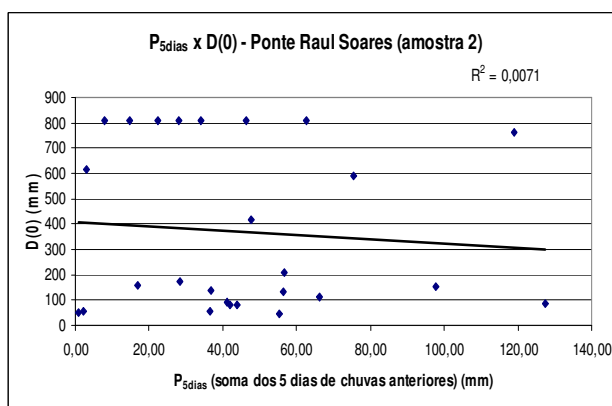


Figura 12 – Relação entre o déficit do reservatório $D(0)$ com o somatório de 5 dias das chuvas anteriores aos episódios.

4 - CONCLUSÃO

Por uma análise visual e utilizando o coeficiente de Nash (NSE) entre vazões calculadas e observadas, para as amostras selecionadas, verifica-se que o modelo GR3 apresenta uma eficiência superior ao modelo reservatório como gerador de chuvas efetivas para posterior produção e comparação entre vazões calculadas com vazões observadas para a estação de Ponte Raul Soares.

Ressalta-se o uso de dados estimados de evaporação média para o modelo GR3, o que é uma aproximação, devido à não utilização de dados observados de evaporação. No entanto, os valores utilizados estão dentro da faixa compatível para a região de estudo.

A relação entre os parâmetros calibrados e as chuvas de 5 dias anteriores aos episódios validam as respectivas calibrações, no sentido de que estão em acordo com o que se espera de produção de escoamento superficial em função do grau de umidade do terreno.

De qualquer maneira, necessita-se que se conheça o estado inicial de umidade da bacia estudada antes do evento chuvoso. Este conhecimento pode alterar as calibrações e proporcionar uma mudança na eficiência dos modelos. Neste sentido, apesar da boa eficiência alcançada pela metodologia DPFT, à medida que outras amostras estiverem disponíveis é necessário, evidentemente, atualizar a calibração das amostras e posteriormente fazer a validação para aqueles modelos que melhor se ajustam às áreas de estudo.

Sugere-se também, que as análises sejam realizadas por faixas de período e por hidrogramas semelhantes, sendo estes selecionados para determinar o HU de forma que melhor se aproximem das condições estabelecidas pelo método.

A possibilidade de obter resultados reais através de experimentos de campo permite melhores resultados para a aplicação e ajustes dos modelos hidrológicos.

BIBLIOGRAFIA

CRUZ, M. F. M.; (2007). *“Análise de Modelos de Função de Produção Identificados pela Metodologia DPFT: aplicação para bacias do alto São Francisco, em Minas Gerais”*. Dissertação de mestrado. UFMG, Belo Horizonte.

DUBAND, D.; OBLED, C. e RODRÍGUEZ, J.Y. (1993). *“Unit hydrograph revisited: an alternative approach to UH and effective precipitation identification”*. Journal of Hydrology, 150, 115-149.

EDIJATNO ; MICHEL, C. (1989). *Un modèle pluie-débit journalier à trois paramètres*, La Houille Blanche, n° 2, 113-121.

LORENT, B. (1975). *Tests of different river flow predictors, in G.C. Vansteenkiste (ed.). Modeling and Simulation of Water Resources Systems*, North-Holland, Ámsterdam.

NASCIMENTO, N.O. (1995). *Appréciation à l’aide d’un modèle empirique des effets d’actions anthropiques sur la relation pluie-débit à l’échelle d’un bassin versant*. Tese de doutorado. École Nationale des Ponts et Chaussées, França.

MAIA, A.L.; AMARAL, I.R. e VERSIANI, B.R. (2006). *“Metodologia DPFT de identificação do Hidrograma Unitário e das Precipitações Efetivas: Estudo de caso para a bacia hidrográfica de Juatuba – MG”*. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 11, n. 1, pp 79-90