

APLICAÇÃO DO MÉTODO ORSTOM PARA DETERMINAÇÃO DE CHEIAS EM BACIAS RURAIS

José Roberto Cabral¹ e Márcio Benedito Baptista²

Resumo - A escassez de observações linimétricas em pequenas bacias, levam freqüentemente a se fazer a estimativa das vazões de pico através de modelos chuva-vazão. Estes processos, denominados “métodos indiretos” conduzem a incertezas significativas dos resultados, pois estes dependem de parâmetros de difícil determinação. Com o intuito de estudar a aplicabilidade de metodologias indiretas menos subjetivas, nesse trabalho introduz-se a metodologia ORSTM, descrevendo-se o seu emprego na bacia representativa de Juatuba, que possui dados linimétricos disponíveis, permitindo a adequada avaliação dos resultados. Os valores obtidos com o emprego do método foram bastante precisos para os períodos de retorno de 10 e 25 anos.

Abstract - The lack of recording gages in small watersheds, makes need of flood forecasting by indirect methods based on the rainfall-runoff relationships. These indirect methods lead to uncertainties of results because they depend on data of difficult determination. In this paper the ORSTM method, in which is used less subjective data, is applied to Juatuba watershed where is available stream flow measurements. The peak stream flows determined with 10 and 25 years of return period were precise.

Palavras- chave – Hidrologia de superfície – Hidrogramas de cheias - Método Orstom

¹ CHS Engenharia Ltda. – Rua Herculano S. Oliveira, 3540 – 33600-000 – Pedro Leopoldo –MG – Brasil.Tel. (031)6813085 –Email: cabral@cdlnet.com.br

² Depto. de Engenharia Hidráulica e Rec. Hídricos da Escola de Engenharia da UFMG – Av. do contorno, 842 – 30110-360 Belo Horizonte – MG – Brasil . Tel (031)2381872 – Email: marbapt@ehr.ufmg.br

INTRODUÇÃO

Os projetos para obras de engenharia, o mapeamento de zonas inundáveis entre outras atividades, exigem o conhecimento das vazões de pico dos cursos d'água. Para esse conhecimento são necessários dados de vazões medidos *in loco*. Lamentavelmente, mesmo as observações diárias, linimétricas, em nosso país, normalmente ficam restritas a um número não muito grande de bacias, dificultando a avaliação adequada das vazões ocorridas nos cursos d'água. Conseqüentemente as vazões de interesse, correspondentes aos picos das cheias, necessitam ser determinadas através de modelos chuva-vazão, denominados “métodos indiretos”.

Face à incerteza dos valores calculados através dos métodos indiretos, em virtude da impossibilidade de calibração, torna-se importante dispor de metodologias que incorporem informações que levem a prescindir de estimativas forçosamente imprecisas de parâmetros, como o tempo de concentração, por exemplo.

Neste contexto, tem sido desenvolvido na França metodologias indiretas e “semidiretas” (CEMAGREF, 1989) para a determinação de vazões máximas. Efetua-se no presente trabalho a apresentação do método ORSTOM, descrito por Van Tuu (1981), e ainda não utilizado no Brasil. Segundo o autor, esse método foi estabelecido através de estudos experimentais desenvolvidos pelo organismo francês ORSTOM, na África, em bacias com áreas inferiores a 200 km². Seu interesse vem do fato que ele incorpora informações geomorfológicas e dados de precipitação, prescindindo assim da estimação de parâmetros imprecisos dos outros métodos indiretos. A metodologia apresenta também uma possibilidade de aplicação bastante ampla, uma vez que o mesmo é estabelecido para diversas tipologias climáticas.

Apresenta-se também no trabalho a aplicação do método à bacia do Juatuba, representativa da região central de Minas Gerais. A disponibilidade dos dados linigráficos permite a adequada avaliação dos resultados.

FUNDAMENTOS DO MÉTODO ORSTOM

Conforme descrito por Van Tuu (1981), a metodologia ORSTOM foi desenvolvida por J. Rodier e C. Auvray no organismo francês de mesmo nome, publicada em 1965, e utilizada para estimativa de vazões de cheias decenais. A determinação da vazão máxima de projeto por essa metodologia é obtida através da seguinte expressão:

$$Q_{\max} = KM \quad (1)$$

onde $Q_{\max}$ é a vazão máxima, e K um coeficiente de proporcionalidade determinado experimentalmente, representando a razão entre a vazão máxima e a vazão média anual, M . Esta pode ser determinada em função do tempo de base T_b , e do volume efetivamente escoado, V_r , de acordo com as seguintes expressões:

$$M = V_r / T_b \quad (2)$$

$$V_r = K_r V_p \quad (3)$$

sendo K_r , um coeficiente de escoamento, e V_p é o volume precipitado dado por:

$$V_p = \alpha H S_a \quad (4)$$

onde H é a chuva diária decenal, em mm, α é um coeficiente de abatimento da precipitação que leva em conta a não homogeneidade espacial da chuva considerada e S_a , a área da bacia.

É possível também determinar para cada bacia o tempo de ascensão, definido pelos autores por T_m , o qual associado ao tempo de base permite a definição do hidrograma. A altura H da chuva diária pontual decenal pode ser determinada, seja por um estudo estatístico das precipitações diárias nas estações pluviométricas existentes, ou através de estudos regionais concernentes ao local. O Coeficiente de Abatimento α tem valores médios indicados pelo gráfico da figura 1 a seguir, em função da área da bacia para diferentes índices pluviométricos anuais.

Levando-se as equações (2) a (4) em (1), resulta a seguinte expressão:

$$Q_{\max} = KM = K \frac{V_r}{T_b} = \frac{KK_r V_p}{T_b} \quad (5)$$

Ainda:

$$Q_{\max} = \frac{KK_r}{T_b} \alpha H S_A = C \alpha H S_A \quad (6)$$

Ou seja:

$$Q_{\max} = C I S_a \quad (7)$$

sendo: $C = \frac{KK_r V_p}{T_b}$ e $I = \alpha H$.

Os demais parâmetros, ou seja, o coeficiente de escoamento K_r , os tempos de base T_b e de ascensão T_m da cheia e a razão K entre a vazão de pico e a vazão média são dependentes das características regionais e das características geomorfológicas de cada bacia, podendo ser determinadas conforme descrito a seguir.

Permeabilidade e relevo da bacia

Quanto às características geomorfológicas, estas são estabelecidas conforme dois critérios essenciais a partir da avaliação da permeabilidade e do relevo da bacia. Assim, para a avaliação da permeabilidade foram estabelecidas as seguintes classes:

- **P1** - bacias rigorosamente impermeáveis, correspondendo a bacias inteiramente rochosas ou argilosas;
- **P2** - bacias impermeáveis com algumas zonas permeáveis de pequena extensão ou bacias homogêneas quase impermeáveis;

- **P3** - bacias impermeáveis contendo zonas permeáveis de extensão notável, ou bacias homogêneas pouco permeáveis;
- **P4** - bacias permeáveis tais como as encontradas em zona de decomposição do granito com abundância de areia;
- **P5** - bacias permeáveis, saibros ou capas lateríticas muito fissuradas.

Quanto ao relevo ele é classificado em função das declividades longitudinais e transversais através dos índices R, ou seja:

- **R1** - corresponde a declividades extremamente fracas de 0,1 a 0,2%;
- **R2** - declividades fracas, inferiores a 0,5% em bacias planas;
- **R3** - declividades moderadas compreendidas entre 0,5 e 1%. Característica dos terrenos intermediários entre áreas planas e as zonas de terrenos ondulados;
- **R4** - declividades bastante fortes: declividades longitudinais compreendidas entre 1 e 2% e declividades transversais superiores a 2% . Zonas de terrenos ondulados;
- **R5** - declividades fortes, ou seja, declividades longitudinais compreendidas entre 2 e 5% e declividades transversais entre 8% e 20%. Zonas de colinas;
- **R6** - declividades muito fortes: declividades longitudinais superiores a 5% e declividades transversais superiores a 20%. Regiões montanhosas.

Os autores recomendam para avaliação da declividade longitudinal, tomar a linha do curso d'água principal desde o divisor até ao ponto de estudo, eliminando-se 20% da extremidade montante e 20% da extremidade de jusante; calculando-se então a declividade média da bacia em 60% do perfil total. O mesmo procedimento é repetido para se determinar a declividade transversal, tomando-se o perfil no sentido da largura. Feito isso, será tomada a declividade mais forte para cálculo da classe de relevo.

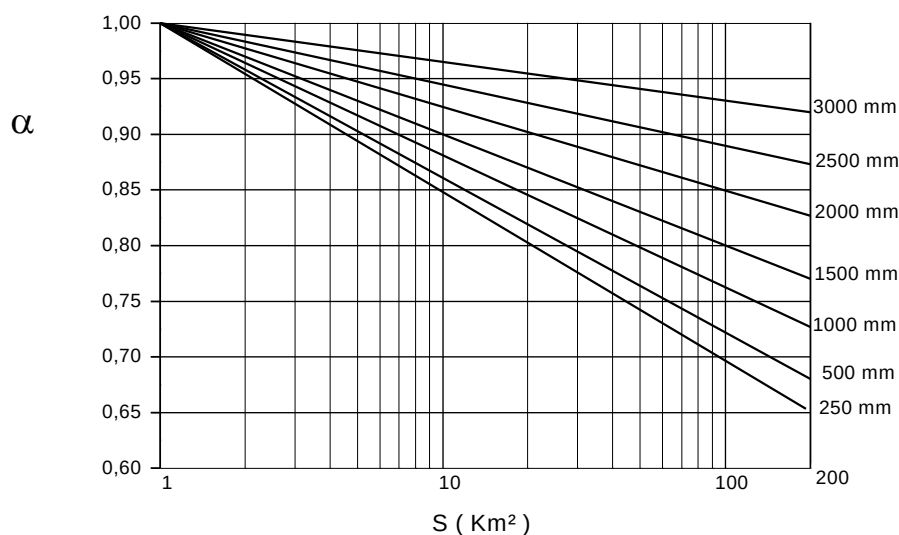


Figura 1 - Coeficiente de abatimento α em função da área para diferentes índices pluviométricos anuais. (Adaptada de Van Tuu, 1981.)

Regimes climáticos

Para explicar melhor a variação dos parâmetros T_b , T_m , K_r e K , foram definidos três tipos de regimes climáticos diferentes, com as seguintes características:

- bacias em regime árido e semi-árido, ou seja, situadas entre as isoietas de 150mm e 750 a 800 mm, com a chuva diária decenal variando de 60 a 110mm;
- bacias tropicais ou tropicais de transição, situadas entre isoietas de 800 a 1600mm, com chuva diária decenal na faixa de 110 a 130 mm, podendo ser incluídas igualmente dentro dessa categoria as bacias equatoriais de savanas, aproximadamente equivalentes aos nossos cerrados, caracterizadas por uma precipitação anual entre 800 e 1600mm, com altura da chuva diária decenal variando entre 110 e 130 mm;
- as bacias equatoriais situadas em regiões de florestas, com chuva diária decenal de 120 a 150 mm, predominando nessas bacias geralmente um escoamento hipodérmico.

Os autores do método chamam atenção ainda para o caso de estudo de bacias que estejam localizadas na confluência de duas outras. Eles consideram que seja mais preciso estudar as duas separadamente e depois somar as ordenadas de seus hidrogramas.

Estimativa de Parâmetros para bacias de regimes áridos e semi-áridos

Para essas bacias o coeficiente de escoamento K_r , é determinado pela tabela 1 a seguir. Os autores afirmam que os terrenos de permeabilidade P5, não originam escoamento qualquer que seja a área da bacia. Os tempos de base T_b e os tempos de ascensão T_m são fornecidos pelas Figura 2 e 3, sendo que esses valores são válidos para bacias não muito alongadas. O coeficiente K apresenta uma dispersão acentuada, os valores médios e os valores recomendados são dados pela tabela 2.

Pode-se adotar os valores maiores para as bacias situadas no limite dos regimes semi-áridos e tropicais. Para bacias com áreas superiores a 120 Km² é preferível calcular a cheia decenal, supondo-se o que a vazão varie linearmente com a área da bacia. Para tanto são sugeridas as vazões específicas a seguir, notar que R3P4 não produz escoamento:

- R4P2 – 2000 l/s.km²;
- R3P2 – 700 l/s.km²;
- R2P2 – 400 l/s.km²;
- R4P4 - 225 l/s.km²;
- R3P4 – 0;
- R4P3 - 1100 l/s.km²;
- R3P3 - 325 l/s.km²;
- R2P3 – 110 l/s.km².

Estimativa de parâmetros para bacias tropicais e tropicais de transição

Para as bacias incluídas nessa classe, o coeficiente de escoamento, K_r , é obtido pela tabela 3, à seguir. Mesmo tendo sido observada uma elevada dispersão nos valores de K_r para as permeabilidades P4 e P5, seus valores são dados indicativamente para diversas classes de declividades. Observa-se ainda uma pequena variação do valor de K_r em função da área da bacia. Quanto ao valor de K , os autores recomendam utilizar para as bacias tropicais e tropicais de transição um valor de 2,5, qualquer que seja a área da bacia sem risco de erros graves. Os tempos de base e os tempos de ascensão que permitem a construção do hidrograma de cheia são dados pelas figuras 4 e 5. As bacias com áreas compreendidas entre 120 e 200 km² têm coeficientes de escoamento constantes dados pelas relações da tabela 4. Para elas, os tempos de base e de ascensão serão dados também pelas figuras 4 e 5, sendo que K tem o valor de 3,2 exceto nas bacias R4P2 onde seu valor é de 3,5.

Estimativa de parâmetros para bacias equatoriais em regiões de florestas

O valor de K_r para bacias equatoriais em regiões de florestas é praticamente independente da área, dependendo de uma forma mais preponderante do relevo e da

permeabilidade necessitando-se conseqüentemente de uma caracterização pedológica e geológica mais criteriosa. Os valores indicados estão na tabela 5. Os autores reiteram ainda que exceto em montanhas, a maioria das bacias encontradas são da categoria V.

Os tempos de base e de ascensão estão representados nos gráficos das figuras 6 e 7, onde as curvas R3 e R5 são interpoladas. É preponderante aqui, a análise do índice de alongamento, a , e o índice de Gravelius, Kg , dados por:

$$a = L^2/Sa \quad (8)$$

$$Kg = 0,28P\sqrt{S_a} \quad (9)$$

Onde L é o comprimento do curso d'água, P o perímetro da bacia e S a área. As curvas apresentadas para a definição dos tempos de base e de ascensão correspondem a bacias relativamente compactas ($Kg = 1,2$ a $1,3$) e índice de alongamento do curso d'água principal, a , vizinho de 2. Se Kg resultar maior que 1,50-1,60, o tempo de subida, será majorado de 100% e o tempo de base de 80% para o relevo R6 e de 50% para o relevo R2. Para bacias com grandes áreas de inundação (geralmente R2, com mais de 30 Km^2), o tempo de base será majorado de 100%. O valor de K poderá ser adotado pela tabela 6.

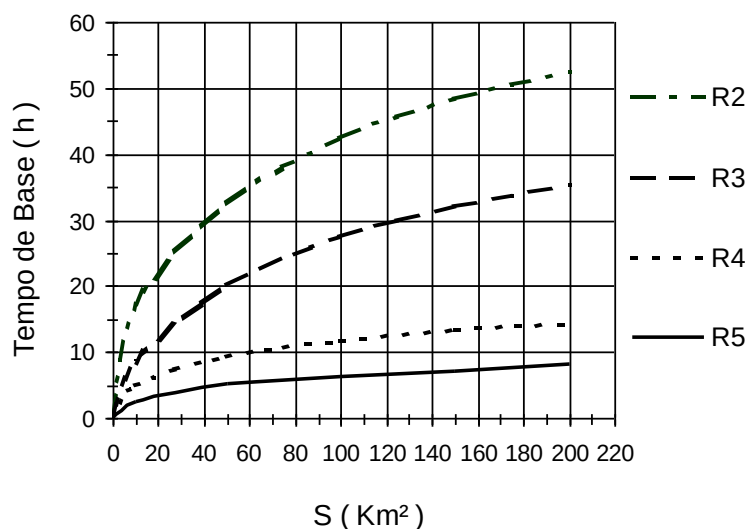


Figura. 2 - Tempos de base em função da área da bacia para regimes áridos e semi-áridos. (Adaptada de Van Tuu, 1981)

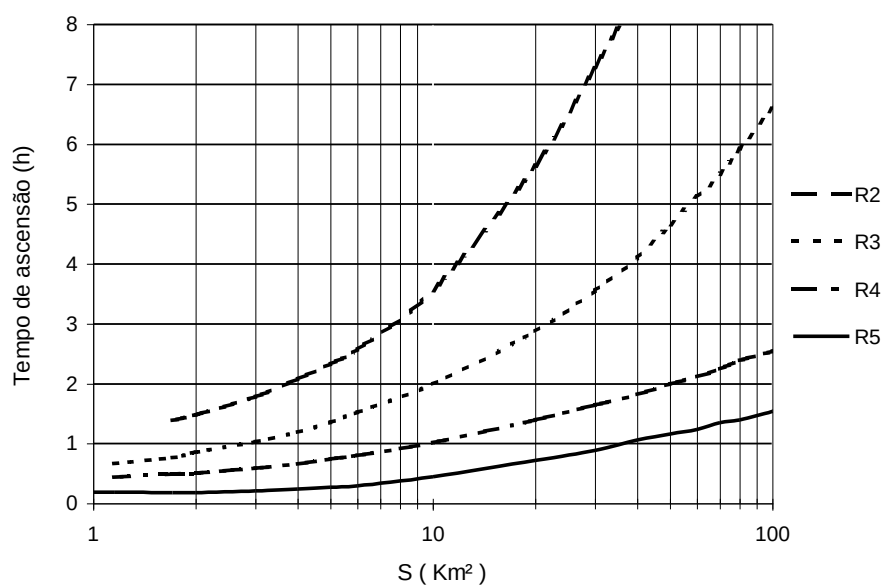


Figura 3 - Tempos de ascensão em função da área da bacia para regimes áridos e semi-áridos. (Adaptada de Van Tuu, 1981)

Tabela 1 - Coeficiente de escoamento Kr para regimes áridos e semi-áridos

Coeficiente de Escoamento KR%										
S (Km ²)	Regime Árido e Semi-árido (Precipitação de 150 a 800 mm)									
	R5 P3	R4 P1	R4 P2	R4 P3	R4 P4	R3 P2	R3 P3	R3 P4	R2 P2	R2 P3
2	51	92	82	45	-	73	35	-	60	26
3	52	92	82	44	25	73	34	13	60	24
4	50	92	81	43	24	72	33	12	59	23
5	49	91	79	42	24	70	31	12	59	23
6	48	90	78	41	22	69	30	12	57	22
7	47	89	77	39	22	67	30	12	56	21
8	46	88	75	39	21	65	29	11	56	20
9	45	87	74	37	21	64	28	10	54	19
10	44	86	73	37	20	63	27	10	54	19
15	42	83	67	34	18	59	25	7	50	16
20	39	79	64	32	16	56	23	5	46	15
25	38	76	61	31	15	53	23	4	44	14
30	37	73	59	30	14	52	22	3	42	14
40	36	70	55	29	12	49	22	1	40	13
50	36	67	53	28	11	47	21	0	37	13
60	35	65	51	27	10	45	21	-	35	12
70	35	62	49	27	10	44	21	-	34	12
85	34	59	47	26	9	43	20	-	32	12
100	34	58	46	26	7	41	20	-	31	11
120	34	55	44	25	7	40	19	-	29	11

Adaptada de : Van Tuu, 198

Tabela 2 - Valores de K em função da área -Regimes áridos e semi-áridos. (Fonte: Van Tuu, 1981.)

S (Km²)	2	10	25	50	100
K(valores médios)	2,6	2,6	2,5	3	3,1
K(valores recomendados)	3	3	3	4,5	4

Tabela 3 - Coeficiente de escoamento Kr para regimes tropicais e tropicais de transição

Coeficiente de Escoamento KR%													
S (Km ²)	Regime Tropical e Tropical de transição (Precipitação de 800 a 1600 mm)												
	R5 P3	R5 P4	R4 P2	R4 P3	R4 P4	R4 P5	R3 P2	R3 P3	R3 P5	R2 P2	R2 P3	R2 P5	R2 P6
2	-	-	67	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	54	39	67	43	31	20	55	39	12	42	34	7	2
4	54	39	67	43	31	20	54	39	12	42	34	7	2
5	54	38	66	43	31	20	53	39	12	42	34	6	2
6	54	38	65	43	31	20	53	39	12	42	34	6	2
7	53	38	65	43	31	20	52	39	12	42	34	6	2
8	53	38	64	43	31	20	51	39	11	41	34	6	2
9	53	38	63	43	31	19	51	39	11	41	34	6	2
10	53	38	64	43	31	19	50	38	11	41	34	6	2
15	51	38	60	42	30	19	48	38	11	40	34	6	2
20	50	38	58	41	30	19	48	37	11	39	33	6	2
25	50	37	57	41	30	19	46	37	10	38	33	5	2
30	49	37	56	40	30	18	45	36	10	38	32	5	2
40	48	37	54	40	30	18	44	36	10	38	32	5	2
50	47	37	53	40	30	18	43	36	10	37	32	5	2
60	47	37	52	40	29	18	43	36	10	37	32	5	2
70	46	37	51	40	29	18	42	35	10	37	31	5	2
85	46	37	50	39	29	18	41	35	10	36	31	5	2
100	45	37	49	39	29	18	41	35	10	36	30	5	2
120	45	37	48	38	28	18	41	35	10	36	30	5	2

Adaptada de : Van Tuu, 198

Tabela 4 - Coeficientes de escoamento para bacias tropicais e tropicais de transição com áreas entre 120 e 200 Km².

R4P2 = 48 %	R3P3 = 34%	R2P4 = 9 %
R3P2 = 40 %	R2P3 = 29 %	R5P5 = 26 %
R2P2 = 36 %	R5P4 = 36 %	R4P5 = 18 %
R5P3 = 46 %	R4P4 = 28 %	R3P5 = 9 %
R4P3 = 38 %	R3P4 = 18 %	R2P5 = 5 %

(Fonte: Van Tuu, 1981.)



Figura 4 - Tempos de base para bacias tropicais e tropicais de transição.
(Adaptada de Van Tuu, 1981.)

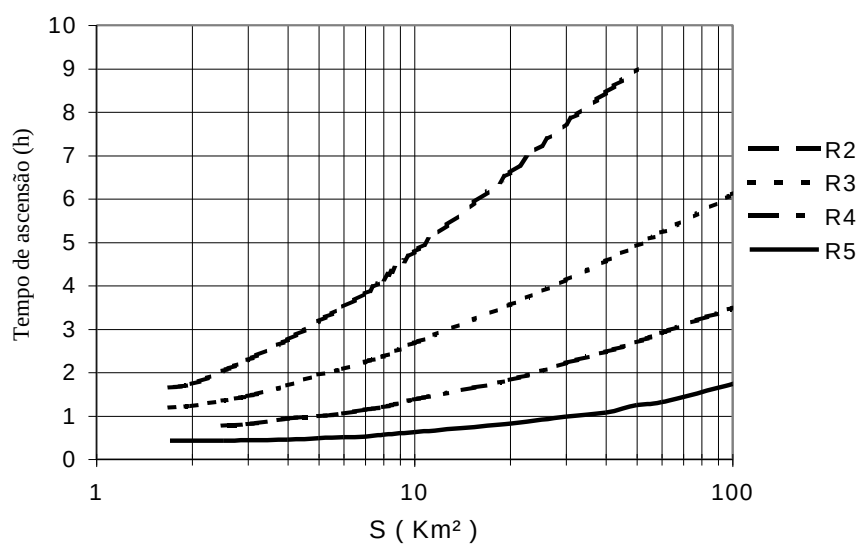


Figura 5 - Tempos de ascensão para bacias tropicais e tropicais de transição.
(Adaptada de: Van Tuu, 1981.)

Tabela 5 - Classificação das bacias equatoriais com florestas

CLASSE	NATUREZA DOS TERRENOS	RELEVO	Kr (%)
I	Solos argilosos bastante Impermeáveis na superfície ou em Pequenas profundidades	R2 a R4	58 a 62
		R5	62 a 70
		R6	70 a 80
II	30 a 60% da categoria I Menos de 30% da categoria I	R2 a R5 R6	30 a 40
III	Solos pouco impermeáveis	< R4	20 a 30
	Menos de 30% de terrenos impermeáveis	R4	
	Solos permeáveis	> R4	
IV	Bacias permeáveis homogêneas	R5 a R6	10 a 16
V	Bacias permeáveis homogêneas	R2 a R4	7 a 10
VI	Bacias muito permeáveis	R2 a R4	3 a 5

(Adaptada de Van Tuu, 1981.)

Tabela 6 - Valores de K para bacias com florestas.

Relevo	$S \leq 5 \text{ Km}^2$	$5 < S \leq 10 \text{ Km}^2$	$S > 10 \text{ Km}^2$
R2(plana)	1,90	2,20	2,30
R6 (montanha)	2,00	2,30	2,40

(Fonte: Van Tuu, 1981.)

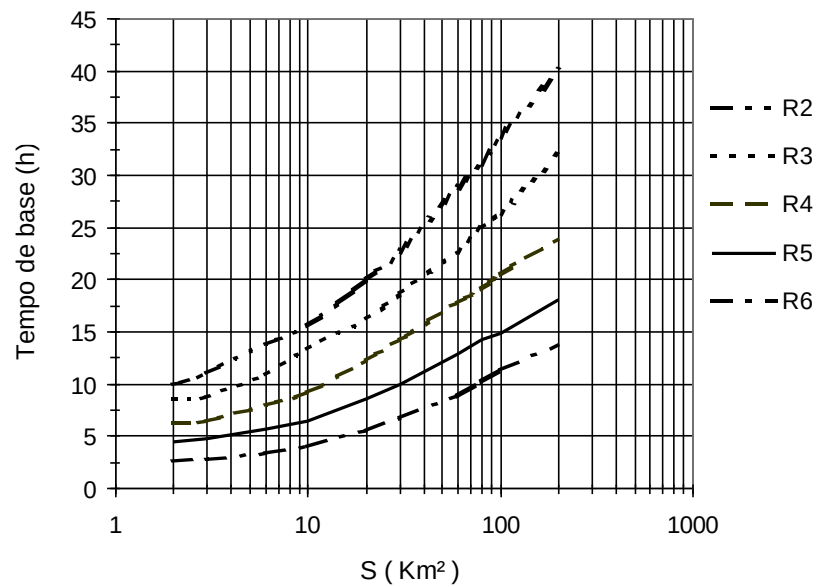


Figura 6 - Tempos de base em função de R e S - bacias equatoriais com florestas (Adaptada de Van Tuu, 1981.)

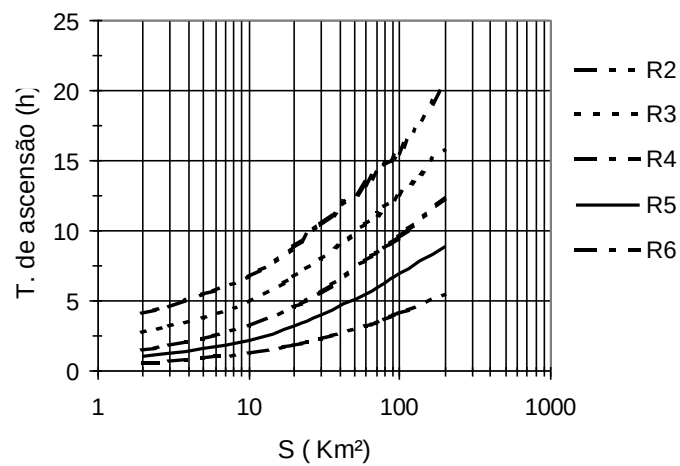


Figura. 7 - Tempos de ascensão em função de R. e S - bacias equatoriais com florestas. (Adaptada de Van Tuu, 1981.)

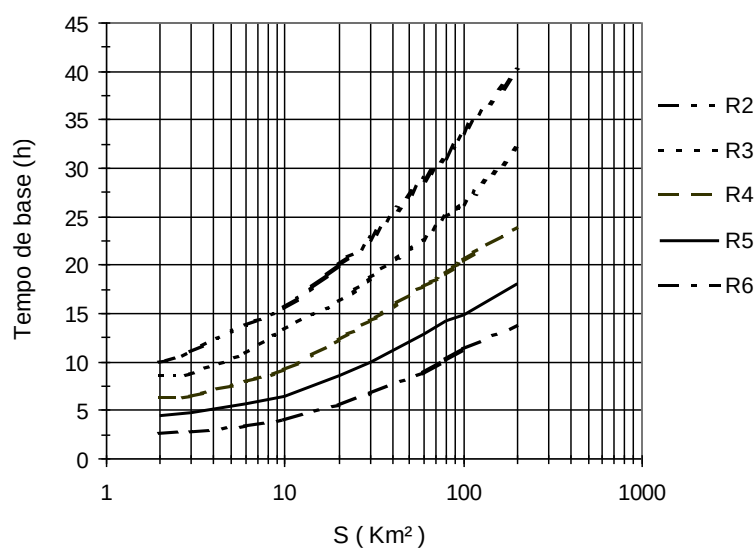


Figura 8 - Tempos de base em função de R e S - bacias equatoriais com florestas
(Adaptada de Van Tuu, 1981.)

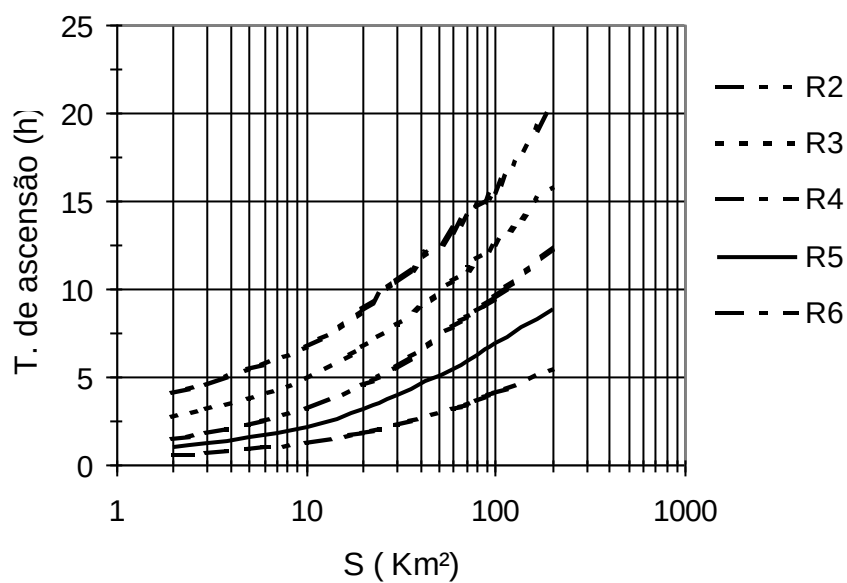


Figura. 9 - Tempos de ascensão em função de R. e S - bacias equatoriais com florestas.
(Adaptada de Van Tuu, 1981.)

Estudo de caso

Para a aplicação do método ORSTOM foi escolhida a bacia experimental de Juatuba, sub-bacia do ribeirão serra azul, com exutório na estação linigráfica de Jardim. A área de drenagem é de 108,1 km², com comprimento do talvegue principal de 21 km e declividade média do talvegue de 0,00612 m/m, conforme pode ser visto no perfil da bacia representado na figura 10.

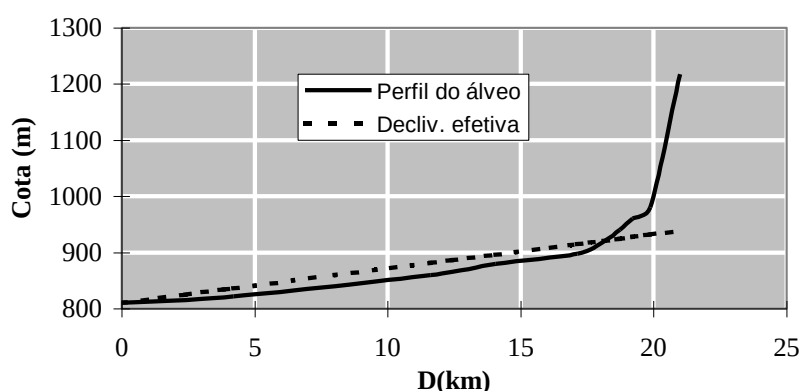


Figura 10 – perfil da sub-bacia do ribeirão Serra Azul

A precipitação média anual é de 1514 mm, sendo que a precipitação diária decenal é de 112,27 mm e a precipitação diária com período de retorno de 25 anos é de 130 mm.

Aplicação da metodologia

Para determinar o coeficiente α , que faz um abatimento da chuva considerando-se a sua não homogeneidade espacial, entra-se na figura 1 com a área da bacia e a precipitação média anual, obtendo-se um valor para α da ordem de 0,80. Aplicando-se a equação 4, obtém-se o volume total precipitado sobre a área, V_p :

$$V_p = \alpha HS = 0,80 (0,11227\text{m} \times 108,1 \times 10^6 \text{m}^2) = 9,709 \times 10^6 \text{m}^3$$

O passo seguinte é a determinação de K_r (tabela 3). Para tanto a bacia foi classificada quanto à declividade e permeabilidade. Quanto à declividade longitudinal do talvegue principal tomando-se a redução de 20% nas extremidades montante e jusante, resulta o valor de 0,56%.

O mesmo procedimento foi repetido para a declividade transversal da bacia conforme sugerido pelos autores. Considerou-se que a declividade transversal esteja representada pelos afluentes Ponte de Palha, Córrego Boa Vista e Mato Frio e Cabeceira Comprida. Os resultados obtidos estão na tabela 7. Seguindo-se a orientação básica contida no método, escolheríamos a declividade mais forte (9,2%) para classificar a

bacia; resultando em um relevo tipo R5. Essa classe inclui entretanto, terrenos com declividades longitudinais compreendidas no intervalo de 2 a 5%, o que não corresponde ao caso em estudo. Em face disso, julgou-se que a declividade do maior talvegue transversal, Ponte de Palha, resulta mais representativa do relevo em estudo. Com tal enfoque passa-se consequentemente para uma classe R3, correspondente a uma zona de terrenos ondulados mais compatíveis com o relevo do conjunto da bacia. Dessa forma, tanto o ribeirão Serra Azul como o seu afluente principal enquadram-se na classe R3 cuja declividade longitudinal está compatível com a declividade do álveo principal, o Ribeirão Serra Azul.

Tabela 7. Declividades dos talvegues transversais do Ribeirão Serra Azul

TRECHO	L60% (m)	MARGEM (D/E)	i (%)
Ponte de Palha	5496	E	0,67
Boa Vista	4122	D	3,00
Mato Frio	3960	E	1,90
Cabeceira Comprida	1866	D	9,20

Sob o ponto de vista da permeabilidade a classificação adotada foi a P4. Resultou portanto à partir do binômio permeabilidade-declividade, o enquadramento R3P4, obtendo-se em seguida pela tabela 3, 0,18 para Kr e Tb de 35 horas, pela figura 4. Com esses valores calcula-se o volume realmente escoado Vr:

$$Vr = Kr Vp = 0,18 Vp = 0,18 \times 9,709 \times 10^6 m^3 = 1,747 \times 10^6 m^3$$

A vazão média anual, M é determinada pela equação 2:

$$M = Vr / Tb = 1,747 \times 10^6 m^3 / 35 \times 3600s = 13,86 m^3/s.$$

Finalmente, tomando-se K = 2,5, conforme a recomendação do método para regiões tropicais e tropicais de transição, resulta:

$$Q_{max} = KM = 2,5 \times 13,86 m^3/s = 34,65 m^3/s.$$

Adotando-se o mesmo procedimento acima para o período de retorno de 25 anos, tem-se uma vazão de 40,11 m³/s. Com o tempo de ascensão obtido diretamente pela figura 5, igual a 6,2 horas, pode-se construir os hidrogramas para cada período de retorno.

Análise de sensibilidade

Fez-se uma análise de sensibilidade desse método a alguns de seus parâmetros. Conforme descrito em Cabral (1999), identificou-se como mais significativos para essa análise os parâmetros característicos de permeabilidade e relevo da bacia, ou seja, a classe inicial adotada R3P4. Uma possibilidade a ser investigada seria o comportamento dessa metodologia se a permeabilidade viesse a corresponder a um valor imediatamente inferior, classe P3, resultando consequentemente o par R3P3. Da mesma forma, fazendo-se também uma variação da permeabilidade para a classe P5, resulta o par R3P5. A metodologia de cálculo é a mesma anteriormente descrita, mudando-se consequentemente o valor de Kr para cada caso, resultando os valores obtidos na tabela 8. Pela tabela 8 é possível avaliar a enorme sensibilidade do método ao parâmetro permeabilidade do

terreno, resultando em uma variação de noventa e quatro por cento no valor da vazão de pico ao se migrar da classe P4 para a classe P3 e uma redução de 45 por cento do valor da vazão, quando se migra para a classe P5.

De uma forma semelhante a declividade tem uma influência marcante com uma variação em saltos, ou seja, uma redução da ordem de 45 por cento ao se passar para a classe R2 e um aumento de 56 por cento dos valores ao se mudar para a classe R4.

Outro parâmetro a ser investigado corresponde à chuva diária. Para obtenção da chuva diária estabeleceu-se uma análise de frequência para os dados de pluviômetro da estação de fazenda Vista Alegre, abrangendo um período com vinte e cinco anos de dados; tendo sido encontrada a precipitação de 112,27 mm para 10 anos e 130,1 mm para 25 anos. Uma outra alternativa é a de se adotar a precipitação diária obtida através da relação IDF estabelecida para a bacia por Caldeira, Drumond e Baptista (1994). Essa relação foi sintetizada a partir de um período de observações bastante curto, circunstância freqüentemente encontrada em diversas regiões do país com carência de registros pluviográficos de longa data.

Tabela 8 - Análise de sensibilidade dos parâmetros do método ORSTOM

T	R3P4	R3P3	R3P5	R2P4	R4P4
	Q(m ³ /s) (%)	Q(m ³ /s) (%)	Q(m ³ /s) (%)	Q(m ³ /s) (%)	Q(m ³ /s) (%)
10	34,65 (100%)	67,42 (194%)	19,26 (55%)	19,26 (55%)	53,94 (156%)
25	40,11 (100%)	78,07 (194%)	22,31 (55%)	22,31 (55%)	62,45 (156%)

Para fins comparativos procurou-se aplicar as precipitações obtidas pela relação IDF para a classe R3P4, tendo sido obtidos os valores da tabela 9. Como resultado da função linear da vazão de pico em relação à precipitação, as vazões variam na mesma proporção. Aqui especificamente essa variação é vinte e cinco por cento maior quando se usa dados da IDF. Essa diferença indica a potencialidade de se obter desvios maiores ao se importar dados de precipitações de regiões não homogêneas.

Tabela 9 - Análise de sensibilidade do método ORSTOM às precipitações diárias, calculadas pela análise dos dados pluviométricos e pela relação IDF.

T	R3P4 - PLUV. Q(m ³ /s) (%)	R3P4 -IDF Q(m ³ /s) (%)
10	34,65 (100%)	43,17 (125%)
25	40,11 (100%)	50,21 (125%)

Análise dos resultados

Para avaliar a qualidade das estimações efetuadas foi estabelecido um padrão de comparação a partir da análise de frequência das vazões máximas anuais, utilizando os dados linigráficos disponíveis, de 1983 à 1995, conforme descrito por Cabral (1999). Os resultados da comparação, apresentados na tabela 10 evidenciam que o método apresentou uma variabilidade máxima de 7% em relação ao valor padrão determinado para a bacia.

Tabela 10 - Vazões máximas obtidas

Variáveis	Q ₁₀ (m ³ /s) (%)	Q ₂₅ (m ³ /s) (%)
Padrão	34,23 (100)	37,27 (100)
ORSTOM	34,65 (101)	40,11 (107)

Pode-se considerar, portanto, que as estimações efetuadas mostraram-se com boa precisão.

CONCLUSÕES

Uma primeira conclusão concerne a aplicabilidade do método em estudo às condições brasileiras. Com efeito, a metodologia revela-se extremamente interessante tendo em vista a possibilidade de aplicação a uma diversidade climática ampla, geomorfológica e funcional, compatível com as condições extremamente variadas encontrada no território brasileiro.

Mesmo sendo ainda uma metodologia indireta, a metodologia introduz simplificações centradas em parâmetros de determinação mais simples como a chuva diária, evitando-se também a utilização de dados que incorporam muita subjetividade ou excessiva variabilidade, como é o caso do tempo de concentração. Assim, a definição dos parâmetros pode ser feita com uma reduzida dose de subjetividade, levando à estimativas mais robustas, conforme descrito em estudo efetuado por Cabral (1999).

Com relação aos resultados obtidos com o uso da metodologia no presente estudo de caso, pode-se constatar que o método ORSTOM apresentou um bom desempenho, com resultados razoavelmente precisos, compatíveis com as incertezas normalmente aceitas em avaliações desta natureza.

Com vistas a validar adequadamente a metodologia recomenda-se que seja efetuada uma avaliação mais completa e exhaustiva, com sua aplicação em um número maior de bacias, em condições climáticas, geomorfológicas e funcionais distintas, de forma a se apropriar de todas as possibilidades do método.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Cabral, J. R. e Baptista, M. B. Utilização de Metodologia semidireta para a determinação de Hidrograma na Bacia Representativa do Rio Juatuba. In: II Simpósio de Hidráulica e Recursos Hídricos dos Países de Língua Oficial Portuguesa, III, Maputo, Moçambique. Editora da ABRH, v.3, p.70-77, 1997.
- Cabral, J. R. **Análise e proposição de metodologias para determinação de hidrogramas de cheias em bacias rurais..** Belo Horizonte: Escola de Engenharia da UFMG, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Dissertação ao Curso de Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, 150 p., 1999.
- Caldeira, W. S.; Drumond; M. M.; Baptista, M. B. Estabelecimento de equações de chuvas intensas na bacia representativa de Juatuba. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, VIII, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: SBMET, v.2, p. 394-397, 1994.
- Centre National du machinisme agricole, du genie rural, des eaux et des forets (CEMAGREF). Hydrologie appliquée aux petits bassins ruraux. France, 528p, 1989.
- Van Tuu, N. **Hydraulique routière.** Paris: BCEOM Ministère de la Coopération et du Développement, 342p., 1981.