RELAÇÕES ENTRE DEFLÚVIOS E VARIÁVEIS MORFOMÉTRICAS EM BACIAS HIDROGRÁFICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO

WALDIR LOPES PONÇANO*, MÁRIO SÉRGIO DE MELO* e ANTÔNIO CRISTOFOLETTI**

ABSTRACT RELATIONS BETWEEN STREAMFLOW AND GEOMORPHOLOGICAL FEATURES OF HYDROGRAPHIC BASINS IN SÃO PAULO STATE. Streamflow data of 68 selected fluviometric stations from rivers of São Paulo State have been compared to pluviometric rates and geomorphologic features, through simple and multiple linear regression analysis. The following independent variables have been considered: mean annual rainfall, hydrographic basin area, circularity ratio, relief ratio (in a modified form from the previous literature), and landforms of two groups, separated according to their heights and slopes. The highest values of significant simple correlation obtained always refer to mean annual rainfall; landform types and hydrographic basin area may be added significantly with much lower values of correlation. High rainfall rates and steep slopes result in favorable conditions for run off, thus leading to higher rates of streamflow. Such situation is best achieved in small hydrographic basins developed in escarpments. The values of correlation in the case of multiple regressions increase with the decreasing of hydrographic basin area, and with the increasing of circularity, relief ratio, and of the discharge/rainfall ratio. For basins smaller than 250 km² the variables related to landform types are also added significantly, thus increasing the values of correlation. So, morphometric features become more important in the explanation of river flows for decreasing sizes of hydrographic basins. This suggests that further research on the management of hydrographic basins should consider small basins instead of a regional approach.

RESUMO Dos 165 postos fluviométricos disponíveis para o Estado de São Paulo, foram selecionados 68, considerados adequados para análise neste trabalho. Esta consistiu basicamente no estabelecimento de correlações lineares simples e múltiplas entre vazão (variável dependente) e as seguintes variáveis independentes: precipitação média anual, área da bacia, razão de circularidade (razão entre a área mensurada da bacia e a do círculo com circunferência igual ao perímetro dessa dada bacia), razão de relevo (razão entre a diferença entre as cotas mais alta e mais baixa de uma bacia, e a maior dimensão da bacia, tendo como ponto inicial o local do fluviômetro) e relevos dos tipos III (morrotes e morros) e IV (montanhas, serras e escarpas). Os valores das correlações das regressões mostraram ligações maiores da vazão com a precipitação, razão de relevo e área da bacia hidrográfica. Maiores precipitações e declividades são condições favoráveis ao escoamento superficial, originando maiores taxas de débito fluvial. Em pequenas bacias, tais condições são mais propícias e homogêneas, como nas regiões serranas do Estado de São Paulo. Os coeficientes de correlação das regressões múltiplas aumentam com a diminuição das áreas das bacias e com o aumento dos valores da relação vazão/precipitação, razão de circularidade e razão de relevo. Para as bacias com áreas inferiores a 250 km², relevos dos tipos III e IV também são adicionados significativamente, contribuindo para aumentar o coeficiente de correlação. Assim, as características morfométricas tornam-se cada vez mais relevantes para o deflúvio à medida que diminuem as áreas das bacias hidrográficas. Os resultados obtidos sugerem que os parâmetros morfométricos investigados poderão ser úteis na avaliação de deflúvios de bacias de pequena grandeza espacial.

INTRODUÇÃO A busca de conhecimento a respeito do comportamento dos rios lança raízes em remotas fases históricas das mais diversas civilizações, à medida que o crescimento demográfico e o desenvolvimento sócio-econômico ampliam as necessidades de abastecimento, irrigação, saneamento e navegação. Nesse sentido, basta lembrar que a primeira civilização regional, a suméria, desenvolveu-se a partir da drenagem e irrigação dos aluviões pantanosos da bacia do Tigre e Eufrates, a cerca de 3.100 anos antes de Cristo. No Renascimento, a função dos rios no desenvolvimento das paisagens foi tema abordado por Da Vinci, que chegou mesmo a desenvolver projeto de navegação para o Rio Arno, em Florença. Já em época mais próxima, sob o influxo característico do desenvolvimento científico que se iniciou no século passado, podia-se destacar, na França, trabalhos de engenharia visando o controle de rios torrenciais, fundamentados em observações geomorfológicas de dinâmica fluvial.

Entretanto as bases geomorfológicas para as principais pesquisas modernas nesse campo de conhecimento vieram a ser estabelecidas por R.E. Horton, em 1945, ao reconhecer que as características hidrológicas da rede de drenagem eram inseparáveis de suas características morfológicas. Buscou estabelecer relações empíricas entre formas de relevo e variáveis

climáticas, hidrológicas e de cobertura de solos. Sua maior contribuição talvez tenha sido a formulação das leis de composição da drenagem, que se constituem na base de toda a geomorfologia quantitativa (Schumm 1977).

Do ponto de vista da utilização dos conhecimentos decorrentes dessa abordagem, expostos em ampla literatura, Schumm (1977, p. 314-315) destaca que o modo de funcionamento das bacias de drenagem "está intimamente ligado a sua morfologia e, portanto, deveria ser possível prever, ao menos em parte, as características hidrológicas de uma bacia a partir de sua morfologia. Esta abordagem tem valor particularmente onde há escassos dados hidrológicos".

De modo específico, Hadley & Schumm (1961) estudaram tais relações na bacia superior do Rio Cheyenne enquanto Hickok *et al.* (1959) pesquisaram pequenas bacias hidrográficas sob clima semi-árido. Morisawa (1962) estudou 15 bacias hidrográficas nos Apalaches e estabeleceu que a vazão de uma bacia é diretamente proporcional ao comprimento total dos cursos d'água, à área da bacia e à frequência dos canais de primeira ordem, e inversamente proporcional ao gradiente dos cursos d'água, ao índice de circularidade e ao relevo. Mais recentemente, Jarret (1987) realizou avaliações sobre procedimentos de uso da declividade dos canais no cálculo de débito

* IPT, Divisão de Minas e Geologia Aplicada. Caixa Postal 7141, CEP 01051, São Paulo, SP Brasil

** Unesp, Instituto de Geociências e Ciências Exatas. Rua 10, nº 2527, CEP 13500, Rio Claro, SP, Brasil

máximo de cheias.

Os comentários acima sugerem a diversidade de ambientes, escalas e variáveis que vem sendo relatada pela literatura. Este trabalho, por sua vez, representa justamente um ensaio a respeito das possibilidades de aplicação regional, para o Estado de São Paulo, de certos princípios da análise morfométrica das bacias hidrográficas. O objetivo principal seria, então, obter critérios regionalizáveis de correlação entre formas de relevo e vazões de rios, passíveis de serem extrapolados para regiões carentes de dados, dentro do território paulista. Entretanto os estudos realizados e os resultados aqui obtidos revestem-se de caráter preliminar, tendo em vista, principalmente, limitações quanto à representatividade na amostragem das bacias hidrográficas monitoradas, e quanto à acuidade dos dados pluviométricos e fluviométricos disponíveis. A dimensão da área abrangida bem como a verificação de aplicabilidade dos resultados obtidos conferem-lhe um certo caráter de ineditismo, que poderá ser útil na realização de pesquisas neste campo.

METODOLOGIAS Seleção de variáveis

O princípio geral desta pesquisa consiste em considerar, no contexto mais genérico da análise morfométrica acima esboçado, o deflúvio das bacias de drenagem como variável dependente; a precipitação pluviométrica e as características morfométricas das bacias são definidas pelos parâmetros enunciados como variáveis independentes. Em decorrência, o desenvolvimento dos trabalhos procurou discernir os fatores que podem ser levados em conta na explicação das vazões dos diferentes rios, como também da variabilidade regional de comportamento das zonas hidrográficas paulistas (Fig. 1). Em alguns casos, foi necessário incluir algumas áreas limítrofes do Estado de Minas Gerais a fim de se estabelecerem limites naturais para as zonas hidrográficas.

Acredita-se que períodos menores de amostragem possam refletir correlações mais nítidas entre vazões e variáveis morfométricas. Entretanto, levando em conta a disponibilidade de dados médios para períodos relativamente longos, bem como o objetivo da pesquisa, que visou subsidiar o gerenciamento global das bacias, optou-se por considerar valores médios anuais para uma primeira análise.

Embora a literatura seja indicativa, não há, de fato, nenhum critério rígido ou definido para a escolha das variáveis independentes. Esta questão é em parte empírica, característica, aliás, comum a todos os trabalhos do gênero. Assim, levando em conta trabalhos anteriores, bem como a disponibilidade de bases cartográficas e bancos de dados climáticos e hidrológicos, foram escolhidas as seguintes variáveis independentes:

1. *Precipitação anual média (P)* – Os valores em milímetro por ano foram obtidos do Anexo A do DAEE (1986). Correspondem a precipitação média na área da bacia calculada a partir de mapa de isoietas do Estado de São Paulo.

2. *Área da bacia (A)* – Representa o valor da área de captação a montante de um dado posto fluviométrico. Os valores, expressos em quilômetro quadrado, constam do Anexo A do DAEE (1986).

3. *Razão de circularidade (RC)* – Conforme a proposição de Morisawa (1962), é a razão entre a área mensurada da bacia e a do círculo com circunferência igual ao perímetro dessa dada bacia. Trata-se do parâmetro que expressa a forma da bacia, assumindo valores entre 0 e 1 – tanto maiores quanto mais a forma tende a ser circular. O traçado do perímetro foi feito em papel transparente, a partir de cartas 1:250.000 do IBGE, tendo como referência a localização do posto fluviométrico. Em seguida, a medição do perímetro foi feita em mesa digitalizadora Digigraf acoplada a microcomputador Tektronix 4052, utilizando-se o programa Calcap desenvolvido pelo Agrupamento de Geomatemática do IPT. A escala 1:250.000 foi aqui utilizada por facilidade de mensuração da área e perímetro das bacias estudadas; considerou-se que o emprego de

escalas maiores não traria um ganho de precisão significativo já que RC é definida como uma razão entre parâmetros interdependentes.

4. *Razão de relevo (RH)* – Este índice foi proposto por Schumm (1956), sendo definido como a razão entre a diferença altimétrica de uma bacia (entre as cotas mais alta e mais baixa) e o maior comprimento paralelo ao canal principal. Trata-se, portanto, de parâmetro que expressa o gradiente da bacia considerada. Neste trabalho, modificou-se a forma de medir o comprimento da bacia, que foi considerado como a distância entre o fluviômetro e o ponto mais distante dele. Esta alteração, segundo Christoforetti (1980), não afeta a significância da razão de relevo. Cotas e medidas foram obtidas de cartas 1:50.000 do IBGE e IGG, as únicas que permitem recuperar cotas de pontos determinados com precisão aceitável num estudo regional para toda a área estudada.

5. *Tipologia de relevos (TR)* – Os tipos de relevo apresentados no Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo (Ponçano *et al.* 1981) foram simplificados de modo a abranger quatro grupos, dos mais suaves aos mais acidentados: I. planícies, terraços e tabuleiros; II. colinas, morros com encostas suavizadas e morros arredondados; III. morrotes e morros; e IV. montanhas, serras e escarpas. Nos casos de bacias que ultrapassaram o limite do Estado de São Paulo, procedeu-se à classificação de relevo das áreas interessadas segundo os mesmos critérios prévios. Desses quatro conjuntos de relevos, os dois primeiros estão ausentes na maioria das bacias analisadas e seu uso foi descartado, para que não resultasse em falsas correlações. Foram, então, usados somente os relevos dos tipos III e IV. Essas variáveis foram expressas pela porcentagem de ocorrência de cada tipo de relevo nos limites de cada bacia considerada. A carta básica aqui utilizada foi editada em 1:1.000.000; e os limites entre conjuntos de relevos aí representados foram, porém, obtidos originalmente em 1:250.000.

Uma variável independente amplamente citada pela literatura é a densidade de drenagem, da qual se esperava obter resultados importantes seja ao nível de sua correlação com o deflúvio, seja em sua utilização como elemento de regionalização. A fim de se verificar a viabilidade de sua utilização, foi escolhida uma área de amostragem, na 6ª Zona Hidrográfica (Rio Paraíba do Sul), abrangendo as folhas 1:50.000 Itaquaquecetuba e Santa Isabel (IBGE e IGG), com relevos diversificados. A densidade de drenagem foi calculada computando-se o número de canais de primeira ordem (nascentes) existentes no interior de célula quadrada de 2 km de lado, definida pelo cruzamento de coordenadas UTM. Sobre as cartas foram interpretados todos os possíveis canais de primeira ordem, denotados por crenulações de curvas de nível, conforme proposição de Morisawa (1957). Para avaliar a acuidade dos resultados obtidos por este procedimento, interpretou-se a rede de drenagem de fotos aéreas 1:60.000 da USAF (1966), calculando-se a densidade de drenagem para as mesmas células de 2 km de lado previamente definidas, comparando-se então as duas séries de resultados (Fig. 2). Estes mostraram que as cartas 1:50.000 não permitem interpretar de maneira uniforme a rede de drenagem interpretada de fotografias aéreas. Em vista da grande extensão da área das bacias hidrográficas abrangidas neste trabalho, inviabilizando a interpretação da rede de drenagem a partir de fotos aéreas, optou-se por descartar o uso da densidade de drenagem.

No que se refere a variável dependente, as *Vazões Anuais Médias (Q)*, seus valores, em milímetro por ano (ou seja, volume escoado/área da bacia), foram também obtidos do anexo A do DAEE (1986).

Para a escolha das bacias hidrográficas fornecedoras dos valores das variáveis aqui consideradas, a rede de postos fluviométricos foi o fator fundamental. Dos 165 postos referidos pelo DAEE (1986), foi feita uma triagem inicial sendo eliminados postos vizinhos, no mesmo rio, quando operados por instituições diferentes, ou pertencentes a períodos diferentes.

Figura 1 — Zonas hidrográficas do Estado de São Paulo e localização dos postos fluvimétricos selecionados e respectivas bacias hidrográficas
 Figure 1 — Hydrographic Zones of São Paulo State, selected fluvimetric stations and their corresponding hydrographic basins

Figura 2 - Comparação da rede de drenagem obtida segundo vários critérios de reconstituição (referências em coordenadas UTM)

Figure 2 - Drainage-net patterns obtained according to different criteria (UTM coordinates for reference)

Após, foram eliminados os postos com áreas superiores a 1.190 km², tanto por questões práticas ligadas à obtenção de dados de relevo, como por se considerar que dificultariam o estabelecimento de relações causais entre morfologia e comportamento hidrológico. Como resultado, a relação foi reduzida para 90 postos. Uma última seleção foi ainda realizada, consistindo na manutenção de um único posto, aquele mais a jusante, no caso de ocorrerem dois ou mais postos ao longo do mesmo rio. Chegou-se assim a um resultado final de 68 postos considerados adequados para análise neste trabalho.

A enumeração, designação e variáveis das bacias hidrográficas selecionadas, referidas pelos postos fluviométricos respectivos, constam na tabela 1. Sua localização é dada na figura 1.

Análise dos dados Os dados selecionados das variáveis escolhidas (Tab. 1) foram tratados pelas regressões simples e múltiplas. A primeira parte da análise focalizou o deflúvio (Q) como variável dependente. Criou-se, ademais, uma variável dependente, razão do deflúvio pela precipitação (Q/P), que expressa o rendimento da bacia, desenvolvendo-se em função dela a segunda parte da análise.

As regressões lineares simples foram desenvolvidas pelo programa Simple Regression (Tektronix 1980) em microcomputador Tektronix 4052 acoplado a terminal gráfico 4662. O principal objetivo desta etapa foi obter uma idéia preliminar do nível de correlação entre as variáveis, de modo a orientar as regressões múltiplas.

Para as regressões lineares múltiplas foi utilizado o programa Multiple Linear Regression (Tektronix 1979) e o mesmo equipamento anterior, acrescido de impressora Codata. As regressões foram determinadas pelo procedimento passo a passo (*stepwise regression*) e o estabelecimento de níveis de significância dos resultados baseou-se em Draper & Smith (1966).

Uma análise exploratória dos 68 conjuntos de dados (Fig. 3) sugeriu que os mesmos fossem subdivididos em populações menores, de acordo com os seguintes conjuntos: bacias com áreas até 250 km²; bacias maiores que 250 km²; bacias entre 250 e 600 km²; e bacias maiores que 600 km². Além disso, foram criados conjuntos de dados por zona hidrográfica, tendo sido possível contemplar as zonas hidrográficas 1, 5, 6 e 7.

Figura 3 - Histograma de distribuição das áreas das 68 bacias selecionadas

Figure 3 - Histogram displaying the distribution of the areas of the 68 selected basins

Convenções adotadas A seguir, as variáveis, os conjuntos e os parâmetros serão sempre referenciados pelas convenções adotadas, como segue:

Q = vazão anual média (mm/ano)

P = precipitação anual média (mm/ano)

A = área da bacia (km²)

RC = razão de circularidade (adimensional)

RH = razão de relevo (adimensional)

III = porcentagem de relevo tipo III (morrotes e morros)

IV = porcentagem de relevo tipo IV (montanhas, serras e escarpas)

Z-1 ... Z-7 = Primeira ... Sétima Zona Hidrográfica

y = Variável dependente

R = Valor de correlação

RESULTADOS OBTIDOS As tabelas 2 a 5 apresentam as melhores equações de ajuste e respectivos coeficientes de correlações lineares simples, sendo variáveis dependentes Q, log Q, Q/P e log Q/P, respectivamente. Os resultados das re-

Tabela 1 – Relação dos 68 postos selecionados e respectivos dados
Table 1 – List of the 68 selected stations and their corresponding data

NOME	ZONA	A	Q	P	QSP	RC	RH	III	IV
1 PIRACICABA	1	433,0	720	1672	0,431	0,420	34,2	0	100
2 NAZARE PAULISTA	1	305,0	622	1530	0,407	0,294	19,2	23	0
3 CHÁCARA BRUNELLI	1	465,0	509	1416	0,359	0,449	15,0	30	14
4 FAZ. DA BARRA	1	920,0	452	1480	0,305	0,248	14,5	24	75
5 ITAICI	1	826,0	318	1279	0,249	0,345	11,0	58	18
6 SALTO DE PIRAPORA	1	351,0	355	1340	0,265	0,391	20,2	81	0
7 PIRAJIBU	1	338,0	224	1325	0,169	0,570	17,7	85	11
8 UNA-FEITAL	1	179,0	541	1481	0,365	0,470	22,7	12	79
9 MONTEMOR	1	508,0	288	1251	0,230	0,264	7,7	57	1
10 ESTALEIRO DAEE	1	850,0	515	1500	0,343	0,244	43,6	65	16
11 CASA GRANDE	1	141,0	1171	2119	0,553	0,353	19,8	100	0
12 PARAÍTINGA	1	125,0	424	1340	0,316	0,331	20,1	100	0
13 BIRITIBA MIRIM	1	91,0	645	1614	0,400	0,436	19,3	0	50
14 FAZ. STO. ANGELO	1	144,0	476	1478	0,322	0,511	23,6	9	51
15 TAIACUPEBA-AÇU	1	94,0	554	1626	0,341	0,432	23,3	25	25
16 B. PALMEIRAS	1	34,0	417	1361	0,306	0,383	16,7	50	0
17 TAIACUPEBA-MIRIM	1	63,0	301	1347	0,223	0,643	24,3	44	0
18 COMASP	1	242,0	383	1392	0,275	0,355	11,0	74	24
19 FRANCO DA ROCHA	1	465,0	380	1369	0,278	0,412	20,6	27	73
20 ACIMA DA REPRESA	2	113,0	438	1370	0,320	0,629	9,0	0	0
21 SÍTIO BRAGA	2	537,0	397	1387	0,286	0,553	13,8	0	17
22 USINA LENÇOIS	2	980,0	310	1281	0,242	0,433	9,5	0	17
23 BAIRRO S. GERALDO	3	742,0	246	1369	0,180	0,575	7,9	0	45
24 TAQUARI-VAI	4	996,0	364	1477	0,246	0,351	8,0	75	5
25 CERRADINHO	4	430,0	604	1410	0,428	0,355	10,7	37	31
26 ITAPEVA	4	804,0	375	1407	0,267	0,526	10,7	55	33
27 ITARIRI	5	78,0	1857	2025	0,917	0,451	115,6	35	65
28 SÍTIO COOPERATIVA	5	89,0	1369	1966	0,696	0,519	29,9	15	85
29 PEDRA DO LARGO	5	561,0	1328	2231	0,595	0,488	26,2	26	74
30 JUQUITIBA II	5	232,0	616	1585	0,389	0,524	15,7	100	0
31 BAIRRO IPORANGA	5	425,0	1121	1830	0,613	0,342	43,3	27	73
32 JUQUITIBA I	5	499,0	923	1762	0,524	0,385	14,4	100	0
33 JACUPIRANGA	5	733,0	900	1630	0,552	0,436	34,4	24	76
34 PINGUELA	5	20,7	1448	2191	0,661	0,670	18,8	100	0
35 USINA CAPIVARI	5	138,0	1569	2347	0,669	0,636	29,9	99	1
36 VERT. PE. DA SERRA	5	56,6	1349	2502	0,539	0,415	63,7	73	27
37 PASSAREUVA	5	8,1	2377	2800	0,849	0,481	18,7	100	0
38 M. ALTO DA SERRA	5	14,7	2319	3200	0,725	0,639	17,2	100	0
39 RIB. ITAPANHAU	5	84,9	1420	2238	0,634	0,509	30,0	25	75
40 DUAS BARRAS	5	129,0	1845	2659	0,694	0,436	73,0	74	26
41 B. IGREJINHA	5	26,0	1942	2011	0,966	0,629	154,8	70	30
42 ESTRADA DO CUNHA	6	760,0	507	1476	0,343	0,402	26,7	61	39
43 FAZENDA DO CUME	6	95,0	741	1667	0,445	0,503	65,3	14	86
44 MAT. DA SERRA I	6	865,0	945	1923	0,491	0,218	12,9	67	33
45 PONTE ALTA II	6	24,0	2143	3035	0,706	0,537	32,2	100	0
46 NAT. DA SERRA II	6	140,0	481	1338	0,359	0,435	36,2	42	58
47 VARGINHA	6	397,0	630	1661	0,379	0,297	24,7	73	27
48 B.REMEDINHO	6	363,0	302	1288	0,234	0,425	16,3	94	6
49 IGARATA I	6	696,0	857	1710	0,501	0,435	33,8	44	56
50 IGARATA II	6	481,0	517	1408	0,367	0,538	24,3	70	30
51 BUQUIRINHA	6	393,0	755	1681	0,449	0,318	30,2	35	65
52 B. PARARANGABA	6	50,0	265	1242	0,213	0,703	33,0	3	35
53 FAZENDA MODELO	6	459,00	382	1251	0,305	0,375	20,5	10	80
54 CHAC. SÃO JOSE	6	79,0	256	1251	0,205	0,783	21,7	0	45
55 PILÕES	6	84,0	1247	2051	0,608	0,476	98,2	31	69
56 FAZ. STA. CLARA	6	93,0	1163	1522	0,764	0,504	83,7	31	39
57 COBIÇA	7	808,0	523	1563	0,335	0,381	10,9	90	6
58 STO. ANT. ALEGRIA	7	450,0	553	1567	0,353	0,435	11,8	90	10
59 BEIRA STA. RITA	7	356,0	695	1581	0,440	0,352	35,5	31	69
60 PONTE CANOAS	7	662,0	379	1502	0,252	0,472	17,7	71	29
61 S. JOSE R. PARDO	7	221,0	532	1503	0,354	0,327	25,9	15	85
62 CACONDE	7	356,0	532	1514	0,351	0,502	17,6	39	61
63 CASCATA DAS ANTAS	7	468,0	831	1556	0,534	0,448	19,7	86	14
64 JACUTINGA	7	920,0	613	1627	0,377	0,351	15,0	42	46
65 S. J. BOA VISTA	7	732,0	635	1614	0,393	0,310	19,4	35	65
66 LINDÓIA	7	1130,0	588	1587	0,371	0,391	20,3	50	50
67 FAZ. ALIANÇA	7	500,0	605	1563	0,387	0,357	16,9	28	72
68 USINA OURO FINO	7	42,0	796	1600	0,497	0,431	58,9	69	31

gressões lineares múltiplas estão apresentados nas tabelas 6 a 9, sendo variáveis dependentes Q, log Q, Q/P e log Q/P, nessa ordem. Na tabela 10 apresenta-se uma síntese das variáveis

adicionadas em cada regressão múltipla. Os valores médios das variáveis utilizadas neste trabalho acham-se reunidos na tabela 11.

Tabela 2 – Equações e correlações obtidas para as regressões simples ($y = Q$)

Table 2 – Equations and correlations obtained from simple regressions ($y = Q$)

$y = Q$ Variáveis independentes e respectivas equações de ajuste, e valores de correlação

Arquivo	Nº de dados	P	A	RC	RH	III	IV
68	68	$y = a + b \log x$ 94.02	$y = a + bx$ 66.03	$y = a + b \log x$ 20.98	$y = a + b \log x$ 51.67	$y = a + bx$ 33.62	$y = a - bx$ 0.0
Z1	(19)	$y = a + bx$ 96.80	$y = a - bx$ 20.98	$y = a - bx$ 18.17	$y = a - bx$ 36.05	$y = a - bx$ 7.75	$y = a + bx$ 13.78
Z5	(15)	$y = a - b/x$ 83.37	$y = ax^{-b}$ 80.00	$y = a + bx$ 29.66	$y = a + bx$ 31.94	$y = a - b/x$ 26.83	$y = a - bx$ 23.24
Z6	(15)	$y = a + bx$ 94.66	$y = a + b/x$ 64.88	$y = a - bx$ 12.25	$y = a + bx$ 40.25	$y = a + bx$ 40.87	$y = a - bx$ 16.43
Z7	(12)	$y = a - b/x$ 54.68	$y = a + b/x$ 47.85	$y = a - bx$ 10.95	$y = a + bx$ 56.21	$y = a - b/x$ 13.78	$y = a - b/x$ 8.94
A < 250	(30)	$y = a + b \log x$ 93.65	$y = a + b/x$ 61.73	$y = a - b/x$ 14.83	$y = a + bx$ 39.75	$y = a + bx$ 53.48	$y = a - bx$ 15.49
250 ≤ A < 600	(22)	$y = a + bx$ 94.45	$y = a + bx$ 30.00	$y = a - bx$ 12.25	$y = a + bx$ 54.31	$y = a - bx$ 15.49	$y = a + bx$ 37.55
A ≥ 600	(16)	$y = a + bx$ 90.11	$y = a + b/x$ 16.12	$y = a - bx$ 36.74	$y = a - b/x$ 61.97	$y = a + bx$ 12.25	$y = a + bx$ 46.80
A ≥ 250	(38)	$y = a + bx$ 92.20	$y = a - bx$ 10.00	$y = a - bx$ 19.24	$y = a + b \log x$ 53.57	$y = a - bx$ 7.07	$y = a + bx$ 39.62

Tabela 3 – Equações e correlações obtidas para as regressões simples ($y = \log Q$)

Table 3 – Equations and correlations obtained from simple regressions ($y = \log Q$)

$y = \log Q$

Arquivo	Nº de dados	P	A	RC	RH	III	IV
68	68	$y = a - b/x$ 94.02	$y = a + b/x$ 50.89	$y = a - b/x$ 10.49	$y = a + b \log x$ 56.66	$y = a + bx$ 28.81	$y = a + bx$ 9.49
Z1	(19)	$y = a - b/x$ 92.84	$y = a - bx$ 19.24	$y = a - bx$ 23.66	$y = a - b/x$ 43.01	$y = a - bx$ 24.90	$y = a + bx$ 3.16
Z5	(15)	$y = a - b/x$ 85.09	$y = a - b \log x$ 74.70	$y = a + bx$ 28.98	$y = a + bx$ 35.78	$y = a - b/x$ 17.32	$y = a - bx$ 12.25
Z6	(15)	$y = a - b/x$ 93.01	$y = a + b/x$ 38.73	$y = a - bx$ 33.91	$y = a + bx$ 48.37	$y = a + bx$ 37.68	$y = a + bx$ 3.16
Z7	(12)	$y = a - b/x$ 59.67	$y = a + b/x$ 43.82	$y = a - bx$ 18.97	$y = a + bx$ 49.70	$y = a - b/x$ 8.37	$y = a - b/x$ 9.49
A < 250	(30)	$y = a - b/x$ 94.71	$y = a + b/x$ 48.37	$y = a - bx$ 5.48	$y = a + bx$ 43.82	$y = a + bx$ 50.99	$y = a - bx$ 5.48
250 ≤ A < 600	(22)	$y = a - b/x$ 92.03	$y = a + b/x$ 25.88	$y = a - bx$ 19.49	$y = a + bx$ 53.01	$y = a - bx$ 19.75	$y = a + bx$ 38.99
A ≥ 600	(16)	$y = a - b/x$ 89.83	$y = a + b/x$ 11.40	$y = a - bx$ 43.59	$y = a - b/x$ 69.21	$y = a + bx$ 20.98	$y = a + bx$ 45.61
A ≥ 250	(38)	$y = a - b/x$ 89.94	$y = a - bx$ 8.94	$y = a - bx$ 27.20	$y = a - b/x$ 56.04	$y = a - bx$ 5.48	$y = a + bx$ 40.24

Tabela 4 – Equações e correlações obtidas para as regressões simples ($y = Q/P$)

Table 4 – Equations and correlations obtained from simple regressions ($y = Q/P$)

$y = Q/P$

Arquivo	Nº de dados	A	RC	RH	III	IV
68	68	$y = a - b \log x$ 53.29	$y = a - b/x$ 16.43	$y = a + bx$ 65.12	$y = a + bx$ 23.66	$y = a + bx$ 11.83
Z1	(19)	$y = a - bx$ 19.24	$y = a - bx$ 24.70	$y = a - b/x$ 38.99	$y = a - bx$ 20.25	$y = a + bx$ 20.00
Z5	(15)	$y = a - b \log x$ 61.64	$y = a + bx$ 24.90	$y = a - bx$ 67.16	$y = a - bx$ 5.48	$y = a + bx$ 5.48
Z6	(15)	$y = a + b/x$ 37.15	$y = a - bx$ 22.36	$y = a + bx$ 61.89	$y = a + bx$ 24.70	$y = a + bx$ 13.04
Z7	(12)	$y = a + b/x$ 47.33	$y = a - bx$ 6.32	$y = a + bx$ 55.86	$y = a - b/x$ 10.49	$y = a - b/x$ 8.37
A < 250	(30)	$y = a - b \log x$ 47.75	$y = a - b/x$ 11.83	$y = a + bx$ 60.66	$y = a + bx$ 40.87	$y = a + bx$ 3.16
250 ≤ A < 600	(22)	$y = a + b \log x$ 26.08	$y = a - bx$ 19.49	$y = a + bx$ 53.49	$y = a - bx$ 16.73	$y = a + bx$ 35.50
A ≥ 600	(16)	$y = a + b/x$ 17.03	$y = a - bx$ 34.06	$y = a - b/x$ 69.21	$y = a + bx$ 8.37	$y = a + bx$ 50.79
A ≥ 250	(38)	$y = a + bx$ 15.17	$y = a - bx$ 22.36	$y = a + b \log x$ 57.62	$y = a - bx$ 7.75	$y = a + bx$ 39.12

Tabela 5 – Equações e correlações obtidas para as regressões simples ($y = \log Q/P$)

Table 5 – Equations and correlations obtained from simple regressions ($y = \log Q/P$)

$y = \log Q/P$

Arquivo	Nº de dados	A	RC	RH	III	IV
68	68	$y = a - b \log x$ 46.26	$y = a - b/x$ 7.75	$y = a + b \log x$ 61.56	$y = a + bx$ 22.14	$y = a + bx$ 16.43
Z1	(19)	$y = a - bx$ 16.73	$y = a - bx$ 30.00	$y = a - b/x$ 39.75	$y = a - bx$ 28.98	$y = a + bx$ 25.10
Z5	(15)	$y = a - b \log x$ 60.50	$y = a + bx$ 24.08	$y = a + bx$ 60.17	$y = a - bx$ 8.94	$y = a + bx$ 8.94
Z6	(15)	$y = a + b/x$ 24.90	$y = a - bx$ 36.50	$y = a + bx$ 57.71	$y = a + bx$ 27.93	$y = a + bx$ 18.44
Z7	(12)	$y = a - b \log x$ 44.72	$y = a - bx$ 14.14	$y = a + bx$ 53.39	$y = a - b/x$ 4.47	$y = a - b/x$ 10.00
A < 250	(30)	$y = a + b/x$ 41.47	$y = a - bx$ 8.37	$y = a + bx$ 54.77	$y = a + bx$ 43.36	$y = a + bx$ 5.48
250 ≤ A < 600	(22)	$y = a - b/x$ 26.46	$y = a - bx$ 23.87	$y = a + bx$ 50.10	$y = a - bx$ 21.68	$y = a + bx$ 37.28
A ≥ 600	(16)	$y = a + b/x$ 10.95	$y = a - bx$ 42.31	$y = a - b/x$ 73.46	$y = a + bx$ 16.73	$y = a + bx$ 47.12
A ≥ 250	(38)	$y = a - bx$ 13.41	$y = a - bx$ 28.64	$y = a + b \log x$ 57.97	$y = a - bx$ 7.75	$y = a + bx$ 39.24

DISCUSSÃO DOS RESULTADOS Inicialmente, será abordado o conjunto das regressões lineares simples e, depois, o das múltiplas. Finalmente, serão feitas algumas considerações sobre o significado das variáveis.

Regressões Lineares Simples Os dados das tabelas 2 e 3 mostram que os maiores valores de R correspondem à variável P, para $y = Q$ e $y = \log Q$ (exceto no caso da Z-7). Considerando apenas os resultados da tabela 2, nota-se que a segunda variável com valores elevados de R é RH, com cinco valores acima de 50%, seguida pela variável A, com quatro valores acima de 50%. Das demais variáveis, apenas os relevos do tipo III apresentam valor de R superior a 50%, no caso de bacias com áreas menores que 250 km². Para o conjunto de 68 dados, apenas as variáveis P, A e RH fornecem valores superiores a 50%.

As Z-5 e Z-6 apresentam valores de R > 50% para a variável A enquanto a Z-7 apresenta R > 50% para RH. Todas as quatro zonas hidrográficas consideradas apresentam valores de R > 50% para a variável P; esta é, aliás, a única variável com R > 50% no caso da Z-1.

Considerando-se os valores de A discretizados, ou seja, agrupados em subconjuntos, têm-se maiores valores de R para RC, RH e relevos do tipo IV com o aumento da área da bacia hidrográfica, e menores valores de R para A e III com o aumento de A. A variável P mostra valores de R elevados e próximos entre si para todos os casos.

Comparando-se os resultados das tabelas 4 e 5, tem-se que os maiores valores de correlação correspondem a RH, quando $y = Q/P$. Nota-se, ainda que oito dos 11 valores de R > 50% se referem a RH, dois a A e um a IV. Finalmente, observam-se maiores valores de R para RH e A quando $y = Q/P$, e para RC, III e IV quando $y = \log Q/P$.

O conjunto de 68 dados bem como os dados discretizados segundo as zonas hidrográficas apresentam sempre valores de correlação maiores que 50% para RH, sendo $y = Q/P$, com exceção da Z-1, em que todos os valores de R são menores que 50%. Os valores de R para a variável A são maiores que 50% para os 68 dados e para a Z-5.

Para os conjuntos discretizados segundo os tamanhos das bacias hidrográficas, sendo $y = Q/P$, notam-se maiores valores de R para RC e IV, com aumento de A. No caso de RH, observam-se valores de R próximos entre si para bacias com menos de 600 km², com aumento substancial de R quando as áreas são superiores a esse valor.

Os resultados obtidos nas correlações lineares simples

Tabela 6 – Sumário dos resultados de regressões múltiplas ($y = Q$)Table 6 – Summary of results obtained from multiple regressions ($y = Q$)

$y = Q$		Variáveis Independentes														Corr.
Arquivo	Dados	A	P	RC	RH	III	IV	log A	log P	log RC	log RH	1/A	1/P	1/RC	1/RH	R
68	68	-----	-----	-----	--S--	-----	-----	-----	--S--	-----	-----	--S--	-----	-----	-----	97.32
Z1	(19)	-----	--S--	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	96.77
Z5	(15)	-----	-----	-----	--S--	-----	-----	-----	-----	-----	-----	--S--	--S--	-----	-----	95.65
Z6	(15)	-----	--S--	-----	--S--	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	97.13
Z7	(12)	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	—
A < 250	(30)	-----	-----	-----	--S--	-----	-----	-----	--S--	-----	-----	--S--	-----	-----	-----	97.46
250 ≤ A < 600	(22)	-----	--S--	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	94.42
A ≥ 600	(16)	-----	--S--	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	--S--	-----	-----	-----	-----	93.64
A ≥ 250	(38)	-----	--S--	-----	--S--	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	93.53

Tabela 7 – Sumário dos resultados de regressões múltiplas ($y = \log Q$)Table 7 – Summary of results obtained from multiple regressions ($y = \log Q$)

$y = \log Q$		Variáveis Independentes														Corr.
Arquivo	Dados	A	P	RC	RH	III	IV	log A	log P	log RC	log RH	1/A	1/P	1/RC	1/RH	R
68	68	-----	-----	-----	--S--	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	--S--	-----	-----	95.71
Z1	(19)	-----	-----	--S--	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	--S--	--S--	-----	95.83
Z5	(15)	-----	-----	-----	--S--	-----	-----	-----	-----	-----	-----	--S--	--S--	-----	-----	94.79
Z6	(15)	-----	-----	-----	--S--	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	--S--	-----	-----	95.43
Z7	(12)	--S--	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	--S--	-----	-----	79.42
A < 250	(30)	-----	-----	-----	--S--	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	--S--	-----	-----	96.89
250 ≤ A < 600	(22)	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	--S--	-----	-----	92.01
A ≥ 600	(16)	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	--S--	-----	-----	-----	-----	-----	--S--	94.95
A ≥ 250	(38)	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	--S--	-----	--S--	91.60

Tabela 8 – Sumário dos resultados de regressões múltiplas ($y = Q/P$). S indica as variáveis independentes adicionadas (únicas com valores de correlação parcial significativos)Table 8 – Summary of results obtained from multiple regressions ($y = Q/P$). S indicates the significant independent variables (those with significant partial values of correlation)

y = Q/P		Variáveis Independentes											Corr.
Arquivo	Dados	A	RC	RH	III	IV	log A	log RC	log RH	1/A	1/RC	1/RH	R
68	68	-----	-----	--S--	-----	-----	-----	-----	-----	--S--	-----	-----	77.38
Z1	(19)	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	—
Z5	(15)	-----	-----	--S--	-----	-----	-----	-----	-----	--S--	-----	-----	87.03
Z6	(15)	-----	-----	--S--	--S--	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	77.52
Z7	(12)	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	—
A < 250	(30)	-----	-----	--S--	--S--	--S--	-----	-----	-----	--S--	-----	-----	85.00
250 ≤ A < 600	(22)	--S--	-----	--S--	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	65.56
A ≥ 600	(16)	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	--S--	69.23
A ≥ 250	(38)	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	--S--	-----	-----	-----	57.66

permitem formular as seguintes proposições:

- A variável P destaca-se por apresentar maiores valores de R.
- As variáveis RH e A têm importância secundária, com valores de R menores que no caso acima, mas ainda destacando-se das demais.
- Algumas tendências de valores de R aparecem de modo mais ordenado quando se consideram as discretizações por

tamanho de área.

- Os valores de R para RH, RC e IV aumentam com o aumento de A, ocorrendo o inverso para III.

Regressões Lineares Múltiplas Considerando-se os resultados das tabelas 6 e 7 constata-se, inicialmente, que os valores de R são maiores para $y = Q$ e a variável P (e suas transformações log P e 1/P) é adicionada em todos os casos, com

Tabela 9 – Sumário dos resultados de regressões múltiplas ($y = \log Q/P$)Table 9 – Summary of results from multiple regressions ($y = \log Q/P$)

y = log Q/P		Variáveis Independentes											Corr.
Arquivo	Dados	A	RC	RH	III	IV	log A	log RC	log RH	1/A	1/RC	1/RH	R
68	68	-----S-----							---S---	---S---			72.81
Z1	(19)	-----											-
Z5	(15)	-----					---S---		---S---				79.02
Z6	(15)	-----		---S---	---S---								75.53
Z7	(12)	-----											-
A < 250	(30)	-----		---S---	---S---	---S---				---S---			82.15
250 ≤ A < 600	(22)	-----		---S---									50.13
A ≥ 600	(16)	-----										---S---	73.47
A ≥ 250	(38)	-----							---S---				57.93

Tabela 10 – Variáveis adicionadas nas regressões múltiplas

Table 10 – Variables added in the multiple regressions

ARQUIVO	$y + Q$	$y = Q/P$
68 dados	$Q = f(\log P, RH, 1/A)$	$Q/P = f(RH, 1/A)$
Zona 1	$Q = f(P)$	-
Zona 5	$Q = f(1/P, RH, 1/A)$	$Q/P = f(RH, 1/A)$
Zona 6	$Q = f(P, RH)$	$Q/P = f(RH, III)$
Zona 7	-	-
A < 250	$Q = f(\log P, RH, 1/A)$	$Q/P = f(RH, 1/A, III, IV)$
250 ≤ A < 600	$Q = f(P)$	$Q/P = f(RH, A)$
A ≥ 600	$Q = f(P, \log RH)$	$Q/P = f(RH)$
A ≥ 250	$Q = f(P, RH)$	$Q/P = f(\log RH)$
Q/P < 0,300		-
0,300 ≤ Q/P < 0,450		$Q/P = f(RH)$
0,450 ≤ Q/P < 0,700		$Q/P = f(RC)$
Q/P ≥ 0,700		-
RC < 0,350		$Q/P = f(\log RH)$
0,350 ≤ RC < 0,435		$Q/P = f(1/A)$
0,435 ≤ RC < 0,550		$Q/P = f(\log RH)$
RC ≥ 0,550		$Q/P = f(1/A, RH)$
RH < 15,0		$Q/P = f(\log RH)$
15,0 ≤ RH < 25,0		$Q/P = f(1/A)$
25,0 ≤ RH < 35,0		-
RH ≥ 35,0		$Q/P = f(RH)$

exceção da Z-7. A Variável RH é a segunda mais significativa, tendo sido adicionada em seis casos, seguida da variável A, adicionada em três casos. Nenhuma das demais variáveis foi adicionada em qualquer caso. Todos os valores de R significativos variam num estreito intervalo (de 93,53% a 97,46%). O

valor mais alto de R refere-se ao grupo de bacias com áreas menores que 250 km²; nota-se também que os valores diminuem com o aumento de A.

Os resultados das tabelas 8 e 9 mostram, em geral, maiores valores de R quando $y = Q/P$, exceto para o conjunto de bacias maiores que 600 km². RH foi a variável adicionada em maior número de vezes (sete), seguida de A (quatro), III (duas) e IV (uma). Os valores de R variam em ampla faixa, de 57,66% a 87,03%, o valor mais alto correspondendo à Z-5. O segundo maior valor de R corresponde às bacias menores que 250 km² (85,00%) e seu valor mais baixo ocorre no conjunto de bacias maiores que 250 km². Similarmente à situação anterior, em que $y = Q$ (Tab. 6), maior número de variáveis foi adicionado quando A < 250.

As considerações precedentes levam às seguintes ponderações:

- Dentre as variáveis morfológicas, RH é a mais significativa, seguida de A.

- As variáveis III e IV, que expressam um somatório de características de relevo, são significativas somente para bacias com áreas menores que 250 km², bem como para a Z-6.

- No caso da Z-1, só a variável P, climática, foi adicionada enquanto na Z-7 nenhuma das variáveis pôde ser adicionada de modo significativo. Quando se considera que o valor da correlação entre Q e P para a Z-7 (Tab. 2) é substancialmente mais baixo que os demais, da mesma coluna, pode-se supor que, para este caso, ou os dados disponíveis são insuficientes, ou mesmo, incorretos.

- Maior número de variáveis morfométricas foi adicionado para as bacias com áreas menores que 250 km², resultando em maiores valores de R para este conjunto. Note-se que os va-

Tabela 11 – Valores médios das variáveis utilizadas nas regressões simples e múltiplas

Table 11 – Mean values of the variables considered in simple and multiple regressions

Variável	Q	P	Q/P	A	RC	RH	III	IV	III+IV
Arquivo									
68	777,71	1674,69	0,43	380,81	0,44	28,96	48,82	36,07	84,89
Z1	489,21	1469,47	0,32	346,00	0,40	20,24	45,47	28,26	73,73
Z5	1492,13	2198,47	0,67	206,33	0,50	45,71	64,53	35,47	100,00
Z6	746,07	1633,60	0,42	331,93	0,46	37,31	45,00	46,53	91,53
Z7	606,83	1564,75	0,39	553,75	0,40	22,47	53,83	44,83	98,66
A < 250	1036,13	1862,03	0,51	97,50	0,50	40,41	50,33	33,87	84,20
250 ≤ A < 600	603,32	1526,95	0,38	433,64	0,41	20,93	47,68	37,64	85,32
A ≥ 600	532,94	1526,56	0,34	839,00	0,38	18,52	47,56	38,06	85,62
A ≥ 250	573,68	1526,79	0,36	604,32	0,40	19,92	47,63	37,82	85,45

lores de R, para este mesmo conjunto de bacias, foram os menores no caso das regressões lineares simples. Esta contradição é apenas aparente e deve-se a diferenças inerentes a esses dois métodos de análise.

● Comparando-se os resultados das regressões lineares múltiplas com os das simples, nota-se que a adição de variáveis morfométricas não aumentou de modo substancial os valores de correlação obtidos quando apenas a variável independente P foi considerada. Assim, como exemplo, no caso das bacias menores que 250 km², o valor de R passou de 93,65% para 97,46%.

Significado das Variáveis das Regressões Para $y = Q$ foram obtidas oito correlações significativas para as regressões múltiplas, nas quais a variável P é sempre adicionada. RH é adicionada seis vezes, enquanto que a variável A é adicionada três vezes, de forma inversa. Isso pode ser compreendido por duas razões.

Primeiramente, adotou-se nesta pesquisa expressar a variável Q com a dimensão milímetro por ano. Por este motivo, não se deve esperar uma relação direta entre áreas e vazões como deveria ocorrer, caso se usasse a dimensão metro cúbico por ano, conforme demonstram resultados alcançados por Morisawa (1962). Ressalte-se ainda que essa autora obteve relação inversa entre Q e RH, porém em situação de clima semi-árido.

Em segundo lugar, a adição da variável A na forma inversa pode ser compreendida a partir do conjunto de dados de bacias menores que 250 km² (Tab. 11). Tem-se aí a mais baixa área média ao lado de elevada precipitação média, situação que propicia menores taxas de infiltração e maiores vazões. Os dados da Z-5 (Vertente Marítima e Rio Ribeira de Iguape) reforçam essa constatação, especialmente quando se considera que esta é a região mais chuvosa e de mais altas declividades do Estado de São Paulo; os dados para ela disponíveis referem-se, ainda, a bacias de áreas relativamente pequenas. É de esperar que os resultados apresentados pelo conjunto de 68 dados, por sua vez, estejam bastante influenciados por esses mesmos fatores, já que inclui 30 dados de bacias inferiores a 250 km².

Nas sete correlações lineares múltiplas significativas, obtidas para $y = Q/P$ (Tab. 8), a variável RH é sempre adicionada enquanto A é adicionada quatro vezes; III, duas; e IV, uma. Esses resultados mostram que o gradiente dos rios é o mais importante entre os fatores morfológicos considerados. Uma relação inversa para A ocorre nos mesmos casos vistos anteriormente para $y = Q$. Ademais, as variáveis III e IV são adicionadas para áreas menores que 250 km². Como esses tipos de relevos são caracterizados por declividades acentuadas, que favorecem o escoamento superficial, parece natural que a correlação entre essas variáveis e Q/P seja mais nítida que no caso precedente. A adição da variável III na Z-6, porém, não tem nenhuma explicação evidente, no momento.

Complementarmente, regressões simples realizadas com os

valores médios da tabela 11 confirmam alta correlação e variação linear entre Q e Q/P (Tab. 12), e indicam ainda que entre as variáveis morfológicas a melhor correlação se verifica entre Q e RH, seguida de RC e de A. A regressão efetuada com valores médios de RC e RH apresenta valor de R de 97,83%, sugestivo de que, nas regressões múltiplas, a inclusão de uma dessas variáveis praticamente exclui a outra. As regressões simples dos valores médios de A e RC (R = 89,50%) e A e RH (R = 80,87%) são indicativas de que quanto menores as áreas as bacias tendem a ter maiores gradientes e a serem mais circulares. De modo geral, esta apreciação feita pelos valores médios concorda com a discussão precedente que aponta no sentido de interação entre a grandeza da bacia hidrográfica e valores de vazão, declividade e formato.

A presente discussão não pode ser concluída sem observações restritivas quanto aos resultados obtidos de duas ordens bem distintas. A primeira prende-se à escassez de dados pluviométricos e fluviométricos, sem os quais não se podem esperar avanços significativos, teóricos ou de aplicação, no campo da análise morfométrica das redes de drenagem. Nesse sentido, são bastante ilustrativos os resultados obtidos para a Z-7, em que não se alcançou correlação aceitável nem mesmo para Q e P. Adicionalmente, há que considerar as dificuldades de restituição da rede hidrográfica pelas escalas e pelos documentos adequados.

Outras restrições são relacionadas ao próprio significado da análise morfométrica e prendem-se à constatação de que os vales dos rios evoluem diversamente segundo os contextos morfoclimáticos que marcam sua história. Assim, a expressão morfológica de uma bacia hidrográfica pode exibir configurações que se acham em desacordo com sua dinâmica atual. Considerações semelhantes podem ser feitas a respeito do significado dos valores médios de deflúvios utilizados neste trabalho.

Tais limitações constituem alguns dos obstáculos a serem superados na realização de estudos regionais de análise morfométrica da rede de drenagem, especialmente quando deles se esperam resultados de aplicação.

CONCLUSÕES A análise de 68 bacias hidrográficas paulistas, objetivando obter correlações entre variáveis morfométricas, precipitação e deflúvio, salientou alguns problemas e inferências pertinentes.

A escolha das variáveis aqui analisadas levou em conta a disponibilidade de dados de precipitação e deflúvio, bem como a possibilidade de obtenção de dados morfométricos a partir de bases cartográficas existentes, dada a extensão da área a ser investigada. Em decorrência, a variável densidade de drenagem, usual neste tipo de pesquisa, não pôde ser levada em conta, pois se verificou não haver correspondência simples entre a rede de drenagem restituída de fotos aéreas e a representada nas cartas topográficas.

Os valores das correlações mostraram ligações maiores da vazão (Q) com a precipitação (P), razão de relevo (RH) e área

Tabela 12 – Equações de ajustes e correlações obtidas para regressões simples, com os valores médios das variáveis utilizadas
Table 12 – Equations and correlations obtained from simple regressions, using the mean values of the considered variables

$\begin{matrix} y \\ \backslash \\ x \end{matrix}$	Q/P	P	A	RC	RH
Q	$y = a + bx$ 99,65	$y = a + bx$ 99,80	$y = a + b \log x$ 70,00	$y = 1/(a+bx)$ 91,54	$y = 1/(a+bx)$ 95,55
RC	–	–	$y = a + b \log x$ 89,50	–	$y = a + b \log x$ 97,83
RH	–	–	$y = a + b \log x$ 80,87	–	–

da bacia hidrográfica (A). Todavia, o grau de dependência é maior em relação à precipitação do que em função do relevo e da área da bacia. As variáveis precipitação e razão de relevo são sempre adicionadas de forma direta e a área da bacia, de forma inversa: maiores precipitações e declividades são condições favoráveis ao escoamento superficial, originando maiores taxas de débito fluvial. Em pequenas bacias, tais condições são mais propícias e homogêneas, como nas regiões serranas do Estado de São Paulo.

Os coeficientes de correlação das regressões múltiplas aumentam com a diminuição das áreas das bacias e com o aumento dos valores de Q/P, RC (razão de circularidade) e RH. Para as bacias com áreas inferiores a 250 km², relevos dos tipos III (morrotes e morros) e IV (montanhas, serras e escarpas) também são adicionados significativamente, contribuindo para aumentar o coeficiente de correlação. Assim, as variáveis morfométricas tornam-se cada vez mais relevantes para o de-flúvio à medida que diminuem as áreas das bacias hidrográficas.

Uma avaliação global dos resultados é sugestiva de que os parâmetros morfométricos investigados são promissores para se avaliar os de-flúvios de bacias de pequena grandeza espacial.

Isso aponta para a existência de limiares naturais que poderão vir a definir conjuntos naturais de populações, nos quais se modifica o grau de significância das variáveis no que diz respeito à funcionalidade e integração dos elementos na estrutura e dinâmica do sistema morfológico, quando se toma por base unitária de análise a bacia de drenagem.

Essas considerações permanecem como hipóteses de trabalho, geradas a partir de análise parcial de casos, pois carecem de amostragem mais representativa da heterogeneidade das condições físicas e de desenvolvimento geomorfológico das bacias hidrográficas paulistas. No futuro, poderão levar a desdobramentos mais confiáveis e válidos, desde que se prosiga e amplie a coleta sistemática de dados hidrológicos e climáticos.

Agradecimentos Os autores expressam seus agradecimentos a José Alberto Quintanilha, pelo apoio no tratamento dos dados, extensivos aos demais colegas da Divisão de Minas e Geologia Aplicada do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo - IPT, que colaboraram para a realização deste trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CHRISTOFOLETTI, A. 1980. *Geomorfologia*. 2 ed. São Paulo, Edgard Blücher.
- DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA (DAEE). 1986. *Disponibilidade hídrica superficial do Estado de São Paulo*. São Paulo, DAEE. (Rel. int.).
- DRAPER, N.R. & SMITH, H. 1966. *Applied regression analysis*. New York, John Wiley.
- HADLEY, R.F. & SCHUMM, S.A. 1961. *Sediment sources and drainage basin characteristics in Upper Cheyenne River Basin*. Washington. USGS. p. 137-197 (U.S. Geol. Survey Water-Supply Paper 1531-1538).
- HICKCOK, R.B.; KEPPEL, R.V.; RAFFERTY, B.R. 1959. Hydrograph synthesis for small arid-land watersheds. *Agricultural Engin.*, 40(10): 275-370.
- HORTON, R.E. 1945. Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative geomorphology. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 56(3):275-370.
- JARRET, R.D. 1987. *Evaluation of the slope-area method for computing peak discharge*. Washington, USGS. p. 13-24 (U.S. Geol. Survey Water-Supply Paper 2310).
- MORISAWA, M.E. 1957. Accuracy of determination of stream lengths from topographic maps. *Trans. Am. Geophys. Union*, 38:86-88.
- MORISAWA, M.E. 1962. Quantitative geomorphology of some watersheds in the Appalachian Plateau. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 73(9):1025-1046.
- PONÇANO, W.L. et al. 1981. *Mapa geomorfológico do Estado de São Paulo: escala 1:1.000.000*. São Paulo, IPT. 2 v. (Publ. IPT 1183, Monogr. 5).
- SCHUMM, S.A. 1956. Evolution of drainage systems and slopes in badlands at Perth Amboy, New Jersey. *Geol. Soc. America Bull.*, 67(5):597-646.
- SCHUMM, S.A. (ed.) 1977. *Drainage basin morphology*. Stroudsburg. Dowden, Hutchinson & Ross.
- TEKTRONIX. 1979. *Plot 50 4050A03 statistics*. v. 3 (User's Manual).
- TEKTRONIX. 1980. *Plot 50 4050A01 statistics*. v. 1 (User's Manual).

MANUSCRITO 582

Recebido em 02 de dezembro de 1988
Revisão do autor em 07 de março de 1989
Revisão aceita em 07 de março de 1989

Os sistemas deposicionais caminham definitivamente para a síntese e definitivamente para o entendimento não só do controle sedimentológico, mas também para o controle das oscilações do nível do mar e do controle tectônico.

Roger G. Walker, 1988 (autor de *Facies Models*), Entrev. p/Bol. 03 CTC Estrat. Sedim. SBG