

Aplicação da fórmula racional à análise de cheias em Portugal Continental: valores do coeficiente C.

Maria Manuela PORTELA

Professora Auxiliar. IST. DECivil, Av. Rovisco Pais, 1049-001, Lisboa, +351 218418142, mps@ist.utl.pt

Guilherme Rodrigues da HORA

Eng.º do Território. AQUALOGUS, Rua da Tóbis Portuguesa, Lote 10 - Escritório 3, 1750-292, Lisboa,+351 217520190, aqualogus@mail.telepac.pt

Resumo: A aplicação da fórmula racional à análise de cheias em Portugal Continental tem constituído prática corrente, pelo menos em fases preliminares de estudo ou em projectos de obras de menor magnitude. Para tal circunstância certamente contribuiu o facto de aquela fórmula não carecer de informação hidrométrica (de mais difícil obtenção), fazendo apenas intervir intensidades médias das precipitações com dados períodos de retorno e com durações iguais aos tempos de concentração das bacias hidrográficas. De modo geral, a rede de medição de precipitações permite estimar com fiabilidade estas intensidades.

Não obstante a ampla divulgação e utilização da fórmula racional, não se tem conhecimento de estudos que visem a adequação do coeficiente C que nela figura à análise de cheias em Portugal Continental. Assim, utilizam-se, por vezes, os valores de indicados em bibliografia estrangeira que, contudo, são geralmente inferiores ao coeficiente de cerca de 0,80 proposto por QUINTELA, 1984, p. 686 e 687, a partir dos valores dos parâmetros da fórmula de Turazza-Giandotti que, para bacias com área inferior a 500 km², aquele autor reconhece conduzirem a caudais de ponta de cheia “suficientemente seguros”. Anote-se que a estimativa de caudais de ponta de cheias com períodos de retorno elevados, superiores a 100 anos, baseada naquele valor de C constitui critério de projecto corrente em Portugal.

No contexto referido, analisaram-se as condições de aplicação da fórmula racional à avaliação de caudais de ponta de cheia em Portugal Continental, designadamente os valores que, em função de diferentes parâmetros ou variáveis relevantes na génese de cheias, decorrem para o coeficiente C. A análise utilizou estações hidrométricas razoavelmente dispersas pelo território, com áreas de bacia relativamente pequenas e dispondo de períodos de registos de caudais instantâneos máximos anuais consideravelmente longos.

Não obstante a análise desenvolvida não ter conduzido à identificação de valores do coeficiente C da fórmula racional aplicáveis à análise de cheias em Portugal Continental, entende-se que, pela sua simplicidade, esta fórmula se reveste de particular interesse para a avaliação de caudais de ponta de cheia. A sua utilização carece, contudo, de investigação adicional com ênfase para a recolha, quer de experiência na utilização da mesma, quer de outros procedimentos aplicáveis na análise de cheia especialmente em países do sul da Europa, em que podem ocorrer condições de cheias próximas das verificadas em Portugal.

Palavras-chave: Caudal de ponta de cheia, precipitação de projecto, período de retorno, fórmula racional, coeficiente C.

1. ENQUADRAMENTO DO TRABALHO

A fórmula racional é uma das fórmulas mais amplamente divulgadas e utilizadas para determinar caudais de ponta de cheia em pequenas e médias bacias hidrográficas para os períodos de retorno adoptados como critério de projecto. Não obstante a generalidade dos autores mencionarem que a aplicação da fórmula racional se restringe a pequenas a médias bacias hidrográficas, não existe indicação precisa sobre o que se entende por tais bacias. Assim, enquanto PONCE, 1989, p. 119, refere como limite da aplicabilidade da fórmula racional a área máxima de bacia hidrográfica de 1,3 a 2,5 km², PILGRIM e CORDERY, 1993, sugerem que se considerem como pequenas e médias bacias hidrográficas as que apresentam áreas máximas de 25 e 500 km², respectivamente. QUINTELA, 1984, p. 686, procede à comparação da fórmula de Turazza-Giandotti, também relativa à avaliação de caudais de ponta de cheia, com a fórmula racional para áreas de bacia hidrográficas até 1000 km².

Não obstante o conceito de pequenas a médias bacias hidrográficas estar associado a alguma arbitrariedade, poderá admitir-se que, do ponto de vista hidrológico, estão nessas condições bacias hidrográficas com áreas reduzidas em que seja aproximadamente válido admitir que:

- as precipitações determinantes em termos de génese de cheias são uniformes no tempo (por se referirem a durações que, por serem iguais aos tempos de concentração das bacias, são pequenas) e no espaço (devido às reduzidas áreas de bacia hidrográfica);
- o escoamento ocorre essencialmente sob a forma de escoamento à superfície do terreno;
- o armazenamento de água na rede de drenagem é negligenciável.

A expressão que define a fórmula racional é dada por

$$Q = C i A \quad (1)$$

em que Q é o caudal de ponta de cheia (m³ s⁻¹) para o período de retorno T (anos), i, a intensidade média da precipitação (m s⁻¹) com duração igual ao tempo de concentração da bacia hidrográfica e para aquele período de retorno, A, a área da bacia (m²) e C, um coeficiente adimensional.

Formulam-se, a seguir, algumas considerações relativas à aplicação da fórmula racional a uma dada bacia hidrográfica, fixado o período de retorno T para que se pretende desenvolver a análise de cheias.

Em primeiro lugar, destaca-se o facto de aquela fórmula caracterizar as precipitações de projecto apenas pelas correspondentes intensidades médias, consideradas aproximadamente uniformes sobre as bacias hidrográficas. Por precipitação de projecto, P, entende-se a precipitação com duração igual ao tempo de concentração da bacia hidrográfica, tc, e período de retorno T. Deste modo, i representa o quociente entre P e tc.

Se os acontecimentos pluviométricos com relevância para a análise de cheias forem de curta duração (escassas horas), admite-se que possam ser descritos, sem significativa perda de rigor, pelas respectivas intensidades médias da precipitação (PONCE, 1989, p. 14). Se a fórmula racional for aplicada a bacias hidrográficas a que correspondam tempos de concentração e, conseqüentemente, durações das precipitações de projecto, significativos, esperam-se estimativas dos caudais de ponta de cheia menos fiáveis por serem maiores as imprecisões que decorrem de admitir uniformidade temporal e espacial das intensidades das precipitações. Mediante a restrição da aplicação da fórmula racional a pequenas a médias bacias hidrográficas, pretende-se, assim, limitar as durações das precipitações de projecto e diminuir o erro do pressuposto de precipitações com intensidades uniformes, tanto ao longo as suas ocorrências, como sobre a bacia hidrográfica.

Anota-se que a aplicação do modelo do hidrograma unitário do, SCS (*Soil Conservation Service*, 1972 e 1985) à análise das cheias ocasionadas por precipitações com durações iguais aos tempos de concentração de diferentes bacias hidrográficas mas descritas por hietogramas uniformes e não uniformes permitiu concluir que este último tipo de hietograma conduz a caudais de ponta de cheia sempre superiores aos obtidos com base no pressuposto de uniformidade temporal da intensidade da precipitação (PORTELA, MARQUES e CARVALHO, 2000).

Um segundo aspecto referente à aplicação da fórmula racional prende-se com o coeficiente C. Este coeficiente tem essencialmente em conta as perdas de precipitação, incluindo, embora com diferentes importâncias relativas, as perdas por interceptação, infiltração, retenção superficial e evapotranspiração, e a difusão do escoamento, entendida como sendo uma medida da “capacidade” da bacia hidrográfica atenuar os caudais de ponta de cheia na propagação do escoamento ao longo da rede de drenagem, do que resulta o aumento dos tempos de recessão das cheias em comparação aos respectivos tempos de ascensão. A difusão na propagação de uma onda de cheia é tanto mais importante quanto menor é o declive do terreno: se este último for nulo (terreno plano) a difusão é, do ponto de vista teórico, o único efeito presente.

O coeficiente C relaciona-se também com o período de retorno considerado na avaliação de caudais de ponta de cheia. De facto, as perdas da precipitação dependem do “défice” de humidade na bacia hidrográfica, ou seja, do estado da bacia hidrográfica, quando da ocorrência da chuvada – condições antecedentes de humidade e de armazenamento de água na bacia, incluindo na zona não permanentemente saturada. Admite-se que tal “défice” seja tanto menor quanto maior for a excepcionalidade do acontecimento pluviométrico por, normalmente, acontecimentos pluviométricos muito excepcionais ocorrerem durante períodos com elevada precipitação. Deste modo, o coeficiente C é também função do período de retorno, aumentando com o aumento daquele período, de modo a traduzir a diminuição das perdas de precipitação.

Mas é essencialmente mediante o valor adoptado para a intensidade da precipitação que a fórmula racional faz intervir o período de retorno. Deve registar-se que os períodos de retorno associados a um acontecimento pluviométrico e ao caudal de ponta de cheia que o mesmo origina poderão não coincidir. De facto, devido a factores tais como as condições antecedentes de humidade e o armazenamento superficial de água em zonas sujeitas a inundações, aquele acontecimento pode ser mais excepcional do que a cheia que lhe sucede (NERC, 1975 *in* HIPÓLITO, 1987).

De um modo geral, é grande a indeterminação associada à fixação do valor de C a adoptar na determinação de caudais de ponta de cheia. Diversos autores propõem valores para aquele coeficiente em função de factores determinantes das perdas de precipitação (uso e ocupação do solo), da difusão do escoamento (declive da superfície do terreno) e do período de retorno – Quadro 1.

Anota-se que os valores apresentados no Quadro 1 não foram objecto de validação para as condições ocorrentes em Portugal. De acordo com QUINTELA, 1984, p. 686 e 687, afiguram-se, aliás, bastante pequenos. Tendo em conta avaliações efectuadas mediante a aplicação da fórmula de Turazza-Giandotti com valores dos parâmetros que nela figuram recomendados para bacias hidrográficas italianas, aquele autor sugere que coeficientes C da ordem de 0,80 devam conduzir a estimativas suficientemente seguras dos caudais de ponta de cheia para bacias hidrográficas com área inferior a 500 km².

A Figura 1 caracteriza a variação do coeficiente C em função da percentagem de área impermeável na bacia hidrográfica e do período de retorno associado à precipitação.

Quadro 1 – Valores do coeficiente C da fórmula racional
(adaptado de CHOW *et al.*, 1988, p. 498).

Tipo de ocupação	Período de retorno, T (anos)						
	2	5	10	25	50	100	500
Zona urbana							
Asfalto	0,73	0,77	0,81	0,86	0,90	0,95	1,00
Betão/telhados	0,75	0,80	0,88	0,88	0,92	0,97	1,00
Relvados							
Ocupando menos de 50% da área							
Declive de 0 a 2%	0,32	0,34	0,37	0,40	0,44	0,47	0,58
Declive de 2 a 7%	0,37	0,40	0,43	0,46	0,49	0,53	0,61
Declive superior a 7%	0,430	0,43	0,45	0,49	0,52	0,55	0,62
Ocupando de 50 a 75% da área							
Declive de 0 a 2%	0,25	0,28	0,30	0,34	0,37	0,41	0,53
Declive de 2 a 7%	0,33	0,36	0,38	0,42	0,45	0,49	0,58
Declive superior a 7%	0,37	0,40	0,42	0,46	0,49	0,53	0,60
Ocupando mais de 75% da área							
Declive de 0 a 2%	0,21	0,23	0,25	0,29	0,32	0,36	0,49
Declive de 2 a 7%	0,29	0,32	0,35	0,39	0,42	0,46	0,56
Declive superior a 7%	0,34	0,37	0,40	0,44	0,47	0,51	0,58
Zona não urbana							
Terreno cultivado							
Declive de 0 a 2%	0,31	0,34	0,36	0,40	0,43	0,47	0,57
Declive de 2 a 7%	0,35	0,38	0,41	0,44	0,48	0,51	0,60
Declive superior a 7%	0,39	0,42	0,44	0,48	0,51	0,54	0,61
Pastagem							
Declive de 0 a 2%	0,25	0,28	0,30	0,34	0,37	0,41	0,53
Declive de 2 a 7%	0,33	0,36	0,38	0,42	0,45	0,49	0,58
Declive superior a 7%	0,37	0,40	0,42	0,46	0,49	0,53	0,60
Floresta							
Declive de 0 a 2%	0,22	0,25	0,28	0,31	0,35	0,39	0,48
Declive de 2 a 7%	0,31	0,34	0,36	0,40	0,43	0,47	0,56
Declive superior a 7%	0,35	0,39	0,41	0,45	0,48	0,52	0,58

Coeficiente da fórmula racional em função do período de retorno, T, expresso em anos

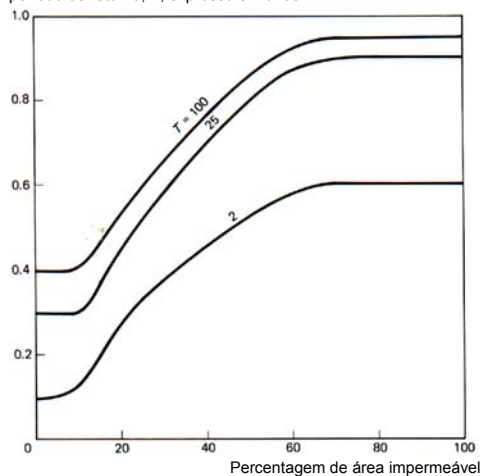


Figura 1 – Coeficiente da fórmula racional em função da percentagem de área impermeável e do período de retorno da precipitação
(adaptada de PONCE, 1989, p. 125).

PINTO *et al.*, 1976, p. 143, apresentam as seguintes referências a expressões para cálculo do coeficiente C em função de características da bacia hidrográfica ou da chuvada:

- Fórmula de Gregory

$$C = 0,175 t^{1/3} \quad (2)$$

em que t é a duração da chuvada em minutos.

- Fórmula de Bernard

$$C = C_{\max} \left(\frac{T}{100} \right)^n \quad (3)$$

em que C_{\max} é o valor de C correspondente ao período de retorno de 100 anos, T é o período de retorno adoptado na análise de cheias e n, um expoente.

- Fórmula de Homer

$$C = 0,364 \log t + 0,0042 r - 0,145 \quad (4)$$

em que r é a percentagem de área impermeável da bacia hidrográfica e t, a duração da chuvada, em minutos.

Julga-se que a primeira das anteriores fórmulas deverá ter sido estabelecida com base em bacias hidrográficas caracterizadas por tempos de concentração muito pequenos uma vez que conduz a coeficientes C progressiva e significativamente superiores à unidade para durações das chuvadas pouco superiores a cerca de 3.1 h.

Na Figura 2 apresenta-se uma relação semelhante à proposta pela fórmula de Bernard mas desenvolvida por outro autor.

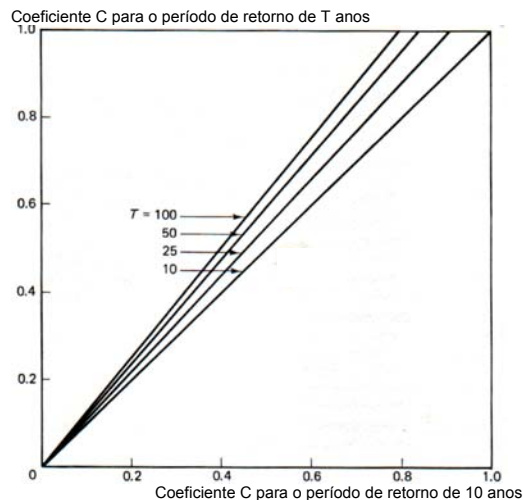


Figura 2 – Variação do coeficiente C com o período de retorno da precipitação de projecto (County of Solano, 1977, *in* PONCE, 1988, p. 124).

VIESSMAN e LEWIS, 1996, p. 16, exemplificam a dependência de C de outros parâmetros e variáveis mediante a apresentação da seguinte expressão:

$$C = 7,2 (10^{-7}) CN^3 T^{0,05} \left[(0,01 CN)^{0,6} \right]^{-S^{0,2}} (0,001 CN^{1,48})^{0,15-0,1 i} \left[(R+1)/2 \right]^{0,7} \quad (5)$$

em que CN é o número de escoamento, T, o período de retorno (anos), S, o declive médio da superfície (%), i, a intensidade média da precipitação (polegada/h) e R, a percentagem de área da bacia hidrográfica impermeável.

2 METODOLOGIA

2.1 Estações hidrométricas seleccionadas

No contexto apresentado, desenvolveu-se uma análise destinada a averiguar possíveis valores do coeficiente C da fórmula racional aplicáveis em Portugal Continental. Para o efeito e tendo por base bacias hidrográficas de estações hidrométricas razoavelmente dispersas pelo território, calcularam-se os valores daquele coeficiente por forma a igualar os caudais de ponta de cheia que resultam da aplicação da fórmula racional a precipitações de projecto e os caudais de ponta de cheia que, para os mesmos períodos de retorno da precipitação, decorrem da análise estatística das séries de caudais instantâneos máximos anuais registados nas estações.

A análise efectuada utilizou as dezanove estações hidrométricas apresentadas no Quadro 2 e esquematicamente localizadas na Figura 3.

Quadro 2 – Estações hidrométricas utilizadas no estudo.

Estação hidrométrica			Rio		Coordenadas cartográficas ⁽²⁾		Altitude (m)	Períodos com registos de caudais instantâneos máximos anuais	
Código (-)	Nome (-)	Bh ⁽¹⁾ principal (-)	Identificação (-)	Área da bh ⁽¹⁾ (km ²)	M (m)	P (m)		Número De anos (-)	Período ⁽³⁾ (-)
03L/01	Boticas	Douro	Terva	101	240 434	523 258	462	20	1970/71-1989/90
03Q/01	Gimonde		Sabor	455	319 433	537 564	510	20	1970/71-1989/90
03K/01	Vale Giestoso		Beça	77	235 305	526 809	745	33	1957/58-1989/90
03P/01	Vinhais – Qt Ranca		Tuela	455	294 670	538 211	420	30	1960/61-1989/90
04R/01	Ponte de Pinelo		Maçãs	585	329 742	520 521	470	23	1967/68-1989/90
05K/01	Santa Marta do Alvão		Louredo	52	231 455	503 127	835	33	1955/56-1989/90
05Q/01	Azibo		Azibo	281	310 964	493 667	220	18	1978/79-1995/96
06K/01	Ermida do Corgo		Corgo	291	232 167	473 328	40	33	1956/57-1988/89
07I/04	Cabriz		S. Paio	17	201 684	455 672	250	23	1966/67-1989/90
08J/01	Castro Daire		Paiva	291	216 905	435 732	450	45	1945/46-1989/90
08L/01	Quinta do Rape	Távora	170	252 257	435 590	560	20	1976/77-1995/96	
08O/01	Vale Trevo	Massueime	390	284 046	438 229	305	32	1957/58-1989/90	
09G/01	Ponte de Vale Maior	Vouga	Caima	188	172 086	413 770	18	53	1934/35-1988/89
11L/01	Manteigas	Tejo	Zêzere	28	249 640	378 440	800	30	1949/50-1993/94
18L/01	Couto de Andreiros		Seda	244	245 529	255 562	201	23	1964/65-1988/89
19M/01	Monforte		Avis	136	259 064	231 411	220	25	1961/62-1988/89
20I/04	Pavia		Tera	610	211 538	214 181	124	30	1959/60-1989/90
24H/03	Torrão do Alentejo	Sado	Xarrama	465	191 452	147 966	50	28	1961/62-1989/90
27I/01	Entradas	Guadiana	Terges	52	209 968	88 336	166	19	1971/72-1989/90

⁽¹⁾ Bh – abreviatura de bacia hidrográfica.

⁽²⁾ Sistema Hayford-Gauss.

⁽³⁾ Período global, embora com eventuais falhas de registo.

Na selecção de estações hidrométricas procuram-se estações razoavelmente dispersas pelo território nacional que preferencialmente possuíssem registos de caudais instantâneos máximos anuais em

número de anos não inferior a 20 e cujas áreas de bacia não excedessem 500 km². Os dados foram exclusivamente recolhidos via *internet*, a partir do Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos (SNIRH).

Dado o reduzido número de estações hidrométricas nas condições inicialmente pretendidas, incluíram-se duas estações com áreas de bacia hidrográfica superiores àquele limite (Ponte de Pinelo e Pavia) e outras duas, com séries de caudais instantâneos máximos anuais com dimensão ligeiramente inferior a 20 anos (Azibo e Entradas).



Figura 3 – Localização esquemática das estações hidrométricas utilizadas no estudo.

2.2 Estimativas dos caudais de ponta de cheia a partir das séries de caudais instantâneos máximos anuais.

No Quadro 3 apresentam-se as médias, os desvios-padrão e os coeficientes de assimetria das séries de caudais instantâneos máximos anuais nas estações hidrométricas seleccionadas, bem como os caudais de ponta de cheia, estimados por aplicação da lei de Pearson III para oito períodos de retornos, compreendidos entre 5 e 1000 anos.

Tendo por base os resultados do quadro precedente, analisou-se a variação do caudal específico de ponta de cheia, q (m³/s/km²), em função da área da bacia hidrográfica, A (km²), e do período de retorno, T (anos). Os resultados obtidos são apresentados na Figura 4 relativa, a título de exemplo, aos períodos de retorno de 10, 100 e 1000 anos. Anota-se que a anterior figura não inclui os resultados referentes a Monforte uma vez que os demais cálculos efectuados com base nesta estação hidrométrica evidenciaram inconformidades que levaram à sua exclusão.

Mediante análise de regressão linear simples aplicada às transformadas logarítmicas das variáveis A e q estabeleceram-se relações do tipo

$$q = \alpha \cdot A^\beta \tag{6}$$

incluídas na Figura 4 que contém, ainda, os correspondentes coeficientes de correlação, c.c. Observa-se que vários autores propõem fórmulas empíricas daquele tipo, embora fazendo intervir caudais de ponta de cheia em vez dos correspondentes caudais específicos (REMENIERAS, 1960, *in* QUINTELA, 1994, p. 675, WILSON, 1983, p. 208, LOUREIRO, 1984, e WMO, 1994, p. 672).

Quadro 3 – Análise estatística das séries de caudais instantâneos máximos anuais nas estações hidrométricas utilizadas no estudo.

Estação hidrométrica		Série de caudais instantâneos máximos anuais			Estimativa do caudal de ponta de cheia em função do período de retorno, T							
Código	Nome	Média (m³/s)	Desvio (m³/s)	Coefic. assimetria (-)	T=5 anos (m³/s)	T=10 anos (m³/s)	T=25 Anos (m³/s)	T=50 anos (m³/s)	T=100 anos (m³/s)	T=250 anos (m³/s)	T=500 anos (m³/s)	T=1000 anos (m³/s)
03L/01	Boticas	57,6	44,1	0,729	92,2	116,3	144,6	164,4	183,3	207,1	224,5	241,5
03Q/01	Gimonde	291,2	257,1	1,635	461,5	628,8	845,3	1007,9	1170,4	1385,9	1549,8	1714,7
03K/01	Vale Giestoso	48,0	27,4	0,367	70,4	84,0	99,3	109,6	119,1	130,9	139,3	147,4
03P/01	Vinhais – Qt Ranca	241,4	141,6	1,735	332,9	426,3	548,4	640,7	733,5	857,0	951,2	1046,3
04R/01	Ponte de Pinelo	116,0	105,6	1,409	189,7	256,1	340,0	402,0	463,4	543,9	604,5	665,2
05K/01	Santa Marta do Alvão	51,7	32,3	0,566	77,6	94,5	114,1	127,5	140,1	155,9	167,4	178,5
05Q/01	Azibo	62,3	52,8	0,853	103,1	132,8	168,3	193,3	217,3	248,0	270,5	292,6
06K/01	Ermida do Corgo	252,1	124,7	0,268	355,0	415,0	481,5	525,8	566,6	616,6	652,0	685,9
07I/04	Cabriz	12,7	6,5	0,795	17,8	21,4	25,7	28,7	31,6	35,3	38,0	40,6
08J/01	Castro Daire	179,2	75,3	-0,144	243,1	274,5	307,3	328,1	346,5	368,2	383,0	396,8
08L/01	Quinta do Rape	83,9	56,2	1,131	125,3	158,9	200,1	230,0	259,0	296,7	324,7	352,5
08O/01	Vale Trevo	56,5	42,6	1,490	85,7	112,8	147,5	173,2	198,7	232,4	257,8	283,3
09G/01	Ponte de Vale Maior	64,8	26,5	2,730	77,2	96,3	123,6	145,7	168,9	200,8	226,0	252,0
11L/01	Manteigas	54,0	23,3	-0,371	73,9	82,8	91,7	97,2	101,9	107,3	110,9	114,1
18L/01	Couto de Andreiros	117,1	72,7	0,389	176,5	212,7	253,6	281,1	306,8	338,5	361,2	383,0
19M/01	Monforte	178,9	110,4	0,488	268,1	324,7	389,3	433,4	474,6	526,0	563,1	598,8
20I/04	Pavia	342,0	202,0	0,157	510,2	604,0	706,4	773,7	835,2	909,7	962,2	1011,9
24H/03	Torrão do Alentejo	148,0	108,4	0,788	232,4	292,5	363,5	413,4	461,1	521,7	566,0	609,4
27I/01	Entradas	31,9	23,3	0,900	49,7	63,0	78,9	90,2	101,0	114,9	125,1	135,2

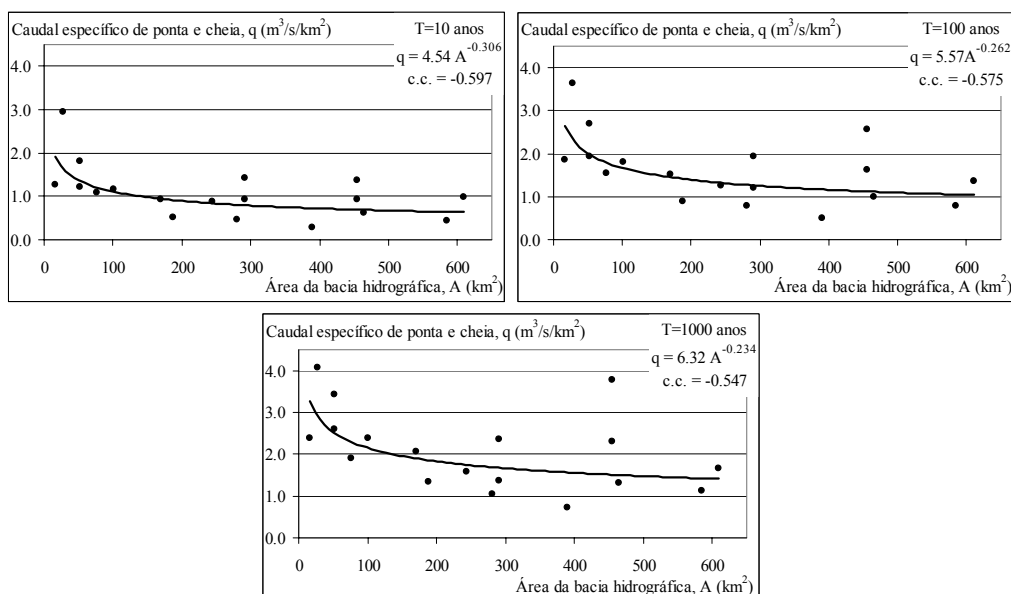


Figura 4 – Caudais específicos de ponta de cheia, q , em função da área da bacia hidrográfica, A , para os períodos de retorno, T , de 10, 100 e 1000 anos.

Tanto para os períodos de retorno de 10, 100 e 1000 anos, como para os restantes períodos analisados, constatou-se uma muito acentuada dispersão nos pares de pontos (A,q) de que resultaram, aliás, coeficientes de correlação baixos. Verificou-se, assim, que os resultados da análise estatística de caudais de ponta de cheia não confirmam inequivocamente a relação esperada entre as variáveis A e q, o que se julga poder resultar, em grande parte, de qualidade insuficiente das observações hidrométricas em condições de cheia.

2.3 Precipitações de projecto

Tendo em vista definir as durações das precipitações de projecto nas bacias hidrográficas consideradas, calcularam-se os tempos de concentração destas últimas, por aplicação das fórmulas de Kirpich (CHOW *et al.*, 1989, p. 500), Temez (TEMEZ, 1978) e do NERC (*National Environment Research Council*, 1975), tendo-se adoptado, em cada caso, a média dos dois tempos mais próximos. Os parâmetros fisiográficos das bacias hidrográficas e das redes de drenagem necessários à aplicação das anteriores fórmulas foram avaliados a partir dos modelos digitais do relevo, quando disponíveis, e, em caso de indisponibilidade destes modelos, por consulta dos estudos efectuados no âmbito dos respectivos Planos de Bacia Hidrográfica (PBH). Exceptuou-se a bacia hidrográfica da estação hidrométrica de Entradas (27I/01) em que, da consulta dos estudos de PBH que foi necessário efectuar (uma vez que não se dispõe do modelo digital do terreno), resultou apenas a indicação de um tempo de concentração, que se adoptou. No Quadro 4 resumem-se os elementos relativos a cálculo dos tempos de concentração.

Quadro 4 – Tempos de concentração, tc, das bacias hidrográficas das hidrométricas utilizadas no estudo.

Estação hidrométrica		Área (km ²)	Curso de água principal			Tempo de concentração, tc			
Código	Nome		Comprimento (km)	Declive		Kirpich (h)	Temez (h)	NERC (h)	Adoptado (h)
				Médio (-)	10-85 (m/km)				
03L/01	Boticas	101	17,37	0,0379	50,51	2,11	4,89	4,26	4,58
03Q/01	Gimonde	455	34,39	0,0295	39,39	3,92	8,62	6,23	5,08
03K/01	Vale Giestoso	77	12,15	0,0368	49,04	1,62	3,75	3,63	3,69
03P/01	Vinhais – Qt Ranca	455	39,72	0,0311	41,40	4,30	9,53	6,59	5,45
04R/01	Ponte de Pinelo	585	47,52	0,0155	20,69	6,44	12,45	8,43	7,44
05K/01	Santa Marta do Alvão	52	8,36	0,0437	58,21	1,14	2,73	2,92	2,83
05Q/01	Azibo	281	38,01	0,0256	34,17	4,47	9,55	6,75	5,61
06K/01	Ermida do Corgo	291	36,61	0,0351	46,74	3,85	8,75	6,16	5,01
07I/04	Cabriz	17	3,10	0,2676	356,82	0,26	0,91	1,20	1,06
08J/01	Castro Daire	291	36,83	0,0158	21,08	5,26	10,22	7,45	6,36
08L/01	Quinta do Rape	170	19,44	0,0217	28,90	2,85	5,93	5,12	5,53
08O/01	Vale Trevo	390	46,19	0,0145	19,39	6,47	12,34	8,45	7,46
09G/01	Ponte de Vale Maior	188	-	-	-	6,80	12,80	7,90	7,35
11L/01	Manteigas	28	6,10	0,0913	96,83	0,73	1,87	2,24	2,05
18L/01	Couto de Andreiros	244	24,02	0,0060	7,22	5,51	8,90	7,84	8,37
19M/01	Monforte	136	16,84	0,0081	8,87	4,02	6,40	6,32	6,36
20I/04	Pavia	610	27,59	0,0024	3,19	8,71	11,75	10,14	9,42
24H/03	Torrão do Alentejo	465	65,00	0,0051	-	12,60	19,70	12,70	12,65
27I/01	Entradas	52	16,58	0,0042	5,63	-	-	-	3,10

Para estabelecer as precipitações de projecto em cada uma das anteriores bacias hidrográficas, obtiveram-se, em primeiro lugar, as precipitações diárias máximas anuais para os períodos de retorno do Quadro 3. Com base nestas precipitações e por aplicação das curvas intensidade-duração-frequência (IDF) apresentadas por BRANDÃO e RODRIGUES, 1998, para várias estações climatológicas do Continente,

calcularam-se, seguidamente, as precipitações com duração igual ao tempo de concentração da bacia e para aqueles períodos de retorno.

No cálculo das precipitações diárias máximas anuais em cada bacia hidrográfica, identificaram-se, de entre os postos considerados por FARIA *et al.*, 1980, os que influenciavam a bacia. Os respectivos pesos foram calculados de acordo com do método das áreas de influência ou de Thiessen.

Por aplicação da lei de Gumbel às estatísticas amostrais (média e desvio-padrão) apresentadas para cada posto em FARIA *et al.*, 1980, estimaram-se as precipitações diárias máximas anuais para os períodos de retorno considerados. Anota-se que, neste cálculo, se corrigiram os desvios-padrão indicados por aqueles autores por multiplicação pelo factor $\sqrt{\frac{n}{n-1}}$ uma vez que tinham adoptado um estimador

enviesado; na anterior expressão n representa as dimensões das amostras consideradas no cálculo das estatísticas amostrais, dimensões também especificadas em FARIA *et al.*, 1980.

As precipitações diárias máximas anuais na bacia hidrográfica de cada estação hidrométrica foram obtidas por aplicação do método de Thiessen às precipitações diárias máximas anuais estimadas para os postos com influência na bacia.

No Anexo 1 apresentam-se estes postos, bem como os respectivos pesos. No Quadro 5 indicam-se as precipitações diárias máximas anuais obtidas para as bacias hidrográficas das estações hidrométricas consideradas.

Quadro 5 – Precipitações diárias máximas anuais (mm) nas bacias hidrográficas das estações hidrométricas utilizadas no estudo.

Estação hidrométrica		Período de retorno, T (anos)							
Código	Nome	5	10	25	50	100	250	500	1000
03L/01	Boticas	87,1	103,5	124,2	139,6	154,8	174,9	190,1	205,2
03Q/01	Gimonde	75,0	88,2	105,0	117,4	129,7	146,0	158,3	170,5
03K/01	Vale Giestoso	55,0	63,7	74,7	82,9	91,0	101,7	109,8	117,8
03P/01	Vinhais – Qt Ranca	86,6	100,7	118,6	131,8	145,0	162,3	175,4	188,5
04R/01	Ponte de Pinelo	75,8	93,6	116,0	132,6	149,1	170,8	187,2	203,6
05K/01	Santa Marta do Alvão	114,1	131,6	153,6	170,0	186,2	207,6	223,8	239,9
05Q/01	Azibo	94,3	108,6	126,7	140,1	153,4	171,0	184,2	197,4
06K/01	Ermida do Corgo	83,5	95,2	109,9	120,9	131,8	146,1	156,9	167,7
07I/04	Cabriz	94,7	111,2	132,0	147,4	162,7	182,9	198,1	213,4
08J/01	Castro Daire	94,3	108,6	126,7	140,1	153,4	171,0	184,2	197,4
08L/01	Quinta do Rape	74,8	86,5	101,3	112,2	123,1	137,3	148,1	158,9
08O/01	Vale Trevo	58,2	66,7	77,5	85,6	93,5	104,0	112,0	119,9
09G/01	Ponte de Vale Maior	98,1	111,2	127,8	140,1	152,3	168,3	180,5	192,6
11L/01	Manteigas	115,1	134,5	159,0	177,1	195,1	218,8	236,8	254,7
18L/01	Couto de Andreiros	63,2	74,5	88,7	99,3	109,8	123,6	134,0	144,4
19M/01	Monforte	51,7	60,4	71,5	79,8	87,9	98,7	106,8	114,9
20I/04	Pavia	58,8	68,7	81,3	90,6	99,9	112,1	121,2	130,4
24H/03	Torrão do Alentejo	87,8	105,8	128,5	145,3	162,1	184,1	200,7	217,4
27I/01	Entradas	53,3	61,4	71,5	79,1	86,5	96,4	103,8	111,2

O cálculo das precipitações máximas anuais com durações iguais aos tempos de concentração das bacias hidrográficas, t_c , e períodos de retorno entre 5 e 1000 anos foi realizado a partir das precipitações

do quadro precedente e utilizou, como referido, curvas intensidade-duração-frequência (IDF) apresentadas por BRANDÃO e RODRIGUES, 1998.

Designando-se por P_{24} e por P_{tc} as precipitações máximas anuais numa das bacias hidrográficas do Quadro 5 com durações, respectivamente, de 24 h e igual ao tempo de concentração da bacia, admitiu-se que a relação P_{tc}/P_{24} seria igual às médias das relações que, para as mesmas durações de t_c e de 24 h e para os diferentes períodos de retorno adoptados no estabelecimento das curvas intensidade-duração-frequência, se obtêm a partir das curvas IDF relativas à estação climatológica em cuja área de influência se insere a bacia hidrográfica em consideração. Existindo mais de uma estação climatológica com influência na bacia, a relação P_{tc}/P_{24} aplicada resultou da ponderação das médias das relações P_{tc}/P_{24} naquelas estações afectadas dos pesos das mesmas estações na bacia hidrográfica.

No Quadro 6 indicam-se as estações climatológicas consideradas no cálculo descrito, bem como os respectivos pesos e os factores P_{tc}/P_{24} aplicados para obter, a partir das precipitações diárias máximas anuais, as precipitações máximas anuais com durações iguais aos tempos de concentração das bacias hidrográficas consideradas. No Quadro 7, incluído na página seguinte, apresentam-se os valores obtidos para estas últimas precipitações.

Quadro 6 – Estações climatológicas dispendo de curvas IDF e com influência nas bacias hidrográficas utilizadas no estudo. Relações entre precipitações máximas anuais com durações iguais aos tempos de concentração e de 24 h, P_{tc}/P_{24} .

Estação hidrométrica		Tempo de concentração, t_c (h)	Estação climatológica	Peso (-)	P_{tc}/P_{24} (-)
Código	Nome				
03L/01	Boticas	4,58	Chaves	1,000	0,598
03Q/01	Gimonde	5,08	Chaves	0,150	0,608
			Miranda do Douro	0,850	0,588
03K/01	Vale Giestoso	3,69	Chaves	1,000	0,576
03P/01	Vinhais – Qt Ranca	5,45	Chaves	1,000	0,560
04R/01	Ponte de Pinelo	7,44	Miranda do Douro	1,000	0,647
05K/01	Santa Marta do Alvão	2,83	Chaves	1,000	0,551
			Chaves	0,150	0,619
05Q/01	Azibo	5,61	Miranda do Douro	0,850	0,597
			Chaves	1,000	0,607
06K/01	Ermida do Corgo	5,01	Chaves	1,000	0,607
07I/04	Cabriz	1,06	Aveiro (Universidade)	1,000	0,294
08J/01	Castro Daire	6,36	Penhas Douradas	1,000	0,521
08L/01	Quinta do Rape	5,53	Penhas Douradas	1,000	0,493
08O/01	Vale Trevo	7,46	Penhas Douradas	1,000	0,563
09G/01	Ponte de Vale Maior	7,35	Aveiro	1,000	0,693
11L/01	Manteigas	2,05	Portalegre	1,000	0,442
18L/01	Couto de Andreiros	8,37	Portalegre	1,000	0,658
19M/01	Monforte	6,36	Portalegre	1,000	0,590
20I/04	Pavia	9,42	Évora-Cemitério	1,000	0,797
24H/03	Torrão do Alentejo	12,65	Évora-Cemitério	1,000	0,856
			Beja	0,429	0,622
27I/01	Entradas	3,10	Relíquias	0,571	0,671
			Relíquias	0,571	0,671

2.4 Apresentação de resultados

No pressuposto de que o caudal de ponta de cheia apresentado no Quadro 3 para cada bacia hidrográfica e período de retorno se relacionaria com a precipitação de projecto que lhe corresponde no Quadro 7 de acordo com a fórmula racional, determinaram-se os valores que decorrem para o coeficiente

C. Tais valores são apresentados no Quadro 8 e na Figura 5. Esta figura contém, em função do período de retorno, os histogramas das frequências absolutas e percentuais das ocorrências dos valores de C nas seguintes quatro classes em que se consideraram agrupados os resultados do Quadro 8: $C < 0,20$; $0,20 \leq C < 0,40$; $0,40 \leq C < 0,60$ e $C \geq 0,60$. Anota-se que a estação hidrométrica de Monforte foi excluída tanto desta figura, como das demais análises efectuadas por não se julgarem possíveis os valores nela obtidos para o coeficiente C (Quadro 8), pois excedem muito significativamente a unidade.

Quadro 7 – Precipitações máximas anuais (mm) com durações iguais aos tempos de concentração das bacias hidrográficas das estações hidrométricas utilizadas no estudo.

Estação hidrométrica		Período de retorno, T (anos)							
Código	Nome	5	10	25	50	100	250	500	1000
03L/01	Boticas	52,0	61,8	74,2	83,4	92,5	104,5	113,6	122,6
03Q/01	Gimonde	44,3	52,1	62,0	69,4	76,7	86,3	93,5	100,8
03K/01	Vale Giestoso	31,7	36,7	43,1	47,8	52,5	58,6	63,3	67,9
03P/01	Vinhais – Qt Ranca	48,5	56,4	66,4	73,8	81,2	90,9	98,2	105,5
04R/01	Ponte de Pinelo	49,1	60,6	75,1	85,8	96,5	110,5	121,2	131,8
05K/01	Santa Marta do Alvão	62,8	72,5	84,6	93,6	102,6	114,3	123,2	132,1
05Q/01	Azibo	35,7	41,0	47,7	52,7	57,7	64,2	69,1	74,0
06K/01	Ermida do Corgo	50,6	57,7	66,7	73,4	80,0	88,7	95,2	101,8
07I/04	Cabriz	27,8	32,6	38,8	43,3	47,8	53,7	58,2	62,6
08J/01	Castro Daire	49,1	56,6	66,0	73,0	79,9	89,0	95,9	102,8
08L/01	Quinta do Rape	36,9	42,6	49,9	55,3	60,7	67,7	73,0	78,3
08O/01	Vale Trevo	32,8	37,6	43,7	48,2	52,7	58,6	63,1	67,5
09G/01	Ponte de Vale Maior	67,9	77,0	88,5	97,0	105,5	116,6	125,0	133,4
11L/01	Manteigas	50,9	59,5	70,3	78,3	86,3	96,8	104,7	112,6
18L/01	Couto de Andreiros	41,6	49,0	58,3	65,3	72,2	81,3	88,1	95,0
19M/01	Monforte	30,5	35,6	42,2	47,0	51,8	58,2	63,0	67,8
20I/04	Pavia	46,9	54,8	64,8	72,3	79,6	89,4	96,7	104,0
24H/03	Torrão do Alentejo	75,2	90,6	110,0	124,5	138,8	157,7	171,9	186,1
27I/01	Entradas	34,7	39,9	46,5	51,4	56,2	62,6	67,4	72,3

Quadro 8 – Valores do coeficientes C da fórmula racional nas bacias hidrográficas das estações hidrométricas utilizadas no estudo.

Estação hidrométrica		Período de retorno, T (anos)							
Código	Nome	5	10	25	50	100	250	500	1000
03L/01	Boticas	0,289	0,307	0,318	0,321	0,323	0,323	0,322	0,321
03Q/01	Gimonde	0,418	0,484	0,547	0,583	0,613	0,645	0,665	0,683
03K/01	Vale Giestoso	0,383	0,395	0,398	0,396	0,392	0,385	0,380	0,374
03P/01	Vinhais – Qt Ranca	0,296	0,326	0,356	0,374	0,389	0,406	0,417	0,427
04R/01	Ponte de Pinelo	0,177	0,193	0,207	0,214	0,220	0,225	0,228	0,231
05K/01	Santa Marta do Alvão	0,242	0,255	0,264	0,266	0,267	0,267	0,266	0,264
05Q/01	Azibo	0,208	0,233	0,253	0,264	0,271	0,278	0,281	0,284
06K/01	Ermida do Corgo	0,434	0,445	0,447	0,444	0,439	0,431	0,424	0,417
07I/04	Cabriz	0,143	0,146	0,148	0,148	0,148	0,147	0,146	0,145
08J/01	Castro Daire	0,389	0,382	0,366	0,354	0,341	0,325	0,314	0,303
08L/01	Quinta do Rape	0,397	0,436	0,469	0,486	0,500	0,513	0,520	0,526
08O/01	Vale Trevo	0,180	0,207	0,232	0,247	0,260	0,273	0,281	0,289
09G/01	Ponte de Vale Maior	0,160	0,176	0,197	0,211	0,225	0,242	0,255	0,266
11L/01	Manteigas	0,383	0,367	0,344	0,327	0,312	0,293	0,279	0,267
18L/01	Couto de Andreiros	0,524	0,536	0,536	0,532	0,525	0,514	0,506	0,498
19M/01	Monforte	1,481	1,534	1,554	1,551	1,541	1,522	1,505	1,488
20I/04	Pavia	0,605	0,613	0,606	0,595	0,583	0,566	0,553	0,541
24H/03	Torrão do Alentejo	0,303	0,316	0,324	0,325	0,325	0,324	0,322	0,321
27I/01	Entradas	0,308	0,339	0,364	0,377	0,386	0,394	0,398	0,402

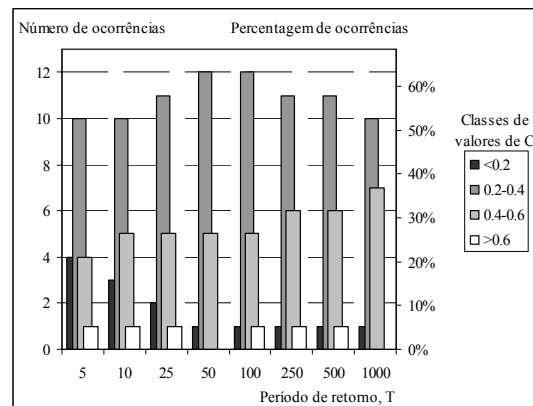


Figura 5 – Histogramas das frequências dos valores obtidos para o coeficiente da fórmula racional nas bacias hidrográficas das estações hidrométricas utilizadas no estudo.

Os resultados precedentes evidenciam que, no conjunto das bacias hidrográficas analisadas e independentemente do período de retorno, os valores mais frequentemente obtidos para C estão compreendidos entre 0,20 e 0,40 e entre 0,40 e 0,60 em que se registaram, respectivamente, mais de 50% e de 20% das ocorrências. Com o aumento do período de retorno diminuem as ocorrências de valores de C inferiores a 0,10 e aumentam, embora pouco acentuadamente, as de valores compreendidos entre 0,40 e 0,60, tendências que se julgam fisicamente justificadas. De um modo geral, os valores obtidos para o coeficiente C são muito inferiores à expectativa inicial, exemplificada nas indicações do Quadro 1, mas especialmente no valor de cerca de 0,80, apontado por QUINTELA, 1984, p. 686 e 687, e que tem sido frequentemente adoptado na análise de cheias em Portugal Continental baseada na fórmula racional.

Para averiguar em que medida os valores obtidos para o coeficiente C denotavam consistência, pesquisaram-se relações que, de algum modo, permitissem expressar C em função de parâmetros ou de variáveis com relevância na génese de cheias. Assim, procedeu-se à representação gráfica de C em função de:

- área da bacia hidrográfica, A ;
- intensidade média da precipitação de projecto, i ;
- produto das duas variáveis anteriores, $i A$;
- número de escoamento, CN .

Na Figura 6, incluída na página seguinte, exemplificam-se, com base nos períodos de retorno de 10, 100 e 1000 anos, os resultados alcançados. Para obter os números de escoamento, CN , elaboraram-se cartas de valores daquele parâmetro com base nas cartas de solos do Atlas do Ambiente e do *Corine Land Cover*, adaptadas pelo Grupo de Investigação de Águas Subterrâneas (GIAS) do Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC). Os valores de CN nas bacias hidrográficas analisadas foram avaliados por ponderação a partir daquelas cartas e são indicados no Quadro 9. Anota-se que se admitiram condições antecedentes de humidade médias (AMC II).

A Figura 6 mostra que existe acentuada dispersão dos valores do coeficiente C o que indica a inexistência de relações entre aquele coeficiente e os parâmetros ou variáveis em função dos quais foi representado. Observa-se que o número de escoamento, CN , foi considerado pelo facto de, tanto este parâmetro, como o coeficiente C , dependerem das perdas de precipitação, pelo que se admitiu que poderiam ser correlacionáveis. Esperava-se, ainda, que a dispersão dos valores de C em função da área

da bacia hidrográfica pudesse ser em parte justificada por diferentes tipos e ocupações de solo, expressos no valor do número de escoamento, o que não se confirmou. Os resultados obtidos para os restantes períodos de retorno reforçaram as conclusões precedentes.

Quadro 9 – Números de escoamento, CN, estimados para as bacias hidrográficas das estações hidrométricas.

Nome da estação Hidrométrica	CN	Nome da estação Hidrométrica	CN	Nome da estação Hidrométrica	CN
Boticas	64,0	Azibo	80,9	Ponte de Vale Maior	73,9
Gimonde	76,7	Ermida do Corgo	71,4	Manteigas	81,4
Vale Giestoso	75,3	Cabriz	70,2	Couto de Andreiros	72,9
Vinhais – Qt Ranca	76,1	Castro Daire	67,9	Pavia	79,5
Ponte de Pinelo	79,1	Quinta do Rape	63,5	Torrão do Alentejo	81,1
Santa Marta do Alvão	79,8	Vale Trevo	72,3	Entradas	85,0

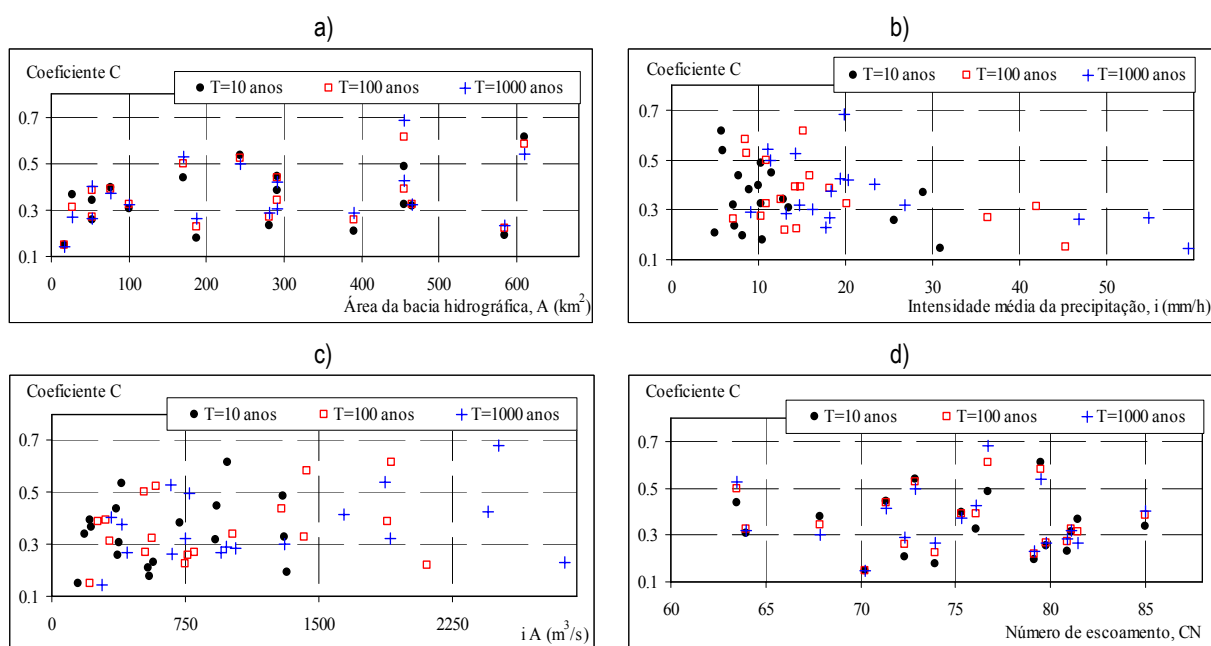


Figura 6 – Coeficiente da fórmula racional, C , em função: a) da área de bacia hidrográfica, A , b) da intensidade média da precipitação de projecto, i ; c) do produto iA e d) do número de escoamento, CN.

Atendendo à relação, indicada por outros autores, entre C e o tempo de concentração, t_c , procedeu-se também à representação gráfica dos pares de valores (t_c , C), apresentada na Figura 7 que contém ainda a representação da expressão (4) para as percentagens de área impermeável na bacia hidrográfica, r , de 0, 10 e 30%.

Para além da dispersão de resultados, a anterior figura indica que os valores estimados para C são nitidamente inferiores aos que resultam da expressão (4). Esta circunstância reforça a possibilidade de os valores de C agora deduzidos para Portugal Continental, com base na análise estatística de caudais instantâneos máximos anuais e de precipitações máximas diárias, representarem estimativas por defeito daquele parâmetro.

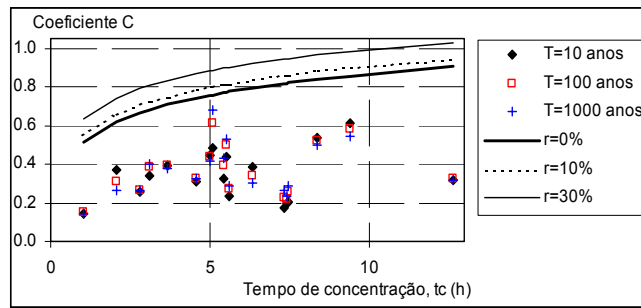


Figura 7 – Coeficiente da fórmula racional, C, em função do tempo de concentração, tc. Representação gráfica da expressão (4).

Ainda no contexto da comparação dos resultados alcançados com estudos antecedentes, averiguou-se sobre a influência do período de retorno no valor de C, sugerida pela expressão (3). Para o efeito, representaram-se, para as várias bacias hidrográficas, os quocientes entre os valores do coeficiente C para o período de retorno T (em que T varia) e para o período de retorno de 100 anos, $C/C_{T=100}$, em função dos quocientes $T/100$ entre aqueles mesmos períodos de retorno.

Os resultados obtidos são apresentados na Figura 8, que contém, a título de exemplo, as expressões que traduzem as correlações estabelecidas para as bacias hidrográficas de Vinhais e de Castro Daire. Em cada um dos três gráficos daquela figura, as bacias hidrográficas foram agrupadas de acordo com o tipo de dependência entre os quocientes aí representados: quociente $C/C_{T=100}$ crescente, decrescente ou praticamente independente do quociente $T/100$. Conclui-se, assim, que embora seja possível reconhecer frequentemente uma dependência entre os dois quocientes considerados, a mesma pode traduzir variações em sentidos opostos, ou seja, $C/C_{T=100}$ tanto pode crescer como decrescer com $T/100$ ou mesmo aparentar que não depende deste último quociente.

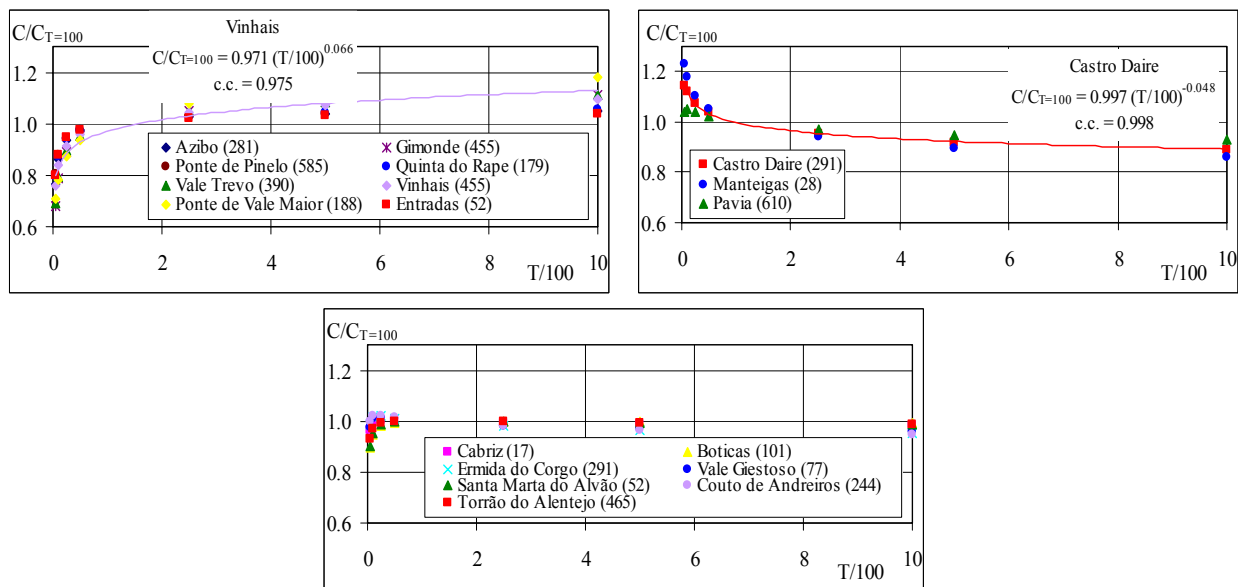


Figura 8 – Coeficiente C da fórmula racional para diferentes períodos de retorno tendo como parâmetro a área de bacia hidrográfica.

Em complemento da anterior figura, obtiveram-se, ainda, as curvas que, mantendo como parâmetro a área de bacia hidrográfica, relacionam directamente o coeficiente C com o período de retorno, T. Tais curvas estão exemplificadas na Figura 9 para as bacias hidrográficas consideradas no primeiro gráfico da figura precedente.

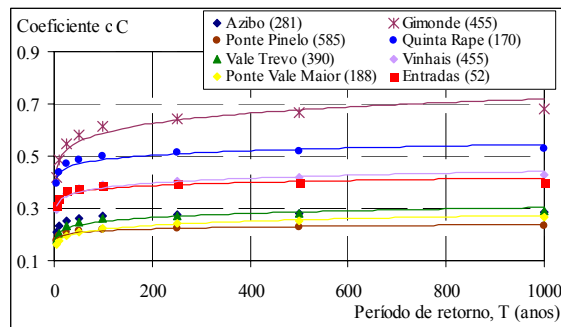


Figura 9 – Coeficiente da fórmula racional para diferentes períodos de retorno tendo como parâmetro a área de bacia hidrográfica.

Observa-se que a regularidade, para cada bacia hidrográfica, da relação representada na Figura 9 é consequência da mesma apenas exprimir os quocientes entre estimativas de duas variáveis hidrológicas, designadamente caudais de ponta de cheia e precipitações de projecto, avaliadas em função do período de retorno por aplicação de duas leis estatísticas bem definidas, respectivamente as leis de Pearson III e de Gumbel, cujos parâmetros apenas dependem daquele período.

3 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A análise efectuada não conduziu à identificação de relações que permitissem expressar o coeficiente C da fórmula racional em função de parâmetros ou de variáveis associados à génese de cheias.

Não obstante se reconhecer que alguns dos procedimentos aplicados poderiam ter sido objecto de abordagem mais desenvolvida, julga-se que tal abordagem não alteraria significativamente as conclusões do estudo uma vez que os resultados alcançados apontam claramente no sentido da inexistência das relações pesquisadas.

De entre aqueles procedimentos, refere-se, por exemplo, o estabelecimento de precipitações diárias máximas anuais para os diferentes períodos de retorno que utilizou directamente as estatísticas amostrais apresentadas em Faria *et al.*, 1980, embora actualmente se dispunha de séries muito mais longas a partir das quais se poderiam ter calculado aquelas estatísticas. No mesmo âmbito, admite-se, ainda, que poderiam ter sido ensaiadas outras leis, para além da lei de Gumbel, não obstante esta lei ser reconhecida como a que melhor caracteriza o fenómeno da precipitação intensa em Portugal Continental (PEREIRA, 1995, p. 132).

Julga-se que a qualidade insuficiente das observações hidrométricas em condições de cheia (designadamente, das curvas de vazão e das alturas hidrométricas que conduzem aos caudais instantâneos máximos anuais) possa ter contribuído mais significativamente para os resultados alcançados do que as simplificações a nível dos modelos aplicados. Esta possibilidade é reforçada pelo facto de se terem obtido, desde logo, caudais específicos de ponta de cheia aquém das expectativas. Tal circunstância está exemplificada na Figura 10 que duplica a Figura 3 complementada pela representação dos caudais

específicos de ponta de cheia obtidos por aplicação da equação (6) com os valores do coeficiente α e do expoente β propostos por LOUREIRO, 1984. Para o efeito, indica-se no Quadro 10 a localização das bacias hidrográficas consideradas em conformidade com as zonas propostas por este aquele. De modo geral, conclui-se que os caudais resultantes de LOUREIRO, 1984, superam os agora obtidos, sendo tanto maior a diferença, quanto menor é a área da bacia hidrográfica.

Quadro 10 – Localização das bacias hidrográficas das estações hidrométricas em conformidade com as zonas propostas por Loureiro, 1984.

Nome da estação Hidrométrica	Zona	Nome da estação Hidrométrica	Zona	Nome da estação hidrométrica	Zona
Boticas	1	Azibo	2	Ponte de Vale Maior	3
Gimonde	1	Ermida do Corgo	2	Manteigas	5
Vale Giestoso	1	Cabriz	4	Couto de Andreiros	7
Vinhais – Qt Ranca	1	Castro Daire	4	Pavia	7
Ponte de Pinelo	1	Quinta do Rape	4	Torrão do Alentejo	9
Santa Marta do Alvão	2	Vale Trevo	4	Entradas	10

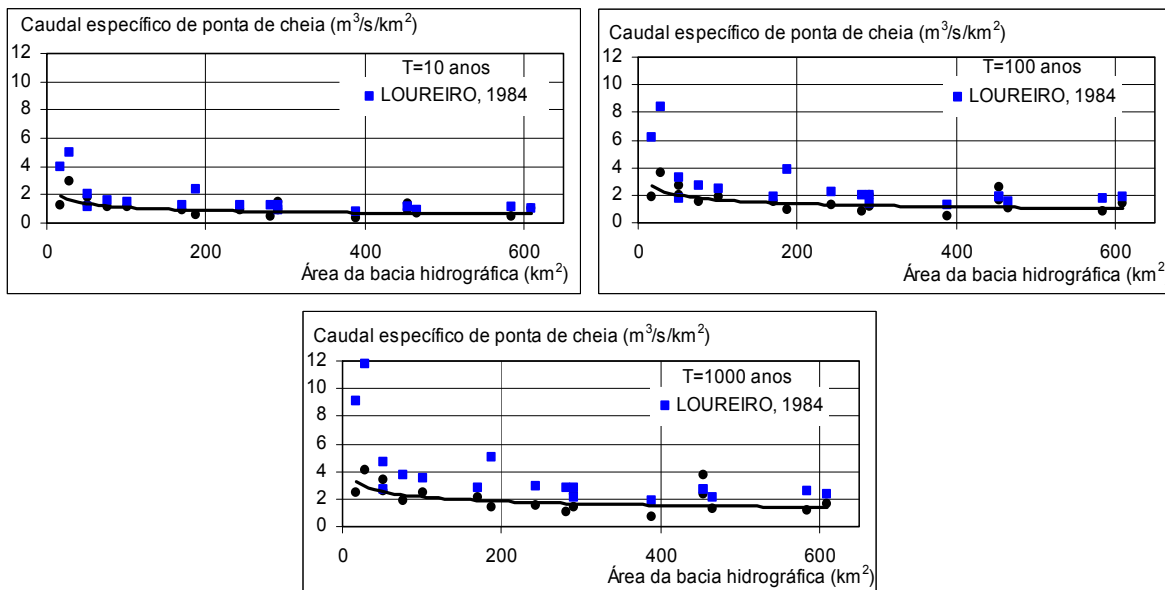


Figura 10 – Caudais específicos de ponta de cheia agora obtidos e avaliados de acordo com Loureiro, 1984.

Posteriormente, como resultado do tratamento estatístico aplicado, não só a caudais instantâneos máximos anuais, mas também a precipitações diárias máximas anuais, surge novamente a indicação provável de que se está perante subestimativas daqueles caudais. De facto, a transformação de precipitações de projecto em caudais de ponta de cheia por meio da fórmula racional só se revelou possível mediante a introdução de valores para o coeficiente C daquela fórmula muito inferiores, não só ao valor de 0,80, frequentemente adoptado como critério de projecto em Portugal Continental, mas também à generalidade dos valores apresentados no Quadro 1.

Não obstante a análise desenvolvida não ter resultado em propostas de valores do coeficiente C da fórmula racional aplicáveis a Portugal, entende-se que, pela sua simplicidade, esta fórmula se reveste de particular interesse para a avaliação de caudais de ponta de cheia. A sua utilização carece, contudo, de

investigação adicional, com ênfase para a recolha em países especialmente do sul da Europa, em que se esperam condições de cheias afins das verificadas em Portugal, quer de experiência na utilização da mesma, quer de outros procedimentos aplicáveis na análise de cheia.

BIBLIOGRAFIA

- BRANDÃO, C. e RODRIGUES, R., 1998, *Precipitações intensas em Portugal Continental para períodos de retorno até 1000 anos*. DSRH, Instituto da Água, INAG, Lisboa.
- CHOW, V. T., MAIDMENT, D. R. e MAYS, L. W., 1988, *Applied Hydrology*. McGraw-Hill International Student Edition, Singapura.
- County of Solano, 1977, "Hydrology and drainage design procedures", Water Resources Engineers, Inc., Walnut Creek, California (*).
- FARIA, J. M., GODINHO, S., ALMEIDA, M. J. e MACHADO, M.S., 1980, *O Clima em Portugal – Fascículo XIX, Análise estatística dos valores máximos do ano da quantidade diária de precipitação em Portugal*, Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica, Lisboa.
- HIPÓLITO, J. N., 1987, "Hidrograma unitário" in *Hidrologia e hidráulica de pequenas barragens*, Universidade Eduardo Mondlane, Maputo, p. 5.2.3-1 a 5.2.3-13.
- LOUREIRO, J. M., 1984, "Expressão para cálculo do caudal máximo de cheia em cursos de água em Portugal", *Recursos Hídricos*, APRH, Vol. 5 n.º 1, p.53-78.
- NERC, 1975, Natural Environment Research Council, "Floods studies report in five volumes. Vol. 1. Hydrological studies". Londres, Inglaterra. (*).
- PEREIRA, C. B., 1995, *Análise de precipitações intensas*. Dissertação para obtenção do grau de mestre em Hidráulica e Recursos Hídricos. Universidade Técnica de Lisboa, IST. Lisboa.
- PILGRIN, D. H. e CORDERY, I., 1992, "Flood runoff", in *Handbook of Hydrology*. Ed. David R. Maidment, McGraw-Hill, Inc., USA, p.9.1-9.42.
- PONCE, V. M., 1989, *Engineering Hydrology. Principles and practices*. Prentice-Hall, Inc., New Jersey.
- PORTELA, M. M., MARQUES, P. e FREIRE DE CARVALHO, F., 2000, "Hietogramas de projectos para a análise de cheias baseada no modelo do hidrograma unitário do Soil Conservation Service (SCS)". 5º Congresso da Água. Lisboa, Portugal.
- QUINTELA, A. C., 1984, "Hidrologia de águas superficiais" in *Curso Internacional de Hidrologia Operativa*. M.E.S., S.E.O.P., Direcção-Geral dos Recursos e Aproveitamento Hidráulicos, Lisboa, p. 505-716.
- QUINTELA, A. C., 1996, *Hidrologia e recursos hídricos*. Documento de apoio à disciplina de Hidrologia e Recursos Hídricos. Associação de estudantes do Instituto Superior Técnico, Lisboa.
- REMENIERAS, P., 1960, *L'hydrologie de l'ingénieur*. Eyrolles, Paris (*).
- Soil Conservation Service, 1972, *National Engineering Handbook*, Sec. 4, Hydrology, U. S. Department of Agriculture. (*).
- Soil Conservation Service, 1985, *National Engineering Handbook*, Sec. 4, Hydrology, U. S. Department of Agriculture, disponível a partir de U. S. Government Printing Office, Washington D.C. (*).
- TEMEZ, R. Temez, 1978, *Calculo hidrometeorologico de caudales maximos en pequenas cuencas naturales*, MOPU, Direccion General de Carreteras, Madrid.
- VISSMAN, Jr. W. e LEWIS, G. L., 1996, *Introduction to Hydrology*, 4ª Edição, HarperCollins College Publishers, Nova Iorque.

WILSON, E. M., 1983, *Engineering hydrology*. Third edition. The MacMillan Press, Ltd., Hong Kong.
 WMO, World Meteorological Organization, 1994, *Guide to hydrological practices. Data acquisition and processing, analysis, forecasting and other applications*. WMO-Nº. 168.

(*) Referência não consultada directamente.

ANEXO 1 – Posto udométricos com influência nas bacias hidrográficas das estações hidrométricas e utilizados no estabelecimento de precipitações diárias máximas anuais.

Estação hidrométrica de Azibo			Estação hidrométrica de Gimonde			Estação hidrométrica de Vinhais			Estação hidrométrica de Monforte		
Posto udométrico			Posto udométrico			Posto udométrico			Posto udométrico		
Código	Nome	Peso	Código	Nome	Peso	Código	Nome	Peso	Código	Nome	Peso
03P/01	Celas	0.05	02R/02	Deilão	0.31	02P/01	Moimenta da Raia	0.24	19M/01	Monforte	0.99
03Q/02	Pinela	0.18	02Q/01	Montezinho	0.43	02Q/01	Montezinho	0.26	18M/01	Potalegre	0.01
04P/06	Macedo de Cavaleiros	0.26	03Q/01	Bragança	0.26	03Q/01	Bragança	0.01	Estação hidrométrica de Couto de Andreiros		
05Q/01	Morais	0.16	Estação hidrométrica de Ponte de Pinelo			03P/01	Celas	0.12	Posto udométrico		
05P/01	Chacim	0.21	Posto udométrico			02O/02	Vinhais	0.38	Código	Nome	Peso
05P/02	Peredo	0.14	Código	Nome	Peso	Estação hidrométrica de Castro Daire			19M/01	Monforte	0.04
05Q/03	Mogadouro	0.01	02R/02	Deilão	0.10	Posto udométrico			18M/01	Potalegre	0.81
Estação hidrométrica de Cabriz			03Q/01	Bragança	0.56	Código	Nome	Peso	17L/02	Vale de Peso	0.07
Posto udométrico			04R/03	Campo de Vitoras	0.01	08J/04	Castro d'Aire	0.05	18L/01	Alter do Chão	0.08
Código	Nome	Peso	04R/01	Argozelo	0.33	08J/05	Pendilhe	0.32	Estação hidrométrica de Pavia		
07H/02	Sobrado de Paiva	0.427	Estação hidrométrica de Quinta do Rape			08K/01	Touro	0.17	Posto udométrico		
07J/05	Gralheira	0.133	Posto udométrico			08K/02	Vila Nova de Paiva	0.23	Código	Nome	Peso
08L/01	Mosteiro do Cabril	0.440	Código	Nome	Peso	08L/05	Carregal	0.05	20L/01	Pavia	0.13
Estação hidrométrica de Boticas			08L/05	Carregal	0.03	07J/06	Bigorne	0.01	20K/01	Sousel	0.03
Posto udométrico			08M/02	Sernancelhe	0.17	08L/04	Ariz	0.18	21J/01	Vimeiro	0.47
Código	Nome	Peso	08M/06	Ponte do Abade	0.36	Estação hidrométrica de Santa Marta do Alvão			21J/02	Arraioles	0.03
03L/01	Soutelinho da Raia	0.44	09M/01	Vila Novinha	0.38	Posto udométrico			20L/01	Estremoz	0.34
03K/05	Cervos	0.26	09M/02	Trancoso	0.07	Código	Nome	Peso	Estação hidrométrica de Torrão do Alentejo		
03L03	Boticas	0.30	Estação hidrométrica de Vale Giestoso			04K/02	Sta Marta da Montanha	0.29	Posto udométrico		
Estação hidrométrica de Ermida do Corgo			Posto udométrico			04K/03	Lixa do Alvão	0.29	Código	Nome	Peso
Posto udométrico			Código	Nome	Peso	05K/02	Lamas de Alavadia	0.04	24H/01	Torrão	0.05
Código	Nome	Peso	03L/01	Soutelinho da Raia	0.08	05K/01	Gouvães da Serra	0.39	23I/02	Viana do Alentejo	0.21
04L/02	Pedras Salgadas	0.00	03K/05	Cervos	0.92	Estação hidrométrica de Ponte de Vale Maior			24I/01	Viana do Alentejo	0.26
04K/03	Lixa do Alvão	0.12	Estação hidrométrica de Vale Trevo			Posto udométrico			23I/01	Alcaçovas	0.11
05L/01	Vila Pouca de Aguiar	0.03	Posto udométrico			Código	Nome	Peso	22I/01	Évora-Mitra	0.15
05K/01	Gouvães da Serra	0.00	Código	Nome	Peso	09G/01	Albergaria-A-Velha	0.21	22K/01	Évora-Currais	0.01
05K/02	Lamas de Alavadia	0.08	10N/03	Guarda	0.10	08G/01	Barragem Castelo (Burgães)	0.79	22J/02	Évora-Cimutério	0.21
05L/03	Torre do Pinhão	0.13	09O/01	Pinhel	0.08	Estação hidrométrica de Manteigas			Estação hidrométrica de Entradas		
05K/03	Lamas de Olo	0.07	09M/02	Trancoso	0.41	Posto udométrico			Posto udométrico		
08L/04	Ariz	0.07	-	Ervedosa-do-Douro	0.41	Código	Nome	Peso	Código	Nome	Peso
06K/01	Vila Real	0.28	Estação hidrométrica de Vale de Manteigas			11L/04	Manteigas	0.71	26I/03	Aljustrel	0.13
06K/02	S.Cibão	0.06	Posto udométrico			12L/03	Covilhã	0.29	27J/01	S.Marcos Ataboeira	0.73
06K/03	Cumeeira	0.10	Posto udométrico			Estação hidrométrica de Entradas			28H/01	Aldeia de Palheiros	0.07
06K/04	Fontes	0.05	Posto udométrico			Posto udométrico			27H/01	Panóias	0.07
06J/02	Candemil	0.03	Posto udométrico			Posto udométrico			Posto udométrico		