

**Estudo Hidrológico e Hidráulico da Ribeira de Lupe
em Santo Amaro (Sousel)**

Anexo I – Estimativa de caudais de cheia

ÍNDICE

| | |
|--|-----------|
| 1. CARATERIZAÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA | 3 |
| 2. CARATERIZAÇÃO DAS CHUVADAS INTENSAS | 6 |
| 2.1. Análise estatística..... | 6 |
| 2.2. Análise da distribuição temporal (para curtas durações) da precipitação diária | 11 |
| 2.3. Hietogramas de projecto | 12 |
| 3. ESTIMATIVA DOS CAUDAIS DE PONTA DE CHEIA | 14 |
| 3.1. Considerações gerais | 14 |
| 3.2. Aplicação do modelo HEC-HMS | 14 |
| 3.3. Extrapolação dos resultados registados na estação hidrométrica de Monforte, na Ribeira Grande.. | 15 |
| 3.4. Aplicação da Fórmula Racional | 18 |
| 3.5. Caudais de ponta de cheia adotados | 18 |

1. CARATERIZAÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA

A Ribeira de Lupe é uma linha de água com nascente no Cortiço, elevação com 319 metros de altitude, situada a Este de S. Bento do Cortiço. É um afluente da margem esquerda da Ribeira Grande (ou Ribeira de Avis).

Na secção de estudo a bacia hidrográfica tem uma área de 6.5 km². É ocupada predominantemente por terrenos agrícolas e florestais.

Na Figura 1 apresenta-se o limite da bacia hidrográfica da Ribeira de Lupe considerando como secção de referência o limite do troço em estudo.

A partir da análise da carta de número de escoamento (CN) considerando condições antecedentes de humidade de solo tipo II, desenvolvida para o INAG, foi estimado o CN médio da bacia, por ponderação de áreas, para condições de humidade de solo tipo III (saturado). Adoptando como secção de referência o limite do troço estudado, tem-se as seguintes características da bacia e da linha de água principal (Quadro 1):

QUADRO 1. CARACTERÍSTICAS HIDROGRÁFICAS DA RIBEIRA DE LUPE.

| CNIII | Comprimento da linha de água (km) | Cota média da bacia | Inclinação média da linha de água (m/m) | Área da bacia (km ²) | Perímetro da bacia (km) |
|-------|-----------------------------------|---------------------|---|----------------------------------|-------------------------|
| 92.9 | 5.93 | 284.93 | 0.0155 | 6.47 | 13.59 |

Para determinação do tempo de concentração recorreu-se a várias fórmulas empíricas, tendo-se adoptado para efeitos dos cálculos subsequentes um tempo de concentração próximo do valor médio dado pelas diversas fórmulas utilizadas retirando os dois valores extremos (Quadro 2). Os tempos de concentração da bacia, estimados e adoptados na caracterização hidrológica, são os constantes do Quadro 2.

QUADRO 2. FÓRMULAS EMPÍRICAS UTILIZADAS NA DETERMINAÇÃO DO TEMPO DE CONCENTRAÇÃO E VALOR ADOPTADO NA SECÇÃO DE REFERÊNCIA.

| Fórmula empírica | Tempo de concentração (h) |
|---|----------------------------------|
| Temez | 3.93 |
| Ven Te Chow | 1.26 |
| CHPW | 1.47 |
| Picking | 1.16 |
| DNOS | 6.99 |
| U.S. Corps of Engineers | 2.56 |
| Kirpisch | 1.43 |
| Kirpisch modificada | 2.20 |
| NERC | 0.76 |
| Mockus | 4.89 |
| <i>tc médio (retirando os extremos)</i> | 2.26 |
| <i>tc utilizado</i> | 2.33 |

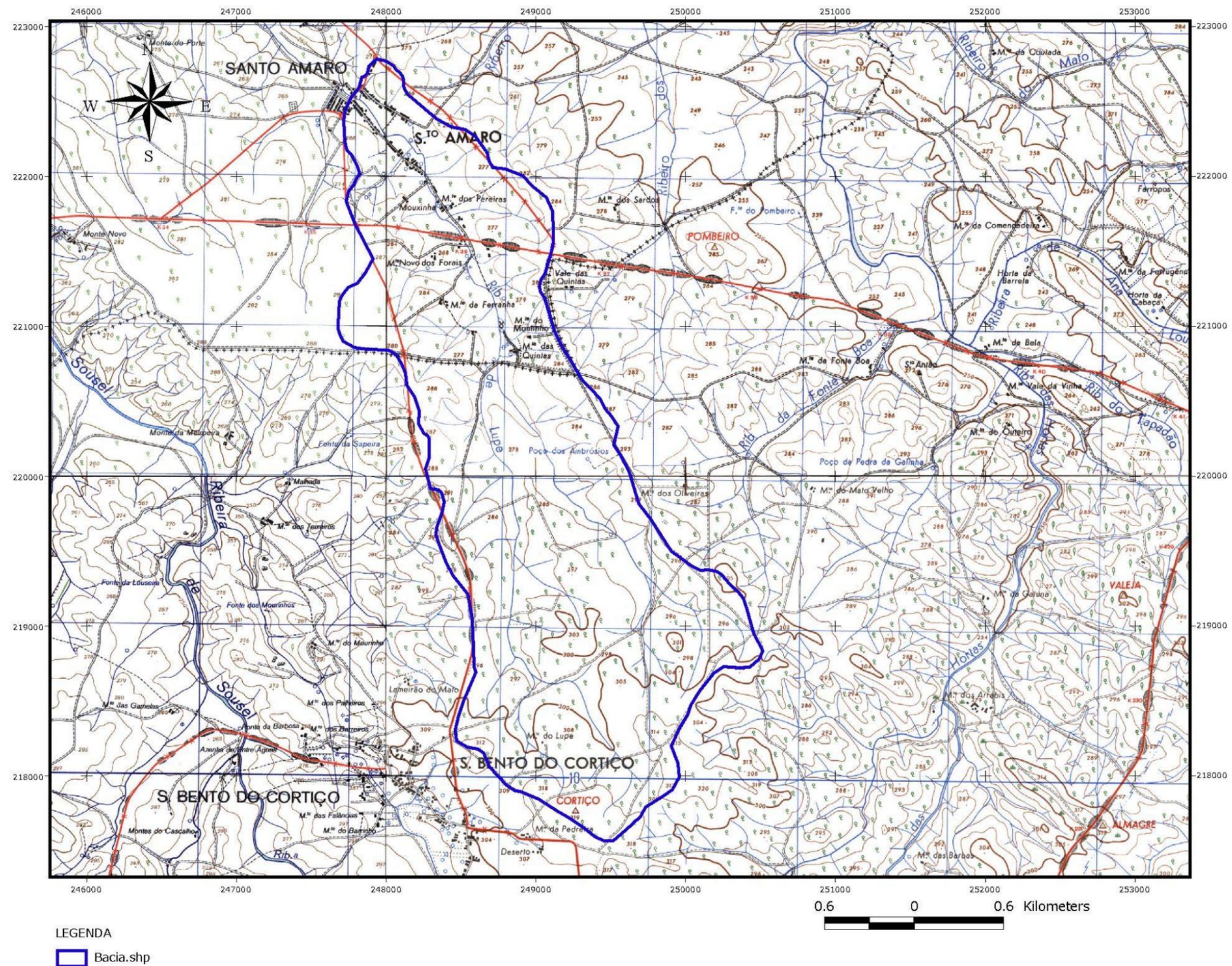


FIGURA 1. EXTRATO DAS CARTAS MILITARES Nº 397, 398, 411 E 412 COM DELIMITAÇÃO DA BACIA HIDROGRAFICA DA RIBEIRA DE LUPE.

2. CARATERIZAÇÃO DAS CHUVADAS INTENSAS

A ocorrência de precipitações intensas é a condição meteorológica que poderá dar origem a eventos de cheia na Ribeira de Lupe, passando-se em seguida a efectuar a sua caracterização.

O posto udométrico utilizado foi a estação de Sousel, com o código 20K/01UG.

A escolha recaiu neste posto porque, do conjunto de postos mais próximos, este é o que apresenta a série mais longa e uma maior qualidade da série, tendo-lhe sido atribuído o índice de qualidade 14, equivalente a série anual com grande fiabilidade.

Em seguida apresentam-se os resultados da análise estatística efectuada à série de dados do posto de Sousel. Este posto, actualmente ativo, possui uma amostra de 72 valores de precipitação máxima diária, registados entre 1931/32 e 2007/08.

2.1. ANÁLISE ESTATÍSTICA

No Quadro 3 apresentam-se a amostra dos valores da precipitação máxima diária anual registadas na estação udométrica de Sousel, remetendo-se para o Gráfico 1 a sua representação.

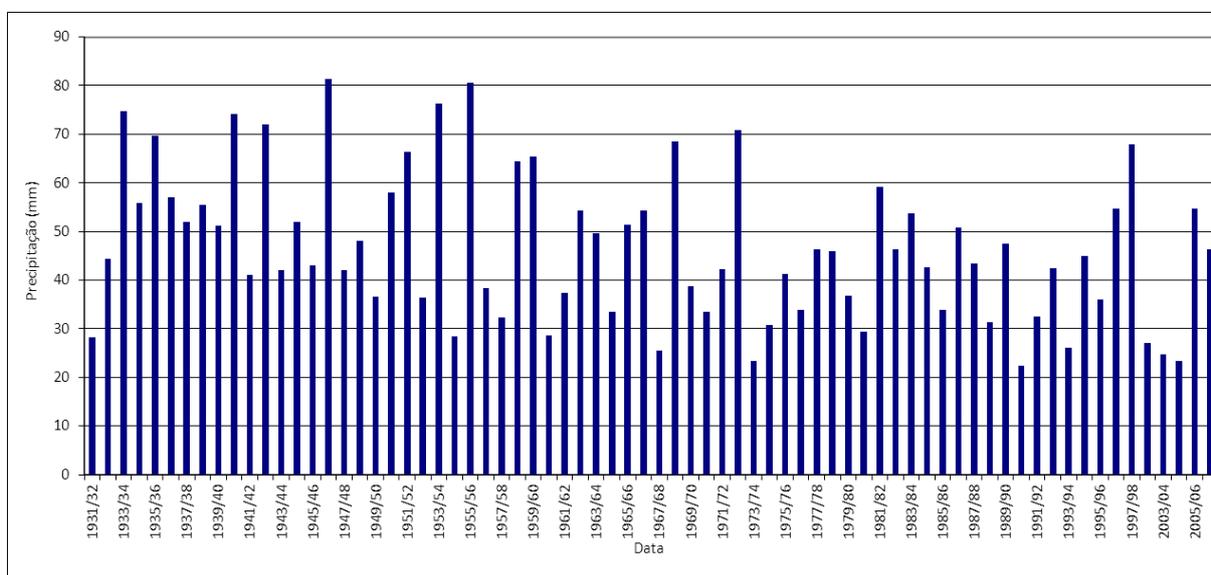
QUADRO 3. PRECIPITAÇÃO MÁXIMA ANUAL DIÁRIA REGISTADA NO POSTO DE SOUSEL.

| Ano hidrológico | Precip. máxima anual diária (mm) |
|-----------------|----------------------------------|
| 1931/32 | 28.2 |
| 1932/33 | 44.4 |
| 1933/34 | 74.8 |
| 1934/35 | 55.8 |
| 1935/36 | 69.6 |
| 1936/37 | 57 |
| 1937/38 | 52 |
| 1938/39 | 55.4 |
| 1939/40 | 51.2 |
| 1940/41 | 74.2 |
| 1941/42 | 41 |
| 1942/43 | 72 |
| 1943/44 | 42 |
| 1944/45 | 52 |
| 1945/46 | 43 |
| 1946/47 | 81.4 |
| 1947/48 | 42 |
| 1948/49 | 48 |

| Ano hidrológico | Precip. máxima anual diária (mm) |
|-----------------|--|
| 1949/50 | 36.6 |
| 1950/51 | 58 |
| 1951/52 | 66.4 |
| 1952/53 | 36.4 |
| 1953/54 | 76.2 |
| 1954/55 | 28.4 |
| 1955/56 | 80.6 |
| 1956/57 | 38.4 |
| 1957/58 | 32.4 |
| 1958/59 | 64.4 |
| 1959/60 | 65.4 |
| 1960/61 | 28.6 |
| 1961/62 | 37.4 |
| 1962/63 | 54.4 |
| 1963/64 | 49.6 |
| 1964/65 | 33.4 |
| 1965/66 | 51.3 |
| 1966/67 | 54.4 |
| 1967/68 | 25.5 |
| 1968/69 | 68.6 |
| 1969/70 | 38.7 |
| 1970/71 | 33.5 |
| 1971/72 | 42.3 |
| 1972/73 | 70.8 |
| 1973/74 | 23.4 |
| 1974/75 | 30.7 |
| 1975/76 | 41.3 |
| 1976/77 | 33.8 |
| 1977/78 | 46.3 |
| 1978/79 | 46 |
| 1979/80 | 36.8 |
| 1980/81 | 29.4 |
| 1981/82 | 59.1 |
| 1982/83 | 46.4 |
| 1983/84 | 53.7 |
| 1984/85 | 42.6 |
| 1985/86 | 33.8 |
| 1986/87 | 50.8 |
| 1987/88 | 43.4 |
| 1988/89 | 31.4 |
| 1989/90 | 47.5 |
| 1990/91 | 22.4 |
| 1991/92 | 32.6 |
| 1992/93 | 42.4 |
| 1993/94 | 26 |
| 1994/95 | 45 |

| Ano hidrológico | Precip. máxima anual diária (mm) |
|-----------------|----------------------------------|
| 1995/96 | 36 |
| 1996/97 | 54.7 |
| 1997/98 | 68 |
| 1998/99 | 27 |
| 2003/04 | 24.7 |
| 2004/05 | 23.4 |
| 2005/06 | 54.6 |
| 2007/08 | 46.4 |

GRÁFICO 1. PRECIPITAÇÃO MÁXIMA DIÁRIA ANUAL NA ESTAÇÃO DE SOUSEL.



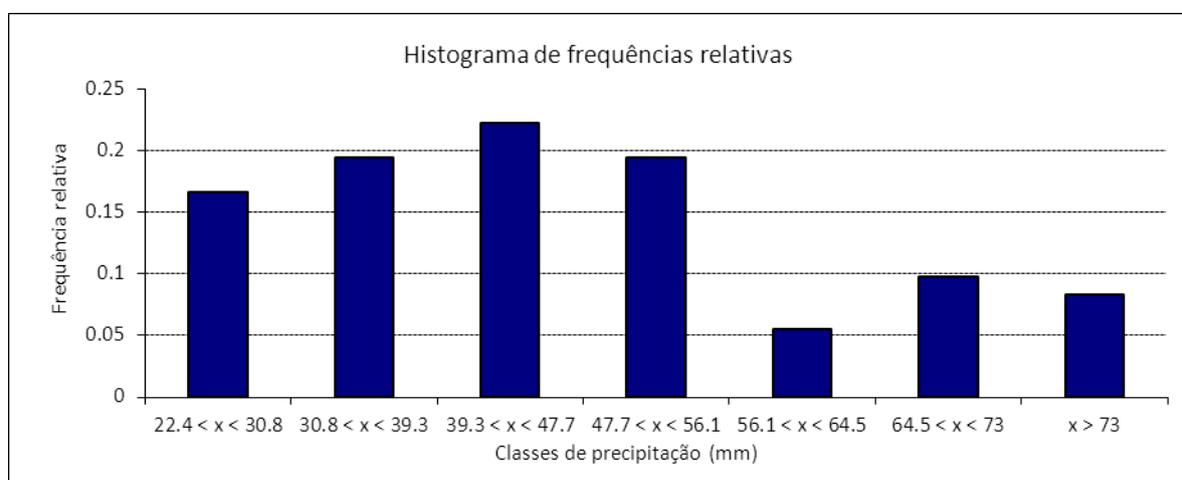
Na análise estatística foram consideradas as leis de Galton (Log-Normal), de Gumbel e de Pearson III. Contudo, primeiramente, calcularam-se os parâmetros amostrais que se identificam no Quadro 4.

No Gráfico 2 mostra-se a variação dos valores de precipitação diária máxima anual no posto em questão, por intervalo de precipitação, verificando-se que as maiores frequências respeitam aos valores de precipitação situados nas classes à esquerda da classe central.

QUADRO 4. PARÂMETROS AMOSTRAIS DA SÉRIE DE PRECIPITAÇÃO MÁXIMA ANUAL DIÁRIA.

| Número de elementos, n | Média amostral aritmética, \bar{X} $\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n}$ | Desvio-padrão amostral (com factor correctivo), S_x^1 $S_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}}$ | Variância (com factor correctivo), S_x^2 $S_x^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2$ | Assimetria amostral (com factor correctivo), g_x $g_x = \frac{1}{(n-1)(n-2)} \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^3}{S_x^3}$ |
|------------------------|--|--|--|---|
| 72 | 46.60 mm | 15.29 mm | 233.88 mm ² | 0.47 |

GRÁFICO 2. HISTOGRAMA DE FREQUÊNCIAS RELATIVAS PARA O POSTO DE SOUSEL.

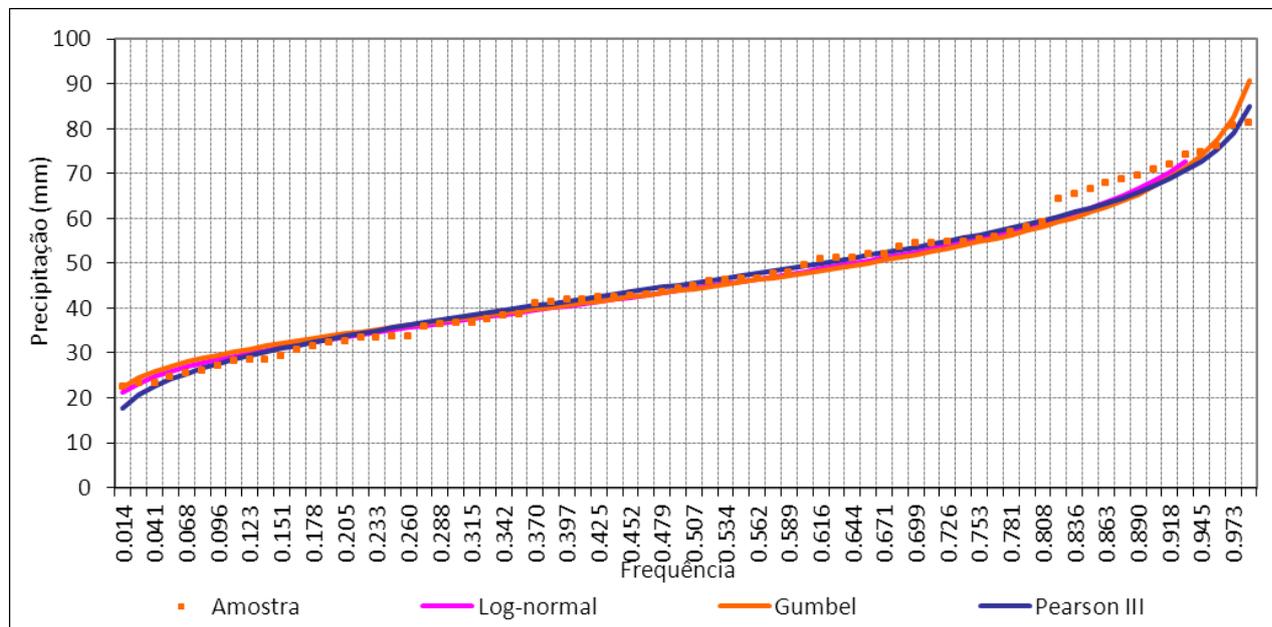


A metodologia adoptada na análise estatística da série consistiu na comparação – modo visual – da distribuição empírica da amostra com as distribuições de probabilidade das leis Log-Normal, Gumbel e Pearson III, em função das respectivas variáveis padronizadas, Z, na aplicação do teste do Qui-Quadrado a fim de se verificar se alguma das leis deverá ser rejeitada e, na análise crítica dos valores estimados para a precipitação para diferentes períodos de retorno.

No Gráfico 3 apresenta-se o ajustamento das leis estatísticas à amostra.

¹ Introduziu-se o factor correctivo com vista a minimizar o erro associado ao facto da amostra apresentar um número reduzido de elementos comparativamente com a população.

GRÁFICO 3. AJUSTAMENTO DAS LEIS ESTATÍSTICAS À AMOSTRA DE PRECIPITAÇÃO DO POSTO UDOMÉTRICO DE SOUSEL.



Os resultados da aplicação do teste de hipótese do Qui-Quadrado para cada uma das leis estudadas revelaram que todas as leis são aceitáveis.

Atendendo aos resultados obtidos, verifica-se que as três leis se ajustam adequadamente pelo que a escolha incidiu nos resultados obtidos na estimativa da precipitação para diferentes períodos de retorno (Quadro 5).

QUADRO 5. ESTIMAÇÃO DA PRECIPITAÇÃO A PARTIR DAS LEIS ESTATÍSTICAS PARA O POSTO DE SOUSEL.

| T (anos) | F(x) (-) | Pearson III (mm) | Precipitação Log-Normal (mm) | Gumbel (mm) |
|-------------|-------------|---------------------|------------------------------------|----------------|
| 2 | 0,5 | 45.4 | 44.2 | 44.1 |
| 5 | 0,8 | 59.0 | 58.5 | 57.6 |
| 10 | 0,9 | 66.8 | 67.8 | 66.6 |
| 20 | 0,95 | 73.6 | 76.5 | 75.1 |
| 50 | 0,98 | 81.7 | 87.72 | 86.22 |
| 100 | 0,99 | 87.32 | 96.16 | 94.62 |

Dado que o objectivo deste estudo hidrológico é fornecer os elementos de base à verificação do dimensionamento hidráulico da travessia da linha de água, considerou-se que para efeitos de cálculos a opção deverá ser a Lei de Log-Normal, pois para períodos de retorno superiores a 10 anos é a que conduz aos maiores valores de precipitação.

2.2. ANÁLISE DA DISTRIBUIÇÃO TEMPORAL (PARA CURTAS DURAÇÕES) DA PRECIPITAÇÃO DIÁRIA

Na estação de Soussel não se dispõem de registos de chuvadas com durações inferiores a 24 horas (posto udométrico) pelo que se adoptou a distribuição temporal avaliada para o posto de Pavia para a discretização em intervalos de menor duração (inferiores a 24 horas). Para o efeito recorreu-se aos estudos efectuados para esta estação, nomeadamente às curvas IDF estimadas em [2].

No Quadro 6 constam as precipitações com durações de 1 a 24 horas estimadas para o posto de Pavia. No Quadro 7 apresentam-se a relação entre chuvadas de curta duração e a precipitação diária.

QUADRO 6. PRECIPITAÇÕES INTENSAS NA ESTAÇÃO UDOGRÁFICA DE PAVIA.

| Duração, D (h) | Precipitações intensas na estação de Pavia (mm) | | | | | |
|-------------------|---|------------|-------------|-------------|-------------|--------------|
| | T = 2 anos | T = 5 anos | T = 10 anos | T = 20 anos | T = 50 anos | T = 100 anos |
| 1 | 15.98 | 21.69 | 25.49 | 29.08 | 33.86 | 37.40 |
| 2 | 20.24 | 27.71 | 32.68 | 37.34 | 43.61 | 48.24 |
| 3 | 23.24 | 31.97 | 37.78 | 43.23 | 50.57 | 55.98 |
| 4 | 25.63 | 35.39 | 41.88 | 47.96 | 56.17 | 62.21 |
| 5 | 27.66 | 38.29 | 45.36 | 51.98 | 60.94 | 67.52 |
| 6 | 29.43 | 40.84 | 48.42 | 55.52 | 65.13 | 72.19 |
| 7 | 30.28 | 43.15 | 51.82 | 59.81 | 70.50 | 78.59 |
| 8 | 31.60 | 44.98 | 54.00 | 62.29 | 73.41 | 81.82 |
| 9 | 32.81 | 46.66 | 55.99 | 64.57 | 76.08 | 84.78 |
| 10 | 33.94 | 48.21 | 57.84 | 66.68 | 78.55 | 87.52 |
| 11 | 34.99 | 49.66 | 59.56 | 68.65 | 80.85 | 90.08 |
| 12 | 35.98 | 51.02 | 61.18 | 70.49 | 83.01 | 92.48 |
| 13 | 36.91 | 52.31 | 62.71 | 72.24 | 85.05 | 94.74 |
| 14 | 37.80 | 53.53 | 64.16 | 73.89 | 86.98 | 96.89 |
| 15 | 38.64 | 54.69 | 65.53 | 75.46 | 88.82 | 98.93 |
| 16 | 39.45 | 55.80 | 66.85 | 76.96 | 90.57 | 100.87 |
| 17 | 40.22 | 56.86 | 68.11 | 78.39 | 92.25 | 102.74 |
| 18 | 40.96 | 57.88 | 69.32 | 79.77 | 93.86 | 104.52 |
| 19 | 41.68 | 58.86 | 70.48 | 81.10 | 95.41 | 106.25 |
| 20 | 42.37 | 59.81 | 71.61 | 82.38 | 96.91 | 107.90 |
| 21 | 43.03 | 60.72 | 72.69 | 83.61 | 98.35 | 109.51 |
| 22 | 43.68 | 61.61 | 73.74 | 84.81 | 99.75 | 111.06 |
| 23 | 44.30 | 62.47 | 74.76 | 85.97 | 101.10 | 112.56 |
| 24 | 44.91 | 63.30 | 75.74 | 87.09 | 102.41 | 114.01 |

QUADRO 7. RELAÇÃO Pt/P24H DEDUZIDA PARA A ESTAÇÃO UDOGRÁFICA DE PAVIA.

| Duração, D (h) | Pt/P24 h para posto de Pavia | | | | | |
|-------------------|------------------------------|------------|-------------|-------------|-------------|--------------|
| | T = 2 anos | T = 5 anos | T = 10 anos | T = 20 anos | T = 50 anos | T = 100 anos |
| 1 | 0.356 | 0.343 | 0.337 | 0.334 | 0.331 | 0.328 |
| 2 | 0.451 | 0.438 | 0.431 | 0.429 | 0.426 | 0.423 |
| 3 | 0.517 | 0.505 | 0.499 | 0.496 | 0.494 | 0.491 |
| 4 | 0.571 | 0.559 | 0.553 | 0.551 | 0.548 | 0.546 |
| 5 | 0.616 | 0.605 | 0.599 | 0.597 | 0.595 | 0.592 |
| 6 | 0.655 | 0.645 | 0.639 | 0.637 | 0.636 | 0.633 |
| 7 | 0.674 | 0.682 | 0.684 | 0.687 | 0.688 | 0.689 |
| 8 | 0.704 | 0.711 | 0.713 | 0.715 | 0.717 | 0.718 |
| 9 | 0.731 | 0.737 | 0.739 | 0.741 | 0.743 | 0.744 |
| 10 | 0.756 | 0.762 | 0.764 | 0.766 | 0.767 | 0.768 |
| 11 | 0.779 | 0.785 | 0.786 | 0.788 | 0.789 | 0.790 |
| 12 | 0.801 | 0.806 | 0.808 | 0.809 | 0.811 | 0.811 |
| 13 | 0.822 | 0.826 | 0.828 | 0.829 | 0.830 | 0.831 |
| 14 | 0.842 | 0.846 | 0.847 | 0.848 | 0.849 | 0.850 |
| 15 | 0.860 | 0.864 | 0.865 | 0.866 | 0.867 | 0.868 |
| 16 | 0.878 | 0.882 | 0.883 | 0.884 | 0.884 | 0.885 |
| 17 | 0.896 | 0.898 | 0.899 | 0.900 | 0.901 | 0.901 |
| 18 | 0.912 | 0.914 | 0.915 | 0.916 | 0.917 | 0.917 |
| 19 | 0.928 | 0.930 | 0.931 | 0.931 | 0.932 | 0.932 |
| 20 | 0.943 | 0.945 | 0.945 | 0.946 | 0.946 | 0.946 |
| 21 | 0.958 | 0.959 | 0.960 | 0.960 | 0.960 | 0.960 |
| 22 | 0.973 | 0.973 | 0.974 | 0.974 | 0.974 | 0.974 |
| 23 | 0.986 | 0.987 | 0.987 | 0.987 | 0.987 | 0.987 |
| 24 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 |

2.3. HIETOGRAMAS DE PROJECTO

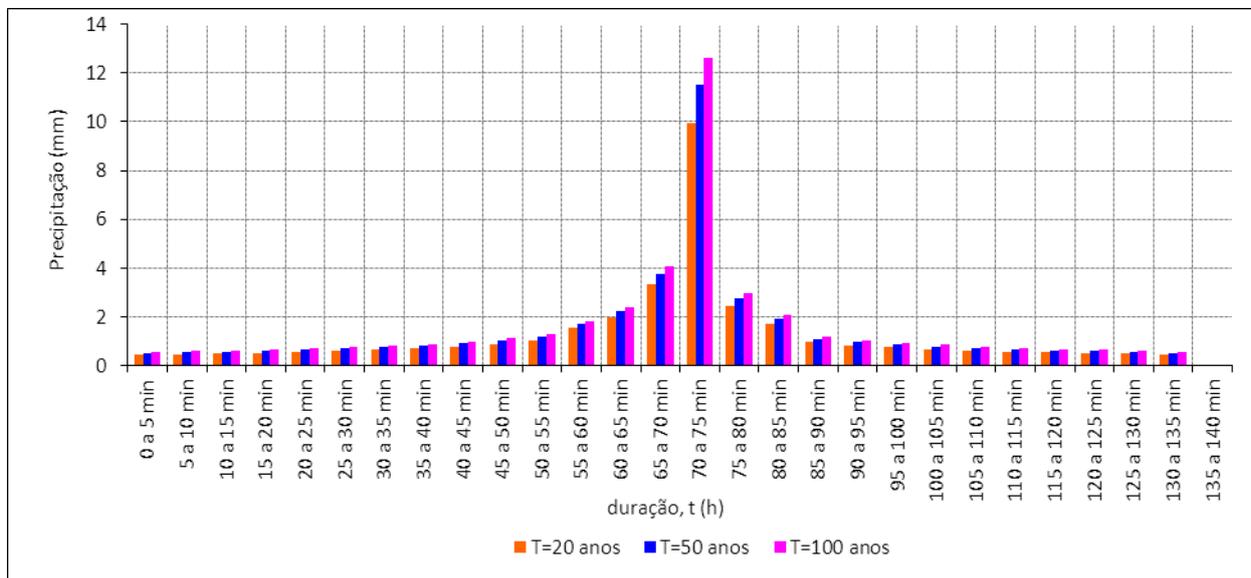
A metodologia utilizada consistiu na aplicação do quociente entre precipitações com diferentes durações para um mesmo período de retorno de um posto udográfico para o qual se dispõe de curvas IDF à região envolvente. A aplicação deste quociente à precipitação diária máxima anual das bacias permite estimar a precipitação para uma dada duração e tempo de retorno na bacia.

Assim, as razões Pt/P24h para a estação de Pavia foram aplicadas à precipitação máxima diária anual do posto de Sousel, correspondente à precipitação em 24h para a bacia estudada, para os diferentes períodos de retorno.

Na modelação do processo de precipitação-escoamento associado ao fenómeno das cheias considerou-se uma chuvada com duração igual ao tempo de concentração da bacia. Os hietogramas de projecto resultante são os que se apresentam no próximo gráfico (Gráfico 4).



GRÁFICO 4. HIETOGRAMAS DE PROJECTO.



3. ESTIMATIVA DOS CAUDAIS DE PONTA DE CHEIA

3.1. CONSIDERAÇÕES GERAIS

De acordo com a legislação vigente, designadamente o estabelecido no Anexo I da Portaria nº 1450/2007 de 12 de Novembro, o dimensionamento de construções e infra-estruturas em domínio público hídrico deverá ser verificado para caudais de cheia associados a um período de retorno de 100 anos.

Na estimativa dos caudais de ponta de cheia para os períodos de retorno de 20, 50 e 100 anos gerados na bacia hidrográfica em estudo, na secção de referência, recorreu-se à aplicação do modelo hidrológico HEC-HMS 3.1.0 Flood Hydrograph Package, da autoria do Hydrologic Engineering Center, U.S.A.C.E.

Trata-se de um modelo determinístico que permite a simulação do processo precipitação-escoamento, sendo possível modelar praticamente todas as componentes (intercepção-retenção-infiltração, escoamento base, propagação de hidrogramas, etc.).

A análise hidrológica foi complementada com a aplicação de outras metodologias, nomeadamente, a Fórmula Racional, e a extrapolação dos resultados da análise estatística à amostra de caudais máximos registados numa estação hidrométrica na Ribeira Grande, em Monforte.

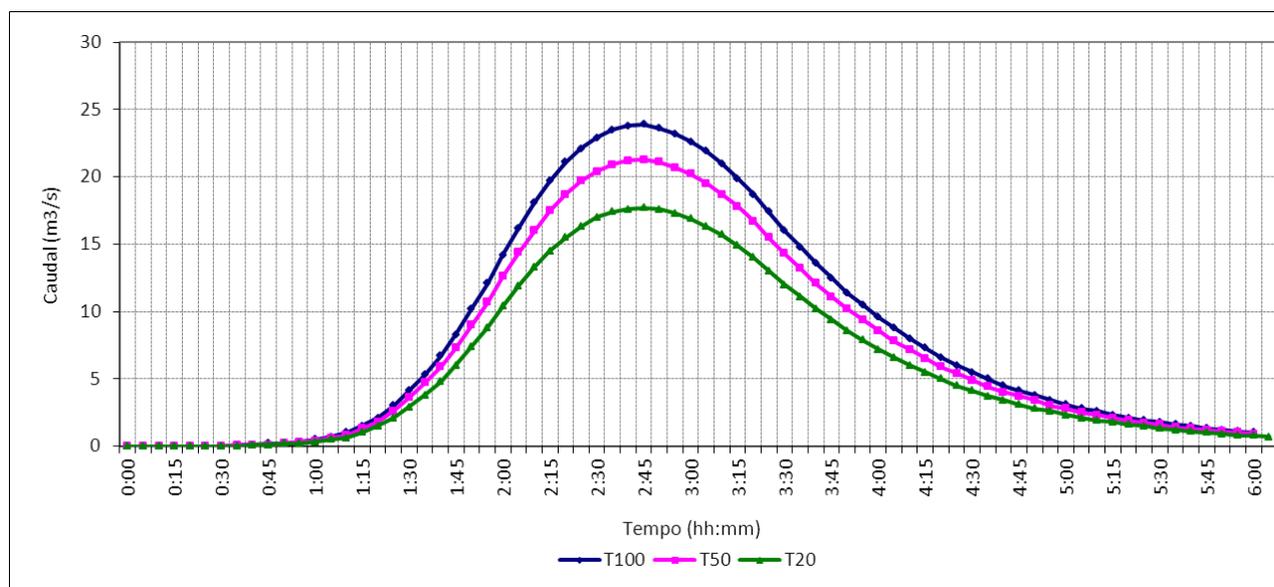
3.2. APLICAÇÃO DO MODELO HEC-HMS

Na determinação do hidrograma de cheia por convulsão do hietograma de duração igual ao tempo de concentração da bacia em análise, com um hidrograma unitário do Soil Conservation Service (SCS) admitiu-se que:

- as condições iniciais de humedecimento do solo são elevadas, correspondendo na classificação do SCS a AMCIII;
- que, face ao tipo de ocupação do solo da bacia hidrográfica, o número de escoamento é o apresentado no Quadro 1 para AMCIII;
- a convulsão de cada hietograma de precipitação com o hidrograma unitário sintético do SCS, considerando o tempo de atraso deste como sendo 0,6 x tempo de concentração;
- que uma chuvada com período de retorno T origina uma cheia com igual período de retorno.

No próximo gráfico (Gráfico 5) apresentam-se os hidrogramas de cheia obtidos a partir dos resultados da simulação hidrológica do processo precipitação-escoamento aquando da ocorrência de chuvadas intensas associadas aos períodos de retorno de 20, 50 e 100 anos.

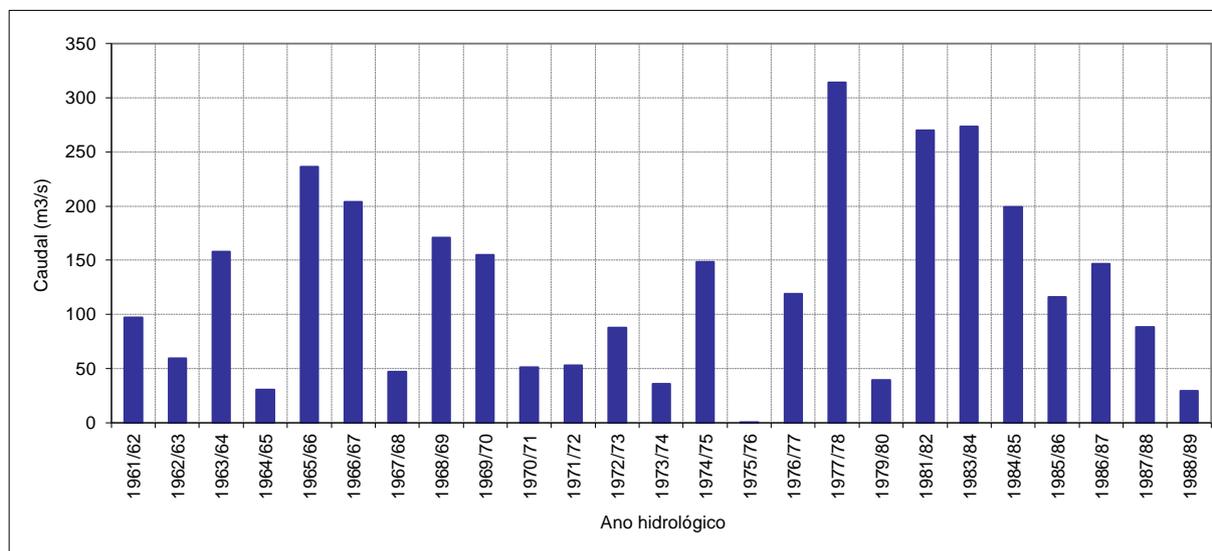
GRÁFICO 5. HIDROGRAMAS DE CHEIA GERADOS POR CONVULÇÃO DE UM HIETOGRAMA COM DURAÇÃO IGUAL A TC, PARA PERIODOS DE RETORNO DE 20, 50 E 100 ANOS.



3.3. EXTRAPOLAÇÃO DOS RESULTADOS REGISTRADOS NA ESTAÇÃO HIDROMÉTRICA DE MONFORTE, NA RIBEIRA GRANDE

A estação hidrométrica de Monforte (19M/01H), localizada na Ribeira Grande (ou de Avis) e dominando uma bacia hidrográfica com 141,46 km² de área, dispõe de uma amostra 25 anos de caudais máximos instantâneos registados, cuja representação gráfica se mostra no Gráfico 6.

GRÁFICO 6. SÉRIE CRONOLÓGICA DOS CAUDAIS MÁXIMOS INSTANTÂNEOS ANUAIS REGISTRADOS NA ESTAÇÃO HIDROMÉTRICA DE MONFORTE.



Os parâmetros amostrais identificam-se no Quadro 8.

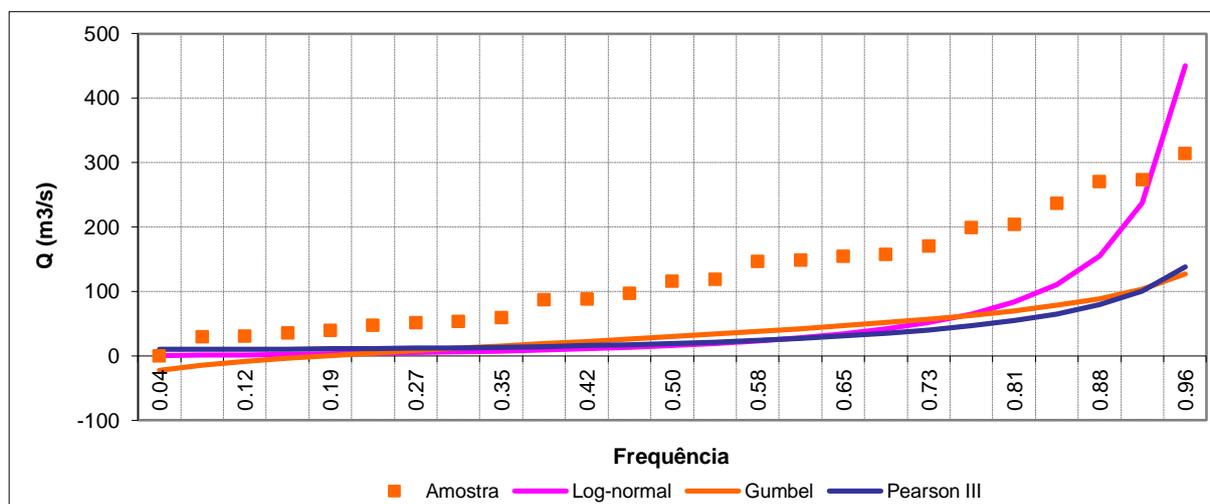
QUADRO 8. PARÂMETROS AMOSTRAIS DA SÉRIE DE ESCOAMENTO INSTANTÂNEO MÁXIMO ANUAL.

| Número de elementos, n | Média amostral aritmética, X | Desvio-padrão amostral (com factor correctivo), Sx | Variância (com factor correctivo), Sx ² | Assimetria amostral (com factor correctivo), gx |
|------------------------|------------------------------|--|--|---|
| 25 | 125.22 m ³ /s | 86.98 m ³ /s | 7565.97 (m ³ /s) ² | 0605 |

A metodologia adoptada na análise estatística desta série foi idêntica à adoptada na análise estatística da série de precipitação (capítulo 2.1).

No Gráfico 7 apresentam-se o ajustamento das leis estatísticas Log-Normal, de Gumbel e de Pearson III à amostra.

GRÁFICO 7. AJUSTAMENTO DAS LEIS ESTATÍSTICAS À AMOSTRA DE CAUDAIS.



A estimativa dos caudais a partir das três leis testadas (Quadro 9) permitiu verificar que a Lei Log-Normal fornece os maiores valores de caudal e por conseguinte será esta a lei a adotar na estimativa dos caudais de cheia na Ribeira de Lupe.

QUADRO 9. ESTIMAÇÃO DO CAUDAL A PARTIR DAS LEIS ESTATÍSTICAS.

| T (anos) | F(x) (-) | Caudal | | |
|-------------|-------------|-----------------------|----------------------|------------------|
| | | Pearson III (m³/s) | Log-Normal (m³/s) | Gumbel (m³/s) |
| 2 | 0.5 | 116.50 | 82.156 | 110.935 |
| 5 | 0.8 | 194.73 | 254.442 | 187.804 |
| 10 | 0.9 | 240.80 | 459.427 | 238.698 |
| 20 | 0.95 | 281.63 | 748.418 | 287.517 |
| 50 | 0.98 | 330.65 | 1296.188 | 350.707 |
| 100 | 0.99 | 365.16 | 1869.325 | 398.060 |

A extrapolação dos caudais estimados para a bacia em análise apresenta-se no Quadro 10.

QUADRO 10. CAUDAIS DE CHEIA ESTIMADOS PARA A RIBEIRA DE LUPE POR EXTRAPOLAÇÃO COM OS RESULTADOS REGISTRADOS NA ESTAÇÃO HIDROMÉTRICA DE MONFORTE.

| Período de retorno (anos) | Caudal específico (m³/s/km²) | Caudal de cheia (m³/s) |
|------------------------------|---------------------------------|------------------------|
| 20 | 2.03 | 18.22 |
| 50 | 2.48 | 16.05 |
| 100 | 2.81 | 13.16 |

3.4. APLICAÇÃO DA FÓRMULA RACIONAL

A aplicação da Formula Racional assume que a situação mais gravosa ocorre para uma chuvada de intensidade constante, uniformemente distribuída sobre toda a bacia, com uma duração igual ao tempo de concentração.

A equação é:

$$Q = C I A \text{ (m}^3\text{/s)}$$

Em que

- C é o coeficiente de escoamento;
- I é a intensidade de precipitação;
- A a área da bacia.

O valor do coeficiente de escoamento foi adoptado a partir da soma de três factores representativos da natureza do solo, das características topográfica da bacia e do coberto vegetal, tendo sido considerado um valor de 0.65.

A intensidade de precipitação, com duração igual ao tempo de retorno da bacia, foi determinada a partir das curvas I-D-F definidas em [2], para o posto de Pavia.

Os caudais de ponta estimados a partir da aplicação desta metodologia são os constantes do Quadro 11.

QUADRO 11. CAUDAIS DE CHEIA ESTIMADOS PARA A RIBEIRA DE LUPE POR APLICAÇÃO DA FÓRMULA RACIONAL.

| Período de retorno (anos) | Caudal de cheia (m ³ /s) |
|---------------------------|-------------------------------------|
| 20 | 19.8 |
| 50 | 23.1 |
| 100 | 25.6 |

3.5. CAUDAIS DE PONTA DE CHEIA ADOTADOS

No Quadro 12 apresentam-se os valores dos caudais de ponta de cheia gerados na bacia da Ribeira de Lupe, obtidos por aplicação das várias metodologias.

QUADRO 12. SÍNTESE – CAUDAIS DE CHEIA COM UM PERIODO DE RETORNO DE 100 ANOS ESTIMADOS PELOS DIFERENTES MÉTODOS PARA A RIBEIRA DE LUPE.

| Método | Caudal de cheia (m ³ /s) |
|--|-------------------------------------|
| HEC-HMS Duração da chuvada = tc | 23.9 |
| Fórmula Racional | 25.6 |
| Extrapolação do Q de Quinta das Camilas | 18.2 |
| <i>Média</i> | 22.6 |

Atendendo à proximidade dos resultados obtidos considera-se que na avaliação hidráulica subsequente deve ser utilizado o valor de caudal de ponta de cheia obtido por modelação hidrológica em HEC-HMS por se tratar de uma metodologia robusta que integra diversas variáveis intrínsecas à bacia além do modelo de precipitação que melhor se adequa à região de estudo.