

A Bacia Hidrográfica do Rio Leça

Estudo Hidroclimatológico *

Edite Velhas

I. INTRODUÇÃO

Pelo carácter de indispensabilidade de que se têm revestido e pelo apoio que prestam ao desenvolvimento económico e social de tantos povos, os recursos hídricos e os problemas relacionados com o seu aproveitamento não são uma questão exclusiva da nossa época. A exploração destes recursos tem-se vindo a processar à medida do crescimento dos agregados populacionais, da expansão dos efectivos humanos e do incremento das suas actividades económicas.

O que é, sem dúvida, actual é a consciencialização de que a bacia hidrográfica se pode e deve constituir numa unidade espacial adequada ao planeamento e gestão dos recursos hídricos, a nível regional. O reconhecimento da bacia como um sistema complexo onde se interligam uma série de componentes relativos ao balanço hidrológico, ao tipo de solo e cobertura vegetal e componentes referentes às formas de utilização desses recursos, exige o seu planeamento integrado na política mais global de desenvolvimento económico-social das regiões.

A melhoria da qualidade de vida dos cidadãos passa, também, pelo controlo e gestão dos recursos naturais, seja no domínio da quantidade ou da qualidade, facto este só possível, no caso particular dos recursos hídricos, a partir da compreensão dos processos hidrológicos e das variáveis envolvidas. Neste enquadramento, surge o interesse pelo conhecimento do regime das cheias e áreas inundáveis, assim como dos processos que os condicionam, por forma a que possam ser definidos critérios de controle e medidas de protecção aplicáveis através de projectos estruturais de defesa ou de normas de ocupação dos vales inundáveis.

* Síntese da Prova de Capacidade Científica, prevista nos artigos 53º e 60º do Estatuto da Carreira Docente Universitária, apresentada à Faculdade de Letras da Universidade do Porto, em 1991.

No que respeita ao Norte do país são praticamente inexistentes os estudos específicos sobre cheias, sendo de referir, contudo, os trabalhos de Maurice Pardé¹ sobre as cheias do Douro, retomados mais tarde por Daniel Pinto da Silva², datados do fim da década de 60. Do vasto conjunto de trabalhos recentes versando os recursos hídricos no Norte, a maioria reveste-se de um cunho eminentemente técnico privilegiando a qualidade das águas ou a definição das disponibilidades hídricas em regime médio.

O facto de, por um lado, ser relativamente reduzida a informação respeitante a valores de caudais em rios do Norte e, por outro lado, a percepção de que as cheias em pequenas bacias hidrográficas não implicam consequências tão gravosas como em bacias de maiores dimensões, onde os caudais envolvidos são substancialmente superiores, não deve constituir motivo para a secundarização deste tipo de estudos em pequenas bacias.

Procurou-se, assim, abordar esta temática, dando ênfase aos factores e processos influentes no regime do escoamento, aplicada ao caso concreto de uma pequena bacia hidrográfica do NW Português, a bacia do rio Leça (fig. 1).

Um dos principais condicionantes a um trabalho deste tipo reside no suporte de variáveis objecto de medição e quantificação, suporte esse que deriva, largamente, da densidade da rede hidrometeorológica e da quantidade e qualidade dos dados de observação e registo. Em virtude da fraca densidade da rede hidrométrica nesta bacia e do seu curto período de funcionamento, as análises relativas ao escoamento fluvial apoiam-se em métodos indirectos que derivam das relações comprovadas entre as variáveis escoamento e precipitação, e das características físicas e geométricas da bacia, bem como das características dos canais de escoamento.

Assim, estudam-se as principais variáveis climáticas com influência directa no escoamento. Procede-se à análise do regime da precipitação, no entendimento de que este parâmetro se constitui na principal fonte geradora de água disponível para o escoamento fluvial, das características da evapotranspiração, responsável pela perda de água para o escoamento, e respectivas implicações para a alteração das reservas hídricas em regime natural.

Atendendo a que a " resposta " do sistema - bacia hidrográfica - ao regime da precipitação depende de outras variáveis para além das climáticas, caracterizam-se os principais factores fisiográficos da bacia que resultam das

¹ M. Pardé — *Les crues remarquables du Douro inférieur*. «Revue Géographique des Pyrénées et du Sud-Ouest», Toulouse, 38(3), 1967, p. 231-242.

— *Les crues du Douro d'après une étude portugaise et remarquable*. «Boletim Trimestral de Informação», D.G.S.H., Lisboa, 23, 1966, p. 94-168.

² D. Pinto da Silva — *Les grandes crues du Douro*, in «Études Hydrologiques et Géographiques offertes à Maurice Pardé», GAP, 1968, p. 531-541.



Fig. 1 — Bacia Hidrográfica do Rio Leça — Hipsomeiria e Rede Hidrográfica.

suas propriedades geométricas e físicas. Com esta caracterização procura-se estabelecer relações entre o regime de escoamento e alguns daqueles parâmetros nas secções onde haja informação, para se determinarem, indirectamente, valores hidrológicos em sectores da bacia sem dados de observação.

Em fase subsequente, e atendendo às estreitas relações entre intensidades máximas de precipitação e caudais de ponta de cheia, apresenta-se um método de determinação de caudais de cheia com base nas intensidades de precipitação para várias durações e períodos de retorno. Em função dos resultados obtidos procede-se à cartografia das áreas da bacia sujeitas a cheias com várias probabilidades de ocorrência.

H. OS FACTORES CLIMÁTICOS DO ESCOAMENTO

1. AS PRECIPITAÇÕES

1.1. *Considerações metodológicas*

Do conjunto das variáveis climáticas, aquelas que mais directamente interessam aos processos do escoamento hídrico são a precipitação e a evapotranspiração.

Nesta primeira parte do trabalho privilegiamos a análise da distribuição temporal da precipitação, evidenciando as principais características da variabilidade dos regimes. Nas regiões temperadas de feição oceânica, embora a variabilidade sazonal dos caudais seja influenciada pelas componentes do ramo terrestre do sistema hidrológico, tal variabilidade está, primeiramente, na dependência directa da variabilidade das chuvas.

A densidade de estações meteorológicas e postos udométricos na bacia é manifestamente insuficiente, pelo que se consideraram algumas estações periféricas, permitindo, deste modo, o cálculo de valores ponderados para o conjunto da bacia. No quadro I figuram as estações e postos seleccionados que estão igualmente assinalados na fig 2.

QUADRO I — Estações da rede meteorológica consideradas neste estudo

Estações	LaL(N)	Long-(W)	All(m)	Observações
S. Gens	41° 11'	8° 39'	90	Registos de longa duração
Serra do Pilar	41° 08'	8° 36'	93	Registos de longa duração
Pedras Rubras	41° 14'	8° 40'	70	Data de início: 1948
Paços de Ferreira	41° 16'	8° 23'	320	Mudança de localização em 1956
Santo Urso	41° 21'	8° 28'	55	Extinta em 1981-82
Boa Nova	41° 13'	8° 43'	17	Interrupção no ano de 1970
Ermesinde	41° 13'	8° 33'	80	Data de início: 1979-80
Leça da Palmeira	41° 12'	8M1'	20	Data de início: 1979-80

O reduzido período de funcionamento de alguns postos, assim como a irregularidade dos registos noutros, impuseram limitações à duração das séries a analisar, embora se considerasse preferível partir de uma base constituída por séries suficientemente longas, em detrimento de um maior número de estações. Acrescente-se que a densidade de estações é substancialmente superior no sector litoral, pelo que poderia resultar um peso excessivo destas estações no cômputo dos valores médios para o conjunto da bacia. Atendendo a estes dois argumentos, não foram considerados os postos de Leça da Palmeira e Ermesinde e a estação de Boa Nova no cálculo dos valores ponderados para a bacia, pelo que os respectivos dados serão apenas tomados em linha de conta na caracterização da distribuição espacial da precipitação.

As séries de precipitação anual foram estudadas tendo por base o ano hidrológico, com início em Outubro. Procedeu-se à análise da homogeneidade das séries, tendo-se adoptado o método das curvas de dupla massa, comparando os totais anuais acumulados de cada uma das estações com os correspondentes totais da série de valores da média das cinco estações. Na série de Paços de Ferreira tendo-se observado uma falha de homogeneidade, perceptível no ano hidrológico de 1956-57, confirmada pela informação da mudança de local do posto em 1956, procedeu-se à correcção dos valores do período anterior àquele ano hidrológico em função dos valores registados no período posterior. No que se refere à estação de Santo Tirso e uma vez que ela foi extinta durante o ano hidrológico de 1981-82, optou-se por considerá-la neste estudo, tendo-se colmatado os valores anuais em falta pela estimação através dos valores das outras estações, pelo método da razão da normal.¹

Sendo impraticável alargar o período de análise aos anos anteriores a 1950, optou-se pela consideração de um período de registos de 37 anos, compreendido entre 1950 - 51 e 1986 - 87.

Para cada uma das séries elaborou-se um teste de consistência das médias amostrais, segundo o método de Sanson-Carette², tendo-se obtido as médias das precipitações anuais calculadas para um número crescente de anos. Os resultados demonstraram que a consideração de um período com a

¹ Thomas Dunne apresenta um método simples de estimar uma falha numa série de precipitações de um posto A, a partir dos valores registados em três ou quatro postos vizinhos, aplicando a seguinte relação: $PA = [1/3 (NA/NB) \times PB + (NA/NC) \times PC + (NA/ND) \times PD]$, em que PB, PC e PD são as precipitações registadas nos três postos vizinhos, no período em que se observou a falha no posto A, e NA, NB, NC e ND são os valores das normais climatológicas da precipitação nos quatro postos. Thomas Dunne e Luna Leopold — *Water in environmental planning*. San Francisco, W. H. Freeman and Corripany, 1978, p. 41.

² Citado in, Denise de Brum Ferreira — *Contribution à Vétude des vents et de l'humidité dans les lies centrales de l'archipel des Açores*, vol. I Relat. 9, linha de Acção de Geog. Física, C. E. G., Lisboa, 1980, p. 93.

duração referida é satisfatória para a caracterização estatística dos registos da precipitação, tanto mais que se evidenciou uma tendência para a estabilização das médias a partir de uma duração de cerca de 30 anos, pelo que a junção de novos valores não exerceria influência suplementar sensível.

1.2. As precipitações anuais

1.2.1. A distribuição espacial dos valores médios anuais da precipitação

A precipitação média anual ponderada para a bacia do Leça foi calculada em 1311 mm. Este valor foi obtido a partir de uma série de valores anuais ponderados para o conjunto da bacia ^{*}, tendo-se aplicado o método de Thiessen com coeficientes de ponderação correspondentes às áreas de influência das cinco principais estações meteorológicas de, respectivamente, 34,7 %, 26,6 %, 20,4 %, 15,4 % e 2,9 % para S. Gens, Pedras Rubras, Paços de Ferreira, Santo Tirso e Serra do Pilar. A adopção deste método foi ditada pela reduzida dimensão da bacia, assim como pela não uniformidade na distribuição da rede udométrica.

A distribuição espacial dos totais anuais de precipitação na bacia do Leça revela-nos o sector de montante como aquele que detém os valores mais elevados, na ordem dos 1600 mm. O sector da bacia mais próximo ao litoral regista valores anuais ainda consideráveis* na ordem dos 1200 mm, não deixando de ser significativa uma amplitude pluviométrica de 400 mm entre os dois sectores extremos numa bacia de dimensões tão reduzidas (fig. 2).

As características pluviométricas nesta área derivam dos factores da dinâmica atmosférica influentes nas regiões temperadas oceânicas, onde se destaca a maior frequência das perturbações de oeste e das situações depressionárias, aliadas à presença dos fluxos marítimos que mantêm ainda as suas propriedades higrométricas nesta área próxima do oceano. As características orográficas da bacia, nomeadamente a existência de altitudes mais elevadas a uma curta distância do litoral, propiciando a existência de vertentes dispostas perpendicularmente aos principais fluxos marítimos, são os responsáveis pelo despoletar dos mecanismos ascensionais determinantes dos maiores volumes pluviométricos nas cabeceiras da bacia. Contudo, o valor médio ponderado de 1311 mm de precipitação é inferior aos das principais bacias hidrográficas do Noroeste Português ², o que se justifica

¹ A série de valores anuais ponderados para a bacia será referida ao longo do texto por série da bacia.

² Segundo dados da D. G. R. A. H. — *Monografias hidrográficas dos principais cursos de água de Portugal Continental*, Lisboa, 1986, os valores médios anuais de precipitação para algumas bacias hidrográficas do Noroeste são: Bacia do Lima - 2100 mm, Bacia do Cávado - 2212 mm, Bacia do Ave no açude de Tougues - 1616 mm, Bacia do Este - 1701 mm, Bacia do Selho - 1748 mm.

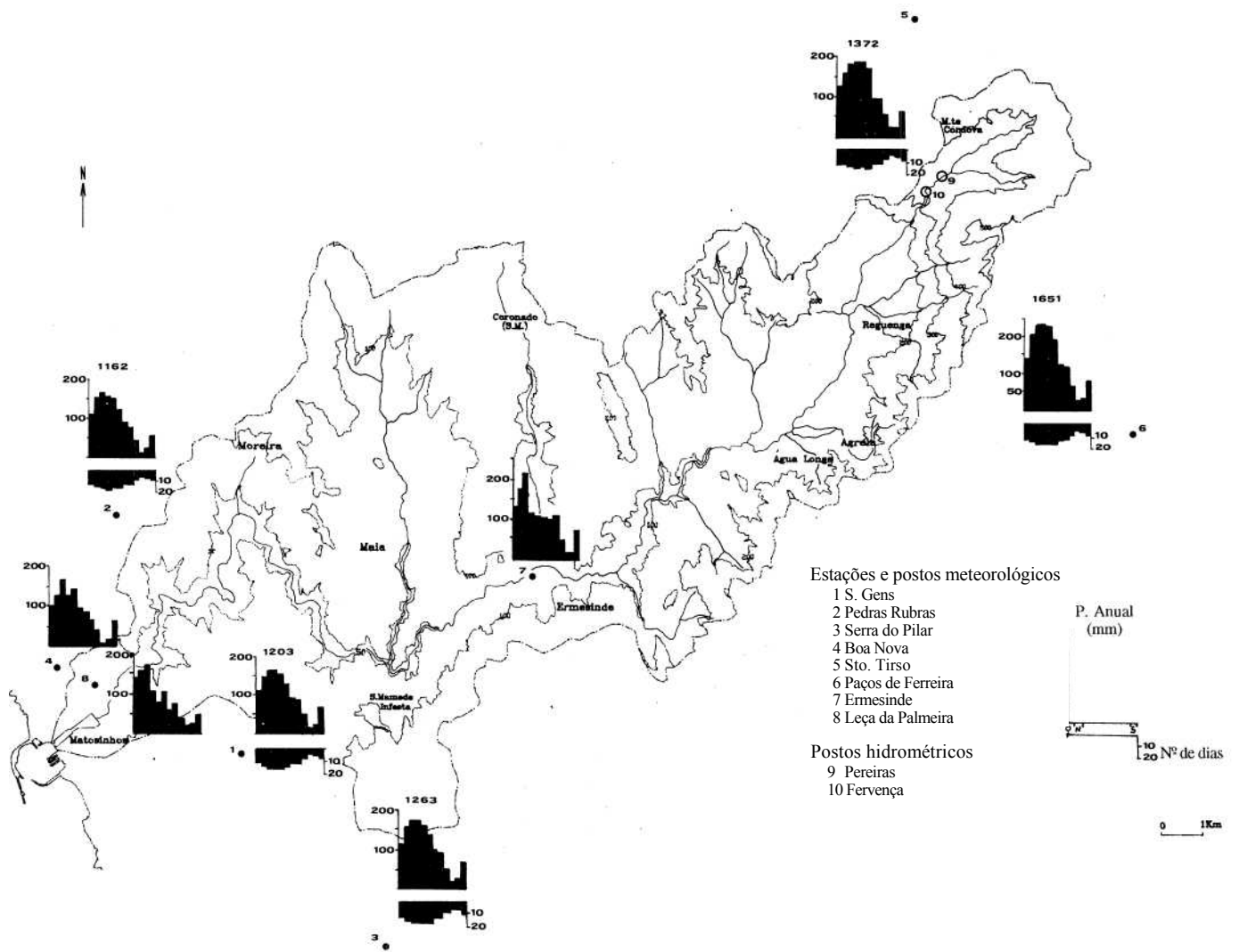


Fig. 2 — Distribuição mensal das precipitações na bacia do Leça, altura (mm) e número de dias (1950-51/86-87).

A Bacia Hidrográfica do Rio Leça

pelo facto de esta ser uma bacia em que, à excepção da secção superior onde se atinge uma altitude máxima de 550 metros, as linhas de cumeada raramente excedem os 200 metros de altitude.

Não obstante a consideração dos valores pluviométricos médios, permitindo a comparação com os valores calculados para outras bacias hidrográficas, o seu interesse é, em muitos casos, posto em causa pela significativa variabilidade interanual dos volumes de precipitação. Torna-se, assim, de capital interesse a análise dos principais parâmetros da variabilidade e a caracterização das séries de precipitação através dos valores mais prováveis, obtida por intermédio da análise frequencial.

1.2.2. A variabilidade das precipitações anuais

A variabilidade das precipitações na área da bacia do Leça, fica bem expressa através dos coeficientes de variação obtidos, com valores compreendidos entre 24 % e 27% e valores da razão entre o volume pluviométrico do ano mais chuvoso e do ano mais seco de 2,5 a 3,1 (quadro II).

Embora não seja evidente uma clara variação espacial da variabilidade pluviométrica na bacia, as estações mais interiores são as que registam uma maior dispersão em relação ao valor pluviométrico médio. Ainda assim e no que se refere aos coeficientes de flutuação, as estações de Serra do Pilar e S. Gens, próximas do litoral, apresentam valores superiores a 3. Isto é, embora no litoral a amplitude entre os extremos da série pluviométrica seja relativamente pronunciada, as características de dispersão do conjunto da série em relação ao valor médio são menos acentuadas.

Igualmente relevante é o facto de os intervalos interquartis aumentarem rapidamente com a altitude e, portanto, com os totais pluviométricos anuais (quadro II), pelo que Paços de Ferreira e Santo Tirso detêm os maiores valores. A estação de Paços de Ferreira, comparativamente com algumas das estações mais litorais, regista um valor do intervalo interquartil de 590 mm, enquanto estas registam valores próximos de 400 mm. Esta conclusão, aliada aos valores obtidos para os coeficientes de variação, é um indicador suplementar da maior variabilidade da precipitação nas estações de altitudes mais elevadas, sendo tal facto motivado pela ocorrência de anos muito chuvosos.

A definição de anos secos e chuvosos a partir dos valores dos quintis das séries anuais¹ (fig. 3) permite evidenciar características basicamente comuns no que respeita à repartição dos anos secos e chuvosos no conjunto da área abrangida pelos postos udométricos de referência. Assim sendo,

¹ Manuel Bettencourt — Frequência da ocorrência de anos secos e chuvosos em Portugal. «O Clima de Portugal», Fase. XXX, Lisboa, I.N.M.G., 1984.

Quadro II — Parâmetros característicos das séries de valores anuais de precipitação (1950-51 / 1986-87)

Estações	Média	Mediana	Valor Máximo	Valor Mínimo	Desvio Padrão	Coef.de Variação	Coef.de Flutuação	P. Máx.- -Mediana	Mediana- -P. Min.	Intervalo interquartil	Coef.de Assimetria
S. Gens	1202,9	1165,0	1912,5	617,3	310,0	0,26	3,1	747,5	547,7	406,2	0,54
Pedras Rubras	1162,4	1131,2	1747,0	689,2	277,0	0,24	2,5	615,8	442,0	360,0	0,55
Serra do Pilar	1262,5	1225,2	1943,9	624,4	313,4	0,25	3,1	718,7	600,8	413,8	0,52
Paços de Ferreira	1651,1	1592,4	2610,4	845,9	451,8	0,27	3,1	1018,0	746,5	589,3	0,52
Santo Tirso *	1372,4	1328,0	2133,0	759,1	386,0	0,26	2,8	805,0	568,9	468,5	0,44
Bacia **	1311,4	1272,3	2032,6	750,3	331,2	0,25	2,7	760,3	522,0	430,2	0,57

* Período considerado (1950-51 / 1980-81)

** Refere-se à série ponderada

Coefficiente de flutuação = Precipitação Máxima / Precipitação Mínima.

Intervalo interquartil = Quartil máximo-Quartil mínimo.

Coefficiente de assimetria = m_3/s^3 , em que m_3 é o momento central de ordem 3 e s^3 é o desvio padrão.

Edite Velhas

as conclusões relativas à série da bacia podem ser tomadas como síntese do comportamento pluviométrico interanual no conjunto da bacia do Leça.

A aplicação, à série da bacia, da técnica dos somatórios acumulados dos desvios dos valores anuais da precipitação em relação à média ^{*}, permite avaliar a tendência geral das variações que sofreu a quantidade de precipitação registada, durante o período considerado (fig. 4).

No período de 1950-51 a 1986-87, constata-se a tendência para um agrupamento dos anos de precipitação anual fraca (abaixo da normal), assim como para os anos de precipitação anual elevada, constituindo sequências de características contrastadas. Cada um destes grupos não regista, contudo, características totalmente homogêneas, quer nos valores da precipitação, quer quanto à sua duração.

São patentes dois períodos particularmente chuvosos, de 1959-60 a 1969-70 e de 1976-77 a 1979-80. O primeiro, embora de maior duração, revelou-se pouco homogêneo, já que inclui alguns anos com uma menor precipitação relativa. Contudo, esta sequência registou, no conjunto das estações disponíveis, valores de precipitação superiores em 11% a 15% relativamente à normal. O ano de 1964-65, incluído neste período, embora climatologicamente muito seco, foi antecedido por vários anos muito chuvosos, pelo que os efeitos de seca hidrológica não se terão feito sentir de forma agravada. O segundo período, sendo mais curto em duração é também muito mais homogêneo nas suas características pluviométricas, tendo registado um incremento das precipitações da ordem dos 27% em relação à normal.

Quanto aos períodos pluviometricamente deficitários, de 1950-51 a 1958-59 e de 1970-71 a 1975-76, o primeiro registou uma precipitação média de 13% a 14% abaixo da normal e enquadrou a sequência mais consistente de anos secos.

Neste enquadramento, é extremamente relevante o facto de a passagem de uma sequência de anos pluviometricamente deficitários para uma sequência de anos pluviosos raramente se fazer por uma transição gradual, mas antes por uma alteração brutal nas características pluviométricas interanuais.

Embora sobressaia, no período em análise, um maior número de anos secos relativamente aos anos chuvosos é, contudo, notório em todas as estações, que os desvios positivos em relação à mediana são de maior grandeza do que os desvios negativos (quadro III). Esta característica torna-se ainda mais evidente no caso do contraste entre anos extremamente chuvosos e extremamente secos. Assim, os valores elevados obtidos para os

¹ Esta técnica foi aplicada por M^{*} João Alcoforado à série secular das precipitações do posto de Lisboa-Jardim Botânico. Ver: M^{*} João Alcoforado - *Quelques remarques sur l'évolution séculaire des précipitations à Lisbonne*. " Trés estudos de Geografia Física ", rel. L 21, linha de Acção de Geog. Física, C.E.G., Lisboa, 1984, p. 12-27.

parâmetros caracterizadores da variabilidade são-no, em grande parte, devidos à presença de anos particularmente chuvosos.

Tomando os valores correspondentes à série da bacia, observa-se que um ano considerado chuvoso pode registrar um desvio até 23% do valor da mediana, enquanto que o ano seco não vai além dos 20%. Por outro lado, o

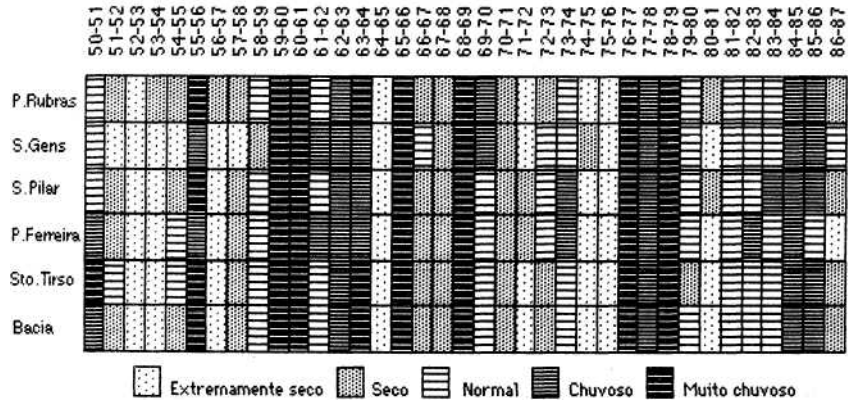


Fig. 3 — Definição de anos muito chuvosos, chuvosos, nonnais, secos e muito secos nas séries de precipitação anual das estações da bacia do Leça (1950 - 51 / 1986 - 87)

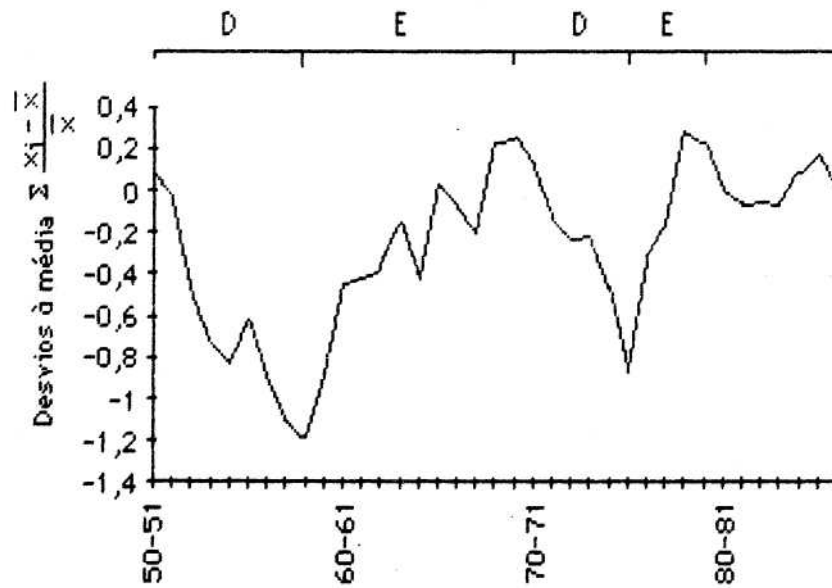


Fig. 4 - Curva integral dos desvios da precipitação anual em relação ao valor médio (série ponderada da bacia 1950-51/1986-87)

A Bacia Hidrográfica do Rio Leça

ano extremamente seco pode registar um valor pluviométrico cerca de 41% inferior ao da mediana mas, para o caso do ano muito chuvoso esse desvio pode atingir os 60%. Saliente-se, contudo, as significativas diferenciações entre as estações que compõem este estudo. A este respeito, as séries pluviométricas de Paços de Ferreira e S. Gens confirmam a tendência, já apontada, de que no conjunto da bacia são aquelas que mais se destacam pela sua variabilidade, enquanto Pedras Rubras é a que menor variabilidade apresenta.

Quadro IH - Desvios máximos e mínimos (%) em relação à mediana, dos valores de precipitação anual, agrupados segundo os quintis (1950-51 / 1986-87)

ESTAÇÕES	Med 01 Q2 03				
	04				
Bacia *	41 -21	20 - 9	7 - 6	7 -23	25-60
S. Gens	47-21	20 - 5	4 - 6	9 -24	25-64
Pedras Rubras	39- 17	16 - 10	9 - 4	5 -23	30-54
Serra do Pilar	49- 18	17 - 7	5 - 6	7 -23	27-59
Paços Ferreira	47-22	18 - 6	5 - 7	8 -21	22-64
Santo Tirso	43-22	14 - 6	4 - 5	7 -30	32-61
Características dos anos	Extremamente secos	Secos	Normais	Chuvosos	Muito chuvosos

(* série ponderada)

É, assim, possível concluir que nesta área domina uma dissimetria entre os valores extremos, havendo uma maior probabilidade de ocorrência de quantitativos pluviométricos anuais extremamente elevados do que extremamente fracos.

1.2.3. Distribuição probabilística dos valores anuais de precipitação

Procedeu-se ao ajustamento das distribuições empíricas de valores anuais de precipitação das cinco estações principais e da série de valores anuais ponderados da bacia aos modelos de distribuição normal (Gauss) e log-normal. O último modelo foi utilizado pelo facto de qualquer uma das séries anuais ter revelado uma ligeira assimetria, de modo que o modelo de distribuição normal poderia não se revelar o mais adequado ao ajustamento.

Para o ajustamento gráfico os valores das séries foram afectados de uma probabilidade empírica (F_i), através da fórmula de Weibull *, a de uso

¹ $F_i = m / (N+1)$, em que N é o total de efectivos da amostra, m é o número de ordem dos efectivos ordenados segundo grandeza crescente, pelo que $m=1$ para o menor valor. (Weibull, 1939), citado em V.T. Chow - Handbook of Applied Hydrology. New York, McGrawHill Book Co., 1964, p. 8.29.

mais generalizado. Os ajustamentos foram completados pela análise da adaptabilidade dos modelos com base nos testes estatísticos de Qui-quadrado e de Von Mises -Smirnov. Os testes evidenciaram uma não rejeição dos ajustamentos das séries amostrais a qualquer um dos modelos, para um nível de confiança de 0,05, mas para o modelo log-normal a hipótese de não rejeição verifica-se para níveis superiores a 0,10. Constatou-se ainda, no que respeita à lei de distribuição normal, que o ajuste fornece, geralmente, valores inferiores aos observados na zona das baixas probabilidades, o que reforçou a conclusão de que a lei log-normal é a que melhor se ajusta aos valores anuais de precipitação.

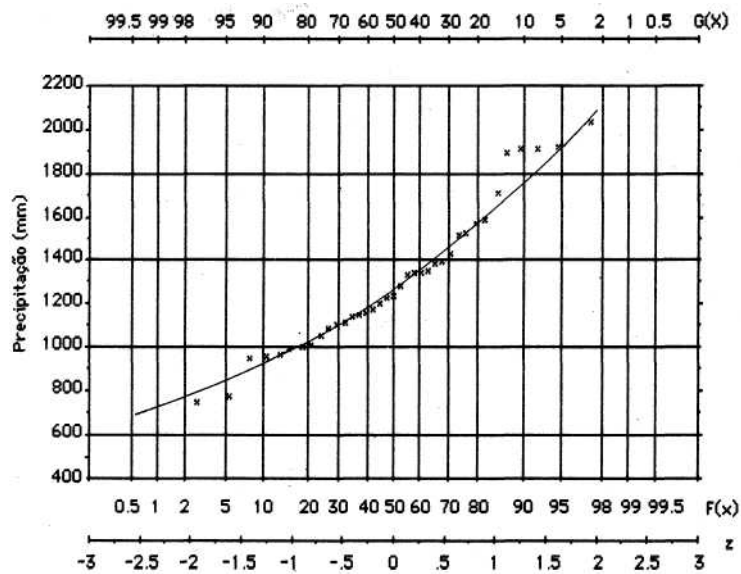


Fig.5 — Ajustamento à lei de distribuição teórica Log-Normal (Galton) dos valores anuais da precipitação ponderada na bacia do Leça (1950-51 / 1986-87).

Da análise efectuada representa-se na fig. 5 o resultado gráfico obtido para a série de valores ponderados na bacia e no quadro IV os valores anuais de precipitação, para as seis séries em análise, que são igualados ou superados para várias probabilidades.

Os resultados reforçam as conclusões anteriores quanto à variabilidade espacial dos totais pluviométricos anuais. Seja qual for o nível de probabilidade considerado, o padrão da distribuição dos valores de precipitação é idêntico, isto é, verifica-se um incremento das precipitações no sector interior da bacia.

Quadro IV — Valores das precipitações anuais correspondentes a várias probabilidades de excedência

ESTAÇÕES	5%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	95%
	(D)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)
S. Gens	1785,9	1620,1	1446,1	1333,0	1243,3	1165,0	1091,7	1018,2	938,6	837,8	759,2
Pedr. Rubras	1663,3	1528,8	1378,1	1279,3	1200,4	1131,2	1065,9	1000,2	928,5	836,9	767,7
S. do Pilar	1846,8	1686,4	1510,7	1396,0	1304,9	1225,2	1150,4	1075,4	993,7	890,2	811,4
Paç. Ferreira	2475,4	2259,1	2002,6	1836,9	1706,1	1592,4	1486,3	1380,5	1266,2	1122,5	1018,2
Santo Tirso	2033,9	1853,9	1652,6	1521,9	1418,3	1328,0	1243,5	1158,9	1067,2	951,3	864,6
Bacia *	1919,8	1751,9	1569,1	1449,8	1355,1	1272,3	1194,5	1116,5	1031,6	924,0	849,0

(* Série ponderada)

Para as estações disponíveis, verifica-se que os valores correspondentes à probabilidade de excedência de 20% são mais contrastados do que os de probabilidade de 80 %, no primeiro caso com uma amplitude entre 1400 mm e 2000 mm, no segundo caso desde pouco mais de 900 mm até valores escassamente superiores a 1200 mm. Este facto é revelador da assimetria positiva das distribuições de frequência dos totais anuais

No sector da bacia mais próximo do litoral e a altitudes inferiores a 100 metros, a probabilidade de se atingir ou superar valores da ordem dos 1000 mm anuais é de cerca de 80 % em Serra do Pilar e de 70 % em S. Gens e Pedras Rubras. No interior da bacia, um valor desta ordem de grandeza tem uma probabilidade de ocorrência superior a 90 %. Ainda, no sector interior da bacia, regista-se uma probabilidade de cerca de 6 em cada 10 anos de os totais anuais serem superiores a 1500 mm, enquanto que no litoral apenas 2 em cada 10 anos registam valores superiores a tal grandeza.

No sentido de analisar com maior detalhe os totais pluviométricos anuais de carácter excepcional, seja pela abundância ou pela escassez relativas, atentemos nas frequências extremas de 5 %, 10 %, 90 % e 95 %. Os valores correspondentes a 90 % e 95 % (col. 10 e 11) representam os totais pluviométricos alcançados no máximo, por 10 % e 5 % dos anos mais secos, correspondendo-lhes períodos de retorno de, respectivamente, um e dois decénios. Os traços fundamentais da distribuição dos totais anuais cuja probabilidade de não superarem o mais seco de 10 anos tomados ao acaso, indica valores da ordem dos 850 mm no litoral e de 1100 mm no interior da bacia. As quantidades para períodos de retorno de 20 anos apresentam um padrão idêntico na bacia, sendo os valores cerca de 100 mm inferiores aos anteriormente referidos.

Os valores de 5% e 10% (col. 1 e 2) representam as precipitações atingidas em, pelo menos, 5% e 10% dos anos de maior pluviometria, respectivamente. As precipitações anuais provavelmente alcançadas ou superadas pelo mais chuvoso de 10 anos ao acaso, registam cerca de 1600 mm no litoral e mais de 2000 mm no interior da bacia, sendo os valores para períodos de retorno de 20 anos superiores em cerca de 150 a 200 mm.

1.3. *O ritmo anual das precipitações*

Na área onde se insere a bacia do Leça, o carácter da variabilidade interanual dos quantitativos pluviométricos, já evidenciado para os valores anuais, apresenta para períodos de duração inferior ao ano, uma tendência para um aumento considerável, tanto maior quanto mais curta à duração temporal considerada. Tais características de variabilidade das séries mensais e sazonais repercutem-se na definição e delimitação temporal da estação pluviosa em cada ano.

A Bacia Hidrográfica do Rio Leça

Uma vez que na bacia do Leça os principais contrastes pluviométricos se estabelecem entre o sector litoral e o sector interior, daremos especial relevância, nesta análise, às estações de Pedras Rubras e Paços de Ferreira, consideradas como representativas desses sectores, e à série ponderada da bacia, representativa das características pluviométricas de conjunto da área.

1.3.1. O enquadramento temporal da estação pluviosa

No sentido de evidenciar as características do regime pluviométrico na bacia, cada um dos registos das seis séries de precipitação foram analisados em função dos quantitativos das respectivas precipitações mensais.

A partir da análise frequencial, elaborada para o período de 1950-51 a 1986-87, determinou-se o mês ou conjunto de meses que mais frequentemente se afirmam como os mais pluviosos.

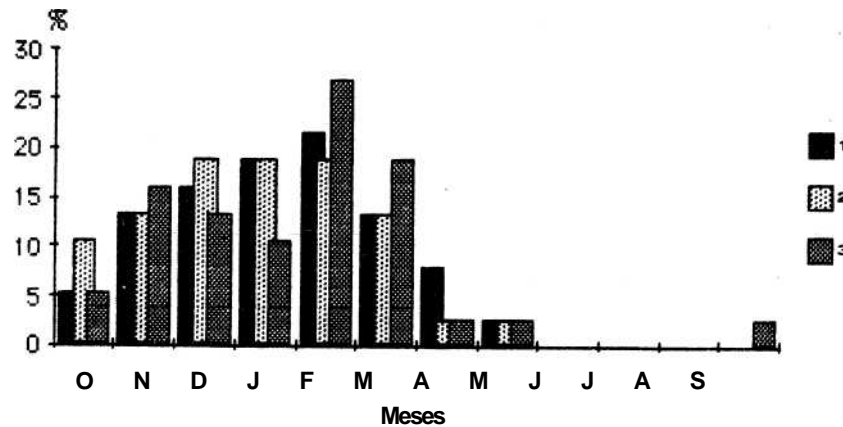


Fig. 6 - Meses mais pluviosos nos anos hidrológicos, em percentagem de frequência (1950 - 51 / 1986 - 87)

1. Série ponderada da bacia; 2. Pedras Rubras; 3. Paços de Ferreira

O mês de Fevereiro é aquele que mais frequentemente se constitui como o mês mais pluvioso, embora sejam visíveis algumas diferenças espaciais na bacia (fig. 6). Enquanto que em Pedras Rubras, os meses de Dezembro e Janeiro registam uma frequência idêntica à de Fevereiro, em Paços de Ferreira este mês destaca-se dos restantes e Novembro e Março apresentam, inclusivamente, uma frequência superior à de Dezembro e Janeiro. O facto de Fevereiro surgir destacado nesta análise não é mais do que um forte indicador da extrema variabilidade da sua precipitação mensal,

já que em termos de regime médio, os quantitativos registados neste mês são inferiores aos de muitos outros meses da estação pluviosa *. Por outro lado, os meses de Junho, Julho e Agosto nunca foram o mês mais pluvioso, aos quais se acrescenta Setembro na área da bacia mais próxima ao litoral. São, assim, os meses de Inverno e início de Primavera aqueles que mais frequentemente se evidenciam como meses mais pluviosos, constituindo o corpo central da estação chuvosa.

Quadro V - Valores dos coeficientes de variação (%) das séries de precipitação mensal (1950-51/1986-87)

ESTAÇÕES	0	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S
S. Gens	79	64	71	58	67	57	65	67	97	115	89	69
Pedras Rubras	75	61	72	60	64	59	64	60	94	124	93	77
Serra Pilar	78	61	70	59	69	54	65	64	95	112	85	71
P.de Ferreira	78	70	79	68	74	62	68	66	102	110	86	73
Santo Tirso	75	66	82	64	74	55	72	68	105	136	97	70
Bacia*	75	64	73	61	68	58	66	64	95	106	84	68

(* série ponderada)

Desta análise resultam, contudo, conclusões parciais, já que se atendermos às características da variabilidade das precipitações mensais, os coeficientes de variação apresentam valores bastante elevados, mesmo nos meses considerados da estação pluviosa (quadro V). Os meses de Junho a Agosto são os que apresentam maior variabilidade, que se fica a dever ao facto de, em determinados anos de invernos secos, as chuvas primaveris se prolongarem até ao início do verão, e no caso de Julho e Agosto por serem os meses que apresentam maior frequência de precipitações reduzidas ou nulas. Contudo, os restantes meses, nomeadamente os da estação fria, apresentam uma variabilidade pluviométrica acentuada que se evidencia no facto de, nos 37 anos de registos, tanto poderem ser dos meses mais pluviosos como dos mais secos.

¹ S. Daveau demonstra, para um conjunto de oito estações repartidas pelo continente, que a precipitação média de Fevereiro é sempre superada pelos valores registados em Novembro, Dezembro e Janeiro e mesmo por Março em algumas estações meteorológicas. Contudo, acaba por concluir que "... a curta estação seca que se manifesta por vezes durante o inverno português é de duração, data e características muito variáveis. Parece centrar-se de preferência em Fevereiro no período de 1931-60, mas este facto não pode de forma nenhuma, ser elevado a lei geral ". S. Daveau - *Répartition et rythme des précipitations au Portugal*. "Memórias do C.E.G.", n^o 3, Lisboa, 1977, p. 49 e 50.

A Bacia Hidrográfica do Rio Leça

A constatação anterior poderá ser comprovada pela análise da fig. 7 em que se consideraram os meses classificados em quatro grupos, consoante a quantidade relativa de precipitação recebida em cada ano, e ainda um grupo dos meses completamente secos. Definiu-se este agrupamento desde o primeiro quartil que engloba os três meses mais chuvosos, até um quarto grupo correspondente aos três meses menos chuvosos, determinando-se para cada mês a frequência com que se inclui em cada grupo¹.

A probabilidade para cada um dos meses de Novembro a Março de se incluírem no primeiro quartil (um dos três meses mais chuvosos) é de 38% a 54%, revelando o mês de Outubro uma probabilidade de apenas cerca de 25%, isto é, será um dos três meses mais chuvosos apenas em 1 de cada 4 anos.

Fevereiro, o mês que analisado isoladamente se constituía como o mais frequentemente pluvioso, não se apresenta agora destacado em relação aos restantes já que, mercê da sua elevada variabilidade, pode incluir-se em qualquer um dos quartis definidos.

No sector mais litoral, representado por Pedras Rubras, são os meses de Novembro e Janeiro aqueles que registam a probabilidade de, um em de cada dois anos, serem um dos três meses mais chuvosos, enquanto em Paços de Ferreira são Janeiro e Março. De qualquer modo, a variabilidade está bem marcada, já que qualquer um destes meses pode incluir-se nos demais quartis e inclusivamente podem ser um dos meses mais secos do ano. Em Pedras Rubras, Dezembro nunca se constituiu como um dos três meses mais secos, o que já não acontece em Paços de Ferreira onde inclusivamente Novembro tem uma ligeira probabilidade de registar precipitação nula.

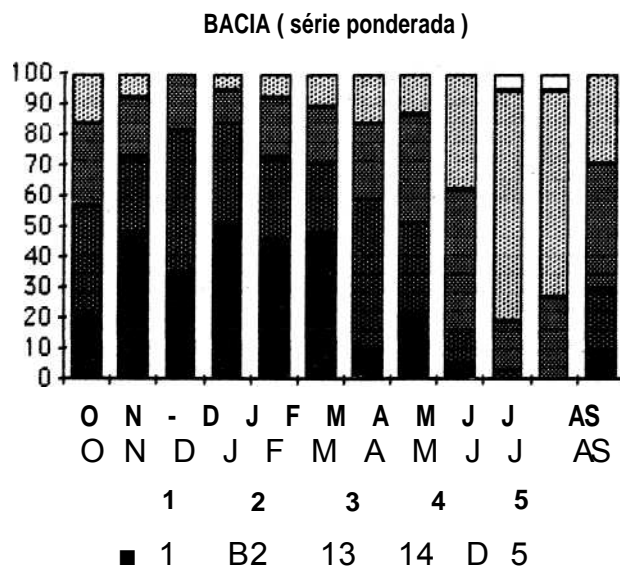
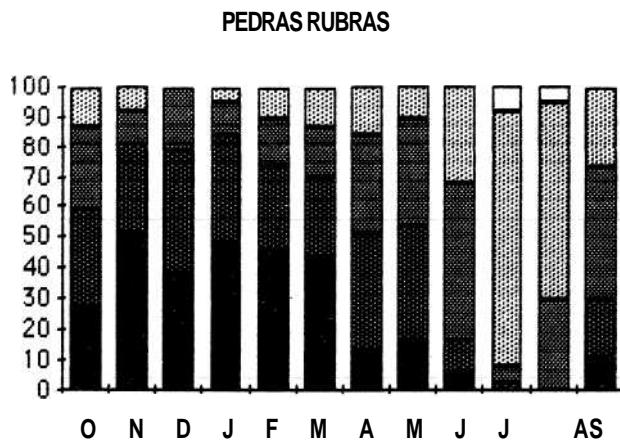
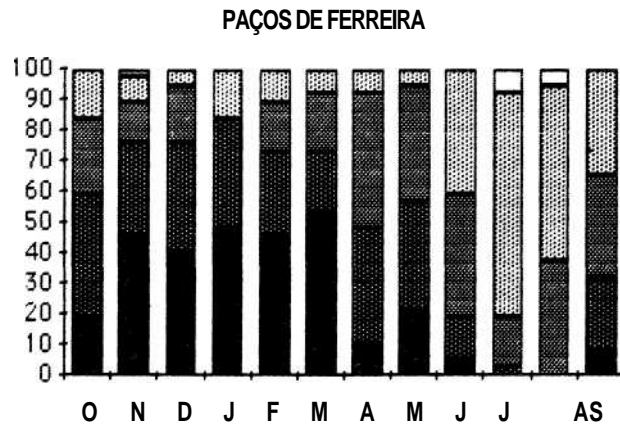
A frequência com que os meses de Novembro a Março se afirmam como um dos seis mais chuvosos do ano é francamente elevada, superior a 70% nos dois sectores da bacia. Embora Abril seja um mês menos frequentemente pluvioso, Maio apresenta um recrudescimento no seu nível percentual, nomeadamente em Paços de Ferreira, aproximando-se do valor de Outubro para o segundo quartil, com cerca de 57%.

Julho e Agosto nunca se afirmaram como um dos meses mais chuvosos do ano e registaram uma probabilidade muito elevada de serem um dos três meses mais secos do ano, com valor superior a 70% em Pedras Rubras e a 65% em Paços de Ferreira.

O enquadramento temporal da estação chuvosa, pelo menos em termos médios, não é fácil de estabelecer. A este respeito afirmava Oscar Saturnino, em 1932, " ... evidentemente que a irregularidade do tempo que é fatal nesta zona marítima, fará oscilar em cada ano, a amplitude das estações. "²

¹ S. Daveau, op. cit., p. 47.

² Oscar Saturnino - *Elementos gerais da climatologia da região Porto- Gondomar-Gaia*, Separata do nº 2 da Revista " A Terra ", Porto, 1932.



1 — 1º quartil (um dos três meses mais húmidos), 2- 2º quartil, 3- 3º quartil,
 4 — 4º quartil (um dos três meses mais secos), 5- meses secos (sem precipitação)

Fig. 7 - Meses classificados em função da quantidade de precipitação registada, por anos hidrológicos. (1950-51/1986-87)

O núcleo central da estação pluviosa tende a definir-se de Novembro a Março, apresentando Abril-Maio características de transição mais marcadas do que o mês de Outubro, o que não impede que a estação pluviosa se alargue frequentemente de Outubro a Maio. O verão, de características secas, apresenta uma duração variável interanualmente, mas com o seu núcleo bem centrado em Julho e Agosto.

1. 3. 2. *As precipitações mensais - os regimes característicos prováveis*

Atendendo à extrema variabilidade das precipitações mensais, a consideração dos valores médios revela um quadro frequentemente afastado da realidade. Para além do mais, e numa óptica de aplicabilidade dos resultados, revela-se como mais razoável a obtenção dos valores de precipitação associados a diferentes níveis de probabilidade de ocorrência.

Nesta perspectiva, procedeu-se ao ajustamento das distribuições teóricas log-normal e gama incompleta às séries dos valores mensais, tendo os resultados obtidos para a última sido adoptados, devido à melhor qualidade do ajustamento. Em consequência do elevado conjunto de cálculos envolvidos, o critério utilizado para a definição do melhor ajustamento consistiu no método gráfico e não em testes estatísticos.

Estabelecidas as probabilidades de ocorrência dos valores de precipitação mensal e ponderadas as várias possibilidades de apresentação dos resultados, optámos por considerar determinados valores discretos da variável e a probabilidade desses valores serem excedidos, expressos graficamente em calendários de probabilidades¹.

Sem prejuízo das considerações anteriores, devemos, no entanto, referir que os valores obtidos correspondentes às probabilidades extremas deverão sempre ser analisados com certa reserva. Para durações temporais da ordem do mês, em que, por via de regra, as características de variabilidade são bastante acentuadas, as séries consideradas suficientemente longas para a análise das precipitações anuais nem sempre o são para a análise mensal. Tal facto acaba por se reflectir em dificuldades de ajustamento na zona das baixas e máximas probabilidades, obtendo-se frequentemente valores respectivamente excessivos e inferiores aos observados.

A análise da fig. 8, representando os calendários de probabilidades das precipitações mensais, nas estações de Pedras Rubras e Paços de Ferreira, mais uma vez consideradas representativas dos sectores litoral e interior da bacia, permite diferenciar um regime de estação pluviosa, um regime de verão e um regime dos meses de transição.

¹ C. Péguy - *Une nouvelle expression graphique de la variabilité interannuelle des climats: les calendriers de probabilité*. *Bull. de l'Association des Géographes Français*, Paris, 431-432, 1976, p. 5-11.

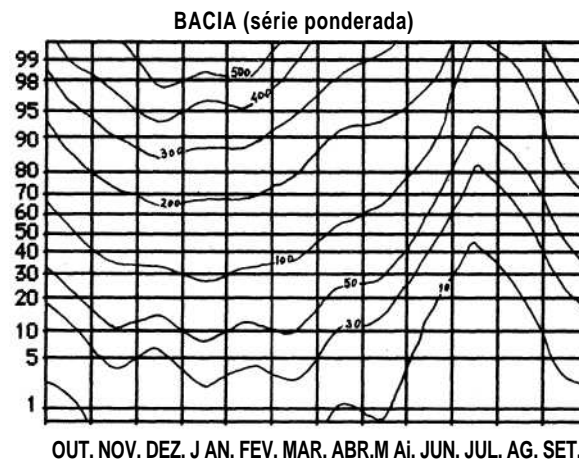
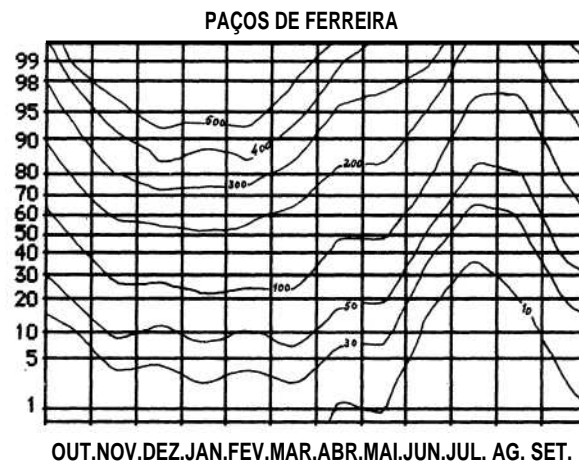
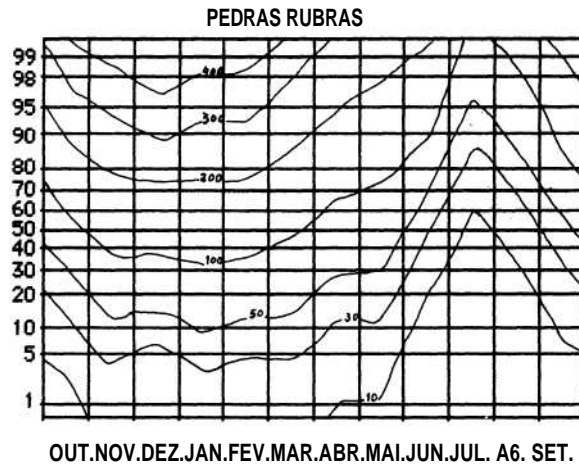


Fig. 8 — Calendários de probabilidades das precipitações mensais de Pedras Rubras, Paços de Ferreira e para a série ponderada da bacia (1950-51 / 1986-87).

a) Regime de estação pluviosa

Tomando como referência os resultados obtidos para a série da bacia, a estação pluviosa engloba basicamente os meses de Novembro a Março, aqueles em que se verifica uma maior probabilidade de ocorrência de valores elevados de precipitação.

Neste período, de Novembro a Março, a probabilidade de ocorrência de valores baixos de precipitação, até à ordem dos 50 mm, é bastante reduzida, probabilidade que não excede os 11% em Paços de Ferreira e os 14% em Pedras Rubras, ambos no mês de Dezembro.

Assim, na zona das baixas frequências é o mês de Janeiro que apresenta os valores mais elevados de precipitação embora, Março em Paços de Ferreira e Novembro em Pedras Rubras, registem valores próximos dos de Janeiro. Os meses de Dezembro e Fevereiro constituem-se como mínimos, o primeiro especialmente bem marcado em Pedras Rubras, o segundo em Paços de Ferreira.

A curva dos 100 mm de precipitação apresenta um traçado sub-horizontal de Novembro a Março em Paços de Ferreira e de Novembro a Fevereiro em Pedras Rubras, indicando assim, uma probabilidade de ocorrência do quantitativo semelhante ao longo deste período. Contudo, a probabilidade de ocorrência de uma precipitação até esta ordem de grandeza é ainda relativamente baixa, nomeadamente em Paços de Ferreira. Nesta estação, a probabilidade de ocorrerem valores superiores a este limiar é da ordem dos 75%, isto é, em 3 de cada 4 anos chove mais de 100 mm em qualquer um dos meses da estação pluviosa. Em Pedras Rubras, o valor de 100 mm aproxima-se do valor correspondente à mediana, que nestes meses varia entre 123 mm e 149 mm.

A partir deste valor e nas probabilidades mais elevadas, observa-se uma inversão no padrão de distribuição das chuvas, pois Dezembro vai-se progressivamente destacando como o mês de máxima precipitação, retirando essa posição a Janeiro. Novembro em Pedras Rubras e Março em Paços de Ferreira tornam-se progressivamente menos chuvosos do que Fevereiro, que para precipitações de valor acima de 300 mm iguala ou ultrapassa ligeiramente a probabilidade de ocorrência registada em Janeiro.

As precipitações mensais de valor superior a 300 mm têm em Paços de Ferreira uma probabilidade de ocorrência ainda relativamente importante entre Dezembro e Fevereiro, de cerca de 3 em cada 10 anos. Contudo, em Pedras Rubras esse mesmo valor regista uma probabilidade bastante inferior, de cerca de 1 em cada 10 anos. Valores mais elevados, superiores a 500 mm podem ainda ocorrer em Paços de Ferreira com uma probabilidade próxima de 1 em cada 10 anos, mas em Pedras Rubras praticamente não têm expressão.

b) Regime de verão

Corresponde ao conjunto de meses que registam menor precipitação, compreendendo o período de Junho a Agosto. Embora Julho e Agosto sejam os mais caracteristicamente secos, incluímos neste grupo o mês de Junho fundamentalmente pela diminuição acentuada das precipitações de Maio para Junho.

No sector litoral, em Pedras Rubras, Julho é destacadamente o mês que regista os menores valores de precipitação, seja qual for o nível de probabilidade considerado. Em Paços de Ferreira, no interior, igualmente é o mês de Julho o mais seco nos níveis de probabilidades baixas e intermédias, mas nas probabilidades mais elevadas, Agosto iguala os níveis de precipitação de Julho. Conclui-se, portanto, que no litoral, Julho é nitidamente mais seco do que Agosto mas, no interior da bacia, o grau de segura pluviométrica entre ambos é basicamente idêntico.

No que respeita aos quantitativos, Julho regista um valor para a probabilidade de 50%, de 8 mm em Pedras Rubras e de 18 mm em Paços de Ferreira. A probabilidade de ocorrência de um valor superior a 50 mm é inferior a 5%, e mesmo em Paços de Ferreira não vai além dos 17,5%.

c) Regime dos meses de transição

O mês de Setembro demarca-se nitidamente dos meses de verão pelas maiores probabilidades de ocorrência de valores relativamente elevados. Em Paços de Ferreira, Setembro tem já uma probabilidade de 29% (cerca de 3 em cada 10 anos) de registar uma precipitação superior a 100 mm. Outubro regista valores de precipitação mais elevados e, embora englobado no grupo dos meses de transição, apresenta algumas características interessantes, nomeadamente na estação de Pedras Rubras. Até ao nível de probabilidade dos 60% correspondem-lhe valores de precipitação inferiores às do mês de Março, um mês da estação pluviosa, mas, nas probabilidades mais elevadas, regista valores de precipitação superiores. Assim, Outubro é um mês de maior variabilidade pluviométrica, e nalguns anos ele comporta-se como um mês já da estação pluviosa.

Abril e Maio correspondem aos meses de transição do Inverno pluvioso para o verão seco. Assim, Abril apresenta um decréscimo acentuado das precipitações em relação a Março, mas esta tendência não se mantém em Maio, no nível das baixas probabilidades em Pedras Rubras, e praticamente a todos os níveis de probabilidade em Paços de Ferreira. Enquanto que no litoral há uma diminuição progressiva das chuvas durante o período de transição primaveril, no interior da bacia assiste-se a uma maior resistência ao decréscimo pluviométrico. Parece poder concluir-se que no litoral há uma maior probabilidade de precocidade da estação pluviosa, enquanto no interior a estação de transição primaveril termina mais tardiamente.

2. AS PERDAS POR EVAPOTRANSPIRAÇÃO

2.1. *Conceitos e objectivos gerais*

O conhecimento dos valores de evaporação revela-se importante não só pelo contributo que fornece à caracterização climática da área mas, no caso de estudos de aplicação hidrológica, o interesse é suplementar, pelo facto de se tornar possível a caracterização do balanço hidrológico numa bacia hidrográfica.

Nas situações em que as observações hidrométricas relativas a caudais são inexistentes ou insuficientes há um interesse acrescido pela quantificação da evapotranspiração, já que os valores da água evapotranspirada, equacionados aos da precipitação e às variações de armazenamento das águas subterrâneas, permite a estimação dos volumes disponíveis para o escoamento. Assim, numa escala temporal suficientemente lata em que não intervenham alterações nos volumes dos armazenamentos subterrâneos, a consideração dos valores das normais do ano hidrológico permite-nos perspectivar a evapotranspiração como a parcela da precipitação que é devolvida à atmosfera, em contraponto com aquela que origina escoamento. É certo que a um nível de análise temporal mais restrito, há que equacionar as variações das reservas hídricas, uma vez que a resposta à precipitação, em termos de escoamento ou evapotranspiração, não é imediata e, na ausência de precipitação, os valores das perdas estão na dependência directa das reservas de água da bacia.

Os dois fenómenos, evaporação dos solos e transpiração dos cobertos vegetais, que no seu conjunto constituem a evapotranspiração, têm uma mesma natureza física já que se trata da emissão de um fluxo de vapor de água para a atmosfera, tendo por motor um fenómeno basicamente energético¹. Verifica-se, assim, uma dependência directa da capacidade evaporante do ar, que por sua vez é função de um conjunto de parâmetros climáticos onde sobressaem a radiação solar, a humidade relativa do ar, a temperatura e a velocidade do vento. As características da superfície evaporante, o tipo e estrutura do solo e dos cobertos vegetais, a capacidade de armazenamento de humidade dos solos são, por outro lado, factores que impõem condições diversas à efectivação do fenómeno.

No contexto deste estudo, realça-se a conveniência do tratamento da evapotranspiração potencial como grandeza que seja basicamente função das condições atmosféricas, nomeadamente da disponibilidade energética colocada em termos de demanda de água imposta pelas condições climáticas.

¹ Claude Lecarpentier - *Véapotranspiration potentielle et ses implications géographiques*. "Annales de Géographie", Paris, 463 Maio-Jun., 1975, p. 258.

A Bacia Hidrográfica do Rio Leça

Assim, ela é tomada como um tipo de evapotranspiração de referência, a partir da qual é possível a obtenção de valores de evapotranspiração real, função das situações particulares de alimentação hídrica e de ocupação dos solos permitindo-nos avaliar a estrutura do balanço hidrológico da bacia hidrográfica.

2.2. Mensuração da evaporação e evapotranspiração -quadro de referência

A obtenção de valores da evapotranspiração é tornada possível quer através de medições directas a partir dos lisímetros, quer por estimativa através de métodos de cálculo que envolvem expressões de complexidade variável.

A inexistência de uma rede evaporimétrica básica na área da bacia do Leça tem como consequência algumas limitações ao nível da informação disponível. Do conjunto de estações e postos utilizados neste estudo a maioria dispõe de valores de evaporação obtidos por evaporímetros tipo Piche, e a única tina evaporimétrica e lisímetro existentes na área próxima à bacia estão instalados na estação de Porto-Serra do Pilar.

O lisímetro a que se faz referência é constituído por um bloco de solo com cobertura de relva, introduzido num tanque de betão, e por um sistema de alimentação e drenagem de água. A concepção deste instrumento baseia-se nos princípios genéricos do balanço hídrico, nomeadamente na contabilização dos valores de input e output de água do bloco de solo e cobertura de relva. O processo subjacente não envolve a medição da variação do armazenamento de água no solo pois este é suposto constante, pela pressuposição de que o teor de humidade do solo se manterá a um valor correspondente à capacidade de campo¹. Esta condição seria, assim, satisfeita pelo fornecimento de água, sempre que necessário, a partir de um sistema de dois tanques conectados entre si e por sua vez ligados ao bloco de

¹ A capacidade de campo ou retenção específica de um solo relaciona o volume de vazios ocupados pela água em situação de drenagem livre e o volume total do solo e " resulta de um equilíbrio entre as forças de retenção (pressão capilar, forças de adesão, pressão osmótica...) e as forças da gravidade " (P. Brochet e N. Gerbier - *U évapotranspiration, aspect agrométéorologique*. " Monographie de la Météorologie Nationale", (65), Paris, 1975, p. 11), correspondendo assim, ao limite superior do teor de água utilizável pelas plantas.

À medida que as raízes vão extraindo água do solo têm de exercer uma força de sucção cada vez maior, sendo possível definir um limite inferior da capacidade de água utilizável pelas plantas que se designa por ponto de emurchecimento e que corresponde à parcela de água abaixo da qual as forças de sucção das raízes são insuficientes para extrair água do solo. Ver J. Botelho da Costa - *Caracterização e constituição do solo*, 3ª ed., Lisboa, Fundação Calouste Gulbenkian, 1985.

solo com a intervenção de um sistema de bóias *. A existência de água excedentária, nomeadamente de precipitação que não é utilizada pelo solo e espécies vegetais, é drenada por um sistema de escoamento e contabilizada através de aparelho próprio. Assim sendo, e uma vez que o fornecimento de água ao bloco solo/planta é tido como ilimitado, pressupõe-se que as condições de capacidade de campo estão sempre garantidas, pelo que a evapotranspiração não seria mais do que um valor residual resultante da diferença entre água de precipitação ou de alimentação e da água escoada.

Nestas condições, os valores observados corresponderiam a uma evapotranspiração potencial da relva, normalmente assumida como evapotranspiração de referência de " uma superfície extensa de relva verde, com uma altura uniforme de 8 a 15 cm, crescendo activamente, cobrindo completamente o solo e sem restrições de água."² Em nosso entender, o pressuposto de que a humidade do solo se mantém à capacidade de campo não é válido em todas as situações temporais, de tal forma que os valores medidos neste evapotranspirómetro correspondem a uma evapotranspiração real de relva que nos meses de inverno de precipitação elevada poderão aproximar-se de uma evapotranspiração real máxima.

As observações efectuadas através do evaporímetro de Piche e da Tina evaporimétrica contribuem para a quantificação da evaporação perspectivada, respectivamente, na capacidade evaporante do ar e na evaporação a partir de uma superfície livre de água. Como é óbvio, as condições subjacentes estão bastante afastadas daquelas que envolvem o processo integral de evapotranspiração, pelo que a análise dos dados terá de ser sempre complementada com os valores da evapotranspiração medida ou estimada.

Pode-se afirmar que as deficiências de informação aqui apontadas são extensíveis a todo o país, já que, a não sistematização das medições de evapotranspiração, origina dificuldades várias nomeadamente ao nível da calibração da variável. Estes aspectos ponderados determinam que, em muitos casos, a variável seja calculada através de métodos indirectos com base em registos de outras variáveis hidrometeorológicas, factores da evapotranspiração.

¹ A não existência de qualquer outro lisímetro próximo da área em estudo impossibilita a comparação e a eventual calibração deste sistema. É de referir os inconvenientes resultantes de uma deficiente instalação dos lisímetros e da manutenção do sistema de alimentação. Torna-se indispensável eliminar as condições que promovam o efeito de oásis e prover à boa manutenção do sistema de bóias, no sentido de assegurar a permanência nas condições de capacidade de campo.

² Terminologia enquadrada na proposta da FAO para estabelecimento de uma base terminológica comum. Ver Luís S. Pereira e M* Isabel F. R. Ferreira- *Conceitos de base e nomenclatura relativos à evapotranspiração das culturas*. "Recursos Hídricos", A.P.R.H., Lisboa, 4(1), 1983, p. 19-25.

2. 3. *Análise crítica aos dados da evaporação registados*

A evaporação medida no evaporímetro de Piche é o único parâmetro de evaporação objecto de observação sistemática nas seis principais estações na área da bacia hidrográfica do Leça. Embora não sendo um parâmetro caracterizador do processo global de evapotranspiração, permite-nos aceder às únicas séries de registos a partir de instrumento de características normalizadas.

Uma observação preliminar das séries cronológicas dos valores totais anuais da evaporação-Piche revelou uma provável presença de um carácter de não estacionaridade dos dados, facto que procurámos determinar, uma vez que a sua presença influenciaria a análise subsequente.

A análise dos valores duplamente acumulados das séries anuais demonstra que estes não se alinham segundo uma recta, mas sobressaem pontos de quebra, definindo segmentos de recta com diferentes coeficientes angulares, correspondendo a períodos temporais em que a evaporação se realizou a taxas diversas. A única excepção verifica-se na série de Boa Nova, mas deve-se fazer referência à curta duração do período de registos, apenas de 1972 a 1986.

A partir dos pontos de quebra evidenciados em cada uma das séries, tomaram-se as sub-séries temporais (2 ou 3 consoante as estações) e procedeu-se à análise da significância estatística das diferenças das médias entre esses períodos¹. Os resultados obtidos (quadro VII) vieram evidenciar a precariedade do estabelecimento de valores médios normais de evaporação para estas estações e, por consequência, para a área da bacia.

À excepção de Pedras Rubras, em que o teste revelou que o valor médio para o período 1971-79 não é significativamente diferente dos valores dos períodos que o enquadram, em todas as outras estações se observam períodos temporais com valores médios significativamente diferentes entre si. Assim, em Serra do Pilar o valor médio de 1960-86 é significativamente diferente do do período de 1950-59; em S.Gens o período de 1963-74 apresenta uma evaporação média significativamente diferente da dos períodos adjacentes; em Paços de Ferreira a média da evaporação de 1976-86 é significativamente diferente da do período anterior e em Santo Tirso o valor médio de 1971-80 é, também ele, significativamente diferente do de 1950-70.

A presença demonstrada de um carácter de organização das séries da evaporação anual levou-nos a aprofundar o estudo dos componentes destas séries temporais. Para cada uma delas obtiveram-se as médias móveis de

¹ H. Grisolle et al.- *Climatologie. Méthodes et pratiques*, 2^a ed., Paris, Gauthier Villars, 1973, p. 158 e 159.

5 anos (fig. 9), processo este susceptível de realçar o sentido de variação geral do fenómeno. A estação de Porto-Serra do Pilar sobressai do conjunto, pela manifestação de uma nítida tendência decrescente dos valores anuais da evaporação. O ligeiro aumento que parece verificar-se no fim do período não se revelou estatisticamente significativo. Este comportamento, verificável no período em estudo, integra-se numa longa e ampla tendência secular, evidenciada em estudo que teve como base a série de 1888 a 1985.¹

Quadro VII - Parâmetros estatísticos das séries de evaporação anual em períodos não homogêneos

ESTAÇÃO	PERÍODO	EVAPORAÇÃO		Teste-«t Student» (0)
		média	desv. pd.	
Serra do Pilar	1950-1959 1960-1986	m1 = 1107,1 m2 = 754,5	97,7 75,9	11,6*
S. Gens	1950-1962 1963-1974 1975-1986	m1 = 835,3 m2 = 1245,6 m3 = 902,8	88,7 122,5 101,2	-1,77(m1-m3)** 7,48 (m2-m3) *
Paços de Ferreira	1955-1974 1976-1986	m1 = 997,5 m2 = 805,1	67,0 74,1	7,37*
Pedras Rubras	1951-1970 1971-1979 1980-1986	m1 = 926,4 m2 = 1073,0 m3 = 927,9	68,7 124,7 48,9	2,89 (m2-m3) **
Santo Tirso	1950-1960 1961-1970 1971-1980	m1 = 792,3 m2 = 705,3 m3 = 960,1	70,8 145,7 87,1	1,77(m1-m2)** - 4,75 (m2-m3) *
Boa Nova	1972-1986	907,9	59,2	

* Diferença entre as médias para o nível de confiança 0,01 é estatisticamente significativa. ** Diferença entre as médias para o nível de confiança 0,01 não é significativa

Nas restantes estações a análise das médias móveis (fig. 9) não permitiu evidenciar uma tendência nítida na variação da evaporação, mas flutuações temporais relativamente longas e não simultâneas entre as séries das diversas estações, o que ficou provado pelos coeficientes pouco significativos obtidos da análise da covariância tendencial entre as séries. Os únicos coeficientes com algum significado estatístico registaram-se entre a série de Boa Nova e as restantes, o que se explica pela curta duração da série desta estação, e entre S. Gens e Paços de Ferreira com coeficiente de

¹ Ana Maria R. Monteiro de Sousa, *Contribuição para o estudo das implicações no clima local da construção de barragens, Porto, 1987.*

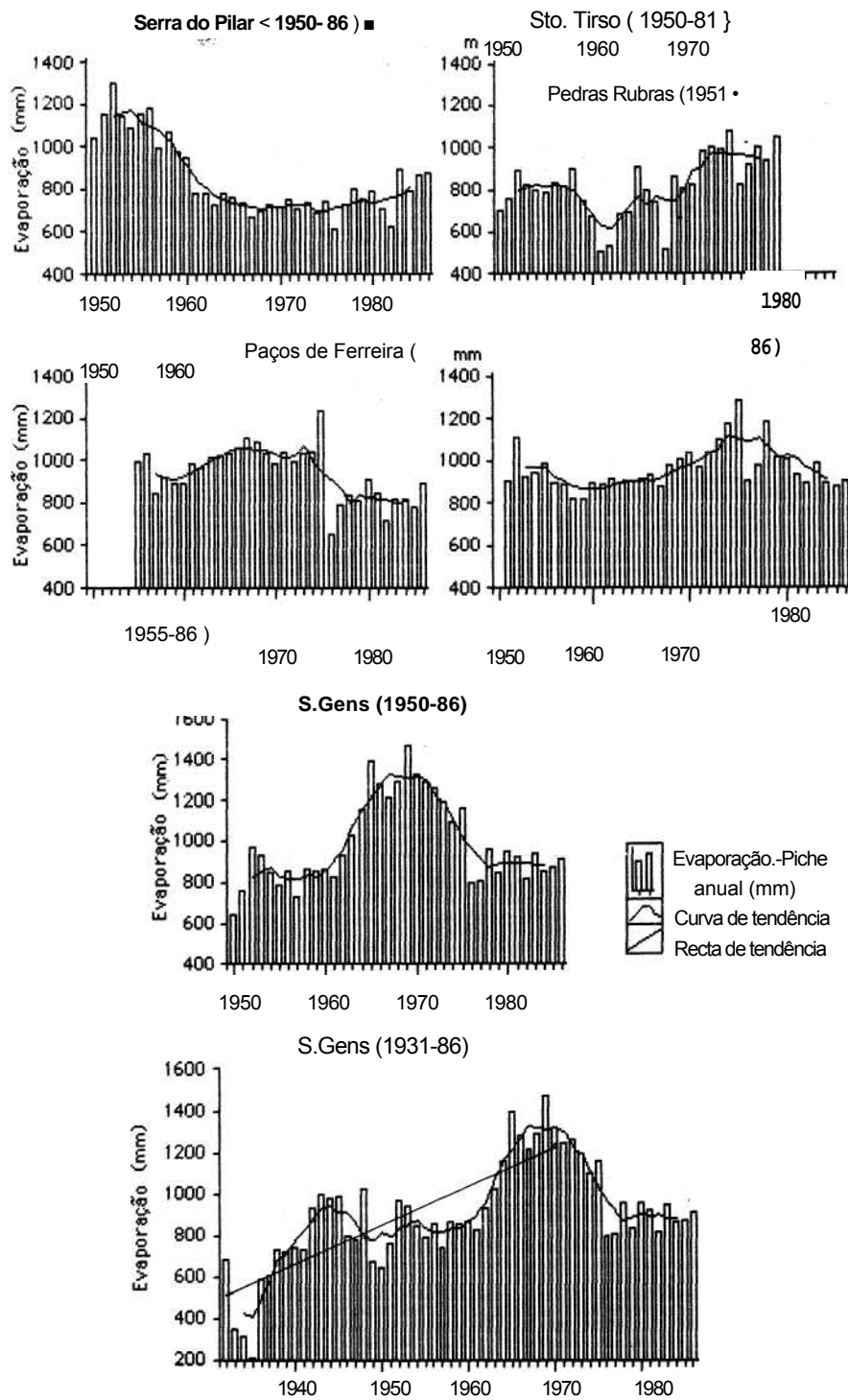


Fig. 9 — Totais anuais e médias móveis de 5 anos da evaporação-Piche nas estações de Serra do Pilar, Pedras Rubras, Paços de Ferreira, Santo Tirso (1950-51/1986-87) e S. Gens (1932-33/1986-87) e (1950-51/1986-87)

correlação de 0,7 e entre Santo Tirso e Pedras Rubras com coeficiente de 0,61. As situações em que o coeficiente de covariância é estatisticamente significativo parecem dever-se à boa correlação observada no período de inícios da década de 60 a meados da de 70, período que nessas estações correspondeu a valores acrescidos de evaporação.

O facto dos registos da evaporação-Piche nestas estações se ter iniciado apenas na década de 50 impossibilita uma análise mais aprofundada da variação temporal, contudo, S. Gens é uma das poucas onde é possível analisar uma série com início em 1932. A curva das médias móveis da série 1932-86 (fig. 9) mostra uma tendência de aumento da evaporação até inícios da década de 70, embora com flutuações. A recta de tendência obtida pelo método dos mínimos quadrados para o período 1932-70 revela um coeficiente de correlação de 0,78, significativo para o nível 0,001.

Os desvios à homogeneidade temporal, consubstanciados numa tendência generalizada ou em flutuações de período e magnitude variáveis, podem ser devidos a causas diversas, nem sempre fáceis de determinar e isolar. Não é de excluir a hipótese da existência nestas séries temporais, de uma componente residual excessiva devida muito provavelmente a erros sistemáticos relacionados com a mudança de localização do evaporímetro. A este respeito, o registo histórico destas estações apresenta-se quase sempre muito incompleto e o recurso à informação oral nem sempre permite esclarecer estas dúvidas. No caso da estação de S.Gens o abrigo onde se instalou o evaporímetro de Piche sofreu mudanças de localização, a última das quais no início dos anos 80.

É evidente que num período tão curto não se pode falar em desvios motivados por mudanças climáticas mas, no conjunto das flutuações, não é de excluir uma parcela devida a factores relativos à alteração do ambiente envolvente pela acção do homem.

A evaporação, fenómeno de transição de fase da água, envolve uma importante componente energética através do fluxo de calor latente, que constitui um dos principais processos de transferência de calor resultante do balanço da radiação. Será legítimo conjecturar uma modificação na taxa de evaporação na sequência de alterações do balanço de energia e das proporções relativas assumidas pelos seus componentes. Tais alterações podem dever-se à variação do albedo da superfície e consequentemente à proporção de energia reflectida e absorvida, ou à modificação da proporção da radiação líquida utilizada nos dois principais mecanismos de dissipação da energia calorífica, a transferência de calor latente e de calor sensível.

Na estação de Serra do Pilar os dois outros parâmetros objecto de medição referem-se à evaporação-Tina e à evapotranspiração em lisímetro. O início destes registos data de 1965, mas, nos mais de 20 anos de funcionamento, são muitas as falhas, prolongando-se em alguns casos por períodos relativamente longos. Deste facto resultam séries mensais e anuais

relativamente curtas e não contínuas, a que acresce alguns problemas na qualidade da informação.

As medições no lisímetro, efectuadas diariamente, parecem oferecer um grau de fiabilidade muito menor do que para o evaporímetro, já que são inúmeros os registos diários inexistentes devido a avaria. De Maio de 1978 a Setembro de 1983 as observações estiveram interrompidas, e mesmo após o seu recomeço continuaram a ser frequentes as situações de avaria. Este facto determina que disponhamos de apenas 11 anos completos de registos. As causas das avarias têm a ver com o deficiente funcionamento do sistema de alimentação em água ou com os filtros do sistema de drenagem. Carvalho Quintela referia a propósito que " a adição de água, no evapotranspirómetro do Porto, por alimentação directa do manto freático... pode provocar uma evapotranspiração potencial por defeito, nos meses em que esta exceda a precipitação."¹ Este é um problema de base que põe em causa a fiabilidade do sistema concebido para medir um valor de evapotranspiração potencial de relva. Estas observações parecem-nos pertinentes na medida em que, estando este instrumento concebido para registar a evapotranspiração no seu valor potencial, temos de admitir que, em longos períodos, os valores observados correspondem muito mais a uma evapotranspiração real, uma vez que as condições de capacidade de campo não parecem estar permanentemente asseguradas. No período de 1965 a 1977, aquele em que o instrumento funcionou de forma mais ou menos contínua, observou-se um valor médio anual de 745,4 mm.

Os valores da evaporação -Tina apresentam observações mais regulares, sendo em menor número as falhas de dados, tendo-se obtido um valor médio anual de 1087,4 mm para o período de 1965-86.

Em função das considerações anteriores é legítimo concluir que se torna arriscado atribuir aos valores médios da evaporação para o período de 1950-51/86-87 um carácter de normal climatológica, uma vez que as médias não se apresentam estabilizadas. Para o elemento evaporação seria necessário dispor de séries mais longas para que os efeitos das flutuações detectadas deixassem de se fazer sentir.

2.4. A evapotranspiração potencial climática 2.4.1.

A quantificação da evapotranspiração potencial

A estimação dos valores da evapotranspiração, único processo que nos permite dispor de valores para o conjunto da bacia, é assumida com plena

¹ António Carvalho Quintela- *Recursos de água superficiais em Portugal Continental*. Ed. do autor, Lisboa, 1967, p.68.

consciência dos riscos envolvidos quanto à fiabilidade dos resultados.

Optámos por aplicar o método de Penman, cujos parâmetros se adaptam relativamente bem às condições climáticas de Portugal. Dos estudos aplicados realizados no nosso país, as conclusões são no sentido de evidenciar a vantagem da aplicação de métodos que envolvam uma forte componente energética, como são os casos dos métodos da radiação e de Penman *. Os resultados obtidos por outros métodos de estimação mais simplificados quando comparados com valores medidos de evaporação ou evapotranspiração apresentam desvios muito pronunciados, denotando uma fraca adaptação às condições climáticas do país. Foi esta a conclusão a que chegámos ao aplicarmos o método de Thornthwaite, tendo-se obtido valores extremamente baixos que, em muitos casos, são mesmo inferiores aos valores medidos nos evapórimetros de Piche.

O método de Penman, exigindo uma grande variedade de dados hidrometeorológicos nem sempre disponíveis em todas as estações da área, obrigou-nos a uma solução de compromisso favorecendo o critério da melhor qualidade possível dos resultados, em detrimento do cálculo da evapotranspiração para todas as estações.

Na escala adoptada e tendo em conta a fraca densidade de informação disponível, temos de realçar que os resultados a apresentar devem ser entendidos num contexto espacial eminentemente regional, sendo arriscado extrapolar resultados para um quadro local onde os condicionalismos particulares de localização são susceptíveis de fazer variar alguns dos componentes do balanço da radiação.

O método de Penman de estimação da evapotranspiração potencial baseia-se numa combinação do balanço de energia e do transporte aerodinâmico, podendo-se considerar um dos processos teóricos mais completos uma vez que faz intervir os factores fundamentais da evaporação: a radiação (solar e terrestre), a humidade relativa e a temperatura do ar junto à superfície evaporante e a velocidade do vento, principal mecanismo de difusão turbulenta e molecular na atmosfera.

A obtenção de valores da evapotranspiração potencial para as estações da bacia do Leça através do processo de Penman, nem sempre se revelou uma tarefa fácil devido à inexistência de alguns dados climáticos que não são registados em todas as estações.

Do conjunto de estações na área da bacia apenas Porto - Serra do Pilar dispõe de dados observados da radiação solar, tendo-se colocado como hipótese de trabalho a obtenção da radiação global para as restantes estações a partir da equação de Angström $Q_g = Q_0 (a + b n/N)$, em que Q_0 se refere à radiação no limite superior da atmosfera e n/N à duração relativa da

¹ M* Isabel R. Ferreira e Luís S. Pereira - *Estudo comparativo de várias fórmulas climáticas para o cálculo da evapotranspiração de referência*, in ** Recursos Hídricos ", vol.3 (3), Lisboa, A.P.R.H., 1982, p. 61-77.

A Bacia Hidrográfica do Rio Leça

insolação. A análise de regressão linear entre séries de valores de insolação relativa e radiação global da estação de Porto - Serra do Pilar para o período de 1950-51 / 86-87, permitiu-nos a obtenção dos parâmetros de ajustamento mais adequados à área onde se insere a bacia.

Considerando que há diferenças sazonais bem marcadas nas condições atmosféricas e transparência do ar entre verão e inverno, obtiveram-se duas equações:

$$Q_g = Q_o (0,497 n IN + 0,225) \text{ para o semestre de Outubro a Março e}$$

$Q_g = Q_o (0,52 n I N + 0,263)$ para o semestre de Abril a Setembro, que revelaram coeficientes de correlação altamente significativos de 0,94 e 0,82, respectivamente.

Nas estações onde não se procede ao registo dos valores da insolação, a radiação global foi obtida a partir da nebulosidade, por intermédio da fórmula de Black com parâmetros obtidos da análise de regressão com valores da estação de S. Pilar.

A velocidade média do vento, nem sempre calculada em todas as estações, foi obtida pela média dos valores dos rumos dominantes.

2.4.2. Distribuição dos valores da ETP obtidos para o período de 1950-51/86-87

O valor médio anual da ETP calculada pela metodologia de Penman é de 1114,8 mm em Porto-Serra do Pilar, 952,2 mm em S. Gens, 939,1 mm em Santo Tirso e 907,3 mm em Paços de Ferreira, sendo de 946 mm o valor médio calculado para a bacia. Os menores valores obtidos para as duas estações mais afastadas do litoral parecem corresponder, em termos médios, aos menores valores da temperatura do ar e ao maior teor de humidade do ar, sobretudo de inverno. Junto ao litoral, as maiores velocidades médias do vento contribuem para um ligeiro aumento da evapotranspiração, mercê da renovação da camada de ar eventualmente saturada.

O ritmo anual da variação da ETP segundo Penman é semelhante no conjunto da área, registando-se os valores mensais mais elevados em Julho (150,1 - 172,7 mm) e os menores em Dezembro (8,7 - 25,1 mm). Os menores valores no semestre pluvioso, de Outubro a Março, devem-se ao aumento generalizado da humidade relativa e da nebulosidade e à diminuição da temperatura. No semestre mais seco, a ETP aumenta em função da diminuição da nebulosidade e da humidade relativa (fig.10) e do aumento da radiação líquida disponível para o processo da evapotranspiração.

Os ritmos de variação primaveril e outonal são, contudo, algo distintos, pois os meses de primavera têm valores ligeiramente superiores e a variação é mais lenta e gradual, enquanto no Outono, o decréscimo é bastante mais

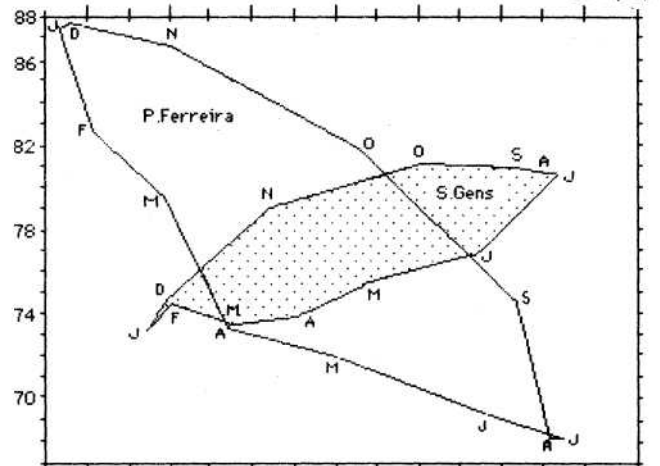
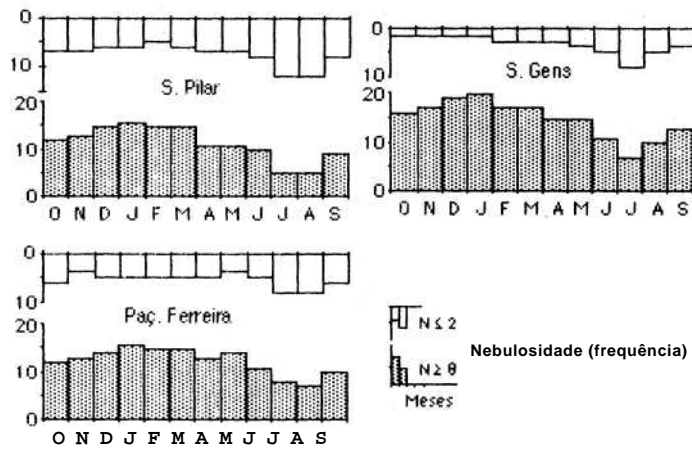
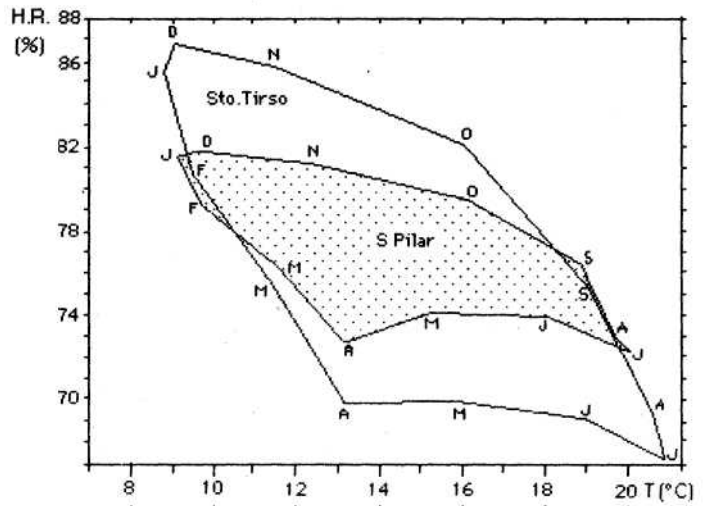
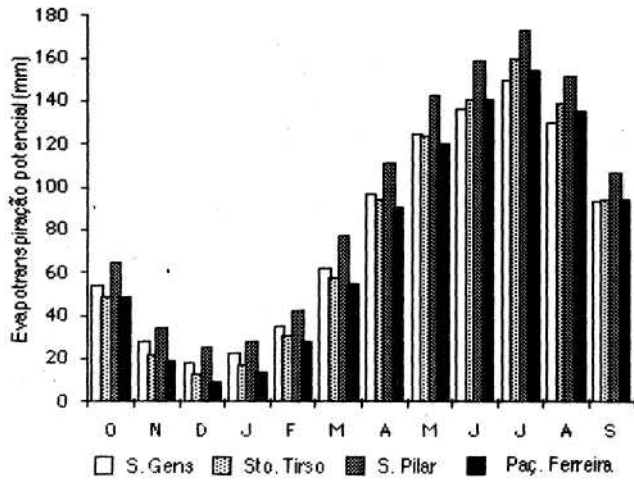


Fig. 10 — Regime médio mensal da evapotranspiração potencial segundo Penman e dos principais elementos climáticos que a condicionam (nebulosidade, temperatura e humidade relativa). Valores médios de 1950-51/1986-87.

A Bacia Hidrográfica do Rio Leça

rápido (quadro VIU). Este facto demonstra uma relação directa com a radiação global, pois, embora, as temperaturas de Outono sejam superiores, a radiação global tem valores médios mais elevados na Primavera.

Quadro VIU - Variação intermensal da evapotranspiração potencial (mm) calculada segundo Penman (valores médios 1950-51 / 86-87).

Estações	O-N	N-D	D-J	J-F	F-M	MA	A-M	M-J	J-JL	JL-A	A-S	S-O
Serra do Pilar	-29,8	-9,4	3,0	14,1	34,8	34,5	30,7	16,6	13,4	-20,9	-45,4	-42,1
S. Gens	-25,8	-9,8	4,7	12,7	26,5	34,9	28,2	11,7	13,4	-19,7	-36,6	-40,2
Santo Tirso	-27,6	-8,8	4,9	13,1	27,1	36,2	30,2	16,9	18,3	-20,7	-44,1	-45,5
Paços Ferreira	-29,5	-10,3	4,8	14,2	26,7	36,4	29,1	20,9	13,4	-19,2	-41,2	-45,3

As séries anuais da ETP calculada segundo Penman apresentam, tal como havíamos referido, uma variabilidade interanual extremamente fraca, bem expressa num coeficiente de variação de aproximadamente 5% obtido para a série de valores médios ponderados para a bacia do Leça. Daqui resulta que não se possa evidenciar uma significativa diferenciação entre valores obtidos em anos secos e em anos pluviosos (quadro IX).

Embora seja perceptível nestas estações, à excepção de Paços de Ferreira, um ligeiro aumento da ETP segundo Penman nos anos secos e ligeira diminuição nos anos pluviosos, apenas na estação de Porto-Serra do Pilar se observam variações médias da ordem dos 35 a 45 mm; nas restantes, os incrementos ou decréscimos são pouco significativos não excedendo os 8 mm. Na generalidade dos casos, o semestre de Abril a Setembro mostra tendência para registar valores de ETP mais elevados nos anos secos e menores nos anos pluviosos, correspondendo estes últimos a condições de maior nebulosidade e humidade relativa. Contudo, as relações entre a evapotranspiração potencial e os principais elementos climáticos que a condicionam não são lineares, estabelecendo-se relações complexas entre si; tal facto está bem demonstrado nos valores do semestre de Outubro a Março que apresenta sentidos de variação diferentes nas várias estações, e mesmo nos valores de conjunto de Paços de Ferreira. Embora fosse legítimo esperar uma diminuição da ETP do semestre Outubro a Março nos anos pluviosos

Edite Velhas

devido ao aumento da nebulosidade e diminuição da insolação relativa, a verdade é que, em muitos casos, o ligeiro aumento da temperatura devido ao efeito da contra-radiação atmosférica e o aumento da velocidade do vento, jogam em sentido contrário, favorecendo o aumento da evapotranspiração.

Quadro IX - Valores médios da evapotranspiração potencial segundo Penman, no período de 1950-51 / 86-87 , em anos secos e em anos pluviosos

Estações	Outubro-Março	Abril-Setembro	Ano
Serra do Pilar			
a	271,2	843,4	1114,8
b	270,9	879,9	1150,8
c	269,8	800,8	1070,3
S. Gens			
a	219,4	732,8	952,2
b	224,1	736,2	960,3
c	223,7	726,0	949,7
Santo Tirso			
a	188,2	750,9	939,1
b	183,3	756,8	940,1
c	195,8	740,0	935,8
Paços Ferreira			
a	172,8	734,5	907,3
b	173,9	729,8	903,7
c	177,1	739,3	912,1

a - período de 1950-51 a 1986-87

b - anos secos (1951-52; 52-53; 53-54; 56-57; 57-58; 64-65; 70-71; 71-72; 74-75; 75-76; 80-81)

c - anos pluviosos (1955-56; 59-60; 60-61; 63-64; 65-66; 68-69; 76-77; 77-78; 78-79; 84-85)

2.5. Análise comparativa entre dados de evaporação medidos e estimados

O procedimento adoptado para a comparação de dados obtidos em situações de referência distintas não se pode basear na análise dos valores médios, mensais ou anuais, mas antes, nas covariações das séries de evaporação medida e calculada.

A análise da covariância entre as séries de evaporação-Piche e da evaporação-Penman em cada uma das estações e para cada um dos meses, nem sempre revelou coeficientes de correlação significativos, nomeadamente nos meses de inverno. Procedeu-se, assim, a uma análise mais detalhada da covariância das séries da evaporação mensal agrupadas por semestres.

Ao comparar-se séries semestrais é de todo o rigor proceder à sua desestacionalização, isto é, à eliminação da componente de movimento sazonal da série original. O método utilizado na desestacionalização das séries semestrais originais foi o da média móvel percentual, para o que se calcularam médias móveis centradas de base 12 que permitiram a obtenção dos índices de sazonalidade que foram, seguidamente eliminados das séries originais.¹

O padrão da variação anual da evaporação medida e da evaporação calculada segundo Penman pode ser analisado através dos valores médios mensais das séries originais (quadro X), assim como pelos índices de sazonalidade obtidos para cada mês (quadro XI). O ritmo da variação dos valores medidos e calculados é semelhante, observando-se um contraste entre os semestres de Outubro a Março e de Abril a Setembro. Neste semestre, Julho regista o valor mensal mais elevado, seguindo-se Agosto nas séries medidas (evaporação-Piche, evaporação-Tina e evaporação de Lisímetro) e Junho nas séries de evaporação-Penman. Esta inversão deve-se à forte influência da radiação solar considerada no cálculo da evaporação-Penman, daí resultando que o conjunto Maio-Junho apresente sempre valores mais elevados do que Agosto-Setembro. No semestre frio, Dezembro e Janeiro disputam o valor mensal mais baixo, sendo que na evaporação-Penman este corresponde sempre ao primeiro daqueles meses.

Os valores da evaporação medida registam coeficientes de variação mensais médios a altos (quadro X), denotando assim, uma variabilidade interanual que supera a das séries calculadas. Os maiores coeficientes de variação observam-se nos meses de inverno, o que traduz a grande variabilidade interanual das condições atmosféricas neste período do ano, nomeadamente da humidade do ar e da nebulosidade, de que dependem afinal as taxas de evaporação. Nos meses de verão a radiação solar assume um peso determinante em relação aos demais factores, o que se repercute nas menores variações da evaporação.

No semestre de Outubro a Março a evaporação-Piche é a que apresenta a sazonalidade mais marcada (quadro XI), contrastando com o semestre quente em que se evidenciam a evaporação-Penman e a evaporação de lisímetro.

Sendo os índices de sazonalidade os valores médios mensais das séries $S \times 1$,² os coeficientes de variação obtidos (quadro XI) são um indicador da intensidade das variações irregulares da evaporação. A

¹ Admite-se que uma série temporal (Y) é o produto de um conjunto de componentes traduzidas por movimentos de tendência (T), cíclicos (C), sazonais (S) e irregulares (I), $Y = T \times C \times S \times I$. A desestacionalização dos dados não é mais do que o ajustamento das séries originais à variação por estação (componente sazonal), de modo que $Y / I = T \times C \times S$.

² Ver nota anterior.

Quadro X - Valores médios e coeficientes de variação da evaporação medida e calculada segundo Penman nas estações meteorológicas da bacia do Leça (Período base: 1950-51/ 86-87)

ESTAÇÕES			MESES											
			OUT	NOV	DEZ	JAN	FEV	MAR	ABR	MAIO	JUNH	JULH	AGOST	SET
PEDRAS RUBRAS														
Piche	(1951-87)	méd.	75,9	61,5	58,6	58,3	59,5	81,8	89,6	94,3	94,3	104,6	98,5	85,2
		c.v.	26,5	23,7	27,6	25,0	24,3	25,3	22,1	20,0	24,8	22,8	24,8	20,2
BOA NOVA														
Piche	(1972-87)	méd.	76,2	74,1	77,2	73,5	63,7	82,0	89,8	82,9	72,8	75,0	69,3	68,5
		c.v.	25,4	19,8	22,6	21,7	22,6	20,4	18,2	16,9	25,5	26,3	23,8	19,8
S.GENS														
Piche	(1950-87)	méd.	74,0	61,3	58,9	60,6	64,9	88,8	100,8	97,6	95,8	105,5	99,8	83,9
		c.v.	33,7	33,6	29,9	29,7	34,8	38,3	44,0	26,5	28,6	26,9	27,5	27,9
Piche	(1932-87)	méd.	63,1	51,6	52,6	53,4	54,0	74,1	86,0	86,5	87,1	95,8	89,7	74,3
		c.v.	27,0	20,4	31,2	31,3	27,6	28,8	22,8	17,9	24,5	22,6	24,9	23,6
Penman	(1950-87)	méd.	53,6	27,8	18,0	22,7	35,4	61,9	96,8	125,0	136,7	150,1	130,4	93,8
		c.v.	16,0	18,1	23,6	18,8	13,6	12,7	10,8	10,4	10,0	9,1	9,9	9,8
PACOS FERREIRA														
Piche	(1955-87)	méd.	69,2	45,0	37,8	38,0	46,2	68,4	79,2	99,4	116,7	123,1	121,1	94,6
		c.v.	29,4	27,9	25,2	25,7	32,0	26,9	24,6	25,1	29,0	22,0	24,0	20,6
Penman	(1955-87)	méd.	48,5	19,0	8,7	13,5	27,7	54,4	90,8	119,9	140,8	154,2	135,0	93,8
		c.v.	13,3	19,5	51,8	29,4	14,3	11,8	9,7	11,9	10,1	9,7	9,2	9,7
STO.TIRSO														
Piche	(1950-81)	méd.	54,6	40,1	34,7	39,0	44,8	65,6	80,4	88,1	95,3	109,9	95,2	73,6
		c.v.	32,0	29,9	37,3	27,6	28,2	27,7	29,5	21,5	29,2	29,0	32,5	33,6
Penman	(1950-81)	méd.	49,0	21,4	12,6	17,5	30,6	57,7	93,9	124,1	141,0	159,3	138,6	94,5
		c.v.	12,8	22,8	45,4	25,8	13,3	10,3	12,0	8,8	10,2	7,6	7,3	12,0
SERRA PILAR														
Piche	(1950-87)	méd.	65,5	53,3	48,0	46,9	50,6	68,7	79,3	81,7	84,2	98,7	94,6	78,1
		c.v.	36,2	36,6	30,6	29,4	38,1	32,1	34,3	31,4	26,9	29,4	27,4	30,5
Penman	(1950-87)	méd.	64,3	34,6	25,1	28,1	42,2	77,0	111,5	142,2	158,8	172,7	151,3	106,4
		c.v.	16,0	22,6	25,3	17,0	16,4	16,5	16,7	14,2	12,5	12,6	11,6	13,8
Tina	(1965-87)	méd.	70,1	43,7	38,0	41,0	47,5	77,0	99,1	120,0	139,1	161,6	144,9	102,9
		c.v.	19,7	14,7	26,6	18,9	18,0	20,8	18,8	10,9	15,5	10,5	M,2	13,6
Lisímetro	(1965-77)	méd.	48,9	26,9	17,8	17,6	17,9	44,2	63,4	87,6	108,5	127,6	110,0	72,2
		c.v.	23,9	42,0	52,0	48,0	30,4	39,6	25,2	28,2	23,7	12,2	9,9	18,6

Quadro XI - índices de sazonalidade médios e coeficientes de variação da evaporação medida e da evaporação calculada segundo Penman, nas estações meteorológicas da bacia do Leça

ESTAÇÕES		MESES											
		OUT	NOV	DEZ	JAN	FEV	MAR	ABR	MAIO	JUNH	JULH	AGOST	SET
SERRA PILAR	méd.	92,4	74,6	68,3	67,3	71,7	97,6	111,5	113,1	119,7	139,7	133,9	110,2
	c.v.	27,1	26,0	26,5	23,6	28,4	28,2	23,1	17,9	22,6	21,8	20,3	20,4
Piche (1950-87)													
Penman	méd.	69,0	37,1	27,3	30,7	45,9	82,8	119,9	152,8	170,5	185,6	163,9	114,6
	c.v.	12,0	21,3	28,2	19,7	14,2	14,6	11,8	8,2	9,5	8,1	8,4	11,2
Tina (1965-87)													
Lisímetro (1965-77)	méd.	79,8	47,1	41,8	46,0	51,5	84,7	109,0	130,8	155,2	176,0	161,8	116,2
	c.v.	17,8	16,8	26,0	14,7	17,5	18,9	16,2	11,5	13,5	10,7	9,5	10,9
S. GENS	méd.	77,4	38,1	27,0	24,0	30,4	63,1	107,7	147,0	175,7	211,1	182,1	116,5
	c.v.	22,1	37,3	51,0	42,5	35,2	16,1	16,6	20,5	15,5	7,3	9,3	13,1
Piche (1950-87)													
Penman (1950-87)	méd.	88,3	72,8	72,1	73,0	74,9	101,2	120,2	117,4	122,0	132,3	124,5	101,1
	c.v.	26,9	19,1	26,7	22,7	21,9	26,0	21,3	14,7	20,5	20,2	21,0	21,0
S. GENS	méd.	67,5	34,1	22,6	27,1	43,5	75,9	122,9	156,4	174,8	189,6	163,9	120,4
	c.v.	13,8	15,1	26,9	19,8	12,8	10,5	9,6	6,0	8,2	7,4	6,9	8,1
PAÇOS FERREIRA													
Piche (1955-87)	méd.	87,0	56,6	49,3	49,1	57,7	87,7	102,1	125,7	149,1	157,8	155,5	121,9
	c.v.	25,6	23,0	26,5	24,5	26,0	24,4	23,2	18,9	22,9	18,5	20,7	19,5
Penman (1955-87)													
S. GENS	méd.	64,2	25,2	11,7	17,9	36,7	71,9	120,6	158,2	186,0	203,6	179,5	124,2
	c.v.	13,2	19,6	52,2	28,4	10,8	11,7	7,9	10,2	8,5	6,5	7,5	10,2

evaporação-Piche ao apresentar coeficientes de variação médios ao longo de todo o ano e a evaporação de lisímetro com coeficientes altos em alguns meses de inverno são as séries em que as variações irregulares se mostram mais importantes.

As covariâncias entre as séries semestrais desestacionalizadas da evaporação-Piche e da evaporação-Penman nem sempre revelaram coeficientes de correlação significativos, nomeadamente nas séries de S. Gens e de Paços de Ferreira. Na estação de Porto-Serra do Pilar as melhores correlações obtiveram-se entre a evaporação-Piche e evaporação-Penman (fig. 11) e embora as correlações entre evaporação-Piche e evaporação-Tina por um lado, e evaporação-Penman e evaporação-Tina por outro, sejam estatisticamente significativas ao nível 0,01, os coeficientes são ligeiramente mais fracos (quadro XII). As covariâncias entre a evaporação de lisímetro e os restantes parâmetros de evaporação revelaram-se muito pouco significativas, reforçando assim a convicção anteriormente expressa de que os dados do lisímetro oferecem uma fraca qualidade.

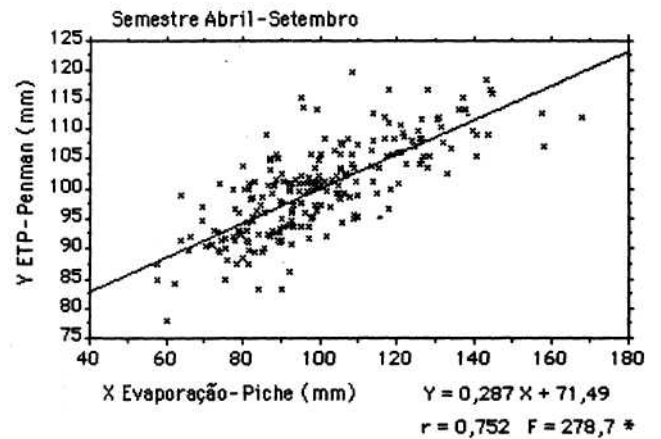
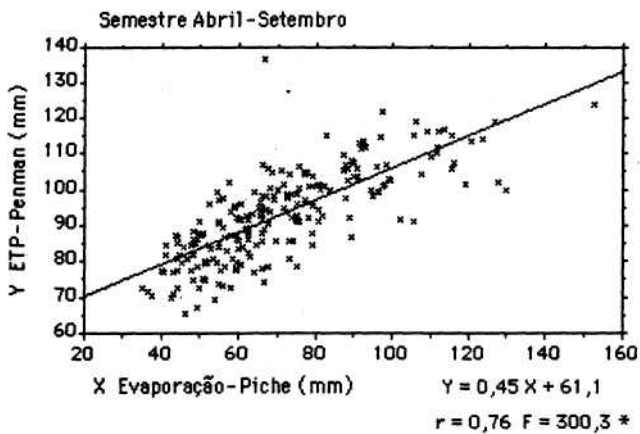
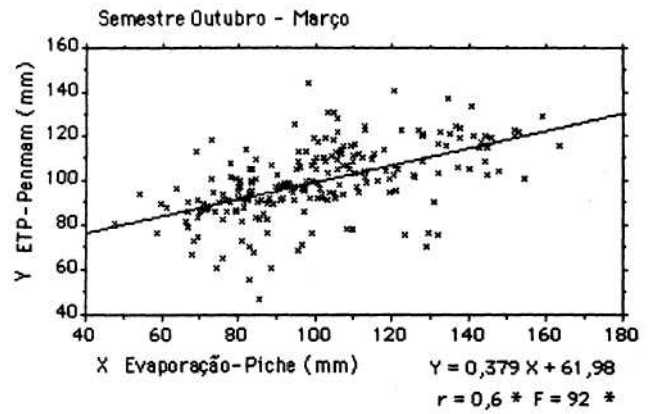
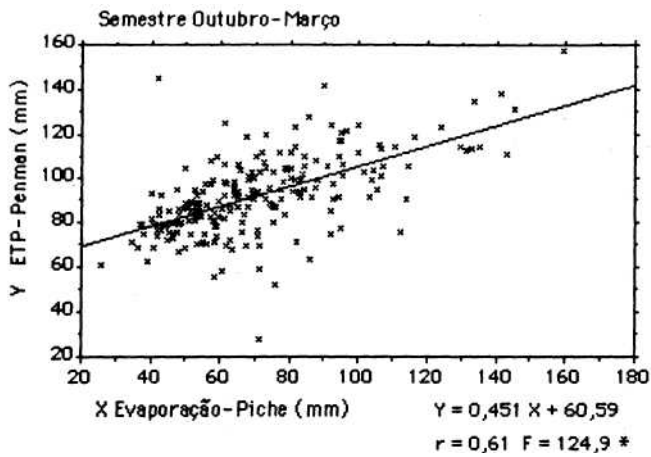
Quadro XE - Coeficientes de correlação das séries semestrais de evaporação na estação de Porto-Serra do Pilar (1950-51 / 86-87)

	Tina		Penman	
	1.ºSem.	2.º Sem.	1.ºSem.	2.º Sem.
Piche	0,5	0,7	0,6	0,76
Penman	0,5	0,63		

(1º sem. Outubro - Março; 2º sem. Abril-Setembro)

Para as séries de S. Gens e de Paços de Ferreira procedeu-se ainda à destendencionalização das séries semestrais, utilizando-se os valores cíclico-irregulares. Os coeficientes de covariação obtidos a partir das séries desestacionalizadas e destendencionalizadas revelaram-se muito mais significativos (figs. 12 e 13) do que aqueles obtidos a partir apenas das séries ajustadas à variação sazonal. Nestas últimas séries continua a ser evidente a presença da componente de movimento de longa duração, anteriormente evidenciada, pelo que a eliminação da sua influência demonstra que são os componentes residuais os que mais fortemente se correlacionam.

Nas várias estações, os coeficientes de covariação entre a evaporação-Piche e a evaporação-Penman apresentam-se sempre mais elevados no



(Nota: * significativo ao nível 0,01%)

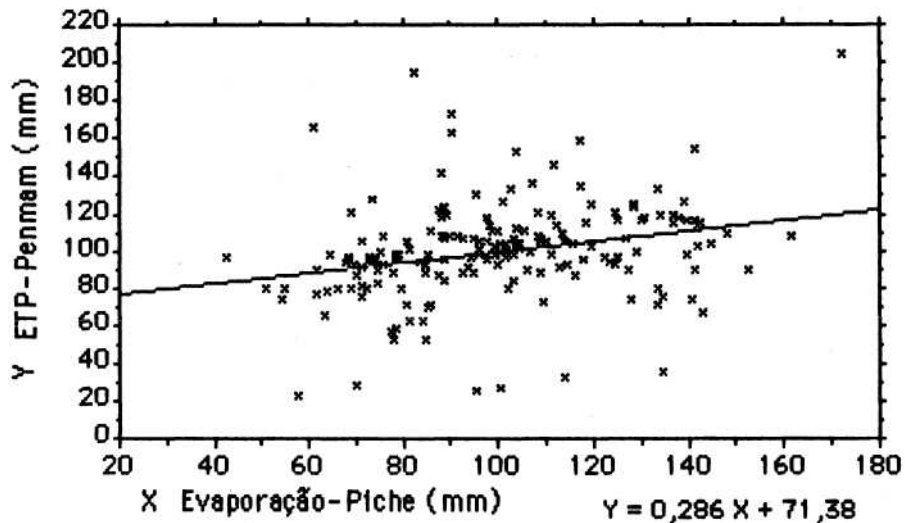
Fig. 11— Regressões lineares dos valores semestrais desestacionalizados da evaporação-Piche sobre a ETP-Penman, na estação de Porto-Serra do Pilar (1950-51/1986-87).

Fig. 12— Regressões lineares dos valores semestrais desestacionalizados e destendencionalizados da evaporação-Piche sobre a ETP-Penman, na estação de S. Gens (1950-51/1986-87).

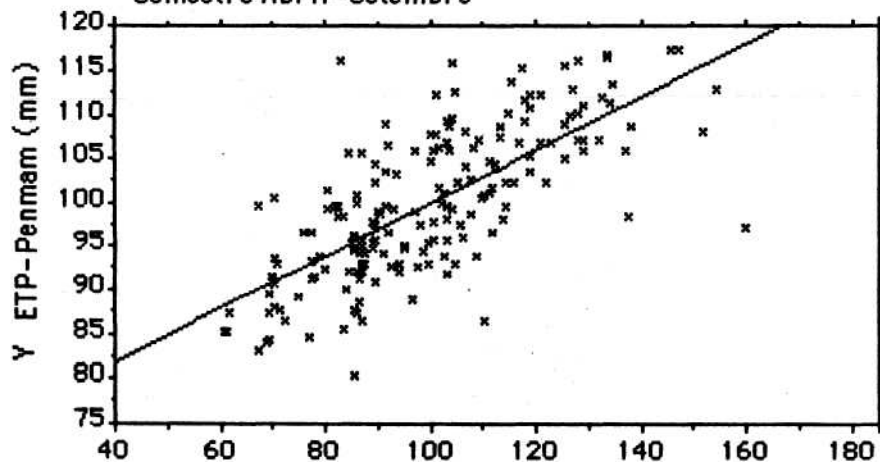
X Evaporação- Piche (mm)

$$y = 0,3 X + 69,9$$

$$r \gg 0,72 \quad F \ll 188,8^*$$



Semestre Abril-Setembro



(Notei: * significativo ao nível 0,01%

** não significativo ao nível 0,0 %)

Fig. 13 — Regressões lineares dos valores semestrais desestacionalizados e destendencionalizados da evaporação-Piche sobre a ETP-Penman, na estação de Paços de Ferreira (1955-56/1986-87).

A Bacia Hidrográfica do Rio Leça

semestre de Abril a Setembro, evidenciando a influência decisiva da radiação solar nos valores da evaporação nesta altura do ano.

No quadro espacial da bacia hidrográfica do rio Leça, a análise do comportamento da evaporação revela que nem sempre são os valores de evaporação medidos no evaporímetro de Piche os que melhor representam as perdas de água do ramo terrestre do ciclo hidrológico, uma vez que se mostram muito sensíveis a alterações nas condições externas à medição. O facto de, nas séries temporais da evaporação-Piche das várias estações meteorológicas, a componente de movimento de longa duração apresentar variações de sentido distinto é um indicador desta conclusão. É nossa opinião que uma melhoria no conhecimento das perdas por evapotranspiração só poderá ser alcançada através de uma rede mais densa de evapotranspirómetros, devidamente calibrados e sujeitos a verificações regulares do seu funcionamento.

Na situação actual, julgamos que os valores obtidos pela aplicação da fórmula de Penman são um bom indicador das perdas potenciais de água para a atmosfera, basicamente determinadas pelas características energéticas do clima da região.

A boa correlação entre a evaporação-Piche e a ETP-Penman, sobretudo no semestre de Abril a Setembro, permite-nos, através das equações de regressão obtidas, estimar os valores potenciais da evapotranspiração a partir dos valores medidos nas várias estações. Os valores reais da evapotranspiração poderão, então, ser obtidos numa segunda fase, através de relações entre precipitação e evapotranspiração potencial consagradas em procedimentos de cálculo do balanço hídrico.

III. O ESCOAMENTO FLUVIAL

1. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DA BACIA DO LEÇA E REGIME HIDROLÓGICO

Os volumes de água disponíveis para o escoamento, as características do regime hidrológico e a oportunidade de formação de caudais elevados resultam da interacção de variadíssimos factores que importa analisar, no sentido de se proceder a uma avaliação do tipo de resposta da bacia, nomeadamente em situações em que os dados de observação hidrológica são insuficientes ou deficientemente distribuídos pela área da bacia.

Às características climáticas é habitualmente atribuído um papel influente, nomeadamente ao volume das precipitações, com reflexo marcado nos valores dos escoamentos mensais, e aos valores da intensidade da

precipitação que podem determinar a ocorrência de cheias repentinas, condicionando os principais componentes do hidrograma de cheia.

Os parâmetros relativos à topografia da bacia hidrográfica, as características geométricas de área, forma e rede hidrográfica influem na velocidade do escoamento e, portanto, no tempo de concentração das águas. Características geológicas, tipos de solos e sua utilização, determinando o grau de permeabilidade dos terrenos e a sua porosidade, regem os valores da capacidade de infiltração e de retenção, influenciando nas perdas de água da precipitação para o escoamento.

Sob o ponto de vista da ocupação hidrometeorológica, a bacia do Leça é uma área com muito escassa informação. Se no que se refere à rede meteorológica, a existência de estações e postos próximos da bacia supre algumas das lacunas existentes no seu interior, já no que se refere à ocupação hidrométrica (fig. 2) a situação é bastante deficiente.

1.1. O quadro físico e a ocupação dos solos da bacia

1.1.1. O papel da litologia e dos declives na definição das características da rede hidrográfica

A bacia do Leça, com uma área de 189,9 km² e apenas 44,8 km de comprimento para o curso de água principal, apresenta um amplo sector de baixas altitudes, sendo de referir que as áreas de altitude inferior a 200 m correspondem a 85% da área total da bacia, e um sector de montante com formas mais vigorosas e altitudes mais elevadas onde se atinge o máximo de 530 m.

O perfil longitudinal do rio Leça (fig. 14) é, finalmente, expressão destas características, apresentando nos primeiros 20 km a partir da foz um perfil rectilíneo com inclinação média de apenas 0,24 % que se liga, por uma fraca ruptura de declive, a um troço, grosso modo até aos 38 km, com altitudes ainda baixas, mas de inclinação ligeiramente superior, 0,47 %. Apenas nos primeiros 7 kms e já próximo das cabeceiras, a inclinação aumenta, apresentando um valor médio de 5,3 %.

Os afluentes do Leça a jusante de Ermesinde apresentam perfis extremamente suaves contrastando com os afluentes a montante com inclinações bastante mais acentuadas, nomeadamente os casos das ribeiras de Alto S. Jorge, Silvares, Facho e Refojos com respectivamente, 17,3 %, 11,4 %, 9,3 % e 8,9 % de inclinação média (quadro XIII)..

As sub-bacias definidas pelos principais afluentes do Leça apresentam, no geral, superfícies relativamente reduzidas, nomeadamente as que se

PERFIL LONGITUDINAL DO RIO LEGA E DE ALGUNS AFLUENTES

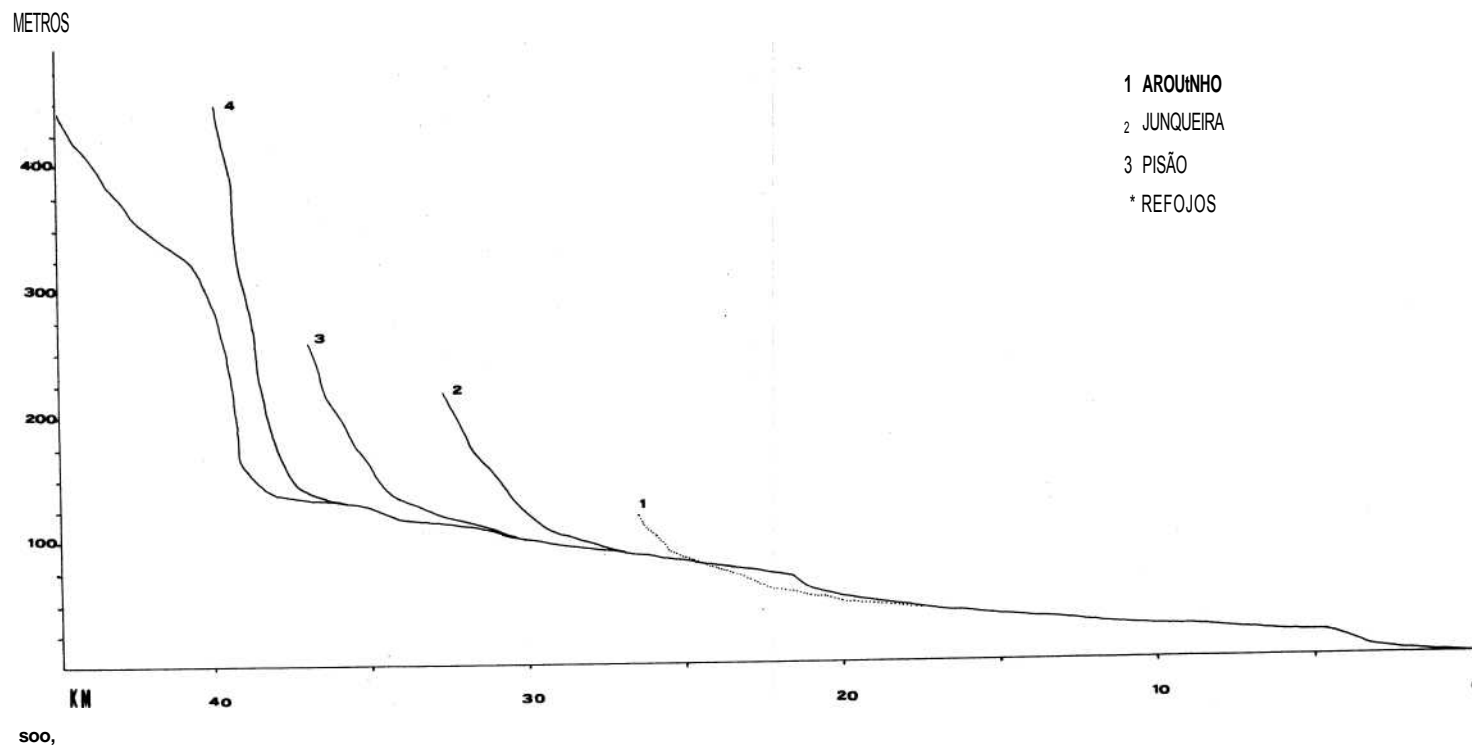


fig.14

situam a montante de Ermesinde (mapa em anexo - Principais sub-bacias do Leça), já que das três de maiores dimensões, Rib. do Arquinho (33,7 km²), Rib. de Leandro (20,46 km²) e Rib. de Pisão (10,85 km²), apenas a última se localiza a montante. Contudo, a altitude mais elevada destas pequenas bacias, aliada a maiores inclinações do leito (quadro XIII), confere-lhes um importante significado no escoamento total, permitindo relegar para segundo plano outras características, como a sua forma, já que a resposta ao escoamento é sobretudo determinada pela rápida concentração das águas nos canais principais, devido ao pequeno comprimento dos cursos secundários, assim como aos fortes declives.

A morfologia e, em particular, o declive das vertentes controlam, em boa parte, a velocidade a que se processa o escoamento superficial e,

Quadro XEH — Parâmetros característicos das principais sub-bacias do Leça

	A (Km ²)	P (Km)	Alt (m)	L (Km)	Kc	Kf	I (%)	Dd (Km/Km ²)
Rib. Guifões	2,14	6,56	63	1,81	1,26	0,65	3,7	1,7
Rib. Maninho C.	2,77	7,25	59	2,19	1,22	0,5	2,6	1,8
Rib. Picotos	9,47	17,3	84	5,06	1,57	0,37	1,7	1,12
Rib. Arquinho	33,7	27,5	83	11,4	1,33	0,26	0,83	2,02*
Rib. Sangemil	1,40	5,94	92	1,5	1,4	0,62	3,3	2,05
Rib. Leandro	20,46	22,13	112	8,6	1,37	0,28	0,99	2,69
Rib. Cabeda	4,73	9,9	168	4,1	1,27	0,28	4,0	5,82*
Rib. Junqueira	5,3	12,6	154	5,38	1,54	0,25	2,4	5,96*
Rib. Tabãos	4,4	9,8	153	2,8	1,31	0,56	4,5	6,07
Rib. Covas	0,97	4,75	149	2,25	1,35	0,19	5,0	5,1
Rib. Pisão	10,85	14,4	184	6,2	1,22	0,28	2,5	5,85
Rib. Regada	1,74	5,38	173	2,29	1,14	0,33	7,3	5,98*
Rib. Facho	1,05	5,25	205	2,38	1,43	0,19	9,3	6,42
Rib. Silvares	0,88	4,87	246	1,94	1,45	0,23	11,4	6,96
Rib. Vilar	0,94	4,12	174	1,31	1,19	0,55	2,1	4,52
Rib. Refojos	7,8	12,88	316	4,06	1,29	0,47	9,0	5,47
Rib. Alto Jorge	0,99	4,38	437	1,8	1,23	0,32	17,3	3,28
Leça Montante	10	13,2	415	3,5	1,17	0,82	3,4	3,13
BACIA LEÇA	189,9	96,6	143,6	44,7	1,96	0,095	1,2	—

A - Área; P - Perímetro; Alt. - Altura média; L - Comprimento do curso de água;
Kc - Coeficiente de compactidade; Kf - Coeficiente de forma; I - Inclinação média
do leito; Dd - Densidade de drenagem.

* Valor medido

consequentemente, o tempo que leva a água a concentrar-se nos leitos fluviais da rede de drenagem, afectando a grandeza das pontas de cheia, assim como a maior ou menor oportunidade de infiltração nos solos da bacia. Contudo, o substrato litológico é o determinante básico, não só por influir nas características topográficas da bacia, mas também por controlar as taxas de escoamento superficial e os movimentos de água nos maciços rochosos pelas suas propriedades de permeabilidade e porosidade.

Basicamente, pode-se considerar a bacia do Leça repartida em dois grandes conjuntos diferenciados pelas características topográficas e declives das vertentes (fig. 15), pela litologia (fig. 16) e pelas densidades de drenagem (fig. 17). Referimo-nos ao sector, grosso modo, a montante de Ermesinde, limitado a jusante pelas ribeiras de Leandro (afluente da margem direita) e rib. da Fonte dos Sonhos (afluente da margem esquerda) que, com pouco mais de 77 km², corresponde a 40% da área total da bacia, e ao sector a jusante de Ermesinde.

A área de Ermesinde a Reguenga, aquela onde observamos as maiores densidades de drenagem em toda a bacia, apresenta uma grande variedade litológica mas onde se destacam os xistos pela maior extensão ocupada (fig. 16). Estão igualmente representados neste sector, outros tipos litológicos mais resistentes à erosão que, embora ocupando menores extensões, têm uma importância relevante na morfologia de pormenor e nas formas de ocupação do solo. Referimo-nos concretamente aos grauvaques e quartzitos, aqueles frequentemente associados aos xistos, constituindo uma faixa que atravessa a bacia no sentido NW-SE com ponto médio em Água Longa, e os segundos constituindo bancadas ou lentículas que se intercalam no conjunto xisto-grauváquico dominante. São os quartzitos os responsáveis pelos relevos de pormenor, de forma mais ou menos alongada, que se destacam do conjunto de altitudes moderadas a baixas. Estas superfícies apresentam reduzida permeabilidade e porosidade e uma drenagem superficial intensa, apenas pontualmente diminuída pela presença de rochas mais resistentes. A infiltração das águas é relativamente reduzida, aumentando apenas onde as fracturas criam superfícies de circulação de água, mas que não atingem grandes profundidades devido aos frequentes preenchimentos argilosos.

A área a montante da Reguenga é dominada por rochas cristalinas (fig. 16) onde predominam os granitos, que, estando pouco alterados, revelam uma permeabilidade superior à das áreas xistentas, mas que, em termos gerais se apresenta de moderada a reduzida. Contudo, a rede de diaclases e fracturas existentes nestes maciços propiciam uma infiltração lenta das águas, promovendo a existência de mantos de alteração de espessura significativa, provocando um acréscimo na permeabilidade destes maciços. Os solos resultantes da alteração destes granitos apresentam

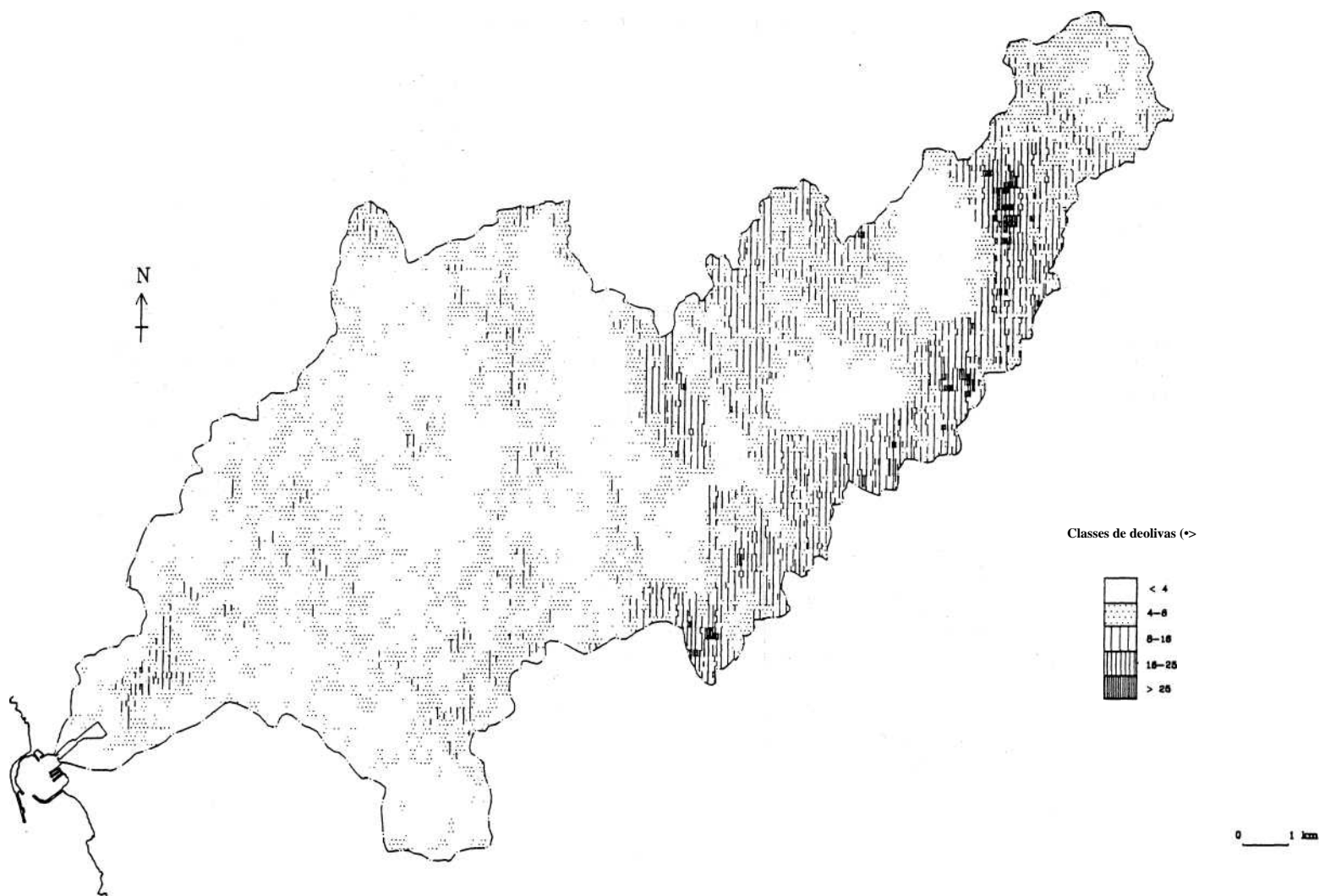


Fig. 15 — Mapa de declives da bacia hidrográfica do Rio Leça.

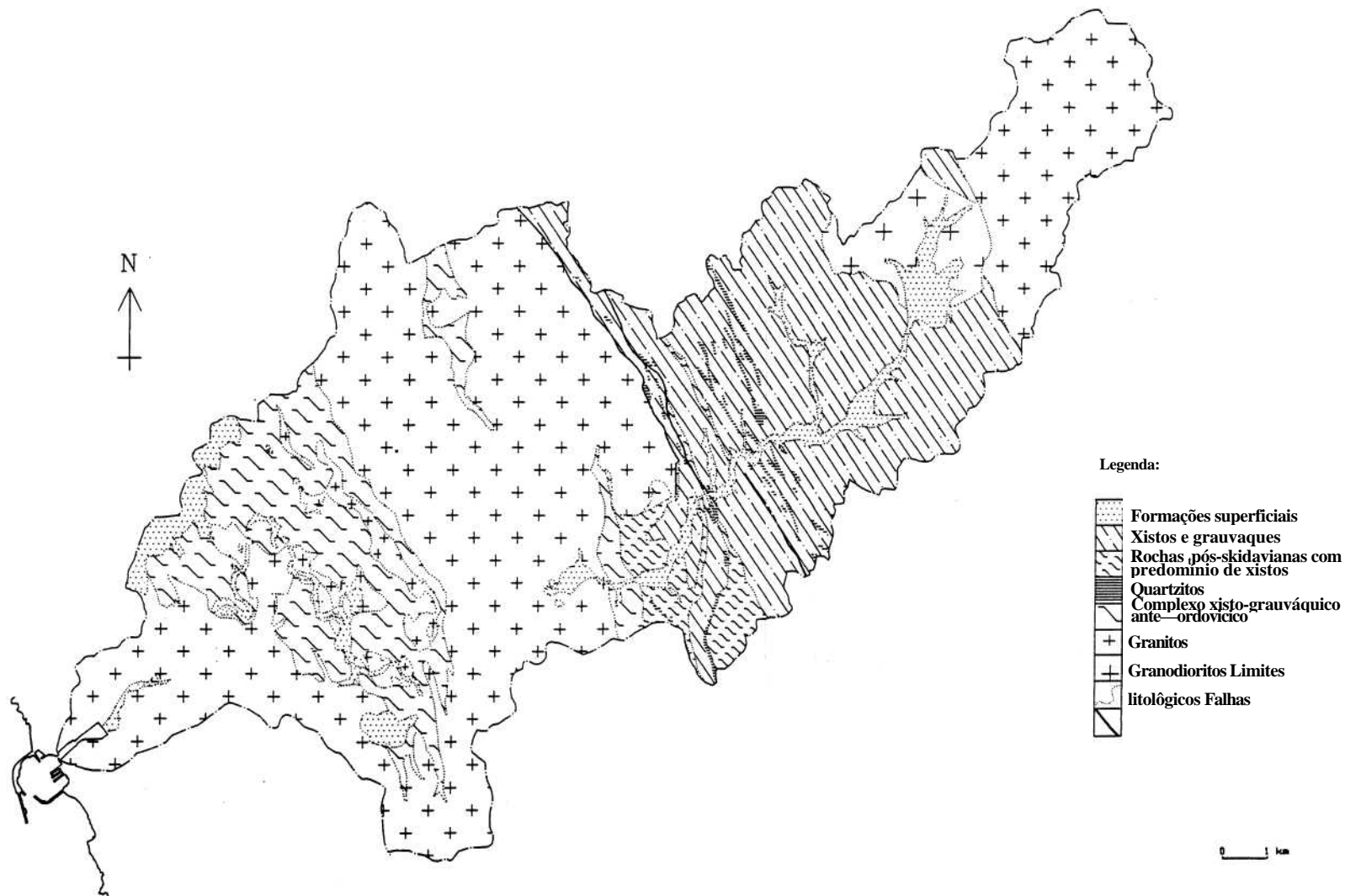


Fig. 16 — Esboço litológico da bacia hidrográfica do Rio Leça.

elevada percentagem de elementos grosseiros tendo uma textura arenosa ou argilo-arenosa pelo que a capacidade de água utilizável é moderada a fraca.

A observação de inúmeros poços nesta área granítica, contrariamente ao que se observa nas áreas xistentas, é um outro indicador de que a recarga das reservas subterrâneas é muito importante devido a percolação em profundidade.

Assim, as densidades de drenagem nas sub-bacias de montante que drenam áreas graníticas são substancialmente menores do que as constituídas por rochas xisto-grauváquicas (figs. 16 e 17).

Nas áreas de contacto entre os granitos e a mancha xisto-grauváquica observam-se rochas metamórficas, como as corneanas, mas que estão profundamente fracturadas e fragmentadas, pelo que, do ponto de vista hidrológico apresentam um comportamento idêntico ao dos granitos.

O sector da bacia a jusante de Ermesinde apresenta características de conjunto bastante mais uniformes. Aproximadamente 2/3 deste sector é constituído por rochas graníticas, observando-se igualmente uma mancha significativa de rochas do complexo xisto-grauváquico ante-ordovícico bastante metamorfizada pela intrusão posterior dos granitos.

Assinale-se ainda os depósitos recentes que ocupam partes apreciáveis do fundo dos vales, quer de características argilosas quer arenosas, que atingem espessura considerável com reflexos na importante actividade agrícola da região.

O granito apresenta-se cortado por apertada rede de diaclases e quase sempre profundamente alterado em profundidade, facilitando a infiltração lenta das águas.

As baixas altitudes que não excedem os 150 m (fig. 1) associa-se a grande planície e os fracos declives (fig. 15), já que apenas pontualmente os declives superam os 8° (14%), e frequentemente, nas áreas adjacentes ao curso de água principal pelo entalhe deste na plataforma de altitudes pouco diferenciadas.

As densidades de drenagem nas sub-bacias deste sector são extremamente baixas e embora algumas delas apresentem parâmetros indiciadores de propensão para cheias, a sua área muito reduzida inviabiliza volumes excepcionais de caudal. As de maiores superfícies são igualmente as mais alongadas (quadro XIII) pelo que, em situações de precipitações intensas, aquela característica dificulta uma forte concentração das águas no canal principal.

No sector a montante de Ermesinde, a conjugação das características litológicas a traços marcantes da tectónica determina a existência de vertentes de fortes declives quer na mancha de xistos e grauvaques quer na zona das cabeceiras onde predominam as rochas cristalinas. As vertentes, nomeadamente nas sub-bacias da margem esquerda (fig. 15), apresentam amplos sectores de declives superiores a 16° (28,7%) que chegam a superar

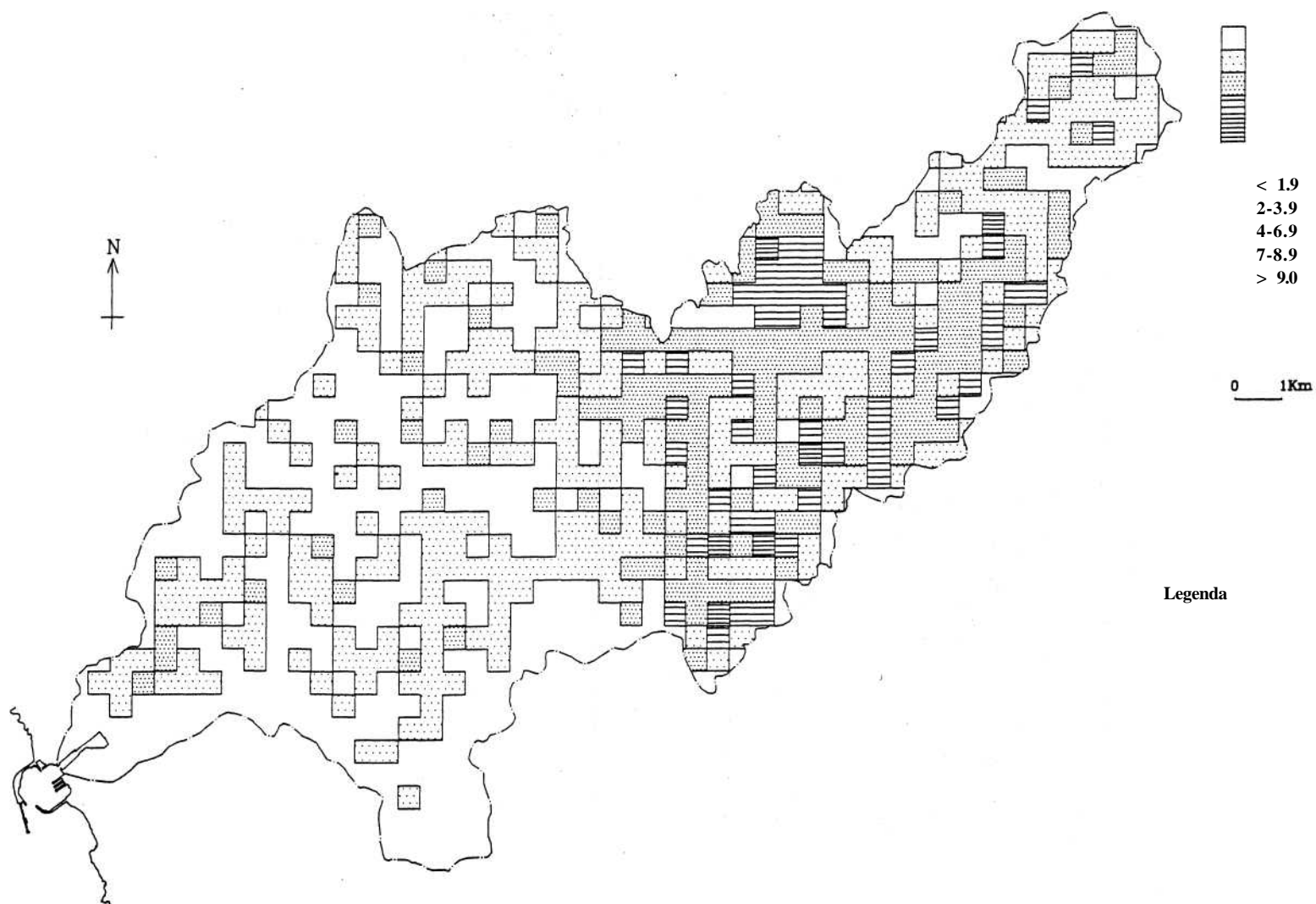


Fig. 17 — Densidades de drenagem na bacia hidrográfica do Rio Leça.

os 25° (46,6%), correspondendo a um entalhe e aprofundamento progressivo de alguns dos valeiros, determinando a existência de solos pouco espessos e mesmo litosolos. Estas características, associadas ao curto comprimento rectilíneo da superfície das vertentes, sobretudo das sub-bacias da margem esquerda, a acentuada inclinação do leito destas ribeiras e a forte densidade de drenagem criam condições para uma concentração rápida do escoamento no curso de água principal.

Os afluentes que drenam as sub-bacias da margem direita apresentam maior dimensão, vales menos encaixados e fundos do vale que vão progressivamente alargando até à confluência com o Leça.

A jusante da Reguenga o Leça apresenta troços de vale de fundo amplo e fraco declive (fig. 15), constituindo depressões drenadas também pelos sectores terminais de alguns dos seus principais afluentes, onde se foram acumulando depósitos aluviais. É o caso da depressão da Reguenga onde a ribeira de Refojos conflui no Leça, a de Agrela-Água Longa onde, para além de alguns pequenos afluentes, conflui a ribeira de Pisão e a depressão da Gândara também drenada no sentido N-S pela ribeira da Junqueira. Os limites destas depressões são bem definidos tal como se pode observar pelo mapa de declives e em alguns sectores marcados por declives superiores a 16° (28,7%), como acontece no limite oriental da depressão da Reguenga e limites meridionais da de Reguenga e Agrela-Água Longa. A passagem entre estas depressões é feita por estrangulamentos do vale bastante marcados entre a de Reguenga e a de Agrela e entre a de Água Longa e Gândara. Embora nem todas as ribeiras que drenam estas depressões tenham uma grande dimensão, o facto de os declives que as circundam serem acentuados, para além das fracas capacidades de infiltração, determina que, em situações de precipitação intensa, importantes volumes de água de escoamento directo rapidamente afluam a estas depressões. Como resultado, estas áreas são algumas das de maior risco de cheia em toda a bacia, com uma área total inundada relativamente extensa devido à maior dificuldade de drenagem rápida do escoamento, motivada pelos estrangulamentos do vale a jusante de cada uma das depressões.

1.1.2. *Formas de ocupação dos solos na bacia*

As características dos solos influem nos processos de escoamento na medida em que, através da sua capacidade de infiltração e de armazenamento de água, regulam as relações entre precipitação e escoamento. Sem dúvida que em situações de precipitação intensa tem uma importância acrescida a contabilização dos teores de humidade antecedentes, variáveis consoante a época do ano, e portanto, determinantes quer do valor do caudal máximo de cheia quer do tempo de ascensão do hidrograma da cheia. A influência das formas de ocupação dos solos exerce-se fundamentalmente nas modificações

sobre os valores da precipitação caída, através da intercepção e da evapotranspiração, afectando os valores de infiltração e armazenamento e, assim, a taxa a que a água é escoada ao longo da bacia.

No sector a montante de Ermesinde os limites das unidades definidas apresentam uma relação bastante estreita com o declive dos terrenos. Assim, nas áreas de maior declive é a utilização não agrícola a preconizada, pela menor espessura dos solos e pelos riscos acrescidos de erosão. O que se observa é que nas áreas de declives compreendidos entre 16° e 25° (28,7 % - 46,6 %) os factores biogeográficos na bacia favorecem uma boa a moderada retenção das águas, já que são áreas onde encontramos uma extensa mancha florestal, sobretudo de pinheiro, (fig. 18), embora em alguns sectores os incêndios a tenham fragmentado. As áreas de declive superior a 25° (46,6%) apresentam uma taxa de cobertura florestal bastante inferior, sendo frequente um revestimento pouco denso, e em alguns sectores a presença de uma vegetação rasteira pouco densa e mesmo o solo a nu, fazendo aumentar os valores de escoamento superficial. Nas áreas adjacentes aos cursos de água onde a espessura do solo é maior e os declives substancialmente mais fracos, e em grande parte daquelas de declive inferior a 8° (14%), o aproveitamento é essencialmente agrícola.

No sector a jusante de Ermesinde não se observa, como é lógico, uma relação tão estreita entre as unidades da carta de Ordenamento Agrário¹ e o valor dos declives, já que estes raramente se constituem, neste sector, como factor limitante. Observa-se o predomínio da unidade A pelo que os solos são quase sempre espessos e a permeabilidade apresenta valores acrescidos em relação ao que se observa na área de granitos a montante da bacia. As áreas onde se preconiza uma utilização não agrícola (F) ocupam extensões substancialmente menores e apresentam uma forte associação com as manchas do complexo xisto-grauváquico e outras pequenas manchas xistentas. Embora não seja referido na carta, esta relação poderá justificar-se por limitações provocadas por excesso de água no solo, devido à maior impermeabilidade destes terrenos. A ocupação agrícola é a predominante e as áreas de floresta ou bosque raramente formam manchas contínuas; com excepção da parte norte deste sector, em todo o restante encontramos pequenas manchas de bosque dispersas num espaço agricultado.

Este sector da baía ocupa áreas que se repartem por alguns dos concelhos limítrofes do Porto que apresentam uma forte dinâmica de crescimento. Tal é o caso de Matosinhos e Maia onde, para além dos centros urbanos, algumas freguesias apresentam um cariz acentuadamente urbano, o

¹ A carta de Ordenamento Agrário agrupa os solos em função do seu potencial e limitações para suportar uma ocupação agro-florestal. Apresenta três unidades, A, C e F, ordenadas de maior a menor qualidade para a produção agrícola, aumentando na mesma ordem, o número e o grau de limitações à sua utilização.

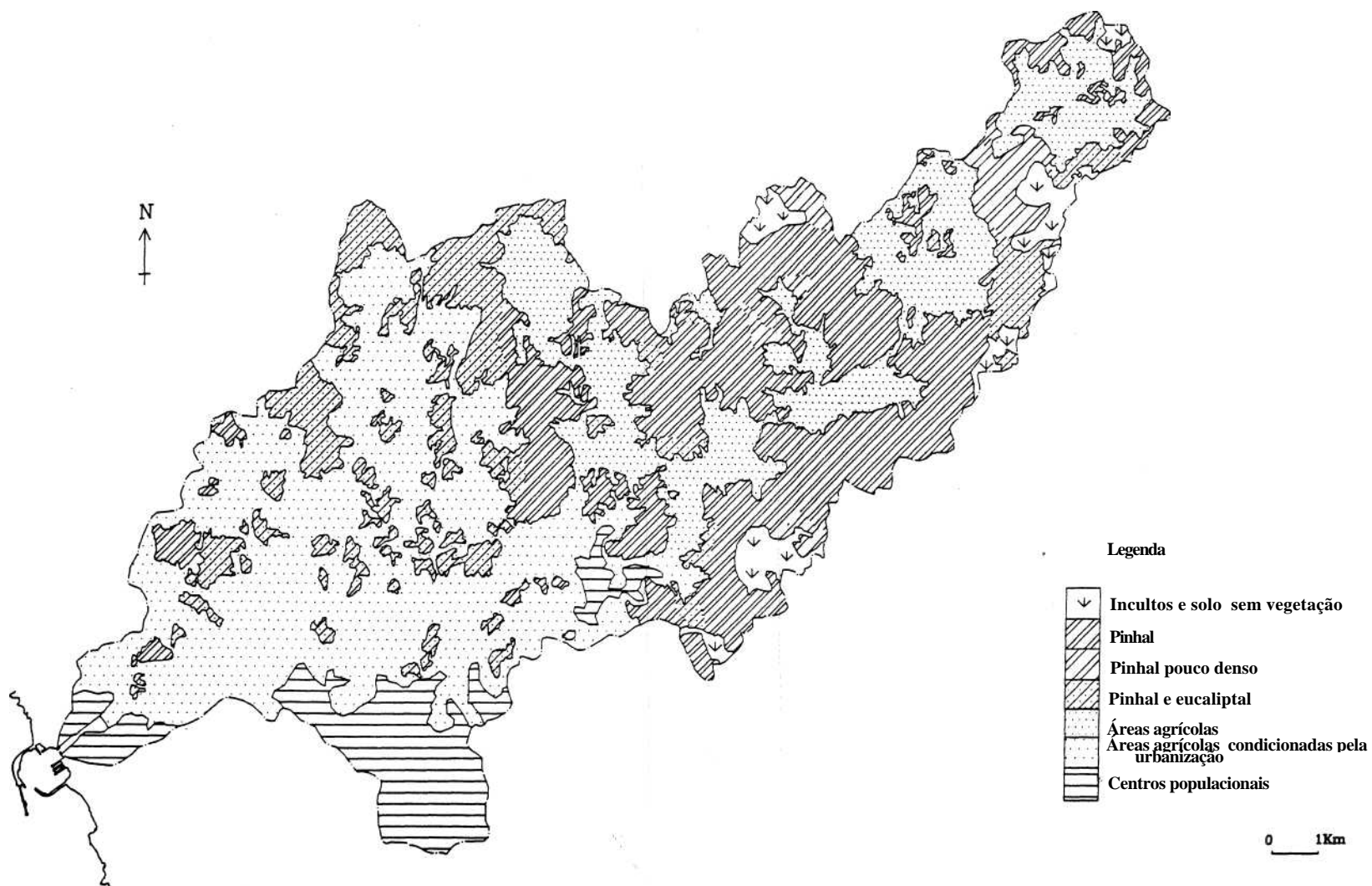


Fig. 18 — Usos do solo na bacia hidrográfica do Rio Leça.

mesmo se verificando na freguesia de Ermesinde. A parte Norte e Nordeste deste sector, embora de características mais rurais, apresenta uma progressiva alteração das formas de ocupação do solo assistindo-se a uma progressiva diminuição das áreas agrícolas, quer pela instalação de estruturas urbanas, quer pela disseminação de unidades industriais que competem em termos de espaço. As áreas florestadas têm vindo também, progressivamente, a sofrer uma redução em prol fundamentalmente de estruturas e equipamentos urbanos e industriais.

O progressivo recobrimento da superfície por edifícios e infraestruturas urbanas promove uma resposta hidrológica complexa, mas que, em princípio, se manifesta por um incremento da escorrência superficial devido a uma diminuição da infiltração da água no solo, muito mais acusado, evidentemente, no sector terminal e sudoeste da bacia. A progressiva impermeabilização do substrato poderá originar um incremento do coeficiente de escoamento e do número e magnitude dos picos de cheia, assim como reduções do tempo de concentração da bacia.

1.2. *O regime hidrológico*

A análise do regime hidrológico na bacia permite-nos avaliar os volumes de água escoados, assim como definir os períodos do ano em que, mercê dos elevados caudais, seja legítimo assumir que as condições de humidade dos solos estão garantidas, pelo que um episódio chuvoso de maior duração ou intensidade cria condições para a eclosão de uma cheia.

A caracterização do regime hidrológico do Leça é dificultada pela escassa informação existente quanto a valores dos caudais mensais. Refira-se que as duas únicas estações hidrométricas no Leça se situam nas cabeceiras da bacia, muito próximas entre si, uma na Ponte de Pereiras, a outra em Fervença (fig. 2), ambas com entrada em funcionamento apenas em 1980 e nenhuma delas provida de limnígrafo. Como consequência, as séries de caudais são de duração extremamente curta, dificultando uma análise estatística adequada e impossibilitando, igualmente, uma análise para períodos de duração inferior a 24 horas.

Procederemos à análise conjugada dos dados existentes para o período de 1979-80 a 1987-88, com valores a obter por métodos indirectos, mas complementares, de cálculo do balanço hidroclimatológico sequencial mensal, a partir dos dados de precipitação e valores calculados de evapotranspiração potencial, para todo o período de 1950-51 a 1986-87.

1.2.1. *Características do escoamento no sector das cabeceiras*

O regime hidrológico apresenta-se basicamente dependente do regime pluviométrico nesta área das cabeceiras. Para o período de 1979-80 a

1987-88, único período de que dispomos de dados de medição, o valor do escoamento médio anual do Leça em Pereiras é de $11,647 \times 10^6 \text{ m}^3$ (escoamento específico de 1182,4 mm). O Leça na Ponte de Pereiras define uma área a montante de apenas 9,85 km² e se tomarmos a estação de Fervença, a área a montante corresponde a 10 km²; embora relativamente próximas, os valores médios do escoamento anual registados nas duas estações são algo diferenciados, já que em Fervença o valor médio anual, no mesmo período, foi de $9,126 \times 10^6 \text{ m}^3$ ou 912,6 mm de escoamento específico (quadro XIV). Contudo, os coeficientes de variação são relativamente elevados, registando 0,33 e 0,36 em Ponte de Pereiras e Fervença, respectivamente.

Quadro XIV - Escoamentos anuais em P.te de Pereiras e Fervença (1979-80 / 1987-88)

Postos	Ponte Pereiras (9,85 Km2)	Fervença (10Km2)
Escoamento total (10^6 m^3)		
Médio	11,647	9,126
Máximo	30,330	15,890
Mínimo	5,142	3,147
Coeficiente Variação	0,33	0,36
Escoamento específico (mm)		
Médio	1182,4	912,6
Máximo	3079,0	1589,0
Mínimo	522,1	314,7

Refira-se que o valor da precipitação média anual para este sector da bacia é de 1507,7 mm¹. Os elevados valores do coeficiente de variação do escoamento anual, reflexo de uma forte variabilidade interanual, definem um regime bastante irregular, largamente na dependência das características do ano hidrológico e dos quantitativos pluviométricos registados, embora acrescido pela interferência dos parâmetros relativos aos tipos de solos.

Em Portugal e nomeadamente no Noroeste, a distinção entre o semestre de Outubro a Março e o semestre de Abril a Setembro é convencionalmente considerada como o melhor critério para a análise da distribuição do escoamento ao longo do ano. São, todavia, evidentes algumas variantes relativamente a este padrão, no sector das cabeceiras do Leça.

¹ Valor obtido por processo de ponderação entre os valores registados nos postos udométricos limítrofes.

O Leça apresenta, no semestre de Outubro a Março, um valor médio do coeficiente de escoamento de 0,70 em Pereiras e de 0,66 em Fervença, mas, estes valores médios encobrem importantes variações consoante as características pluviométricas de cada ano. Assim, no ano de 1980-81, um ano extremamente seco, o coeficiente de escoamento no semestre de Outubro a Março foi de apenas 0,31 em Pereiras e de 0,22 em Fervença; no ano de 1984-85, um ano de elevada precipitação, o valor ascendeu a 0,81 e 0,83, respectivamente em Pereiras e Fervença (quadro XV).

Quadro XV - Escoamento específico e coeficiente de escoamento no semestre de Outubro a Março nas estações hidrométricas do Leça

Anos	SEMESTRE OUTUBRO - MARÇO						
	P (mm)	P. PEREIRAS			FERVENÇA		
		Escoam. específico		C (h/P)	Escoam. específico		C (h/P)
		h (mm)	% anual		h (mm)	% anual	
Médio	979,3	687,4	58,3	0,70	642,5	67,9	0,66
Seco	612,9	187,8	36,0	0,31	135,0	42,9	0,22
Pluvioso	1391,8	1132,0	78,6	0,81	1150,0	80,6	0,83

(P - Precipitação; C - Coef. de escoamento)

Valor médio — período de 1979-80 / 87-88
 Ano seco — ano hidrológico de 1980-81 Ano
 pluvioso — ano hidrológico de 1984-85

Os elevados valores do coeficiente de escoamento neste sector de montante devem-se, fundamentalmente, ao facto de a infiltração ser dificultada pela forte inclinação do leito e pelos maiores declives observados nesta área da bacia. Todavia, em anos particularmente secos, mesmo os fortes declives não se conseguem opor a uma maior infiltração das águas, em consequência de um período de estio prolongado que provoca a exaustão de grande parte das reservas hídricas subterrâneas e do solo.

Embora os maiores valores do escoamento se observem de Outubro a Março (quadro XVI), constata-se que, nalguns dos anos de que há registos, se observam caudais elevados em meses posteriores. Os valores médios calculados para o período de 1979-80 a 1987-88 mostram que os escoamentos de Outubro a Março correspondem em Pereiras apenas a 58 % do total anual, e a 67,9 % em Fervença. Em ano seco, esse valor reduz-se para 36% e 43%, respectivamente. Em ano pluvioso assiste-se a uma maior concentração dos caudais fortes no semestre de Outubro a Março,

Quadro XVI — Parâmetros característicos dos caudais mensais do rio Leça em Ponte de Pereiras e Fervença (1979-80 / 87-88)

Parâmetros	Mês												
	O	N	D	J	F	M	A	M	J	JL	A	S	
Pt. Pereiras (9,85 km ²)	Módulo (m ³ /s)	0.10	0.31	0.58	0.52	0.58	0.50	0.66	0.67	0.35	0.10	0.02	0.03
	(l/s/km ²)	10.2	31.5	58.9	52.8	58.9	50.8	67.0	68.0	35.5	10.2	2.0	3.0
	Coef. mensal de caudal	0.41	0.83	1.48	1.47	1.60	1.19	1.57	1.70	0.94	0.48	0.22	0.20
	Escoamento (10 ³ m ³)												
	Máximo	1951	3300	3420	4260	4010	2010	3360	5140	2180	2810	1870	1370
	Mínimo	0	190	270	270	250	620	430	630	370	90	2.4	6.8
	Médio	339.8	778.2	1522.8	1386.2	1408.7	1335.0	1717.5	1807.5	926.2	275.0	62.8	87.1
	Escoam, específico (mm)												
	Médio	34.5	79.0	154.6	140.7	143.0	135.5	174.4	183.5	94.0	21.9	6.4	8.8
	Coeficiente variação	0.79	1.35	0.66	0.51	0.48	0.29	0.62	0.84	0.57	0.60	0.90	0.85
Caud. máx. instant. (m ³ /s)	13.4	9.25	6.79	11.9	8.31	5.4	5.09	7.97	2.23	1.92	0.96	1.15	
(l/s/km ²)	1360.4	939.1	689.3	1208.1	843.7	548.2	516.8	809.1	226.4	194.9	97.5	116.8	
Fervença (10 km ²)	Módulo (m ³ /s)	0.05	0.29	0.62	0.48	0.59	0.41	0.51	0.36	0.13	0.02	0.009	0.01
	G/s/km ²)	5.0	29.0	62.0	48.0	59.0	41.0	51.0	36.0	13.0	2.0	0.9	1.0
	Coef. mensal de caudal	0.36	0.98	2.09	1.95	2.39	1.31	1.67	1.22	0.47	0.14	0.04	0.04
	Escoamento (10 ³ m ³)												
	Máximo	1320	3520	3840	3540	3990	1710	2040	3420	810	600	120	100
	Mínimo	20	100	210	170	120	620	360	150	100	30	7.3	10
	Médio	178.7	712.9	1620.7	1396.0	1378.8	1138.4	1322.5	898.7	350.0	60.0	25.9	43.7
	Escoam, específico (mm)												
	Médio	17.9	71.3	162.0	139.6	137.9	113.8	132.2	89.8	35.0	6.0	2.6	4.4
	Coeficiente variação	0.85	1.62	0.73	0.58	0.70	0.37	0.44	1.16	0.65	0.59	0.56	0.75
Caud. máx. instant. (m ³ /s)	20.5	13.8	13.0	8.82	19.2	10.7	5.06	16.8	0.73	0.75	0.08	2.92	
G/s/km ²)	2050	1380	1300	882	1920	1070	506	1680	73	75	8	292	

A Bacia Hidrográfica do Rio Leça

registando-se em Pereiras um valor de 78,6 % e de 80,6 % em Fervença (quadro XV).

O Leça em Pereiras apresenta o caudal médio mensal mais elevado em Maio e, embora este resultado se possa dever à pouca representatividade do valor médio, em virtude da curta duração da série estudada, constata-se que dos 9 anos de registos, em 5 deles, Maio constituiu-se num dos três meses de maior caudal. Observa-se pela fig. 19 que, quer no que se refere aos caudais

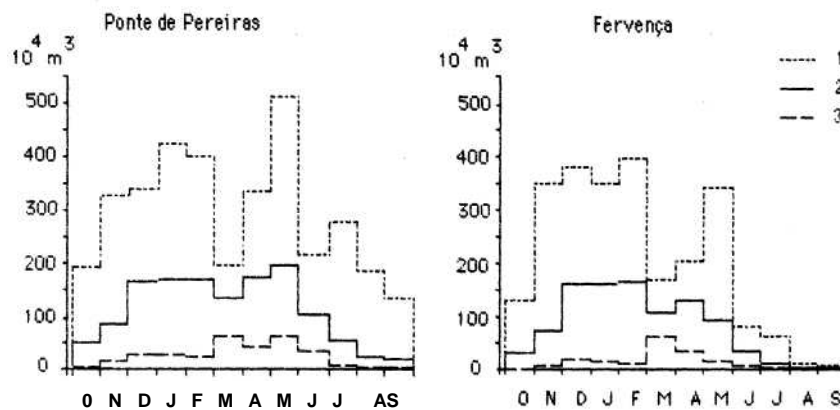


Fig. 19 - Distribuição dos escoamentos mensais do Leça em P.te Pereiras e Fervença (1979-80/ 87-88). 1. valores máximos; 2. valores médios; 3. valores mínimos.

mensais máximos quer aos mínimos, o mês de Maio aparece sempre destacado. Situação idêntica se observa para Abril que se constitui, em 4 desses anos, como um dos dois meses de maior caudal, razão pela qual o seu valor médio segue de perto o valor de Maio. Relacionando os dados da precipitação e caudais, neste período, verifica-se, quer pelos valores médios quer pelos máximos, que a distribuição sazonal da precipitação se afastou do regime médio normal já que se registaram quantitativos pluviométricos significativos bastante tardiamente no inverno prosseguindo pelos meses de primavera (fig. 20).

Cerca de 1,5 Km a jusante, a estação de Fervença permite-nos controlar os valores registados em Pereiras, já que entre ambas não se verifica a confluência de nenhum curso de água significativo. Assim, em Fervença o escoamento apresenta um máximo principal de Dezembro a Fevereiro e um máximo secundário em Abril. A observação dos coeficientes mensais de caudal¹ (fig.21) nas duas estações revela-nos que o período de águas altas

¹ O valor do coeficiente mensal de caudal relaciona o caudal médio mensal ao módulo do período estudado (1979-80 / 87-88). Ver Luciano Lourenço - *O rio Alva, estudo hidroclimatológico*. " Cadernos de Geografia ", Coimbra, (8), I.E.G., 1989, p. 55 - 125.

se alarga de Dezembro a Maio e o de águas baixas de Junho a Novembro. Contudo, evidencia-se uma muito maior irregularidade na distribuição sazonal do escoamento em Fervença, registando-se um coeficiente máximo de 2,39 em Fevereiro e mínimo de 0,04 em Agosto. Em Ponte de Pereiras, embora Agosto e Setembro registem um baixo coeficiente de 0,22, o contraste com o máximo de 1,7 em Maio é menos acentuado.

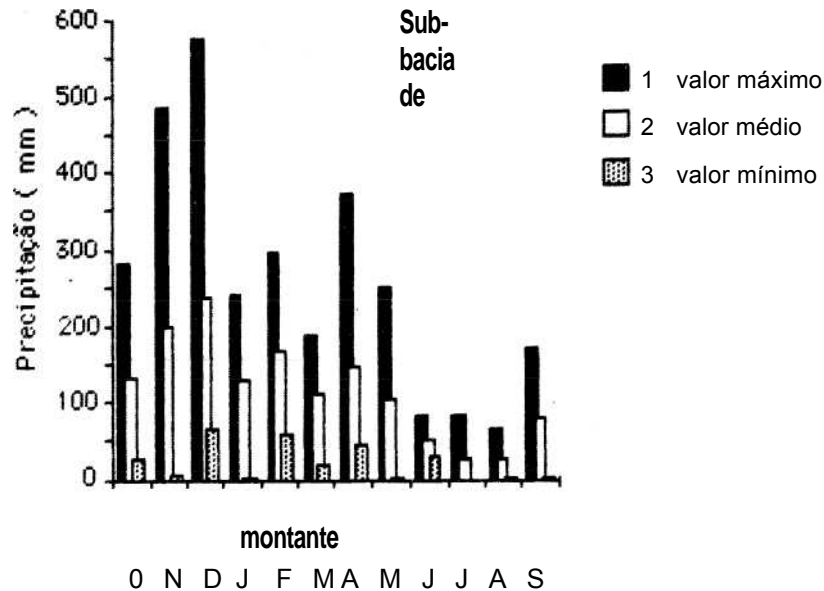


Fig. 20 - Distribuição mensal dos valores da precipitação na sub-bacia a montante de Fervença (10 km²) (1979-80/ 87-88).

Este facto permite-nos antever algumas diferenciações ao nível dos processos geradores do escoamento já que em Fervença, no Outono, a transição para o período de águas altas é mais brusca, o mesmo se verificando no fim da primavera na passagem para o período de águas baixas.

Do período analisado, 1979-80 a 1987-88, os anos hidrológicos de 1982-83 e de 1984-85 foram aqueles que registaram maiores quantitativos de precipitação, contrastando fortemente com o ano de 1980-81, considerado extremamente seco. No que se refere ao regime hidrológico, a única característica comum aos três anos é a escassez dos caudais de verão, já que, no que respeita à época do ano de águas mais altas, ela é bastante variável, mesmo entre anos de quantitativos pluviométricos elevados é semelhantes (fig. 23). Para valores idênticos de precipitação anual, o módulo do caudal tal como o défice de escoamento podem diferir substancialmente, dependendo da distribuição sazonal da precipitação.

À excepção de Outubro e parte de Novembro, o regime hidrológico de pormenor parece reagir directamente a chuvadas de forte intensidade e concentradas no tempo, o que permite atribuir-lhe características de torrencialidade.

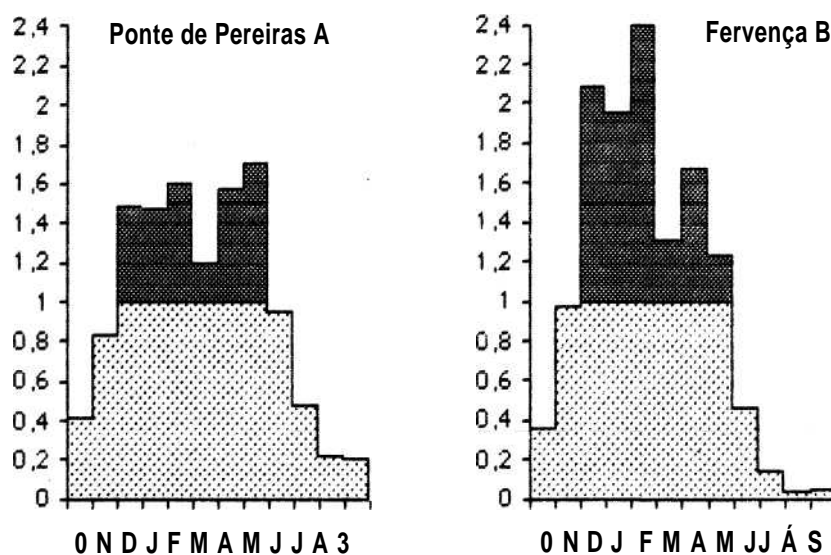


Fig. 21-A-B - Coeficientes mensais de caudal no Leça em P.te de Pereiras (A) e Ferveça (B) (1979-80 / 87-88).

Em termos gerais, Outubro e Novembro registam caudais bastante fracos apesar da maior precipitação média relativamente aos meses primaveris de Abril e Maio (fig. 20). A reposição das águas subterrâneas na sequência de um verão sem chuvas e a evapotranspiração ainda elevada nos meses de Outubro e Novembro, condicionam as quantidades de água susceptíveis de escoar no leito do rio, mesmo se a forte velocidade do escoamento reduz as possibilidades de infiltração. Observa-se assim, que, neste período outonal, o regime das águas superficiais está tão dependente dos parâmetros que condicionam o teor de humidade dos solos e das reservas subterrâneas, como dos quantitativos e imensidades pluviométricas.

Para os principais cursos de água do Noroeste os escassos resultados publicados ¹ revelam, em termos gerais, que os caudais mais elevados se registam entre Dezembro e Fevereiro e ocasionalmente em Abril, conclusão

¹ *Monografias sobre as bacias hidrográficas do Norte de Portugal, PGIRH / N., Porto, 1990.*

esta que não se afasta dos valores obtidos para a sub-bacia do Leça a montante de Pereiras.

1.2.2. Os caudais diários

A análise dos caudais diários no que respeita, quer à sua grandeza, quer à frequência em número de dias com que um valor de caudal é igualado ou excedido, pode ser efectuada pelas curvas de duração (fig. 23) envolvendo todos os caudais médios diários, ou por valores característicos de caudal convencionalmente fixados (fig. 22).

Para o período em análise, é de assinalar, em ambas as estações hidrométricas nas cabeceiras do Leça, uma forte amplitude entre os valores extremos correspondentes ao caudal máximo absoluto, aquele que se observa num único dia. Na estação de Fervença a amplitude foi muito mais marcada nomeadamente porque o valor extremo máximo registou $8 \text{ m}^3/\text{s}$, marca nunca alcançada em Ponte de Pereiras (fig. 22), Já no que se refere aos valores do caudal de cheia, aquele que é igualado ou superado em 10 dias do ano, os valores são substancialmente menores, assim como as amplitudes entre os extremos máximo e mínimo. Relativamente aos caudais correspondentes aos limiares sucessivos de Q30 a Q330 os valores vão progressivamente diminuindo e a partir do caudal de Q90 a amplitude entre os extremos é praticamente idêntica (fig.22). Observe-se, contudo, como os caudais característicos em Fervença, após o máximo absoluto destacado, assumem valores bastante baixos, e mesmo a partir do limiar Q210 são próximos de $0 \text{ m}^3/\text{s}$. Assim, em Fervença o caudal de estiagem (Q 355) e o caudal mínimo absoluto registam valores muito baixos ou mesmo nulos, enquanto que em Ponte de Pereiras, à excepção do limiar máximo, os valores são praticamente nulos.

Depreende-se desta análise que uma característica importante da hidrologia deste sector das cabeceiras é o carácter não permanente do escoamento. Embora predominem, neste sector, os afluentes de comprimento reduzido, para além de valores baixos da capacidade de escoamento e densidade de drenagem, os caudais nulos observam-se apenas no período mais seco do verão. Na estação de Ponte de Pereiras em situação extrema representada pelo ano seco de 1980-81 (fig. 23-A), foram 57 os dias de caudal nulo, embora como demonstra a curva de duração a maior frequência corresponda a caudais de muito fraco volume. Registe-se que estes caudais nulos coincidiram com uma longa sequência de dias sem precipitação, um verão com 90 dias praticamente sem chuva, já que este longo período apenas foi interrompido por um dia com 4 mm de precipitação. No ano pluvioso de 1984-85 (fig. 23-B) foram 44 os dias de caudal nulo, que se concentraram no fim do verão, na sequência de 40 dias sem precipitação;

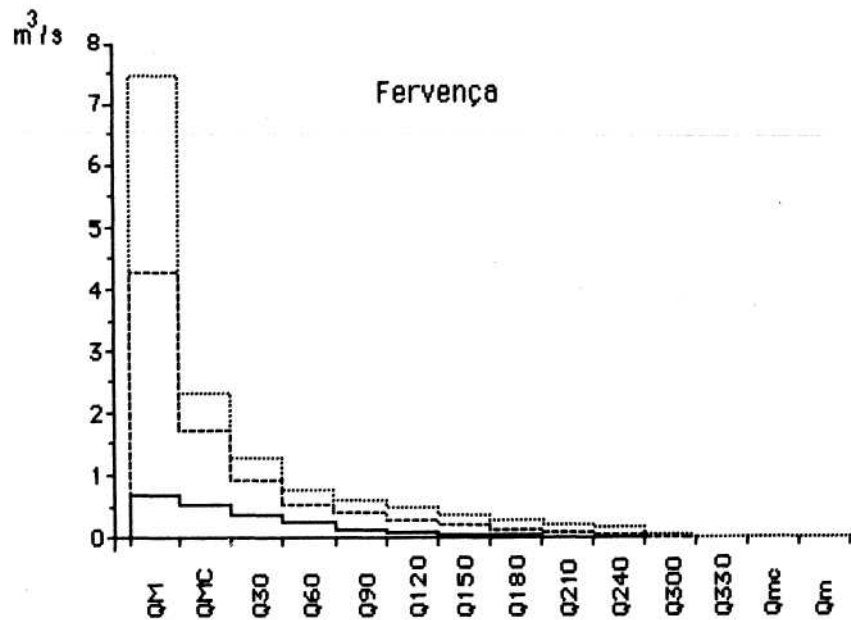
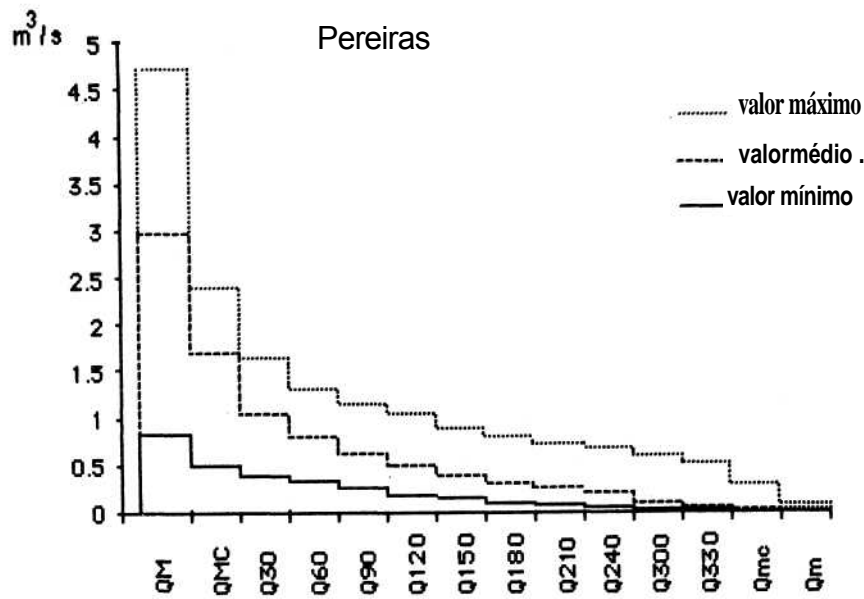


Fig. 22 - Distribuição dos valores extremos e médios dos caudais classificados do rio Leça em P.te de Pereiras e Fervença (1979-80 / 87-88),

QM - caudal máximo; QMC - caudal igualado ou excedido só em 10 dias do ano; Q30, Q60, Q90,... Q330 - caudal igualado ou excedido respectivamente em 30,60,90... e 330 dias do ano; Qmc - caudal de estiagem; Qm - caudal mínimo absoluto.

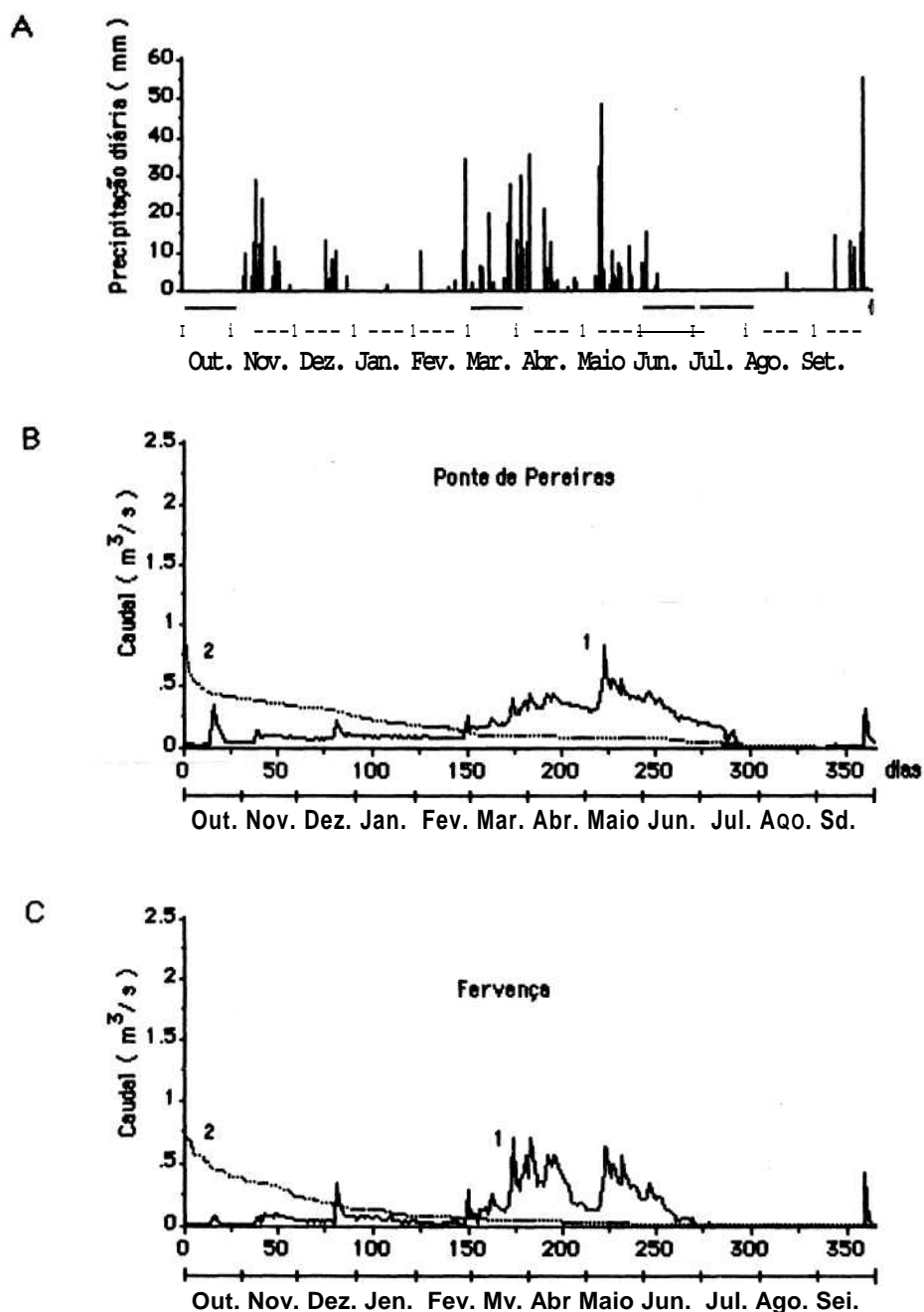
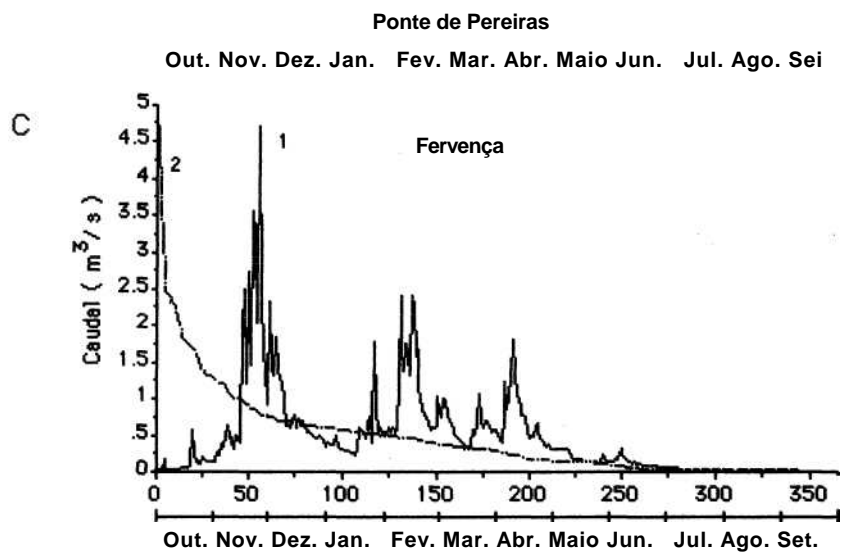
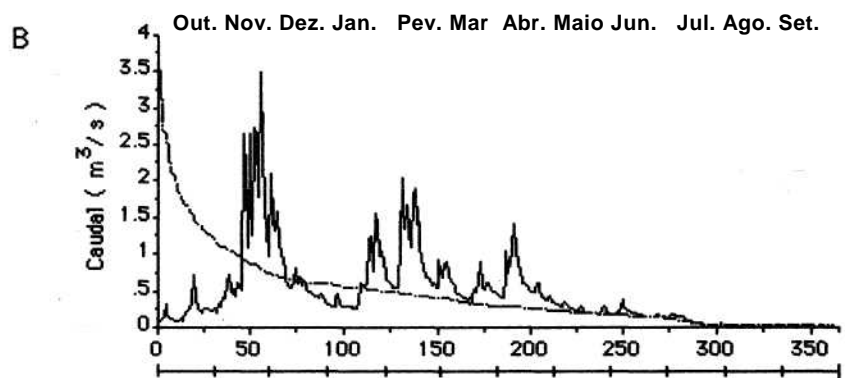
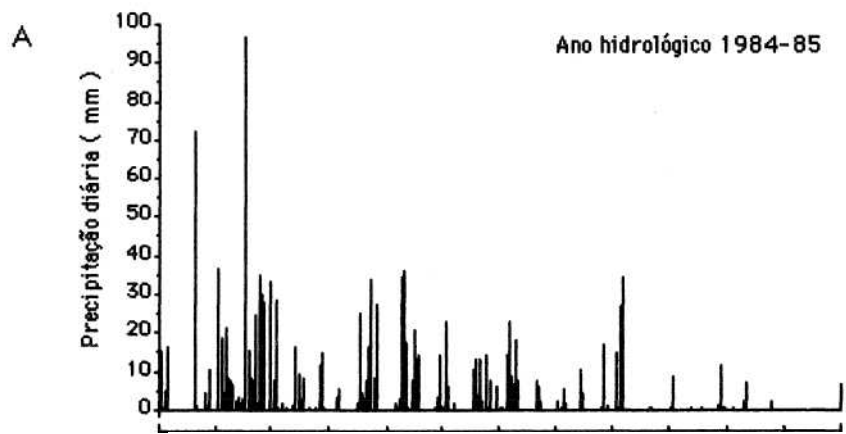


Fig. 23-A — Valores diários da precipitação (A) e do caudal em P.te de Pereiras (B) e Fervença (C) no ano hidrológico de 1980-81.

1 - caudais médios diários; 2 - curva de duração dos caudais médios diários



Rg. 23-B — Valores diários da precipitação (A) e do caudal em P.te de Pereiras (B) e Fervença (C) no ano hidrológico de 1984-85.

1 - caudais médios diários; 2 - curva de duração dos caudais médios diários

embora com uma frequência muito reduzida, é de realçar os caudais de ponta significativamente elevados para este sector da bacia.

As características do escoamento neste sector estão intimamente dependentes da topografia e capacidade de infiltração dos solos, o que se pode comprovar pela comparação das curvas de duração de Ponte de Pereiras e Fervença. Nesta última estação hidrométrica, o escoamento regista um carácter de mais forte torrencialidade, sendo o número de dias de caudal fraco, ou mesmo nulo, significativamente superior. No ano seco de 1980-81 foram 99 os dias de caudal nulo e nos restantes, os caudais jamais superaram os de Pereiras. No ano pluvioso de 1984-85 observaram-se 78 dias de caudal nulo e o principal contraste relativamente a Ponte de Pereiras reside no facto de os caudais máximos atingirem valores superiores aos deste posto.

A este propósito, pode-se comprovar, pela análise dos caudais máximos instantâneos em cada mês (fig. 24), que no período de Outubro a Maio, com a única excepção de Janeiro, o máximo instantâneo extremo registou sempre um valor consideravelmente superior em Fervença. Ao nível dos valores médios dos máximos instantâneos os contrastes são menos evidentes e, relativamente aos menores valores, eles são ligeiramente superiores na estação de Ponte de Pereiras.

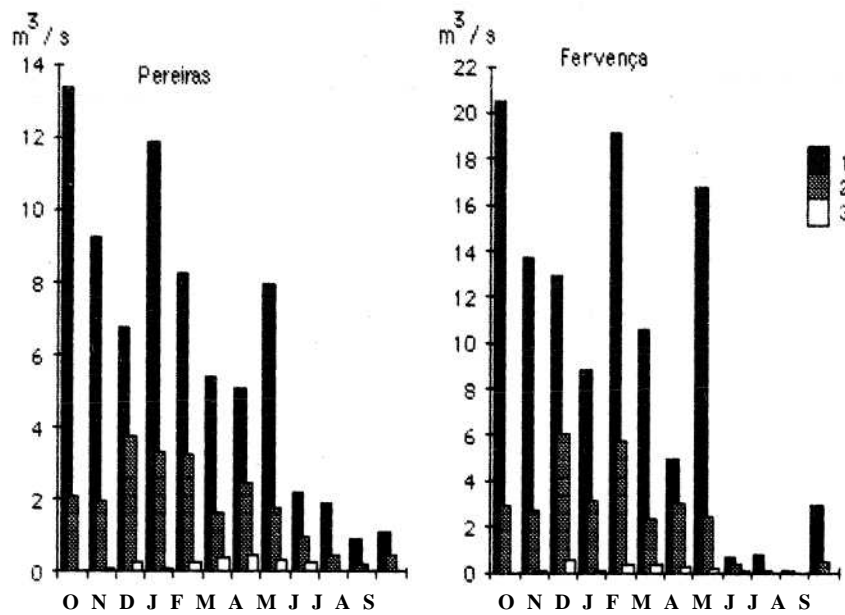


Fig. 24 - Distribuição dos valores mensais dos caudais máximos instantâneos no rio Leça em P.te Pereiras e Fervença (1979-80 / 87-88).

1 - máximo absoluto; 2- máximo médio; 3 - menor máximo.

A Bacia Hidrográfica do Rio Leça

Os fracos caudais estivais devem-se aos baixos quantitativos da precipitação nestes meses e mesmo os caudais instantâneos são pouco significativos, pela fraca intensidade dos episódios chuvosos de verão. Do conjunto dos meses de verão, Setembro parece ser aquele que apresenta maior frequência de ocorrência de chuvadas intensas, mas, ainda assim, não provocam aumentos significativos do caudal, devido aos elevados valores da evapotranspiração e da infiltração nesse período. A duração do período de águas baixas e o seu termo está relacionada com a maior ou menor precocidade das chuvas de outono e com as suas características de duração e intensidade.

Após o período de estio, a data de retomada do escoamento e a ocorrência de caudais significativos é muito variável interanualmente. Somente quando as chuvas são suficientemente abundantes é que se realiza um excedente, após a evaporação e a infiltração no solo seco, susceptível de originar escoamento à superfície.

Em muitos dos anos hidrológicos analisados, Outubro e Novembro são meses de caudal nulo ou pouco significativo. No ano hidrológico de 1981-82, apesar das chuvas intensas na segunda quinzena de Setembro e início de Outubro, o escoamento foi fraco, registando valores praticamente nulos em Novembro devido à irregularidade da precipitação, e só em Dezembro se observaram as primeiras pontas de cheia significativas.

Nos anos em que as chuvas de primavera são fracas (ano hidrológico de 1981-82), os caudais rapidamente começam a decrescer e o período de caudais baixos ou nulos cedo se afirma. Nos anos hidrológicos de precipitação mais regularmente distribuída, como em 1982-83, com fortes chuvadas diárias em Novembro, Dezembro, Fevereiro, Abril e Maio, os escoamentos médios são mais elevados e registam-se alguns importantes picos de cheia ao longo do ano.

No ano hidrológico de 1980-81, um dos mais secos deste período, as precipitações de inverno e primavera foram fracas, condicionando os baixos volumes mensais escoados, não se registando pontas de cheia significativas.

Uma característica que sobressai é que, qualquer que tenha sido a característica pluviométrica do período invernal e primaveril, na generalidade dos casos, o mês de Julho corresponde já a escoamentos insignificantes, donde se pode concluir que as reservas de água subterrânea são escassas, apesar de nalguns anos o caudal ser ainda alimentado algum tempo após as fortes chuvadas.

Parece, assim, haver uma associação entre ocorrência de fortes imensidades de precipitação e formação de caudais mais elevados, embora nos meses de Outono tal condição esteja ainda dependente de outra variável, das condições antecedentes de humidade dos solos.

A inexistência de dados mais detalhados, nomeadamente de duração inferior a 24 horas impossibilita-nos conclusões mais detalhadas que só

podem ser obtidas pela análise do escoamento na sequência de episódios chuvosos de muito curta duração (inferior a 24 horas). No entanto, a maior regularidade do escoamento em Ponte de Pereiras e a mais forte torrencialidade do regime em Fervença leva a supor que, para além do escoamento directo de resposta rápida, presente em ambas as secções, a componente de escoamento retardado trará uma maior contribuição aos caudais medidos na secção de montante - a de P.te de Pereiras. Registe-se que no troço que separa Ponte de Pereiras de Fervença, a inclinação do fundo do leito sofre um aumento considerável se comparado com a inclinação média em todo o sector a montante de Pereiras.

1.2.3. *Estimação dos valores de escoamento por via indirecta*

A completa inexistência de registos de caudais no sector da bacia a jusante de Fervença e a curta duração temporal dos registos nos dois postos analisados, obriga à utilização de modelos mais ou menos complexos, que permitam estimar a ordem de grandeza dos volumes de água escoados.

Com base nos registos disponíveis dos escoamentos, serão ensaiados modelos de regressão, linear e múltipla, entre o escoamento, a precipitação e outros parâmetros que eventualmente revelem boa correlação, no sentido de se estimar o valor do escoamento.

O cálculo dos principais termos do balanço hidrológico, segundo a metodologia de Thornthwaite, permite obter valores para um período mais alargado do que aquele para que dispomos de informação. A aplicação deste modelo baseia-se num cálculo sequencial em que os valores obtidos num dado mês entram no cômputo dos valores do mês seguinte.

A sua utilização pressupõe a atribuição de um valor ao parâmetro relativo ao teor máximo de humidade do solo susceptível de alimentar a evapotranspiração em épocas de precipitação deficitária, no que se constitui numa das principais dificuldades da aplicação desta metodologia.

O valor de água cedida pelo solo e, portanto, o teor mensal de humidade do solo é calculado com base numa relação de tipo exponencial que relaciona o valor da capacidade de armazenamento em água do solo e a perda potencial acumulada de água no período em que a precipitação é inferior à evapotranspiração potencial¹.

Registam-se valores de excedente hídrico nos meses em que a precipitação é em excesso relativamente às perdas por evapotranspiração e

¹ A relação exponencial apresenta-se sob a expressão seguinte, $S^{\wedge} = C_u \cdot e^{-\wedge}$ em que S_{so} é o valor da reserva de água acumulada na camada superficial do solo, C_u é a capacidade de água utilizável máxima do solo e L são as perdas potenciais acumuladas de água no período seco antecedente. Ver A. Lencastre e F.M. Franco - Lições de Hidrologia. Lisboa 1984, p. 328-333.

desde que as reservas de humidade do solo estejam garantidas. Na realidade, o valor do superavit hídrico calculado corresponde ao somatório de duas parcelas, a do escoamento de superfície e sub-superficial e a de água que se infiltra até à zona de água subterrânea e que pode atingir o curso de água com bastante diferimento no tempo.

As precipitações e evapotranspirações potenciais mensais para a secção da bacia que se queira estudar, são calculadas com base na média ponderada dos valores das estações meteorológicas, adoptando os coeficientes de ponderação proporcionais às respectivas áreas de influência.

Pela aplicação deste teste será possível a obtenção de valores da evapotranspiração real, de excedente hídrico e das variações nas reservas de água do solo, o que nos possibilita a análise da oportunidade temporal de geração de escoamentos elevados. Por outro lado, no cômputo do balanço hídrico de valores médios para períodos de tempo razoáveis, a grandeza evapotranspiração real não é mais do que a deficiência de escoamento, pelo que, os valores resultantes da diferença entre precipitação anual e evapotranspiração real anual, fornece-nos uma estimativa do valor do escoamento total.¹

1.2.3.1. *Os resultados obtidos e análise crítica*

Começámos por aplicar a metodologia de Thornthwaite ao sector da bacia que convencionalmente designámos por sub-bacia a montante de Fervença, com secção terminal precisamente no posto de Fervença. Numa segunda fase, calculámos igualmente os balanços hídricos sequenciais para a bacia do Leça no seu conjunto (190 Km²), com base nos valores de precipitação e evapotranspiração potencial obtidos anteriormente.

Um processo comum para a adopção de um valor da capacidade de água utilizável é a sua estimacão a partir da classe de textura dos solos, com base nos valores mais correntes de capacidade de campo e do coeficiente de emurchecimento para várias classes de textura,² fazendo intervir simultaneamente um valor para a profundidade das raízes.

Na situação da sub-bacia a montante de Fervença, atribuímos um valor ponderado de 75 cm à profundidade das raízes, admitindo, assim, uma profundidade mais elevada na área florestada e um valor substancialmente

¹ Esta relação não é mais do que uma variante da expressão $D = P - Q$ (em que D é o déficit de escoamento médio anual, P é a precipitação média anual e Q é o escoamento médio anual), já que " o déficit de escoamento integra, para o conjunto da bacia considerada, as evaporações físicas ou fisiológicas, elas próprias influenciadas pelas características topográficas, ... geológicas ... e a cobertura vegetal." G. Remenieras - *L'hydrologie de Vingénieur*. Paris, Eyrolles, 1972, p. 251.

² J. Botelho da Costa — Caracterização e constituição do solo. Lisboa, Fundação Calouste Gulbenkian, 1985, p. 431-436.

menor nas áreas agricultadas, onde predominam as culturas hortícolas. Para um tipo de solo de textura, genericamente, argilo-arenosa, consideramos uma capacidade de água utilizável de 120 mm.

Os valores dos termos do balanço hídrico para o conjunto da bacia foram calculados a partir de uma capacidade de água utilizável de 150 mm. A opção por este valor deveu-se a apreciações de ordem qualitativa, já que, sendo este parâmetro muito variável de área para área, não existe processo de o aferir com exactidão. Contudo, o facto da bacia ter uma área substancial de baixas altitudes, declives fracos e solos bastante espessos e ricos agricolamente, levou-nos a estabelecer um valor que fosse expressão de uma boa capacidade de aprovisionamento em água.

Os valores médios dos termos do balanço hídrico obtidos para o período de 1950-51 / 1986-87 (quadro XVII), com uma capacidade de água utilizável de 120 mm, confirmam as conclusões elaboradas com base nos dados medidos nas estações hidrométricas das cabeceiras do Leça para o curto período de 9 anos de registos.

O período de excedente hídrico ocorre desde meados de Novembro a Abril (fig. 25); em Outubro e no 1^o decêndio de Novembro, apesar da precipitação já elevada, regista-se reposição de água no solo, devido à cedência verificada nos meses de verão. O período de Junho a Setembro

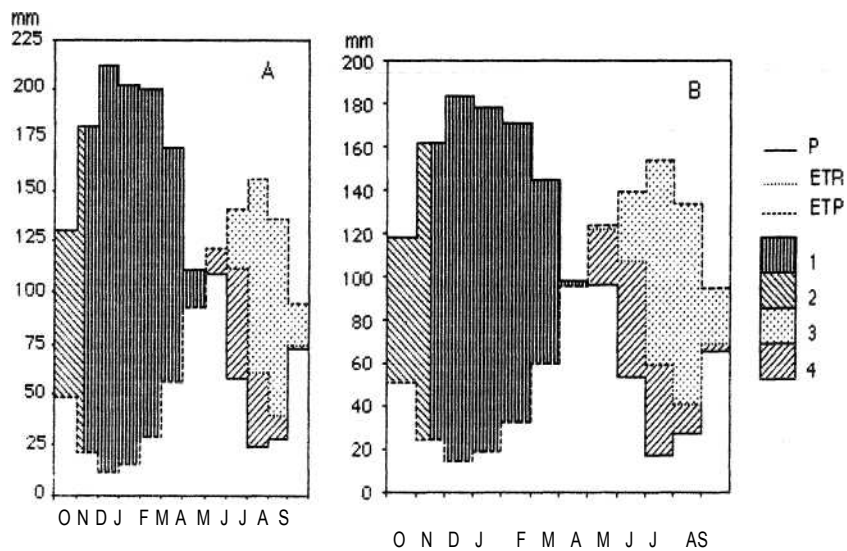


Fig. 25 - Balanço hidroclimatológico (1950-51 / 87-88) na sub-bacia a montante de Fervença (A) e na bacia do Leça (B).

(P- precipitação mensal; ETP- evapotranspiração potencial mensal; ETR- evapotranspiração real mensal; 1 - Superavit hídrico; 2- Restituição das reservas de água ao solo; 3- Déficit hídrico; 4- Cedência de água pelo solo)

Quadro XVII - A-B — Valores mensais (A) e anuais (B) dos componentes do balanço hidrológico (mm) do solo na sub-bacia a montante de Ferverença (10 Km*) (1950-51/87-88)

A	0	N	D	J	F	M	A	M	J	JL	A	S
Precipitação												
média	131,4	183,2	213,2	202,6	201,3	171,9	111,9	110,1	59,7	24,7	28,8	73,5
coef.var.	0,74	0,68	0,77	0,66	0,73	0,60	0,73	0,65	0,99	0,99	0,88	0,70
ETP												
média	49,1	20,6	10,8	15,5	29,2	56,5	92,7	122,0	141,4	156,9	137,0	95,4
coef.var.	0,12	0,19	0,46	0,27	0,13	0,10	0,11	0,10	0,09	0,09	0,08	0,11
ETR												
média	45,8	20,6	10,8	15,5	29,1	55,5	88,4	110,6	98,7	58,5	42,5	64,2
coef.var.	0,21	0,20	0,46	0,27	0,13	0,10	0,10	0,13	0,30	0,56	0,67	0,42
Superavit hídrico												
média	46,9	150,4	220,3	216,5	197,0	142,1	46,2	29,5	6,0	0,0	0,0	0,7
máximo	387,2	541,1	790,7	597,2	683,1	346,9	264,2	244,6	183,8	0,0	0,0	24,4

B Ternios B.H.	Valor Médio	Coef. variaç.	Valores para várias probabilidades			
			10%	20%	80%	90%
Precipitação	1507,7	0,26	2014,2	1840,4	1175,0	1001,2
ETP ETR Déficit	926,9	0,06	855,5	880,0	973,8	998,3
hídrico Superavit	640,3	0,12	742,3	707,3	573,3	538,2
hidr.	286,6	0,30	176,9	214,5	358,7	396,3
	867,5	0,44	1356,6	1188,7	546,3	378,4

B. H. - Termos do Balanço Hidrológico;
ETP - Evapotranspiração potencial; ETR - Evapotranspiração real;
(coeficientes de variação em %)

corresponde a deficiência hídrica, demarcado do período anterior pelo mês de Maio, que, não sendo ainda um mês seco, regista, todavia, um decréscimo das reservas de água do solo devido à diminuição da precipitação e aumento simultâneo da evapotranspiração.

A análise do regime frequencial dos valores do superavit hídrico (fig. 26), assim como das reservas de água do solo (fig. 27) é bem mais elucidativa do que a dos valores médios.

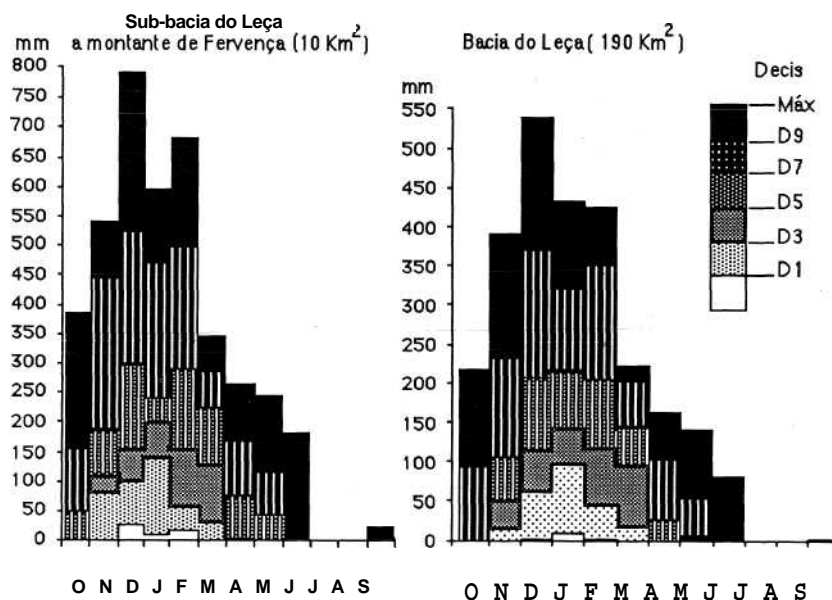


Fig. 26 - Regimes prováveis mensais dos superavites hídricos calculados para a sub-bacia a montante de Fervença e para toda a bacia do Leça (1950-51/87-88)

No período hídrico excedentário, os meses de Dezembro a Fevereiro ocupam uma posição privilegiada; por um lado, registam excedente hídrico em 9 de cada 10 anos, pelo que a probabilidade de serem meses secos, do ponto de vista hidrológico, é extremamente diminuta. Em 5 de cada 10 anos, o excedente pode igualar ou superar os 115 mm em Dezembro e Fevereiro e superar os 140 mm em Janeiro (na sub-bacia a montante de Fervença os valores obtidos foram, respectivamente 150 mm e 200 mm). Registe-se que até ao 5^o decil, Janeiro é o mês com maiores valores de excedente hídrico, mas, nos decis superiores, Dezembro e Fevereiro igualam ou superam os valores de Janeiro. Daí que em 3 de cada 10 anos se possam registar, nestes meses, excedentes hídricos superiores a 200 mm. Em situação extrema representada pelo 9^o decil o excedente hídrico pode tomar valor superior a 320 mm nestes meses. Uma característica bem vincada neste período, na sub-bacia a montante de Fervença, é a forte

A Bacia Hidrográfica do Rio Leça

amplitude dos valores prováveis do superavit hídrico com valores muito elevados para os decis correspondentes às situações extremas.

Embora com fraca probabilidade de ocorrência são situações que originam escoamentos muito violentos como se observa pelo valor do 9^o decil que, em Dezembro e Fevereiro, pode exceder os 500 mm. Registe-se que no curto período de 9 anos de observações se verificou em Dezembro de 1981 um escoamento (específico) em Fervença de 384 mm.

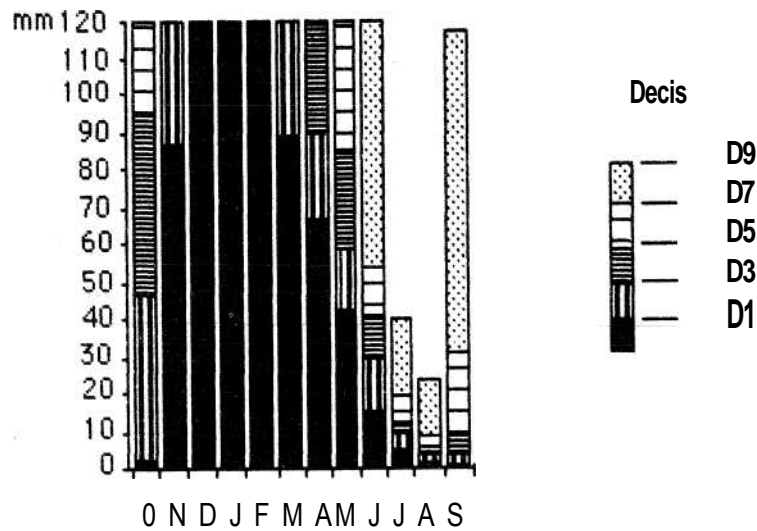


Fig. 27 - Regime provável mensal dos valores da reserva de água do solo na bacia do Leça correspondente à capacidade de água utilizável de 120 mm (1950-51 / 87-88)

Estas características, obviamente, só podem ocorrer pelo facto de nestes três meses as reservas de água do solo estarem reconstituídas no seu valor máximo em mais de 90 % dos anos.

Os meses de Novembro e Março registam situações idênticas no que se refere às reservas de água do solo, já que em cerca de 7 em cada 10 anos a reserva máxima já está ou ainda está reposta, consoante as situações mensais. No que se refere aos valores de excedente hídrico, os valores correspondentes ao 5^o e ao 7^o decil são superiores em Março, mas Novembro regista no 9^o decil e no máximo absoluto, valores superiores. Assim, em Novembro, a mediana corresponde a valor da ordem dos 50 mm e em 3 de cada 10 anos há probabilidade de excedentes de valor superior a 100 mm, podendo num desses anos superar o valor de 220 mm. Os valores de Novembro na sub-bacia a montante de Fervença confirmam uma característica que já havíamos referido na análise dos escoamentos

registados. As características da precipitação e escoamento são neste mês muito mais semelhantes às dos meses de Dezembro a Fevereiro, nomeadamente nos anos de ocorrências extremas máximas, daí que em 3 de cada 10 anos o superavit hídrico pode superar o valor de 180 mm e num deles superar os 440 mm.

A reserva máxima de água no solo encontra-se reposta no fim de Outubro apenas em 3 de cada 10 anos, embora o valor da mediana da série seja de 95 mm; contudo, em 3 de cada 10 anos o valor da reserva no fim de Outubro pode ser ainda inferior a 47 mm. Deste facto resulta que este mês regista excedente hídrico apenas em 20% a 30% dos anos.

Abril e Maio registam uma diminuição progressiva dos valores de excedente hídrico correspondentes às várias probabilidades, já que em apenas 5 e 3 de cada 10 anos, respectivamente, as reservas máximas estão repostas.

Junho e Setembro registam uma frequência diminuta de excedentes hídricos e Julho e Agosto não apresentam sequer probabilidade de ocorrência de excedentes gerados no próprio mês. Tal razão deve-se a que, nos três últimos meses de verão, a probabilidade média de que as reservas de água se encontrem no seu valor máximo é extremamente diminuta, probabilidade inferior a 10% dos anos, e de cerca de 10% no mês de Junho.

O superavit hídrico obtido mensalmente não corresponde, como é óbvio, ao valor exacto do escoamento mensal, já que uma parte vai eventualmente alimentar as reservas subterrâneas e parte permanece no solo, originando escoamento com diferimento no tempo, podendo contribuir para o escoamento do mês seguinte.

A fracção do superavit que origina escoamento, sendo relativamente difícil de avaliar com precisão, pode ser estimada, caso existam registos de escoamentos mensais na bacia.

O modelo idealizado prevê, em dado mês, a formação de um escoamento potencial, de que uma fracção origina escoamento real nesse mês e a parte restante fica retida. Este valor será adicionado ao superavit hídrico do mês seguinte para originar um novo escoamento potencial.

O parâmetro do modelo é a percentagem do escoamento potencial que origina escoamento real, parâmetro esse que pretendemos otimizar. Introduzindo um valor - estimativa para o parâmetro, o modelo gera uma série de resultados - escoamentos calculados, que são comparados com os escoamentos observados (registos), de modo a fornecer uma medida do erro cometido. Procurou-se assim, e por ensaios sucessivos, otimizar o valor do parâmetro, pelo processo da minimização da soma dos quadrados dos desvios entre os valores dos escoamentos observados e calculados.

Os resultados finais (fig. 28) revelam um coeficiente de covariância de 0,92, embora o ajustamento entre escoamentos observados e estimados

seja ligeiramente superior nos anos hidrológicos de maior precipitação e, conseqüentemente, de caudais mais elevados. Com base em dados mensais e para a sub-bacia a montante de Fervença, as melhores estimativas revelam que, nos meses de Outubro e Novembro 60% do escoamento potencial¹ origina escoamento de superfície; em cada um dos meses de Dezembro a Março, 50 % do escoamento potencial gerado é escoado, em Abril 65 %, em Maio e Junho 80 % e nos restantes meses valores superiores a 85 %. Os resultados obtidos para o período de 1980-81 a 1985-86 estão representados na fig. 28 comparativamente com os escoamentos observados.

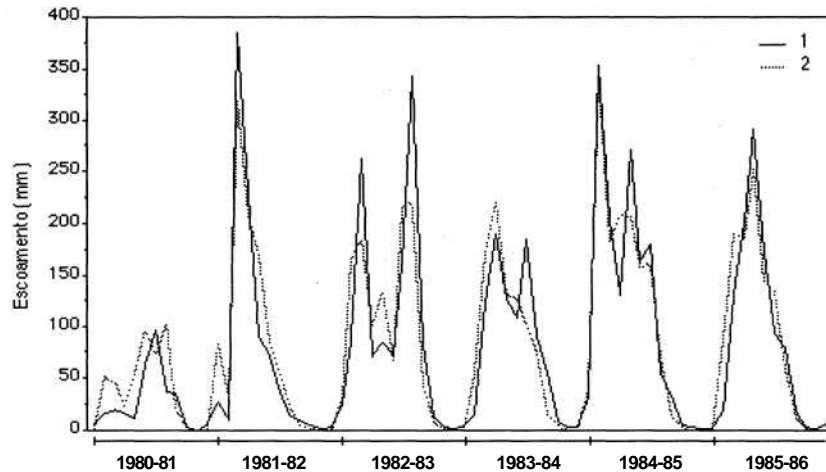


Fig. 28 - Comparação entre escoamentos mensais observados (1) em Fervença e escoamentos calculados (2) pelo balanço hidrológico (1980 -81/85-86)

A partir da série de valores anuais da evapotranspiração real obtida para o período de 1950-51 a 1987-88, cujo valor médio representa o déficit de escoamento médio, pode-se estimar o valor médio do escoamento (H) naquele período ($D = P - H$); para a sub-bacia a montante de Fervença o valor é de 867,5 mm, para o conjunto da bacia do Leça o valor médio obtido é de 672,8 mm (fig. 29) e, tal como seria lógico supor, os coeficientes de variação são elevados, 44 % e 47 %, respectivamente.

A análise da correlação entre o escoamento e a precipitação, calculada a partir dos valores observados no período de 1979-80 a 1987-88, permite-nos estimar o valor do escoamento num período em que se dispõe apenas de valores da precipitação. Os resultados obtidos devem ser tomados com as

¹ O escoamento potencial em cada mês é formado pelo superavit hídrico desse mês adicionado à fracção do escoamento potencial do mês anterior, que ficou retida.

reservas inerentes ao facto de o modelo ter sido testado apenas com 9 pares de valores, devido à inexistência de valores anteriores a 1979-80. O modelo poderá ser aperfeiçoado quando se dispuser de maior número de anos de registo.

Do modelo de regressão linear simples entre o escoamento anual (H) e a precipitação anual (P) obtiveram-se os valores dos parâmetros da equação, coeficiente de correlação e desvio padrão que constam do quadro XVIII-A. O coeficiente de correlação revelou um valor altamente significativo, sendo o nível de significância com que o coeficiente difere de zero inferior a 0,001.

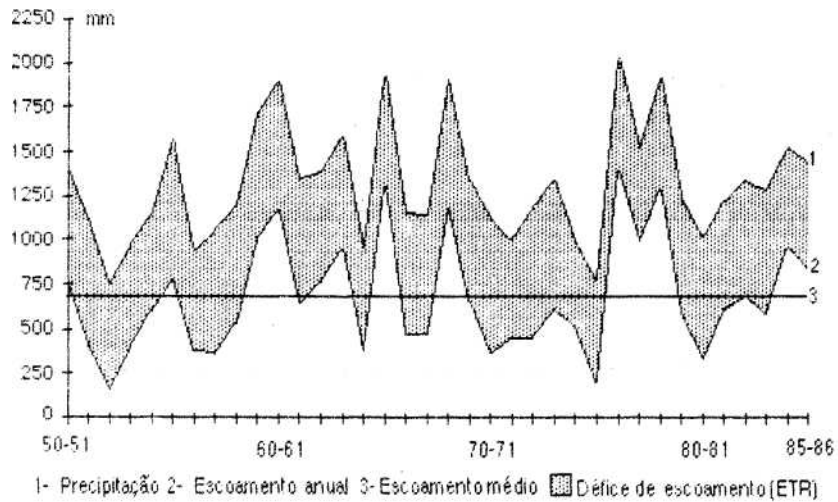


Fig. 29 - Sequência dos valores anuais de precipitação, evapotranspiração real e escoamento na bacia do Leça (1950 - 51 / 85 - 86)

Procurámos ainda avaliar a correlação entre o escoamento anual observado (H) e o escoamento anual calculado (S) pelo balanço hídrico segundo Thornthwaite, considerando uma capacidade de água utilizável de 120 mm, tendo-se obtido um coeficiente de correlação ligeiramente inferior ao anterior (quadro XVIII -A1). Embora ainda altamente significativo, a razão do menor valor para o coeficiente poderá estar relacionada com o facto de, nos anos secos, o escoamento observado poder ser superior ao obtido pelo método de Thornthwaite, já que, neste modelo, parte-se do pressuposto de que não haverá escoamento enquanto as reservas de água correspondentes à capacidade de água utilizável não estiverem repostas.

Testámos ainda a regressão múltipla entre o escoamento anual (H), a precipitação anual (P) e a proporção da precipitação no semestre mais

A Bacia Hidrográfica do Rio Leça

chuvoso pela precipitação anual (Z), mas a adopção desta terceira variável não proporciona uma melhor estimativa do escoamento tendo-se obtido, inclusivamente, um coeficiente de regressão desta nova variável não significativo estatisticamente (quadro XVIII - B).

Em face destes resultados admite-se que as regressões lineares do escoamento anual sobre a precipitação anual sejam as mais válidas para a estimativa dos valores médios do escoamento.

Quadro XVIII - A-B - Parâmetros das equações de regressão do escoamento anual (H) sobre a precipitação (P) e sobre o superavit hídrico (S)

REGRESSÃO SIMPLES $H = bP - a$						
A-	a	b	r	s	t	P
Leça em Fervença	1263,7	1,49	0,994	39,6	20,03	0,0001
REGRESSÃO SIMPLES $H = bS - a$						
A1 -	a	b	r	s	t	p
Leça em Fervença	304,4	1,505	0,967	107,1	7,57	0,001

(r - coeficiente de correlação; s - desvio padrão; t - valor do teste de student para a significância estatística da regressão; p - nível de significância)

REGRESSÃO MÚLTIPLA $H = b_1P + b_2Z - a$						
B-	a	b ₁	r	t _{b₁}	t _{b₂}	P
Leça em Fervença	1514,7	1,64	132,2	0,996	16,68	0,716

(t_{b₁}, t_{b₂} > 2 - valor do teste de Student para o ensaio de significância de cada um dos coeficientes de regressão;

a) coeficiente de regressão altamente significativo: P (t) < 0,001

b) coeficiente de regressão não significativo: P (t) = 0,52)

Calculam-se no quadro XIX os intervalos de confiança em que se devem situar, a nível de probabilidade de 0,90, os valores da média condicionada do escoamento anual na sub-bacia a montante de Fervença, para vários valores de precipitação anual, indicando-se igualmente os valores de escoamento obtidos para as precipitações médias do período analisado.

Das várias estimativas do escoamento, a que se obteve pelo método de Thomthwaite é a que revela menor valor, sendo de admitir que os valores da

ETR possam ter sido calculados por defeito, atendendo inclusivamente ao baixo coeficiente de variação, valor este de que depende o cálculo do escoamento.

Quadro XIX - Média do escoamento anual (sub-bacia a montante de Fervença) condicionada por dados valores de precipitação, e intervalos de confiança

Precipitação (mm)	Estimativa do escoam, (mm)	Intervalo de confiança Nível de 0,90
1000,0	226,3	151,3-301,3
1175,0	487,1	412,1-562,1
1840,0	1477,9	1402,9-1552,9
2014,0	1737,2	1662,2-1812,2
1462,0*	914,2	* precipitação média de 1979-80 a 1987-88 **
1507,7**	982,8	precipitação média de 1950-51 a 1987-88

Os modelos de regressão testados para os valores semestrais revelaram coeficientes de correlação menos significativos do que os obtidos para os valores anuais. A correlação entre escoamento e precipitação no semestre mais chuvoso revelou-se significativa para o nível 0,002 e a correlação para o semestre seco, embora com coeficiente menor, é ainda significativa para o nível 0,02 (quadro XX). O menor valor da correlação para este semestre deve-se ao facto de o escoamento no semestre seco ser ainda, e em parte, influenciado pela precipitação caída nos últimos meses do semestre chuvoso, provocando escoamento retardado em relação à precipitação que o origina.

Quadro XX - Parâmetros das equações de regressão do escoamento semestral sobre a precipitação semestral em Fervença (Leça)

REGRESSÃO SIMPLES $H = bP - a$						
SEMESTRE CHUVOSO						
	a	b	r	s	t	P
Leça em Fervença	551,05	1,24	0,962	102,7	7,09	0,002
SEMESTRE SECO						
Leça em Fervença	134,9	0,893	0,826	104,9	3,28	0,02

(r - coeficiente de correlação; s - desvio padrão; t - valor do teste de student para a significância estatística da regressão; p - nível de significância)

As tentativas ensaiadas para fazer diminuir os desvios entre valores de escoamento observados e calculados, adoptando equações de regressão múltipla, nomeadamente pela intervenção da variável evapotranspiração, não proporcionaram melhores correlações, pelo facto do coeficiente de regressão desta nova variável revelar uma ausência de significado estatístico.

Quadro XXI - Valores semestrais do escoamento, observados e calculados por aplicação das equações de regressão na sub-bacia a montante de Fervença.

VALORES DO SEMESTRE CHUVOSO (mm)		
Escoamento observ.	642,5	1979-80/1987-88 Através do valor médio da
Escoamento cale.	679,5	precipit. 979-80/87-88 Através do valor médio da
Escoamento cale.	762,2	precipit. 950-51/87-88
VALORES DO SEMESTRE SECO (mm)		
Escoamento observ.	270,3	1979-80/1987-88 Através do valor médio da
Escoamento cale.	267,2	precipit. 979-80/87-88 Através do valor médio da
Escoamento cale.	228,2	precipit. 950-51/87-88

Os valores observados (1979-80 a 1987-88) em cada semestre na sub-bacia a montante de Fervença são comparados com os valores da média do escoamento semestral condicionada pelas precipitações médias semestrais, nesse período, e para o período de 1950-51 a 1987-88 quadro XXI).

Os valores anuais obtidos para a bacia do Leça, de acordo com os elementos previamente analisados, definem, para o período de 1950-51/ 87-88, um escoamento médio entre 670 mm e 690 mm, respectivamente, pela aplicação do balanço hidrológico de Thornthwaite e pela equação de regressão. Estes valores médios enquadram-se nos resultados apresentados por Quintela ⁹ com base na análise dos escoamentos de 33 bacias do continente, mas com fraca representatividade de bacias do litoral noroeste.

Os valores médios disponíveis no quadro XXII, relativamente a alguns cursos de água do Noroeste, permitem estabelecer o quadro geral das características do escoamento anual na área onde se insere a bacia hidrográfica do rio Leça.

Atendendo às características sazonais de distribuição do escoamento e utilizando a classificação de M. Pardé², pode-se classificar o regime do rio

⁹ A. Quintela, op. cit., 1967. ¹⁰ Citado em J. Loup - *Les eaux terrestres. Hydrologie Continentale*. Paris, Masson, 1974.

Leça de pluvial oceânico, em que o escoamento tem uma alimentação simples de tipo pluvial. Os maiores caudais observados de Dezembro a Fevereiro, a relativa exiguidade dos caudais de Outubro e Novembro e os baixos valores de verão demonstram que, diminuindo a fonte de alimentação pluvial, o regime hidrológico apresenta forte correspondência com o regime térmico e evaporimétrico. No entanto, a grande variabilidade interanual do escoamento total, reflexo de uma acentuada imoderação do regime nos meses de inverno e primavera, e o aumento das características de secura dos meses de verão das áreas de montante para jusante, evidenciam uma degradação do tipo pluvial oceânico puro e uma interpenetração com características do tipo pluvial mediterrânico.

Quadro XXII - Características do escoamento em bacias hidrográficas do Norte de Portugal.

BACIA	CURSO ÁGUA	ESTAÇÃO	AREA (Km2)	E (10%l*)	h (mm)	H (mm)	C (h/H)	D (H-h)	Período observ.
MINHO	Minho	Rabade	999	648	649	1248	0,52	599	1915-76
CÁVADO	Porico	Portuzelo	22 9	25 11	1136	1720	0,66	584	1979-85
	Torto	Real	116	279	1222	1830	0,67	608	1979-85
	Homem	Covas			2407	3115	0,77	708	1955-70
DOURO	Paiva	Fragas Torre	660	705	1069 767	1678	0,64	609 533	1946-84
	Paiva	Castro d'Aire	291	223		1300	0,59		1945-84
AVE	Selho	P.te Brandão	65	63	950	1748	0,53	798	1978-83
	Este	P.te Junqueira	235	198	843	1701	0,46	858	1978-83
	Ave	Ac. de Tougues	1119	867	775	1616	0,45	841	1978-83
LEÇA	Leça	P.te Pereiras	9,85	11,6	1182	1508	0,78	325	1979-88
	Leça	Fervença	10	9,1	913	1508	0,61	594	1979-88

Fonte: Monografias Hidrológicas dos principais cursos de água de Portugal Continental. D.G.R.A.H., Lisboa, 1986.

Monografias sobre as Bacias Hidrográficas do Norte de Portugal. PGIRHIN, Porto, 1990.

2. AS CHEIAS

A ocorrência de cheias no rio Leça é um fenómeno muito frequente, como consequência do regime pluviométrico, que determina as características básicas do regime hidrológico, e de factores relacionados com a morfologia da área que, em conjunto, criam condições favoráveis às cheias.

Nem todas as cheias provocam a inundação das áreas marginais aos cursos de água, dependendo tal facto, das características do episódio chuvoso, nomeadamente da sua duração e intensidade.

A Bacia Hidrográfica do Rio Leça

O fundamento desta análise é o de testarmos a aplicação de uma metodologia de estimação de caudais de cheia e áreas inundáveis, ao caso concreto de uma bacia como a do Leça, onde se verifica uma total ausência de dados hidrométricos em secções do curso de água onde o fenómeno apresenta maior possibilidade de ocorrência. Os dois postos hidrométricos existentes (fig.2), localizando-se próximo das cabeceiras, num sector de acentuada inclinação do leito ,e de forte velocidade de escoamento, são insuficientes para se poder caracterizar outros sectores da bacia de características morfológicas bem distintas. A informação registada nesses dois postos serve apenas como um elemento de referência para outras áreas da bacia de características semelhantes.

Refira-se que esta situação de insuficiência ou ausência de dados é relativamente generalizada a muitas outras bacias hidrográficas, daí o interesse em testar metodologias que permitam, de forma indirecta, alcançar resultados que possam ser comparados com outros dados de informação e de observação no local.

Os elementos apresentados no capítulo anterior e outros dados complementares obtidos no local, permitiram-nos formar um quadro genérico das condições que presidem à formação de cheias e definir os sectores da bacia onde a frequência de ocorrência de inundações é maior.

2.1. As áreas de maior risco de inundação

O Leça, tomado integralmente, apresenta uma bacia de forma alongada, característica que atenua a concentração de fortes escoamentos na secção terminal. Contudo, as principais cheias resultando de intensas precipitações na passagem de depressões e perturbações da frente polar de trajectória oceânica, associado à pequena dimensão desta bacia hidrográfica, fazem com que diferentes sectores reajam quase que em simultâneo. Assim, mesmo que as precipitações primeiro se abatam sobre o sector mais a ocidente da bacia, rapidamente o sector das cabeceiras estará a contribuir para o escoamento total, sem que tenham cessado as precipitações no sector de jusante. Como adiante se verá, o tempo de concentração calculado para a bacia, da ordem de 12,5 horas, permite concluir que, sob condições de chuvadas intensas e contínuas por toda a área da bacia, os volumes totais do escoamento de cheia podem ser bastante elevados no sector terminal. Sem dúvida que em determinados sectores da bacia a subida dos níveis da água ou a inundação dos terrenos marginais ao canal de escoamento está directamente na dependência dos condicionalismos físicos, resultantes das características das sub-bacias nesses sectores e das características geométricas do vale, para além das formas de ocupação do espaço e de implantação de determinadas estruturas que podem provocar um risco acrescido.

Nas áreas drenadas pelas pequenas sub-bacias das cabeceiras, o risco de inundação dos terrenos que marginam as ribeiras é relativamente pequeno. A inclinação dos seus leitos e o maior declive das vertentes promove um escoamento rápido das águas, que se concentram em curto espaço de tempo, no curso de água principal.

Esta afluência no Leça dos caudais drenados das várias sub-bacias, num sector relativamente pouco extenso e de densidade de drenagem tão elevada, cria condições para situações frequentes de cheia e inundação das margens, desde um pouco a jusante da Reguenga até à área de Alfena. A inundação dos campos agricultados marginais ao rio é uma ocorrência relativamente comum para os habitantes da área, mas, a superfície inundada, depende dos principais parâmetros geométricos do vale em cada um desses sectores, nomeadamente a profundidade e a largura.

Embora na maioria destas pequenas sub-bacias das cabeceiras dificilmente se observe a inundação dos terrenos marginais, já nos seus sectores terminais, na confluência com o Leça, as inundações são frequentes (fig. 30). Algumas marcas de cheia em árvores e a presença de detritos plásticos acumulados em arbustos que marginam o vale, atestam uma forte subida dos níveis da água e um vigor insuspeitado do caudal para cursos de água de tão pequena dimensão. Tomando como fidedigna a informação recolhida de que, em regime de cheia e nos momentos de pico de cheia, as águas alcançam, hoje, pontos mais afastados do canal e, portanto, que as áreas afectadas por inundação serão maiores, poderá estar relacionado com a crescente desarborização de muitas das vertentes de forte declive, quer devido aos incêndios, quer à deflorestação para outras actividades. Tal facto justificaria que alguns episódios chuvosos, nem sempre de carácter excepcional, provoquem fortes caudais, devido à redução do efeito de retenção de água pela vegetação, criando condições para um maior coeficiente de escoamento e menor tempo de concentração, originando uma maior e mais rápida concentração das águas na confluência com o Leça.

Estas condições, associadas às características do vale do Leça neste sector, agravam as consequências das cheias, já por si relativamente facilitadas. O vale do Leça apresenta uma sucessão de sectores relativamente largos e de fundo plano, as depressões da Reguenga, Agrela - Água Longa e Alfena, limitadas por vertentes que apresentam declive acentuado. O limite nordeste da depressão da Reguenga é disso exemplo, apresentando declives superiores a 16° (28,7%), e algumas vertentes chegam a superar os 25° (46,6%). Nos limites das restantes depressões, predominam as vertentes de declive compreendido entre 8° e 16° (14%-28,7%) embora pontualmente, se observem declives superiores a esta ordem de grandeza (fig. 15). Assim, caudais de grande volume que nelas afluam, têm condições para registar uma diminuição da velocidade, a favor da fraca inclinação do leito

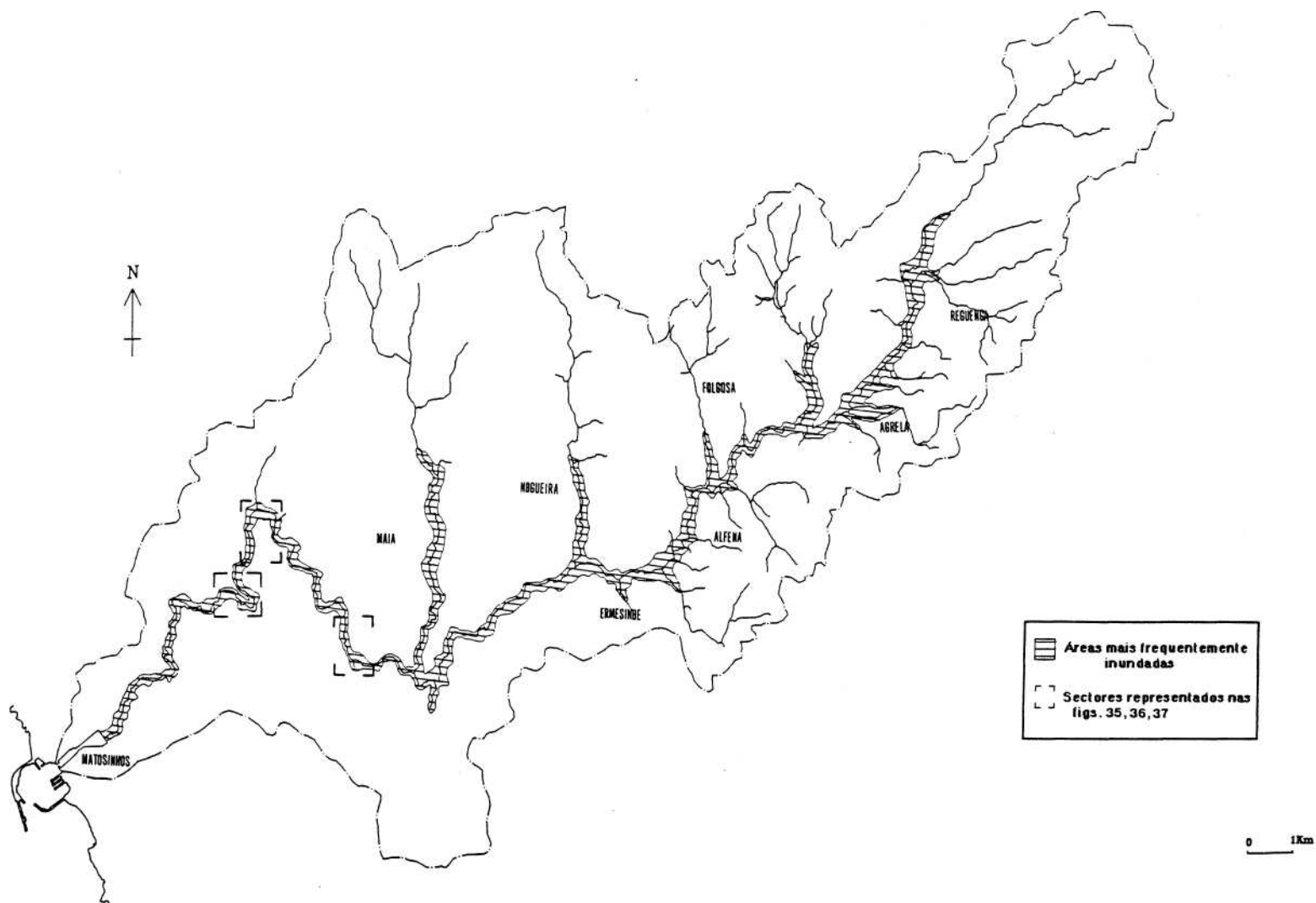


Fig. 30 — Áreas de maior risco de inundação na bacia do Rio Leça.

dos cursos de água, e provocar o espraio das águas, promovendo uma vasta área inundada. Nos sectores de jusante de algumas destas depressões, a existência de estrangulamentos do vale, embora acompanhada por um ligeiro aumento da inclinação do fundo do leito que pode promover um acréscimo da velocidade de escoamento, origina, normalmente, uma subida dos níveis do curso de água em regime de cheia. Tal é a situação na depressão da Reguenga onde a ribeira de Refojos conflui no Leça a cerca de 1,5 km a montante da secção de vale mais estreito que a separa da depressão de Agrela-Água Longa, originando uma forte concentração das águas próximo do estreitamento do vale.

Também na depressão de Agrela - Água Longa, a ribeira de Pisão, com uma área de drenagem (10,85 km²) relativamente elevada no conjunto das sub-bacias definidas (mapa em anexo), conflui no Leça a poucas centenas de metros a montante do estrangulamento do vale que antecede a depressão da Gândara. Embora não se observassem marcas de cheia de nível excepcional, o conjunto de informações obtidas leva a supor que, do conjunto das depressões referidas, é precisamente na área de Agrela -- Água Longa que a superfície inundada é maior (fig.30), a favor, igualmente, de uma vasta área de fundo plano e pouco inclinado.

Mais a jusante, outro sector da bacia apresenta, igualmente, riscos apreciáveis de inundação. Nos últimos 15 km até à foz as áreas inundadas não se confinam às margens do Leça mas também se verificam nos sectores terminais de alguns dos afluentes, nomeadamente da ribeira de Arquinho. Este curso de água é o principal afluente do Leça e a forma alongada da bacia contribui para atenuar a concentração das águas, que, de outra forma, poderia originar situações ainda mais graves. São, todavia, frequentes as inundações das áreas marginais, desde a confluência até cerca de metade do seu curso. Para além do fraco declive, poderá contribuir, parcialmente, o facto dos solos nesta sub-bacia serem menos permeáveis, facilitando uma rápida saturação.

Em todo o sector terminal da bacia do Leça tem-se vindo a assistir a transformações rápidas nas formas de ocupação do espaço. A actividade agrícola, embora importante, tem vindo a ser progressivamente substituída, assistindo-se a uma implantação crescente de equipamentos e estruturas industriais, urbanas e viárias, em áreas antes ocupadas por floresta e cultivos, consequência do forte crescimento económico dos concelhos limítrofes do Porto, com realce para a Maia e Matosinhos. Em certos casos, nem sempre pontuais, observa-se inclusivamente a implantação de estruturas e habitações em áreas de risco, em plena planície de inundação, área que em regime de cheia é parte integrante do rio. O crescente aumento e concentração de estruturas pavimentadas e impermeáveis, reduzindo as taxas de infiltração, provoca, em situações de fortes temporais e elevadas intensidades de

precipitação, um maior volume de escoamento, assim como uma velocidade acrescida, incrementando os picos de cheia.

" A implantação de estruturas vitais nos leitos de cheia, a inexistência de planos de ordenamento, o não cumprimento de legislação orientadora da ocupação de terrenos do domínio hídrico contribuem para situações inconvenientes que poderiam ser prevenidas ou mitigadas...".¹ Embora seja extremamente difícil quantificar qual a parte com que a crescente impermeabilização dos terrenos contribui para o aumento dos picos de cheia, exemplos vários² demonstram que, em situações de chuvas intensas e prolongadas, as superfícies e estruturas de drenagem pluvial não têm capacidade para promover o rápido escoamento de águas em excesso, além de determinado limite, assistindo-se ao alagamento de amplas áreas de topografia mais plana e de menor altitude.

2. 2. *Estimação dos caudais máximos de cheia*

Nas condições da presente bacia hidrográfica e pelas razões já mencionadas, não se conhecem os valores exactos dos volumes do caudal em regime de cheia, embora a observação das formas no vale nos permitam inferir níveis alcançados pelas águas.

A inexistência de informação semelhante para outras pequenas bacias litorais de características morfológicas idênticas impossibilita, igualmente, a extrapolação de dados.

Atendendo a que se verifica uma forte relação entre precipitações abundantes de curta duração e caudais máximos de cheia, nomeadamente em bacias de pequena dimensão com tempos de concentração curtos³, utilizaremos uma metodologia que permite estimar a curva de frequência dos caudais a partir da curva de frequência das precipitações máximas para várias durações temporais.

Este tipo de análise nem sempre é fácil de realizar por motivos que se prendem com a fraca densidade de udógrafos, com a qualidade dos registos,

¹ A. Souza Sobrinho - *As* inundações e o ordenamento do território em Portugal*, in Actas II Colóquio Ibérico de Geografia, vol. I, Lisboa, 1982, p. 359 - 386.

² S. Daveau et ai. - *Os temporais de Fevereiro-Março de 1978*. " Finisterra ", Lisboa, 13 (26), 1978, p. 236-260.

A.G. Henriques et ai. - *Avaliação de caudais de cheia e mapeamento de zonas inundáveis - aplicação ao caso da rib. da Laje (O eiras)*. " Recursos Hídricos **", Lisboa, 6 (3) Set., 1985, p. 3-12.

M* José Roxo e J. Ventura - *As inundações catastróficas de Novembro de 1983 na região de Lisboa-Loures*, in " Estudos de Homenagem a Mariano Feio ", Lisboa, 1986, p. 391-405.

³ F. Nunes Correia - *Caudais de cheia em pequenas bacias hidrográficas*. Seminário 247, LNEC, Lisboa, 1982.

mas também pela morosidade no processo de leitura dos udogramas diários necessários. A aplicação de métodos estatísticos adequados à análise de valores extremos de precipitação impõe o tratamento de séries o mais extensas possível, para que os resultados e a extrapolação das probabilidades de ocorrência tenham uma alta significância.

2.2.1. *As precipitações máximas de curta duração*

Na área da bacia do Leça nem todos os postos estão equipados de udógrafo, pelo que a intenção prévia de analisar as séries de um posto junto ao litoral e de um outro localizado próximo das cabeceiras teve de ser alterada. Paços de Ferreira não poderia ser contemplado devido à inexistência de udogramas. No caso da estação de S.Gens constatou-se que, em anos diversos e em períodos de fortes episódios pluviosos no norte do país, o udógrafo apresentava avarias constantes. O curto período de anos de que havíamos já recolhido informação não se revelou significativo para se proceder à sua abordagem estatística. Assim, procedemos à leitura dos udogramas de apenas uma estação, a de Boa Nova*, desde a data da sua origem em 1968, até 1987, o que resulta em 19 anos de registos. Para esses anos, procedemos à leitura das precipitações máximas registadas em cada mês para durações de 5, 10, 15, 30, 60 e 120 minutos e ainda para 6, 12 e 24 horas.

Para as restantes 5 estações que se localizam nas proximidades da bacia procedemos à análise dos valores máximos de precipitação para 24 horas, dados estes facilmente disponíveis.

A importância da utilização de séries longas para o tratamento de valores extremos levou-nos a alongar o período de análise. Assim, para Porto-Serra do Pilar tratámos a série de 1929 a 1987, para S.Gens de 1932 a 1987, para Santo Tirso de 1926 a 1981, para Pedras Rubras de 1950 a 1987 e, finalmente, para Paços de Ferreira de 1950 a 1987.

Os resultados obtidos a partir dos valores de Boa Nova para durações inferiores a 24 horas deverão ser analisados com os cuidados devidos, uma vez que as séries são pouco extensas para o propósito de extrapolar valores de precipitação extrema para frequências raras de ocorrência.

Do conjunto de métodos utilizados para o estudo do regime de frequência dos valores extremos da quantidade de precipitação, optámos pela aplicação da distribuição teórica de Gumbel (1ª distribuição assintótica dos valores extremos)², uma das mais vulgarmente utilizadas no nosso país

¹ Udogramas gentilmente colocados ao nosso dispor nos serviços do I.N.M.G em Lisboa.

² H. Grisollet et ai. - *Climatologie. Méthodes et pratiques*. Paris, Gauthier Villars, 1973, p. 151 e 359.

e que tem oferecido bons ajustamentos *. Pretende-se determinar os valores da precipitação com dada duração, em função da probabilidade de ocorrência (ou do período de retorno).

As séries utilizadas são constituídas pelos valores máximos anuais para a duração considerada, pelo que no conjunto dos 12 meses do ano seleccionou-se o de valor mais elevado.

A distribuição de Gumbel tem a forma $F(X_j) = e^{-e^{Y_j}}$, em que $F(X_x)$ é a probabilidade de que um valor extremo seja inferior a determinado valor de X_j , e é a base dos logaritmos neperianos, Y_j é a variável reduzida dada por $Y_i = fl(X_j - \delta)$ e que se obtém de $Y = -Ln \{ -Ln F(X_j) \}$, com $F(X_j) = 1/N + 1$, sendo a e b os parâmetros a determinar. O método de estimação dos parâmetros utilizado foi o dos mínimos quadrados, que permitiu a determinação da expressão de Y . Obtidos os parâmetros, torna-se possível o cálculo da precipitação para qualquer período de retorno (T) que se queira determinar já que $T(X_j) = 1/1 - F(X_j)$.

Os valores obtidos para os máximos em 24 horas, para vários períodos de retorno, apresentam-se no quadro XXIII e a representação gráfica em papel de probabilidade extrema, de modo a ficarem representados por uma recta, nas figs. 31 A-C

Um estudo relativamente antigo ² efectuado com base nas séries de máximos anuais de precipitação para várias durações na estação de Porto--Serra do Pilar apresenta valores ligeiramente mais baixos do que os que apresentamos para esta estação, mas, há que referir que a série em que se baseou esse estudo foi a de 1930-1954, período este incluído na série mais vasta por nós analisada.

O regime provável das precipitações intensas evidencia, no pormenor, as características básicas do regime pluviométrico geral desta área. As maiores imensidades pluviométricas em 24 horas registam-se no sector da bacia mais afastado do litoral, decrescendo progressivamente em valor para o sector das mais baixas altitudes, sendo de referir as amplitudes assinaláveis que se podem verificar nesta faixa longitudinal tão reduzida.

O modo como estes valores máximos se distribuem pelos vários meses (fig.32) permite-nos estabelecer algumas relações com o possível regime de cheias. Embora o período de Outubro a Fevereiro seja aquele que no conjunto registou maior frequência de valores máximos em 24 horas, os meses de Novembro e Janeiro, individualizadamente, destacam-se

¹ Ver J. Rocha Faria et ai. - *Análise estatística dos valores máximos do ano da quantidade diária de precipitação em Portugal*. "O Clima de Portugal", XIX, Lisboa, INMG, 1980.

J. M. Loureiro e M. S. Pinto - *Relação entre a intensidade da precipitação para diferentes durações na bacia do Mondego*. "Recursos Hídricos", Lisboa, 2 (3) Set., 1981, p. 61-72.

² António A. Sousa Taveira - *O regime das chuvas do Porto*. "Revista de Engenharia", Porto, (26), 1960, p. 9-21.

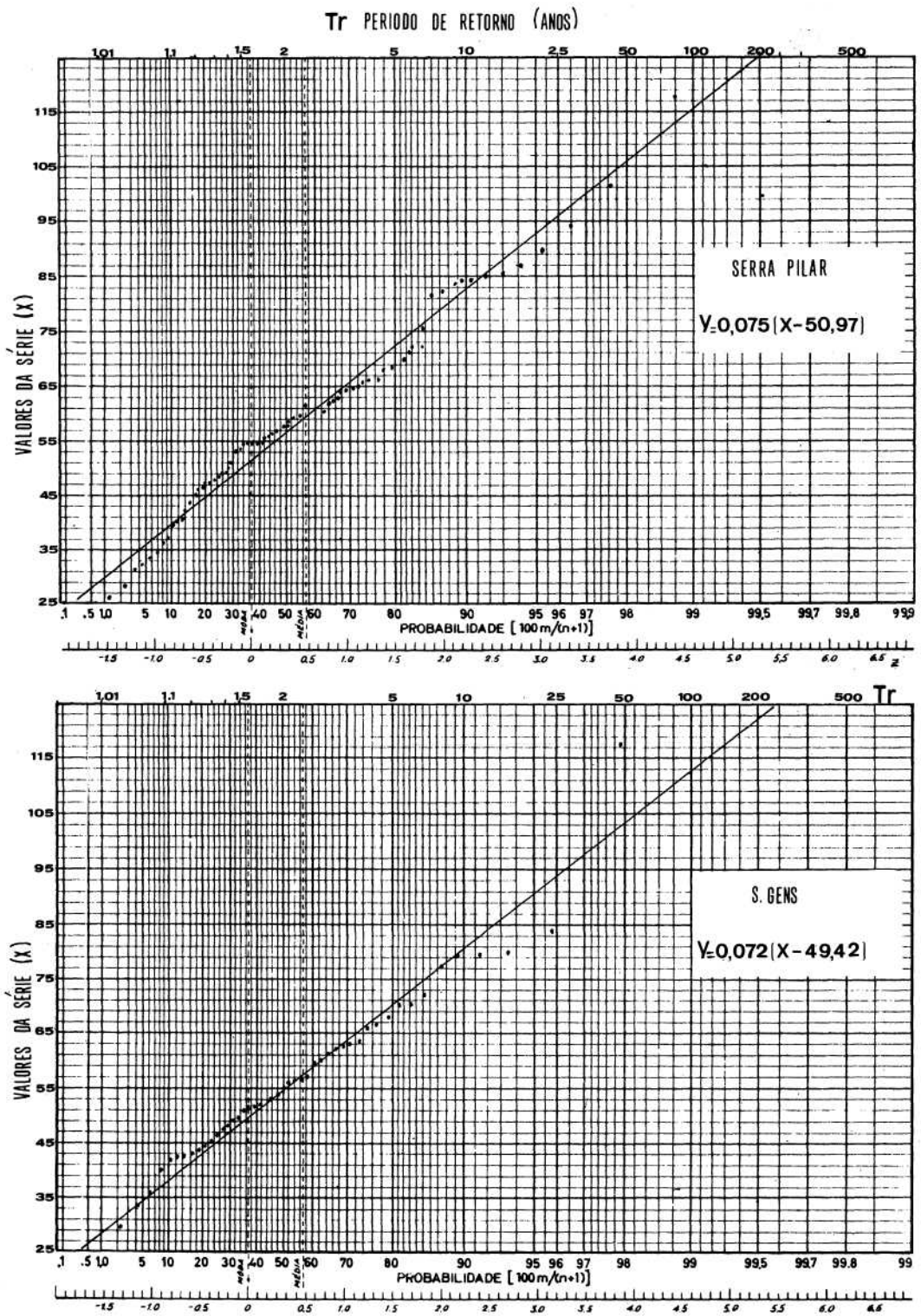


Fig. 31-A — Ajustamento das séries de valores máximos anuais de precipitação em 24 horas de Serra do Pilar e S. Gens, à distribuição de Gumbel.

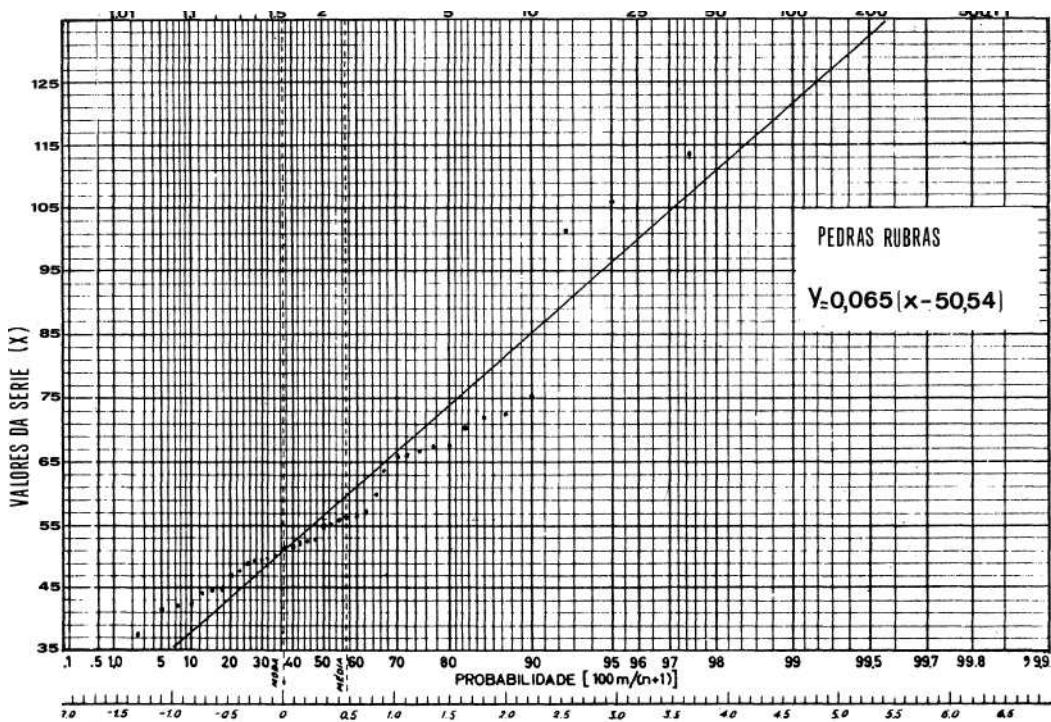
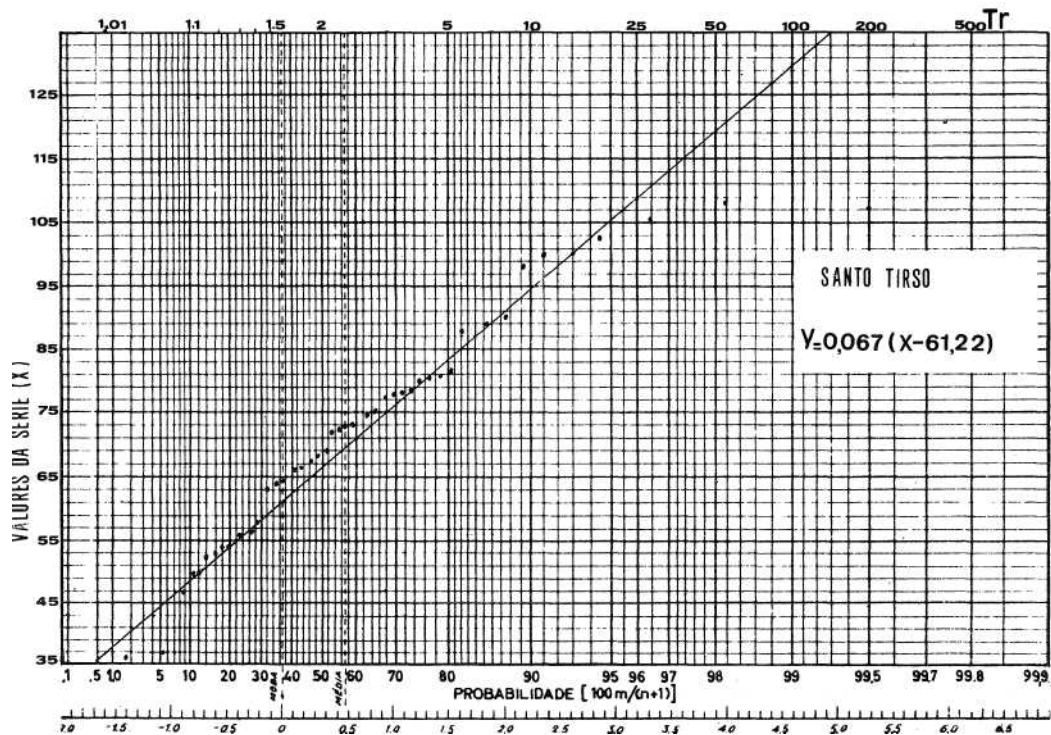


Fig. 31-B — Ajustamento das séries de valores máximos anuais de precipitação em 24 horas de Santo Tirso e Pedras Rubras, à distribuição de Gumbel.

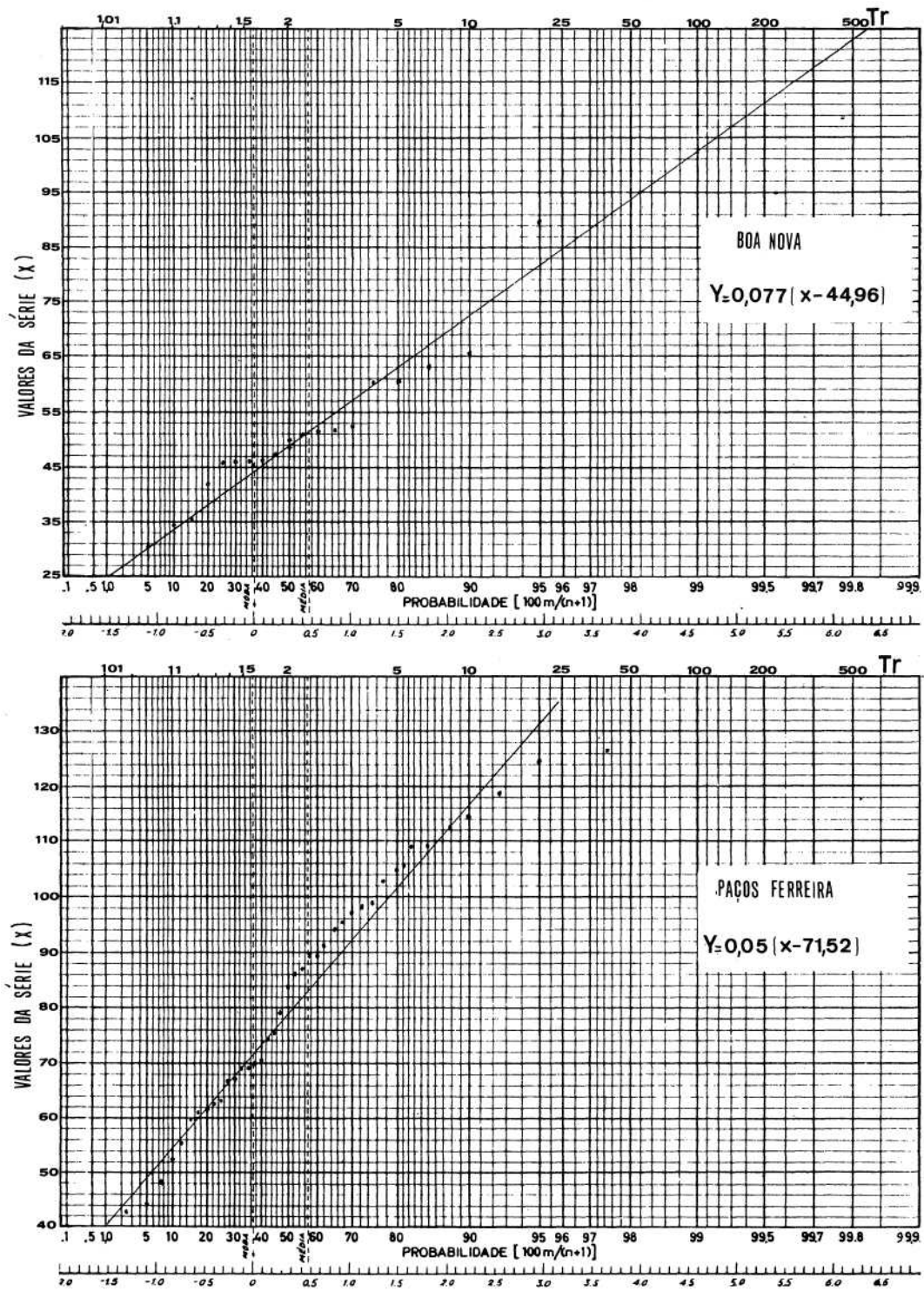


Fig. 31-C — Ajustamento das séries de valores máximos anuais de precipitação em 24 horas de Boa Nova e Paços de Ferreira, à distribuição de Gumbel.

A Bacia Hidrográfica do Rio Leça

ligeiramente dos restantes. É interessante assinalar que o mês de Dezembro, em quase todas estas estações, apresenta uma frequência anual de máximos inferior às do mês de Fevereiro. Março apresenta ainda frequências elevadas, sobretudo nas estações mais interiores.

Quadro XXUI - Precipitações máximas (mm) em 24 horas para vários períodos de retomo (T), nas estações da bacia do Leça.

T	Paç. Ferreira	S.toTirso	S. Pilar	S.Gens	P. Rubras	Boa Nova
2	78,9	66,7	55,8	54,5	56,2	49,7
5	101,5	83,6	71,0	70,2	73,6	64,4
10	116,5	94,8	81,0	80,7	85,2	74,2
20	130,9	105,6	90,6	90,7	96,2	83,5
25	135,5	108,9	93,6	93,8	99,7	86,5
50	149,6	119,4	103,0	103,6	110,5	95,6
100	163,5	129,9	112,3	113,3	121,3	104,7

Para a estação de Boa Nova procedeu-se ao aprofundamento da análise do regime das precipitações intensas, para todas as durações seleccionadas, de que se apresentam os resultados no quadro XXIV.

Obtidos os pares de valores t (em horas) e precipitação (em mm) para os vários períodos de retorno, procurou-se definir uma relação entre ambos, tendo-se utilizado uma expressão do tipo $P = a t^n$, que sendo transformada na relação linear $\log P = \log a + b \log t$, permite a determinação dos parâmetros a e b pelo método dos mínimos quadrados¹. Apresentam-se no quadro XXV as equações obtidas do ajustamento e o coeficiente de correlação que se revelou altamente significativo para $p = 0,0001$ em todos os casos. Na fig. 33 representam-se as rectas - linhas de possibilidade udométrica, que relacionam precipitação (mm) e duração (horas) para vários períodos de retorno. A escala utilizada é a dos logaritmos dos valores, de modo que a relação $P = a t^n$ apareça representada por uma recta.

¹ H. Grisolle, nos seus estudos sobre episódios chuvosos na região Parisiense (1948 e 1961), estabelece relações Intensidade - Duração - Frequência a partir de uma expressão exponencial deste tipo. Citado em Grisolle, op. cit., p. 360 - 361.

Para Portugal, idêntica expressão tem sido utilizada por vários autores. Ver A. Lobo Azevedo - *Curvas de frequência das quedas pluviais de grande intensidade em Lisboa.* " Anais do I. S. A. ", Lisboa, (19), 1953, p. 43 - 51; F. M. Mello - *Intensidade máxima - Duração -- Frequência para a precipitação no posto meteorológico de Évora.* " Recursos Hídricos ", Lisboa, 1 (1) Jan., 1980, p. 5-13.

Admite-se geralmente, que em áreas de características pluviométricas semelhantes a relação entre os valores máximos anuais de 24 horas e valores de qualquer outra duração é constante *, o que permite, para qualquer outra estação onde só exista informação para precipitação máxima em 24 horas, deduzir os valores para menores durações.

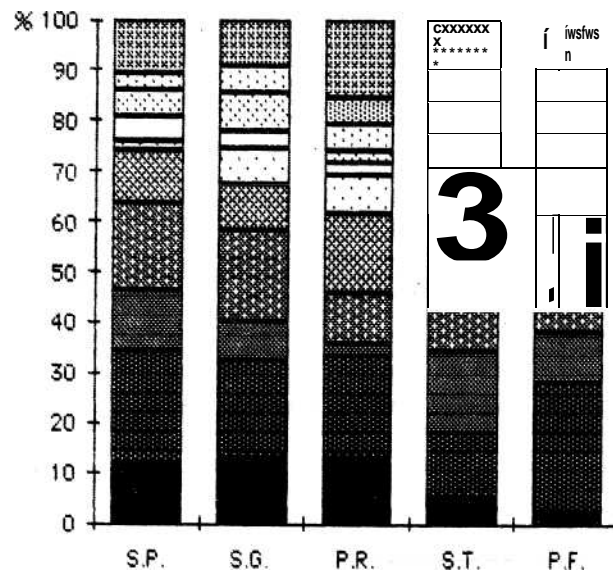


Fig. 32 - Distribuição mensal dos valores máximos anuais de precipitação em 24 horas nas estações da bacia do rio Leça

Quadro XXIV - Valores máximos de precipitação (mm) em função do período de retorno (T) e da duração t (horas), na estação de Boa Nova (1968-1987)

	5'	10'	15'	30''	60'	120'	6h	24h
2	5,9	8,5	10,9	14,1	17,4	23,0	34,7	49,7
5	7,7	11,1	14,9	19,4	23,0	29,3	44,2	64,4
10	8,8	12,9	17,6	23,0	26,8	33,4	50,5	74,2
20	9,9	14,6	20,2	26,4	30,4	37,4	56,5	83,5
25	10,3	15,1	21,0	27,5	31,5	38,6	58,5	86,5
50	11,3	16,7	23,5	30,8	35,0	42,5	64,4	95,6
100	12,4	18,3	26,0	34,1	38,5	46,4	70,2	104,7

¹ J. Rocha Faria e S.F. Godinho - *Intensidade, duração e frequência da precipitação no arq. da Madeira.* " O Clima de Portugal ", Lisboa, XXDC.1983.

Para a estação de Boa Nova, e exemplificando, as relações são as seguintes:

	T=2	T=100
P 10min./P24h	0,17	0,175
P 30 min./ P 24 h	0,28	0,326
P60min./P24h	0,35	0,368
P6h /P24h	0,697	0,671

pele que se torna possível estimar os valores de precipitação máxima em períodos de duração inferiores a 24 horas, no conjunto das estações da bacia, a partir dos resultados de Boa Nova.

Quadro XXV - Relações entre precipitação (P) em mm e duração (t) em horas para diferentes períodos de retomo (T), na estação de Boa Nova (1968 - 1987)

T	EQUAÇÕES DE REGRESSÃO		
	Z = log P; U = log t	r	P = at ⁿ
2 5	Z = 0,371 U + 1,23 Z	0,994	P = 16,98 t ^{0.371} P
10 20	= 0,365 U + 1,348 Z =	0,991	= 22,28 10365 P =
25 50	0,362 U + 1,412 Z =	0,989	25,821 ^{0.362} P =
100	0,36 U + 1,465 Z =	0,987	29,17 t ^{0.36} P =
	0,36U + 1,481 Z =	0,987	30,77 t ^{0.359} P =
	0,358 U + 1,526 Z =	0,985	33,57 t ^{0.358} P =
	0,357 U + 1,566	0,984	36,81 t ^{0.357}

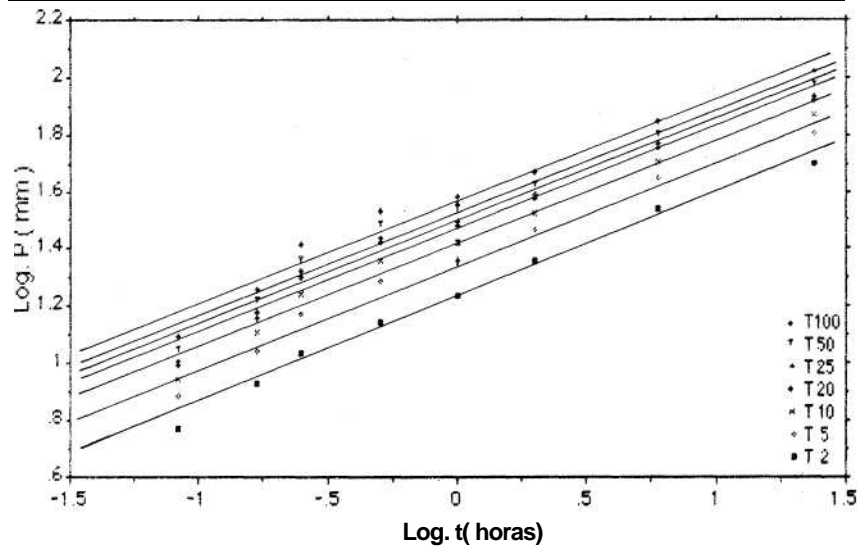


Fig. 33 - Linhas de possibilidade udométrica da estação de Boa Nova obtidas da série 1968- 1987

2. 2. 2 Caudais máximos de cheia e áreas de drenagem

O método utilizado para procedermos à estimação dos caudais de cheia foi o de Giandotti *, método este bastante generalizado em Portugal onde é consagrado pelo Regulamento das Pequenas Barragens. A vantagem deste método é a de nos permitir estimar o valor do caudal a partir da análise das precipitações intensas, feita anteriormente, e de parâmetros físicos das bacias, facilmente obtidos por medição.

Considerando uma cheia originada por uma queda pluviométrica P, de duração te e para um período de retorno T, o caudal médio durante a cheia obtém-se pela seguinte expressão:

$$Q = (277 a b P A) / (c T_c) \quad \text{em que,}$$

Q - caudal de ponta de cheia em m³/s,

a, b - parâmetros de coeficiente de escoamento relacionados com a área,

P - precipitação em metros, A - área da bacia em km², T_c - tempo de concentração em horas, c - coeficiente de duração da cheia.

Os valores dos parâmetros a e b, função da área, estão divulgados em tabelas, e Quintela² recomenda como valores seguros para bacias de área inferior a 500 Km² os seguintes a = 6,5, b = 0,5 e c = 4. Nesta expressão, o valor da precipitação a incluir nos cálculos é a correspondente à duração do tempo de concentração da bacia e para uma dada probabilidade.

Para o cálculo do tempo de concentração da bacia, Giandotti propõe a seguinte expressão:

$$T_c = (4 V A + 1,5 L) / (0,80 V H), \quad \text{em que}$$

T_c - tempo de concentração em horas, A - área da bacia,

L - comprimento do curso de água principal, H - altura média da bacia em metros.

¹ Um conjunto de métodos de pré-determinação das pontas de cheia, nos quais se inclui o de Giandotti, são amplamente tratados em A. Lencastre e F. M. Franco - *Lições de Hidrologia*. Lisboa, 1984, p. 285-304.

² Citado em D.G.R.A.H. - *Hidrologia de águas superficiais*, in "Curso Internacional de Hidrologia Operativa", Lisboa, 1984, p.685.

Calculados os tempos de concentração para as várias sub-bacias seleccionadas (quadro XXVI), há que determinar o valor ponderado da precipitação com dada probabilidade e para a duração correspondente ao tempo de concentração da bacia em causa. Este procedimento, muito moroso, uma vez que as sub-bacias têm tempos de concentração diferentes e localizam-se em sectores diversos da bacia, nem sempre na área de influência de uma única estação meteorológica, foi levado a cabo em duas etapas sequenciais. Com base nas relações estabelecidas para a estação de Boa Nova entre precipitações máximas em 24 horas e durações menores, para os vários períodos de retorno, foi possível estabelecer os valores de precipitação máxima provável para períodos de tempo inferiores a 24 horas nas restantes estações. Obtidos estes valores pontuais, calculou-se a precipitação ponderada de duração correspondente ao tempo de concentração de cada uma das sub-bacias seleccionadas. Para aquelas situadas a montante de Ermesinde a ponderação foi calculada com base nos dados de Santo Tirso e Paços de Ferreira e para as restantes com os dados de S.Gens, Pedras Rubras, Serra do Pilar e Boa Nova.

Quadro XXVI - Tempos de concentração em horas para algumas sub-bacias do Leça

Sub-bacias	3	4	6	7	8	9	10	11	12	13	14	16
Tc	1,21	0,55	0,67	0,83	2,06	0,75	1,27	1,74	1,43	3,7	5,5	2,71

A estimação do caudal máximo de cheia para o rio Leça (bacia integral) foi obtido a partir de um tempo de concentração calculado, de 12,75 horas e pelo processo de ponderação das precipitações, para aquela duração, nas seis estações envolvidas. Os resultados finais são apresentados no quadro XXVII.

Os resultados obtidos pela utilização desta metodologia não são substancialmente diferentes daqueles que se obtêm pela aplicação da fórmula racional¹, também bastante utilizada, uma vez que os parâmetros de ambas têm íntima relação, pelo que nos privamos de os apresentar.

¹ Nesta expressão, o valor do coeficiente de escoamento, adimensional, é baseado no tipo e características da superfície do terreno, enquanto na expressão de Giandotti o coeficiente é calculado pela área da bacia. Ver A. Lencastre e F.M. Franco, op. cit., p.290.

Quadro XXVII - Caudais máximos de cheia (m^3/s) calculados para vários períodos de retorno na bacia do Leça e sub-bacias de alguns afluentes.

Sub-bacias	Área (Km ²)	Períodos de retomo				
		T2	T10	T25	T50	T100
14. Rib. Arquinho	33,7	44,5	67,5	80,4	86,2	94,8
13. Rib. Leandro	20,46	34,6	51,9	60,8	67,2	73,6
12. Rib. Cabeda	4,73	14,4	21,9	25,6	28,4	31,1
11. Rib. Junqueira	5,3	14,3	21,6	25,3	28,0	30,8
8. Rib. Pisão	10,85	26,3	39,7	46,5	51,5	56,5
16. Rib. Picotos	9,47	19,3	29,1	34,1	37,7	41,3
BACIA LEÇA	189,9	171,5	248,2	286,3	315,5	345,0
Caudal específico ($m^3/s/km^2$)		0,903	1,307	1,508	1,661	1,817

Resulta extraordinariamente difícil a validação dos resultados por nós obtidos, em face da escassa documentação existente no que respeita a caudais de cheia para pequenas bacias litorais do Noroeste. Nos dois únicos estudos a que tivemos acesso ¹ os resultados finais permitiram o estabelecimento de fórmulas de validade regional do tipo $Q = C A^a$, em que os parâmetros são função do período de retorno e A é a área da bacia, parâmetros obtidos pela aplicação da lei de Gumbel a caudais instantâneos máximos anuais em várias estações hidrométricas do país. Destes estudos resultou uma cobertura de Portugal Continental em 11 zonas, sendo a zona 3 aquela onde se inserem as bacias inferiores do Cávado, Ave, Douro, Vouga e Mondego. A aplicação dos parâmetros obtidos para esta zona 3 ao caso concreto do Leça, resulta em valores de caudal de cheia quase o dobro daqueles por nós obtidos, o que nos parece ser um valor excessivo. Refira-se que o estabelecimento das expressões para a zona 3 se baseou em dados de muito poucas estações hidrométricas e todas elas muito afastadas do litoral, sobretudo no sector a norte do Douro, o que nos faz duvidar da aplicação

¹ J.M.Loureiro e M.S.Pinto - *Expressão para o cálculo do caudal máximo de cheia nas regiões a Norte da bacia do rio Tejo*. D.G.R.A.H., Lisboa, 1980.

A. S. Taveira - *A análise da frequência regional das cheias - região do Noroeste de Portugal*. "Recursos Hídricos", Lisboa, 1 (3) Set., 1980, p.43 - 81.

directa de tais expressões a áreas do litoral noroeste não representadas na amostra.

Julgamos, contudo, que os valores por nós obtidos dos caudais de cheia para períodos de retorno de 50 e 100 anos poderão estar subestimados e isto devido ao facto de, nas séries de valores extremos de precipitação, se verificar uma menor qualidade do ajustamento à distribuição de Gumbel na parte superior da série (fig. 31).

Ainda no que se refere aos caudais de cheia para algumas das sub-bacias a montante de Ermesinde, eles poderão estar sobreestimados devido à área muito reduzida de algumas das bacias, o que dificulta a ponderação do valor da precipitação, para além da fraca cobertura de postos udométricos. Esta conclusão obtivemo-la, parcialmente, pela análise dos caudais instantâneos máximos anuais registados em Fervença no curto período de 9 anos de registos. Embora a série seja muito curta para se proceder a uma análise estatística válida de valores extremos, os resultados obtidos parecem indicar que os caudais de ponta de cheia reais poderão ser inferiores numa banda de cerca de 30% em relação ao valor calculado. Contudo, na ausência de séries mais longas, quer no Leça, quer nas bacias próximas, torna-se impossível estabelecer factores de correcção.

Com base nos valores obtidos e em função dos bons ajustamentos entre caudais de cheia (Q) para vários períodos de retorno e área drenada (A) foi

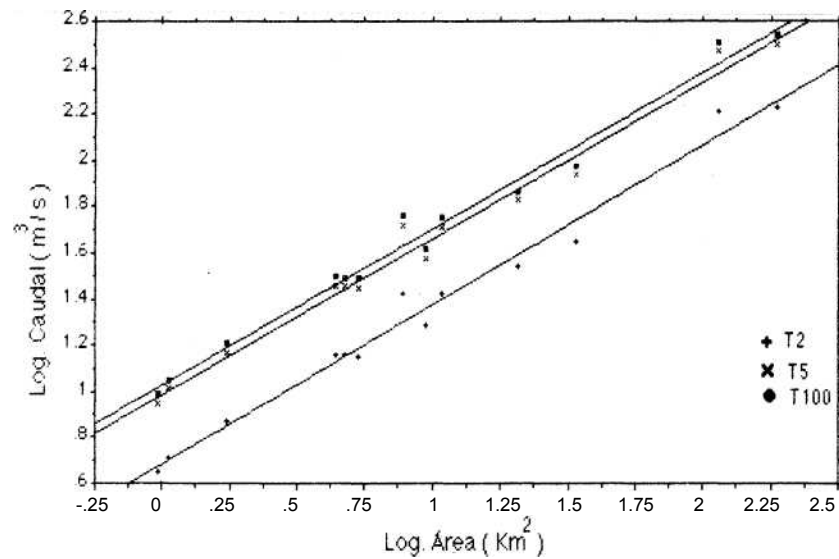


Fig. 34 - Relações - Caudais máximos de cheia (m³ / s) para vários períodos de retorno e área drenada (km²) na bacia hidrográfica do Leça.

possível estabelecer uma relação entre ambas as variáveis do tipo $Q = a A^b$, de que se apresentam os resultados na fig. 34 e os parâmetros no quadro XXVIII. A partir desta expressão torna-se possível obter o valor do caudal de cheia em qualquer sub-bacia, dada apenas a sua área.

Quadro XXVIII - Parâmetros das regressões entre caudais de cheia (m^3 / s) e áreas de drenagem (km^2) na bacia do rio Leça

T	EQUAÇÕES DE REGRESSÃO	
	$Z = \log. Q; U = \log. A$	$Q = aA^b$
2	$Z = 0,69 U + 0,687$	$Q = 4,86 A^{0,68}$
10	$Z = 0,68 U + 0,874$	$Q = 7,48 A^{0,68}$
25	$Z = 0,679 U + 0,944$	$Q = 8,79 A^{0,679}$
50	$Z = 0,676 U + 0,989$	$Q = 9,75 A^{0,676}$
100	$Z = 0,676 U + 1,03$	$Q = 10,72 A^{0,676}$

2.3. Delimitação de áreas inundáveis

A delimitação de áreas inundáveis é uma tarefa complexa, uma vez que os níveis alcançados pelas águas do rio em regime de cheia dependem de factores topográficos e parâmetros geométricos do leito aparente e da planície de inundaçãõ.

A observação no local permite-nos avaliar os limites das áreas mais frequentemente inundadas, correspondentes aos níveis atingidos pelas cheias de menor período de retorno. Para a delimitação das inundações de grande período de retorno, e mesmo para aquelas correspondentes à máxima cheia provável, os procedimentos utilizados baseiam-se em relações teóricas mais ou menos complexas, devendo-se, sempre que possível, fazer o controle dos resultados com elementos da observação no terreno.

No caso presente, o procedimento utilizado baseou-se na análise das características geométricas de secções transversais do curso de água, a partir do que se estabeleceram relações com parâmetros hidráulicos que nos permitissem traçar um perfil de cheia.

Apresenta-se de seguida, resumidamente, o procedimento e resultados obtidos para o sector do curso de água desde a doca n^o 2 do porto de Leixões até à secção designada por Km - 15,5 localizada 1200 m a jusante da confluência da ribeira do Arquinho no rio Leça. Asseguramos, assim, um sector da bacia onde estão presentes as contribuições dos caudais dos principais afluentes do Leça e que define na secção Km -15,5 uma área de alimentação de 148 Km². Por outro lado, este é igualmente o sector da bacia

A Bacia Hidrográfica do Rio Leça

onde os danos resultantes de inundações podem ser mais gravosos, atendendo à forte densidade populacional e de ocupação do espaço.

Os caudais máximos de cheia calculados na secção Km - 15,5, para vários períodos de retorno, foram os seguintes: $Q_2 = 152,8 \text{ m}^3 / \text{s}$, $Q_{10} = 223,7 \text{ m}^3 / \text{s}$, $Q_{50} = 285,8 \text{ m}^3 / \text{s}$, $Q_{100} = 314,3 \text{ m}^3 / \text{s}$, tendo-se utilizado um procedimento idêntica àquele que nos permitiu a obtenção de caudais de cheia para a bacia no seu todo.

Ao longo destes 15,5 km definiram-se, em mapas de escala 1:2000, secções espaçadas de 500 m, e elaboraram-se perfis transversais, no sentido de se analisarem os principais parâmetros geométricos ao longo do curso de água principal.

Sendo o caudal função da largura, da profundidade e da velocidade, e uma vez que esta última depende de características hidráulicas como o raio hidráulico, a inclinação do leito e o coeficiente de rugosidade da superfície, resulta que a natureza destas variáveis influenciará a forma como se processa o escoamento.

Assim, na secção Km -15,5 procurámos definir os parâmetros hidráulicos a partir do perfil transversal, com a finalidade última de determinar as cotas correspondentes aos caudais considerados previamente. Para tal, aplicámos a equação de Manning - Strickler ¹, cuja expressão é: $Q = A R^{2/3} K_s i^{x/2}$, em que Q é o caudal (m^3 / s), A a área da secção molhada (m^2), R o raio hidráulico (m), K_s o coeficiente de rugosidade e i a inclinação da superfície livre da água, que se supõe ser da mesma ordem de grandeza da do declive do fundo do leito. A inclinação medida foi de 0,15% e para o coeficiente de rugosidade assumiram-se dois valores ($K_s = 25$ e $K_s = 30$) em função das características do curso de água observadas no local e da consulta de tabelas ².

As cotas finais a determinar serão a média das resultantes da aplicação destes dois valores. Os resultados obtidos são apresentados no quadro XXIX.

Com base nestes resultados estabelecemos uma relação funcional entre o parâmetro $A R^{2/3}$ e as cotas (Z) que nos permitiu obter a expressão seguinte:

$$Z = 33,266. A R^{(2/3)} 0,036$$

Tomando os valores dos caudais pré-estabelecidos e aplicando a expressão de Manning - Strickler obtêm-se valores correspondentes para o

¹ Citado em T. Dunne e L. B. Leopold - *Water in Environmental Planning*. S. Francisco, Freeman & Co., 1978, p. 592 e 593.

A. S. Sobrinho - *As inundações na ribeira da Meimoa - ensaio de um modelo de avaliação de danos*. Porto, 1985, p. 28 e 29.

² Ver A. Lencastre e F. M. Franco, op. cit., p. 147 e 148.

Quadro XXIX - Parâmetros geométricos e hidráulicos da secção transversal km - 15,5 localizada a 1200 m a jusante da confluência da rib. do Arquinho no rio Leça

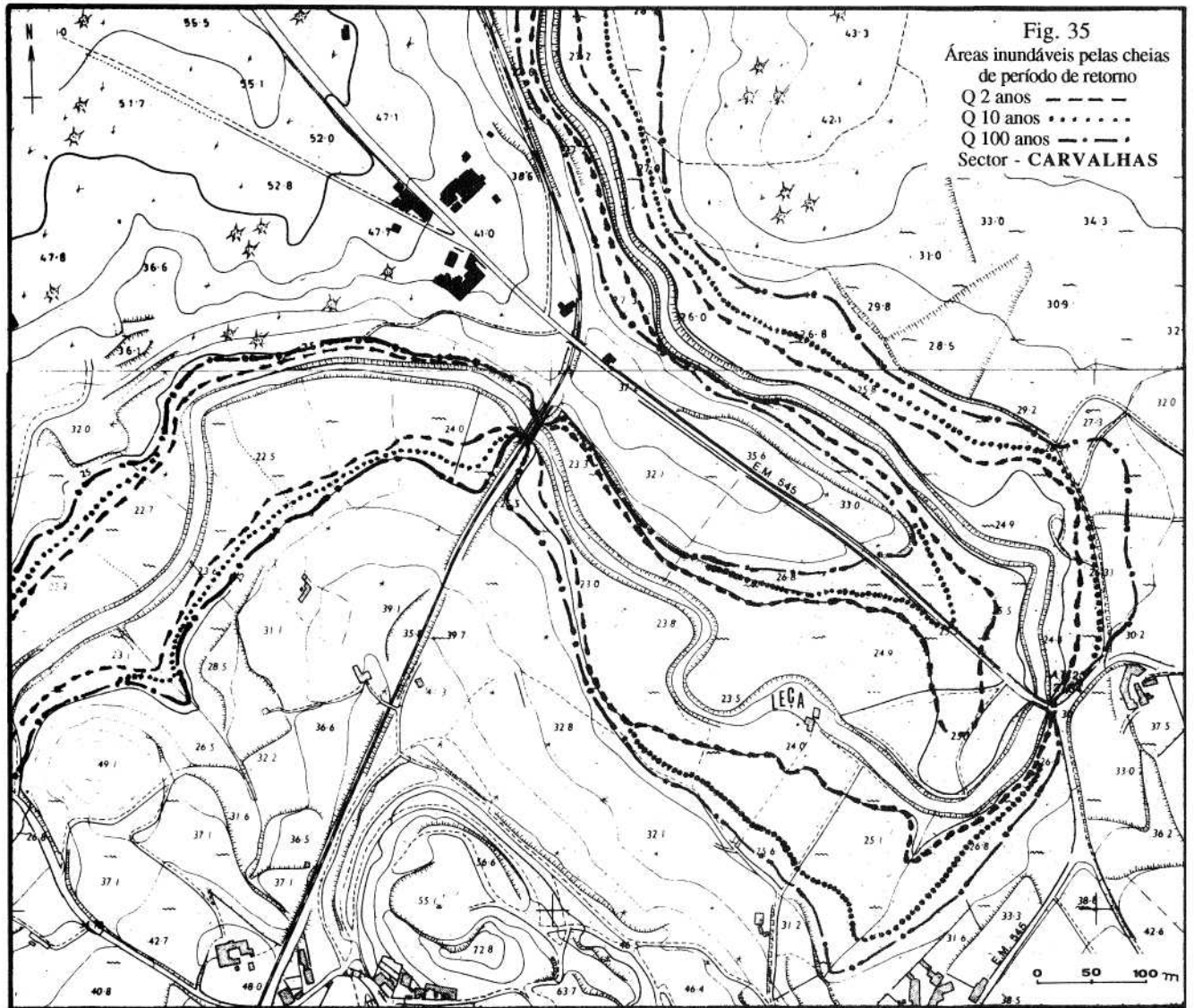
Cota Z(m)	Área A(m ²)	Perímetro P(m)	Raio hidrául. R(m)	R ^{2*}	AR ^{2/3}
35,4	0	0	0	0	0
36,0	8,35	19,8	0,4217	0,5623	4,695
36,5	15,45	20,92	0,7385	0,817	12,623
37,0	23,25	22,65	1,026	1,017	23,66
37,5	31,35	25,54	1,2275	1,1464	35,94
38,0	40,35	28,3	1,426	1,2668	51,11
38,5	50,2	30,36	1,6535	1,398	70,195
39,0	71,5	32,62	2,189	1,686	120,57
39,5	87,0	49,37	1,7622	1,459	126,927
40,0	111,65	70,11	1,592	1,363	152,22
40,5	143,4	78,977	1,816	1,488	213,44
41,0	180,5	90,82	1,9874	1,58	285,32
41,5	221,25	95,43	2,318	1,751	387,568
42,0	264,9	101,12	2,6196	1,9003	503,398
42,5	310,3	104,07	2,9816	2,0716	642,81

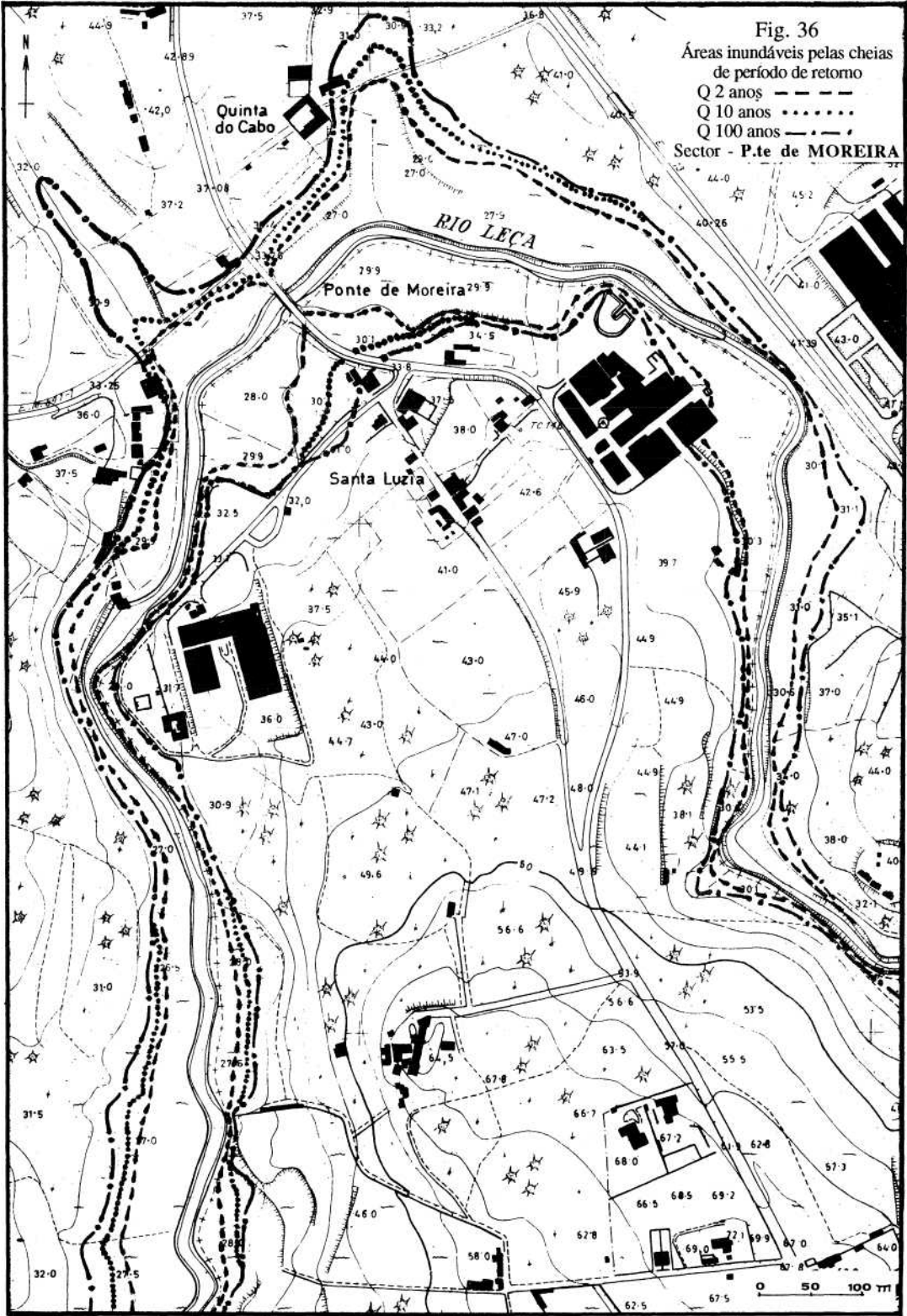
parâmetro $A R^{2/3}$ que, substituídos na expressão por nós obtida, nos permite o cálculo das cotas atingidas por cada um daqueles caudais (quadro XXX).

Quadro XXX - Caudais de cheia Q (m³/s) na secção km - 15,5 para vários períodos de retomo e cotas (Z), correspondentes

Q (m ³ /s)	Z(m); Ks=25	Z(m); Ks=30	Z médio (m)
Q2= 152,8 Q10	39,91	39,65	39,78
= 223,7 Q50 =	40,47	40,20	40,33
285,8 Q100 =	40,83	40,56	40,69
314,3	40,97	40,70	40,83

Para a secção de jusante, convencionalmente fixada 500 m a montante da doca n^o 2 do porto de Leixões, procedemos à mesma análise, o que nos permitiu estabelecer relações entre cotas atingidas por caudais de período de retomo de 2 anos e caudais de qualquer outro período de retomo. As proporções médias obtidas foram as seguintes: $Z_{10} / Z_2 = 1,016$; $Z_{50}/Z_2 = 1,024$; $Z_{100}/Z_2 = 1,029$.





A partir desta informação é possível traçar um perfil de cheia em que figurem, nas abcissas, as distâncias ao longo do curso de água, e em ordenadas, a inclinação do fundo do leito e níveis altitudinais atingidos pelos caudais de cheia de diferentes períodos de retorno.

A extensão das áreas inundadas para uma cheia de dado período de retorno pode, então, ser cartografada, marcando as cotas obtidas pela leitura do perfil em cada secção transversal do curso de água. Os perfis transversais, construídos inicialmente, são úteis nesta fase, para aferir níveis possíveis de ser alcançados, já que o modelo geral elaborado para todo o sector resulta, em alguns casos, demasiado simplificador.

Em certos sectores do vale compreendidos entre dois perfis transversais, nem sempre é fácil a delimitação rigorosa da área inundada, dificuldade que se torna acrescida quando a planície de inundaçãõ quase desaparece devido ao estreitamento do vale.

Ao procedermos à delimitação das áreas inundáveis no mapa topográfico (figs. 35, 36 e 37)¹, verifica-se que, em muitos sectores, os níveis atingidos para cheias de período de retorno de 50 e 100 anos quase se sobrepõem, o mesmo acontecendo em alguns outros sectores com a cheia de 10 anos de período de retorno. Por este facto, apresentamos o limite da inundaçãõ de maior período de retorno e, nas áreas onde o limite da de 10 anos se afasta da anterior, também ela é representada.

IV. SÍNTESE E CONCLUSÕES

Ao longo deste estudo procurámos trazer um contributo ao conhecimento das características hidroclimáticas na bacia hidrográfica do rio Leça, cuja situação de referência, comum a tantas outras pequenas bacias hidrográficas no nosso país, se define pela escassez de informação relativa a dados de escoamento fluvial.

Assim, na prossecuçãõ deste objectivo, foi nossa intençãõ aplicar e testar uma metodologia de trabalho baseada na análise dos elementos climáticos com relevância no balanço hidrológico, disponíveis em maior número, devido à existência de uma rede de estações meteorológicas e postos udométricos de melhor qualidade do que a presente rede hidrométrica. A análise dos quantitativos e da distribuiçãõ das variáveis precipitaçãõ e evapotranspiraçãõ na bacia hidrográfica, permitiu-nos dispor de informaçãõ complementar que, aliada à informaçãõ hidrológica disponível mas considerada insuficiente, nos propiciou o estudo tão detalhado quanto possível do balanço e regime hidrológicos nesta bacia.

¹ Ver fig. 30 onde estão assinaladas, no mapa de conjunto da bacia, os sectores para os quais se procedeu à delimitaçãõ de pormenor das áreas inundáveis.

A análise do comportamento das variáveis hidroclimáticas mencionadas permitiu-nos estabelecer o quadro temporal e as condições propícias à ocorrência de elevados teores de humidade do solo e dos maiores volumes do escoamento fluvial. Simultaneamente, perante as características morfo - litológicas desta bacia hidrográfica, nomeadamente pelo facto do curso de água principal apresentar um troço terminal com muito fraca inclinação do leito e forte deposição de materiais na planície aluvial, colocava-se-nos, à partida, o interessante problema de avaliar as áreas mais susceptíveis de serem afectadas por inundações.

Confrontados com esta questão procurámos caracterizar a ocorrência deste fenómeno, no sentido de definir os sectores do vale e planície aluvial mais frequentemente atingidos pelas cheias.

A altura das águas no canal de escoamento em situação de capacidade máxima de transporte define o momento em que a planície aluvial será sujeita a inundação, o que permite a determinação do nível da planície de inundação. Segundo Dunne¹, a frequência de ocorrência da situação de capacidade máxima de armazenamento e transporte do escoamento em canais fluviais é relativamente constante numa grande variedade de cursos de água. Segundo este autor, o caudal correspondente a tal situação apresenta um período de retorno de 1,5 anos, determinando que a área inundada tenha um período de retorno da mesma ordem de grandeza. As áreas do vale mais frequentemente inundadas são as que apresentam uma menor dificuldade de delimitação, não só pela maior profusão de elementos indiciadores no terreno, como pelas informações obtidas no local. Justificava-se, contudo, que procurássemos delimitar aquelas outras áreas afectadas por inundações de maior período de retorno, correspondentes às situações extremas de ocorrência do fenómeno. Para tanto, e na ausência de valores do caudal, procedemos à aplicação de uma metodologia, envolvendo princípios hidroclimatológicos, visando estimar os valores dos caudais para diferentes períodos de retorno, a partir dos valores máximos de precipitação para curtas durações. Pelo estabelecimento de uma relação entre os caudais calculados e as cotas atingidas, determinadas em função das características geométricas do vale, delimitámos as áreas inundadas para períodos de retorno de 2, 10 e 100 anos no sector do rio Leça a jusante da Ponte da Pedra, correspondente aos últimos 15 km.

O presente estudo permitiu evidenciar que a precipitação se constitui na variável mais significativa para a definição do regime hidrológico na bacia do rio Leça. Embora os períodos de maior precipitação e menores valores de evapotranspiração ocorram em simultâneo, as características básicas do

¹ T. Dunne e L.B. Leopold , op. cit., 1978. 244

regime hidrológico e os valores anuais do escoamento estão directamente na dependência do comportamento pluviométrico em cada ano hidrológico.

Os quantitativos pluviométricos médios anuais são bastante elevados nesta área definida pela bacia do rio Leça mas, estão sujeitos a uma forte variabilidade interanual com reflexo imediato nos valores observados dos escoamentos anuais. Assim, é frequente a sucessão de anos hidrológicos de características bem distintas, e mesmo no sector da bacia a montante de Ermesinde, de altitude mais elevada, sendo os quantitativos pluviométricos médios superiores, as características da Variabilidade interanual são consistentes com as observadas no sector terminal da bacia.

Verificou-se que o período de Outubro a Março apresenta no seu conjunto, uma elevada concentração das precipitações anuais, nunca inferior a 70 % do módulo anual. Em resultado deste facto, é igualmente neste semestre que observamos as maiores concentrações do escoamento anual, embora com níveis percentuais inferiores aos da precipitação, pois, devido à interferência dos solos e sua capacidade de infiltração é possível a formação de escoamento fluvial com diferimento no tempo. Cada um dos meses deste semestre pluvioso, considerado individualmente, apresenta, contudo, uma forte variabilidade pluviométrica, podendo verificar-se uma forte concentração das precipitações em alguns poucos meses deste semestre. Assim, o escoamento fluvial para além de apresentar uma importante variação sazonal, pode registar no seio da estação pluviosa uma forte irregularidade. Outubro, que do ponto de vista pluviométrico é já um mês da estação pluviosa, apresenta, todavia, caudais bastante fracos e muito irregulares, resultado de uma forte infiltração das águas das chuvas nos solos que, durante o verão, registam uma diminuição acentuada do seu teor de humidade. Assim, com base na análise do balanço hidroclimatológico, Outubro não faz parte do período de superavit hídrico e, apesar de registar valores de evapotranspiração já substancialmente menores do que os dos meses de verão, este não é, finalmente, o factor decisivo para a formação do escoamento neste mês.

Os meses de Abril e Maio, considerados pluviometricamente de transição, podem registar em alguns anos, caudais elevados, uma vez que as condições de humedecimento dos solos, garantidas durante o decorrer da estação pluviosa, permitem uma resposta do escoamento muito mais rápida a quantitativos de precipitação que, na maioria das situações, são até inferiores aos observados nos meses anteriores. Refira-se, a propósito, que pelo cálculo do balanço hidroclimatológico e assumindo um valor de 120 mm para a capacidade de água utilizável, se observou que em 1 de cada 2 anos essa capacidade máxima está ainda intacta no final do mês de Abril, o mesmo acontecendo para Maio em cerca de 1 em cada 3 anos.

A análise do regime hidrológico na bacia hidrográfica realizada com base nos valores dos caudais registados nos postos hidrométricos localizados nas cabeceiras do Leça e complementada pela análise dos valores obtidos pelo cálculo do balanço hidroclimatológico sequencial mensal demonstrou que, em situações de insuficiência de dados de registo, é viável a utilização desta metodologia.

O cálculo de um superavit hídrico não define, de imediato, o valor do escoamento de superfície, tendo este de ser obtido por confronto com os valores de registo de caudais. Só assim se torna possível avaliar o valor do escoamento potencial disponível em cada mês, e, por comparação com os valores registados, estimar a percentagem que origina um escoamento efectivo de superfície. Os problemas que se nos depararam resultaram do facto de apenas existirem registos de caudais nas cabeceiras, o que torna difícil a aplicação para toda a bacia de resultados controlados apenas com informação daquele sector de montante. Acrescente-se que a situação se afasta da ideal, na medida em que, mesmo nesse sector das cabeceiras, as séries de registos de caudais são manifestamente curtas, apenas de 9 anos, determinando uma forte variabilidade dos valores mensais, o que dificulta a calibração dos valores calculados. A inexistência de postos hidrométricos em secções no sector terminal do curso de água principal impossibilita conclusões mais precisas que só poderão ser obtidas pela prossecução de futuros trabalhos em áreas mais restritas no interior da bacia. Estudos de pormenor em pequenas sub-bacias representativas, cada uma delas com características distintas, quer do ponto de vista da morfo-litologia, quer da própria ocupação dos solos, pode permitir, com o recurso a instrumentação relativamente simples, analisar mais detalhadamente e com maior precisão o tipo de resposta hidrológica de cada uma dessas áreas a precipitações de diferentes intensidades.

O estudo realizado e os resultados obtidos devem ser perspectivados como uma primeira contribuição à avaliação dos recursos hídricos de superfície nesta bacia, tanto mais que a base temporal mais frequentemente disponível e utilizada é a dos dados mensais, e que nem sempre se revela a mais adequada para a análise de detalhe de todos os processos que interferem no regime hidrológico de pormenor.

Constatando que os principais episódios de cheia têm uma relação estreita com as precipitações ocorridas em períodos de tempo muito curtos, procedemos à análise destas precipitações extremas que, em muitas sub-bacias com tempos de concentração muito reduzidos, ocasionam caudais de ponta de cheia extremamente vigorosos. A análise das características morfométricas de algumas sub-bacias e o cálculo do seu tempo de concentração permitiu-nos, assim, estabelecer as durações mais importantes para a estimação da correspondente precipitação máxima provável e, a partir

desses valores, calcular os caudais de ponta de cheia. A metodologia, embora simplificada, permite-nos estimar a ordem de grandeza dos caudais envolvidos. Também neste caso, a situação ideal seria a de poder dispor de udogramas para um maior número de estações, de modo a que a cobertura tivesse sido mais completa. Contudo, futuros trabalhos terão de envolver uma metodologia diversa da utilizada, fundamentalmente devido à má qualidade dos registos dos udogramas nas restantes estações próximas da bacia. A alternativa pode consistir, não na análise das precipitações extremas anuais para várias durações temporais, mas no estudo individualizado de alguns episódios chuvosos particularmente intensos. Tal análise requer alguns processamentos de cálculo automático nem sempre ao dispor e que se revelaram inviáveis para serem realizados no espaço de tempo de que dispúnhamos.

A delimitação das áreas inundáveis é, no quadro dos condicionalismos referidos, uma tarefa algo difícil e que resulta, em alguns sectores, demasiado simplificada. Julgamos, contudo, que o trabalho de campo realizado nos permitiu delimitar com alguma precisão as áreas que são mais frequentemente inundadas, uma vez que se encontram marcas e indícios no terreno que nos facilitam a tarefa. As áreas inundáveis para os maiores períodos de retorno foram delimitadas apenas no sector dos últimos 15 km do Leça, onde, a coberto da fraca inclinação do leito, é possível evitar alguns erros frequentemente cometidos na avaliação das cotas atingidas pelo nível das águas.

Em inúmeras secções, o curso de água apresenta-se murado em ambas as margens ou a poucas dezenas de metros delas, pelo que as áreas inundáveis para os maiores períodos de retorno praticamente se sobrepõem, ficando nesses troços a tarefa simplificada.

Cremos que o trabalho realizado pode e deve ser aprofundado futuramente, ficando aqui esta primeira contribuição para a avaliação global das características do regime hidrológico na bacia do Leça e dos factores mais importantes que o condicionam.

BIBLIOGRAFIA CITADA

- ALCOFORADO, M* João - *Quelques remarques sur Vévoluñion séculaire des precipitations à Lisbonne*, in " Trés estudos de Geografia Física ", Linha de Acção de Geog. Física, 21, C.E.G., Lisboa, 1984, p. 12 - 27. AZEVEDO, A. Lobo - *Curvas de frequência das quedas pluviais de grande intensidade em Lisboa*. " Anais do Instituto Superior de Agronomia ", Lisboa, vol. XIX, 1953, p. 43 -51.
- BETTENCOURT, Manuel L. - *Frequência da ocorrência de anos secos e chuvosos em Portugal*. " O Clima de Portugal ", fasc.XXX, I.N.M.G., Lisboa, 1984. BROCHET, P. ; GERBIER, N. - *L'Évapotranspiration, aspect agrométéorologique*. " Monographie de la Météorologie National ", n^o 65, Paris, 1975. CHOW, Ven Te - *Handbook of applied hydrology*. New York, McGraw-Hill Book Company, 1964. CORREIA, F. Nunes - *Caudais de cheia em pequenas bacias hidrográficas*. Seminário n^o 247, L.N.E.C, Lisboa, 1982. COSTA, J. Botelho da - *Caracterização e constituição do solo*, 3^o ed., Lisboa, Fundação Calouste Gulbenkian, 1985. DAVEAU, S. - *Répartition et rythme des precipitations au Portugal*. " Memórias do C.E.G.", n^o 3, Lisboa, 1977. DAVEAU, S. - *Os temporais de Fevereiro-Março de 1978*. "Finisterra", Lisboa, 13 (26), 1978, p. 236 -260. D. G. R. A. H. - *Monografias hidrológicas dos principais cursos de água de Portugal Continental*. Lisboa, 1986. DUNNE, T. ; LEOPOLD, L. B. - *Water in environmental planning*. San Francisco, W.H. Freeman and Company, 1978. FARIA, J. M. Rocha et ai. - *Análise estatística dos valores máximos do ano da quantidade diária de precipitação em Portugal*. " O Clima de Portugal", fase. XIX, Lisboa, I.N.M.G., 1980. FARIA, J. ROCHA; GODINHO, S.F. - *Intensidade, duração e frequência da precipitação no arquipélago da Madeira*. " O Clima de Portugal ", fase. XXIX, Lisboa, I.N.M.G., 1983.
- FERREIRA, D. Brum - *Contribution à l'étude des vents et de l'humidité dans les iles centrales de VArchipel des Açores*. linha de Acção de Geog. Física, 9, C.E.G., Lisboa, 1980.
- FERREIRA, M* I. F. R. ; PEREIRA, L. S. - *Estudo comparativo de várias fórmulas climáticas para o cálculo de evapotranspiração de referência*. "Recursos Hídricos", Lisboa, 3 (3) Set., 1982, p. 61 -77. FERREIRA, M* I. F. R. ; PEREIRA, L. S. - *Conceitos de base e nomenclatura relativos à evapotranspiração das culturas*. " Recursos Hídricos ", Lisboa, 4 (1), 1983, p. 19 - 25.
- GRISOLLET, H. et ai. - *Climalologie. Méthodes et pratiques*, 2- ed., Paris, Gauthier Villars, 1973. HENRIQUES, A. G. et ai. - *Avaliação de caudais de cheia e mapeamento de zonas inundáveis - aplicação ao caso da rib. da Laje (Oeiras)*. "Recursos Hídricos", Lisboa, 6 (3) Set., 1985, p. 3 -12.

- LECARPENTIER, C.** - *L' évapotranspiration potentielle et ses implications géographiques.* " Annales de Géographie ", Paris, 463 Maio-Jun., 1975, p. 257 - 274. LENCASTRE, A. ; FRANCO, F. M. - *Lições de hidrologia.* Lisboa, Universidade Nova de Lisboa, 1984.
- LOUP, J. - *Les Eaux Terrestres.* Paris, Masson et Co., 1974. **LOUREIRO, J. M. ; PINTO, M. S.** - *Relação entre a intensidade da precipitação para diferentes durações - bacia do Mondego.* " Recursos Hídricos ", Lisboa, 2 (3) Set., 1981, p. 61 -72. **LOUREIRO, J. M. ; PINTO, M. S.** - *Expressão para o cálculo do caudal máximo de cheia nas regiões a norte da bacia do rio Tejo.* D.G.R.A.H. Lisboa, 1980. LOURENÇO, L. - *O rio Alva, estudo hidroclimatológico.* " Cadernos de Geografia ", Coimbra, 8, 1989, p. 55-125. **MELLO, Francisco M. de** - *Intensidade máxima - duração - frequência para a precipitação no posto meteorológico de Évora.* " Recursos Hídricos", Lisboa, 1 (1) Jan., 1980, p. 5 - 13.
- PARDÉ, Maurice** - *Les crues remarquables du Douro inférieur.* " Revue Géographique des Pyrénées et du Sud - Ouest", Toulouse, 38 (3), 1967, p. 231 - 242. **PARDÉ, Maurice** - *Les crues du Douro daprès une étude portugaise remarquable.* " Boletim Trimestral de Informação ", D. G. S. H., Lisboa, 23, 1966, p. 94 -168. **PÉGUY, C. P.** - *Une nouvelle expression graphique de la variabilité interannuelle des climats: les calendriers de probabilités.* " Bulletin de V Association des Géographes Français", Paris, (431 - 432), 1976, p. 5 - 11. PROJECTO DE GESTÃO INTEGRADA DOS RECURSOS HÍDRICOS DO NORTE - *Monografias sobre as Bacias Hidrográficas do Norte de Portugal.* Porto, PGIRH/N, 1990. **QUINTELA, A. C.** - *Recursos de água superficiais em Portugal Continental.* Lisboa, s I ed., 1967.
- REMENIERAS, G. - *Uhydrologie de Vingénieur.* Paris, Eyrolles, 1972. **ROXO, M. J. ; VENTURA, J.** - *As inundações catastróficas de Novembro de 1983 na região de Lisboa - Loures,* in " Estudos em Homenagem a Mariano Feio ", Lisboa, 1986, p.391 -405. SILVA, D. Pinto da - *Les grandes crues du Douro,* in "Études Hydrologiques et Géographiques offertes à Maurice Pardé", Gap, 1968, p. 531 -541. **SOBRINHO, A. S.** - *As inundações na rib. da Meimoa. Ensaio de um modelo de avaliação de danos.* Porto, 1985. **SOBRINHO, A. S.** - *As inundações e o ordenamento do território em Portugal,* in " Actas do II Col. Ibérico de Geografia ", vol.I, Lisboa, 1980, p. 359 - 385. **SOUSA, Ana M- M. de** - *Contribuição para o estudo das implicações no clima local, da construção de barragens.* Porto, 1987. **TAVEIRA, A. A. de Sousa** - *A análise da frequência regional das cheias - região do Noroeste de Portugal.* " Recursos Hídricos ", Lisboa, 1 (3) Set., 1980, p. 43-81. **TAVEIRA, A. A. DE Sousa** - *O regime das chuvas do Porto.* " Revista de Engenharia", Porto, (26), 1960, p. 9-21.

ANEXO

BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO LEÇA PRINCIPAIS SUB-BACIAS



RÉSUMÉ

Le bassin hydrographique du rivièrè Leça. Elude hydroclimatològiquè

La situation concernant l'analyse de r'coulement fluvial dans les petits bassins hydrographiques au Nord du Portugal se caractèrise, fr'quemment, par une absence presque totale de donn'ees sur les d'ebits ou les hauteurs d'eau.

Nous nous proposons d'essayer une m'ethodologie, appliqu'ee au bassin hydrographique de la rivièrè Leça situ'ee dans le Nord-Ouest Portugais. Elle est bas'ee sur l'analyse des principaux 'el'ements climatiques comme point de d'eparl pour la d'eterminatiòn des bilans hydriques dans le bassin.

L'analyse des quantit'es des pr'ecipitations et de leur r'epartitiòn, comme le calcul de l'evapotranspiration potentielle pour le r'eseau de stations de jaugeage dans le bassin, nous a permis d'obtenir l'information quant à la phase atmosph'eriqùe du cycle de l'eau, notamment la valeur de l'eau potentiellement disponible. Apr'ès avoir consid'ere les caract'eristiques topographiques, g'eoologiques et de la couverture v'eg'etale, nous avons d'efini des valeurs approximatives pour la r'eserve d'eau dans le sol. L'examen du comportement des variables hydroclimatiques observ'ees et calcul'ees nous a permis d'etablir l'encadrement temporel et les conditions propices à l'occurrence des volumes les plus importants de l'ecoulement fluvial.

Face aux caract'eristiques morpho-lithologiques du bassin et en consid'eram les intensit'es extremes des pr'ecipitations de courte dur'ee, on a calcul'ee les d'ebits de pointe et on a caract'eri's'ee l'occurrence des inondations. Nous avons pu ainsi d'elimitèr les secteurs de vall'ee et de la plaine alluviale les plus fr'equemment atteints par les hautes eaux.

ABSTRACT

The river Leca drainage basin.

Hydroclimatological study

In Northern Portugal, the study of streamflow characteristics in small drainage basins is made difficult due to an insufficiency or even to an absence of records on stage or discharge data.

The purpose of this study was to develop and test a methodology applied to Leca river basin, which relied on the calculation of water balances through the analysis of the main climatic elements. The study of the rainfall areal variation and its monthly pattern, as well as the estimation of the potential evapotranspiration for the main weather stations in the basin, provided useful background knowledge about the atmospheric component of the hydrological cycle. Having taken into consideration landform, lithology, vegetation and land use characteristics we defined an approximate value for the soil moisture storage. The analysis of the soil moisture deficit values, obtained by a calculation procedure based upon the water balance concept, and of the other variables mentioned above, enabled us to establish the most favourable conditions for the occurrence of the greatest runoff volumes.

Finally, we applied a general method for estimating rainfall intensity - duration -- frequency relationships in order to calculate the flood peak flows and to map flood prone areas in the Leca river basin.