

BALANÇO HÍDRICO NA BACIA EXPERIMENTAL DO RIO FERVENÇA

Luís Filipe Pires Fernandes
Prof. Coordenador
Escola superior de Educação
Instituto Politécnico de Bragança
Quinta de Sta Apolónia
5300-153 Bragança
lfilipe@ipb.pt

RESUMO

Neste trabalho, na região de Bragança, faz-se o estudo de uma pequena bacia experimental, que se delimitou na bacia Hidrográfica do rio Fervença, Definiu-se esta bacia com o objectivo de dar uma contribuição para um melhor conhecimento das diferentes variáveis que entram no cálculo do balanço hídrico. Após a caracterização geomorfológica enunciam-se os princípios com que se definiu a bacia experimental que permitiu controlar o caudal do rio Fervença e assim elaborar o respectivo hidrograma. É calculada a curva de vazão do rio Fervença, com recurso ao programa Vazão tendo sido calculado o balanço hídrico ao nível do solo na série de anos de 1931/97 e nos anos de controle 1995/97. É feita a decomposição do hidrograma utilizando o método da translação da curva de esgotamento e o método da separação do escoamento directo, utilizando o programa informático DECHIDR.BAS.

ABSTRACT

In this work, the region of Bragança, it is the study of a small experimental watershed, which was limited in Fervença River Watershed, this basin was defined in order to make a contribution to a better understanding of the different inputs in the calculation of water balance. After characterizing geomorphology sets out the principles that have defined the experimental basin that has helped control the water flow and thus produce Fervença its hydrograph. We calculated the curve of the river flow Fervença, using the program flow has been calculated the water balance at ground level in several years of 1931/97 and 1995/97 years of control. It is made the hydrograph decomposition using the method of translation of the depletion curve and the method of separation of direct runoff using the computer program DECHIDR.BAS.

PALAVRAS CHAVE- Bacia hidrográfica-, curva de vazão, hidrograma.

1- INTRODUÇÃO

A zona em estudo, Figura 1, situa-se na península Ibérica, a qual é constituída principalmente por um fragmento Hercínico, ladeado a Sudeste e a Norte pela cadeia alpina e a Oeste pelo oceano Atlântico. Um conjunto de bacias de abatimento, preenchidas por materiais geológicos recentes, completam este arranjo estrutural. Este Maciço Hespérico é atravessado pela cordilheira central, que é um grande "horst" cuja altitude máxima ultrapassa os 2500 m. Esta cordilheira divide a Meseta Ibérica em dois fragmentos: a Meseta Norte, mais elevada, apresentando 800 metros de altitude média; e a Meseta Sul, menos elevada, apresentando 600 – 700 m de altitude média, no interior, mas com valores mais baixos a Oeste.

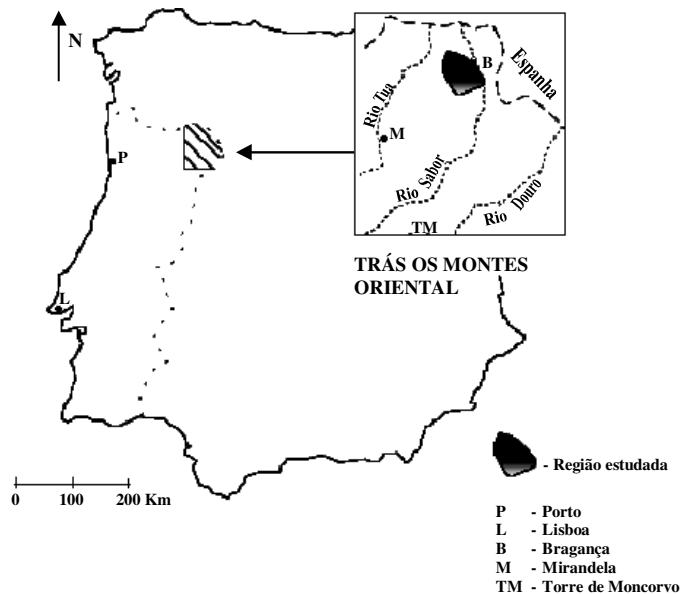


Figura 1- Localização da área em estudo.

O relevo do Nordeste Transmontano caracteriza-se por um extenso planalto, com altitudes médias entre os 700 e 800 metros, encontrando-se bem conservado, a leste, na zona de Miranda do Douro. Esta superfície de aplanção deverá corresponder ao prolongamento, em território português, da grande superfície da Meseta Norte ou de Castela-a-Velha.

O rejogo recente de grandes acidentes com direcção aproximada NNE-SSW, deu origem a grandes depressões, como o vale da Vilariza e as bacias de Macedo de Cavaleiros, Mirandela e Bragança.

É actualmente aceite que a cadeia Hercínica, na península Ibérica, se divide em quatro zonas: a Zona Cantábrica, a Zona Oeste - Astúrico - Leonesa; a Zona da Galiza Oriental, a Sub-Zona da Galiza Média - Trás-os-Montes e a Zona Centro - Ibérica. Recentemente foi proposta uma divisão do troço Hercínico Ibérico em "Terrenos" tectono - estratigráficos.

Os aspectos geomorfológicos/geológicos da bacia hidrográfica do rio Fervença foram caracterizados de uma forma geral, sem se entrar em grandes pormenores, atendendo a que a cartografia geológica à escala 1/25.000 desta região não se encontra disponível e a que o objectivo principal deste trabalho não era propriamente esse.

Fitogeograficamente, a área estudada enquadra-se na Região Mediterrânica e na Província Carpetano - Ibérico - Leonesa. A bacia do rio Fervença pertence ao sector Orensano - Sanabriense.

Com base no sistema bioclimatológico de RIVAS-MARTINEZ (1987) e analisando os dados climáticos disponíveis (PIRES, 1994) pode concluir-se que a transição entre os pisos bioclimáticos meso e supramediterrânicos se dá entre os 600 e 700 metros.

No território supramediterrânico, a vegetação potencial é constituída frequentemente por bosques de *Quercus pyrenaica* (Carvalho negral). Nos locais muito expostos ao sol, em terrenos declivosos ou sobre rochas ultrabásicas, a Azinheira (*Quercus ilex*) pode ser uma espécie climática para cotas superiores a 700 m. No piso mesomediterrânico, nos territórios Orensano - Sanabrienses, a vegetação potencial é constituída por azinhais. No sector transmontano, o Sobreiro (*Quercus suber*) surge como espécie climática em altitudes intermédias, entre o carvalho negral e a azinheira. No entanto, o Sobreiro, sendo uma espécie acidófila, não se encontra, naturalmente, em rochas básicas e ultrabásicas (TEIXEIRA, 1994).

Nas rochas ultrabásicas, os azinhais são substituídos por estevais. No entanto estão presentes outras espécies, a maioria delas endémicas, que constituem comunidades que se dispõem em forma de mosaico com os estevais.

O estudo climatológico está directamente associado ao controle da escorrência superficial. Assim, dentro da bacia hidrográfica total do rio Fervença definiu-se uma sub-bacia, na qual se fez o controle de caudais numa estação limnimétrica montada na Quinta de St^a Apolónia, próximo das instalações do Instituto Politécnico de Bragança. A análise do hidrograma de escoamento e da curva de vazão do curso de água principal, foram os instrumentos que permitiram caracterizar a escorrência ocorrida ao longo dos dois anos do estudo.

Na região em estudo, cerca de metade da superfície é habitualmente utilizada para a agricultura, sendo a restante área ocupada com bosques (20,3%), com matos (20,1%) e com espaços urbanos (3,2%).

2- A BACIA EXPERIMENTAL

No sentido de dar uma contribuição para um melhor conhecimento das diferentes variáveis que entram no cálculo do balanço hídrico, definiu-se uma pequena bacia hidrográfica onde era possível ter um perfeito controle das mesmas.

Esta bacia, que se denominou “sub-bacia do rio Fervença”, possui uma área de 46,6 km.

A principal razão que levou à definição desta sub-bacia, foi o facto de se ter conseguido instalar uma estação hidrométrica na Quinta de St^a Apolónia, onde se localiza o Instituto Politécnico de Bragança, que permitiu fazer um controle rigoroso da escorrência superficial.

Nesta estação foi montado um limnígrafo de registo em papel contínuo, o qual forneceu os valores das diferentes alturas de água na secção transversal ocorridas no local de amostragem previamente definido, situado no pontão sobre o rio Fervença, no interior da Quinta de St^a Apolónia.

O método mais frequentemente utilizado na medição do caudal numa secção transversal de um curso de água natural é o método da área - velocidade (ISSO 748, 1979; LOUREIRO, 1983). Essencialmente, este método consiste na integração numérica da velocidade do escoamento ao longo da área dessa secção.

3- A CURVA DE VAZÃO

A curva de vazão é a relação entre alturas hidrométricas e os caudais, em determinada secção transversal de um curso de água.

A expressão matemática que mais frequentemente se utiliza para definir essa relação (LENCASTRE e FRANCO, 1984; LOUREIRO, 1983; QUINTELA, 1984), por trechos entre alturas hidrométricas e por períodos entre datas, é:

$$Q = a (h - h_0)^b,$$

onde:

Q , representa o caudal (m^3/s),

h , é a altura hidrométrica (m) e

a , b e h_0 , são parâmetros a determinar

Em particular h_0 representa a altura hidrométrica para a qual se anula o caudal que atravessa a secção transversal. Assim, deverá verificar-se sempre que:

$$h_0 \leq h$$

Para cada h_0 , a determinação dos parâmetros a e b faz-se por recurso ao método do mínimo dos quadrados, após linearização da expressão matemática da curva de vazão. Assim, fazendo:

$$y = \log (Q)$$

$$x = \log (h-h_0)$$

$$a' = \log (a) ,$$

obtém-se:

$$a' = \frac{\sum x^2 \sum y - \sum x \sum xy}{N \sum x^2 - (\sum x)^2}$$

$$b = \frac{N \sum xy - \sum x \sum y}{N \sum x^2 - (\sum x)^2}$$

onde os somatórios se estendem aos N pares de altura hidrométrica e de caudal.

O coeficiente de correlação linear, r , entre x e y , obtém-se de

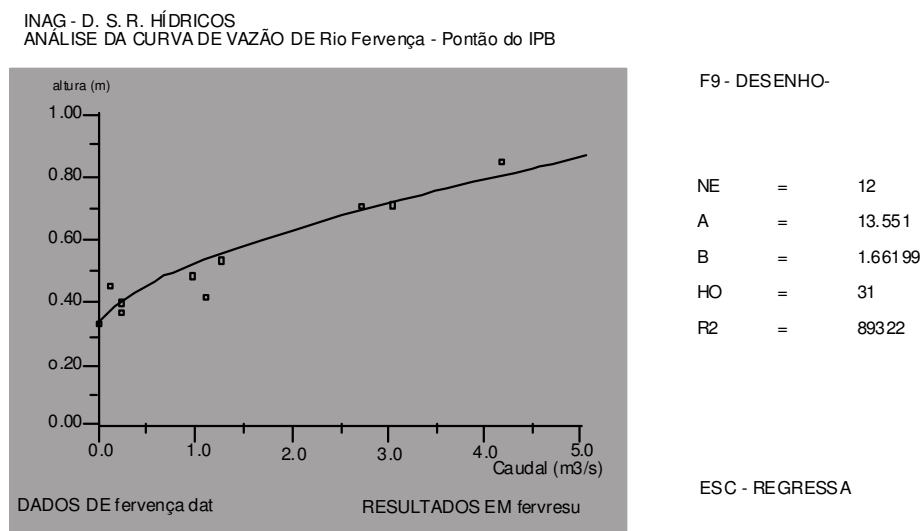
$$r = \frac{cov(x, y)}{[\text{var}(x) \text{var}(y)]^{1/2}}$$

$$r = \frac{N \sum xy - \sum x \sum y}{[N \sum x^2 - (\sum x)^2]^{1/2} [N \sum y^2 - (\sum y)^2]^{1/2}}$$

O quadrado do coeficiente de correlação, r^2 , designa-se por “coeficiente de determinação”.

Na metodologia descrita, a determinação dos parâmetros a e b da curva de vazão e a determinação do coeficiente de determinação, r^2 , dependem do valor que se atribui a h_0 que, como, se referiu, corresponde, numa curva de vazão constituída apenas por um trecho ou no trecho mais baixo de uma curva de vazão, à altura hidrométrica para a qual o caudal se anula. Assim, a estimativa automática de h_0 , que neste programa se permite, adoptando como objectivo a maximização do coeficiente de determinação, deve ser sempre criticada à luz desse facto.

O Programa VAZÃO (gentilmente cedido pela Direcção de Serviços de Recursos Hídricos do Instituto da Água) utiliza os dados tradicionais do estabelecimento de curvas de vazão, ou seja a medição de caudal e a altura hidrométrica, lendo esses dados a partir de um ficheiro, criado ou editado por um editor de texto do tipo EDIT, do MS-DOS.



NE - número de medições efectuadas;

A, B e HO - parâmetros determinados e utilizados na fórmula;

R2 - coeficiente de determinação.

Figura 2. Curva de vazão para o rio Fervença, elaborada pelo Programa VAZÃO.

Na Figura 2 está representada a curva de vazão do rio Ferverença, elaborada pelo Programa VAZÃO com os dados dos caudais medidos no decurso do presente estudo.

4- CÁLCULO DO BALANÇO HÍDRICO AO NÍVEL DO SOLO

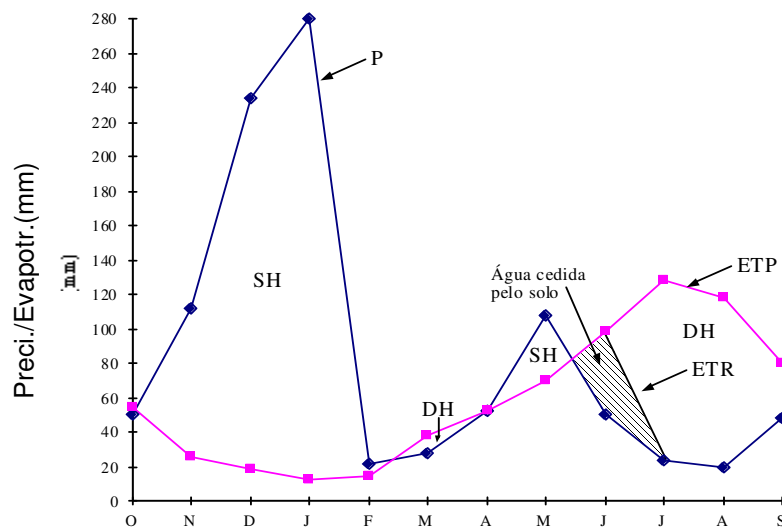
Através dos gráficos representados nas Figuras 3 e 4, onde se representa este balanço hídrico, verifica-se que o período no qual se completam as reservas de água corresponde aos meses de Outubro e Novembro, enquanto que o período em que existe infiltração e escorrência corresponde aos meses de Janeiro e Fevereiro.

Seguidamente, surge um período em que o desenvolvimento das plantas se faz à custa do esgotamento das reservas de água da humidade do solo, durante os meses de Março e Abril. Nestes dois anos em estudo, os meses de Maio e Junho foram meses em que houve, novamente, reposição de água no solo com "superavit" hídrico.

Vem a seguir um período, durante os meses de Julho e Agosto, em que o solo cede alguma água às plantas de maior porte, porque apresentam raízes mais profundas, mas em que será necessário regar as plantas de menor porte, para que possam dispor de alguma água utilizável.

O mês de Setembro, é um período onde se verifica uma certa reposição de água no solo.

Este balanço hídrico torna-se importante, porque, quando é efectuado com séries de anos mais longas (30 anos), permite definir os momentos em que a precipitação contribui para a alimentação de linhas de água e de aquíferos (SH), e quando é necessário intervir para fornecer água suplementar à vegetação (DH). Assim, interpretando o diagrama da Figura 3 que se reporta a uma série de 66 anos, verifica-se que, efectivamente, também o balanço hídrico ao nível do solo reflecte o clima de Trás-os-Montes, caracterizado por três meses marcadamente quentes e secos (Julho Agosto e Setembro) e pelos restantes nove meses com condições de maior humidade e menor temperatura.



SH – "Superhávít" hídrico

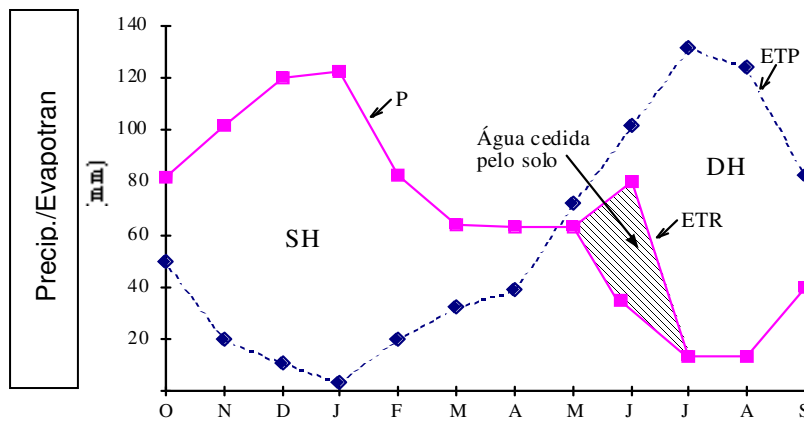
DH – "Déficit" hídrico

P – Precipitação

ETR – Evapotranspiração Real

ETP – Evapotranspiração Potencial

Figura 3. Balanço Hídrico ao Nível do Solo na série de anos de 1931/97.



SH – “Superhávite hídrico”

DH – “Déficit” hídrico

P - Precipitação

ETR – Evapotranspiração Real

ETP – Evapotranspiração Potencial

Figura 4. Balanço Hídrico ao Nível do Solo nos anos de 1995/97.

Com a ajuda do Programa BASEQUEL.BAS, uma adaptação do CEGEVAP efectuada por CRUZ (1992), calculou-se o balanço sequencial diário para os dois anos em estudo. Este balanço veio confirmar os dados obtidos no balanço mensal.

5 - ESTUDO DA RECARGA DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS A PARTIR DA ANÁLISE DE HIDROGRAMAS DE ESCOAMENTO

A análise de hidrogramas de escoamento, como instrumento de interpretação de balanços hídricos de bacias hidrográficas é o que será feito neste sub-capítulo.

5.1 - Equação do Balanço Hídrico

O balanço hídrico para um determinado espaço e tempo também pode ser representado pela expressão seguinte, de acordo com OLIVEIRA *et al.* (1997):

$$P + E_{si} + E_{bi} - ETR_1 - E_{vs} - E_{so} - E_{bo} - dS_s - dS_l - dS_b + V = 0, \quad [1]$$

onde:

P, é a precipitação,

E, é o escoamento total,

ETR, é a evapotranspiração Real,

E_v, é a evaporação,

dS, é a variação de água armazenada (final – inicial),

V, é a injeção (+) ou a extracção (-) de água no sistema e

os índices correspondem a: s -água superficial; b -água subterrânea; l -água do solo; i -entrada; o -saída.

A infiltração superficial, I , define-se como toda a água que, em sentido descendente, passa para baixo do topo do solo, ou seja:

$$I = P + E_{si} - E_{vs} - E_{so} - dS_s \quad [2]$$

$$I = ETR_l + E_{bo} + dS_l + dS_d - E_{bi} - V \quad [2b]$$

A recarga natural R pode definir-se como a água de infiltração superficial que não fica armazenada no solo nem é evapotranspirada:

$$R = I - ETR_l - dS_l \quad [3a]$$

$$R = P + E_{si} - E_{vs} - E_{so} - dS_s - ETR_l - dS_l \quad [3b]$$

$$R = E_{bo} + dS_b - E_{bi} - V \quad [3c]$$

Alguns destes termos podem ser desprezados, se forem nulos ou muito pequenos. Outros termos podem ser separados para considerar vários aquíferos, diversos tipos de armazenamento, ou outras situações particulares.

No caso de se considerar uma bacia hidrográfica, o termo E_{si} é nulo e o termo E_{bi} é muito pequeno ou mesmo nulo. Se houver áreas de armazenamento de água à superfície (lagos, albufeiras, etc.), o termo dS_s é nulo e o termo E_{vs} é muito pequeno.

Utilizando as simplificações referidas, as expressões [3] transformam-se em:

$$R = I - ETR_l - dS_l \quad [4a]$$

$$R = P - E_{so} - ETR_l - dS_l \quad [4b]$$

$$R = E_{bo} + dS_b - V \quad [4c]$$

Para as condições subjacentes à formulação das expressões [4], se se considerar a expressão [4c], verifica-se que a recarga pode ser determinada conhecendo os valores de E_{bo} , dS_b e V . No caso de não haver extracções nem injecções de água no subsistema subterrâneo, o termo V é nulo. Da mesma forma, se o intervalo de tempo considerado for muito longo (por exemplo superior a um ano, ou em algumas condições, superiores a um mês), o termo dS_b é muitíssimo inferior ao termo E_{bo} .

Nestes casos, a recarga virá dada por:

$$R = E_{bo} \quad [5]$$

Pela expressão [5], verifica-se que uma das formas de estimar a recarga de aquíferos é através da determinação do escoamento de base de uma bacia hidrográfica, o que pode ser feito pela análise dos hidrogramas de escoamento.

Correspondente ao período durante o qual se verifica o escoamento directo, a curva de escoamento ou de recessão corresponde ao decréscimo do escoamento que provém somente do escoamento de base.

5.2 - Hidrograma de escoamento

Se se tiver um hidrograma de escoamento de uma bacia hidrográfica, o escoamento total observado é o resultado do somatório do escoamento directo e do escoamento de base.

O escoamento directo, ou superficial, é formado pela água que precipita na bacia hidrográfica e que escoar à superfície e pela água que, após ter precipitado, se infiltra no solo, ultrapassando, eventualmente, a camada inferior do solo e que, posteriormente, aflora à superfície e acaba por passar também na secção da bacia hidrográfica.

A Figura 5 representa um hidrograma teórico, referente ao período durante e após uma chuvada. Nesse hidrograma definem-se as curvas de crescimento, correspondente ao período durante o qual se verifica o escoamento directo. A curva de escoamento ou de recessão corresponde ao decréscimo do escoamento que provém somente do escoamento de base (OLIVEIRA *et al.*, 1997).

As duas grandes componentes do escoamento total (directo e de base) podem ser individualizadas no hidrograma. Contudo, pode ser difícil localizar no hidrograma a posição do ponto onde se dá o fim do escoamento directo. LINSLEY e PAULHUS (1975) apresentam a seguinte expressão para calcular o tempo

que decorre desde que se atinge o pico do hidrograma até se atingir um ponto seleccionado arbitrariamente na curva de esgotamento, que pretende traduzir o fim do escoamento directo:

$$N = 19,84 \times A^{0,2} \quad [6]$$

onde:

A é a área em km^2 e

N é o número de horas.

De seguida, apresentam-se dois métodos práticos para fazer a decomposição do hidrograma:

- Decomposição do escoamento total (streamflow partitioning), apresentado por SHIRMOHAMMADI *et al.* (1984);
- Translação da curva de escoamento (recession curve displacement), apresentado por RUTLEDGE e DANIEL (1994).

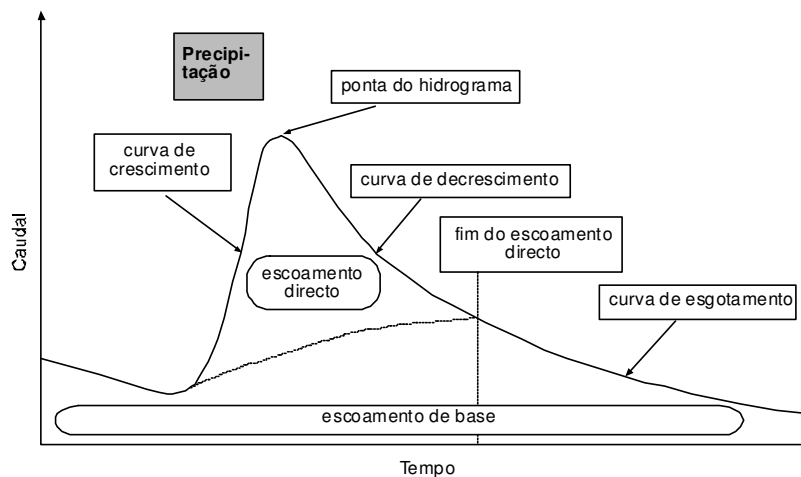


Figura 5. Características principais de um Hidrograma (OLIVEIRA *et al.*, 1997).

5.3 - Método da translação da curva de esgotamento

O método da translação da curva de esgotamento para a decomposição dos hidrogramas baseia-se num conjunto de procedimentos que permite calcular a recarga associada a cada pico de escoamento total. De acordo com RUTLEDGE e DANIEL (1994), este método é utilizável na análise de sistemas de fluxo caracterizados por recarga difusa, onde se pode considerar o rio como o local de descarga do sistema subterrâneo e onde a recarga é considerada aproximadamente coincidente com os picos de escoamento. O método consiste no deslocamento, para cima, da curva de esgotamento, como resultado da recarga. Assim, para medir o deslocamento, só se utilizam as partes do hidrograma que correspondem unicamente à descarga subterrânea. O ponto a partir do qual tal acontece pode ser determinado a partir da expressão

[6]

Definindo a descarga de água subterrânea potencial (E_{bp}) como o volume total de água que drenaria o sistema durante um tempo infinito, sem novo episódio de recarga, esta poderia ser dada pela expressão:

$$E_{bp} = Q / \alpha, \quad [7]$$

que não é mais do que a integração da equação de MAILLET para um valor inicial de caudal (Q), sendo α o coeficiente de esgotamento (OLIVEIRA *et al.*, 1997).

RORABOUGH (1964 *in* RUTLEDGE e DANIEL, 1994), expressou a descarga de água subterrânea para um rio como uma função complexa do tempo após a recarga, tendo contudo constatado que essa função pode ser aproximada após um “tempo crítico” por uma relação simples que diz que, no “tempo crítico” após o pico do caudal total, a descarga de água subterrânea potencial é aproximadamente metade do volume total de água que recarregou o sistema, ou seja

$$R = 2[Q_2 / \alpha - Q_1 / \alpha], \quad [8]$$

onde:

$[Q_2 / \alpha]$, é o volume de água subterrânea descarregado desde o “tempo crítico” após o pico do escoamento, determinado a partir da extrapolação da curva de esgotamento após o pico do escoamento; e Q_1 / α , é o volume de água subterrânea descarregado desde o “tempo crítico” após o pico do escoamento, determinado a partir da extrapolação da curva de esgotamento anterior ao pico do escoamento em análise (Figura 5).

O “tempo crítico” (t_{cr}) referido por RUTLEDGE e DANIEL (1994) é dado pela expressão:

$$T_{cr} = 0,4937/\alpha \quad [9]$$

O funcionamento deste método de a translação da curva de esgotamento é facilmente compreensível se se atender à Figura 6, onde se representa um hidrograma de escoamento total com um episódio de precipitação que provocou recarga.

Calcula-se o coeficiente de esgotamento a partir do hidrograma e calcula-se o “tempo crítico” utilizando a expressão [9]. Os valores determinados por este procedimento manter-se-ão fixos para toda a série de registos. A seguir, para cada pico, utiliza-se o “tempo crítico” para determinar o tempo no hidrograma a partir do qual se extrapolam as curvas de esgotamento. Com base na extrapolação da curva de esgotamento anterior ao pico e da curva de esgotamento correspondente ao pico em análise, calcula-se os valores de Q_1 e Q_2 que se substituem na expressão [8] para calcular a recarga provocada pelo episódio de precipitação em análise.

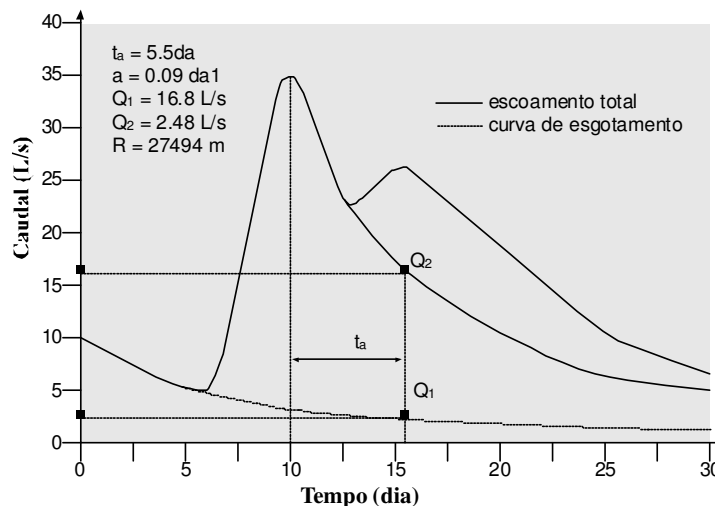


Figura 6. Cálculo da recarga de aquíferos pelo método da translação da curva de esgotamento (OLIVEIRA *et al.*, 1997).

5.4 - Método da separação do escoamento directo

O método da separação do escoamento directo para a decomposição do hidrograma baseia-se no cálculo do escoamento directo permitindo, por diferença para o escoamento total da bacia, calcular o escoamento de base. À partida, definem-se: (1) a precipitação mínima necessária para provocar escoamento directo e (2) o tempo de duração do escoamento directo após a(s) chuvada(s). Apesar de se assumir um valor constante para a quantidade mínima de precipitação necessária para provocar escoamento directo, esta depende da humidade do solo e da retenção superficial (charcas, poças de água) sendo, em princípio, menor no Inverno, quando a evapotranspiração é baixa e a precipitação é maior do que no Verão, quando a evapotranspiração é elevada e a precipitação é reduzida (OLIVEIRA *et al.*, 1997).

5.5 - Programa DECHIDR.BAS

O Programa DECHIDR.BAS conjuga o coeficiente de esgotamento da curva de esgotamento com os resultados obtidos pelo método da separação do escoamento directo. Para o caso de um episódio de precipitação cujo escoamento superficial não se sobreponha ao escoamento superficial originado pelo episódio de precipitação anterior, o método funciona como o método da separação do escoamento directo. Se houver sobreposição dos escoamentos superficiais originados por episódios de precipitação diferentes, utiliza-se o coeficiente de esgotamento para separar os escoamentos totais provocados por cada chuvada (OLIVEIRA *et al.*, 1997).

Depois de lidos os dados de entrada, o Programa corre todos os dados de escoamento total e, sempre que detecta uma descida do escoamento total, vai calcular, utilizando os valores de escoamento total (enquanto se mantiver a descida), o valor α do melhor ajuste exponencial negativo do escoamento total no tempo:

$$E = E_0 \text{EXP}(-\alpha t) , \quad [10]$$

em que:

E , é o escoamento total ao fim do tempo t de um período de descida do escoamento, e

E_0 , é o escoamento total no instante inicial ($t = 0$).

Utilizando o Programa DECHIDR.BAS ao caso em estudo, obtiveram-se os valores de escoamento apresentados no Quadro 1.

Quadro 1. Resultados obtidos para o escoamento total, escoamento de superfície e escoamento de base, para a sub-bacia do rio Fervença, nos anos hidrológicos de 1995/96 e 1996/97, calculados através do Programa DECHIDR.BAS.

Ano Hidrológico	Precipitação (mm)	Escoamento Total (mm)	Escoamento directo (mm)	Escoamento de base (mm)
1995/1996	1213.3	955.8	500.3	455.5
1996/1997	701.1	259.2	58.9	200.4
MÉDIA ANUAL	957.2	607.5	279.6	327.9

Nesta análise há que ter em conta que faltam os registos quer da precipitação, quer do escoamento referente ao primeiro mês, ou seja de Outubro de 1995. Esta falta deve-se ao facto de esses dados terem sido perdidos, por deficiências do equipamento ou falta de traquejo no seu manuseamento.

No Quadro 2 encontram-se representados os valores da precipitação ponderada, calculada pelo método das isoietas, relativos à bacia experimental, assim como os valores mensais do escoamento medido no limnógrafo durante o presente estudo.

De todos os dados apresentados, e como conclusão deste capítulo, podem ser avançadas algumas considerações.

Se se analisar o tratamento automático dado pelo Programa CEGEVAP.BAS para a série de anos de 1931/97 e para os dois anos em estudo (1995/97) verifica-se que o escoamento total no primeiro caso corresponde a 51% da precipitação caída e para os anos em análise é de 53,2%.

Fazendo o cálculo, separadamente, dos dois anos em estudo (1995/96 e 96/97), verifica-se que o ano hidrológico de 1995/96 foi bastante mais chuvoso, o que acarretou um maior escoamento (66,0%) em relação ao ano seguinte (41,5%). Estes dois anos apresentam valores de EVR de 58,5% e 33,8% respectivamente, o que está relacionado com as precipitações médias anuais verificadas de, respectivamente, 799,9 mm e 1260,8 mm.

Quadro 2. Valores da Precipitação ponderada e do escoamento medido na Bacia Experimental.

MÊS	Precipitação ponderada (m³)	Escoamento médio (m³)	%
1995			
Novembro	9101446	1688151	18,5
Dezembro	12643978	8818371	69,7
1996			
Janeiro	21604692	20824170	96,4
Fevereiro	2960498	2550283	86,1
Março	3213070	1566113	48,7
Abril	2188802	1261440	57,6
Maió	6435460	1934276	30,1
Junho	725096	379627	52,4
Julho	679428	173368	25,5
Agosto	405420	117835	29,1
Setembro	2974112	184624	6,2
Outubro	3093774	264283	8,5
Novembro	4639030	376762	8,1
Dezembro	9430908	3574792	37,9
1997			
Janeiro	7030076	2633213	37,5
Fevereiro	528910	1557632	294,5

Março	0	1039172	
Abril	1721404	1285983	74,7
Maio	5456860	1506857	27,6
Junho	3806288	463712	12,2
Julho	1611894	332834	20,6
Agosto	1488870	220474	14,8
Setembro	1521490	234284	15,4
SOMA	103261406	52988256	51,3

Interpretando os dados fornecidos pelo Programa DECHIDR.BAS, verifica-se que nestes dois anos o escoamento total corresponde a 63% da precipitação caída, enquanto o escoamento superficial e subterrâneo representam 29% e 34%, respectivamente, da precipitação média caída.

O Quadro 3 mostra as percentagens calculadas pelo Programa CEGEVAP.BAS, da EVR e do escoamento, relativamente à precipitação média caída, para a série de anos de 1931/97 e para a média dos dois anos em estudo (1995/97), assim como para estes dois anos, em separado. Pela observação destes dados, verifica-se que o valor médio do escoamento calculado para os dois anos sob controlo é muito semelhante ao valor calculado para a série de 66 anos, embora nesses dois anos, quando considerados em separado, a situação seja bastante díspar.

Os valores percentuais do escoamento total, superficial e de base, calculados pelo Programa DECHIDR.BAS relativamente à precipitação apresentam-se no Quadro 4. Analisando estes resultados, é de realçar que, à medida que o valor da precipitação aumenta, também aumenta o valor da percentagem das componentes do escoamento indicadas, embora com variações mais bruscas na componente superficial.

No Quadro 5 apresentam-se os valores percentuais do escoamento superficial e subterrâneo relativamente ao escoamento total, também calculados pelo Programa DECHIDR.BAS. Da leitura destes dados, verifica-se que a componente do escoamento subterrâneo é superior à do escoamento superficial na média dos dois anos e no ano menos pluvioso (1996/97). No ano mais pluvioso (1995/96), a situação inverte-se e a componente do escoamento superficial é maior.

Calculada a relação entre o escoamento efectivamente medido e a precipitação ponderada, chegou-se a um valor de 51%, valor este muito próximo do encontrado para a série de anos de 1931/97, calculado pelo Programa CEGEVAP.BAS. O valor calculado pelo Programa DECHIDR.BAS para os dois anos em estudo (63%) é substancialmente superior, apresentando uma diferença de cerca de 10% em relação aos restantes valores calculados.

Quadro 3. Valores percentuais em relação à precipitação, calculados pelo Programa CEGEVAP.BAS.

Anos	1931/97	1995/97	1995/96	1996/97
Precipitação (mm)	833,9	1039,7	1260,8	799,9
EVR (%)	48,9	46,8	33,8	58,5
Escoamento (%)	51,0	53,2	66,2	41,5

Quadro 4. Valores percentuais em relação à precipitação, calculados pelo Programa DECHIDR.BAS.

Anos	1995/96	1996/97	MÉDIA
Precipitação (mm)	1213,3	701,0	957,2
Escoamento Total (%)	78,7	37,0	63,0
Escoamento Superficial (%)	41,2	8,4	29,0
Escoamento Subterrâneo (%)	37,5	28,5	34,0

Quadro 5. Valores percentuais em relação ao escoamento total, calculados pelo Programa DECHIDR.BAS.

Anos	1995/96	1996/97	MÉDIA
Escoamento Total (mm)	955,8	259,2	607,5
Escoamento Superficial (%)	52,3	22,7	46,0
Escoamento Subterrâneo (%)	47,6	77,3	54,0

Se se atender ao valor da EVR e ao valor do escoamento total medido e calculado verifica-se que a sua soma perfaz 100%. É certo que 54% do escoamento total é contribuição das águas subterrâneas. No entanto, com estes cálculos desaparece a componente de infiltração profunda. Pensa-se que esta situação poderá estar relacionada com um valor sobrelevado da EVR, variável que não foi controlada durante o estudo.

6- CONCLUSÕES

Após a aplicação do método de decomposição, do hidrograma calculado na bacia experimental, instalada no rio Ferverença e monitorizada nos anos 95 a 97, podemos dizer que à medida que o valor da precipitação aumenta, também aumenta o valor da percentagem das componentes do escoamento indicadas, embora com variações mais bruscas na componente superficial.

Verifica-se igualmente, que a componente do escoamento subterrâneo é superior à do escoamento superficial na média dos dois anos e no ano menos pluvioso (1996/97). No ano mais pluvioso (1995/96), a situação inverte-se e a componente do escoamento superficial é maior.

Calculada a relação entre o escoamento efectivamente medido e a precipitação ponderada, chegou-se a um valor de 51%, valor este muito próximo do encontrado para a série de anos de 1931/97, calculado pelo Programa CEGEVAP.BAS. O valor calculado pelo Programa DECHIDR.BAS para os dois anos em estudo (63%) é substancialmente superior, apresentando uma diferença de cerca de 10% em relação aos restantes valores calculados.

7- BIBLIOGRAFIA

- ALMEIDA, C. C. e OLIVEIRA, M. M. (1990) - Caracterização Hidráulica de aquíferos fracturados, Livro de homenagem a CARLOS ROMARIZ, Dep. de Geologia da Faculdade de Ciências, Lisboa.
- ANTHONIOZ, P. M. (1972) - Les complexes polymétamorphiques precambriens de Morais et de Bragança (N-E du Portugal): étude pétrographique et structurale, Memória nº.20 (Nova série), Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa.
- CABRAL, J. M. L. C. (1993) - Neotectónica de Portugal Continental, Dissertação para a obtenção do grau de Doutor em Geologia, Departamento de Geologia da Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa.
- CRUZ, J. V. M. F. (1997) - Estudo Hidrogeológico da Ilha do Pico (Açores – Portugal). Dissertação apresentada para obtenção do grau de Doutor em Geologia (Especialidade em Hidrogeologia), Universidade dos Açores, Ponta Delgada.
- CUSTODIO, E. e LLAMAS, M. R. (1983) - Hidrologia Subterránea, Ediciones Omega, S. A., Barcelona.
- FERNANDES, L. F. P. (1992) - Hidrogeologia de Dois Importantes Aquíferos (Sabariz/Cova de Lua) do Maciço Polimetamórfico de Bragança, Dissertação apresentada para obtenção do grau de Mestre em Geologia Económica e Aplicada, Departamento de Geologia da Faculdade de Ciências de Lisboa, Lisboa.
- FERREIRA, M. P. (1972) - Rochas metamórficas, Edição do autor, Coimbra.
- HELSEL, D. R. e HIRSCH, R. M. (1995) - Statistical Methods In Water Resources, Elsevier Science, Amsterdam.
- HIPÓLITO, J. N. e LOUREIRO, J. M. (1988) - Analysis of some velocity-area methods for calculation open channel flow, Hydrological Science Journal, 33 (3).

- INSTITUTO DA ÁGUA (1995) - Análise e síntese de cheias. Programas de computador. Programas Medição e Vazão, Direcção de Serviços de Recursos Hídricos, Lisboa.
- LENCASTRE, A. e FRANCO, F. M (1984) - Lições de Hidrologia, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova, Lisboa.
- LINSLEY, Jr, R. K. e PAULHUS, J. L. H. (1975) - Hydrology for Engineers, Second Edition, McGraw Hill Kogakusha, Ltd.
- LOUREIRO, J. M. (1983) - Manual de Instrumentos Hidrometeo-Rológicos, Centenário dos Serviços Hidráulicos, UNESCO, Lisboa.
- OLIVEIRA, M. M. (1990) - AQFIS - Um programa para gerar curvas rebaixamento/tempo para aquíferos fracturados. Geolis, IV (1 e 2), 97 – 107.
- OLIVEIRA, M. M.; MOINANTE, M. J. e LOBO FERREIRA, J. P. C. (1997) - Cartografia Automática da Vulnerabilidade de aquíferos com base na aplicação do Método DRASTIC. Relatório Final, 60/97- GIAS, Laboratório Nacional de engenharia Civil, Lisboa.
- OLIVEIRA, M. M.; MOINANTE, M. J. e LOBO FERREIRA, J. P. C. (1997) - Determinação da recarga de Águas Subterrâneas a partir da Análise de Hidrogramas de Escoamento, Seminário sobre águas Subterrâneas, Associação Portuguesa de Recursos Hídricos, Lisboa.
- QUINTELA, A. C. (1984) - Hidráulica Aplicada I, Apontamentos da Disciplina, Instituto Superior Técnico, Lisboa.
- RIBEIRO, A. (1974) - Contribution à l'Étude Tectonique de Trás-os-Montes Oriental, Memória nº 24 (Nova série) dos Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa.
- RUTLEDGE, A. T. e DANIEL, C. C. (1994) - Testing and automated method to estimate ground-water recharge from stream flow records. Ground Water, 32 (2).

SHIRMOHMMADI, A.; KNISEL, W. G. e SHERIDAN, J. M. (1984) - Na approximate method for partitioning daily stream flow data, Journal of Hydrology, 74.

TEIXEIRA, A. A. T. (1994) - Variações Naturais e Antropogénicas na Sucessão Longitudinal de Ecossistemas Lóticos, Dissertação apresentada para obtenção do grau de Mestre em Zoologia, especialidade de Ecologia Animal, Universidade Coimbra.

TEIXEIRA, C. (1981) - Geologia de Portugal, vol. I, Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa.