

# ESTIMATIVA DE PARÂMETROS HIDROLÓGICOS: DOIS MODELOS, UM CASO DE ESTUDO

## ESTIMATION OF HYDROLOGIC PARAMETERS: TWO MODELS, A CASE STUDY

### A. M. P. Alençã

Profª Associada, UTAD e Centro de Geofísica da UC // Departamento de Geologia, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, 5000 Vila Real // alencao@utad.pt

### F.A.L. Pacheco

Prof Auxiliar, UTAD e Centro de Química da UTAD // Departamento de Geologia, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, 5000 Vila Real // fpacheco@utad.pt

**RESUMO:** Na região de Trás-os-Montes e Alto Douro seleccionou-se para área de estudo a bacia hidrográfica do rio Terva, um pequeno afluente da margem direita do rio Tâmega, que até à estação hidrométrica de Boticas drena uma área de 99 km<sup>2</sup> onde afloram maioritariamente granitos hercínicos. Procedeu-se à estimativa de parâmetros hidrológicos subterrâneos, recorrendo a duas metodologias diferentes, uma das quais cruza um modelo de balanço hídrico com equações de regressão precipitação vs. escoamento fluvial, utilizando para tal uma série de dados facilmente mensuráveis e outra que utiliza Sistemas de Informação Geográfica, recorrendo a informação espaço-temporal extensa e detalhada. Os resultados encontrados são comparados e analisados criticamente, permitindo concluir que a utilização de dois modelos distintos conduz a valores de parâmetros hidrológicos compatíveis, podendo as discrepâncias encontradas ser explicadas pela diversidade e diferentes abordagens às variáveis envolvidas em cada um dos modelos.

**Palavras-chave:** Balanço hídrico, regressão precipitação-escoamento, SWAT.

**ABSTRACT:** In the region of Trás-os-Montes and Alto Douro the hydrographic basin of Terva River has been selected for study area. This is a small right margin tributary of the Tâmega River that drains an area of approximately 99 km<sup>2</sup> upstream the hydrometric station of Boticas, in an area covered essentially by Hercynian granites. Hydrologic parameters for the study area have been estimated by two different methods. One of the algorithms couples the water balance model with precipitation vs. river flow regression equations, using easily available data. The other uses Geographic Information Systems resorting to extensive and detailed spatial and temporal data. The results obtained by both methodologies are compared and analysed critically, and the conclusion is that application of two distinct approaches leads to hydrologic parameters that are compatible. The observed discrepancies are explained by the diversity and approaches to the variables involved in each of the models.

**Keywords:** Water balance, rainfall-runoff regressions, SWAT.

# 1. INTRODUÇÃO

A estimativa de parâmetros hidrológicos subterrâneos pode ser feita com recurso a variadas metodologias que Scanlon *et al.* (2002) subdividem em três grupos consoante a origem dos dados obtidos, nomeadamente a partir de água superficial, da zona não saturada ou da zona saturada. Em cada um destes grupos pode ser feita uma abordagem física, por traçadores, ou numérica. O método a utilizar depende naturalmente do objectivo do estudo que determinará também a escala espacial e temporal. Este estudo é feito à escala da bacia hidrográfica, e tem como objectivo quantificar diferentes parcelas do balanço hídrico, recorrendo a duas metodologias distintas. Uma das metodologias cruza um modelo de balanço hídrico com rectas de regressão, precipitação vs. escoamento, recorrendo a dados facilmente mensuráveis, (precipitação, escoamento fluvial e temperatura). O outro método, SWAT, requer a utilização de Sistemas de Informação Geográfica e informação espaço-temporal extensa e detalhada, nomeadamente dados climáticos (precipitação, temperatura, humidade, velocidade do vento e radiação solar), características físicas da bacia (topografia, rede de drenagem e solos) e ainda dados relativos ao uso do solo. Os resultados obtidos são depois analisados comparativamente no sentido de compreender as discrepâncias encontradas.

# 2. ÁREA DE ESTUDO

Na região norte de Portugal seleccionou-se para área de estudo a bacia hidrográfica do rio Terva, a montante da estação hidrométrica de Boticas (figura 1).

O referido rio, um afluente da margem direita do rio Tâmega tem no troço referido um comprimento de 19 km e drena uma área de aproximadamente 99km<sup>2</sup>. Trata-se de uma bacia alongada e extremamente assimétrica com uma altitude média de 696,5 m sendo a cota de referência de 490m.

Sob o ponto de vista geológico (Teixeira *et al.* 1974), em aproximadamente 95% da área, afloram granitos hercínicos, regra geral muito alterados. Na zona mais a jusante surgem pequenos retalhos de xistos silúricos muito metamorfizados. A bacia é cortada por uma extensa falha de direcção NE- SW com preenchimento de quartzo. O rio Terva aproveitou esta zona de fraqueza, instalando o seu percurso ao longo do referido acidente tectónico. De acordo com Agroconsultores e Coba (1991), o substrato geológico é coberto essencialmente por litossolos, surgindo manchas de cambissolos e fluvisolos ao longo das linhas de água principais (figura 2).

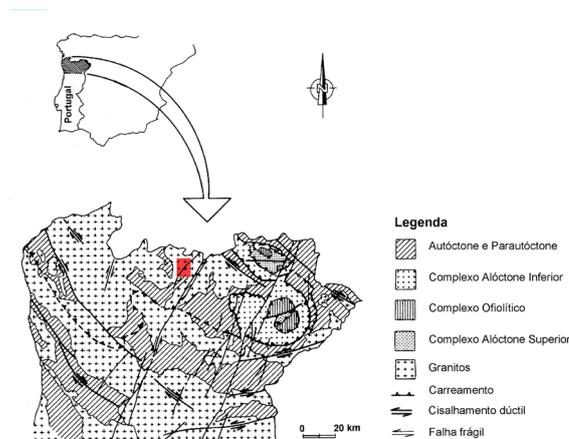


Figura 1 - Localização e enquadramento geológico da área de estudo.

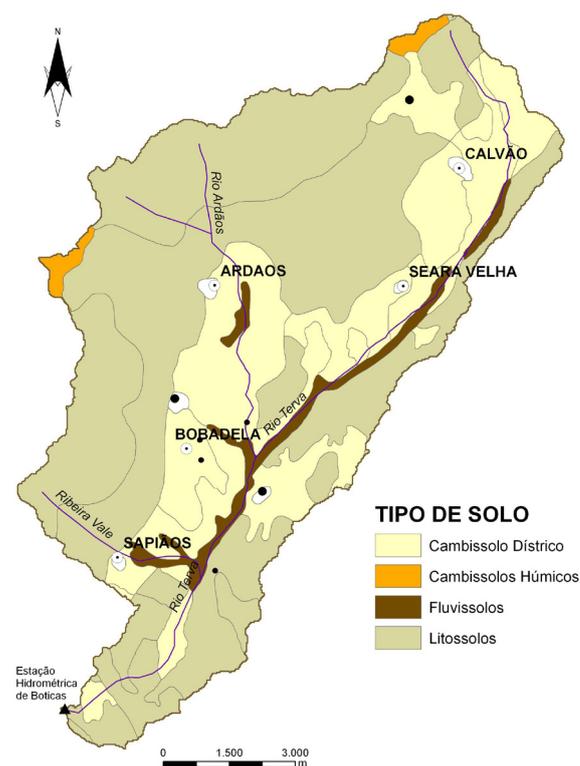
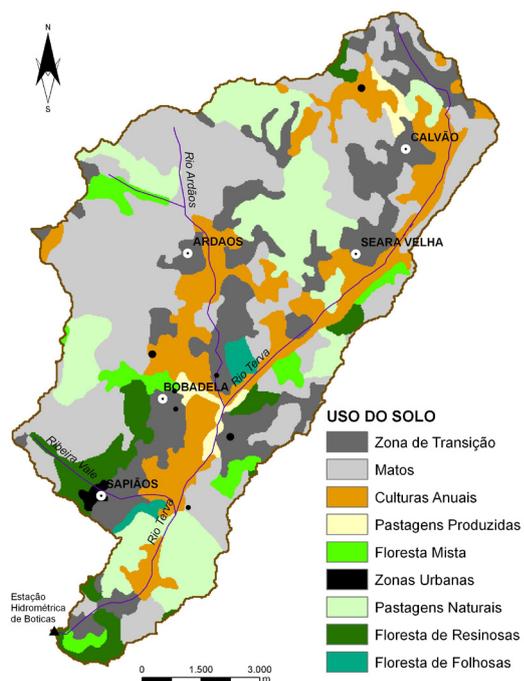


Figura 2 - Carta do solo da bacia hidrográfica do rio Terva.

O texto deste artigo foi submetido para revisão e possível publicação em Julho de 2009, tendo sido aceite pela Comissão de Editores Científicos Associados em Fevereiro de 2010. Este artigo é parte integrante da *Revista Recursos Hídricos*, Vol. 31, Nº 1, 15-23, Março de 2010. © APRH, ISSN 0870-1741

O uso do solo é diversificado, incluindo florestas de folhosas, resinosas e mistas, zonas de pastagem natural e produzida, áreas de cultivo e urbanas e ainda sectores desprovidos de vegetação ou cobertos por matos (figura 3).

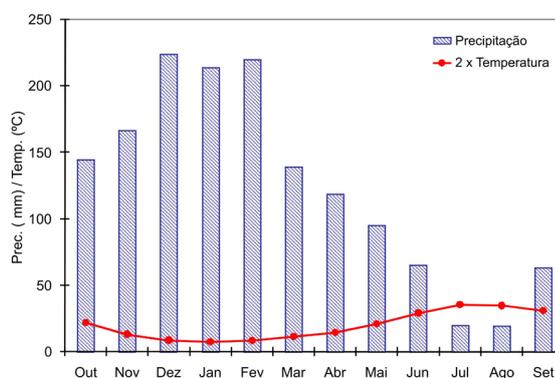


**Figura 3** - Carta de uso do solo da bacia hidrográfica do rio Terva.

Sob o ponto de vista climático, a região é caracterizada por dois períodos distintos, um húmido e frio, muito longo, e um período seco e quente, muito reduzido. Na figura 4 ilustra-se o diagrama termopluviométrico de Gausson, no período 1961/90, com os valores de precipitação e temperatura da estação climatológica de Montalegre, a mais próxima da bacia hidrográfica do rio Terva.

Relativamente à precipitação na bacia hidrográfica, a existência de postos udométricos na área envolvente (Soutelinho da Raia, Soutelo, Cervos, Barracão e Boticas) permitiu estimar a precipitação ponderada para o período em análise (1970/85), recorrendo ao

método dos polígonos de Thiessen. A precipitação anual, com um valor de 768,7 mm, é particularmente elevada nos meses de Novembro a Março (65% do total anual). Julho e Agosto surgem como meses secos, com elevada variação interanual, mas em que o valor médio da precipitação não atinge os 15 mm/mês. Relativamente à temperatura, tomando como base os valores de Montalegre, verificam-se temperaturas médias mensais inferiores a 10°C de Novembro a Abril. Nos restantes meses a temperatura é amena, surgindo como mais quentes Julho e Agosto em que a temperatura média mensal se aproxima dos 17°C.



**Figura 4** - Diagrama termopluviométrico de Gausson para a estação climatológica de Montalegre no período 1961/90.

### 3. DADOS E METODOLOGIA

O período temporal em análise abrange uma série de 15 anos (1970/85) tanto para os dados climatológicos como para os dados de escoamento. No método do balanço hídrico, a precipitação ponderada foi calculada pelo método dos polígonos de Thiessen. A evapotranspiração potencial estimou-se pelo método de Thornthwaite, utilizando dados de temperatura de uma série longa (1961/90) da estação de Montalegre. Para aplicação do modelo SWAT recorreu-se à precipitação registada nos postos udométricos nrs. 03L/03G, 03K/05UG e 03L/01UG.

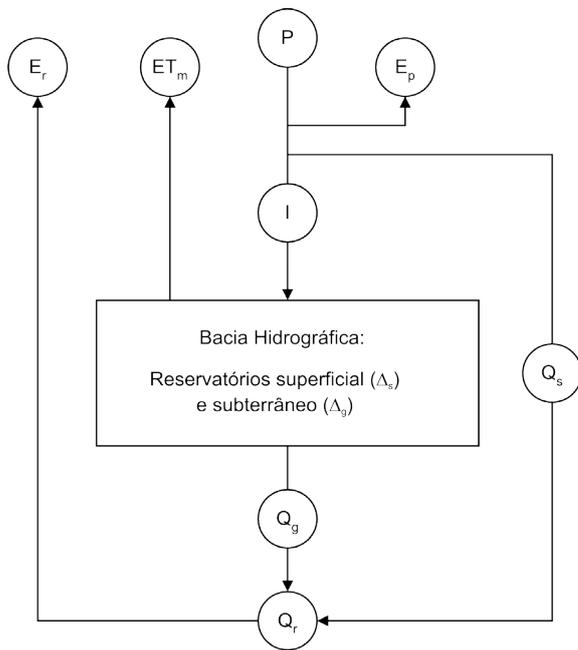
Os dados de escoamento foram registados na estação hidrométrica de Boticas (dados em <http://snirh.pt>).

#### 3.1. Método do balanço hídrico / equações de regressão

O método, desenvolvido por Alençã e Pacheco (2006), recorre a um conjunto reduzido de dados que

lhes permitem a estimativa, numa base mensal, de componentes do balanço hídrico pela combinação de equações simples de balanço com rectas de regressão precipitação vs. escoamento fluvial. É aplicável a regiões de clima temperado com duas estações distintas, uma fria e húmida em que existe superavit ( $P > ETP$ ) e uma estação quente e seca em que existe défice hídrico ( $P < ETP$ ).

Na figura 5 apresenta-se de forma esquemática o modelo conceptual do método.



**Figura 5** - Esquema conceptual do modelo balanço hídrico / equações de regressão.

A precipitação ( $P$ ) caída na bacia hidrográfica segue diferentes trajectos, nomeadamente evaporação directa ( $E_p$ ), escoamento superficial ( $Q_s$ ) e infiltração ( $I$ ). Parte desta última parcela retorna à atmosfera por evaporação a partir do solo ( $ET_m$ ) e outra parte emerge como escoamento subterrâneo ( $Q_g$ ). O escoamento fluvial ( $Q_r$ ) é o somatório do escoamento superficial e do escoamento subterrâneo, deduzida a parcela correspondente à evaporação a partir do rio ( $E_r$ ) e à variação do armazenamento ( $\Delta_s$  e  $\Delta_g$ ).

Partindo do modelo descrito é possível escrever as seguintes equações:

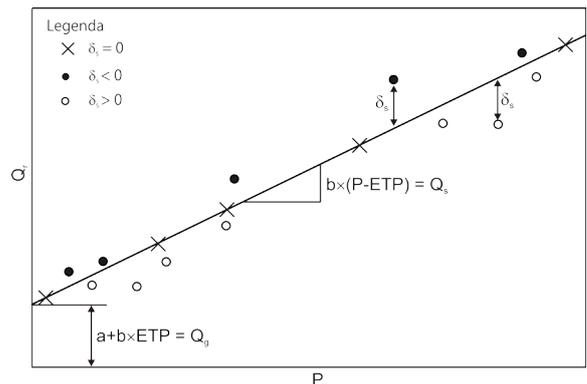
$$Q_r = Q_s + Q_g - E_r - \Delta_s \quad [1]$$

$$Q_s = P - E_p - I \quad [2]$$

$$\Delta_g = I - ET_m - Q_g \quad [3]$$

A relação precipitação vs. escoamento é complexa para períodos de tempo reduzidos mas simplifica-se para períodos de tempo mais alargados, existindo uma correlação linear significativa à escala anual (Shaw, 1994). À escala mensal estas relações podem ser representadas por uma regressão linear que, combinada com as equações [1] a [3], possibilita a determinação de componentes do balanço hídrico, considerando no entanto diferenças entre o período húmido e o período seco.

Na figura 6 apresenta-se uma representação esquemática da regressão  $Q_r$  vs  $P$  para um mês em período húmido, no qual a precipitação é superior à evapotranspiração potencial e em que a evaporação a partir do solo e do rio são consideradas desprezáveis, o que implica que  $ETP \approx E_p$ .



**Figura 6** - Representação esquemática  $Q_r$  vs  $P$  para um mês em período húmido.

Assumindo estes pressupostos, também adoptados por outros autores (Xu & Singh, 2004), e utilizando os valores medianos de precipitação, da evapotranspiração potencial e dos parâmetros de ajuste das rectas é possível determinar os valores de  $Q_s$ ,  $Q_g$  e  $\Delta_s$  através de equações simplificadas do balanço hídrico:

$$Q_s = b \times (P - ETP) \quad [4]$$

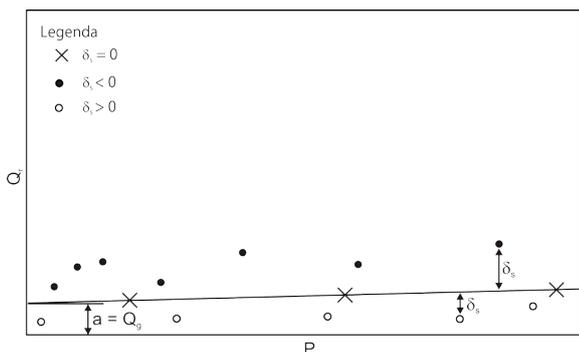
$$Q_g = a + b \times ETP \quad [5]$$

$$\Delta_s = a + b \times P - Q_r \quad [6]$$

$$I = P - ETP - Q_s \quad [7]$$

Em período seco a existência de défice hídrico leva a que a quase totalidade da precipitação seja consumida em

evaporação directa e consequentemente o escoamento superficial e a infiltração sejam negligenciáveis ( $Q_s \approx 0$  e  $l \approx 0$ ). O fluxo no rio é praticamente todo de origem subterrânea, razão pela qual a recta de regressão apresenta um declive próximo de zero ( $b \approx 0$ ), conforme se ilustra na figura 7.



**Figura 7** - Representação esquemática  $Q_r$  vs  $P$  para um mês em período seco.

Estes pressupostos possibilitam uma simplificação nas equações do balanço hídrico, admitindo que  $Q_s = 0$  e  $l = 0$ . Então:

$$Q_g \approx a \tag{8}$$

$$\Delta_s \approx a - Q_r \tag{9}$$

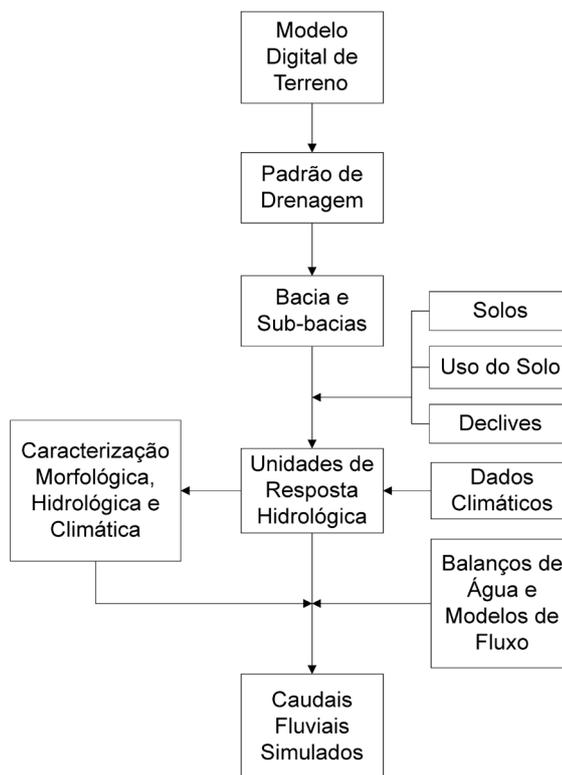
Deve referir-se que o método do balanço hídrico / equações de regressão assume que as rectas de regressão, quer em período húmido quer em período seco, são representativas dos casos em que a variação no armazenamento é nula. Face ao modo como as rectas são obtidas [ajuste através do método dos mínimos quadrados], este pressuposto poderá nem sempre ser verdadeiro.

### 3.2. Método SWAT

O modelo SWAT (Arnold e Allen, 1993 e Winchel *et al*, 2008) simula caudais fluviais recorrendo a dados climáticos (precipitação, temperatura, velocidade do vento, radiação solar e humidade), características físicas da bacia hidrográfica (topografia, rede de drenagem e solos) e ainda ao uso e cobertura do solo. Na figura 8 apresenta-se o fluxograma geral da execução do modelo SWAT (Caetano e Pacheco, 2008).

Partindo do modelo digital de terreno, o SWAT começa por delinear o padrão de drenagem, sendo a densidade hidrográfica seleccionada pelo utilizador. Isto permite

esboçar a foz e o contorno da bacia, após o que o modelo associa aos cursos de água a montante da foz as respectivas subbacias que são em seguida subdivididas em unidades de resposta hidrológica (URH). As URH consistem em sectores da sub bacia que são homogéneas relativamente à topografia, solo e uso do solo e que uma vez delimitadas são caracterizadas relativamente às suas propriedades geométricas, hidrológicas e climáticas. Após esta caracterização, o SWAT procede ao cálculo das componentes do escoamento associadas a cada uma das URH, recorrendo a equações de balanço de água e a modelos de fluxo adaptados às condições de escoamento superficial, subsuperficial e subterrâneo. Estes volumes de água são seguidamente conduzidos até às linhas de água e ao longo destas até ao ponto mais a jusante da bacia hidrográfica no qual é contabilizado o valor global do caudal.



**Figura 8** - Fluxograma do modelo SWAT.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1. Método do balanço hídrico / equações de regressão

As rectas de regressão mensal, precipitação vs escoamento fluvial, construíram-se após eliminar pontos anómalos (e.g. associados a erros de medição no caudal e/ou precipitação), tendo sido retirados 10 valores de um total de 180 pontos (5,6%). Tal como era expectável, as rectas de regressão para o período húmido apresentam um declive e correlação elevados (mediana de  $b=0,43$ ; mediana de  $r^2=0,65$ ) enquanto que para o período seco o declive e a correlação são baixos (mediana de  $b=0,09$ ; mediana de  $r^2=0,35$ ).

As componentes do balanço hídrico foram calculadas

numa base mensal, usando os valores medianos da precipitação, escoamento e evapotranspiração em combinação com os coeficientes das rectas de regressão resultantes da projecção precipitação vs escoamento fluvial.

Os valores calculados para as diferentes componentes do balanço hídrico (escoamento subterrâneo, escoamento superficial,  $\Delta s$  e infiltração) apresentam-se na tabela 1.

Numa base anual, o valor da infiltração é de 214,6 mm e o escoamento subterrâneo é 97,6 mm. Assumindo que a variação anual de água subterrânea no reservatório é nula, então a diferença entre a infiltração e o escoamento subterrâneo (117 mm) corresponderá ao armazenamento subterrâneo.

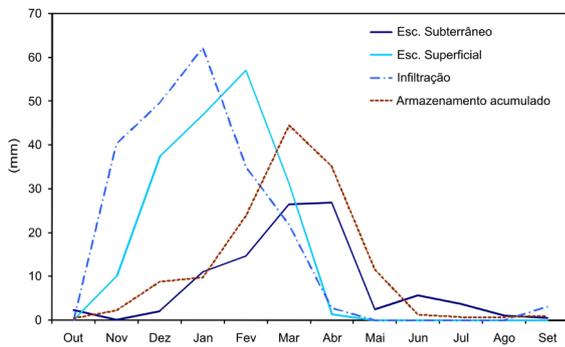
**Tabela 1** - Quadro resumo do balanço hídrico para a bacia hidrográfica do rio Terva.

Mês	Dados			Coeficientes de regressão				P-ETP	Balanço hídrico			
	P	$Q_r$	ETP	Anos anómalos	a	b	$r^2$		$Q_g$	$Q_s$	$\Delta_s$	I
Out	54,2	1,9	54,2		-1,97	0,08	0,68	0,0	2,4	0,0	0,5	0,0
Nov	75,8	8,4	25,6		-4,93	0,20	0,52	50,3	0,2	10,1	1,8	40,2
Dez	100,5	33,1	13,4	4	-3,60	0,43	0,95	87,0	2,2	37,4	6,5	49,6
Jan	123,9	57,1	14,9	12	4,70	0,43	0,60	109,1	11,1	46,9	0,9	62,2
Fev	110,9	57,5	18,9	9,11	2,90	0,62	0,88	92,0	14,6	57,0	14,1	35,0
Mar	85,7	37,1	32,7		7,24	0,59	0,55	53,0	26,5	31,3	20,6	21,7
Abr	52,9	37,6	48,7	9	10,81	0,33	0,70	4,2	26,9	1,4	-9,4	2,8
Mai	56,3	26,0	77,0	3,13	2,54	0,33	0,61	-20,8	2,5	0,0	-23,5	0,0
Jun	48,4	16,0	104,2	3,4	5,70	0,21	0,43	-55,8	5,7	0,0	-10,3	0,0
Jul	12,7	4,5	123,2	3	3,80	0,09	0,26	-110,5	3,8	0,0	-0,7	0,0
Ago	12,1	1,1	108,3		1,17	0,03	0,18	-96,2	1,2	0,0	0,1	0,0
Set	35,3	0,3	32,3		0,56	0,00	0,00	3,1	0,6	0,0	0,3	3,1
Total	768,7	280,6	653,3						97,6	184,1	1,1	214,6

P - precipitação mediana após exclusão de anos anómalos;  $Q_r$  - caudal mediano após exclusão de anos anómalos; ETP - evapotranspiração potencial; a, b - ordenada na origem e declive da recta de regressão;  $r^2$  - coeficiente de determinação;  $Q_g$  - fluxo de base;  $Q_s$  - fluxo superficial;  $\Delta_s$  - variação no armazenamento; I - infiltração. Valores dos dados e parâmetros em mm.

Na figura 9 ilustra-se a variação dos parâmetros calculados mensalmente ao longo do ano hidrológico. A infiltração ocorre naturalmente na estação fria e húmida, especialmente no período Novembro a Janeiro e surge desfasada cerca de 2 meses do fluxo subterrâneo que é mais elevado no período Março a Abril. Os valores baixos do fluxo subterrâneo que se verificam desde o início do ano hidrológico até Março poderão significar que o reservatório subterrâneo está a ser preenchido ( $\Delta g > 0$ ). A partir deste mês, os valores de fluxo subterrâneo são superiores aos da infiltração, verificando-se consequentemente uma

variação negativa no armazenamento subterrâneo, correspondente a um esvaziamento do reservatório. A partir de Maio, a infiltração é nula e o fluxo subterrâneo reduz-se a valores residuais. O valor acumulado do armazenamento subterrâneo aumenta gradualmente até Março quando atinge um valor próximo dos 21 mm e mantém-se em fase com o escoamento subterrâneo. A partir de Março a variação negativa do  $\Delta g$  traduz-se num decréscimo progressivo do armazenamento acumulado até Junho, mês a partir do qual se verificam apenas valores residuais.



**Figura 9** - Variação dos parâmetros calculados mensalmente ao longo do ano hidrológico pelo método do balanço hídrico / equações de regressão.

#### 4.2. Método SWAT

Os valores estimados pelo SWAT para o caudal total e para as componentes superficial e subterrânea apresentam-se na tabela 2.

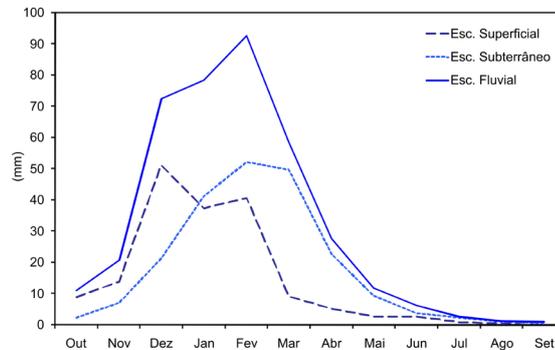
**Tabela 2** – Quadro resumo dos parâmetros estimados pelo SWAT.

$Q_r$  – caudal fluvial,  $Q_s$  – caudal superficial,  $Q_g$  – caudal subterrâneo.

Mês	$Q_r$	$Q_r$ Corrigido	$Q_s$	$Q_g$
Out	10,9	5,8	4,7	1,1
Nov	20,6	12,7	8,5	4,3
Dez	72,4	38,2	27,0	11,2
Jan	78,5	53,7	25,6	28,2
Fev	92,6	63,0	27,6	35,4
Mar	58,5	61,2	9,5	51,8
Abr	27,7	16,7	3,1	13,6
Mai	11,7	7,6	1,6	6,0
Jun	6,2	5,7	2,4	3,3
Jul	2,8	2,0	0,5	1,5
Ago	1,2	0,8	0,2	0,6
Set	1,0	0,9	0,6	0,3
<b>Total</b>	<b>384,1</b>	<b>268,4</b>	<b>111,4</b>	<b>157,2</b>

Os meses de maior escoamento fluvial correspondem naturalmente aos meses de maior precipitação. Tal como verificado no modelo anterior, a partir de Maio o escoamento subterrâneo reduz-se a valores residuais. Os picos de escoamento superficial e subterrâneo

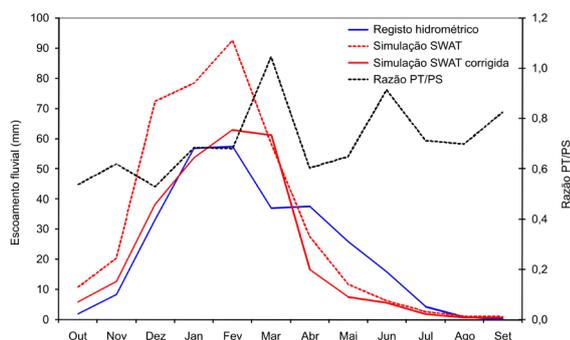
surtem em termos temporais com uma sobreposição de 1 mês. Na figura 10 representam-se graficamente os valores constantes na tabela.



**Figura 10** - Variação dos parâmetros calculados mensalmente ao longo do ano hidrológico pelo método SWAT.

## 5. COMPARAÇÃO DE RESULTADOS

Analisando o escoamento fluvial simulado pelo SWAT relativamente ao escoamento fluvial registado na estação hidrométrica de Boticas, verifica-se que o SWAT sobreavalia o valor deste parâmetro, conforme se ilustra na figura 11. Este facto poderá ser consequência da precipitação ter também sido sobreavaliada na sequência da utilização de estações udométricas representativas do sector oeste da bacia onde se registam as altitudes mais elevadas.



**Figura 11** - Comparação do registo hidrométrico na estação de Boticas e do caudal simulado pelo SWAT.

No sentido de tornar comparáveis os resultados obtidos pelos dois métodos, procedeu-se à correcção dos valores de caudal simulados pelo SWAT, utilizando para isso a razão entre as precipitações estimadas pelos polígonos de Thiessen ( $P_T$ ), usada no método do balanço hídrico, e as precipitações estimadas pelo SWAT ( $P_S$ ). Verifica-se que os novos caudais se aproximam razoavelmente dos registos hidrométricos, com excepção dos meses de Março, Abril e Maio. Em termos anuais, os caudais corrigidos somam 268,4 mm e os caudais registados 280,6 mm, isto é, a diferença não ultrapassa 5%.

Para proceder à análise comparativa no que respeita à distribuição do escoamento total pelas componentes superficial e subterrânea foi também necessário proceder a correcções, uma vez que o SWAT não contabiliza o parâmetro relativo ao armazenamento subterrâneo ( $\Delta_s$ ). Assim, considerou-se que nos meses em que o  $\Delta_s$  é positivo, essa parcela é proveniente do escoamento superficial pelo que aos valores estimados pelo método do balanço hídrico se subtraiu o valor mensal do armazenamento. Nos meses em que  $\Delta_s$  é negativo assumiu-se que essa parcela irá contribuir para o escoamento subterrâneo pelo que ao valor mensal deste parâmetro se somou a variação no armazenamento.

Os resultados encontrados, depois de feitas as correcções, explicitam-se na figura 12, podendo observar-se algumas diferenças.

Em termos de valores absolutos, o método do balanço hídrico privilegia o escoamento superficial enquanto que no SWAT se verifica o contrário. A distribuição mensal do escoamento superficial é idêntica nos dois modelos enquanto que relativamente ao escoamento subterrâneo o SWAT antecipa um mês o pico de maior escoamento. O modelo de balanço hídrico concentra o  $Q_s$  e o  $Q_g$  respectivamente nos períodos Dezembro-Março e Março-Abril, ou seja com uma sobreposição de um mês. No modelo SWAT os picos de  $Q_s$  e o  $Q_g$  ocorrem respectivamente em Dezembro-Fevereiro e Janeiro-Março, portanto com uma sobreposição de dois meses. Esta diferença poderá resultar do facto do modelo SWAT associar o escoamento subterrâneo ao horizonte saprolítico, caracterizado por condutividades hidráulicas mais elevadas e tempos de residência mais curtos, enquanto que no modelo de balanço hídrico o escoamento subterrâneo será controlado por aquíferos com condutividades hidráulicas reduzidas e tempos de residência elevados, um cenário coerente com o enquadramento geológico da região.

As diferenças registadas no escoamento fluvial para os meses de Março, Abril e Maio reflectem-se sobretudo no escoamento subterrâneo.

Em termos anuais o modelo de balanço hídrico determina que  $Q_s = 140$  mm e  $Q_g = 140,6$  enquanto que o SWAT estabelece que  $Q_s = 114,4$  mm e  $Q_g = 157,2$  mm.

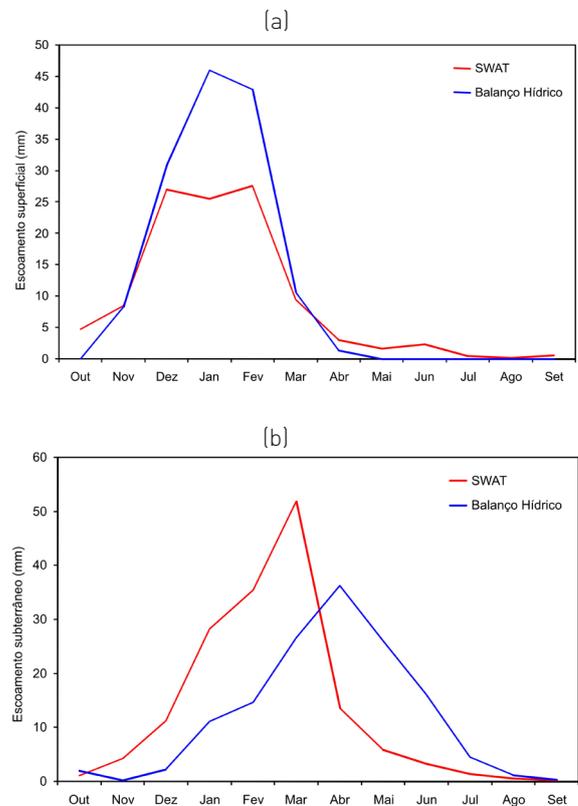


Figura 12 - Variação sazonal do escoamento superficial (a) e subterrâneo (b) estimados pelo método SWAT e pelo método de balanço hídrico / equações de regressão.

## 6. CONCLUSÕES

A utilização de dois modelos distintos conduz a valores de parâmetros hidrológicos compatíveis, podendo as discrepâncias encontradas ser explicadas pela diversidade e diferentes abordagens às variáveis envolvidas em cada um dos modelos.

O modelo de balanço hídrico requer um reduzido número de dados, para se proceder ao cálculo dos balanços hidrológicos, o que é, claramente, uma vantagem. Porém, existe a limitação de apenas ser aplicável a períodos temporais mensais e à escala de uma bacia hidrográfica com registo de caudal.

O modelo SWAT permite a análise da hidrologia à escala da sub-bacia, ou da URH, e para períodos diários, depois integráveis em períodos mensais ou anuais. No entanto, para a execução dos cálculos necessita de uma grande quantidade de dados, o que dificulta a sua implementação.

## BIBLIOGRAFIA

Agroconsultores & Coba - UTAD (1991). Carta de solos, carta do uso actual da terra e carta de aptidão da terra do nordeste de Portugal. Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro. Projecto de desenvolvimento rural integrado de Trás-os-Montes e Alto Douro (PDRITM).

ALENCOÃO, A. M. P. & PACHECO, F. A. L. (2006). Infiltration in the Corgo river basin (north of Portugal): coupling water balances with rainfall-runoff regressions on a monthly basis. *Hydrologic Sciences Journal* 51(6) p.989-1005.

ARNOLD, J. G., ALLEN., P. M. (1993). A comprehensive surface-ground water flow model. *J. Hydrol.* 142(1-4), 47-69.

CAETANO, C. A. R.; PACHECO (2008). Modelação de escoamentos fluviais na região de Trás-os-Montes e Alto Douro utilizando o modelo SWAT. In CD-Rom das Actas do V Seminário dos Recursos Geológicos, Ambiente e Ordenamento do Território (150-156 p). ISBN 978-972-669-890-6

SCANLON, B. R., HEALY, R. W., COOK, P. G. (2002). Choosing appropriate techniques for quantifying groundwater recharge. *Hydrogeology Journal* 10, 18-39.

SHAW, E. M. (1994). *Hydrogeology in Practice*. (Third edition). London: Chapman & Hall.

TEIXEIRA, C.; ASSUNÇÃO, C. T.; COELHO, A.V. P. (1974). Notícia Explicativa da folha 6-B Chaves. Direcção Geral de Geologia e Minas. Serviços Geológicos de Portugal.

Xu, C.-Y., SINGH, V.P. (2004). Review on regional water resources assessment: models under stationary and changing climate. *Water Resources Management* 18, 591-612.

WINCHELL, M., SRINIVASAN, R., DiLUZIO, M., ARNOLD, J. (2008). *Arcswat 2.0 Interface for SWAT 2005 - User's Guide*. Blackland Research Center, Texas Agricultural Experiment Station, Texas. Grassland, Soil and Water Research Laboratory, USDA Agricultural Research Service, Texas. 448p.

<http://snirh.pt>

<http://scrif.igeo.pt>

