

Modelação de escoamentos fluviais na região de Trás-os-Montes e Alto Douro utilizando o modelo SWAT

Modeling of river flows in the region of Trás-os-Montes and Alto Douro using the SWAT model

Caetano, C.A.R.¹, Pacheco, F.A.L.²

¹Gabinete de Controlo Ambiental do Aproveitamento Hidroeléctrico do Douro Internacional, Reforço de Potência da Barragem do Picote – Fornecimento de Serviços de Fiscalização das Empresas Ferreira Lemos, Engenharia Lda em Consórcio com Conjugal, Consultores de Engenharia e Gestão, SA

²Departamento de Geologia e Centro de Química da Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro

Carla.a.r.caetano@gmail.com

fpacheco@utad.pt

Resumo

O presente estudo recorre ao modelo SWAT, tal como implementado pelo *software* SIG ArcSWAT, para realizar simulações de caudal em quatro bacias hidrográficas da região de Trás-os-Montes e Alto Douro (rios Azibo, Beça, Louredo e Tedo), no período 1979–1988. Os escoamentos fluviais são de seguida comparados com os registos medidos nas estações hidrométricas localizadas à saída das referidas bacias, verificando-se uma sobreposição notável entre os dois hidrogramas no caso da bacia do rio Beça, razoável no caso da bacia do rio Louredo e deficiente no caso dos rios Azibo e Tedo. As diferenças de desempenho do simulador foram analisadas, tendo-se concluído que as modelações defeituosas associadas aos rios Azibo e Tedo se relacionam com a fragmentação dos dados de precipitação disponíveis.

Palavras-chave: modelação de escoamentos fluviais, modelo SWAT, ArcSWAT.

Abstract

The present study used the SWAT model, as implemented by the GIS software ArcSWAT, to perform river flow simulations in four hydrographic basins of the Trás-os-Montes and Alto Douro (rivers Azibo, Beça, Louredo e Tedo), in the period 1979–1988. The river flows are subsequently compared with the records measured at the hydrometric stations located at the outlets of the above mentioned basins, and the results showed a remarkable overlap between the two hydrographs in the case of Beça river, a reasonable overlap in the case of the Louredo river, and a poor overlap in the case of the Azibo and Tedo rivers. The differences in the performance of the simulator were analyzed, and the conclusion was that the poor predictions linked to the Azibo and Tedo rivers could be attributed to the fragmentation of the available precipitation data.

Key-Words: modeling of river flows, SWAT model, ArcSWAT.

Introdução

A modelação hidrológica em geral e a previsão de caudais fluviais em particular constituem ferramentas indispensáveis para o gestor de recursos hídricos, nomeadamente quando o objectivo de um dos seus projectos é a selecção de locais para a instalação de aproveitamentos hidráulicos em bacias hidrográficas carecidas de registos hidrométricos. O advento da era digital, que massificou o acesso a informação georeferenciada respeitante temas como a topografia, os solos, o uso dos solos, etc., combinado com o desenvolvimento de *softwares* SIG dedicados à modelação hidrológica, permite hoje a implementação de modelos de previsão de caudais sofisticados, com obtenção de resultados realistas, que outrora não eram de todo praticáveis.

O presente estudo aplica o modelo de simulação SWAT (Arnold et al., 1998) a um conjunto de quatro bacias hidrográficas (rios Azibo, Beça, Louredo e Tedo), utilizando para tal o *software* ArcSWAT (Winchell et al., 2008), com o objectivo geral de averiguar as potencialidades do simulador na previsão de caudais numa base mensal partindo de registos de precipitação diários. A base de informação relativa ao relevo (modelo digital do terreno), solos e uso do solo é a mesma em qualquer das bacias estudadas, porém a qualidade dos registos da precipitação, no período seleccionado de 1979-1988, varia consideravelmente de bacia para bacia. O presente estudo tem por objectivo específico verificar o impacto que esta diferença de qualidade produz nos resultados das simulações.

Caracterização da área em estudo

A área em estudo (bacias hidrográficas dos rios Azibo, Beça, Louredo e Tedo,) ocupa uma superfície total de cerca de 841,9 km² na região de Trás-os-Montes e Alto Douro (Fig.1).

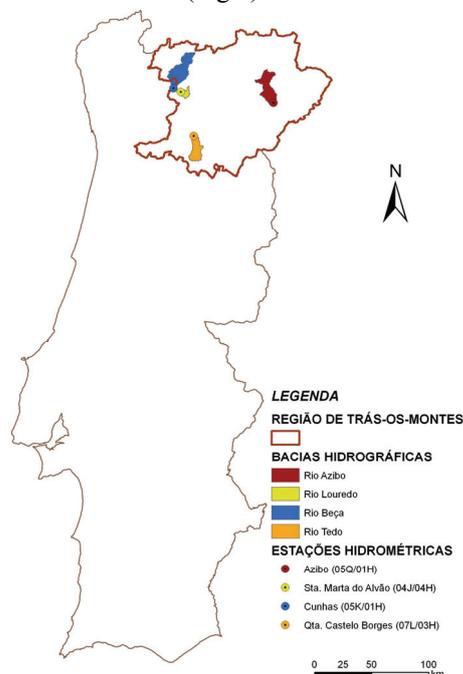


Fig.1 – Localização das bacias hidrográficas dos rios em estudo e respectivas estações hidrométricas.

Geomorfologia e clima

A geomorfologia da região de Trás-os-Montes e Alto Douro é caracterizada pelo modelado topográfico associado à bacia hidrográfica do rio Douro. As planícies aluviais dos diversos afluentes deste rio desenvolvem-se até às cotas dos 400 m enquanto que as encostas e cumeadas se estendem desde os 400 até aos 1500 m. Os rios Beça e Louredo são tributários do rio Tâmega, afluente da margem direita do Douro, que drenam as serras do Barroso e Alvão, respectivamente. O rio Azibo é tributário de outro afluente da margem direita do Douro, o rio Sabor, sendo a sua bacia hidrográfica limitada pelas serras da Nogueira (a Norte) e de Bornes (a Poente). O rio Tedo nasce na serra de Leomil sendo um afluente directo da margem esquerda do rio Douro. (Fig.2a).

Os declives no interior das quatro bacias hidrográficas em estudo são bastante diversos: na bacia do rio Louredo os declives atingem em média os 11,9±5,5% enquanto que na bacia da bacia do rio Tedo eles crescem até 22,5±10,3%. As bacias dos rios Azibo e Beça apresentam declives intermédios relativamente aos anteriores, aproximando-se de 18,1±7,0% e 21,4±7,5%, respectivamente (Fig.2b).

A precipitação anual na região de Trás-os-Montes e Alto Douro é fortemente condicionada pela presença das cordilheiras montanhosas que se desenvolvem

paralelamente à linha de costa ocidental portuguesa (Serras do Barroso, Alvão, Marão), provocando um diferencial pluviométrico acentuado entre os sectores NW e SE da província.

No sector NW as precipitações anuais são elevadas, oscilando entre os 1000 e os 2250 mm/ano, no sector SE são reduzidas, não ultrapassando os 1000 mm/ano, e concentrando-se entre os 500-800 mm/ano (Fig.3a).

As bacias hidrográficas dos rios Beça e Louredo localizam-se no sector mais chuvoso da região estudada, a bacia do rio Tedo num sector de transição, e a bacia do rio Azibo numa zona francamente seca.

Na vizinhança da estação climatológica de Folgares (06N/01C), localizada no sector seco, a precipitação anual (P) distribui-se essencialmente pelos meses de Outubro a Fevereiro, com valores de P a aproximarem-se ou a superar os 100 mm/mês, enquanto que no período Junho a Setembro as precipitações são sempre inferiores a 50 mm/mês; Março, Abril e Maio são meses de transição entre o Verão seco e o Inverno relativamente chuvoso, com precipitações a rondar os 60-70 mm/mês (Fig.3b).

Relativamente à temperatura, tendo por base os dados da mesma estação climatológica, verifica-se uma dominância de valores bastante elevados no Verão, atingindo-se médias de 30 °C em Julho e Agosto, e uma constância de valores amenos durante o Inverno, em média não descendo abaixo dos 8 °C (Fig.3b). Os valores médios mensais da velocidade do vento e do teor de humidade, também registados na referida estação, ilustram-se na Fig.3c.

Solos e Uso do Solo

A região de Trás-os-Montes e Alto Douro é coberta por litossolos derivados essencialmente de xistos, grauaques e rochas básicas e ultrabásicas (anfíbolitos, serpentinitos, etc.), por cambissolos derivados em grande parte de granitos, e por antrossolos associados primordialmente aos vinhedos das margens do rio Douro, surgindo aqui e além algumas manchas de alissolos e fluvisolos, estes últimos em estreita ligação com linhas de água (Fig.4).

As características físico-químicas dos diferentes tipos de solo apresentam-se na Tab.1.

O uso do solo é muito variado, dominando as zonas agrícolas de cultivo anual, os olivais, pomares e vinhas, as florestas de folhosas, as pastagens naturais e os matos, e as zonas de transição entre todos estes domínios (Fig.5).

As diferentes ocupações dos solos determinam maiores ou menores retenções da precipitação à superfície da Terra, condicionando directamente o escoamento fluvial e indirectamente as restantes componentes (sub-superficial e subterrânea).

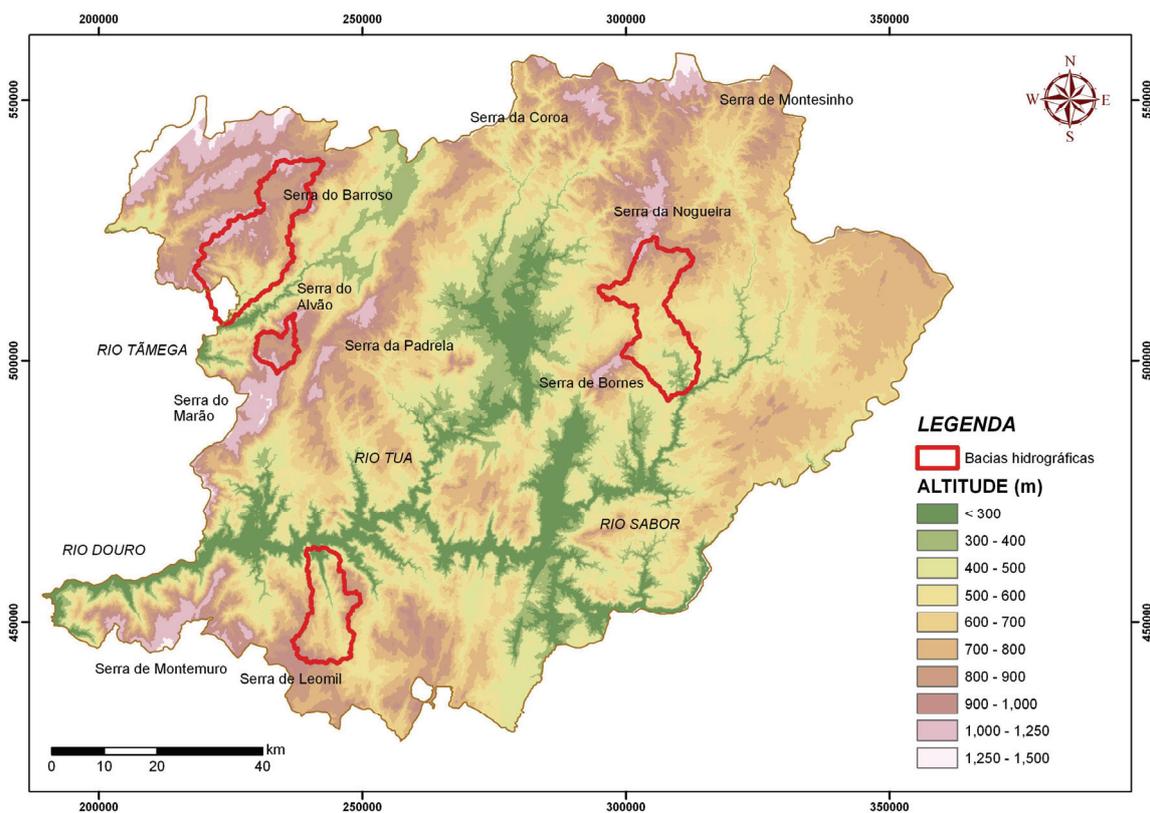


Fig.2a – Modelo digital do terreno da região de Trás-os-Montes e Alto Douro.

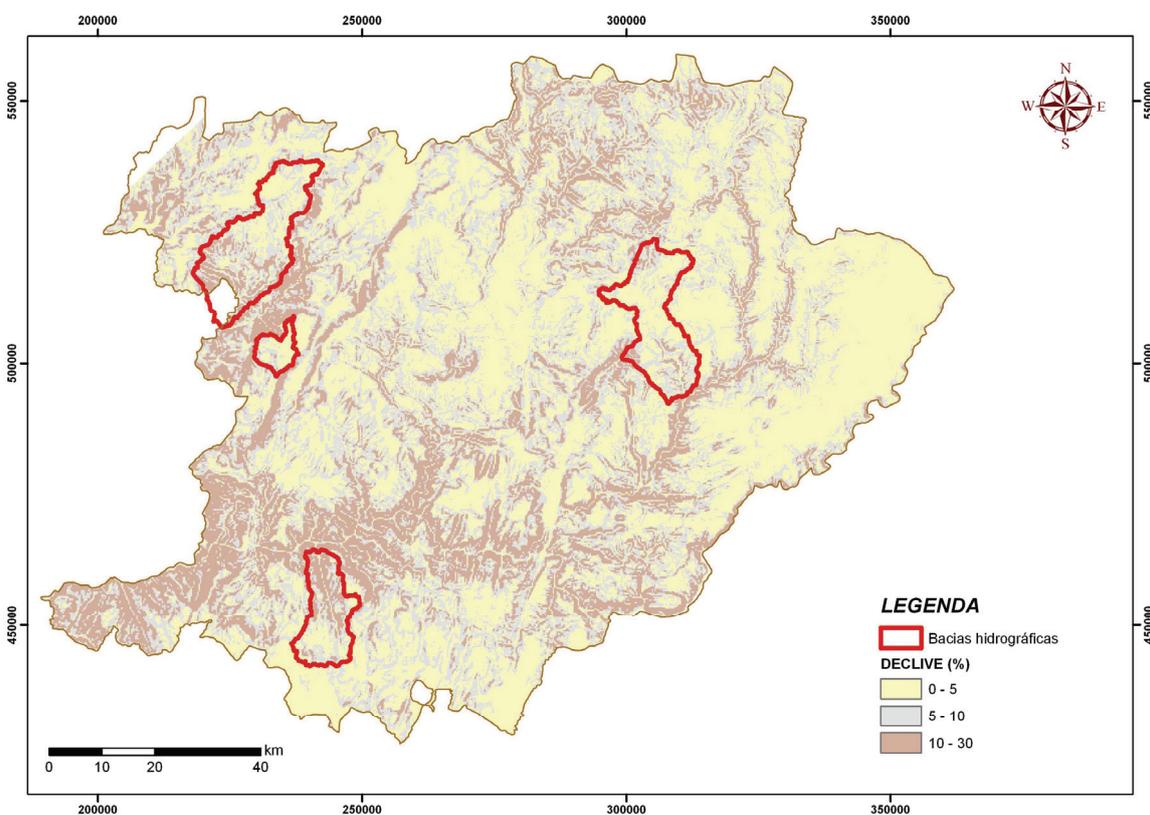


Fig.2b – Mapa de declives da região de Trás-os-Montes e Alto Douro.

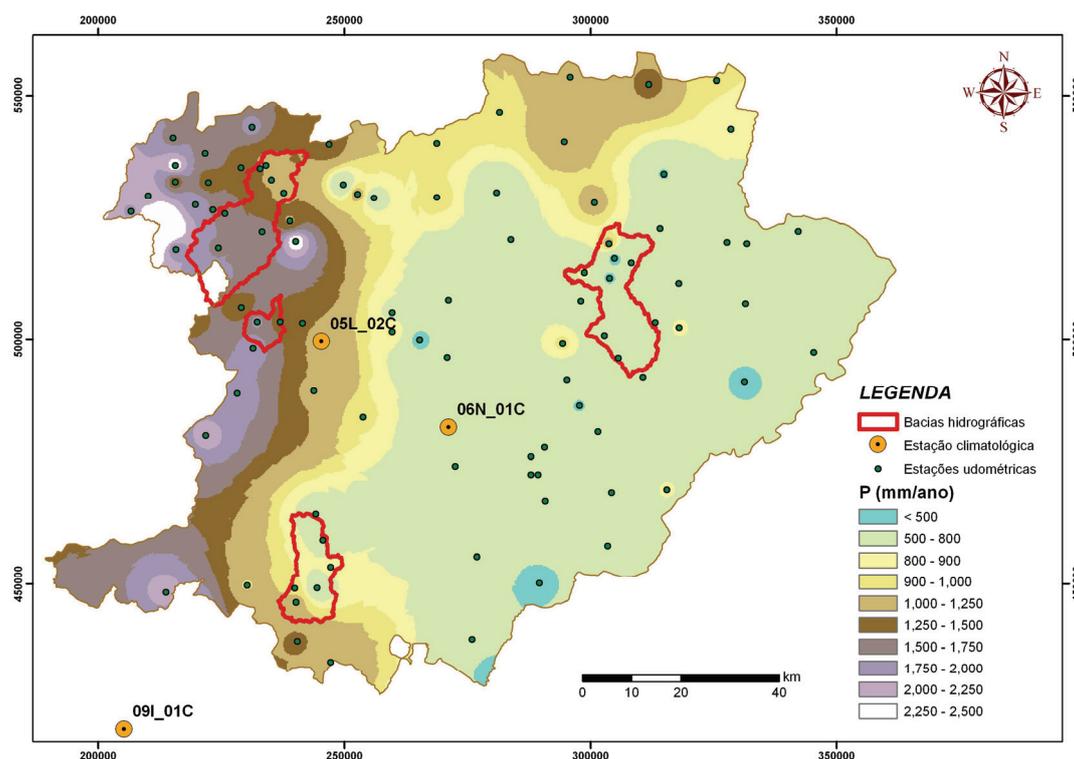


Fig.3a – Distribuição espacial da precipitação anual na da região de Trás-os-Montes e Alto Douro. Fonte dos dados: Instituto da Água, IP (<http://snirh.pt/>).

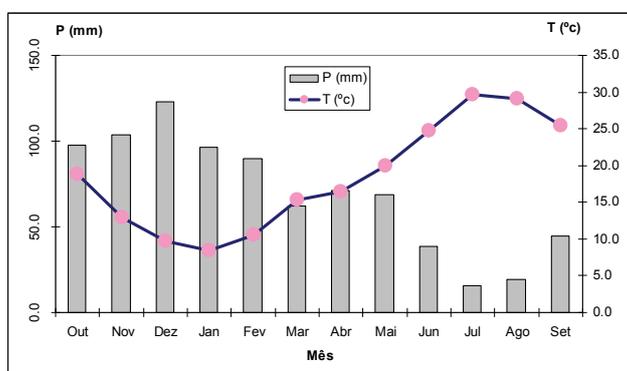


Fig.3b – Diagrama termo-pluviométrico mensal característico da região envolvente à estação climatológica de Folgares (06N/01C). Fonte dos dados: Instituto da Água, IP (<http://snirh.pt/>).

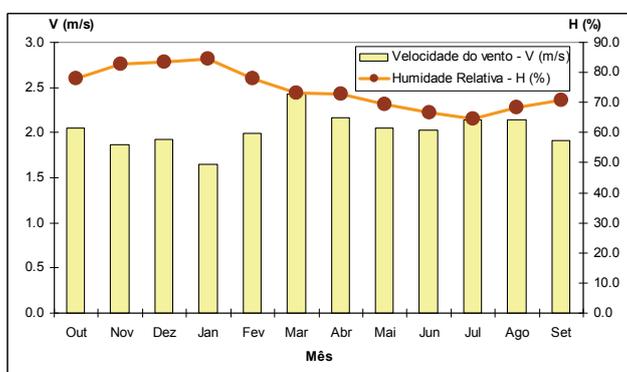


Fig.3c – Velocidades do vento e teores de humidade mensais característicos da região envolvente à estação climatológica de Folgares (06N/01C). Fonte dos dados: Instituto da Água, IP (<http://snirh.pt/>).

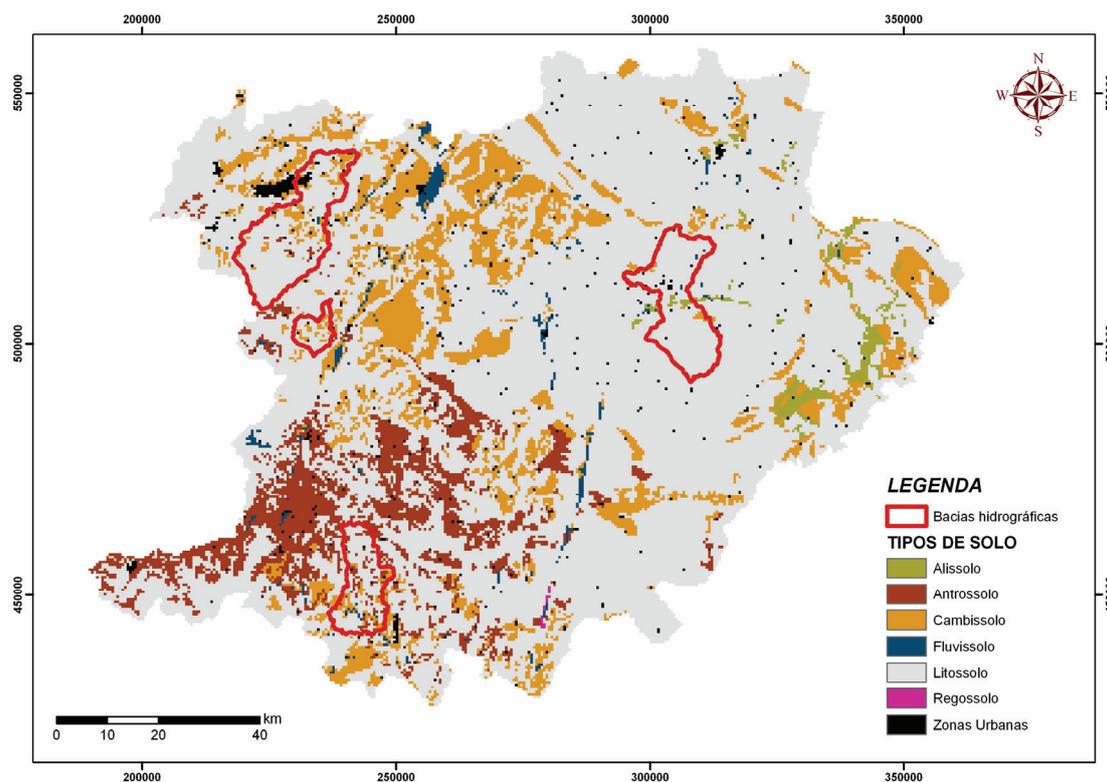


Fig.4 – Mapa dos solos da região de Trás-os-Montes e Alto Douro. Fonte dos dados: Agroconsultores e Coba (1990). Base digital disponível em <http://scrif.igeoe.pt>.

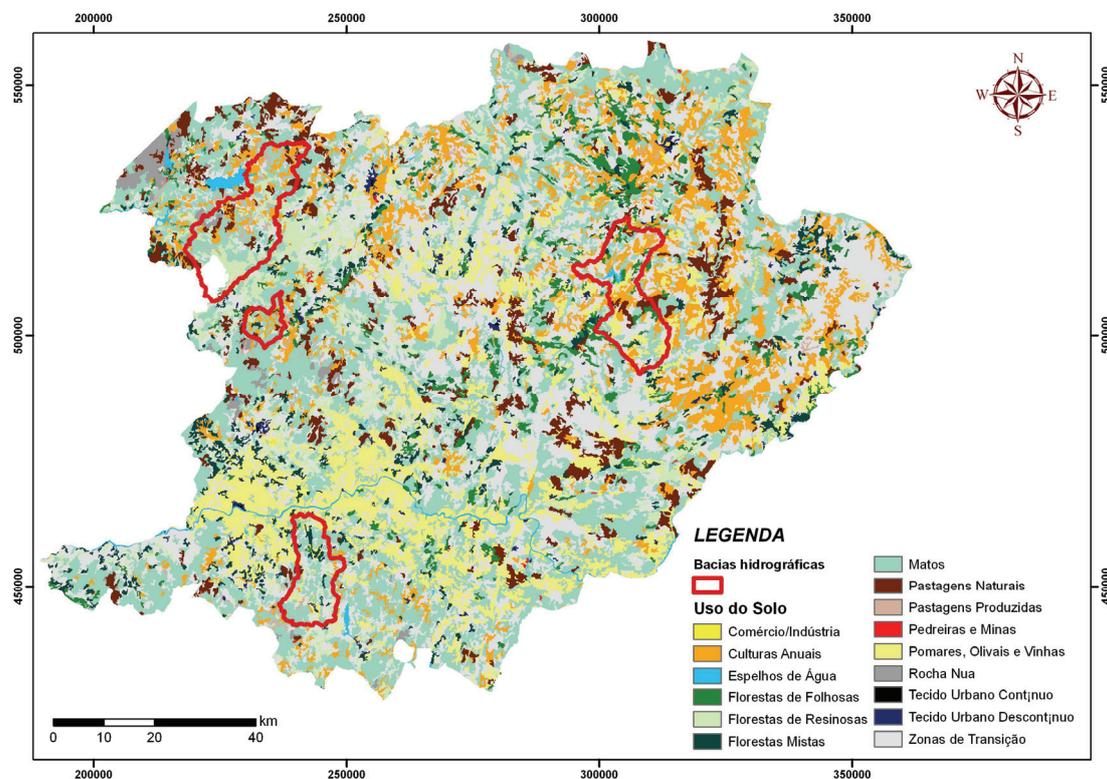


Fig.5 – Mapa do uso dos solos da região de Trás-os-Montes e Alto Douro. Fonte dos dados: Centro Nacional de Informação Geográfica (<http://www.cnig.pt>).

Tab.1 – Características físico-químicas dos solos da região de Trás-os-Montes e Alto Douro.

Parâmetro	Alissolos	Antrossolos	Cambissolos	Fluvisolos	Litossolos	Regossolos
Profundidade (cm)	107.0	119.0	77.9	141.3	30.7	145.9
Densidade	1.3	1.2	1.2	1.1	1.2	1.3
Condutividade Hidráulica (mm/h)	5.7	7.2	8.9	14.6	9.8	12.4
Matéria Orgânica (%)	1.0	3.1	4.3	2.0	3.9	4.2
Carbono Orgânico (%)	0.6	1.5	2.1	1.4	1.9	1.5
Argila (%)	30.4	10.7	14.6	16.4	14.8	9.2
Limo (%)	24.3	20.6	17.5	21.6	22.8	20.5
Areia (%)	45.2	68.7	67.9	62.0	62.4	70.3
Fagmentos Rochosos (%)	16.1	17.5	24.0	9.7	21.5	19.6

A forma como o SWAT estabelece a relação entre a cobertura da superfície terrestre e o escoamento superficial recorre ao designado modelo “Curve Number” (CN), apresentado em Winchell et al. (2008).

De acordo com o método CN o caudal superficial (Q_{sub}) é estimado por:

$$Q_{sup} = \frac{(P_{dia} - 0.2S)^2}{P_{dia} + 0.8S} \quad (1a)$$

com

$$S = 25.4 \left(\frac{1000}{CN} - 10 \right) \quad (1b)$$

onde P_{dia} é a precipitação diária sobre a URH e S é o designado parâmetro de retenção que varia espacialmente em função das alterações no tipo de solo e na sua cobertura vegetativa, alterações que são reflectidas no parâmetro CN . Na Tab.2a apresentam-se os valores do CN utilizados no presente estudo, os quais se discriminam consoante o designado grupo hidrológico do solo que classifica os solos de acordo com a sua permeabilidade (Tab.2b). De acordo com as permeabilidades constantes da Tab.1, verifica-se que os solos da região de Trás-os-Montes e Alto Douro são solos do tipo D (alissolos e antrossolos) e C (restantes unidades).

Os valores de CN apresentados na Tab.2a são representativos de condições médias de humidade do solo, sendo representados pelo SWAT através da designação CN_2 . Sempre que o teor de humidade se aproxima do ponto de emurchecimento ou da capacidade de campo do perfil do solo, o modelo ajusta os CN_2 , utilizando expressões analíticas, sendo então representados pelas siglas CN_1 e CN_3 , respectivamente. Além do teor de humidade a representatividade dos CN_2 também depende da inclinação do terreno: os valores tabelados são considerados apropriados para declives inferiores a

5%. Embora o SWAT não corrija os CN_2 quando os declives das URH são superiores a 5%, tal pode ser realizado pelo utilizador através de um método proposto por Williams (1995), situação que no entanto não foi praticada no presente estudo.

Tab.2a – Valores de CN utilizados no presente estudo. Adaptado de Winchell et al. (2008).

Tipo de Uso	Grupo Hidrológico do Solo			
	A	B	C	D
Comércio/Indústria	89	92	94	95
Culturas Anuais	72	81	88	91
Espelhos de Água	100	100	100	100
Florestas de Folhosas	55	55	75	80
Florestas de Resinosas	55	55	70	77
Florestas Mistas	55	55	75	80
Matos	63	77	85	88
Pastagens Naturais	49	69	79	84
Pastagens Produzidas	68	79	86	89
Pedreiras e Minas	78	85	90	92
Pomares, Olivais e Vinhas	77	77	84	88
Rocha Nua	96	96	96	96
Tecido Urbano Contínuo	81	88	91	93
Tecido Urbano Descontínuo	77	85	90	92
Zonas de Transição	72	82	87	90

Tab.2b – Grupo hidrológico de acordo com a permeabilidade do solo. Adaptado de Winchell et al. (2008).

Grupo Hidrológico	Permeabilidade (mm/h)
A	> 254
B	84 - 254
C	8.4 - 84
D	< 8.4

Metodologias e dados

O método SWAT

O método SWAT (Arnold et al., 1998) simula caudais fluviais tendo por informação de base dados climatológicos diversos (precipitações, temperaturas, velocidade do vento, radiação solar e humidade relativa) e informação sobre as características físicas da bacia hidrográfica (topografia, rede de drenagem, solos) e sobre a sua cobertura vegetativa/uso. O SWAT começa por delinear o padrão de drenagem a partir da leitura e interpretação do modelo digital do terreno que abrange a bacia hidrográfica, sendo a densidade hidrográfica (resolução morfológica) seleccionada pelo utilizador. No final desta operação o SWAT desenha um conjunto de linhas de água e suas intersecções, esboçando também a foz e o contorno da bacia. Tendo localizado os cursos de água a montante da foz da bacia, o SWAT associa-lhes as respectivas sub-bacias que de seguida são subdivididas em unidades de resposta hidrológica (URH). As URH consistem em sectores da sub-bacia homogéneos relativamente à topografia (declive), solos e uso do solo. Após delimitação das sub-bacias e URH o SWAT caracteriza-as relativamente às suas propriedades geométricas (comprimento, largura, área, perímetro, declive médio, etc.), hidrológicas

(“curve numbers”), e climáticas. Relativamente à caracterização climática das URH o SWAT possibilita a utilização de séries de dados registados em estações udométricas e/ou climatológicas localizadas no interior e/ou vizinhança da bacia ou, na falta total ou parcial destes dados, a utilização de séries derivadas de dados estatísticos associados a estações climatológicas localizadas o mais próximo das bacias. Neste último caso, o SWAT recorre ao designado gerador de dados climáticos. No final da caracterização geométrica, hidrológica e climatológica procede-se ao cálculo das componentes do escoamento associadas a cada URH recorrendo a equações de balanço de água e a modelos de fluxo adaptados às condições de escoamento superficial, sub-superficial e subterrâneo, sendo de seguida conduzidos os respectivos volumes de água até às linhas de água e ao longo destas até ao ponto mais a jusante da bacia no qual é contabilizado o valor global do caudal. O fluxograma geral de execução do método SWAT ilustra-se na Fig.6.

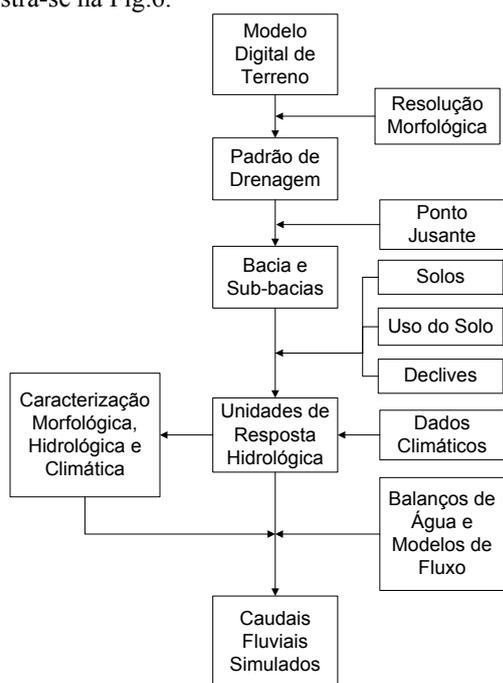


Fig.6 – Fluxograma geral de execução do modelo SWAT.

Dados

A delimitação dos padrões de drenagem e dos contornos das bacias, sub-bacias e URH foi realizada pelo SWAT através da leitura e interpretação do modelo digital do terreno apresentado na Fig.2a. A informação espacial relativa aos declives, solos e uso dos solos é a que se apresentou nas Figs.2b, 4 e 5, enquanto que os dados relativos às características físico-químicas dos solos e hidrológicas dos solos/cobertura vegetativa são os apresentados nas Tabs.1 e 2a.

Relativamente ao clima, foi em primeiro lugar definido o período de análise e de seguida utilizados dados diversos consoante o parâmetro climático em apreço. O período de análise estendeu-se de 1979 até 1988. Para a precipitação foram na maior parte dos casos utilizados dados diários relativos a este intervalo de tempo, registados em estações udométricas da rede nacional localizadas no interior ou vizinhança próxima das bacias hidrográficas (Fig.3a, dados disponíveis no sítio da Internet do Instituto da Água, IP). O registo de algumas estações não se estendia ao período em análise ou só o cobria parcialmente. Nestes casos, optou-se por recorrer ao gerador de dados climáticos do SWAT que estimou os valores da precipitação em falta a partir de dados estatísticos relativos às estações climatológicas mais próximas das bacias, designadas estações de referência. Procedimento idêntico foi adoptado relativamente aos dados diários da temperatura, velocidade do vento, radiação solar e humidade relativa do ar. A listagem das estações udométricas e climatológicas utilizadas no presente estudo mostram-se na Tab.3.

Tab.3 – Estações udométricas e climatológicas de referência utilizadas no presente estudo. Os códigos das estações referem-se à nomenclatura utilizada pelo Instituto da Água, IP.

Bacia Hidrográfica	Código da Estação Udométrica	Anos com dados no período 1979-1988	Código da Estação Climatológica de Referência	Distância do Centro da Bacia à Estação Climatológica de Referência
Rio Beça	03K/02UG	10.0	05L/02C	28788 m
	03K/04UG	10.0		
	03K/05UG	10.0		
	03K/06UG	10.0		
	03K/07UG	10.0		
	03K/08UG	0.0		
	04J/03UG	10.0		
	04J/05U	6.8		
	Média	8.4		
Rio Louredo	04K/02G	10.0	05L/02C	11867 m
	04K/03UG	10.0		
	05K/02UG	10.0		
		Média		
Rio Tedo	07L/01UG	5.3	06N/01C e 09I/01C	40909 m e 67184 m
	07L/10UG	5.3		
	07L/11UG	0.0		
	07L/13U	5.3		
	07L/14UG	0.0		
	08L/03UG	7.4		
		Média		
Rio Azibo	04P/02G	0.0	06N/01C	43505
	04P/03UG	0.0		
	04P/05UG	10.0		
	04P/04UG	0.0		
	05P/01UG	0.0		
	05Q/01UG	0.0		
	05P/02U	5.3		
	05Q/05G	0.0		
	Média	1.9		

Além dos dados indispensáveis à execução do modelo SWAT, foram também compilados a partir do sítio da Internet do Instituto da Água, IP os escoamentos fluviais diários registados nas estações hidrométricas que materializam os pontos mais a jusante das quatro bacias. Os elementos de

identificação e localização dessas estações apresentam-se na Fig.1.

Resultados

A bacia do rio Beça é a que apresenta a maior quantidade e a melhor distribuição espacial de estações udométricas com registo completo (10 anos) de dados pluviométricos. Por esse motivo foi seleccionada para o teste de 5 cenários de simulação de caudal, conforme se discrimina na Tab.4.

Relativamente às bacias dos rios Azibo, Louredo e Tedo foi apenas testado o cenário que melhor desempenho demonstrou quando aplicado à bacia do rio Beça.

Tab.4 – Resumo das condições de simulação de caudais na bacia hidrográfica do rio Beça. Condições Hidrológicas: (H₁) URH baseadas nos uso e tipo de solo dominantes; (H₂) Múltiplas URH baseadas em combinações únicas de uso e tipo de solo; (H₃) Múltiplas URH baseadas em combinações únicas de uso do solo, tipo de solo e declive.

Nº de Simulação	Área Mínima das Sub-Bacias	Nº de Sub bacias	Resolução Hidrológica	Nº de URH	Regressão Q _s vs Q _r	R ²
1	700	29	H ₁	29	Q _s = 0.89 Q _r	0.81
2	700	29	H ₂	121	Q _s = 0.98 Q _r	0.84
3	700	29	H ₃	262	Q _s = 0.89 Q _r	0.81
4	350	53	H ₂	236	Q _s = 0.85 Q _r	0.80
5	1050	19	H ₂	84	Q _s = 0.88 Q _r	0.81

O primeiro cenário de simulação aplicado ao rio Beça assentou numa divisão da sua bacia hidrográfica em 29 sub-bacias, correspondendo a uma resolução morfológica (área mínima por sub-bacia) de 700 hectares.

Os cenários 2 e 3 mantiveram esta resolução enquanto que nos cenários 4 e 5 se densificou ou dispersou a rede de drenagem reduzindo ou aumentando em 50% a área mínima associada a cada sub-bacia. Nestes dois cenários o número de sub-bacias passou para 53 ou 19 com áreas mínimas de 350 ou 1050 hectares.

A resolução da análise relativamente às condições hidrológicas também variou entre as diversas simulações.

Na simulação nº 1 assumiu-se que cada sub-bacia é coberta por um único tipo de solo e um único tipo de uso — os designados solo e uso dominantes. Tal cenário, que gera um número de URH igual ao

número de bacias, no caso 29, foi designado por cenário de resolução hidrológica H₁.

Na simulação nº 2 as sub-bacias foram divididas em zonas homogéneas relativamente ao tipo de solo e ao tipo de uso, tendo no entanto sido descartadas da análise as manchas que no interior da sub-bacia representavam uma cobertura de solo ou de uso inferior a 10% da sua área total. Esta nova resolução, designada H₂, fez aumentar o número de URH de 29 para 121.

Finalmente, na simulação nº 3, incorporou-se o efeito da topografia na delineação das URH, assumindo-se três escalões de declive: 0–10%, 10–30% e > 30%. Neste cenário (resolução hidrológica H₃) o número de URH ascendeu a 262.

As simulações nº 4 e nº 5 basearam-se na resolução hidrológica H₂, tendo nesses casos sido delineadas 236 e 84 URH, respectivamente.

A aplicação das simulações nº 1 a nº 5 à bacia hidrográfica do rio Beça produziu os resultados que se sintetizam na Tab.4.

A melhor regressão entre os caudais simulados e os caudais medidos na estação hidrométrica de Cunhas, no período considerado (1979-1988), ocorreu quando se dividiu a bacia em 29 sub-bacias e se assumiu a resolução hidrológica H₂ (múltiplas URH baseadas em combinações únicas de uso e tipo de solo).

O hidrograma mensal e o diagrama de correlação correspondentes a esta simulação apresentam-se nas Figs.7a,b.

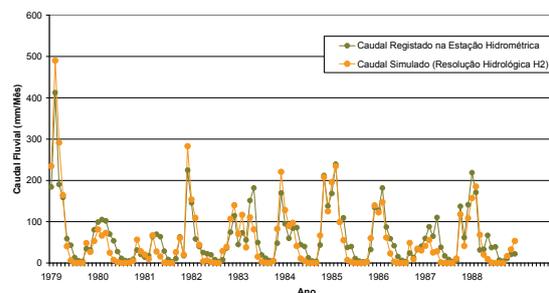


Fig.7a – Hidrogramas mensais do rio Beça correspondentes aos caudais reais e aos caudais simulados.

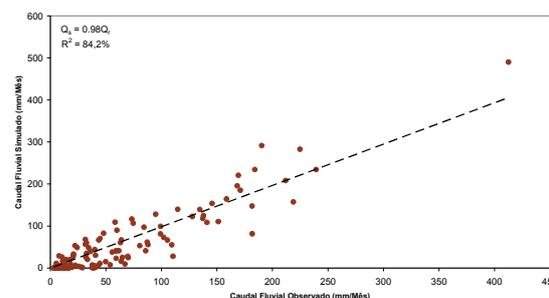


Fig.7b – Diagrama de correlação entre os caudais reais e os caudais simulados na estação hidrométrica de Cunhas (rio Beça).

A Fig.7a revela uma sobreposição notável entre os dois hidrogramas mensais, validada estatisticamente pela Fig.7b que indica um declive ($d = 0,98$) e um coeficiente de determinação ($R^2 = 84,2 \%$) da recta de regressão entre os caudais reais (Q_r) e os caudais simulados (Q_s) próximos dos valores correspondentes à sobreposição exacta ($d = 1,00$ e $R^2 = 100 \%$, simultaneamente).

Os diagramas mensais referentes às simulações realizadas sobre os rios Louredo, Tedo e Azibo apresentam-se nas Figs.8a, 8b, 9a, 9b, 10a e 10b. Verifica-se uma diminuição progressiva na qualidade das previsões do caudal relativamente à previsão conseguida para o rio Beça, ténue no caso do rio Louredo ($d = 0,69$ e $R^2 = 80 \%$), considerável no caso do rio Tedo ($d = 0,21$ e $R^2 = 61 \%$) e muito significativa no caso do rio Azibo ($d = 0,07$ e $R^2 = 13 \%$).

O diagnóstico sobre as causas para as diferenças de desempenho das simulações realizadas sobre as quatro bacias hidrográficas deverá tomar antes de mais em consideração as diferenças observáveis na qualidade da informação utilizada em cada caso. Relativamente ao relevo, solos e uso do solo as bases de informação a que se recorreu foram as mesmas em todas as bacias pelo que não se poderão atribuir diferenças de qualidade relativamente a estes parâmetros. Porém, no que respeita aos dados da precipitação verifica-se que a extensão média dos registos é de 10 anos na bacia do rio Louredo, 8,4 anos na bacia do rio Beça, 3,9 anos na bacia do rio Tedo e 1,9 anos na bacia do rio Azibo.

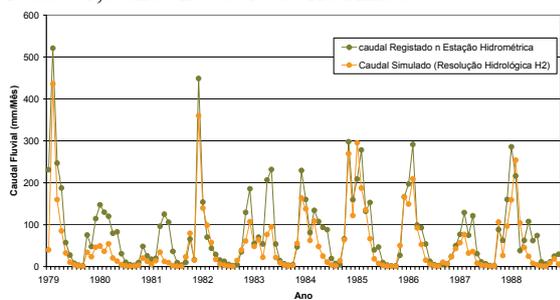


Fig.8a – Hidrogramas mensais do rio Louredo correspondentes aos caudais reais e aos caudais simulados.

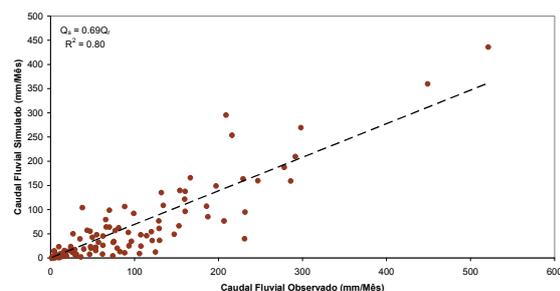


Fig.8b – Diagrama de correlação entre os caudais reais e os caudais simulados na estação hidrométrica de Santa Marta do Alvão (rio Louredo).

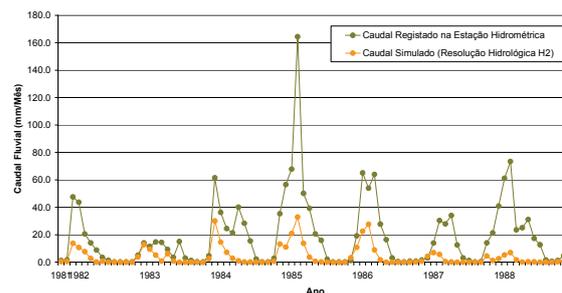


Fig.9a – Hidrogramas mensais do rio Tedo correspondentes aos caudais reais e aos caudais simulados.

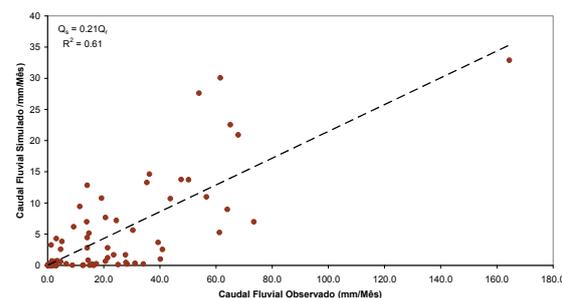


Fig.9b – Diagrama de correlação entre os caudais reais e os caudais simulados na estação hidrométrica da Quinta de Castelo Borges (rio Tedo).

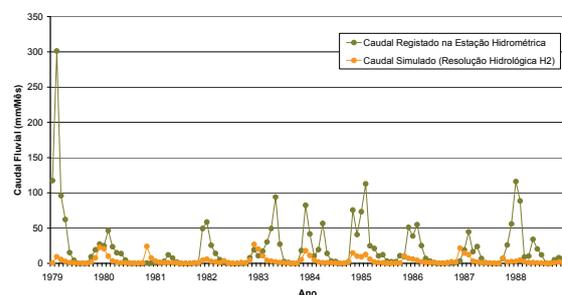


Fig.10a – Hidrogramas mensais do rio Azibo correspondentes aos caudais reais e aos caudais simulados.

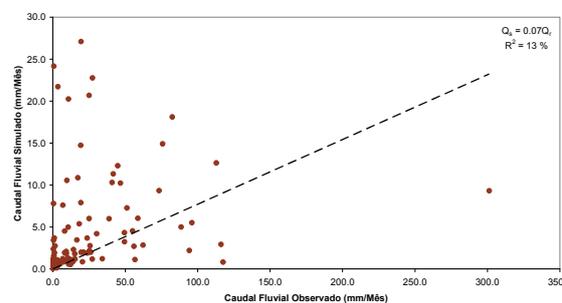


Fig.10b – Diagrama de correlação entre os caudais reais e os caudais simulados na estação hidrométrica do rio Azibo.

Por outras palavras, enquanto que na bacia do rio Louredo o SWAT utilizou integralmente os dados da precipitação registados nas estações udométricas, nas restantes bacias, com maior incidência nas dos

rios Tedo e Azibo, o modelo teve que recorrer sistematicamente ao seu algoritmo de geração de dados pluviométricos para obter os dados necessários à simulação.

Em face dos resultados obtidos relativamente às bacias dos rios Tedo e Azibo, pode concluir-se que o procedimento de geração não foi muito eficaz, provavelmente devido à distância entre as estações climatológicas de referência e os centróides das bacias (Tab.3).

Conclusões

O modelo SWAT revela potencialidades consideráveis na previsão de caudais fluviais sempre que a disponibilidade de dados pluviométricos registados em estações pluviométricas do interior ou vizinhança próxima da bacia hidrográfica em estudo é significativa. O recurso ao algoritmo de geração de dados pluviométricos não se revelou eficaz, provavelmente devido à falta de representatividade das estações climatológicas de referência motivada pela distância apreciável relativamente aos centróides das bacias a elas associadas.

Referências Bibliográficas

Agroconsultores & Coba (1991). *Carta de solos, carta do uso actual da terra e carta de aptidão da terra do nordeste de Portugal*. Relatório Técnico, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila Real, 311p. Base digital em <http://scrif.igeoe.pt>.

Arnold, J.G., Srinivasan, R., Mutiah, R.S., Williams, J.R. (1998). Large area hydrologic modeling and assessment, part I: model development. *Journal of American Water Resources Association*, 34 (1), 73–89.

Williams, J.R. (1995). The EPIC model. In Singh, V.P (ed.) *Computer models of watershed hydrology*, Chapter 20 (pp. 909-1000). *Water Resources Publications*, Highlands Ranch, CO.

Winchell, M., Srinivasan, R., Di Luzio, 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.

www.inag.pt – Sítio da Internet do Instituto da Água, IP.

www.cnig.pt - Sítio da Internet do Centro Nacional de Informação Geográfica.