

# INFLUÊNCIA DA RESOLUÇÃO DO MODELO DIGITAL DO TERRENO NA CONFIGURAÇÃO TOPOGRÁFICA DE UMA BACIA HIDROGRÁFICA

## *INFLUENCE OF THE DIGITAL ELEVATION MODEL RESOLUTION ON THE TOPOGRAPHIC CONFIGURATION OF THE WATERSHED*

**António Canatário Duarte**

Professor Adjunto da ESACB, Instituto Politécnico de Castelo Branco, Quinta da Sra. de Mércules, Apartado 119, 6001-909 Castelo Branco, [acduarte@esa.ipcb.pt](mailto:acduarte@esa.ipcb.pt), Associado da APRH nº631

**Filipe Jorge Afonso**

Técnico do Laboratório de SIG e CAD da ESACB, Instituto Politécnico de Castelo Branco, Quinta da Sra. de Mércules, Apartado 119, 6001-909 Castelo Branco, [fjafonso@esa.ipcb.pt](mailto:fjafonso@esa.ipcb.pt)

**Elias Fereres Castiel**

Professor Catedrático da ETSIAM, Universidade de Córdoba, Av, Menéndez Pidal s/n, 14004 Córdoba, Espanha, [aglfecae@uco.es](mailto:aglfecae@uco.es)

**Luciano Mateos Iñiguez**

Investigador Titular do Instituto de Agricultura Sostenible, Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Alameda del Obispo s/n, 14004 Córdoba, Espanha, [aglmainl@uco.es](mailto:aglmainl@uco.es)

**RESUMO:** Nos estudos de poluição difusa originada pela actividade agrícola à escala da bacia hidrográfica, é fundamental a sua conveniente configuração topográfica e a compreensão do seu comportamento hidrológico. No presente trabalho é utilizado o módulo *FlowNet Generator* do modelo *AnnAGNPS*, no sentido de se compreender a influência da resolução vertical do *Modelo Digital do Terreno (DEM)* na configuração topográfica de uma pequena bacia hidrográfica. O estudo decorre no *Aproveitamento Hidroagrícola da Campina da Idanha*, na bacia de uma linha de água tributária do rio Tejo, tendo sido elaborados dois *DEM* com resoluções verticais de 1 e 5m. A rede de drenagem natural observada na bacia hidrográfica é a característica usada para comparar os resultados simulados e observados, procedendo-se depois à análise da divisão da bacia e dos parâmetros topográficos e hidrológicos resultantes. Este estudo permite concluir que para a área de estudo de 190 ha o *DEM* com resolução vertical de 5m não é suficientemente detalhado para contemplar a totalidade da rede de drenagem natural, pelo que é recomendável o uso de um *DEM* com menor resolução vertical. Pela forma como a rede de drenagem simulada, tendo por base o *DEM* com resolução de 1m, se aproxima da rede de drenagem natural observada na zona de estudo, não se torna necessário usar informação topográfica mais detalhada.

Palavras-chave: Modelo Digital do Terreno, poluição difusa, modelação topográfica e hidrológica, bacia hidrográfica.

**ABSTRACT:** In modelling the effects of agricultural activities on non-point pollution at the catchment scale, it is important to delineate correctly the topographic configuration and to understand the hydrologic behaviour of the basin. In this work, the module *FlowNet Generator*, a component of the model *AnnAGNPS*, was used to evaluate the influence of the vertical resolution of the *Digital Elevation Model (DEM)* in the topographic and hydrologic

configuration of a small irrigated catchment (190 ha) located in the area of Campina da Idanha, in a small basin located on a tributary of the Tejo River. The study used two vertical resolutions of 1m and 5m, respectively. The study first characterized in the field the surface drainage network of the catchment which was found to be stable, and then compared it with the results of the simulated networks, performed at the two resolution levels. It was found that the vertical resolution of 5m was unsatisfactory because it yielded catchment subdivisions which departed significantly from the field observations and did not document all the stable surface drainage network observed under field conditions. By contrast, the network generated with 1m resolution was quite close to the observed network, suggesting that the realistic simulation of this catchment demands such degree of vertical resolution in the topographic assessment.

**Keywords:** Digital Elevation Model, non point source pollution, topographic and hydrologic modeling, watershed.

## 1. INTRODUÇÃO

O presente trabalho insere-se num estudo de poluição difusa dos recursos hídricos superficiais originada pela actividade agrícola em zona de regadio, à escala da bacia hidrográfica, sendo fundamental a configuração topográfica e a compreensão do comportamento hidrológico da bacia, antes de se avançar para a simulação dos processos relacionados com a dinâmica da poluição difusa na área em causa. A poluição da água pode proceder de fontes não localizadas, conhecida como *poluição difusa*, sendo resultado de um grupo de actividades humanas em que os contaminantes não têm um ponto localizado de entrada nas linhas de água. As suas características principais incluem a estreita relação com as condições hidrológicas da bacia hidrográfica, a dificuldade de medição e avaliação, e o seu controle centrado em práticas de ordenamento da terra. Pelo contrário, a poluição procedente de fontes localizadas está associada a actividades em que a água entra directamente nas linhas de água receptoras (FAO, 1997; INAG, 2002). Os modelos de simulação concebidos para a escala de trabalho ao nível da bacia hidrográfica, conjugados com *Sistemas de Informação Geográfica (SIG)* que simplifiquem o processo de compatibilização das condições da bacia hidrográfica, são ferramentas indispensáveis para este propósito, já que permitem configurar e comparar soluções alternativas de uso e ocupação do solo e de práticas inerentes (Srinivasan e Arnold, 1994).

Os modelos hidrológicos contemplam normalmente uma primeira fase de configuração topográfica da bacia, tendo por base um *DEM (Digital Elevation Model)* com uma determinada resolução vertical, que estará relacionada com a área de estudo. Um dos parâmetros frequentemente usado na aferição desta configuração é a rede de drenagem gerada, que deverá ser o mais semelhante possível com a existente na área de estudo (Bingner e Theurer, 2001). Neste estudo optou-se pela utilização do modelo *AnnAGNPS (Annualized Agricultural Nonpoint Source)* (Cronshey e Theurer, 1998), como sendo um modelo de simulação distribuída à escala da bacia hidrográfica de poluição difusa em zonas agrícolas, integrado em ambiente *ArcView*, e dando resultados diários de escoamento e contaminantes dos recursos hídricos. Este modelo comporta um módulo (*FlowNet Generator*) que, tomando os valores de um *DEM*, estabelece os limites da bacia hidrográfica e hierarquiza a rede de drenagem. Dos parâmetros gerados, são considerados como mais importantes os limites das sub-bacias, e dentro destas os das células, a rede de drenagem e os factores *LS* (factor topográfico) da *RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation)* de cada

uma das células que colectam o escoamento para as linhas de água (Bingner e Theurer, 2001). A resolução vertical do DEM tem influência na divisão da bacia hidrográfica em sub-bacias e portanto nos parâmetros que as caracterizam, tendo por consequência interferência no escoamento gerado e nos sedimentos e outros contaminantes arrastados (Bingner *et al.*, 1997).

A configuração menos exacta da bacia (por exemplo no estabelecimento da rede de drenagem) determina uma simulação mais deficiente do seu comportamento hidrológico e por consequência da poluição difusa dos recursos hídricos superficiais. Uma razoável metodologia para testarmos aquela influência é compararmos a rede de linhas de água que se observam na bacia hidrográfica em causa e a que é gerada pelo módulo *FlowNet Generator* do modelo *AnnAGNPS*, num procedimento também usado por outros autores (Bingner *et al.*, 1997). Considerando o exposto anteriormente, os autores definem como objectivo principal deste estudo aferir da influência da resolução vertical do *DEM* na configuração topográfica de uma pequena bacia hidrográfica.

## 2. MÓDULO *FlowNet Generator* do MODELO *Ann AGNPS*

O modelo *AnnAGNPS* inclui na sua arquitetura o módulo *FlowNet Generator*, que por sua vez é constituído pelos programas operacionais *TopAGNPS* (*Topographic AGNPS*), *AgFlow* (*Agricultural watershed Flownet*) e por um programa que funciona como uma interface gráfica *VbFloNet* (*Visual Basic Network*). O programa *TopAGNPS* usa a mesma abordagem que o programa *TOPAZ* (*Topographic ParameteriZation*), com algumas modificações para funcionar integrado no modelo *AnnAGNPS* (Garbrecht e Martz, 1995). O primeiro a ser executado, conforme é explicitado na Figura 1, é o programa *TopAGNPS* que, obtendo do *DEM* cotas do terreno, permite definir os limites da bacia hidrográfica, obter a rede de drenagem e a divisão em sub-bacias, que por sua vez são divididas em células que colectam o escoamento para uma linha de água.

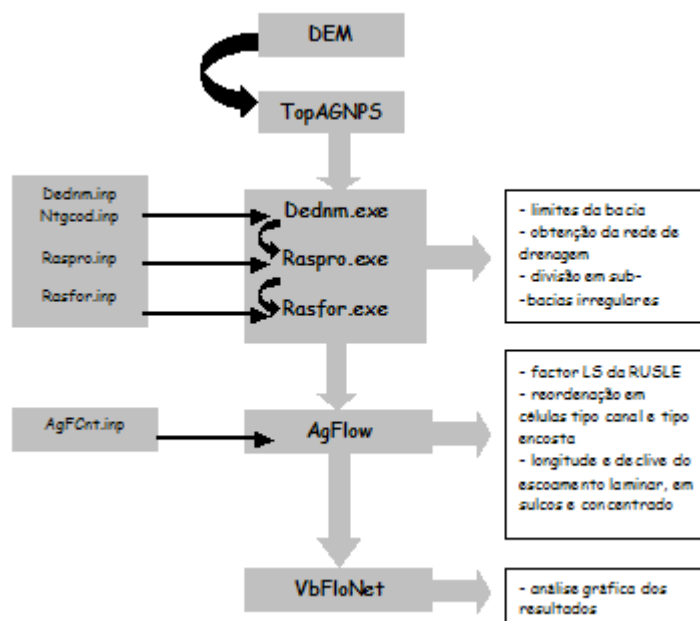
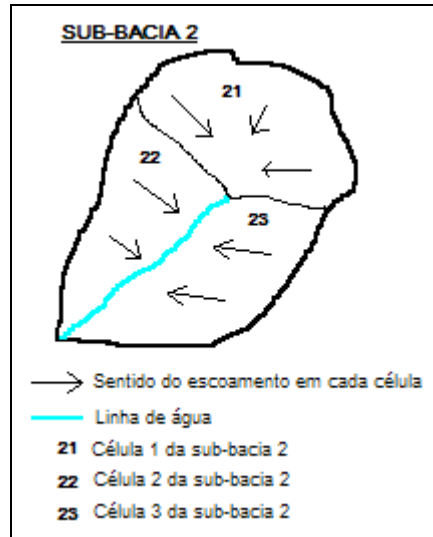
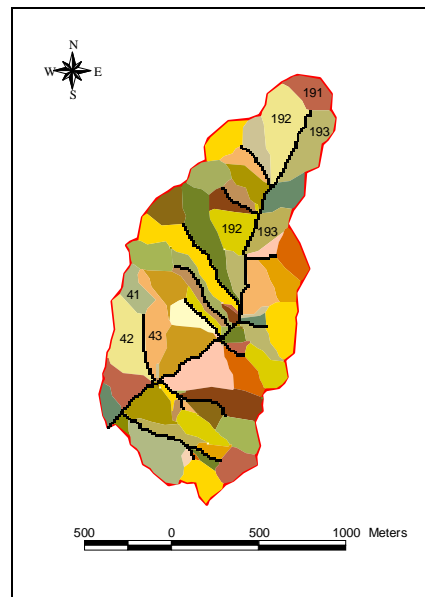


Figura 1 - Sequência da execução dos vários programas do módulo *FlowNet Generator*.

A forma como são identificadas as células de uma sub-bacia está exemplificada na Figura 2, de modo esquemático, e na Figura 3 tal como são geradas pelo programa *TopAGNPS*.



**Figura 2** – Forma esquemática como o módulo *FlowNet Generator* divide uma bacia hidrográfica em sub-bacias e células, que contribuem para uma linha de água.



**Figura 3** – Forma como o módulo *FlowNet Generator* divide uma bacia hidrográfica em sub-bacias e células aplicada à bacia hidrográfica de estudo, tendo por base um *DEM* com uma resolução de 5m.

Nas linhas de água de 1ª ordem são identificadas três células: a célula 1 que colecta o escoamento proveniente da cabeceira da linha de água, a célula 2 que colecta o escoamento proveniente da encosta da margem direita da linha de água, e a célula 3 que drena o escoamento proveniente da encosta da margem esquerda da linha de água. A partir das linhas de água de 1ª ordem não são geradas células de índice 1, tal

como é ilustrado no exemplo da Figura 3. O programa *TopAGNPS* é composto pelos subprogramas que a seguir se identificam, tendo cada subprograma os respectivos ficheiros de controlo, que podem ser alterados pelo utilizador em função do mais adequado à simulação em causa. Tomando a sequência de execução, o processo de cálculo inicia-se com o subprograma *Dednm.exe* (*Digital elevation drainage network model*) controlado pelo ficheiro *Dednm.inp*, que define a altitude máxima e mínima e número de quadrículas do modelo *raster* do *DEM*, as coordenadas da secção de referência da bacia hidrográfica (que pode ser definida de forma interactiva, estando activo em ambiente *ArcView* o tema das linhas de água, ou manualmente introduzindo o par de coordenadas *x* e *y* do *DEM* correspondentes à secção de referência da bacia) e o par de valores *CSA* (*Critical Source Area*) e *MSCL* (*Minimum Source Channel Length*). Entende-se por *Critical Source Área* e *Minimum Source Channel Length*, respectivamente a área e longitude mínimas necessárias para que se forme uma linha de água em que o escoamento é suficientemente concentrado que permite a sua identificação no campo. Como facilmente se deduz, o par de valores *CSA/MSCL* determina a hierarquização da rede de drenagem e o nível de divisão da bacia hidrográfica em sub-bacias. O programa *Dednm.exe* permite que o respectivo ficheiro de controlo (*Dednm.inp*) possa contemplar até cinco pares de valores diferentes de *CSA/MSCL* em diferentes zonas da bacia hidrográfica, que contemplem de forma mais conveniente a realidade daquela unidade territorial. Por exemplo, se a bacia hidrográfica apresentar zonas de declives e comprimentos de encosta bastante diferentes, será razoável pensar que, nas zonas mais declivosas, os parâmetros *CSA* e *MSCL* assumam valores mais baixos para formar uma linha de água identificável no campo. O subprograma *Dednm.exe* é também controlado pelo ficheiro *Ntgcod.inp*, que interactiva com o ficheiro *Dnmcnt.inp*, e de acordo com os pares de valores *CSA/MSCL* definidos, atribui a cada quadrícula do *DEM* um código de 1 até 5, que é o número de pares possíveis daqueles parâmetros. Refira-se que, de acordo com várias simulações efectuadas, o módulo *FlowNet Generator* apresenta alguma sensibilidade ao par de valores *CSA/MSCL*, que é mais evidente para o *DEM* com menor resolução vertical. Esta sensibilidade, verificada numa gama de valores de 3.0 até 5.0 hectares para o parâmetro *CSA* e de 80 até 120 metros para o parâmetro *MSCL*, traduz-se sobretudo na geração de mais linhas de água de cabeceira para os valores mais baixos de *CSA/MSCL*, resultando uma rede de drenagem e um número de sub-bacias diferente. Segue-se o subprograma *Raspro.exe* (*Raster properties*) controlado pelo ficheiro *Raspro.inp*, que processa os dados de saída do subprograma anterior e acrescenta outras informações e possibilidades dos resultados dos *rasters*, como por exemplo a localização das depressões e zonas planas locais e a sua correcção, e a possibilidade de apresentação de resultados agregados para a bacia hidrográfica ou simultaneamente por sub-bacias e células. O último subprograma do programa *TopAGNPS* a ser executado é o *Rasfor.exe* (*Raster formatting*), controlado pelo ficheiro *Rasfor.inp*. Este subprograma lê os dados não formatados produzidos pelos subprogramas *Dednm* e *Raspro* e formata-os em dois formatos *ASCII* (*1-D* e *2-D*) e em dois formatos *GIS* (*IDRISIS* e *ARC/INFO*), conforme opção seleccionada no ficheiro de controlo.

O segundo programa do módulo *FlowNet Generator* a ser executado, conforme Figura 1, é o programa *AgFlow*, sendo controlado pelo ficheiro *AgFCnt.inp*. Para este programa são transferidos os valores de saída do programa *TopAGNPS* que são reordenados em quadrículas tipo canal (linha de água) e tipo encosta, apresentando várias características dos conjuntos desses dois tipos de quadrículas que são as linhas de água e as células (de cabeceira, da margem direita e da margem esquerda) que colectam o

escoamento para as linhas de água. O programa *AgFlow* calcula adicionalmente o factor *LS* da equação *RUSLE* (equação usada pelo modelo *AnnAGNPS* para cálculo da perda de solo por erosão hídrica), e a longitude e declive para o escoamento laminar, em sulcos e concentrado (Theurer e Cronshey, 1998). De referir que nesta metodologia o escoamento em cada célula é segmentado em escoamento superficial laminar desordenado (ocorre nos primeiros 50 metros da linha de escoamento), escoamento superficial concentrado em pequenos sulcos (ocorre nos 50 metros seguintes da linha de escoamento, não podendo a velocidade exceder 0.61 m/s) e escoamento superficial concentrado (ocorre na parte restante da linha por onde se encaminha o escoamento).

O último programa do módulo *FlowNet Generator*, executado opcionalmente desde que o modelo *AnnAGNPS* está integrado em ambiente *ArcView*, é uma *interface* gráfica em linguagem de programação *Visual Basic*. Este programa era usado em versões anteriores de *AnnAGNPS* e ainda pode ser usado para visualizar os resultados dos programas anteriores, e seleccionar as sub-bacias para refinar os valores de *CSA/MSCL* e redefinir o número e extensão das sub-bacias.

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

A bacia hidrográfica de estudo localiza-se no concelho de Idanha-a-Nova, apresenta uma forma alongada com orientação norte-sul (Figura 4) e uma área de cerca de 190 ha. Em termos topográficos a bacia hidrográfica apresenta relevo bastante ondulado com cotas que variam entre 210 e 248 metros (Figura 5) e declives até 10%, sendo os mais representativos entre 2 e 4%. É drenada por um conjunto de linhas de água tributárias de uma principal de 3ª ordem, que por sua vez é afluente sequencialmente do ribeiro de Vale de Gamo, ribeira do Aravil e rio Tejo. É uma área maioritariamente agrícola incluída no *Aproveitamento Hidroagrícola da Campina da Idanha*, em que as culturas praticadas são das mais representativas desta zona de regadio (milho, tabaco, sorgo). Sendo relativamente próximo do rio Tejo, os solos que ocorrem são em boa parte depósitos de planalto da bacia daquele rio.

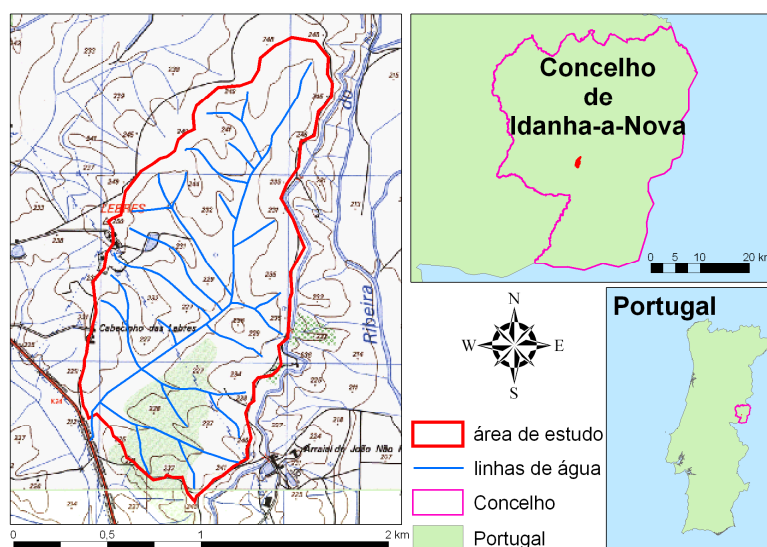
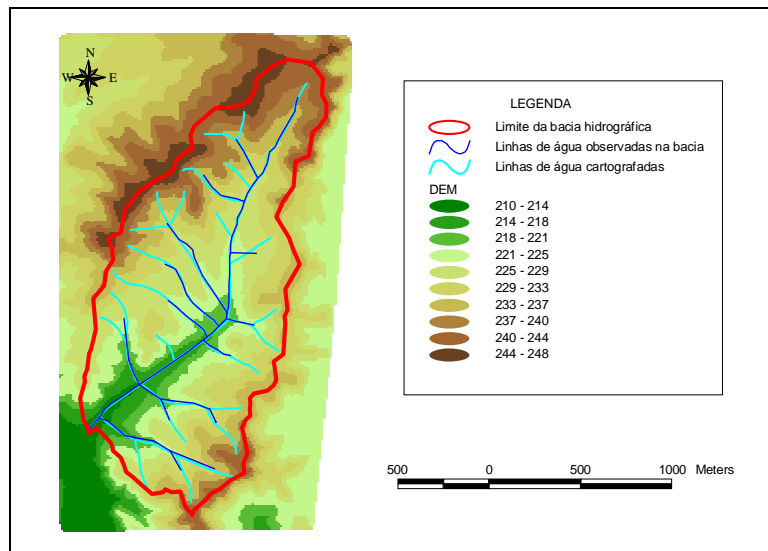


Figura 4 – Localização da bacia hidrográfica de estudo.

Para o cumprimento dos objectivos definidos para este estudo, foram elaborados dois *DEM* com resoluções verticais de 1 e 5 metros com base em informação cartográfica existente, no sentido de se averiguar a sua influência na configuração topográfica da bacia hidrográfica, e por extensão no seu comportamento hidrológico. Os dados de base para a elaboração dos *DEM*'s foram as cartas topográficas na escala de 1:2500 (Folhas 6I e 7I), levantadas e desenhadas pela ex-*Junta Autónoma das Obras de Hidráulica Agrícola* em 1947 para o concelho e freguesia de Idanha-a-Nova, quando do projecto da obra do *Aproveitamento Hidroagrícola da Campina da Idanha*. Os *DEM*'s foram obtidos por digitalização das curvas de nível com espaçamento vertical de 1 metro, com a resolução horizontal (dimensão da quadrícula) assumida por defeito pelo *software* usado (*ArcView 3.2a*) e georeferenciados com o sistema de coordenadas UTM. Para que fosse elaborado um tema em ambiente *ArcView* das linhas de água existentes na bacia hidrográfica foi necessário percorrer toda a rede de drenagem até onde esta se podia identificar no terreno, registando-se as coordenadas com o auxílio de um aparelho *GPS* (*GeoExplorer3 da TRIMBLE*) à medida que se avançava ao longo das linhas de água. Recordamos que este traçado das linhas de água observadas no campo, passadas para a forma de *shapefile* em ambiente *ArcView*, teve como propósito a comparação com a rede de drenagem gerada pelo programa *TopAGNPS*. O equipamento *GPS* foi usado no campo com a recepção de sinais e triangulação de pelo menos cinco satélites, tendo sido os registos do aparelho corrigidos posteriormente (*correção diferencial*) com dados captados pela estação fixa da ESACB, com o auxílio de *software* próprio (*GPS Pathfinder Office*). Os dados de campo colhidos com o equipamento *GPS*, em formato *raster*, foram depois validados a partir do ortofotomapa da zona de estudo. Este documento gráfico com o tipo de filme colorido infravermelho (falsa cor), orto-rectificado pelo *Instituto Geográfico do Exército* e editado pelo ex-*Centro Nacional de Informação Geográfica*, é referente ao voo do Verão de 1995 com uma escala média de 1:40000 e dimensão do pixel no terreno de 1 metro. O *software GPS Pathfinder Office* permitiu também exportar os dados, corrigidos e validados, para o formato *shapefile*, por forma a serem utilizados num *SIG* (*ArcView*) e serem compatibilizados com outros dados gerados no mesmo ambiente. Importa referir que a constatação de linhas de água, sobretudo nas cabeceiras destas, se mostrou mais difícil nas áreas com intervenção das práticas agrícolas, nomeadamente as mobilizações de solo. A observação das linhas de escoamento resultantes da rega também conferiu informação importante para o traçado da rede de drenagem natural. Com a conjugação de todos os elementos colhidos no campo e usando de algum bom senso, foi possível elaborar o traçado definitivo das linhas de água observadas na bacia, apresentado na Figura 5. Nesta figura estão também representadas as linhas de água digitalizadas a partir da Carta Militar de Portugal, Série M888 – Folha 282, na escala de 1:25000 (linhas de água cartografadas), cujo traçado coincide a partir de determinados pontos com o traçado das linhas de água observadas nesta bacia.

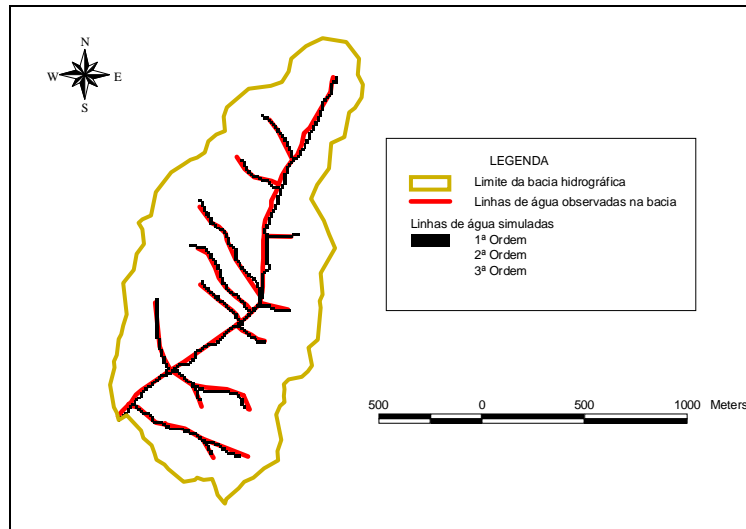


**Figura 5** – DEM (*Digital Elevation Model*) com a delimitação da bacia hidrográfica, e o traçado das linhas de água.

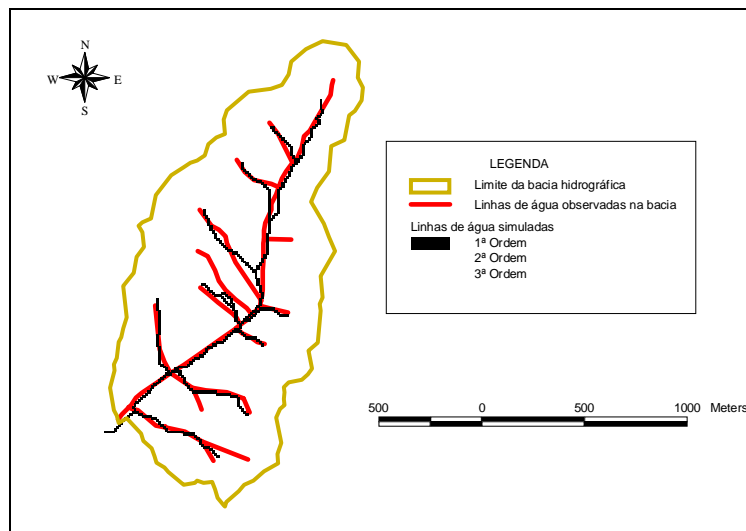
Como já foi referido anteriormente, o módulo *FlowNet Generator* gera a rede de drenagem de acordo com o par ou pares de valores *CSA/MSCL*. Para aproximar a rede de drenagem gerada, relativamente à observada na bacia, fez-se variar os valores dos parâmetros *CSA* e *MSCL*, dentro de valores relacionados com a área desta bacia e a sua realidade topográfica (Bingner *et al.*, 1997), tendo-se optado por adoptar os seguintes valores com os quais se procedeu à restante análise do caso de estudo: *CSA* igual a 3.0 ha e *MSCL* igual a 80.0 m em ambos os *DEM*.

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A característica morfológica de uma bacia hidrográfica, relacionada com o seu comportamento hidrológico, que mais facilmente se pode objectivar parece-nos ser a rede de drenagem. As Figuras 6 e 7 mostram as linhas de água observadas na bacia hidrográfica e as geradas pelo módulo *FlowNet Generator*, para os *DEM* com resolução vertical de 1m e 5m. Pela análise conjunta das duas figuras, observa-se que, relativamente à linha de água de 3ª ordem, não ocorrem diferenças significativas entre a rede de drenagem observada no campo e simulada para os *DEM* com resoluções diferentes. Já em relação à restante parte da rede de drenagem constata-se alguma diferença na figura que tem por base o *DEM* com resolução vertical de 5m, que se traduz por traçados diferentes das linhas de água, bem como pela não consideração de algumas pequenas linhas de água de cabeceira. No que concerne à figura que tem por base o *DEM* com resolução vertical de 1m (Figura 6), a rede de drenagem gerada pelo módulo *FlowNet Generator* sobrepõe-se quase na perfeição à rede de linhas de água observadas no terreno.

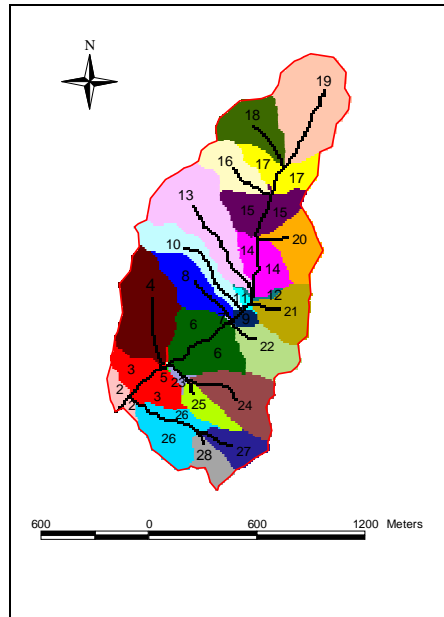


**Figura 6** - Linhas de água observadas na bacia e simuladas pelo módulo *FlowNet Generator*, para valores de  $CSA=3.0$  ha e  $MSCL=80.0$  m tendo por base o *DEM* com resolução de 1m.

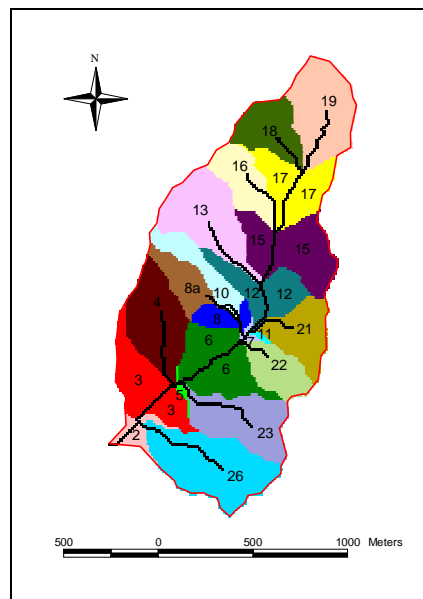


**Figura 7** - Linhas de água observadas na bacia e simuladas pelo módulo *FlowNet Generator*, para valores de  $CSA=3.0$  ha e  $MSCL=80.0$  m tendo por base o *DEM* com resolução de 5m.

Outra forma de analisar a diferente configuração da bacia hidrográfica que resulta da utilização de *DEM*'s com resoluções diferentes, complementar da análise baseada na rede de drenagem gerada e consequente desta, é através da observação das Figuras 8 e 9, referentes à divisão da bacia em sub-bacias operada pelo módulo *FlowNet Generator*. A divisão em sub-bacias tendo por base os *DEM* com resoluções de 1m e 5m é bastante diferente, sobretudo na zona de jusante da bacia hidrográfica. Esta diferença traduz-se por valores bastante dispares relativamente às áreas das sub-bacias e ao seu número. Esta última diferença está relacionada com terem sido ou não geradas algumas pequenas linhas de água de 1ª ordem, o que, em correspondência, implica também um número diferente de sub-bacias.



**Figura 8** - Divisão da bacia hidrográfica de estudo em sub-bacias fornecida pelo módulo *FlowNet Generator*, para o *DEM* com resolução de 1m.



**Figura 9** - Divisão da bacia hidrográfica de estudo em sub-bacias fornecida pelo módulo *FlowNet Generator*, para o *DEM* com resolução de 5m.

Pela análise dos resultados da simulação do módulo *FlowNet Generator* relativos a área de drenagem, altitude média, declive do terreno, declive e comprimento da linha do escoamento laminar, em sulcos e concentrado, constatam-se valores destes parâmetros bastante diferentes em algumas das sub-bacias; convém referir que estas diferenças nos resultados não serão tão significativas se forem usados *DEM's* com resolução vertical mais pormenorizada ou quando se trata de bacias hidrográficas de maior extensão (Bingner e Theurer, 2001). Uma consequência imediata desta configuração diferente, é a influência na simulação do processo de erosão hídrica, traduzida pelos valores diferentes do factor

topográfico (*LS*) da equação *RUSLE*. Refira-se que a média deste factor para a bacia hidrográfica é de 0,910, para o *DEM* com resolução de 1m, e 0,652, para o *DEM* com resolução de 5m. Estes valores levarão concertiza a escoamentos e quantidades de sedimentos (arrastados e depositados) diferentes, tendo uma interferência mais ou menos marcada na natureza e quantidade das substâncias arrastadas com o escoamento (Bingner *et al.*, 1997). Encarando o factor *LS* como factor multiplicativo da equação *RUSLE*, é evidente que uma variação deste factor de 0.652 para 0.910, em igualdade dos outros factores daquela equação, leva a um acréscimo nas perdas de solo de cerca de 40%, variação que se considera bastante significativa. Analisando o factor *LS* no contexto da sua variação dentro da bacia hidrográfica de estudo, pode-se registar, relativamente aos dados devolvidos pelo módulo *FlowNet Generator* para o *DEM* com resolução vertical de 1m como o mais adequado para representar a realidade topográfica da zona, que a maior diferença daquele factor se verifica entre os valores 0.258 e 1.493, ou seja numa amplitude de 1.235 unidades. Neste contexto de variação, um valor do factor *LS* de 0.652 ou de 0.910 representam igualmente valores significativamente diferentes.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Da realização deste estudo, e tendo presente o objectivo de estudar a influência da resolução vertical do *DEM* na configuração topográfica de uma pequena bacia hidrográfica, é possível apurar algumas conclusões, que se registam a seguir.

➤ Nos estudos em que os aspectos hidrológicos de superfície assumem papel relevante, como sejam os estudos de poluição difusa à escala da bacia hidrográfica, torna-se importante a existência de boa informação topográfica para a construção de um *DEM* com uma adequada resolução vertical, que deve estar relacionada com a área que se pretende estudar.

➤ Devem-se usar as capacidades de cada modelo de simulação para configurar convenientemente a bacia hidrográfica do ponto de vista topográfico, tendo sempre por base alguma característica observada com segurança na bacia hidrográfica (como por exemplo a rede de drenagem), que funcione como aferidor.

➤ A interferência significativa que pode ter o uso de um *DEM* com resolução vertical não adequada à extensão da bacia hidrográfica, na divisão da mesma em sub-bacias e nos parâmetros topográficos e hidrológicos relacionados, e por extensão na simulação dos processos de poluição difusa.

➤ A preocupação que deve existir, nos estudos de poluição difusa em zonas agrícolas, de primeiro se ter uma realidade topográfica bem configurada e depois, sob um determinado clima e práticas agrícolas, se compreender o seu comportamento hidrológico, antes de se avançar para a simulação dos processos que condicionam a poluição difusa.

➤ Para esta área de estudo (190 ha), o *DEM* com resolução vertical de 5m não é suficientemente detalhado para contemplar a totalidade da rede de drenagem da bacia hidrográfica, mesmo com a manipulação mais adequada do par de variáveis *CSA/MSCL*, pelo que é recomendável o uso de um *DEM* com resolução mais pormenorizada. Pela forma como a rede de drenagem gerada, tendo por base o *DEM* com resolução de 1m, se aproxima da rede de drenagem observada na zona de estudo, não se torna necessário usar informação topográfica mais detalhada.

## BIBLIOGRAFIA

- Bingner, R. L., F. D. Theurer.** 2001. *Topographic Factors for RUSLE in the continuous-Simulation, Watershed Model for Predicting Agricultural, Non-Point Source Pollutants (AnnAGNPS)*. In: *Proceedings of the Soil Erosion Research for the 21st Century*, 3-5 January 2001, Honolulu, HI, USA.
- Bingner, R. L., R. W. Darden, F. D. Theurer, J. Garbrecht.** 1997. *GIS-based generation of AGNPS watershed routing and channel parameters*. ASAE Paper No. 97-2008, St. Joseph, Michigan, USA.
- Bingner, R. L., J. Garbrecht, J. G. Arnold, R. Srinivasan.** 1997. *Effect of watershed subdivision on simulation runoff and fine sediment yield*. Transactions of the ASAE, Vol. 40(5): 1329-1335.
- Cronshey, R. G., F. G. Theurer.** 1998. *AnnAGNPS-Non Point Pollutant Loading Model*. In: *Proceedings First Federal Interagency Hydrologic Modelling Conference*, 19-23 April 1998, Las Vegas, NV.
- FAO.** 1997. *Lucha contra la contaminación agrícola de los recursos hídricos*. E. D. Ongley. Estudios FAO: Riego y Drenaje No. 55, Roma.
- Garbrecht, J., W. Martz.** 1995. *Advances in automated landscape analysis*. In: *Proceedings of the First International Conference on Water resources Engineering*, Espey, W. H., P. G. Combs, Eds., American Society of Engineers, San Antonio, Texas, August 14-18, 1995, Vol.1, pp. 844-848.
- INAG.** 2002. *Poluição e Qualidade da Água*. Tema tratado no âmbito do Plano Nacional da Água, Instituto da Água, Ministério das Cidades, Ordenamento do Território e Ambiente, Lisboa.
- Srinivasan, R., J. G. Arnold.** 1994. *Integration of a basin scale water quality model with GIS*. Water Resource Bulletin, 30(3), 453.
- Theurer, F. D., R. G. Cronshey.** 1998. *AnnAGNPS – Reach routing processes*. *Proceedings of the First Federal Interagency Hydrologic Modelling Conference*. Las Vegas, Nevada. April 19-23, 1998. p. 1-25 to 1-32.