

CAPÍTULO 5

APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

5.1 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

Neste capítulo são apresentados os resultados da comparação da erosão média obtida pela estatística zonal aplicada ao modelo USLE - “Universal Soil Loss Equation” com a erosão média calculada para o modelo WEPP - “Water Erosion Prediction Project”, para as três resoluções testadas (10, 30 e 60), utilizando a média da erosão das classes do GeoWEPP.

É de referir que quanto maior a dimensão da célula menor a resolução, isto é, menor o grau de pormenorização obtido.

Apresentam-se também os resultados do escoamento superficial extraídos do modelo WEPP, para os três tamanhos de células aplicados, e a sua comparação com os valores observados na Estação Hidrométrica de Entradas, por evento diário (m^3/s) para 14 anos (1977 a 1990), nº de anos para o qual foi construído o ficheiro CLIGEN referente à Estação Meteorológica de Beja. Efectuou-se ainda a aplicação do coeficiente de eficiência de NASH e SUTCLIFFE (1970) para testar a eficiência do modelo quanto aos resultados obtidos para o referido parâmetro, de modo a se poder retirar uma conclusão quanto aos valores de perda de solo resultantes do modelo WEPP. Em termos absolutos foi também comparado o escoamento anual médio retirado do relatório proveniente do modelo WEPP, com o valor observado na Estação Hidrométrica de Entradas para os anos em estudo.

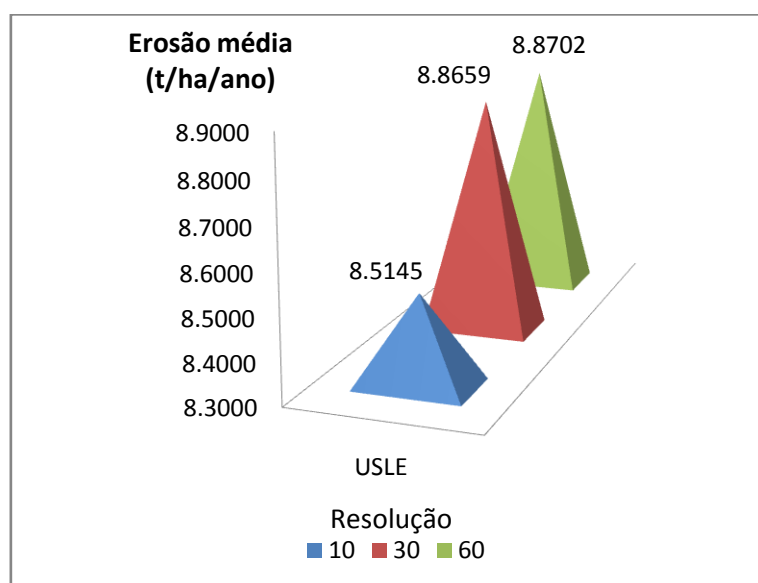
Faz-se referência a outros parâmetros observados durante o processamento do GeoWEPP, para as dimensões das células 10, 30 e 60, tais como localização do ponto de descarga (“outlet”) seleccionado, densidade dos canais de escoamento e delineamento da sub-bacia.

5.1.1 Resultados da erosão média nos modelos USLE e WEPP para as resoluções 10, 30 e 60

Os resultados da erosão média, para as resoluções 10, 30 e 60 são os apresentados no quadro 5.1 e figura 5.1 para o modelo USLE (anexo III – quadros III.1 a III.3) e no quadro 5.2 e figura 5.2 para o modelo WEPP (anexo IV – quadros IV.1 a IV.3).

Quadro 5.1 - Resultados da erosão média obtida pela aplicação da estatística zonal no modelo USLE.

Resolução	Área (Km ²)	Erosão Mínima (t/ha/ano)	Erosão Máxima (t/ha/ano)	Erosão Média (t/ha/ano)	Desvio padrão
10	51.20	0	131.5327	8.5145	12.7461
30	51.09	0	134.3011	8.8659	13.2786
60	50.99	0	126.8906	8.8702	13.2803

**Figura 5.1** – Representação gráfica dos resultados da erosão média no modelo USLE.**Quadro 5.2** - Resultados da erosão média para o modelo WEPP obtidos através da média das classes do GeoWEPP.

Resolução	Área (Km ²)	Erosão Mínima (t/ha/ano)	Erosão Máxima (t/ha/ano)	Erosão Média (t/ha/ano)	Desvio padrão
10	38.83	0	>4	0.0652	0.0533
30	36.00	0	4	0.0728	0.0419
60	31.57	0	>4	0.0642	0.0521

A área apresentada no quadro 5.2 foi a resultante da aplicação da estatística zonal à “grid” da erosão obtida no GeoWEPP (anexo IV - quadros IV.4 a IV.6).

Esta não foi utilizada para obtenção da erosão média, porque o resultado da análise estatística é para o valor atribuído à classe, assim, o valor de cada célula não é o da erosão mas sim o valor numérico associado a cada classe.

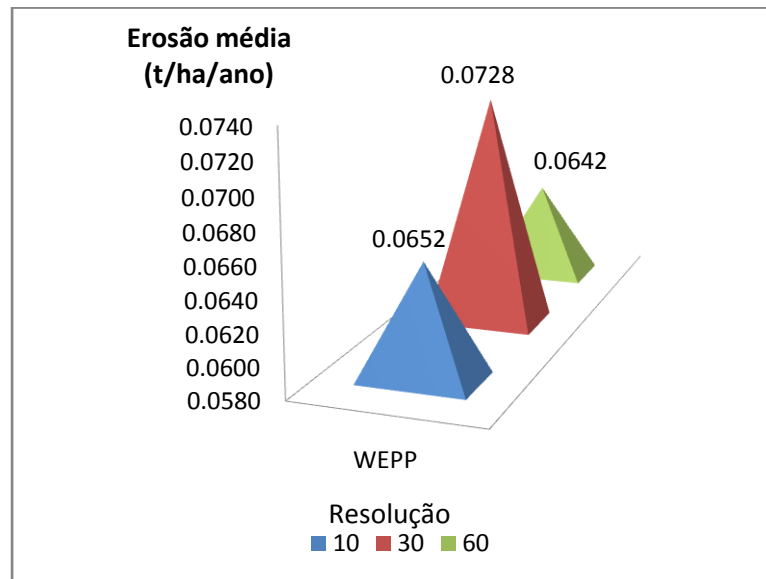


Figura 5.2 – Representação gráfica dos resultados da erosão média no modelo WEPP.

Como se pode observar a erosão média calculada pelo modelo USLE é bastante superior (aproximadamente 99%) à calculada pelo modelo WEPP.

A perda de erosão média aumenta com o aumento da dimensão das células para o caso do modelo USLE e para o modelo WEPP a perda de erosão média para o conjunto de classes obtido no GeoWEPP é maior para a resolução 30, apesar de a variação em termos relativos ser pouco significativa para os três tamanhos testados.

A variação da erosão em relação ao valor médio é maior no modelo USLE, apresentando desvios significativos, o que não acontece no modelo WEPP, em que os desvios são pouco relevantes. Confirma-se esta oscilação pelos valores máximos e mínimos apresentados para os referidos modelos, que apresenta uma grande amplitude no modelo USLE, não acontecendo o mesmo para o modelo WEPP.

As áreas que contribuem para o cálculo da erosão diminuem com o aumento da resolução, é de recordar que a área da zona de estudo é de 51.27 Km². Sendo a área que contribui para este cálculo no modelo WEPP, significativamente reduzida. Este facto será explicado na análise dos resultados.

Os resultados obtidos no relatório do modelo WEPP (anexo IV – relatórios IV.1 a IV.3) para os três tamanhos de células testados revelam diferenças quanto ao valor médio anual da quantidade de sedimentos por unidade de área (quadro 5.3), em relação ao calculado com base na média das classes. Apresentando o valor mais elevado para a resolução 10, e o mais baixo para a resolução 30, como se pode observar na figura 5.3. É de salientar que estes valores são os obtidos para o ponto de descarga.

Quadro 5.3 – Resultados extraídos do relatório produzido pelo WEPP.

Resolução	N.º Vertentes	N.º Canais	Área (Km ²)	P _{ma} (m ³ /ano)	E _{ma} (m ³ /ano)	Qsed _{ma} (t/ano)	Qsed _{ma} /a (t/ha/ano)
10	721	305	39.0200	22755929	113529	760.60	0.260
30	725	337	36.1955	21108705	117583	101.40	0.048
60	755	402	31.7884	18538557	114129	188.00	0.096

Área - Área contributiva para o ponto de descarga - "outlet", (Km²);

P_{ma} - Precipitação média anual, (m³/ano);

E_{ma} - Escoamento médio anual, (m³/ano);

Qsed_{ma} - Quantidade média anual de sedimentos, (t/ano);

Qsed_{ma}/a - Quantidade média anual de sedimentos por unidade de área, (t/ha/ano).

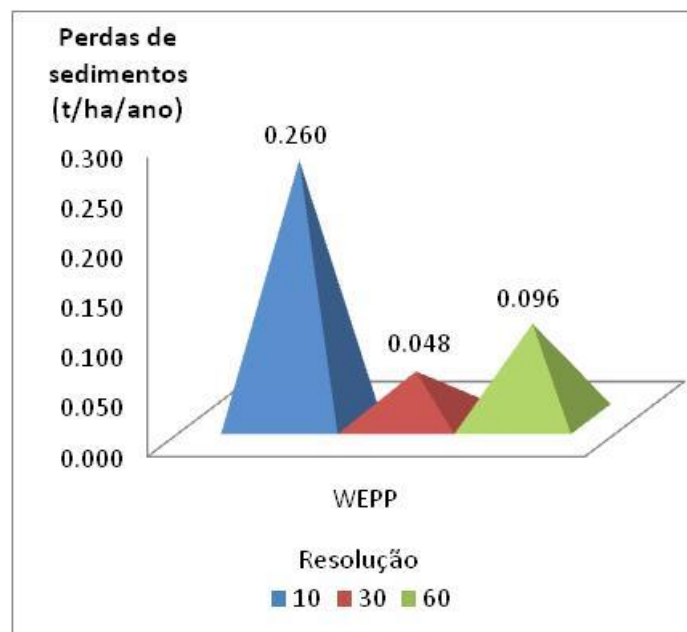


Figura 5.3 - Representação gráfica dos resultados das perdas de sedimentos extraídos do relatório do modelo WEPP.

As cartas de erosão referentes ao modelo USLE e WEPP encontram-se nos anexos VI e VII, respectivamente.

5.1.2 Resultados do escoamento superficial do modelo WEPP para as resoluções 10, 30 e 60

A pertinência da avaliação dos resultados do escoamento superficial prende-se com o facto de servir como forma de validar o modelo, por comparação com os dados observados na Estação Hidrométrica de Entradas, para 14 anos, de 1977 a 1990 (anexo IV – quadros IV.7 a IV.9).

Os resultados do escoamento médio (m^3/s), para as dimensões das células 10, 30 e 60, são os apresentados no quadro 5.4 e figura 5.4 para o valor calculado pelo modelo WEPP, e no quadro 5.5 e figura 5.5 para o valor observado na Estação Hidrométrica de Entradas. Estes resultados referem-se aos eventos diários analisados para os dias em que o modelo WEPP apresentou eventos de escoamento (para o mesmo dia, mês e ano), para os 14 anos em análise.

Quadro 5.4 - Escoamento médio obtido no modelo WEPP.

Resolução	N.º Eventos	Área (Km^2)	Escoamento Mínimo (m^3/s)	Escoamento Máximo (m^3/s)	Escoamento Médio (m^3/s)	Mediana	Desvio padrão
10	270	38.83	0	25.3345	0.4327	0.0001	2.2374
30	174	36	0	24.8962	0.7022	0.0232	2.7299
60	121	31.57	0	24.7184	1.0195	0.0122	3.3222

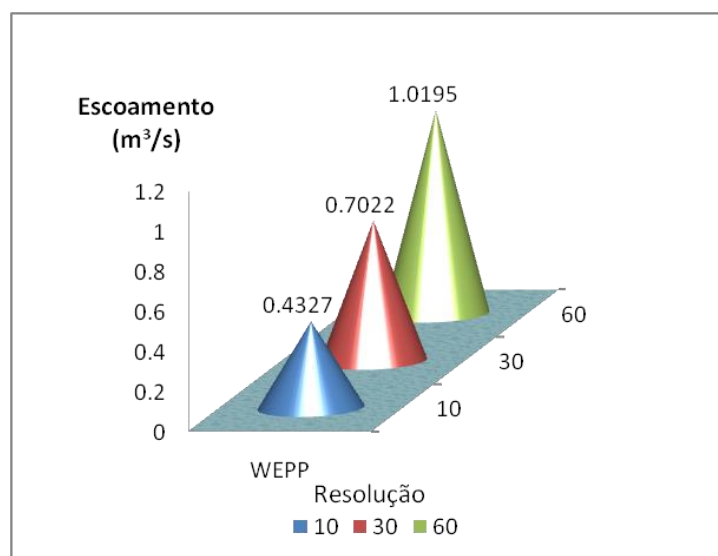
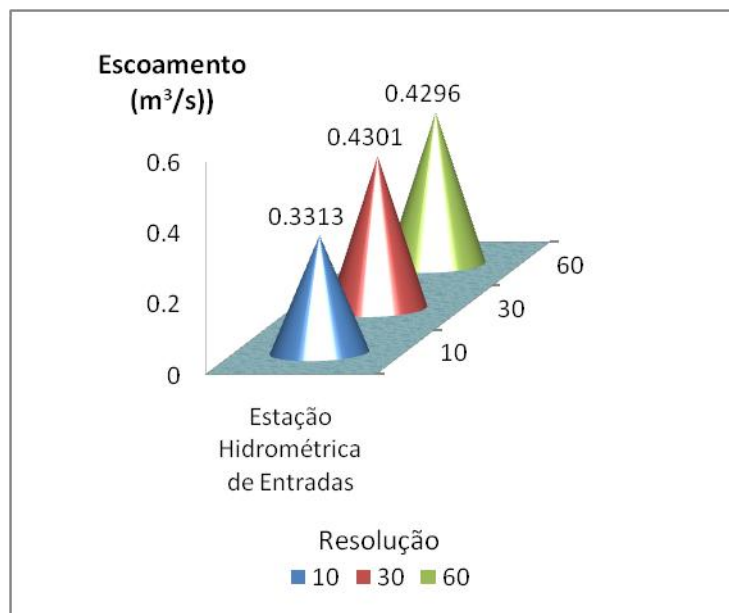


Figura 5.4 – Representação gráfica do escoamento médio no modelo WEPP.

Quadro 5.5 – Escoamento médio observado na Estação Hidrométrica de Entradas.

Resolução	N.º Eventos	Área (Km ²)	Escoamento Mínimo (m ³ /s)	Escoamento Máximo (m ³ /s)	Escoamento Médio (m ³ /s)	Mediana	Desvio padrão
10	270	51.27	0.0000	29.0000	0.3313	0.0100	2.7547
30	174	51.27	0.0000	29.0000	0.4301	0.0100	2.5095
60	121	51.27	0.0000	29.0000	0.4296	0.0100	2.7268

**Figura 5.5** – Representação gráfica do escoamento médio na Estação Hidrométrica de Entradas.

Observando os resultados do escoamento médio (m³/s), constatou-se que este é superior no modelo WEPP, em relação ao observado na Estação Hidrométrica de Entradas, para os três tamanhos de células testados, como se pode visualizar na figura 5.6. Por o número de eventos considerados para comparação dos dados ser diferente para as três resoluções, também a média dos eventos para os valores observados é diferente.

Em termos absolutos o desvio padrão, o valor máximo e o valor mínimo não apresentam diferenças significativas entre o escoamento (m³/s) calculado no modelo WEPP e o observado na Estação Hidrométrica de Entradas. A mediana também está dentro da mesma ordem de grandeza, com exceção da resolução 10, em que esta é significativamente inferior no modelo WEPP.

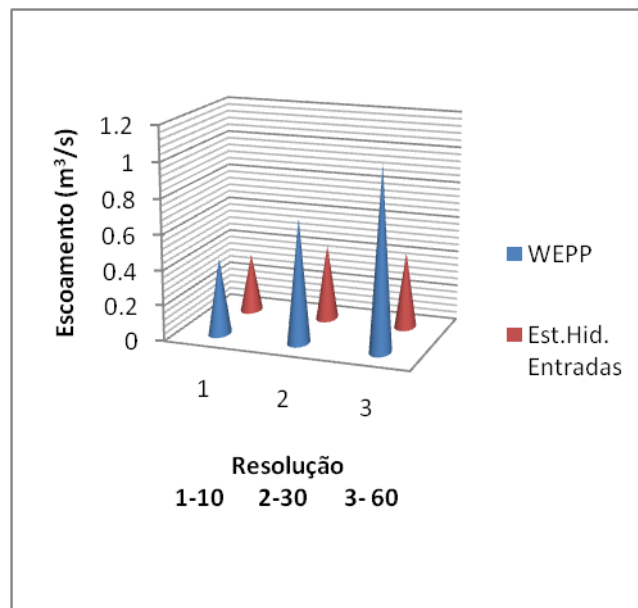


Figura 5.6 – Comparação do escoamento médio no modelo WEPP e na Estação Hidrométrica de Entradas.

O coeficiente de eficiência de NASH e SUTCLIFFE (1970) para o parâmetro escoamento superficial, por evento diário (m^3/s), para 14 anos (1977 a 1990), calculado pelo modelo WEPP, para as três resoluções de células aplicadas, que se baseia nos valores observados na Estação Hidrométrica de Entradas, é o apresentado no quadro 5.6.

Quadro 5.6 - Coeficiente de eficiência de NASH e SUTCLIFFE.

Resolução	Coeficiente de eficiência - R^2
10	-0.71
30	-1.28
60	-1.62

No que se refere ao escoamento médio anual (dam^3) verificou-se que o valor observado na Estação Hidrométrica de Entradas é muito superior (aproximadamente 98%) ao calculado pelo WEPP para as três dimensões de células (10, 30 e 60), como se pode observar no quadro 5.7. Este facto está relacionado com o número de eventos registados, que no WEPP é muito mais reduzido.

É de salientar, que o modelo WEPP só regista eventos para volumes de escoamento superiores a $0.005 m^3$.

Pode-se ainda constatar que tal como na erosão média obtida pela média das classes do GeoWEPP, o escoamento médio anual apresenta valores superiores na resolução 30.

Quadro 5.7 - Escoamento médio anual no modelo WEPP e na Estação Hidrométrica de Entradas.

Situações analisadas	Escoamento médio anual (dam ³)	N.º Eventos
WEPP 10	113.529	270
WEPP 30	117.583	174
WEPP 60	114.129	121
E. H. Entradas	7122.000	2265

5.1.3 Outros parâmetros analisados no modelo WEPP para as resoluções 10, 30 e 60

Verificou-se que o GeoWEPP para uma resolução de 10 dos dados geográficos de entrada (modelo digital do terreno, solo e utilização do solo) constrói uma rede de canais de escoamento menos densa, do que para um tamanho das células de 30 e 60. Registando-se uma maior densidade da rede de canais de escoamento na resolução 60, como se pode observar na figura 5.7.



Figura 5.7 – Representação dos canais de escoamento delineados pelo GeoWEPP.

O ponto “outlet” a seleccionar para as coordenadas pretendidas, correspondente ao ponto de descarga da secção de Entradas que apenas coincide com os canais de escoamento, para um tamanho da célula de 30. Na resolução 60

encontra-se ligeiramente ao lado e na resolução 10 a selecção do ponto “outlet” é realizada com algum afastamento da coordenada pretendida, pois o canal mais próximo não liga aos restantes, não permitindo delinear a sub-bacia pretendida, como se pode visualizar na figura 5.8.

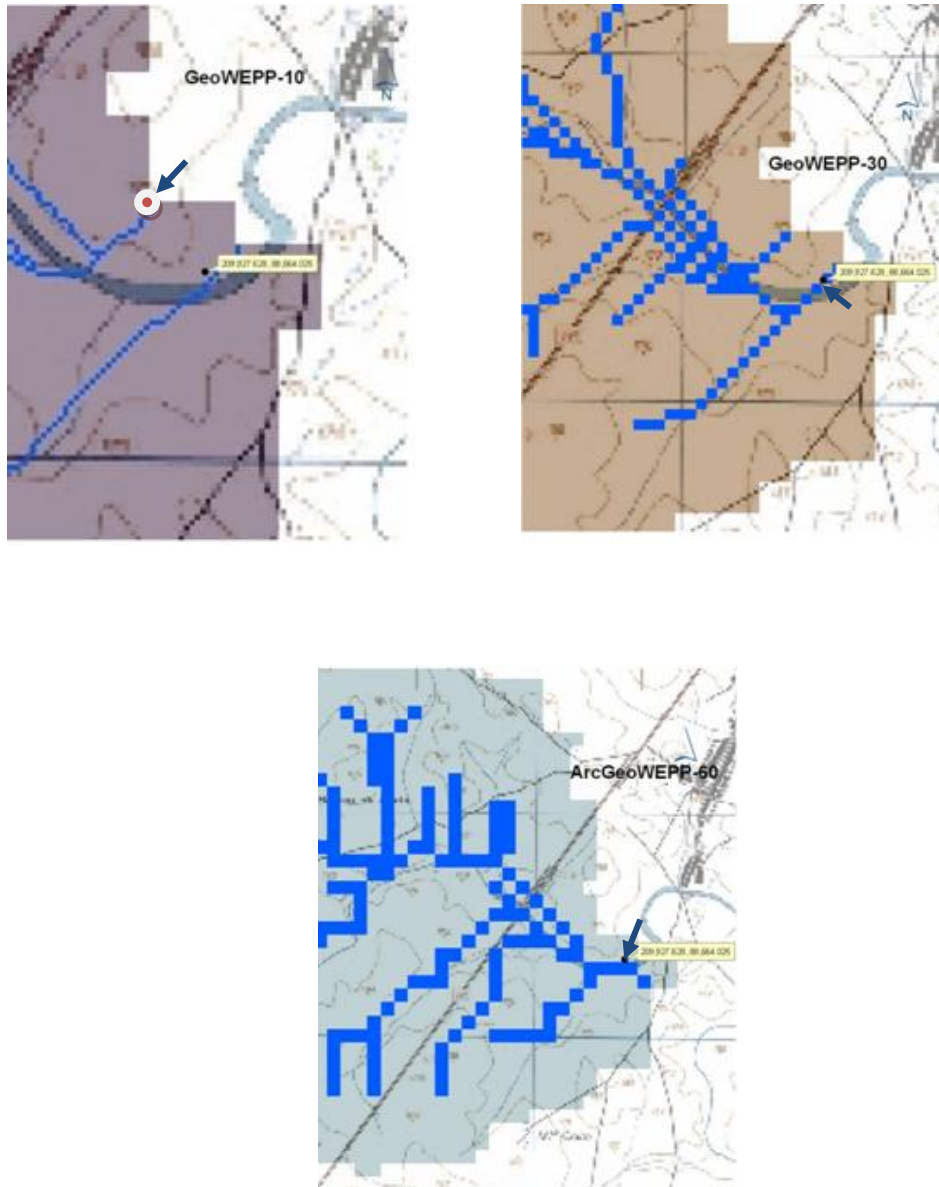


Figura 5.8 – Localização da selecção do ponto “outlet” no GEOWEPP.

Outro facto que se constatou é que o GeoWEPP não delimitou a sub-bacia pretendida na sua totalidade, como já atrás tinha sido mencionado, por a área de

cálculo no modelo WEPP ser menor do que a área real da zona de estudo como se pode verificar na figura 5.9.

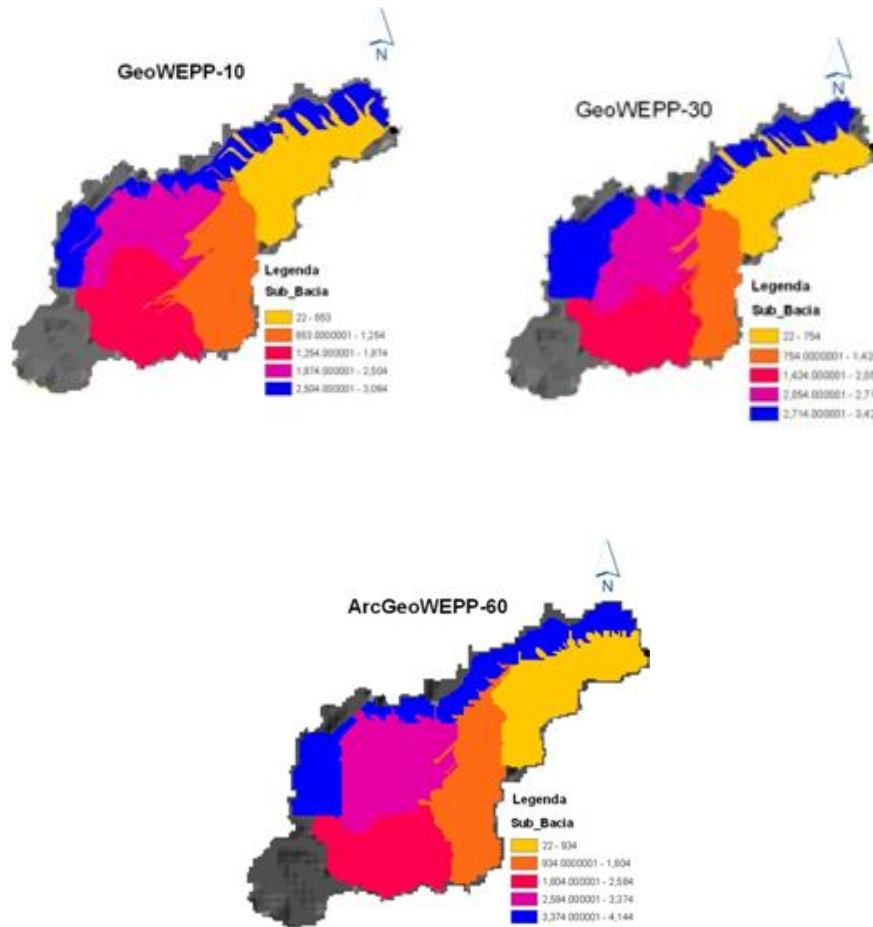


Figura 5.9 – Delimitação da sub-bacia em estudo no GEOWEPP.

Para o método “watershed” que foi o utilizado, e que para cada vertente da sub-bacia do WEPP determina o perfil mais representativo, associando um determinado tipo de solo e uma utilização do mesmo, existe uma limitação quanto ao número máximo de vertentes para a área de estudo.

O modelo não faz o processamento da informação para um número superior a 2900 vertentes e 1000 canais (MINKOWSKI & RENSCHLER, 2008). Este facto foi observado neste estudo quando se tentou aplicar o modelo à Sub-Bacia do Rio Cobres na sua totalidade.

5.2 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Citando um estudo elaborado pelo SNIRH (1997), sobre a avaliação da erosão hídrica na parte portuguesa da Bacia Hidrográfica do Rio Guadiana, recorrendo à Equação Universal de Perda de Solo de WISCHMEIER & SMITH (1978), com recurso aos Sistemas de Informação Geográfica (SIG): *“Os valores médios de erosão não são muito elevados, cerca de 10 t/ha/ano para a Bacia do Rio Guadiana, considerando as estimativas por excesso relativas à própria metodologia e consistentes com os valores obtidos em talhões experimentais. O factor fisiográfico é o mais determinante nos processos erosivos.”*

Tendo por base a citação anterior, e que a zona de estudo se encontra inserida na Sub-Bacia do Rio Cobres, pertencente à Bacia Hidrográfica do Guadiana, pode-se verificar que os resultados apresentados no que concerne ao cálculo da erosão média anual nos dois modelos seleccionados no âmbito deste estudo, de um modo geral, o modelo que apresenta o resultado mais consonante é o USLE ou EUPS, pois é o que apresenta um valor médio (8.51 a 8.87 t/ha/ano) mais próximo das 10 t/ha/ano, valor obtido no estudo atrás citado.

Pode-se assim verificar que no modelo WEPP o valor da erosão média anual (0.06 a 0.07 t/ha/ano para a média das classes do GeoWEPP e 0,05 a 0,26 t/ha/ano para o valor obtido no relatório do WEPP no ponto de descarga) se encontra subestimado.

Este facto está em concordância com os resultados obtidos para o escoamento médio anual resultantes da aplicação do modelo WEPP (113.53 a 117.58 dam³), em que se verificou que apresentava um valor muito inferior ao valor real observado na secção de Entradas (7122 dam³). Verificou-se que o número de eventos diários com escoamento é muito mais reduzido no modelo WEPP (121 a 270 eventos) do que o observado na realidade (2265 eventos). Outro aspecto a ter em conta é que o modelo WEPP só regista como evento, volumes de escoamentos superiores a 0.005 m³.

O factor fisiográfico apresenta alguma relevância pelo facto de a zona alvo de estudo apresentar declives baixos, o que pressupõe muitos eventos com baixo escoamento que não são contabilizados pelo modelo WEPP, e que num todo pode ser representativo, conduzindo assim a uma subestimação dos resultados.

Como a erosão está inter-relacionada com o escoamento, os resultados obtidos também estão como seria de esperar.

COUTINHO & ANTUNES (2002) verificaram também que o modelo WEPP é sensível ao declive, isto é, à medida que o declive aumenta o destacamento do solo também aumenta.

A variação da erosão média anual no modelo USLE, nos três tamanhos de células aplicados, apesar de aumentar com a resolução, não é muito significativa, variando em termos absolutos apenas em décimas, não sendo conclusivo quanto à dimensão das células a aplicar ao referido modelo.

No escoamento médio anual, o valor mais elevado no modelo WEPP registou-se na resolução 30, que está em consonância com o valor médio de erosão obtido pela média das classes do GeoWEPP que também foi mais elevado nesta resolução. No entanto, observando os valores extraídos do relatório existe uma contradição. Como já foi referido estes valores referem-se ao ponto de descarga, não sendo aqui registadas as deposições que ocorrem ao longo das vertentes.

É de referir que o algoritmo de cálculo da perda de sedimentos no WEPP é altamente influenciado pelos parâmetros relativos ao solo.

Em uma análise de incerteza do modelo WEPP, CHAVES & NEARING (1991) concluíram que *“As incertezas inerentes aos parâmetros e às variáveis do modelo se propagam de forma significativa até às previsões, com uma propagação média de erro de 400%, afectando principalmente os valores mais baixos de perda de solo. Tal facto se deve, em parte, à alta não linearidade das equações do modelo, aliada à natureza booleana de sua estrutura”*.

Outro factor a considerar na análise dos resultados tem a ver com o ficheiro climático utilizado, que não foi construído para este estudo em concreto. Seria desejável a construção do referido ficheiro para a estação meteorológica mais próxima (Castro Verde) e para um número de anos igual ou superior a 30 anos (número de anos utilizado em modelos hidrológicos).

Os ficheiros de gestão das culturas também não foram elaborados para este estudo, utilizando-se os existentes no modelo WEPP para o caso dos Estados Unidos, tendo sido adaptados de acordo com a utilização dos solos. Este facto tem a ver com a falta de dados existentes para a construção dos referidos ficheiros.

Outro aspecto analisado com grande relevância para a escolha da resolução a aplicar aos dados geográficos de entrada no modelo WEPP, foi a selecção da

localização do ponto “outlet” para as coordenadas pretendidas, que apenas apresenta uma perfeita sobreposição com a rede de canais de escoamento gerados pelo GeoWEPP para uma resolução de 30.

A velocidade de processamento também aponta para a escolha da resolução 30 dos dados geográficos de entrada no modelo WEPP para o caso em estudo.

O desenvolvimento de um modelo fisicamente baseado pode dividir-se em duas fases: criação de um protótipo do modelo e a sua avaliação (NEARING *et al.*, 1994). Assim, a comparação entre os valores observados e os valores calculados pelo modelo WEPP, é um processo importante na avaliação do modelo.

NEARING (1998), tentou encontrar uma resposta para o facto dos modelos de previsão da erosão sobestimarem a perda de solo para pequenos eventos, e subestimarem a perda de solo para grandes eventos. Assim referiu que variações da micro-topografia podem afectar os resultados do escoamento e erosão.

A eficiência negativa do modelo resulta do enviesamento dos valores observados, pois para os eventos analisados, o modelo WEPP calcula por excesso o escoamento médio (0.43 a 1.02 m³/s), em relação aos observados (0.33 a 0.43 m³/s).