

Análise da Exatidão de Diferentes Métodos de Interpolação para Geração de Modelos Digitais de Elevação e Obtenção de Características Morfométricas em Bacias Hidrográficas

Jonas Machado Pires, Melchior Carlos do Nascimento, Rogério Mercandelli Santana, Carlos A. A. Soares Ribeiro

DEF/CCA/Universidade Federal de Viçosa

jmachadopires@bol.com.br, mgeop@bol.com.br, mercandelle@yahoo.com.br, cribeiro@ufv.br.

Recebido: 31/03/04 revisado: 06/10/04 aceito: 03/06/05

RESUMO

O uso de modelos digitais de elevação é parte integrante de praticamente todos os estudos das componentes do meio físico que utilizam Sistemas de Informação Geográfica. Entretanto, devido à complexidade como o relevo e seus inúmeros acidentes se apresentam, a maioria dos métodos de interpolação que visam criar Modelos Digitais de Elevação (MDE) produz resultados que, segundo a natureza dos estudos propostos, podem comprometer a qualidade e a exatidão das informações. Assim, o estudo em questão objetivou analisar de forma comparativa a qualidade e o nível de exatidão dos MDE's gerados pelos interpoladores IDW e SPLINE e TOPOGRID, disponíveis no software ArcGIS. De acordo com as análises visuais e estatísticas, os métodos de interpolação TOPOGRID e Spline Tensionado apresentaram os melhores resultados.

Palavras-chave: Interpolação, IDW, Spline, TOPOGRID, MDE.

INTRODUÇÃO

Um dos desafios básicos da análise hidrológica é o delineamento e caracterização morfométrica das bacias hidrográficas e da rede de drenagem associada. O conhecimento dessas características é de utilidade em numerosas aplicações, tais como na modelagem dos fluxos hidráulicos, do transporte e da deposição de poluentes químicos, na previsão de inundações e na compreensão de questões geomorfológicas, geológicas e pedológicas (Ceballos & Schnabel, 1998; Rocha & Kurtz, 2001).

Atualmente, o delineamento automatizado e posterior análise das bacias hidrográficas e da sua respectiva rede de drenagem podem ser feitos a partir de representações digitais do relevo denominadas Modelos Digitais de Elevação (MDE), utilizando as ferramentas disponíveis na maioria dos Sistemas de Informação Geográfica (SIG) (Garbrecht & Martz, 1999). Segundo Ribeiro (2002), essa abordagem tem substituído, com vantagens, os métodos manuais tradicionalmente utilizados. Entre as vantagens citadas, encontra-se a possibilidade de obtenção de resultados menos subjetivos, em menor tempo e replicáveis (Tribe, 1992; Ribeiro, 2002). E ainda, a exatidão das características extraídas a partir dos MDE é comparável à obtida por métodos manuais (Garbrecht & Martz, 1993; Eash, 1994).

A prática de usar o MDE para derivar representações da rede de drenagem e das bacias hidrográficas foi estimulada a partir do desenvolvimento do algoritmo "Deterministic-8Node" (D8) (O' Callaghan & Mark, 1984). Este algoritmo determina que, em uma grade de células que representam os valores altimétricos do relevo, o escoamento da água acontece a partir de cada célula para um dos seus oito vizinhos (ortogonais e diagonais), na direção da maior declividade. O processamento produz uma rede de células com forma de árvore que representa os caminhos do sistema de escoamento das bacias hidrográficas (Pozzebon, 2000). Segundo Tribe (1992) existem três situações em que não é possível atribuir uma direção de escoamento às células do MDE por meio desse algoritmo: (a) locais com duas ou mais possíveis direções de drenagem (bifurcações); (b) áreas planas, onde as células apresentam a mesma elevação; e (c) depressões espúrias ou falsas depressões ("sinks"), representadas por células com elevação menor àquela das células circundantes.

De acordo com Tribe (1992) e Garcia & Camarasa (1999), as depressões espúrias são muito frequentes nos MDE e derivam-se de erros nos dados de entrada ou erros introduzidos no processo de interpolação. As falsas depressões constituem um problema importante na geração de modelos de previsão do escoamento, pois confundem o dire-

cionamento do escoamento e devem ser removidas para a geração de um MDE consistente sob o ponto de vista hidrológico. Segundo Ribeiro (2002) a maioria dos interpoladores disponíveis nos SIG foi desenvolvido para a representação de variáveis distribuídas em forma contínua; entretanto, o relevo, sendo composto por divisores de água e talvegues, caracteriza-se por apresentar linhas de discontinuidades. A utilização desses interpoladores para a geração de MDE introduz distorções, como as depressões espúrias, que descaracterizam a rede de drenagem e, portanto, o escoamento superficial.

Jenson & Domingue (1988) trabalharam o conceito de eliminação de depressões espúrias por meio do seu “preenchimento” até a elevação da célula vizinha de menor elevação. Este conceito tem sido implementado no módulo Grid do software ArcInfo (ESRI, 1997), na extensão Spatial Analyst do software ArcView 3.X (ESRI, 1999) e na customização implementada pelo Center for Research in Water Resources da Universidade de Texas (Austin) denominada CRWR-PrePro (Olivera & Maidment, 1999) como parte do algoritmo fill, entre outros softwares.

Um método utilizado para delineamento da rede de drenagem a partir do MDE hidrológicamente consistente reside na utilização do MDE como superfície de “mínimo custo” (os valores de elevação de cada célula representam o custo ou impedância) e reconhecimento das nascentes da hidrologia mapeada, que são consideradas como células iniciais, a partir das quais existe formação de canais. A partir desses planos de informação podem ser delineados os caminhos de mínimo custo acumulado (resistência mínima) a partir das células iniciais, que representam os canais da rede de drenagem. Partindo dos planos de informação de direção de escoamento, escoamento acumulado e rede de drenagem, podem ser individualizadas as bacias hidrográficas para posterior caracterização e análise morfométrica utilizando as ferramentas padrões de um SIG (Ramallo, 2003).

Segundo Hutchinson (1996), a exatidão total do MDE é dependente do relevo local, da paisagem real e da resolução do MDE, assim como da exatidão dos dados de elevação e da hidrografia. Nas áreas onde os dados de elevação são densos, os erros no MDE são de aproximadamente 10 m, por outro lado, naquelas com dados de elevação complexos, os erros podem ser superiores a 100 m. Estes ocorrem quando o procedimento de interpolação tem que resolver conflitos entre manter a fidelidade dos dados de elevação e manter o escoamento da água

do rio abaixo, obedecendo as linhas de ruptura indicadas (hidrografia).

Dessa maneira, objetivando avaliar o nível de exatidão dos algoritmos de interpolação utilizados para geração de MDE para fins de estudos e análises de bacias hidrográficas, foi realizada nesse estudo a comparação da qualidade dos dados gerados a partir dos métodos Inverse Distance Weight (IDW), *Spline* e TOPOGRID, usando pontos cotados de uma microbacia hidrográfica situada no município de Viçosa, Minas Gerais.

MATERIAIS E MÉTODOS

Área de estudo

A área selecionada para realização desse estudo foi a microbacia do córrego do Paraíso, com 212 ha, inserida na bacia hidrográfica do ribeirão São Bartolomeu, no município de Viçosa – MG, situada nas coordenadas de 20° 48' de latitude sul e 42° 53' de longitude oeste (Figura 1).

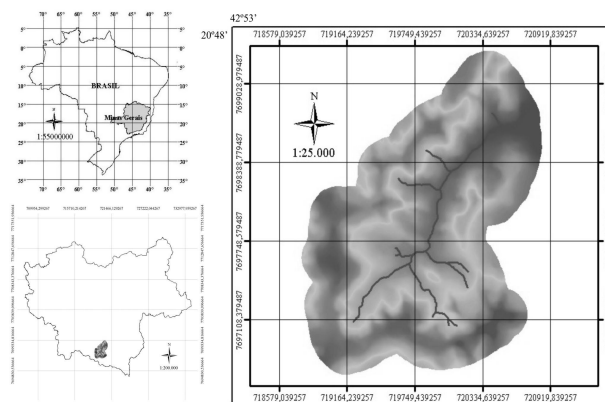


Figura 1 – Localização da Área de estudo

A sua escolha deu-se, principalmente, em função de ser uma área muito estudada e conhecida, da qualidade, confiabilidade e disponibilidade dos dados altimétricos.

Embora a Zona da Mata esteja situada sobre largo prolongamento (aproximadamente 250 x 120 km) da Serra da Mantiqueira no sentido nordeste, ela não possui altitudes constantes. As altitudes variam de 200 – 400 m na sua porção central até 800 – 900 m na sua periferia. Na área de estudo, as altitudes encontradas variam entre 680 m e 850 m. De acordo com Alves (1993), o relevo é ondulado a

fortemente ondulado, com predominância de latossolo vermelho-amarelo nos topos de morro, podzólico vermelho-amarelo na fase terraço e elevações e solos hidromórficos e aluviais nos leitos dos cursos d'água.

Segundo a classificação de Köppen, o clima é do tipo Cwb, tropical de altitude com verões frescos e chuvosos (Rodrigues, 1996).

Tabela 1 – Métodos adotados e as respectivas variáveis usadas para interpolação

INTERPOLADOR	MÉTODO	BASE DE DADOS
IDW-1	SEM BARREIRA	Pontos altimétricos
IDW-2	COM BARREIRA	Pontos altimétricos e a hidrografia como parâmetro de barreira.
<i>Spline-1</i>	TENSIONADO	Pontos altimétricos
<i>Spline-2</i>	REGULARIZADO	Pontos altimétricos
TOPOGRID-1	CONDICIONADO	Pontos altimétricos e Limite da área
TOPOGRID-2	PADRÃO	Curvas de Nível, elevação do terreno, hidrografia orientada na direção de escoamento e o limite da área

Material

Para a obtenção dos modelos digitais de elevação foram utilizadas curvas de nível com equidistância vertical de 10 m, produzidas por restituição manual de fotografias aéreas na escala de 1:10.000; os arcos da rede hidrográfica mapeada; os pontos das nascentes da rede hidrográfica mapeada; o limite que define a extensão da área estudo; e uma amostra de 10% dos pontos de curvas de nível, selecionados automaticamente pelo comando VIP do software ArcInfo. A base de dados encontra-se nos formatos coverage e grid em sistema de coordenadas UTM, Zona 23 sul, Datum de referência SAD 69

(South American Datum) e unidades horizontais em metros.

O processamento e análise dos dados foram realizados nos módulos ArcMap e ArcInfo Workstation do software ArcGIS, versão 8.2 (ESRI, 2002).

Métodos

A etapa inicial consistiu na preparação e seleção dos dados a serem utilizados pelas técnicas de interpolação propostas nesse estudo. Devido à limitação de esses algoritmos aceitarem somente pontos como dados de entrada, excetuando-se o TOPOGRID, foi necessário converter as curvas de nível para o modelo matricial, com resolução de 5 metros e, posteriormente, para feições do tipo ponto no formato vetorial. Em seguida, selecionou-se uma amostra de 10% desses pontos por meio do comando VIP (ArcInfo Workstation), que serviram como base de comparação na análise estatística e pelos algoritmos de interpolação para geração dos MDE's. Para tanto, testaram-se os métodos IDW com e sem Barreira, *Spline* Tensionado e Regularizado e o TOPOGRID com todos os parâmetros e apenas com os pontos amostrais usados pelos métodos anteriores e o limite da área de estudo (Tabela 1).

Como o método TOPOGRID é considerado padrão na obtenção de características morfométricas de bacias hidrográficas, apresentando-se como um modelo digital hidrológicamente consistente (Hutchinson, 1989), visto que esse possibilita utilizar outras variáveis, tais como curvas de nível, hidrografia orientada, lagos, depressões naturais, além de pontos cotados e limites de interpolação, utilizou-se para o método CONDICIONADO (TOPOGRID-1) apenas as amostras de pontos usados nos demais métodos e o limite que define a bacia hidrográfica como variáveis para interpolação. Esse procedimento visa fornecer as mesmas condições usadas pelos outros algoritmos para assim poder avaliá-los nas mesmas situações.

Para todos os processos de interpolação um ponto desfavorável é o surgimento de depressões espúrias no MDE gerado, descaracterizando a rede de drenagem e, conseqüentemente o escoamento superficial (Hutchinson, 1996). Essas imperfeições, por alterarem a dinâmica hidrológica, influenciam de forma negativa a obtenção das características morfométricas tais como a direção de escoamento, escoamento acumulado, bacias de contribuição, dentre outras (Chaves, 2002). Assim, foram identificadas e eliminadas as depressões espúrias existentes nos MDE's gerados pelos métodos de interpolação adotados nesse estudo, executando-se procedimen-

tos operacionais disponíveis no módulo *Spatial Analyst* (ArcGis 8.2), conforme metodologia proposta por Ribeiro (2003). Após a eliminação dessas imperfeições, foram obtidas a direção do escoamento superficial e a hidrografia numérica dos MDE's gerados pelos referidos métodos (Tabela 1) a partir das nascentes. Em seguida, efetuou-se o afinamento da hidrografia numérica, células de 1,5 m de largura, e realizada a comparação com a hidrografia mapeada. A Figura 2 simplifica os procedimentos operacionais descritos nessa etapa.

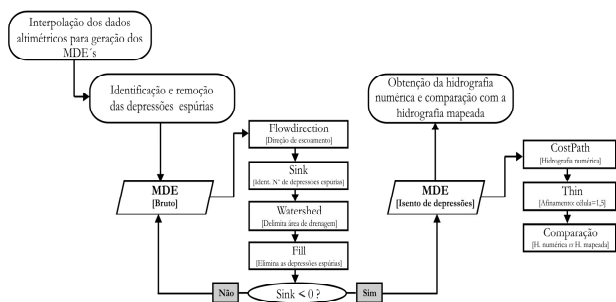


Figura 2 – Esquema metodológico dos procedimentos operacionais.

Segundo Cuartero et. al. (2001) a avaliação da precisão dos modelos digitais de elevação gerados a partir dos diferentes algoritmos de interpolação pode ser realizada por simples reconhecimentos visuais, validações cruzadas baseadas em relações de vizinhança, superposição de curvas de nível e pela comparação estatística com pontos de controle, analisando a inexistência de erros sistemáticos e a presença de erros aleatórios. Desta maneira, considerando a amostra de pontos altimétricos selecionados das Curvas de nível e a hidrografia mapeada, optou-se pelas análises de cruzamento e estatística.

A análise de cruzamento foi realizada comparando-se a hidrografia numérica, derivada dos MDE's, e a hidrografia mapeada. Essa objetivou avaliar o nível de coincidência por meio da sobreposição de células. Para tanto, foi gerada a hidrografia numérica pelo comando CostPath e, em seguida, realizado o afinamento da rede linear de células por meio do comando Thin. A seguir, converteu-se a hidrografia mapeada para formato grid e aplicada uma operação algébrica entre essas para identificar a sobreposição de células.

Na análise estatística obtiveram-se os valores derivados a partir da diferença entre os modelos digitais de elevação e as amostras de pontos selecio-

nados das Curvas de nível, anteriormente admitido nesse estudo como verdade de campo. Nessa, foram calculados a média, os valores mínimos e máximos e o desvio padrão de maneira estratificada, considerando os locais de máximo, mínimo, côncavos e convexos da superfície para todos os MDE's (Figura 3).

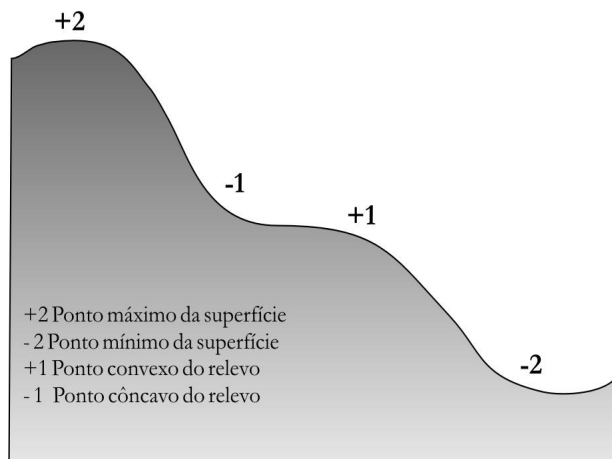


Figura 3 – Representação gráfica do relevo (ESRI, 2002)

De acordo com Nicolau et al. (1999), a seleção do melhor método de interpolação implica a comparação de diversos parâmetros estatísticos, dentre esses o Erro Médio Quadrático (EMQ). Assim, utilizando as funções de análises geoestatísticas do software ArcGis, foram calculados o EMQ para avaliar o nível de exatidão dos MDE's em relação à verdade de campo. Além disso, realizou-se o teste t de Student objetivando avaliar se os resultados obtidos foram estatisticamente significativos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Analisando os resultados descritos na Tabela 2, pôde-se constatar que os métodos de interpolação exigiram números diferentes de interações para eliminar as depressões espúrias. O maior número de depressões espúrias denota a dificuldade que os algoritmos encontraram para confeccionar modelos com consistência hidrológica. Assim sendo, constatou-se que os métodos IDW-2 e Spline-2, tiveram inicialmente o maior número de depressões espúrias, respectivamente, 479 e 774. Por outro lado, o TOPOGRID-2 (Padrão) e TOPOGRID-1 (Condicionado), apresentaram inicialmente o menor número de depressões espúrias, respectivamente, 3 e 23.

Tabela 2 – Números de interações necessárias para eliminação das depressões espúrias geradas pelos diferentes métodos de interpolação.

INTERPOLADOR	INTERAÇÕES	Nº DE DEPRES- SÕES ESPÚ- RIAS (SINK)
IDW-1	2	297
IDW-2	3	479
Spline-1	3	194
Spline-2	4	774
TOPOGRID-1	2	23
TOPOGRID-2	1	3

Embora essas imperfeições sejam facilmente eliminadas por rotinas computacionais, no caso de estudos realizados em bacias hidrográficas de grande extensão, tais imperfeições influenciam de maneira significativa o processamento das informações. Os resultados obtidos com os cruzamentos da hidrografia numérica, derivadas dos MDE's, com a hidrografia mapeada comprovam a influência destas imperfeições na consistência hidrológica dos métodos de interpolação (Figura 3).

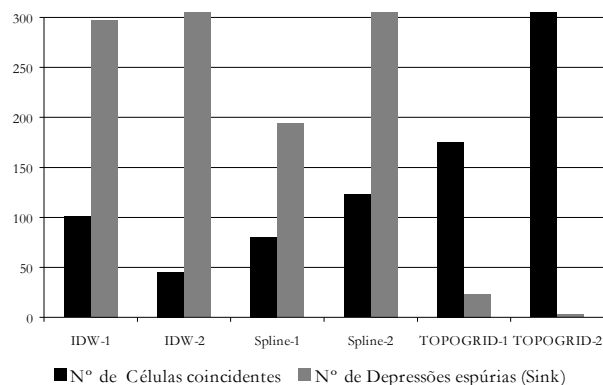


Figura 3 – Relação entre as depressões espúrias dos MDE's e a coincidência da hidrografia numérica com a hidrografia mapeada.

O algoritmo de interpolação que apresentou maior coincidência com a hidrografia mapeada foi o TOPOGRID para ambas as situações, isto é, TOPOGRID-1 (Condicionado) e TOPOGRID-2 (Padrão), respectivamente, com 19,06% e 58,39% das células superpondo-se à hidrografia mapeada.

Por outro lado, dentre os métodos analisados, aquele que apresentou a menor coincidência foi o IDW-2 com 4,90% das células superpondo-se a hidrografia mapeada (Tabela 3).

Tabela 3 – Resultados dos cruzamentos entre a hidrografia numérica e a hidrografia mapeada.

Interpolador	Nº de Células Da Hidrogra-	H. Numérica Vs H. Mapeada ¹	
		Nº de células coincidentes	% de células coincidentes
IDW-1	963	101	11,00
IDW-2	929	45	4,90
Spline-1	935	80	8,71
Spline-2	998	123	13,40
TOPOGRID-1	886	175	19,06
TOPOGRID-2	908	536	58,39

¹Hidrografia mapeada é constituída por uma malha de 918 células.

Embora o resultado para o método de interpolação TOPOGRID-2 (Padrão) fosse esperado, pois os parâmetros usados diferem dos demais, observou-se que esse apresentou maior eficiência também nas mesmas condições usadas para os métodos IDW e Spline.

A Figura 4 apresenta uma comparação visual entre a hidrografia mapeada e as hidrografias numéricas derivadas pelos métodos de interpolação analisados nesse estudo. Observa-se para todos os casos que os MDE's criaram percursos alternativos à hidrografia mapeada. A maior coincidência entre a hidrografia numérica e mapeada demonstra a eficiência do algoritmo de interpolação e a sua consistência hidrológica. Assim, analisando a Figura 4, pode-se constatar visualmente que a hidrografia derivada a partir do TOPOGRID apresentou maior coincidência com a mapeada.

Para verificar a eficiência e o nível de exatidão dos métodos de interpolação analisados nesse estudo, realizou-se o cálculo do Erro Médio Quadrático (EMQ). Observando-se a Tabela 4, pode-se observar que o TOPOGRID foi o algoritmo que apresentou o menor resultado para o EMQ. Em uma comparação análoga, tomando-se por base o número inicial de depressões espúrias (Tabela 2), percebe-se uma relação direta entre esses resultados, ou seja, os métodos de interpolação que apresentaram

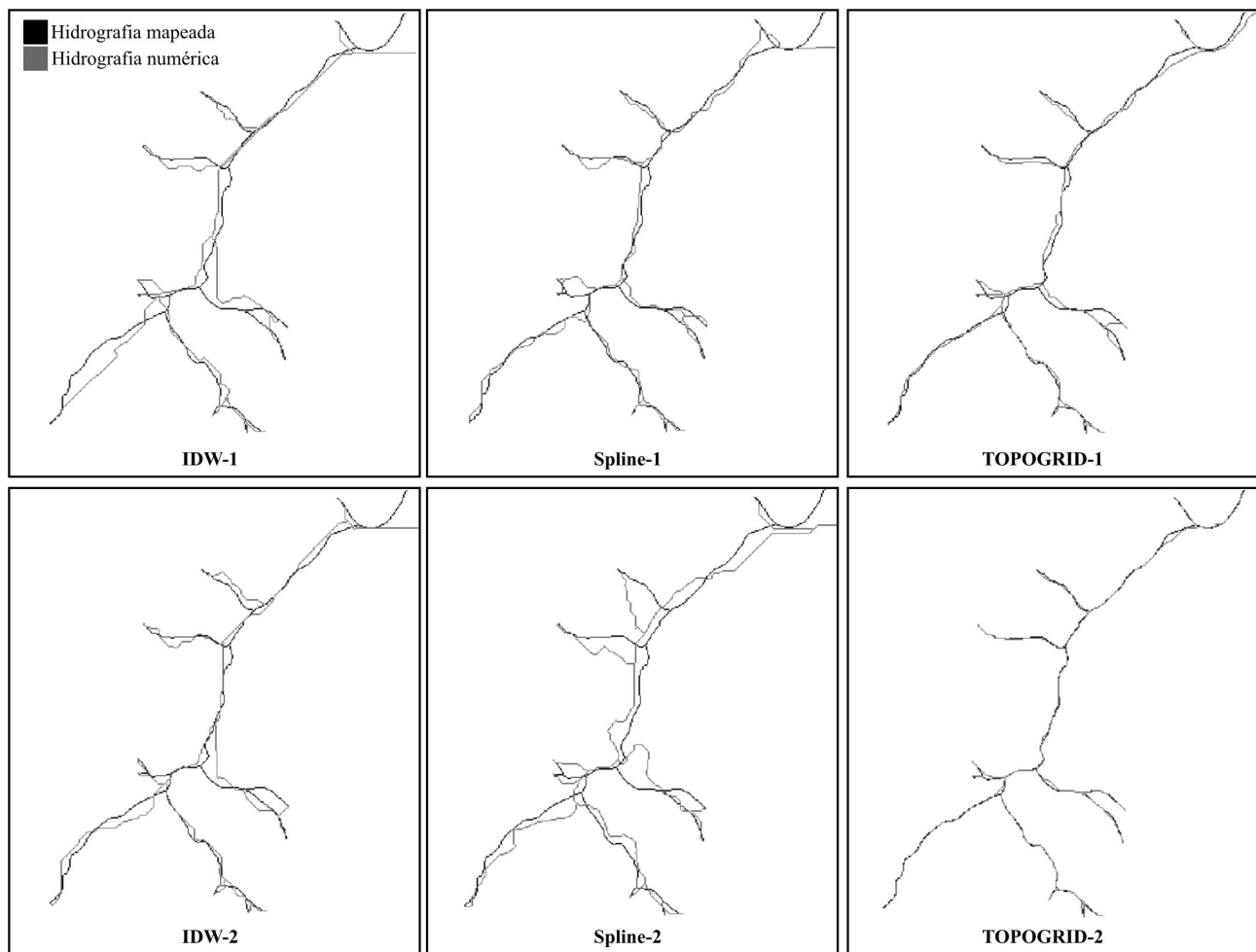


Figura 4 – Comparação visual da sobreposição das hidrografias numérica e mapeada

o maior número depressões espúrias foram respectivamente aqueles que tiveram os maiores valores de EQM.

Tabela 4 – Valores do Erro Médio Quadrático (EQM).

INTERPOLADORES	EQM
IDW-1	1,347
IDW-2	1,546
Spline-1	1,254
Spline-2	1,725
TOPOGRID-1	1,108
TOPOGRID-2	0,9645

Observando os resultados na Tabela 5, que apresenta as estatísticas descritivas relativas aos locais

da superfície do relevo (Figura 3) para os diferentes métodos de interpolação, constatou-se pelo teste t de Student que as diferenças de altitude entre os MDE's e a verdade de campo não são estatisticamente significativas ao nível de 5% de probabilidade. Vale ressaltar que nessa etapa da análise, optou-se pela exclusão do método de interpolação TOPOGRID-2 (Padrão) por esse não ter sido gerado nas mesmas condições dos demais. Entretanto, analisando essas estatísticas, constata-se que o TOPOGRID-1 apresentou de maneira geral os melhores resultados, isto é, os menores valores para a média e desvio padrão.

Contudo, analisando a performance desses interpoladores de acordo com o tipo de superfície (-2; +2; -1 e +1), foi possível observar que para as áreas de pouca declividade (-2) o método de interpolação TOPOGRID foi superado pelo Spline-1, que apre

Tabela 5 – Estatística descritiva e teste de t para as amostras estratificadas do relevo.

MÉTODO CODIGO		CLASSES	AREA (m ²)	DIFERENÇA		MÉDIA	DESVIO PADRÃO	Teste t de Student (5%)	
				Mínimo	Máximo			Calculado	Tabelado
IDW-1	-2,00	4	100	0,5215	11,12	6,45	4,27	0,34	3,18
	-1,00	14983	374575	0,0001	20,43	4,30	3,42	0,20	1,96
	1,00	15926	398150	0,0008	20,60	4,59	3,42	0,12	1,96
	2,00	63	1575	0,0186	13,25	5,61	4,10	0,15	2,00
IDW-2	-2,00	4	100	0,5215	11,42	6,71	4,32	0,40	3,18
	-1,00	14983	374575	0,0002	44,78	4,50	3,60	0,14	1,96
	1,00	15926	398150	0,0008	20,60	4,71	3,45	0,08	1,96
	2,00	63	1575	0,0074	13,22	5,84	4,01	0,21	2,00
Spline-1	-2,00	4	100	0,0675	5,80	1,91	2,30	1,34	3,18
	-1,00	14983	374575	0,0002	20,67	2,65	2,48	0,95	1,96
	1,00	15926	398150	0,0001	18,52	2,70	2,40	0,96	1,96
	2,00	63	1575	0,0440	10,78	3,31	3,01	0,56	2,00
Spline-2	-2,00	4	100	1,8304	18,96	9,32	6,43	0,67	3,18
	-1,00	14983	374575	0,0002	88,05	3,79	4,58	0,26	1,96
	1,00	15926	398150	0,0001	44,11	3,86	3,89	0,29	1,96
	2,00	63	1575	0,0623	21,23	5,38	4,79	0,08	2,00
TOPOGRID-1	-2,00	4	100	0,1935	6,53	2,54	2,58	0,95	3,18
	-1,00	14769	369225	0,0001	14,48	2,14	1,81	1,58	1,96
	1,00	15913	397825	0,0001	10,68	2,38	1,93	1,36	1,96
	2,00	63	1575	0,0041	9,03	2,62	2,47	0,96	2,00

Tabela 6 – Cruzamento entre as estatísticas obtidas para os diferentes métodos.

POSICÃO	MÉTODO DE INTERPOLAÇÃO	DEPRESSÕES ESPÚRIAS	MÉDIA				EMQ
			Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão	
1º	TOPOGRID-1	23	0,049438	10,17876	2,4172925	2,1983	1,108
2º	Spline-1	194	0,0280	13,9427	2,6433	2,5482	1,254
3º	IDW-1	291	0,1353	16,3484	5,2375	3,8020	1,347
4º	IDW-2	479	0,1325	22,5033	5,4422	3,8444	1,546
5º	Spline-2	774	0,4733	43,0881	5,5861	4,9222	1,725

sentou os melhores resultados de média e desvio padrão, respectivamente, 1,91 e 2,30. Tal fato é justificado devido ao desempenho do TOPOGRID ser bastante satisfatório para regiões de hidrografia encaixada, o mesmo não ocorrendo em regiões de

relevo relativamente plano, geralmente associado aos padrões de drenagem anastomótico (ESRI, 1996).

Analisando o cruzamento dos resultados obtidos das estatísticas usadas nesse estudo, foi possível

constatar que os melhores métodos de interpolação foram o TOPOGRID e Spline-1, conforme descritos na Tabela 6.

Os resultados obtidos nesse estudo estão de acordo com os trabalhos realizados por Barragán, (2002) & Álvares et al. (2001) objetivando avaliar a qualidade de diferentes métodos de interpolação, classificando o TOPOGRID como o método de interpolação mais apropriado para obtenção de modelos digitais de elevação com uma superior exatidão hidrológica.

CONCLUSÕES

- O método TOPOGRID foi validado como o melhor algoritmo de interpolação, mesmo não tendo sido utilizadas todas as alternativas de entrada (input) que esse permite;
- O método de interpolação Spline Tensionado apresentou-se como a segunda melhor alternativa de interpolação nas condições do presente estudo, obtendo resultados satisfatórios quando comparados com o método TOPOGRID. Entretanto, comparando a hidrografia numérica gerada pelo Spline com a hidrografia mapeada, nota-se que esse não apresentou consistência hidrológica;
- Pôde-se observar que os métodos que apresentaram maior número de depressões espúrias também correspondem aos piores resultados, gerando modelos com um nível de exatidão e consistência hidrológica inferiores;
- As comparações da hidrografia numérica, derivada dos MDE's, com a hidrografia mapeada indicam que todos os modelos necessitam de procedimentos de pré e pós-processamento para alcançar um nível de exatidão e consistência hidrológica aceitável;
- Apesar de o TOPOGRID-2 apresentar o melhor resultado na comparação da hidrografia numérica com a mapeada, aproximadamente 54% das células sobrepondo-se, o mesmo deve passar por refinamentos adicionais para obter uma aceitável consistência hidrológica.

REFERÊNCIAS

ÁLVARES M. T.; FERNANDES, S.; MARIANO, A. C.; PIMENTA, M. T.; VERÍSSIMO, M. R. *Monitorização Batimétrica Em Albufeiras*. ESIG'2001. Lisboa-Tagus Park, 2001.

- ALVES, L. M. *Sistemas de informações geográficas como instrumentos para o planejamento de uso da Terra, em bacias hidrográficas*. Viçosa, MG: UFV, 1993. 112p. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, 1993.
- BARRAGÁN, J. M.; BASELGA, J. P.; PRECIADO, F. P.; GORDILHO, M. C. R. & CASTILLO, F. J. R. *Análises de Calidad de Um Modelo Digital de Elevaciones Generado con Distintas Técnicas de Interpolación*. In: XIV Congreso Internacional de Ingeniería Gráfica. Santander, España, 2002.
- CEBALLOS, A. & SCHNABEL, S. *Hydrological behaviour of a small catchment in the dehesa landuse system (Extremadure, SW Spain)*. Journal of Hydrology, 210: 146-160, 1998.
- CHAVES, Marcelo de Ávila. *Modelos Digitais de Elevação Hidrologicamente Consistentes para a Bacia Amazônica*. Viçosa, MG: UFV, 2002. 115p. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, 2002.
- CUARTERO, A. et al. *Análises del error em modelos digitales de elevaciones según la fuente de datos*. XII Congreso Internacional de Espresión Gráfica, Badajoz, 2001.
- EASH, D. A. *A geographic information system procedure to quantify drainage-basin characteristic*. Water Resources Bulletin, 30: 1-8, 1994.
- ESRI – Environmental Systems Research Institute. ArcGis, versão 8.2.: Html help control version 4.74.8702, 2002.
- ESRI – Environmental Systems Research Institute. ArcInfo version 7.0.4 On-line documentation. Redlands, Ca, 1996.
- GARBRECHT J. & MARTZ, L. W. *Digital elevation model issues in water resources modeling*. In : 1999 ANNUAL ESRI USERS CONFERENCE, GARBRECHT J. & MARTZ, L. W. Network and sub-watershed parameters extracted from digital elevation models: the bills creek experience. Water Resources Bulletin, 29:909-916, 1993.
- GARCIA M.J.L. & CAMARASA, A.M. *Use of geomorphological units to improve drainage network extraction from DEM – Comparision between automated extraction and photointerpretation methods in the Carraixet catchment (Valencia, Spain)*. JAG, 3-4: 187-194, 1999.
- HUTCHINSON, M.F. *A locally adaptive approach to the interpolation of digital elevation models*. In: *Proceedings of the Third International Conference/Workshop on Integrating GIS and Environmental Modeling, National Center for Geographic Information and Analysis*. University of California, Santa Barbara, 1996.

- HUTCHINSON, M.F. *A new procedure for gridding elevation and stream line data with automatic removal of spurious pits*. Journal of Hydrology, 1989. p.211-232.
- JENSON, S.K. & DOMINGUE, J. O. *Extracting topographic structure from digital elevation data for geographic information system analysis*. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 54: 1593-1600, 1988.
- NICOLAU, R.; RODRIGUES, R.R.; RIBEIRO, L. e CÂMARA, A.S. – *Modelação e Mapeamento da Distribuição Espacial de Precipitação*. E-SIG'1999, Lisboa-Tagus Park, 1999.
- O' CALLAGHAN, J. F. & MARK D. M. *The extraction of drainage networks from digital elevation data*. Computer Vision, Graphics and Image Processing, 28:323-344, 1984.
- OLIVERA F. & MAIDMENT, D. R. *GIS Tools for HMS Modeling Support*. In : 1999 ANNUAL ESRI USERS CONFERENCE, California, 1999. Proceedings. California, ESRI 1999. Disponível em: <<http://gis.esri.com/library/userconf/proc99/proceed/pappers/pap801/p801.htm>> Acesso em: 5 dezembro 2003.
- POZZEBON, E. J. *Simulação de escoamento em micro-bacia hidrográfica utilizando Sistemas de Informações Geográficas e modelagem hidrológica*. Tese (Doutorado). Piracicaba, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2000. 234p.
- RAMILO, G.A I. *Geoprocessamento para caracterização geoambiental e estimativa da cobertura do solo e pastos em microbacia na Zona da Mata, MG*. Tese (Doutorado). Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 2003. 95p.
- RIBEIRO, C. A. A. S. *Modelos digitais hidrologicamente consistentes*. Viçosa, DEF/UFV, 2002. 8p. Apostila do Curso "Tópicos avançados em Sistema de Informação Geográfica".
- RIBEIRO, C. A. A. S. *Tópicos Avançados de Sistema de Informações Geográficas*. Viçosa, MG: UFV, 2003. 22p. Apostila de curso – Universidade Federal de Viçosa, 2003.
- ROCHA, J. S. M. & KURTZ, S. M. J.M. *Manejo integrado de bacias hidrográficas*. 4 ed. Santa Maria, C-CR/UFSM, 2001. 302p.
- RODRIGUES, D. M. S. *Condições climáticas de Minas Gerais*. Boletim Mineiro de Geografia. v. 12, n. 1, p. 3-36, 1996.

TRIBE, A. *Automated recognition of valley lines and drainage networks from grid digital elevation models: a review and a new method*. Journal of Hydrology, 139: 263-293, 1992.

Analysis of the Accuracy of Different Interpolation Methods to Generate Digital Elevation Models and Obtain Morphometric Characteristics in River Basins

ABSTRACT

The use of digital elevation models is part of practically all studies of environmental components using Geographic Information Systems. However, due to the complexity of the relief and the large number of features, most of the interpolation methods used to derive Digital Elevation Models (DEM) produce results that, depending on the nature of the studies proposed, can compromise the quality and accuracy of the information. Therefore, the present study aimed to analyze comparatively the quality and level of accuracy of the DEMs generated by the following interpolation methods: IDW, SPLINE and TOPOGRID. According to visual and statistical analyses, TOPGRID and Spline Tensionado presented the best results.

Key-words: Interpolation, IDW, Spline, TOPOGRID, DEM