



XXXIII Congresso Brasileiro de Ciência do Solo

Solos nos biomas brasileiros: sustentabilidade e mudanças climáticas
31 de julho à 05 de agosto - Center Convention - Uberlândia/Minas Gerais

EFEITOS DA RESOLUÇÃO ESPACIAL EM MODELOS DIGITAIS DE ELEVAÇÃO ORIUNDOS DE INTERPOLAÇÃO DE DADOS NO MAPEAMENTO DIGITAL DE SOLOS DA BACIA DO RIO GUAPI-MACACU, RJ ⁽¹⁾

Helena Saraiva Koenow Pinheiro ⁽²⁾, Alexandre Muselli Barbosa ⁽²⁾, Lúcia Helena Cunha dos Anjos ⁽³⁾, César da Silva Chagas ⁽⁴⁾ & Waldir de Carvalho Júnior ⁽⁴⁾

⁽¹⁾Parte da Dissertação de Mestrado da primeira autora a ser apresentada ao Curso de Pós-graduação em Agronomia- Ciência do Solo (CPGA-CS) da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ). Bolsista Nota 10 FAPERJ. Depto Solos. CEP 23890-000 Seropédica (RJ). ⁽²⁾Mestrandos CPGA-CS. UFRRJ. E-mail: lenask@gmail.com. ⁽³⁾Professor Associado III, Departamento de Solos, UFRRJ, Bolsista CNPq e FAPERJ ⁽⁴⁾Pesquisadores Embrapa Solos. CEP 22460-000 Rio de Janeiro (RJ). Apoio: CPGA-CS, EMBRAPA Solos

Resumo – Modelos solo-paisagem, para predição dos padrões naturais de ocorrência de solos, são uma nova ferramenta para mapeamento de solos. A integração desses modelos a sistemas de informação geográfica possibilita identificar aspectos da superfície do terreno de forma mais quantitativa e, em consequência, agiliza os levantamentos de solos. Ainda, os modelos digitais de elevação (MDEs) podem fornecer informações relevantes para estudos de gênese e classificação de solos através da caracterização de componentes da paisagem. O estudo teve o objetivo de avaliar diferentes MDEs, gerados em diferentes resoluções espaciais e a partir da interpolação de dados primários, buscando definir o modelo mais adequado para o mapeamento digital de solos da bacia hidrográfica do Rio Guapi-Macacu (RJ). O processamento dos dados foi realizado no programa ArcGIS (v.9.3.1) e as fontes de dados primários utilizadas na interpolação foram: curvas de nível, drenagem, pontos cotados e dados de sensor remoto, combinadas em três grupos de dados. Foram gerados MDEs em oito tamanhos de células (15, 20, 25, 30, 35, 40, 45 e 50 m). Os modelos foram avaliados através da comparação entre curvas de nível originais e derivadas dos modelos, e pela significância das fontes de variação testadas: resolução e grupo de dados. Considerando os critérios e dados utilizados, o modelo mais adequado para a representação da altimetria da área em estudo foi o MDE de resolução de 30m, obtido pela interpolação de dados primários de elevação de curvas de nível, pontos cotados (escala 1:10.000 e 1:50.000) e de dados de sensor remoto.

Palavras-chave: modelagem digital, resolução espacial, mapeamento de solos.

INTRODUÇÃO

O mapeamento de solos consiste na descrição das unidades taxonômicas de determinada área e na representação espacial destas unidades, com identificação das propriedades morfológicas, físicas e químicas dos solos. Os produtos de tais levantamentos são utilizados em diferentes áreas do conhecimento, como subsídio para planejamento e execução de projetos com diversos objetivos (Ibañez et al., 1993).

Nos dias atuais, o uso de tecnologia de processamento de dados, imagens e mapas temáticos, torna-se importante ferramenta para levantamento de solos pela evolução da capacidade de processamento das máquinas e sistemas de informações geográficas (Chagas et al., 2004). O estudo do relevo adquire ainda maior importância no mapeamento digital de solos, devido à relação direta com o fluxo da água, um dos principais agentes modificadores de paisagens, influenciando conseqüentemente na formação dos solos. Técnicas de geoprocessamento podem auxiliar na predição e delimitação de zonas saturadas, zonas de remoção e deposição entre outros processos hidrológicos (Thompson et al., 2001).

A acurácia de um MDE e dos seus produtos derivados depende diretamente da qualidade e densidade dos dados primários utilizados para sua geração, da estrutura destes dados (matricial e feições vetoriais de linhas e pontos), da resolução espacial, da complexidade topográfica da área e dos algoritmos utilizados na interpolação (Thompson et al., 2001; Florinsky, 1998). O presente estudo se concentra nos fatores referentes à densidade e qualidade de dados primários de feições vetoriais e na definição da resolução espacial que melhor represente o ambiente.

O objetivo deste estudo compreende a avaliação de MDEs, obtidos a partir de três diferentes fontes de dados altimétricos primários (interpolação de feições vetoriais de curvas de nível, pontos cotados e hidrografia e dados de sensor SRTM), em oito resoluções espaciais (15, 20, 25, 30, 35, 40, 45 e 50 metros). A análise detalhada dos produtos gerados baseou-se nos métodos propostos por Hutchinson e Gallant (2000) e Wise (2000). As avaliações têm a finalidade de subsidiar a escolha do modelo digital de elevação mais adequado para a derivação de atributos do terreno, para uso no mapeamento digital de solos da bacia hidrográfica do Rio Guapi-Macacu (RJ).

MATERIAL E MÉTODOS

A área estudada compreende a bacia hidrográfica do Rio Guapi-Macacu, localizada entre as coordenadas (UTM) 7.488.481 e 7.526.005 m de latitude sul e 699.292 e 752.193 m de longitude oeste, e apresenta uma superfície aproximada de 1.250 km².

Os dados primários utilizados foram feições vetoriais de: curvas de nível, com equidistância de 20 metros, 551

pontos cotados de cartas planialtimétricas em escala 1:50.000 (IBGE, 1971, 1974, 1979a, 1979b, 1983 e BRASIL, 1997), 5672 pontos cotados de cartas planialtimétricas em escala 1:10.000 (Fundação CIDE, PDBG), dados do sensor remoto (SRTM) convertidos em grade de pontos cotados com 30 metros de resolução, totalizando 2719 pontos. Todos os temas foram projetados em sistema *Universal Transverse Mercator* (UTM), datum horizontal Córrego Alegre Zona 23S. A Figura 1 mostra a localização dos pontos cotados utilizados na interpolação.

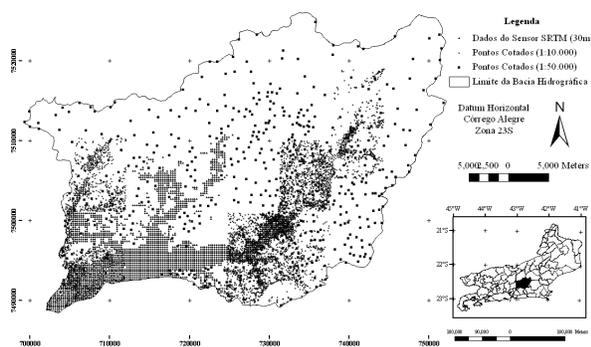


Figura 1. Localização da bacia hidrográfica do rio Guapi-Macacu e dos dados primários de elevação.

O pré-processamento dos dados primários para gerar os modelos de elevação envolveu: (a) união das cartas topográficas, quanto aos planos de informação, curvas de nível, hidrografia e pontos cotados; (b) definição de projeção cartográfica para um só sistema; e (c) checagem das informações dos pontos cotados, curvas de nível e drenagem, eliminando os erros de posicionamento, valores, direção e continuidade. A hidrografia foi editada no programa ArcGIS (v. 9.3.1), para haver conexão entre as feições lineares e que as mesmas estivessem direcionadas no sentido do fluxo para auxiliar no interpolador utilizado na geração do MDE (ESRI, 1994). As curvas de nível foram cotadas no ArcINFO, observando as tendências de elevação e a equidistância predefinida. O limite da bacia hidrográfica foi utilizado conjuntamente com os dados primários, restringindo a área da interpolação.

As cartas planialtimétricas da Fundação CIDE em escala 1:10.000, foram unificadas e analisadas eliminando possíveis incoerências com outros dados de elevação, principalmente com as curvas de nível da base de dados utilizada, em escala 1:50.000 e equidistância de 20m.

Os dados do sensor SRTM, em resolução de 90 metros, são disponibilizados gratuitamente pelo site: <<http://edc.usgs.gov/products/elevation/srtm>>. Para obter melhor resolução espacial foi efetuada amostragem dos dados para resolução de 30 metros, por método similar ao utilizado em Crepani & Medeiros (2004), através de uma interpolação bilinear determinando o valor do pixel de saída a partir da média obtida para os quatro pixels vizinhos mais próximos. Estes dados foram convertidos em pontos com coordenadas e valores de elevação conhecidos e selecionados apenas os pontos distribuídos em cotas com valor inferior à 20m de altitude buscando uma

melhor representação das áreas planas da baixada. A utilização destes dados do sensor, somente em áreas planas, pretendeu suprir a escassez de dados altimétricos nestas áreas, onde a inexistência de valores entre as curvas de nível adjacentes (ambas com cota 20m) propicia erros em função da generalização, decorrente da estimativa de valores entre as curvas, além de sobre amostrar a elevação ao longo das curvas (Wise, 2000).

As diferentes fontes de informações foram combinadas em três grupos, a saber: I- Para os modelos derivados de curvas de nível e pontos cotados, em escala 1:50.000; II- dados do grupo I acrescidos dos dados do sensor SRTM (para áreas de baixada, com cota inferior à 20m); e III- dados dos grupos II acrescidos dos pontos cotados na escala de 1:10.000.

O processamento dos dados para obtenção dos modelos foi realizado nos programas ArcGIS e ArcINFO- versão 9.3.1 (*Environmental Systems Research Institute, Inc.*) e os resultados alcançados foram analisados no Microsoft Excel 2003 (*Microsoft Corporation*), disponibilizados pelo Laboratório de GeoInformação da Embrapa Solos, RJ.

A ferramenta utilizada para interpolação (*TopoRaster* do ArcGIS 9.3.1) é baseado no programa ANUDEM desenvolvido por Hutchinson (1993) que utiliza uma técnica de interpolação por diferenças finitas, e combina a eficiência de uma interpolação local, tal como o Inverso do Quadrado da Distância, com métodos de interpolação global que utilizam uma superfície de continuidade, como o interpolador Kriging (ESRI, 1997).

Para comparação dos modelos, foi realizada a derivação das curvas de nível através da ferramenta *Surface*, no módulo *Spatial Analyst Tools*, do programa ArcGIS (v. 9.3.1.), e a significância das fontes de variação foi avaliada pelo teste F de Snedecor (1956).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A descrição dos modelos de elevação, após procedimento de remoção das depressões espúrias, é apresentada na Tabela 1.

As médias apresentaram comportamento similar para as três fontes de dados, variando de forma crescente com o aumento do tamanho da célula. O desvio padrão da média mostrou o comportamento esperado, uma vez que a natureza da variável envolve grande amplitude de valores, já que a bacia hidrográfica possui, em sua foz, cotas ao nível do mar e cotas superiores a 2.000 metros, nos divisores de água. Analisando os parâmetros descritivos, é possível constatar que os modelos oriundos da interpolação dos pontos cotados (1:50.000) e curvas de nível (Grupo I) são insuficientes para representação coerente da elevação, principalmente em áreas de planícies, em cotas inferiores a 20 metros, fato que pode ser observado pelos valores mínimos nesses modelos. A geração de temas derivados de modelos desta natureza pode ocasionar predições incoerentes, principalmente no que concerne a fenômenos hidrológicos, como ocorrência de áreas alagadas, zonas de oxidação e redução, conseqüentemente na formação de solos hidromórficos, devido à generalização dos valores decorrentes dos dados utilizados na interpolação. A utilização de informações obtidas através de sensores orbitais torna-se interessante diante da escassez de dados

altimétricos nas áreas planas, de baixada, onde a utilização de dados de sensor remoto pode constituir uma alternativa interessante.

A avaliação da significância das fontes de variação utilizadas (grupo de dados primários e resolução espacial) indicou que há diferenças estatísticas altamente significativas (99%) entre os grupos de fonte de dados testados, conforme pode ser observado na Tabela 2. Quanto à resolução espacial, os modelos gerados com diferentes tamanhos de célula, são similares estatisticamente, não apresentando diferenças entre eles. Embora a análise da variância dos dados em relação à resolução não tenha apresentado diferenças, este fato corrobora as observações de Wise (2000) e Hutchinson & Gallant (2000) evidenciando a necessidade de análises qualitativas complementares para definir a resolução espacial a ser usada no modelo.

Modelos digitais de elevação hidrologicamente consistentes devem permitir a representação de descontinuidades da superfície, como os divisores de água e as vertentes (Fidalgo et al., 2009). Visto que as aplicações dos MDEs dependem da representação da forma da superfície e estrutura de drenagem, medidas não clássicas da qualidade de dados têm sido desenvolvidas através de diversas técnicas descritivas para análise (Hutchinson & Gallant, 2000). No presente estudo, foi realizada a comparação visual entre as curvas de nível da base de dados original e derivadas dos MDEs. A Figura 2 apresenta esta comparação para modelos de diferentes resoluções espaciais (15, 30 e 45m) nos três grupos de dados utilizados, com destaque para áreas de baixada.

Observando os modelos, nota-se que são geradas curvas que não correspondem com fidelidade à base de dados original, possivelmente atribuindo valores incoerentes derivados da interpolação dos dados primários. A influência da resolução nas curvas de nível derivadas atribui-se à generalização do valor de elevação em função do maior tamanho das células, mostrando menos suavidade na representação do relevo. Entretanto, em modelos com alta resolução espacial, são criadas curvas de nível incompatíveis com a base original de dados. Portanto a seleção da resolução espacial requer outros tipos de análise, de caráter qualitativo, além de considerar a compatibilidade com a utilização de outras fontes de dados, utilizadas nas etapas posteriores do mapeamento digital de solos da bacia, como por exemplo, uso de imagens de sensores orbitais, a exemplo do Landsat que possui 30m de resolução geométrica.

CONCLUSÕES

1. As análises realizadas fundamentam a escolha do modelo digital de elevação gerado a partir da combinação de curvas de nível, pontos cotados (1:10.000 e 1:50.000) e dados de sensor remoto (em áreas com cotas inferiores à 20m), como grupo de dados mais adequado, entre os modelos avaliados, para utilização no mapeamento digital de solos da área da bacia hidrográfica.

2. Os modelos digitais de elevação, no que tange à avaliação da resolução espacial, não mostraram diferenças significativas para esta fonte de variação. Entretanto, através da avaliação qualitativa da comparação visual das curvas de nível derivadas e originais e dos objetivos finais deste estudo, foi possível indicar como tamanho adequado para a representação da altimetria da bacia hidrográfica o modelo com 30 metros de resolução espacial.

AGRADECIMENTOS

Apoio do Curso de Pós-Graduação em Agronomia - Ciência do Solo (CPGA-CS, UFRRJ), Embrapa Solos (RJ), CAPES e FAPERJ.

REFERÊNCIAS

- BRASIL. Diretoria de Serviço Geográfico. Rio Bonito: folha SF-23-Z-B-V-2 MI-2746/2. 5. ed. Rio de Janeiro, 1997. Carta topográfica na escala 1:50.000.
- CHAGAS, C. da S., CARVALHO JUNIOR, W. de, BHERING, S. B., TANAKA, A. K., BACA, J. F. M. Estrutura e organização do sistema de informações georreferenciadas de solos do Brasil (SIGSOLOS – versão 1.0). Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.28, p.865-876, 2004.
- CREPANI, E. & MEDEIROS, J. S. Imagens fotográficas derivadas de MNT do projeto SRTM para fotointerpretação na geologia, geomorfologia e pedologia. São José dos Campos: INPE, 2004. 40p. (INPE-11238-RPQ/761)
- ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE, ESRI. ARC/INFO, Command references. New York, 1994. 281 p.
- ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE, ESRI. ARC/INFO v.7.1.1. Redlands, 1997. Programa de computador. 2 CD-ROM.
- FLORINSKY, I.V. Accuracy of local topographic variables derived from digital elevation models. Int. J. Geogr. Inf. Sci. 12, 47-61. 1998.
- FIDALGO, E. C. C.; CARVALHO JÚNIOR, W. & GODOY, M. D. P. Análise da qualidade do modelo digital de elevação para representação da bacia hidrográfica do rio Guapi-Macacu, RJ. Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, Brasil, 25-30 abril 2009, INPE, p. 3785-3791.
- HUTCHINSON, M. F. & GALLANT, J. C. Digital elevation models and representation of terrain shape. In: WILSON, J. P. & GALLANT, J. C. (Eds.) Terrain analysis: principles and applications. New York: John Wiley & Sons, 2000. p.29-50.
- HUTCHINSON, M. F. Development of continent-wide DEM with applications to terrain and climate analysis. In: GOODCHILD, M. F. (Ed.) Environmental Modeling with GIS. New York: Oxford University Press, 1993. p.392-399.
- IBAÑEZ, J. J.; ZINCK, J. A. & JIMÉNEZ-BALLESTA, R. Soil Science Survey: old and new challenges. In: ZINCK, J. A. Soil survey: perspectives and strategies for 21st century. ITC Publication, Enschede, The Netherlands, n.21, p.7-14, 1993.
- IBGE. Itaboraí: folha SF-23-Z-B-V-1. 2. ed. Rio de Janeiro, 1979a. Escala 1:50.000. Carta topográfica. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/#sub_download>. Acesso em 09/2010.
- IBGE. Itaipava: dados digitais da carta topográfica na escala 1:50.000. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/#sub_download>. Acesso em 09/2010.
- IBGE. Nova Friburgo: folha SF-23-Z-B-II-4. Rio de Janeiro, 1974. Escala 1:50.000. Carta topográfica. Disponível em:

<http://www.ibge.gov.br/home/#sub_download>. Acesso em 09/2010.

IBGE. Petrópolis: folha SF-23-Z-B-IV-2. 2. ed. Rio de Janeiro, 1979b. Escala 1:50.000. Carta topográfica. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/#sub_download>. Acesso em 09/2010.

IBGE. Teresópolis: folha SF-23-Z-B-II-3 MI-2716-3. 2. ed. Rio de Janeiro, 1983. Escala 1:50.000. Carta topográfica. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/#sub_download>. Acesso em 09/2010.

SNEDECOR, G. W. Statistical Methods. 5 ed. Iowa State College Press, Ames, Iowa. 1956.

THOMPSON, J. A., BELL, J. C., BUTLER, C. A. Digital elevation model resolution: effects on terrain attribute calculation and quantitative soil-landscape modelling. Geoderma. v. 100. p. 67-89. 2001.

UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY – USGS. Shuttle Radar Topography Mission (SRTM). 2005. Disponível em <<http://edc.usgs.gov/products/elevation/srtm>> Acesso em 10 de outubro de 2010.

WISE, S. Assessing the quality for hydrological applications of digital elevations models derived from contours. Hydrological Processes, 14:909-1929, 2000.

Tabela 1. Estatística descritiva para os modelos de elevação dos diferentes grupos de dados e resoluções espaciais.

Parâmetros	15	20	25	30	35	40	45	50	
Grupo I	Mín ¹	-27,69	-23,48	-27,69	-37,18	-21,45	-20,27	-18,51	-20,70
	Méd ²	266,59	266,80	266,97	266,96	267,02	267,36	267,46	268,26
	Max ³	2272,60	2271,32	2271,54	2265,69	2259,94	2259,94	2260,09	2260,09
	D.P. ⁴	372,23	372,74	373,33	373,84	374,32	374,77	375,11	375,21
Grupo II	Mín ¹	-0,02	0,00	-0,13	-0,08	0,00	-0,21	-0,18	-0,02
	Méd ²	266,30	266,60	267,00	267,28	267,55	267,86	268,08	268,37
	Max ³	2272,59	2271,32	2271,51	2265,82	2261,58	2259,93	2260,06	2260,05
	D.P. ⁴	372,36	372,81	373,27	373,58	373,92	374,37	374,65	375,11
Grupo III	Mín ¹	0,00	-0,01	-0,01	-0,31	0,00	0,00	-0,16	-0,04
	Méd ²	266,21	266,48	266,88	267,14	267,40	267,68	267,89	268,19
	Max ³	2272,62	2271,32	2271,52	2265,66	2261,57	2259,93	2260,07	2260,03
	D.P. ⁴	372,42	372,89	373,34	373,67	374,02	374,50	374,78	375,23

¹ Mín. = valores mínimos obtidos; ² Méd. = valores médios obtidos; ³ Máx. = valores máximos obtidos; ⁴ D.P. = Desvio padrão do modelo
 Grupo I- modelos derivados de curvas de nível e pontos cotados, em escala 1:50.000, Grupo II- modelos derivados de curvas de nível, pontos cotados (1:50.000) e dados do sensor SRTM, Grupo III- modelos derivados da interpolação de curvas de nível, pontos cotados (1:50.000), pontos cotados (1:10.000) e dados do sensor SRTM.

Tabela 2. Análise das fontes de variação pelo teste F (Snedecor, 1956).

Fonte da variação	SQ	GL	QM	F _{calc}	F (5%)	F (1%)
Resolução Espacial	0,175624	2	0,087812	2,41	3,74	6,51
Grupos de Dados	8,347188	7	1,192455	32,74	2,76*	4,28**
Erro	0,509884	14	0,03642			
Total	9,032696	23				

SQ= soma dos quadrados; GL= grau de liberdade; QM= quadrado médio; F_{calc}= QM da fonte de variação/ QM do erro.

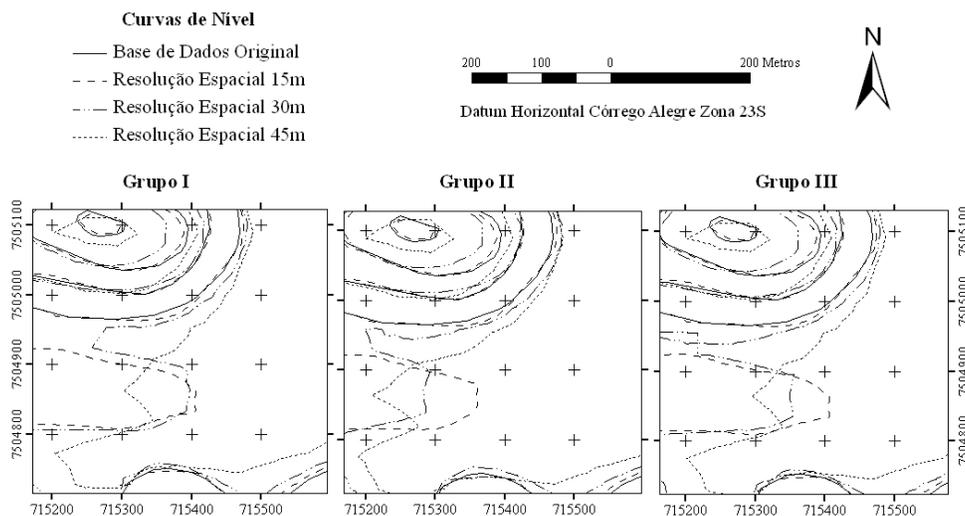


Figura 2. Comparação entre as curvas de nível da base original de dados e curvas de nível derivadas dos modelos digitais de elevação nas resoluções espaciais de 15, 30 e 45m, para os três grupos de dados.