

Avaliação de diferentes fontes de dados na obtenção do modelo digital de elevação para mapeamento digital dos solos da bacia hidrográfica do Rio Guapi-Macacu, RJ

Helena Saraiva Koenow Pinheiro¹
Alexandre Muselli Barbosa¹
Lúcia Helena Cunha dos Anjos¹
Waldir de Carvalho Júnior²
César da Silva Chagas²

¹ Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro - UFRRJ
BR 465, km 7- 23890-000 - Seropédica - RJ, Brasil
{koenow; muselli; lanjós}@ufrj.br

² Embrapa Solos - Rua Jardim Botânico, 1024 - 22460-000
Rio de Janeiro - RJ, Brasil
{waldircj, chagas}; @cnps.embrapa.br

Abstract. The general goal of a soil mapping is to describe the spatial variation of the classes and their morphological, physical and chemical properties in a given area. Soil surveys are used as a basis for planning and executing projects of different nature, and they may be interpreted by different users. Among the soil forming factors, the relief has a direct influence on the soil genesis, affecting characteristics such as depth, drainage, colour, texture. The analysis of the relief allows for understanding the role and intensity of the different mechanisms of soil formation, removal, addition, translocation and transformation of materials in a certain landscape position. The aim of this study was to evaluate digital elevation models (DEM) generated from different data sources combined. The three data sources used were: topographic contour lines, topographic maps associated with elevation points, and the letters associated to the points and combined with data from SRTM sensor for the low land areas. The models had a spatial resolution of thirty meters. The best representation of terrain altitude through the DEM was obtained after the interpolation of contour lines, and the data from remote sensor (SRTM). The combination of the three data sources to study the topography and geomorphology of the watershed was a valid procedure. Mainly, since the contours were vectorized by IBGE with an equidistance of 20 meters, insufficient to allow accurate representation of data in the low land areas, even when combined with the elevation points.

Palavras-chave: DEM evaluation, SRTM, soil mapping, avaliação de MDE, SRTM, mapeamento de solos.

1. Introdução

O mapeamento de solos tem como objetivo geral, descrever a variação espacial das unidades taxonômicas, e suas propriedades morfológicas, físicas e químicas, em uma determinada área. Os levantamentos são utilizados como subsídio para planejamento e execução de projetos em diversos ramos do conhecimento e podem ser interpretados por diferentes usuários, constituindo uma atividade multidisciplinar, segundo Ibañez et al. (1993).

Embora os solos tenham distribuição contínua na paisagem, a ocorrência não aleatória das classes e a variação conjunta destas, em função de descontinuidades notáveis na paisagem, evidenciam os limites entre classes de solos com certa precisão (Chagas, 2006).

Dentre os fatores de formação de solos, o relevo tem influência direta na pedogênese, condicionando características como profundidade, drenagem, cor dos horizontes, entre outras. A análise do relevo permite compreender a atuação diferenciada dos mecanismos de formação, favorecendo ou não à remoção, adição, transformação e translocação de material de solo ou de origem em uma determinada condição de paisagem. Ainda, o estudo da topografia é considerado de grande importância no subsídio à tomada de decisões no que diz respeito ao estudo de ecossistemas complexos (Dixon, 1995).

Os modelos digitais de elevação vêm sendo amplamente utilizado, para suprir a demanda de informações básicas sobre geomorfologia de qualquer área na qual se pretende realizar

estudos que envolvam aspectos da paisagem. No levantamento de solos, principalmente os que utilizam técnicas de mapeamento digital, estes modelos adquirem elevada importância, uma vez que diante de uma fonte de dados contínua (matricial) para a altimetria de uma área, é possível realizar cálculos para a derivação de atributos da paisagem, como declividade, aspecto, curvatura, entre outros (Carvalho Júnior, 2005).

Entre os sistemas orbitais comumente utilizados para obtenção de dados relativos à variação topográfica de uma área, incluem-se: o SPOT (*Systeme probatoire d'Observation de La Terre*), o SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*), ASTER (*Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer*), entre outros.

Os dados SRTM são oriundos de um projeto comum entre a *National Geospatial Intelligence Agency* (NGA) e a *National Aeronautics and Space Administration* (NASA). Por se tratar de um sensor ativo, que atua na região de microondas do espectro eletromagnético, não é influenciado pelas variáveis climáticas, como nuvens e raios (Dixon, 1995). Entretanto, estudo realizado por Jarvis et al. (2004) identificou erros sistemáticos relacionados aos dados SRTM. De acordo com Chagas (2006), os MDEs do SRTM não são editados previamente a sua disponibilização, portanto podem conter erros grosseiros provenientes de ruídos e falhas, principalmente para as áreas mais íngremes.

Assim, o objetivo do presente estudo foi avaliar modelos digitais de elevação de resolução espacial de 25 metros, gerados a partir de diferentes fontes de dados combinadas, aplicados à bacia hidrográfica do Rio Guapi-Macacu, RJ.

As três fontes de dados primários utilizadas foram: cartas topográficas com curvas de nível, pontos cotados e dados de sensor SRTM, buscando uma melhor representação das áreas de baixada.

2. Material e Métodos

2.1 Caracterização geomorfológica da bacia hidrográfica

A bacia hidrográfica do Rio Guapi-Macacu, no Estado do Rio de Janeiro, situa-se em região de transição entre relevos de degradação e agradação, onde abriga a porção mediana e distal do curso da drenagem principal, o Rio Macacu. Os relevos de agradação são representados pelas Planícies Aluviais, terrenos com declives mais suaves, compostos por leques alúvio-colúvies, terraços fluviais e/ou planícies de inundação e na transição para os canais principais para Planícies Colúvio-Alúvio-Marinhas, com declive suave com baixa drenagem. Os terrenos muito mal drenados ocorrem na transição dessas planícies com Sistema Depositional Costeiro Marinho, condicionando canais meandantes influenciados pelas marés, na porção distal da bacia. A porção mediana da bacia dos rios Macacu, Aldeia, Caceribu e Iguá, têm pequena amplitude topográfica (menor que 50 metros) e baixa densidade de drenagem, com declives suaves e solos de sedimentação por colúvio e alúvio, provenientes da dissecação dos Tabuleiros da Formação Macacu (Ecologus-Agrar, 2003).

À montante dos tabuleiros, tem-se um domínio Suave Colinoso, com densidade de drenagem de média a baixa, pouca amplitude topográfica (até 100 metros), declive suave e solos colúvies e aluviais. Entremendo a baixada, no relevo de degradação e no domínio de Colinas Isoladas, ocorrem solos com sedimentação de colúvio e eventuais vales onde a drenagem é imperfeita (Ecologus-Agrar, 2003).

Na porção proximal destes rios, ocorre relevo montanhoso e extremamente acidentado relativo ao Maciço Costeiro, com densidade alta de drenagem e amplitudes topográfica superiores a 300 metros, alto declive condicionando solos rasos com afloramento de rocha e depósitos de talús e colúvio. Colinas Dissecadas e Morros Baixos ocorrem associados ao alto curso dos rios dos Duques e Tanguá, com densidade de drenagem de média a alta e amplitudes topográficas de 100 e 200 metros, condicionando declives suaves a moderados e solos sobre sedimentos colúvies e aluviais (Projeto Macacu, 2010).

A porção proximal dos rios Caceribu, Bonito Imbuí e Soarinho, está sob domínio de maciços intrusivos alcalinos, com amplitude topográfica considerável (superior a 500 metros), relevo montanhoso e extremamente acidentado, declives elevados, condicionando densidade de drenagem alta a muito alta e solos rasos associados a afloramento de rochas, depósitos de talús e colúvio (Projeto Macacu, 2010).

2.2 Base cartográfica e programas de computação

A base cartográfica digital, no formato vetorial, foi obtida a partir do IBGE (IBGE, 1971, 1974, 1979a, 1979b, 1983 e BRASIL, 1997). Os dados primários utilizados foram as curvas de nível, equidistantes 20 metros e os pontos cotados, na escala de 1:50.000, em sistema de projeção *Universal Transversa de Mercator* (UTM), *datum* horizontal Córrego Alegre, Zona 23S.

Conjuntamente aos dados do IBGE, foi testado o uso de dados do sensor remoto (SRTM), obtidos gratuitamente pelo *site*: <http://edc.usgs.gov/products/elevation/srtm>, para melhor representação das áreas em cota inferior a 20 metros de altitude.

Devido à necessidade de manipular grande quantidade de informações, optou-se por utilizar os seguintes *softwares*, disponibilizados pela Embrapa Solos, RJ:

- Arc/info versão 9.3.1 - *Environmental Systems Research Institute, Inc.*
- ArcGIS versão 9.3.1 - *Environmental Systems Research Institute, Inc.*
- Microsoft Excel- 2003 - *Microsoft Corporation.*

2.3 Obtenção dos modelos digitais de elevação (MDE)

O MDE é representado por uma grade regular (*raster*) de células, as quais contêm dados contínuos de elevação. Ele foi gerado por interpolação dos dados primários de altimetria, drenagem e de limite da bacia, através da ferramenta *Topo to Grid*, no ArcGIS e Arcinfo. Esta interpolação considera não somente os dados de elevação, mas modifica a superfície pela direção da drenagem, possibilitando a suavização do modelo e aumento da precisão através da prospecção de um modelo hidrologicamente consistente (Chagas, 2006).

A base cartográfica digital usada para gerar os MDEs compreende as curvas de nível das cartas topográficas com equidistância de 20m e pontos aleatórios cotados, em formato vetorial. Os dados do sensor SRTM, com 90m de resolução espacial, foram re-amostrados para 30m usando o ArcGIS, para compatibilizar aos objetivos do trabalho e buscar melhor resolução espacial do modelo.

Os modelos gerados pelas diferentes fontes são designados por: CN (derivado apenas de curvas de nível), CN+Ptos (derivado de curvas de nível e pontos cotados), CN+Ptos+SRTM (derivado de curvas de nível, pontos cotados e dados do sensor SRTM para áreas de baixada). A drenagem, com o sentido do fluxo corrigido, foi utilizada para melhorar a coerência dos modelos. A área de estudo foi dimensionada em relação ao limite da bacia. Os MDEs foram reprojatados para a projeção *Universal Transversa de Mercator* (UTM), *datum* horizontal Córrego Alegre, Zona 23S na escala de 1:50.000 e resolução espacial de 25m.

Em todos os modelos foram removidas as depressões espúrias (*Sink*), necessárias para corrigir os MDEs, tornando-os concordantes com a hidrografia da área, através de processo iterativo e repetitivo que assume valores coerentes para as células *Sink* ou “buracos” (Dobos et al., 2000). A remoção das depressões espúrias requer uma seqüência de operações, executadas no módulo “*Raster Calculator*” no ArcGIS. Tais operações compreendem o cálculo como sentido do fluxo (*FlowDirection*), fluxo acumulado (*FlowAccumulation*) e outros temas temporários, que tem como arquivo de *input*, o modelo digital de elevação, conforme descrito na seqüência abaixo:

$$\begin{aligned}
 d1 &= \text{flowdirection}(mde) \\
 s1 &= \text{sink}(d1) \\
 a1 &= \text{watershed}(d1, s1) \\
 b1 &= \text{zonalfill}(a1, mde) \\
 p1 &= \text{con}(mde1 > b1, mde, b1) \\
 mdecorrigido &= \text{con}(isnull(a1), mde, p1)
 \end{aligned}$$

2.4 Critérios para avaliação dos modelos

A escolha do modelo digital de elevação para a bacia foi baseada na comparação direta entre as curvas de nível geradas pelos modelos e as curvas originais com a mesma equidistância, observando a similaridade entre as feições geradas pelo MDE e as originais.

Os modelos digitais de elevação em formato matricial foram gerados a partir da interpolação de dados vetoriais, como curvas de nível, pontos cotados, rede de drenagem, limite da bacia e dados obtidos pelo sensor remoto SRTM, buscando melhor representação das áreas planas. Conforme destacado, a interpolação dos dados produz um modelo hipsométrico, porém gera como produto indesejado células com valores incoerentes ou depressões espúrias (*sink*), que devem ser corrigidas antes da utilização do modelo para qualquer interpretação (Hickey et al., 1994).

A correção de erros em um MDE frequentemente utiliza uma variedade de algoritmos para reduzir o efeito de erros sistemáticos e aleatórios num conjunto de dados, geralmente em função de interpoladores baseados na vizinhança (Chagas, 2006). É possível que as diferentes fontes de dados primários de elevação usadas para interpolação, atribuam valores a algumas células de forma incoerente com a expectativa da realidade do terreno. Portanto, a avaliação da qualidade dos modelos também considera o número e extensão das depressões espúrias, além da comparação entre as curvas de nível derivadas do modelo e as originais.

3. Resultados e Discussão

A qualidade de um modelo depende do tipo e da magnitude dos erros a ele relacionados. Para tanto há de se considerar que erros são inevitáveis, uma vez que os modelos representam uma visão reducionista da realidade e a exatidão destes é intrínseca ao método de coleta de dados (Felicísimo, 1994).

Chagas (2006) e Wise (2000) utilizaram para avaliação o índice RMSE (raiz do erro médio quadrático), obtido a partir de algoritmo que considera diferenças entre o modelo obtido e pontos de controle mapeados com maior precisão. Porém, os autores não alcançaram resultados satisfatórios na análise de modelos de diferentes fontes de dados, assim considerando o RMSE da elevação uma medida pouco eficiente na avaliação da qualidade de MDEs.

As depressões espúrias, geradas em função das técnicas de interpolação, constituem uma fonte significativa de erros na modelagem de paisagens, principalmente em relação aos fenômenos hidrológicos (Chagas, 2006). Sendo assim, a análise das depressões espúrias pode constituir modo eficiente para detectar erros na fonte de dados e de avaliar a qualidade geral da estrutura de drenagem do MDE (Hutchinson e Gallant, 2000).

Os dados que descrevem os modelos gerados neste estudo, bem como os valores das depressões espúrias geradas (número e extensão), para cada fonte de dados, são apresentados na Tabela 1. Foram necessárias três repetições da seqüência de operações para eliminar as depressões espúrias de cada modelo e realizar o preenchimento das células *sink* dos MDEs.

Tabela 1 Parâmetros descritivos para os MDE's gerados pelas diferentes fontes de dados.

Fonte de Dados	Estatística Descritiva				Depressões Espúrias		
	Máx. (m)	Méd. (m)	Mín. (m)	Des. Pad.	Nº de cél	Sink	Área (ha)
CN	2263,5209	266,5347	-9,7452	373,5828	2676	1342	167,25
CN+Ptos	2271,5422	266,9679	-27,693	373,3284	2635	1324	164,68
CN+Ptos+SRTM	2271,5126	266,0770	-0,1338	373,2142	4084	2050	255,25

CN: curvas de nível; Ptos: pontos cotados; SRTM: dados sensor remoto; Máx.: máximo; Méd.: média; Mín.: mínimo; Des. Pad.: desvio padrão da média; Nº de cél.: somatório do número de células; Sink: número de erros ("buracos").

O número de depressões espúrias geradas foi coerente com a fonte de dados, sendo esperado certo número de erros devido ao método de coleta de dados do sensor (Hengl et al., 2004). Embora apresente um elevado número de depressões espúrias, o número de pixels envolvido em cada depressão é reduzido, raramente superior a 2 (Chagas, 2006).

O modelo CN+Ptos, apresentou uma vantagem em relação ao modelo que utiliza somente curvas de nível, no que envolve áreas como topos de elevação, já que possui cotas de referencia para estes locais. O modelo CN+Ptos+SRTM, por sua vez, representou com maior fidelidade a variação em áreas de baixada, por ter uma distribuição sistemática da rede de pontos com dados altimétricos nestas áreas.

A derivação do MDE a partir de curvas de nível, embora seja frequente, pode conduzir a problemas uma vez que a representação em isolinhas não preenche a estimativa da variação entre estas, ocasionando muitas vezes informação insuficiente, principalmente em áreas planas, quando se faz a interpolação. A criação de um MDE objetiva a preservação do máximo possível de detalhes topográficos do terreno, e para tanto, torna-se necessário eger um modelo com concordância entre as curvas, originais e derivadas do próprio modelo, evitando a criação de curvas inexistentes, formação de áreas planas em topos de morro, entre outras incoerências com a altimetria real da bacia., conforme observado na Figura 1.

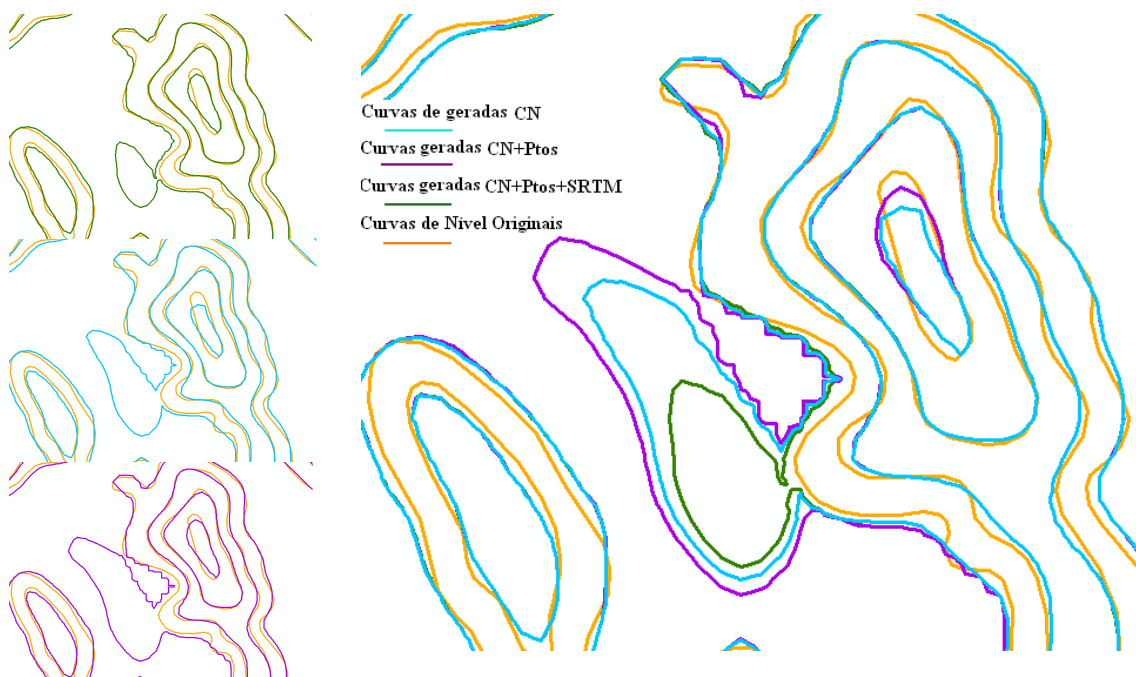


Figura 1. Curvas de nível originais (laranja) e curvas de nível derivadas: CN (azul); CN+Ptos (roxo); CN+Ptos+SRTM (verde), todos com 25m de resolução espacial

A análise destes dados, juntamente com a comparação visual entre as curvas de nível geradas a partir dos diferentes modelos e as curvas de nível originais, corroborou a expectativa de que a combinação de curvas de nível com pontos cotados em conjunto com os dados do sensor remoto SRTM representem com maior acurácia a altimetria do terreno na bacia hidrográfica do Rio Guapi-Macacu. Apesar de os modelos CN+Ptos e CN+Ptos+SRTM apresentarem valores médios similares, o valor mínimo de altimetria, oriundo da interpolação dos dados foi mais coerente no modelo que utilizou pontos SRTM. A derivação das curvas de nível destacou as diferenças entre os modelos, principalmente nas áreas de baixada. Tal fato pode ser observado na Figura 1 evidenciado pela criação de curvas não existentes.

A Figura 2 apresenta detalhes de algumas regiões da bacia hidrográfica, de acordo com os modelos gerados a partir das diferentes fontes de dados altimétricos.

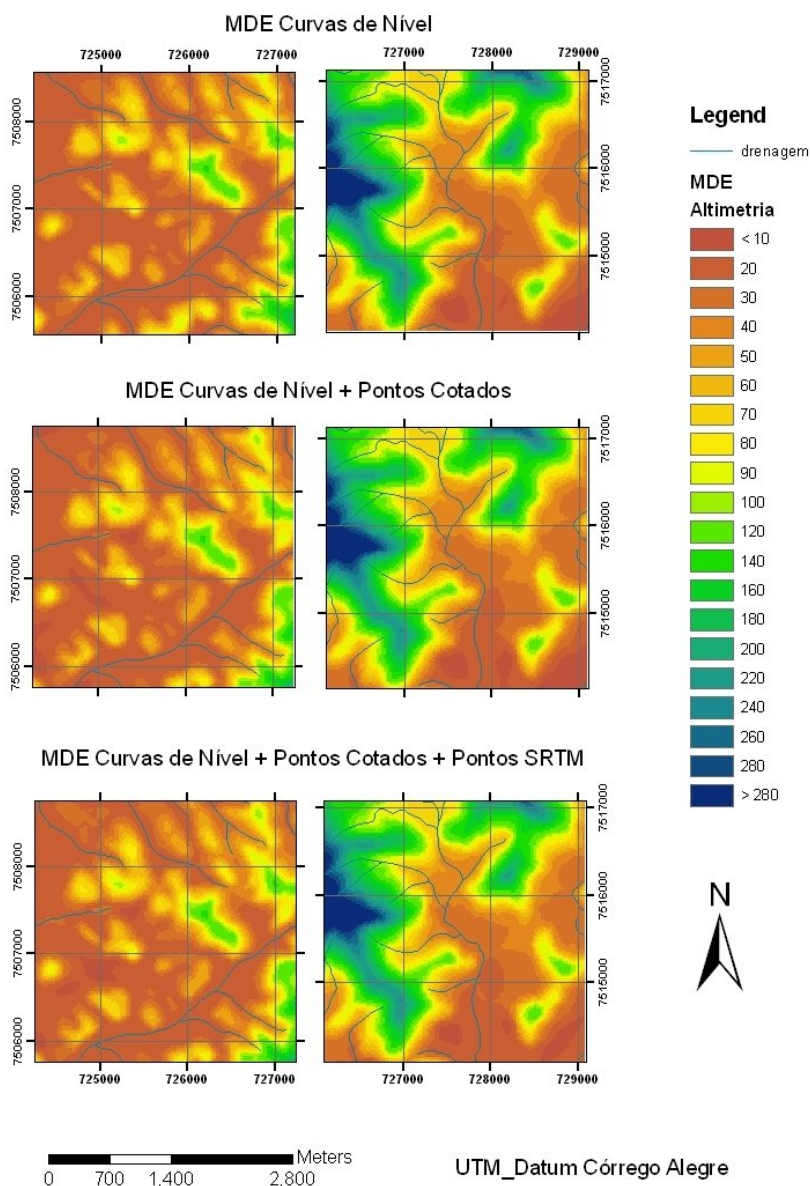


Figura 2. Detalhes de regiões da bacia hidrográfica, à esquerda áreas de baixada e à direita áreas montanhosas.

4. Conclusões

Para os dados da bacia hidrográfica do Rio Guapi-Macacu (RJ) e modelos utilizados, a melhor representação da altimetria do terreno no MDE foi obtida após a interpolação das curvas de nível e pontos cotados com os dados obtidos a partir de sensor remoto (SRTM).

Sendo assim, justifica-se a combinação das três fontes de dados para o estudo da topografia e geomorfologia da área. Principalmente, uma vez que as curvas de nível vetorizadas pelo IBGE têm equidistância de 20 metros, sendo insuficientes para representação precisa dos dados nas áreas de baixada, pois mesmo quando conjugadas com os pontos cotados, ainda assim produz resultados inferiores.

O uso de MDE para o mapeamento digital de solos é uma ferramenta relevante para compreensão e estudo da variabilidade espacial dos fatores que afetam a pedogênese, destacando-se a caracterização do comportamento da drenagem que, por conseqüência, influi em diversos atributos diagnósticos e propriedades dos solos.

Agradecimentos

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

Referências Bibliográficas

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.

Carvalho Júnior, W. de. Classificação supervisionada de pedopaisagens no domínio dos mares de morros utilizando redes neurais artificiais. Tese de doutorado. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2005. 160 p.

Chagas, C. da S., Mapeamento digital de solos por correlação ambiental e redes neurais em uma bacia hidrográfica de domínio de mar de morros. Tese de doutorado. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2006. 239 p.

Dixon, T. H. **SAR Interferometry and Surface Change Detection**. University of Miami, Rosenstiel School of marine and Atmospheric Sciences, RASMAS TR 95-003, 1995.

Dobos, E. et al. Use of combined digital elevation model and satellite radiometric data for regional soil mapping. **Geoderma**, v.97, p.367-391, 2000.

Ecologus- Agrar. **Plano Diretor dos Recursos Hídricos da Região Hidrográfica da Baía de Guanabara**. Rio de Janeiro, RJ. 2003. 3087 p. CD-ROOM

Felicísimo, A. M. Modelos digitales del Terreno: introducción aplicaciones en las ciencias ambientales. Oviedo: Universidad de Oviedo, 1994. Disponível em: <<http://www.etsimo.uniovi.es/~feli>>. Acesso em: 10/2010

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.

Hengl, T. E Heuvelink, G. B. M. New Challenges for Predictive Soil Mapping. **Global Workshop on Digital Soil Mapping**. September 14-17, 2004. Montpellier AGRO-M/INRA Campus. p.1-9.

Hickey, R.; Smith, A.; Jankowski, P. Slope length calculations from a DEM within ARC/INFO GRID: **Computers, Environment and Urban Systems**, v. 18, n. 5, p. 365-380. 1994.

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.

Jarvis et al. **Practical use of SRTM data in the tropics: comparisons with digital elevation models generated from cartographic data**. Cali, CO: Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), 2004. 32p. (Working document no. 198)

Projeto Macacu **Planejamento Estratégico da Região Hidrográfica dos Rios Guapi-Macacu e Caceribu-Macacu**. Niterói, RJ: UFF/FEC, 2010. 544 p.

United States Geological Survey – USGS. **Shuttle Radar Topography Mission (SRTM). 2005**. Disponível em: <<http://edc.usgs.gov/products/elevation/srtm>>. Acesso em: 10/2010.

Wise, S. Assessing the quality for hydrological applications of digital elevations models derived from contours. **Hydrological processes**, v.14, p.909-1929, 2000.