

## Determinação de pontos amostrais através de atributos do terreno para mapeamento digital dos solos da bacia hidrográfica do Rio Guapi-Macacu, RJ.

Alexandre Muselli Barbosa <sup>1</sup>  
Helena Saraiva Koenow Pinheiro <sup>1</sup>  
Lúcia Helena Cunha dos Anjos <sup>1</sup>  
Waldir de Carvalho Júnior <sup>2</sup>  
César da Silva Chagas <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro - UFRRJ  
BR 465, Km 7- 23890-000 - Seropédica - RJ, Brasil  
{muselli; koenow; lanjos}@ufrj.br

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

**Abstract.** The use of digital elevation models (DEM) are becoming increasingly common in studies related to environmental issues and especially in studies within the watershed. In regions where the geomorphological are a main factor during the genesis of soils, studies by DEM and derived attributes emerge as a great tool, providing greater efficiency during field work in order to improve the present situation of soil surveys, which proved very expensive and subjective interpretation. From the DEM it is possible to extract several attributes, enabling a more holistic analysis of the environment, but for a more consistent, it is necessary to have a better representation of the data, so that it can faithfully represent several variations within the environment. The use of a tool for pre-determination of sampling points of the DEM can be an alternative to greater efficiency and consequently a lower cost of implementation. This study aims to use statistical analysis of the attributes generated by MDE, through Latin Hypercube Sampling Software (LHS) for the sampling points which have large representation of geomorphological phenomena, determinants in the genesis of soils in the Guapi-Macacu watershed, Rio de Janeiro. The results were satisfactory, showing that this method may become a useful tool for pre-determination of sample points generated from DEM and their attributes for landscape studies.

**Palavras-chave:** digital elevation model, Latin Hypercube Sampling, sampling points, modelo digital de elevação, Hiper cubo Latino, pontos amostrais.

### 1. Introdução

Os Modelos Digitais de Elevação (MDE) têm sido muito empregados para estudos em bacias hidrográficas, porém sua capacidade de representar o formato da superfície depende da qualidade do método empregado. Métodos para a geração de modelos de elevação hidrológicamente consistentes devem permitir a representação de descontinuidades da superfície, como os divisores de água e as vertentes, evitando suavização e ocorrência de depressões espúrias (Fidalgo et al., 2009). Os diferentes atributos passíveis de obtenção em um MDE podem dar suporte à classificação da paisagem, fornecendo uma segmentação da mesma em ambientes topográficos distintos. Sendo estes de suma importância para os estudos de solos, já que o movimento da água na paisagem é o principal responsável pelo processo de desenvolvimento do solo. Desta forma, compreender as formas do relevo permite a realização de inferências e predições sobre atributos do solo em diferentes segmentos de vertentes (Sirtoli et al., 2008).

Odeh et al. (1991) destacam a importância do delineamento de unidade de paisagem para a projeção dos padrões de amostragem nos levantamentos de solos, desta forma diminuindo erros por extrapolação, dando uma maior consistência aos produtos obtidos. Em contrapartida, em estudos ambientais como o de bacias hidrográficas, o acesso aos pontos amostrais nem sempre é possível, sendo limitados pelas condições apresentadas pelo terreno, dificultando uma maior cobertura amostral da área.

Este trabalho tem como objetivo validar a utilização de *buffers* para a inferência de pontos amostrais que permitam simultaneamente o acesso aos pontos de coleta e que apresentem uma maior representatividade das condições da superfície presente na bacia.

## **2. Metodologia de Trabalho**

### **2.1. Caracterização da área de estudo**

A bacia do rio Guapi-Macacu está localizada na parte leste da Baía de Guanabara, no Estado do Rio de Janeiro, abrangendo aproximadamente 1250,78km<sup>2</sup>, se estendendo das escarpas serranas às planícies costeiras, passando por colinas, maciços e tabuleiros costeiros, desta forma sendo compostas por uma variedade grande de morfologias e além de uma diversidade de ambientes onde ocorrem ecossistemas diversos como florestas, campos de altitude, restingas e mangues. (PLANO, 2001).

As altitudes máximas observadas junto às nascentes dos rios são da ordem de 1.700 m, no Rio Macacu, 1.200 m no rio Guapiaçu, as colinas e maciços costeiros, situados na área de transição entre as escarpas da serra do Mar e as planícies costeiras, apresentam formação menos acidentada, tendo as colinas forma arredondada, e os maciços altitudes inferiores a 1.000 m (Pedreira, 2009).

### **2.2. Base cartográfica**

A elaboração do modelo digital de elevação seguiu diversas etapas, onde primeiramente foi feito o levantamento da base cartográfica disponível para a área de estudo. Sendo utilizada a base cartográfica digital no formato vetorial obtida do IBGE (IBGE, 1971, 1974, 1979a, 1979b, 1983 e BRASIL, 1997), com curvas de nível equidistantes 20 metros e pontos cotados, mapa de hidrográfico e mapa de estradas e vias de acesso, todos em sistema de projeção Universal Transversa de Mercator (UTM), na escala de 1:50.000 e *datum* horizontal Córrego Alegre, Zona 23S. Juntamente com este foram utilizados dados do sensor remoto (SRTM), a fim de se obter uma melhor representação da altimetria da área pelo modelo.

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.*
- ENVI versão 4.5 - *ITT Visual Information Solutions, Inc.*
- ArcGIS versão 9.3.1 - *Environmental Systems Research Institute, Inc.*
- Hawth's Analysis Tools versão 3.27 – desenvolvido por Beyer (2004).
- Hipercubo Latino - *Sandia National Laboratories*
- Microsoft Excel - 2010 - *Microsoft Corporation.*

### **2.3. Obtenção do modelo digital de elevação (MDE)**

Sendo o processamento digital dos dados realizados pelo programa ArcGIS da ESRI, após as correções, foram gerados os modelos de elevação para avaliação dos melhores resultados. Para tanto, utilizou-se a ferramenta *Topo to Raster*, que emprega um método de interpolação desenvolvido especialmente para a criação de modelos digitais de elevação hidrologicamente consistentes. Os modelos foram analisados quanto à sua qualidade e adequação da resolução seguindo os procedimentos descritos por Hutchinson e Gallant (2000). A última etapa para o refinamento do MDE consistiu na correção de erros observados, para a correção de lacunas de informação, que geraram inconsistências no modelo, foram incluídos pontos cotados provenientes do modelo de elevação digital fornecido pelo projeto SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*), com resolução de 90 metros corrigida obtidos gratuitamente pelo *site*: <http://edc.usgs.gov/products/elevation/srtm>, descrito por Mendonça-Santos et al. (2007). Desta forma, diminuindo a ocorrência de células com valores negativos e depressões espúrias, presentes principalmente em regiões com cotas menores que 20metros, melhorando a qualidade do modelo.

As depressões espúrias dos modelos foram eliminadas por um pós-processamento envolvendo: (a) a identificação das depressões; (b) a criação de dado no formato matricial com informação sobre a área de contribuição das depressões, utilizando a ferramenta *Watershed*; (c) a criação de dado no formato matricial com informação sobre o valor de elevação da borda da depressão (máxima elevação), utilizando o comando *Zonalfill*, e preenchimento das depressões com este valor de depressão. Este último procedimento é iterativo e foi realizado até a eliminação de todas as depressões espúrias, como descrito por Fidalgo (2009). Sendo escolhido o MDE com célula de 25 metros como modelo de trabalho, após ser comparado com as curvas originais e não sendo observadas inconsistências no modelo.

#### 2.4. Obtenção dos atributos

Os processos e fenômenos que ocorrem dentro de uma bacia é controlado pelo formato de sua superfície, assim durante estudos ambientais é de suma importância uma maior veracidade do comportamento e distribuição deste dentro dos processos de representação. Principalmente os relacionados à gênese e formação dos solos, já que a distribuição dos solos na paisagem reflete a influência dos vários fatores de formação e estão relacionadas com combinações microclimáticas, pedogênese, relevo e processos geológicos (Birkeland, 1984), sendo uma boa referência para o estudo de sua distribuição na paisagem. Desta forma foram selecionados atributos reconhecidos como os mais efetivos para a realização de levantamento de solos de média escala, sendo estes a elevação, curvatura e declividade (Chagas, 2006).

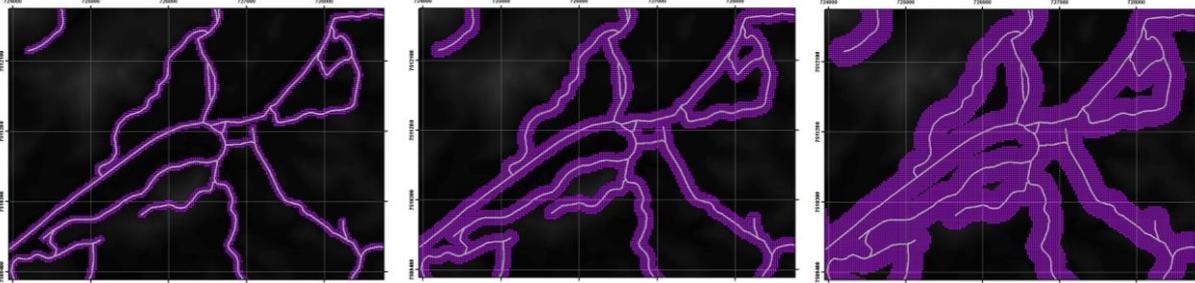
O atributo de declividade é a primeira derivada do MDE, obtida diretamente através do comando *Slope*, este representa a máxima taxa de mudança entre células, este atributo determina quão intenso é o movimento da água na vertente. Já a curvatura é uma segunda derivada do MDE, já que para o processamento do mesmo são geradas duas grades, uma para o perfil de curvatura e outra para o plano de curvatura, resultando assim a curvatura do terreno, esta que é classificada como côncava, plana ou convexa, obtida pela ferramenta *Curvature*, este atributo faz inferência sobre o comportamento do escoamento da água na vertente.

Para a geração do atributo de 'Uso do Solo', foram utilizadas imagens do satélite LANDSAT-5, sendo utilizadas as bandas 3, 4 e 5, já que a faixa espectral destas imagens possuem aplicações eficientes para o mapeamento do uso e ocupação do solo (Rios et al., 2010). As imagens foram pré-processadas no programa ENVI de forma a se obter uma classificação das áreas classes de acordo com o seu uso atual e cobertura vegetal, sendo estas divididas em afloramento, área agrícola, campo de altitude e inundável, mangue, pastagem, solo exposto, vegetação em estágio de regeneração inicial, médio e avançado e área urbana, sendo esta última removida, de forma a evitar que os pontos amostrais ocorressem sob áreas construídas.

#### 2.5. Obtenção do Buffer

O *buffer* consiste na determinação de uma área através de atributo pré-selecionado, desta forma para a obtenção dos modelos dos *buffers* foi utilizada a ferramenta *Analysis Tools – Proximity – Buffer*, usando como atributo a carta de estradas e vias, já que a acessibilidade das áreas é o maior limitante para a execução dos trabalhos. Os modelos foram gerados para distâncias de 50, 100 e 200 metros (Figura 1). Após a conversão do MDE para pontos através do comando *Raster to Point*, o *buffer* gerado será utilizado, este terá uma função semelhante a uma ferramenta de seleção, onde os pontos do MDE contidos dentro deste são marcados, este processo é feito através da do comando *Select by Location*, onde os pontos contidos no MDE são localizados pela área do *buffer*, estes pontos selecionados são exportados. Através do

*pluggin Hawth's Analysis Tools*, são adicionados os valores dos atributos de declividade, curvatura e uso do solo.



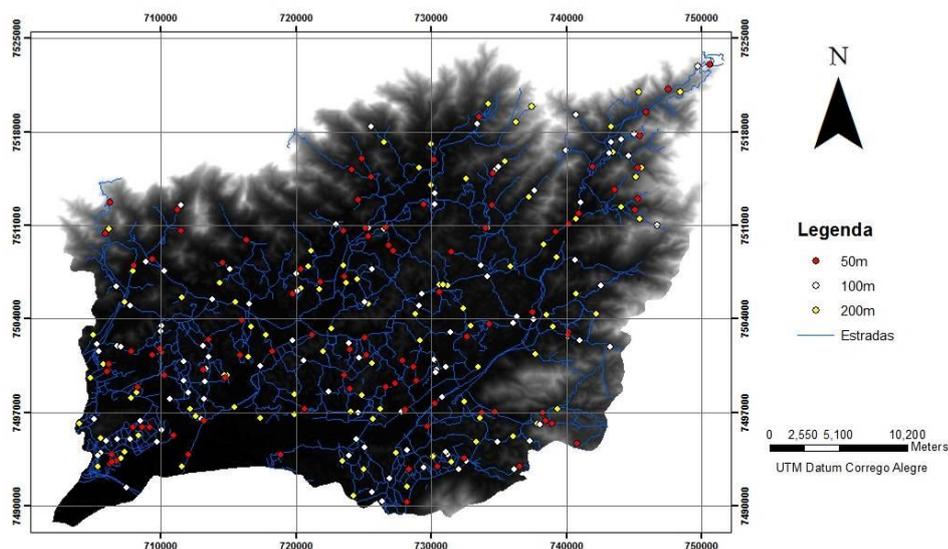
**Figura 1.** *Buffers* gerados a partir da carta de estradas e vias para as distâncias de 50, 100 e 200 metros respectivamente.

## 2.6. Obtenção dos pontos amostrais

O Hipercubo Latino (LHS) além de ser uma técnica de redução de variância, também pode ser visto como uma técnica de seleção, onde a seleção dos valores da amostra é altamente controlada, e através deste são necessárias menos amostras para obter-se uma distribuição mais representativa (Saliby, 1997). O número de sorteios é diretamente proporcional à probabilidade de cada faixa, sendo utilizado em ciência do solo e estudos ambientais para avaliar a incerteza em um modelo de previsão (Minasny e McBratney, 2002). Desta forma os dados inseridos no LHS, tendo como condicionantes quatro variáveis, sendo elas, elevação, curvatura, declividade e uso do solo, utilizando número de iterações equivalente a 20000 (valor sugerido pelo programa). Como produto deste é obtido um arquivo de texto, contendo os pontos amostrais no valor determinado neste caso para 100 pontos, arquivo este convertida para uma tabela com auxílio do Excel, de forma a possibilitar a leitura do arquivo pelo ArcGIS.

## 3. Resultados e Discussão

Após a importação dos dados gerados pelo LHC, é possível visualizar no ArcGIS a distribuição dos pontos amostrais ao longo da área, estando estes contidos dentro do perímetro determinados e condicionados aos seguimentos das vias de acesso (Figura 2). Estes pontos podem ser transferidos para o GPS, onde durante os trabalhos de campo é possível se obter a posição exata do ponto pré-selecionados.



**Figura 2.** MDE gerado e distribuição dos pontos amostrais determinados a partir do LHS.

Os dados que descrevem os modelos gerados são apresentados nas Tabelas 1 e 2, onde os valores oriundos do MDE são discrepantes, tanto para o atributo de elevação quanto para o de declive, já que os valores obtidos através do MDE abrangem toda a área da bacia, englobando assim diversas feições onde a malha de estradas não tem acesso, causando uma significativa diferença para os valores dos dados do *buffer*, já que estes são totalmente dependentes da distribuição da malha de estradas ao longo da área e que situação geomorfológica esta está inserida.

**Tabela 1.** Parâmetros descritivos para o atributo elevação para os *Buffers* e pontos gerados.

Fontes de Dados	Estatística Descritiva			
	Máx. (m)	Méd. (m)	Mín. (m)	Des. Pad.
MDE	2263.550	267.236	-0.134	373.025
Buffer 50m	1290.340	86.049	1.568	159.084
Buffer 100m	1335.811	88.681	1.542	160.624
Buffer 200m	1397.760	94.905	1.542	164.928
Ptos 50m	993.960	84.414	3.228	148.299
Ptos 100m	801.850	74.224	3.955	127.727
Ptos 200m	993.960	91.815	3.463	163.161

**Tabela 2.** Parâmetros descritivos para o atributo declividade para os *Buffers* e pontos gerados.

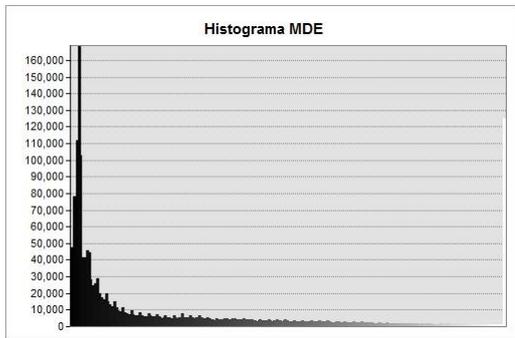
Fontes de Dados	Estatística Descritiva			
	Máx. (m)	Méd. (m)	Mín. (m)	Des. Pad.
Decliv.	261.114	27.749	0	25.678
Buffer 50m	134.655	13.186	0	15.483
Buffer 100m	135.406	14.146	0	16.146
Buffer 200m	135.406	15.807	0	17.134
Ptos 50m	74.081	14.630	0	16.267
Ptos 100m	65.451	16.692	0	16.714
Ptos 200m	74.814	16.556	0	16.981

Decliv.: Declividade obtida através do MDE; Ptos: pontos gerados pelo LHS; Máx: máximo; Méd: média; Mín: mínimo; Des. Pad.: desvio padrão.

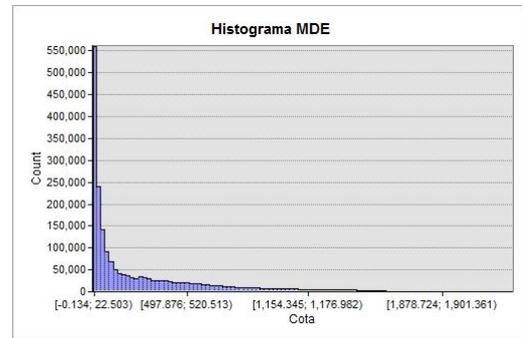
Os valores obtidos para os *buffers* de 50, 100 e 200m não apresentaram diferenças relevantes entre si, mostrando que a área de abrangência total do *buffer* não tem influência sobre a representatividade do modelo. O mesmo pode ser observado nos dados dos pontos amostrais, onde os valores obtidos são semelhantes, não havendo diferença entre si, independentemente da área ocupada pelo *buffer* analisado.

Através dos histogramas gerados para o atributo elevação, podemos visualizar o comportamento e distribuição espacial dos modelos estudados, onde o comportamento dos *buffers* de 50, 100 e 200m (Figuras 5, 7 e 9) muito se assemelham com o comportamento apresentado pelo histograma do MDE (Figura3). Embora os valores de MDE apresentem uma maior variabilidade no espaço, são bem representados pela distribuição obtida através das malhas da estrada, independentemente da área de abrangência escolhida. A distribuição espacial dos pontos amostrais para 50, 100 e 200m (Figuras 6, 8 e 10), mostrou grande similaridade tanto com a distribuição de seus respectivos *buffers*, quanto com a distribuição do MDE (Figura 4), evidenciando assim consistência nos dados obtidos, já que estes

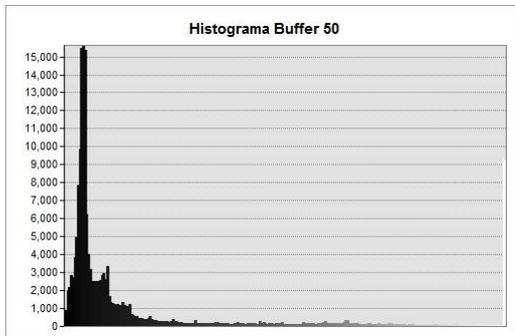
evidenciam um comportamento muito semelhante quanto à distribuição espacial dos valores de cota observados na área da bacia.



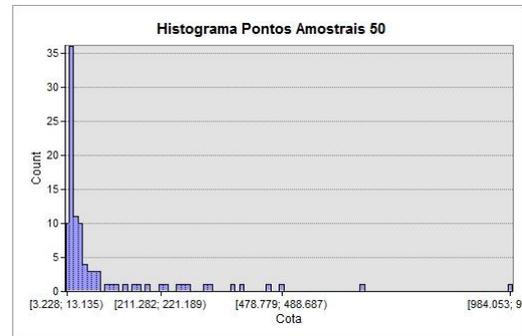
**Figura 3.** Histograma do MDE



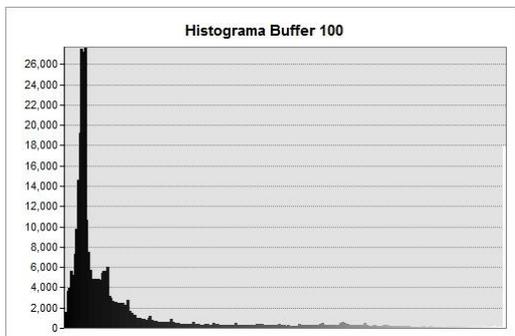
**Figura 4.** Histograma do MDE



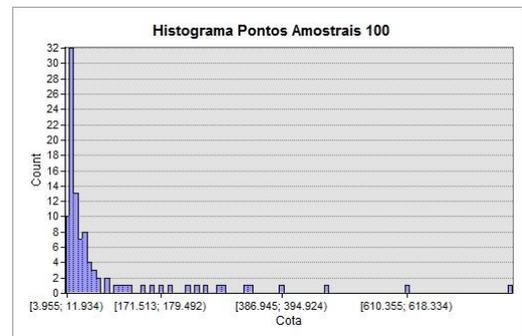
**Figura 5.** Histograma do *buffer* de 50m.



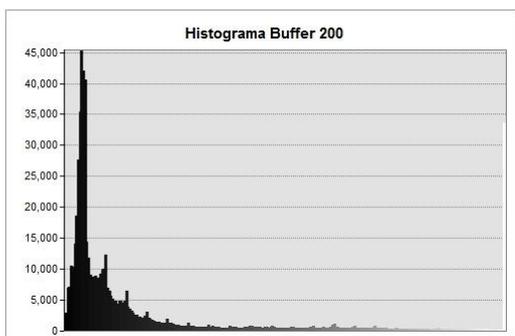
**Figura 6.** Histograma dos pontos amostras para *buffer* de 50m.



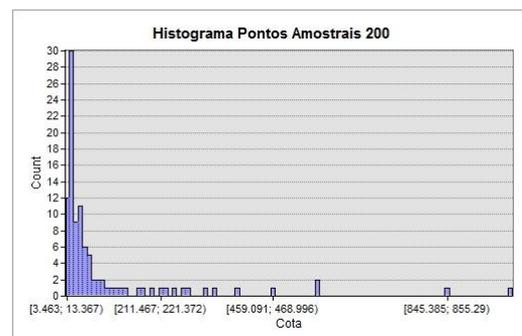
**Figura 7.** Histograma do *buffer* de 100m.



**Figura 8.** Histograma dos pontos amostras para *buffer* de 100m.



**Figura 9.** Histograma do *buffer* de 200m.



**Figura 10.** Histograma dos pontos amostras para *buffer* de 200m.

#### 4. Conclusão

Todos os *buffers* obtiveram um resultado muito satisfatório quanto a sua representatividade do modelo digital de elevação, mas tendo em vista que este estudo visa aumentar a eficiência de trabalho. O *buffer* para 100m foi o que apresentou melhores resultados, já que evidencia uma boa representatividade o modelo, abrange uma área considerável dentro da bacia e não apresenta uma distância grande da via de acesso, como a área de estudo apresenta diversos ecossistemas, uma menor distância de percurso é justificada pela incerteza da qualidade do acesso.

O método de obtenção de pontos amostrais através de análises geomorfológicas derivadas do MDE e condicionadas pelo condicionamento de um *buffer* se mostrou válido e representativo, sendo este dependente desta, já que só demonstrará uma boa representatividade se as vias forem bem distribuídas pela área estudada.

O estudo também se mostrou válido para regiões onde a gênese dos solos é condicionada pelas feições geomorfológicas, sendo necessários maiores estudo para a sua validação como ferramenta de auxílio para trabalhos de campo. Para regiões onde a gênese dos solos é condicionada por outros fatores de formação, são necessários estudos quanto à aplicabilidade deste método.

#### 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

Birkeland, P. W. Soils and geomorphology. New York: Oxford University Press, 1984. 430p.

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.

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

Beyer, H. L. Hawth's Analysis Tools for ArcGIS. 2004. Disponível em <<http://www.spatial ecology.com/htools>>. Acesso em 09/2010

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. UFV, 2006

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.

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](http://www.ibge.gov.br/home/#sub_download). Acesso em 09/2010.

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

Iman, R.L.; Davenport, J.M.; Ziegler, D.K. Latin Hypercube Smapling (Program user's guide). Sandia National Laboratory, Albuquerque, New Mexico, 1980.

Mendonça-Santos, M. L.; Santos, H. G.; Dart, R. O.; Pares, J. G. Mapeamento digital de classes de solos do Estado do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2007. 29 p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, Embrapa Solos, 119).

Minasny, B., McBratney, A.B. Uncertainty analysis for pedotransfer functions. *European Journal of Soil Science* 53, 417–430. 2002.

Obeh, I.O.A.; Chittleborough, D. J.; McBratney, A.B. Elucidation of soil-landform interrelationships by canonical ordination analysis. *Geoderma*, v. 49, p. 1-32, 1991.

Pedreira, B.C.C.G. Dinâmica de uso e cobertura da terra nas bacias hidrográficas de Guapi-Macacu e Caceribu - RJ. *Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento - Embrapa Solos*. Rio de Janeiro, 2009. 65 p.

PLANO de manejo da Área de Proteção Ambiental de Guapi-Mirim. Rio de Janeiro: IBG: IBAMA, 2001.

Rios, R. O.; Aalmeida, M. G.; Ribeiro, M. M. análise do uso e ocupação do solo da cidade de vitória-es usando a composição colorida de imagens fornecidas pelo satélite landsat-5. XIII Encontro de modelagem Computacional Instituto Politécnico (IPRJ), UERJ, Nova Friburgo-RJ, Brasil. 03-05 nov. 2010.

Saliby, E., Descriptive Sampling: an Improvement Over Latin Hypercube Sampling. *Proceedings of Winter Simulation Conference*, ed. S.Andradóttir, K. J. Healy, D. H. Withers, and B. L. Nelson, 1997.

Sirtoli, A. E.; Silveira, C. T.; Mmantovani, L. E.; Sirtoli, A. R. dos A.; OKA-FIORI, C. Atributos do relevo derivados de modelo digital de elevação e suas relações com solos. *Scientia Agraria, Curitiba*. v.9, n.3, p. 317-329, 2008.

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