



Revista Brasileira de Ciência do Solo

ISSN: 0100-0683

revista@sbccs.org.br

Sociedade Brasileira de Ciência do Solo
Brasil

Ippoliti R., Gabriela A.; Costa, Liovando Marciano da; Schaefer, Carlos Ernesto G. R.; Fernandes Filho, Elpidio Inacio; Gaggero, Marcelo Reschutzegeger

ANÁLISE DIGITAL DO TERRENO: FERRAMENTA NA IDENTIFICAÇÃO DE PEDOFORMAS EM
MICROBACIA NA REGIÃO DE "MAR DE MORROS" (MG)

Revista Brasileira de Ciência do Solo, vol. 29, núm. 2, 2005, pp. 269-276

Sociedade Brasileira de Ciência do Solo

Viçosa, Brasil

Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=180214036012>

- Como citar este artigo
- Número completo
- Mais artigos
- Home da revista no Redalyc

redalyc.org

Sistema de Informação Científica

Rede de Revistas Científicas da América Latina, Caribe, Espanha e Portugal
Projeto acadêmico sem fins lucrativos desenvolvido no âmbito da iniciativa Acesso Aberto

SEÇÃO V - GÊNESE, MORFOLOGIA E CLASSIFICAÇÃO DO SOLO

ANÁLISE DIGITAL DO TERRENO: FERRAMENTA NA IDENTIFICAÇÃO DE PEDOFORMAS EM MICROBACIA NA REGIÃO DE “MAR DE MORROS” (MG)⁽¹⁾

**Gabriela A. Ippoliti R.⁽²⁾, Liovando Marciano da Costa⁽³⁾, Carlos Ernesto
G. R. Schaefer⁽³⁾, Elpidio Inacio Fernandes Filho⁽³⁾
& Marcelo Reschutzegger Gaggero⁽²⁾**

RESUMO

Este trabalho reporta a utilização de ferramentas de um SIG (Sistema de Informação Geográfica) para o delineamento das geoformas e pedopaisagens em um estudo de caso em microbacia do município de Viçosa (MG), a partir dos dados da carta topográfica (escala 1:50.000) da região. Trabalhos de campo permitiram aferir uma exatidão global de 72 % na classificação das formas da paisagem e correlacionar as classes obtidas com as classes de solos dominantes. Após ajustes, elaborou-se um mapa síntese preliminar de distribuição de pedoformas, que auxilia no mapeamento de solos. O método de classificação das formas da paisagem baseado na geração de um MNT (Modelo Numérico do Terreno) e no cálculo dos atributos do relevo (elevação, declividade, curvatura) mostra-se uma alternativa rápida e econômica em comparação ao delineamento manual a partir da utilização de análise estereoscópica de fotografias aéreas.

Termos de indexação: SIG, MNT, relevo, pedopaisagens.

⁽¹⁾ Recebido para publicação em julho de 2003 e aprovado em outubro de 2004.

⁽²⁾ Doutoranda em Solos e Nutrição de Plantas, Departamento de Solos, Universidade Federal de Viçosa – UFV. CEP 36570-000 Viçosa (MG). E-mail: gippoliti@unemat.br; mgaggero@unemat.br

⁽³⁾ Professor do Departamento de Solo, Universidade Federal de Viçosa – UFV. CEP 36571-000 Viçosa (MG). E-mail: liovando@ufv.br; carlos.schaefer@ufv.br

SUMMARY: DIGITAL TERRAIN ANALYSIS: TOOL FOR PEDOFORM IDENTIFICATION IN THE "MAR DE MORROS" WATERSHED (MG)

This study reports on the use of GIS (Geographical Information System) tools for identifying and mapping landform units and soilscape in a case study of a watershed in the region of Viçosa, Minas Gerais state, based on a topographical base map at a 1:50000 scale. Field work was undertaken to estimate the degree of accuracy of landform units / soilscape identification, obtaining an agreement of 72 % between the automatic and field work classification, and to correlate obtained soilscape with dominant soil classes. After adjustments, a preliminary synthesized pedogeomorphic map was produced, which can assist soil mapping. The method of classifying landforms based on a digital elevation model (DEM) as well as on the calculation of landform attributes (elevation, slope angle, slope form) represents a quick and economic option, compared with manual drawing based on stereoscopic identification of landforms from aerial photographs.

Index terms: SIG, digital elevation model, landform attributes, soils/landform identification.

INTRODUÇÃO

A quantificação morfológica da superfície terrestre é essencial ao conhecimento dos processos físicos, químicos e biológicos que ocorrem na paisagem. A forma do terreno influencia o fluxo d'água, o transporte de sedimentos e poluentes, a natureza e a distribuição de habitats de plantas e animais, além de ser uma expressão dos processos geológicos e do intemperismo (Blaszczyński, 1997).

As relações entre os solos e as formas da paisagem têm sido, por longo tempo, a base do mapeamento de solos. Tradicionalmente, utiliza-se a análise estereoscópica de fotografias aéreas para o delineamento manual das unidades de solo-paisagem que, posteriormente, são constatadas no campo. A análise digital do terreno introduz algumas vantagens em relação ao método tradicional para a separação dessas unidades; é uma alternativa rápida e econômica que pode ser aplicada para a quantificação e classificação do relevo, permitindo a definição automática ou semi-automática das unidades morfológicas da paisagem. Os principais atributos topográficos usados são: a elevação, a declividade, a orientação e a curvatura da superfície terrestre. Em geral, os métodos que organizam a superfície de acordo com um modelo morfológico mostraram potencial para melhorar a predição de ocorrência dos tipos de solos, visto que a posição na paisagem influencia os processos de formação e os atributos pedológicos.

Odeh et al. (1991) destacaram a importância do delineamento de unidades de paisagem para a projeção dos padrões de amostragem nos levantamento de solos, com o objetivo de diminuir o erro por extração e, portanto, a classificação errada dos solos. Encontraram que a declividade e a curvatura explicam grande parte da variabilidade

dos solos da área estudada. O uso da declividade, da orientação e da elevação nos levantamentos de solos é praticamente generalizado. Já McBratney et al. (1991) usaram a informação topográfica para o zoneamento de uma região com o objetivo de melhorar a representação de atributos do solo mapeados geoestatisticamente.

A análise digital do terreno foi usada também para a predição de propriedades pedológicas. Moore et al. (1993) determinaram correlações significativas entre atributos quantificáveis do terreno e propriedades do solo. Indicaram a utilização da técnica como uma primeira etapa nos levantamentos de solos, destacando que resultaria de utilidade tanto na amostragem dos solos como no desenvolvimento de modelos de localização das pedoformas. Irvin et al. (1997) utilizaram a informação derivada da análise digital do terreno (elevação, declividade, curvatura, radiação solar incidente e um índice topográfico) em classificações dos tipos ISODATA (Iterative Self-Organizing Data Analysis Technique) e lógica difusa ("fuzzy logic") para a discriminação de pedoformas. Esses autores encontraram que os dois tipos de classificações numéricas replicaram as unidades de paisagem obtidas por métodos manuais e ainda permitiram maior detalhamento e quantificação dos elementos da paisagem.

No Brasil, Miranda et al. (1999) realizaram o levantamento semidetalhado dos solos de um município da Zona da Mata Mineira, utilizando, como base, a identificação de padrões fisiográficos por interpretação visual do modelo de elevação e das classes de declividade e de orientação derivadas desse modelo. Em cada unidade pedogeomorfológica homogênea, os autores selecionaram pontos de observação e amostragem representativos e obtiveram uma estratificação dos solos baseada nas formas do relevo.

O presente trabalho propôs um procedimento simples para a extração de informação morfológica relevante para fins de mapeamento pedológico a partir dos dados digitais de elevação, baseado nas ferramentas de um Sistema de Informação Geográfica (SIG). Objetivou a análise quantitativa da superfície de uma microbacia, visando à identificação e classificação das geoformas da paisagem e a sua posterior associação aos diferentes tipos de solos. O estudo teve por objetivo auxiliar futuros levantamentos pedológicos realizados na área, assim como estudos de vegetação, hidrológicos e geológicos. A base fundamental do trabalho foi o vasto conhecimento acumulado sobre as relações solos-geoformas na Zona da Mata de MG, coligindo dados de diversos autores precedentes (Rezende, 1971; Rezende, 1980; Corrêa, 1984; Ker & Schaefer, 1995).

ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo corresponde à microbacia do Córrego Ipiúna localizada no município de Viçosa (MG) entre as coordenadas $20^{\circ}41'12''$ a $20^{\circ}44'57''$ S e $42^{\circ}55'28''$ a $42^{\circ}58'54''$ WGr, abrangendo uma superfície de 1.796 ha (Figura 1). De acordo com a classificação de Strahler (1952), esta é uma bacia de terceira ordem.

A geologia local é constituída predominantemente por gnaissés, os quais se caracterizam pela alternância de bandas claras, constituídas por plagioclásios, feldspatos e quartzo, e bandas escuras, constituídas por hornblenda e biotita. O relevo, denominado "Mar de Morros", é característico de regiões soerguidas do leste Atlântico sobre rochas predominantemente granítico/gnaissicas do Pré-Cambriano (Complexo Cristalino).

Corrêa (1984) descreveu o predomínio de vertentes convexo-convexas e convexo-côncavas alinhadas em forma de espigões, intensamente dissecadas pela erosão fluvial, entremeadas por vales de fundo aplainado, formados por terraços e leitos maiores, onde se encaixam cursos d'água pouco expressivos. É comum, nas vertentes, a presença de cicatrizes de escorregamentos, ravinas anfiteátricas e voçorocas inativas. Os topos apresentam-se geralmente aplainados, constituindo os divisores de água para as pequenas bacias de drenagem existentes. Como descrito por Rezende (1971), as geoformas dos interflúvios representam uma seqüência assimétrica côncava-convexa-topo e parte íngreme das vertentes, acima dos terraços fluviais (Figura 2).

As elevações e os fundos dos vales formam dois conjuntos pedológicos diferentes. Nas elevações, dominam os Latossolos Vermelho-Amarelos, Cambissolos Háplicos Tb distróficos típicos e também Cambissolos Háplicos Tb distróficos latossólicos, enquanto os fundos de vale apresentam, nos terraços, Argissolos de textura muito argilosa, sendo os leitos maiores constituídos por solos aluviais de textura geralmente fina, algumas vezes em associação com Neossolos Flúvicos, Neossolos Flúvicos distróficos gleicos, Gleissolos Háplicos Tb distróficos típicos (Corrêa, 1984).

Latossolos Vermelho-Amarelos distróficos podem ser encontrados nos topos, encostas onduladas e planos inclinados. Os solos de topos aplainados mais extensos são os mais elevados da paisagem; a sua topografia é plana e correspondem a Latossolos amarelados (matriz mais clara que 2,5 YR) geralmente mais profundos e desenvolvidos, enquanto, em posições inferiores, sobretudo no terço inferior das elevações, o Latossolo Vermelho-Amarelo mostra-se menos amarelado e geralmente

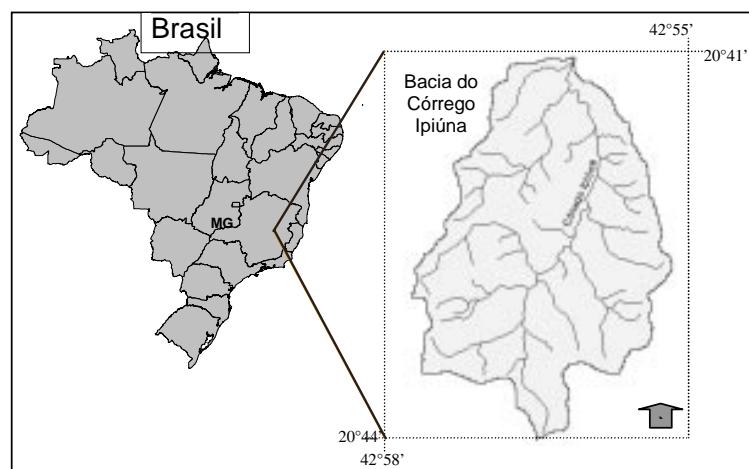


Figura 1. Esquema de localização da área de estudo.

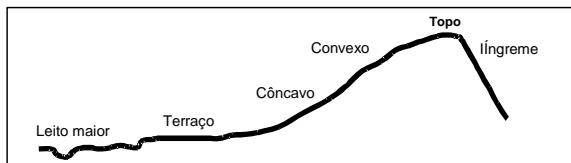


Figura 2. Esquema da conformação típica das vertentes no Planalto de Viçosa. Fonte: Rezende (1971).

profundo, em pedoformas convexo-convexas, ou mais raso, em pedoformas convexo-côncavas.

Em toposequência da região de Viçosa, Rezende (1971) verificou que os perfis dos latossolos das encostas convexas estudadas mostraram-se mais espessos do que os do topo, revelando acumulação de material pré-intemperizado proveniente de montante por coluvionamento de montante para jusante. Os perfis dos latossolos de encostas côncavas são quase sempre menos espessos do que os de encostas convexas.

Nas posições de terraços ao longo dos cursos d'água, é comum a ocorrência de Argissolos, sempre apresentando uma declividade baixa (0–8%). O contato entre o terraço e a encosta, em alguns casos, é abrupto e, em outros, mais suave, concordância que pode ser visualizada pelo perfil com o formato de uma sigmoidé. Nos casos em que o contato é abrupto, o terraço está parcialmente recoberto por depósitos de sopro da encosta, e a pedoforma é tipicamente convexo-convexa.

Os Cambissolos Háplicos Tb distróficos típicos ou latossólicos, e os Latossolos Vermelho-Amarelos distróficos câmbicos ocupam as vertentes mais íngremes da paisagem, inclusive as bordas das ravinas. São solos rasos e muito sujeitos à erosão. Os Cambissolos Háplicos Tb distróficos latossólicos apresentam-se nas superfícies mais íngremes freqüentemente com exposição do horizonte C ou saprolito. Rezende (1971) destacou que os perfis de solos localizados nas áreas muito declivosas são os menos espessos da sequência, pois tal posição favorece a morfogênese, levando estes solos a um constante rejuvenescimento por erosão. Por último, encontram-se os Gleissolos Háplicos Tb distróficos típicos, localizados em relevo plano na planície fluvial (leito maior), nas margens dos cursos de água, ou em partes baixas da paisagem onde ocorrem condições de alagamento.

MATERIAL E MÉTODOS

As informações de referência utilizadas nas análises foram extraídas da carta topográfica da

região (IBGE, 1979) e incluíram as curvas de nível de 20 em 20 m e rede hidrográfica. A base de dados e as análises foram geradas no “software” ARC/INFO versão 7.1.1 (ESRI, 1997). A figura 3 apresenta o diagrama de fluxo das atividades realizadas.

Para a análise digital do terreno foi gerado um MNT (Modelo Numérico do Terreno) baseado na representação TIN (“Triangular Irregular Network”), pois foram consideradas as vantagens que esse tipo de modelo introduz na representação do relevo complexo (Câmara & Medeiros, 1996). Foram incorporadas como restrições (linhas de quebra) as linhas da rede de drenagem. Para o cálculo de alguns atributos da paisagem, os valores de elevação derivados do TIN foram interpolados e convertidos ao formato matricial, utilizando um tamanho de célula de 20 x 20 m.

O trabalho utilizou atributos primários derivados do MNT (Moore et al., 1991) que permitiram a caracterização de elementos da paisagem que se encontravam relacionados com os processos de formação do solo. Esses atributos foram: elevação, declividade e curvatura em cada ponto da superfície.

A declividade representa a primeira derivada da altitude e corresponde à inclinação da superfície do terreno em relação ao plano horizontal; foi calculada diretamente a partir do TIN e, posteriormente, convertida ao formato matricial para facilidade de manipulação. A curvatura do terreno representa a segunda derivada da altitude. Os valores das células associam-se à concavidade ou à convexidade das vertentes. A curvatura de uma vertente está relacionada com fatores, tais como: teor de água no solo, fluxo convergente/divergente e taxa de erosão/deposição (Moore et al., 1991). As vertentes côncavas, obtidas a partir do TIN, foram representadas por células com valores negativos, as convexas, por valores positivos, e as planas, por zero.

Com vistas em delimitar as áreas de leito maior ou planície inundável, foi gerado um corredor

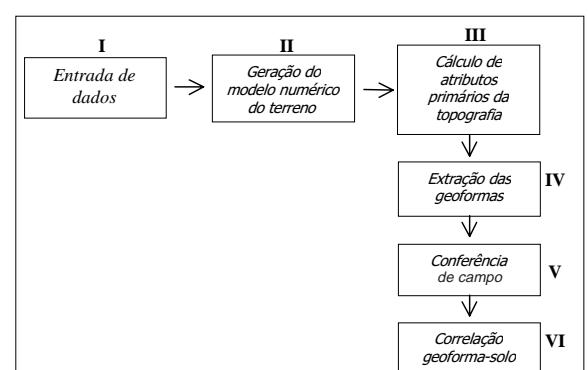


Figura 3. Diagrama de fluxo das atividades realizadas.

(“buffer”) de 20 m ao redor das feições da rede de drenagem obtidas das cartas topográficas da área. A determinação da distância a ser utilizada para os corredores considerou o tamanho das áreas de solos hidromórficos mapeados no levantamento de solos da bacia do Ribeirão São Bartolomeu (Schaefer et al., 1989), introduzida na mesma microrregião de Viçosa.

A delimitação das áreas de terraço esteve baseada no fatiamento da grade de declividade em: áreas com declividade entre 0 e 8 % e áreas com declividade superior a 8 %. A grade resultante do fatiamento foi unida à grade de corredores ao redor da rede de drenagem por meio da operação booleana “OU” e convertida em formato vetor. As áreas com declividade entre 0 e 8 % (áreas planas e suavemente onduladas) corresponderam não somente a áreas de terraço, mas também incluíram áreas elevadas e aplainadas (topos dos morros, associados a solos diferentes dos encontrados no terraço). Com vistas em separar as últimas áreas, foram realizadas as seguintes operações:

- Conversão do plano de informação de linhas de drenagem em um plano de informação de pontos.
- Determinação das linhas mais próximas da rede de drenagem no plano de informação que continha as áreas com declividade de 0-8 % e os corredores. No plano de informação resultante desta operação, ficaram selecionadas as áreas com declividade de 0-8 % próximas da rede de drenagem e não selecionadas as áreas de topos de morros.
- Por último, os arcos selecionados foram copiados num novo plano de informação que identificou as áreas de terraço.

A discriminação dos topos de morros foi feita por meio da operação de subtração entre dois planos de informação: (a) declividade 0-8 % e corredores ao redor da rede de drenagem e (b) unidades de terraço e leito maior.

O processamento para a discriminação das geoformas onduladas e fortemente onduladas foi baseado na classificação das áreas com declividade entre 8 e 45 % e na análise da sua curvatura. As áreas íngremes corresponderam, inicialmente, àquelas com declividade acima de 45 %.

O mapa de geoformas da paisagem foi obtido por meio da união dos planos de informação: (a) leito maior; (b) terraço; (c) topos de morros; (d) áreas onduladas e fortemente onduladas, côncavas e convexas e (e) áreas íngremes. A classificação obtida foi generalizada, por meio da utilização de um filtro de maioria, que atribuiu às células isoladas a classe das células dominantes na vizinhança.

Esse mapa serviu de base para os trabalhos de conferência de campo, em que se verificou a associação entre as geoformas e os tipos de solos, com o objetivo de elaborar a primeira aproximação

do mapa de distribuição de pedoformas na paisagem. No campo, localizou-se um número variável de pontos com GPS (Global Positioning System) para observação do tipo de solo e geoforma dominante. Esses pontos foram posteriormente introduzidos no SIG para checagem da concordância com o mapa de geoformas, por análise visual. Um número maior de pontos foi coletado onde havia maior complexidade e segmentação das geoformas. Calculou-se a exatidão geral (P_0), derivada da matriz de erro, dividindo o total de amostras classificadas corretamente pelo número total de amostras, segundo a equação 1. Nessa equação, N representa o número total de amostras contempladas pela matriz de erro; n_{ii} representa os elementos da diagonal principal e m o número de classes presentes na matriz

$$P_0 = \frac{\sum_{i=1}^m n_{ii}}{N} \quad \text{Eq. 1}$$

RESULTADOS

A figura 4 apresenta o mapa com a classificação das geoformas da bacia do Córrego Ipiúna.

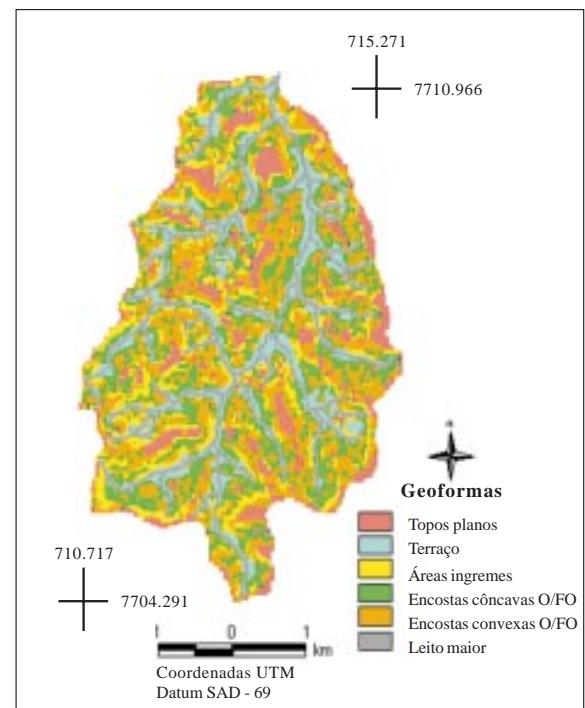


Figura 4. Classificação de geoformas da bacia do Córrego Ipiúna. O/F: Relevo ondulado e fortemente ondulado.

A partir da classificação morfométrica, foi possível realizar a quantificação da superfície ocupada por geoforma (Quadro 1). Constatou-se que a paisagem está composta dominantemente por formas onduladas e fortemente onduladas, convexas e côncavas (mais do 50 % da superfície), seguidas pelas áreas íngremes, topos de morros, terraços e áreas de leito maior, que ocupam superfícies de proporções parecidas.

A informação obtida em trabalhos de campo permitiu verificar que a delimitação das formas da paisagem foi bem-sucedida. No quadro 2, apresenta-se a matriz de erro elaborada a partir da comparação dos dados de campo com os dados da classificação (Story & Congalton, 1986).

Segundo a equação 1, descrita nos métodos, o valor da exatidão geral na classificação de geoformas foi de 72 %, antes de proceder a modificações e ajustes. A distribuição das freqüências de classes (Quadro 2) pode ser considerada como aleatoriamente obtida da distribuição de pixels classificados automaticamente, conforme $\chi = 4,67$, $p > 0,05$. Entretanto, com base em observações de campo e na experiência acadêmica, introduziram-se alguns ajustes na classificação de geoformas que permitiram obter uma concordância entre as unidades da paisagem e os tipos de solos observados. As observações e checagens realizadas no campo, bem como as operações posteriormente efetuadas no

laboratório, são sintetizadas a seguir: (a) superestimativa das áreas classificadas como íngremes. Para melhorar a correspondência com as observações de campo, adotou-se um limite de 50 % de declividade em lugar de 45 % utilizado inicialmente; as áreas acima deste limiar foram classificadas como íngremes. Estas áreas corresponderam a solos dos tipos Cambissolos háplicos, Cambissolos distróficos latossólicos e Latossolos Vermelho-Amarelos distróficos câmbicos e (b) subestimativa da superfície classificada como topo; observou-se que poderiam ser consideradas dentro desta posição topográfica áreas de Latossolos Vermelho-Amarelos distróficos com A proeminente ou de Latossolos Vermelho-Amarelos distróficos com A moderado. Assim, foram digitalizados na tela do computador novos polígonos que completaram as áreas de topo; as áreas de topo relativamente extensas e contínuas (formando divisores) foram incluídas em um único polígono e associadas a Latossolos Vermelho-Amarelos distróficos com A proeminente. As áreas de menor expressão espacial e isoladas foram mantidas conforme a classificação preliminar, correspondendo-se com Latossolos Vermelho-Amarelos distróficos com A moderado.

A classificação final de geoformas, em correspondência com os tipos de solos (pedoformas), é apresentada na figura 5, enquanto a superfície ocupada por cada pedoforma está definida no quadro 3.

Quadro 1. Superfície ocupada pelas distintas geoformas classificadas e conferidas na bacia do Córrego Ipiúna

Geoforma	Área	
	ha	%
Encostas convexas onduladas e fortemente onduladas	494	27
Encostas côncavas onduladas e fortemente onduladas	467	26
Áreas íngremes	249	14
Topos de morros aplainados	216	12
Terraço	198	11
Leito maior	172	10

Quadro 2. Matriz de erro da classificação de geoformas

Geoforma observada	Geoforma classificada					
	Encostas convexas O/FO	Encostas côncavas O/FO	Íngreme	Topos de morros aplainados	Terraço	Leito maior
Encostas convexas O/FO ⁽¹⁾	6	1	2	0	1	0
Encostas côncavas O/FO	2	6	0	0	2	0
Íngreme	0	0	4	0	0	0
Topos de morros aplainados	2	0	0	7	0	0
Terraço	0	1	0	0	8	3
Leito maior / Áreas inundáveis	0	0	0	0	0	5

⁽¹⁾ O/FO: Relevo ondulado e fortemente ondulado.

Quadro 3. Superfície ocupada pelas distintas pedoformas classificadas na bacia do Córrego Ipiúna

Pedoforma	Área	
	ha	%
Encostas convexas onduladas e fortemente onduladas: LVAd A moderado	560	31
Encostas côncavas onduladas e fortemente onduladas: LVAd cambissólico	511	28
Topos de morros (1): LVAd A proeminente	221	12
Terraço: PVAd	198	11
Leito maior: GXbd, RUbd gleico	172	10
Áreas ingremes: LVAd cambissólico, CXbd latossólico	106	6
Topos de morros (2): LVAd A moderado	28	2

Legenda das classes de solos: LVAd Latossolo Vermelho Amarelo distrófico; PVAd Argissolo Vermelho Amarelo distrófico; GXbd Gleissolo Háplico Tb distrófico; RUbd Neossolo Fluvico Tb distrófico; CXbd Cambissolo Háplico Tb distrófico.

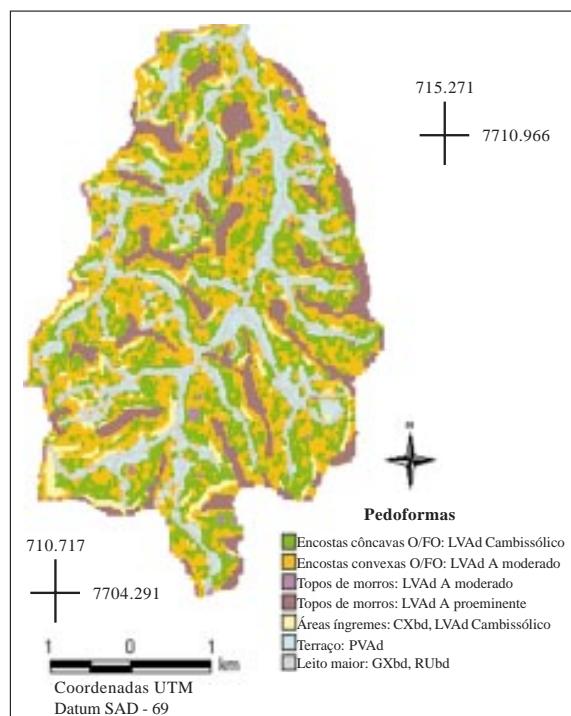


Figura 5. Classificação de pedoformas da bacia do Córrego Ipiúna. O/FO: Relevo ondulado e fortemente ondulado.

CONCLUSÕES

1. A caracterização de pedoformas descrita no trabalho baseou-se essencialmente numa técnica morfométrica que permitiu a classificação objetiva da superfície da bacia do córrego Ipiúna, utilizando exclusivamente, como informação básica, a carta topográfica 1:50.000 da região. Em aproximações

manuais, as dificuldades envolvidas na interpretação dos dados de curvas de nível foram múltiplas e introduziram subjetividade, tornando mais difícil a comparação das geoformas de diferentes locais.

2. O principal mérito do método descrito foi a maior eficiência obtida no trabalho de campo, após a realização de uma classificação digital preliminar, em virtude de um modelo de ocorrência de solos previamente conhecido. Contudo, deve-se salientar a importância da checagem de campo, de modo não só a observar variações não evidentes no material cartográfico, tais como: mudanças no material de origem ou aspectos relativos à erosão atual, mas também promover ajustes, onde necessário.

3. Em trabalhos posteriores, seria desejável considerar o efeito da orientação da declividade (N, S, E, W) dentro de cada geoforma, pois esta determina a quantidade de radiação solar que atinge a superfície. Salienta-se ainda a aplicação de diferentes métodos de classificação numérica (ex. supervisionados, não supervisionados, "fuzzy") dos atributos derivados dos MNTs para a separação de geoformas com maior detalhamento, bem como a realização de análises de exatidão dessas classificações em associação com os solos presentes em cada pedoforma.

4. O aprimoramento do método seria possível por meio da utilização de material básico com maior resolução espacial (mapas topográficos de maior escala e com menor espaçamento entre curvas de nível), para permitir a geração de MNTs mais detalhados.

LITERATURA CITADA

BLASZCZYNSKI, J.S. Landform characterization with Geographic Information Systems. Photogr. Cong. Remote Sens., 63:183-191, 1997.

- CÂMARA, G. & MEDEIROS, J.S. Geoprocessamento para projetos ambientais. São José dos Campos, Instituto de Pesquisas Espaciais, 1996. 65p.
- CORRÊA, G.F. Modelo de evolução e mineralogia da fração argila de solos do Planalto de Viçosa, MG. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1984. 86p. (Tese de Mestrado).
- ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE - ESRI. ARC/INFO v. 7.1.1. Help on line. Redlands, 1997.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. Teixeiras. SF-23-X-B-V-1. Rio de Janeiro, 1979. (Mapa na escala 1:50.000)
- IRVIN, B.J.; VENTURA, S.J. & SLATER, B.K. Fuzzy and isodata classification of landform elements from digital terrain data in Pleasant alley. *Geoderma*, 77:137-154, 1997.
- KER, J.C. & SCHAEFER, C.E.G.R. Roteiro da Excursão de Solos Viçosa-Sete Lagoas, do Congresso Brasileiro de Ciência de Solos, Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1995. 26p.
- McBRATNEY, A.B.; HART, G.A. & McGARRY, D. The use of region partitioning to improve the representation of geostatistically mapped soil attributes. *J. Soil Sci.*, 3:513-533, 1991.
- MIRANDA, L.H.F.; IPPOLITI, G.A.; OLIVEIRA, C.M.L.; FERNANDES FILHO, E.I. & ABRAHÃO, W.A.P. SIGUBÁ. Sistema de Informação Geográfica do Município de Ubá. Ubá, Prefeitura Municipal de Ubá, 1999.
- MOORE, I.D.; GRAYSON, R.B. & LADSON, A.R. Digital terrain modeling: a review of hydrological, geomorphological and biological applications. *Hydrol. Proc.*, 5:3-30, 1991.
- MOORE, I.D.; GESSLER, P.E.; NIELSEN, G.A. & PETERSON, G.A. Soil attribute prediction using terrain analysis. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 57:443-452, 1993.
- ODEH, I.O.A.; CHITTLEBOROUGH, D.J. & McBRATNEY, A.B. Elucidation of soil-landform interrelationships by canonical ordination analysis. *Geoderma*, 49:1-32, 1991.
- REZENDE, S.B. Estudo de crono-toposequências em Viçosa-Minas Gerais. Viçosa, M.G. Universidade Federal de Viçosa, 1971. 54p. (Tese de Mestrado)
- REZENDE, S.B. Geomorphology, mineralogy and genesis of four soils on gneiss in southeastern Brazil. West Laffeyte, University of Purdue, 1980. 143p. (Tese de Doutorado)
- STORY, M. & CONGALTON, R. Accuracy assessment: a user's perspective. *Photogram. Cong. Remote Sens.*, 52:397-399, 1986.
- STRAHLER, A.L. Dynamic basis of geomorphology. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 63:923-938, 1952.