ISSN:1984-2295

Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: www.ufpe.br/rbgfe

Utilização de subclasses de relevo para elaboração de mapa pedológico com auxílio de geoprocessamento

José Nunes Pinto Neto¹, Maria Inês Nogueira Alvarenga², Nívea Adriana Dias Pons³, Tânia Aparecida de Souza Barbosa⁴, Laís Oliveira Carneiro⁵

¹ Universidade Federal de Itajubá (Unifei), Avenida BPS, número 1303, bairro Pinheirinho, CEP 375000-903, Itajubá, MG, Brasil. neto_unifei@yahoo.com.br. ² Universidade Federal de Itajubá (Unifei). minesalvarenga@gmail.com. ³ Universidade Federal de Itajubá (Unifei). niveadpons@gmail.com. ⁴ Universidade Federal de Itajubá (Unifei). tanciasouzabarbosa@gmail.com. ⁵ Universidade Federal de Itajubá (Unifei). lais.olicar@gmail.com.

Artigo recebido em 27/06/2016 e aceito em 19/10/2016

RESUMO

É evidente a importância dos recursos naturais para a manutenção da vida no planeta, estando, entre estes, o solo. Entender a formação pedológica torna-se, muitas vezes, essencial tanto no que se refere a agricultura quanto à geotecnia. Este estudo teve como objetivo realizar um mapeamento de solos, em escala 1:100.000, através do uso de ferramentas de geoprocessamento e trabalhos de campo, tendo como estratificador o fator de formação relevo. O estudo foi realizado na Bacia Hidrográfica do Ribeirão das Pedras, situada nos municípios de Natércia (MG) e Conceição das Pedras (MG). Para a elaboração do banco de dados, foram utilizados dados de mapeamento de solo já existentes, bem como de geologia e topografia. De posse deste banco de dados, foram realizadas campanhas de campo, onde 20 perfis de solo foram coletados e descritos ao longo da bacia. Foi possível identificar 5 unidades de mapeamento, relacionadas a diferentes classes de relevo, bem como áreas correspondentes a afloramento rochoso. A estratificação do solo através de subclasses de relevo, somada a um trabalho de campo para validação, mostrou-se eficiente, evidenciando a influência da topografia na pedogênese.

Palavras-chave: solo, bacia hidrográfica, topografia.

Using relief subclasses for soil map elaboration with support of geoprocessing tools

ABSTRACT

It is evident the importance of the natural resources, such as the soil, for sustaining life on the planet. Understanding the pedological formation is often relevant – both in terms of agriculture or geotechnique. This study aimed to carry out a soil mapping at a 1:100,000 scale, through geoprocessing tools and field work, using the stratifying relief factor. The study was developed on the River Basin of “Ribeirão das Pedras”, located in the municipalities of Natércia and Conceição das Pedras, in Minas Gerais State. Database was prepared by using secondary data, such as: soil, geology and topography. After the database was composed, field campaigns were carried out, when 20 soil profiles were collected and described throughout the basin area. It was possible to identify 5 mapping unities, related to different relief classes, as well as rocky outcrops corresponding areas. The soil stratification through classes of relief, in addition to an investigative field work, proved to be efficient, indicating the importance of topography in pedogenesis.

Keywords: soil, river basin, topography.

Introdução

É notória a importância dos recursos naturais no surgimento e manutenção da vida no planeta. O equilíbrio dinâmico entre os seres vivos e o meio, por vezes colocado em xeque pela necessidade de desenvolvimento da humanidade, garante o funcionamento de um sistema que se encontra na iminência de um colapso. Nesta ótica, alternativas que descrevam com maiores detalhes

os recursos naturais são válidas na busca de um desenvolvimento mais sustentável.

O ecossistema terrestre possui como substrato o solo, recurso natural formado através da pedogênese e, como supracitado, indispensável para o desenvolvimento da vida. Uma de suas funções cruciais é a produção agrícola, sendo a fonte geradora de quase todos os alimentos consumidos pela população. A crescente demanda

alimentícia pela população tem feito com que o solo seja cada vez mais otimizado para produção agrícola. Segundo Mendonça et al. (2006), utilização desenfreada do solo, sem considerar suas potencialidades e limitações, constitui uma fonte potencial de degradação do ambiente como um todo. Ainda, segundo esses autores, com o uso de metodologias orientadas para avaliação das terras, torna-se possível desenhar cenários e modelos, chegando a alternativas de usos agrícolas mais apropriados, garantindo dessa forma a produtividade e o controle da erosão.

Embora o mapeamento de solos possa ser utilizado para diversas finalidades é mais comum a sua interpretação para fins agrícolas. Assim, em uma escala local, o solo é considerado um componente físico de grande importância no cultivo de áreas agrícolas, sendo seu correto mapeamento fundamental para uma agricultura de exatidão, possibilitando maior valor agregado (Sarmento et al., 2008).

Segundo Tencaten et al. (2012), um mapa de solos pode ser deduzido de informações pedológicas já existentes. Contudo, nosso país possui um banco de dados deficiente neste sentido, sendo que apenas uma porção reduzida do território nacional apresenta levantamento em escalas maiores que 1:25.000 (Chagas et al., 2011). Esta realidade está vinculada a alguns fatores como, por exemplo, o custo elevado na obtenção de fotografias aéreas, em especial para regiões pequenas, podendo fazer com que um mapeamento acurado de solo se torne inviável.

A obtenção de um mapa de solos, por vezes, pode apresentar discordância com os dados mapeados e os dados reais, existentes em campo. De acordo com Chagas et al. (2011), as possíveis causas de divergência entre o mapa obtido com a situação real são advindas de deficiências na relação solo-paisagem obtida no mapeamento, decorrentes de estudos de campo inadequados para validação das informações.

Neste sentido, os recursos de geoprocessamento entram como ferramenta importante para facilitar a identificação e o mapeamento dos diferentes tipos de solos.

Com o uso de Sistemas de Informações Geográficas (SIG) é possível aplicar novos métodos para o levantamento e mapeamento de solos, por meio de modelagens, a partir da utilização de mapas temáticos básicos e modelos numéricos de terreno (MNT) que possibilitam, principalmente, a compreensão das relações entre a paisagem e os tipos de solo (Moura et al., 2008).

Ippoliti et al. (2005) propôs um procedimento para extração de informação morfológica relevante para fins de mapeamento

pedológico a partir de dados digitais de elevação baseado em SIG, fato que possibilitou a caracterização de elementos da paisagem relacionados com os processos de formação do solo (elevação, declividade e curvatura em cada ponto da superfície).

Segundo Nascimento et al. (2015), as covariáveis mais utilizadas na predição de classes de solos são os atributos do terreno derivados de modelos digitais de elevação (MDE). No estudo realizado pelos autores, cujo objetivo foi gerar um modelo digital de solo, aplicando técnica de árvore de decisão (AD), o resultado mostrou a capacidade do modelo de discriminar as classes de solo na paisagem utilizando os atributos do terreno.

Alves et al. (2015) aplicaram e avaliaram uma metodologia para atribuir e especializar classes de solos utilizando-se de informações obtidas com sensoramento remoto/proximal, geoprocessamento e conhecimento técnico.

Nanni et al. (2010) propôs o estudo de comparação entre mapas de solos obtidos por métodos tradicionais e por sensores remotos orbital e terrestre. O mapa de solos com dados espectrais de laboratório e o mapa de solos com dados orbitais foram obtidos com o uso da análise de agrupamentos. Os resultados obtidos foram similares ao mapa detalhado obtido pelo método convencional.

Faz – se importante ressaltar que o mapeamento pedológico não possui sua utilidade convergida apenas para o uso agrícola. Informações pedológicas mapeadas podem ser utilizadas para aplicações agrícolas, geotécnicas, Estudos de Impacto Ambiental (EIA), dentre outros, possibilitando, por vezes, a identificação de uso indevido do solo, conforme mencionado por Nascimento et al. (2005).

Pereira et al. (2004) realizaram um estudo sobre a aplicação de características geomorfológicas e pedológicas de solos do Estado do Rio Grande do Norte relacionadas com comportamentos geotécnicos de interesse particular ao setor da construção civil. Concluíram que informações baseadas nos estudos de características pedológicas dos solos podem ser úteis para a análise de macro-zonas com riscos potenciais de erosão, permeabilidade, colapsividade e expansividade de solos.

A pedogênese encontra-se associada a alguns fatores, dentre eles a geomorfologia. Diversos trabalhos que relacionam pedologia com geomorfologia evidenciam que os estudos de variabilidade espacial do solo, levantamentos pedológicos e pedogênese produzem melhores e aplicáveis resultados quando os trabalhos de

campo são intensificados e métodos geomorfológicos são incluídos (Cunha et al., 2005). Diniz et al. (2013) enfatizam em seus estudos a interação existente entre pedologia e análise da paisagem, sendo que esta relação, associada com conhecimentos de diferentes áreas (como, por exemplo, a geotécnica e ambiental) auxiliam na explicação de especificidades eventualmente encontradas em campo.

A caracterização do relevo pode facilitar a associação entre as unidades mapeadas e a paisagem observada, uma vez que os processos de pedogênese são evidenciados pela declividade, tendo esta forte associação com os tipos de solo, especialmente em áreas com relevo complexo (Sarmiento et al., 2008). Além disso, as variações nos atributos do solo são devidas a vários fatores, dentre eles a posição deste na paisagem (Cantón et al., 2003).

Chagas et al. (2011) e Coelho e Giasson (2010) também atribuíram grande importância no uso da declividade para a classificação do solo, sendo as classes de declive atributos do terreno que traduz o comportamento mais diferenciado nas unidades de mapeamento, bem como a distribuição espacial das mesmas. Segundo Campos et al. (2006), as relações solo-paisagem são ferramentas importantes para os estudos detalhados dos atributos, mapeamento e levantamento de solos, visto que a associação entre as características topográficas (a inclinação e a declividade do terreno, a orientação e a curvatura da superfície terrestre) e as classes de solos é potencialmente útil para melhorar a predição da ocorrência dos tipos de solos nas paisagens, uma vez que as mudanças na paisagem interferem na distribuição e arranjo dos solos (Campos, 2012).

Este trabalho teve por objetivo elaborar um mapeamento pedológico, em escala de 1:100.000, da Bacia Hidrográfica do Ribeirão das Pedras. Todo o banco de dados utilizado foi elaborado através de dados disponibilizados gratuitamente na internet. A escolha da área de estudo encontra-se atrelada à importância das atividades agropecuárias na região. Diante disso, o desenvolvimento de metodologias para mapeamento de solos, embasadas em geoprocessamento, pode resultar em produtos finais que auxiliem no entendimento do ecossistema como um todo, fornecendo subsídios capazes de identificar, mensurar e minimizar ocorrência de conflitos na utilização do solo, fazendo com que as atividades de uso do solo da região possam ser realizadas de forma mais sustentável.

Material e métodos

O local de estudo compreende a Bacia Hidrográfica do Ribeirão das Pedras, com área aproximada de 79 km². A referida Bacia Hidrográfica encontra-se inserida nos municípios de Conceição das Pedras (MG) e Natércia (MG), tendo o divisor de águas da porção sul como área limítrofe entre os municípios de Conceição das Pedras e Pedralva (MG), conforme apresentado na Figura 1.

No que se refere ao relevo da Bacia Hidrográfica do Ribeirão das Pedras, a característica montanhosa da região confere à área de estudo uma superfície irregular, composta por diferentes tipos de relevo e, conseqüentemente, diferentes topografias, que encontram-se distribuídas em altitudes que variam entre 875 até 1.808 metros (Miranda, 2005).

O Ribeirão das Pedras possui cotas de nascente e foz de, aproximadamente, 1.584 metros e 878 metros, respectivamente, conforme esquematizado na Figura 2, na qual é apresentado o Modelo Digital do Terreno (MDT).

Segundo IBGE (2010), o clima da região na qual a área de estudo encontra-se inserida é caracterizado como tropical de altitude, com médias térmicas anuais de 19°C, sendo classificado como Tropical de Altitude (Cwb). A vegetação natural da área é caracterizada como floresta atlântica e, segundo Viola et al. (2010), a precipitação média anual no local está compreendida entre o intervalo de 1.520 – 1865 mm. A Bacia Hidrográfica do Ribeirão das Pedras possui uma rede de drenagem de cursos d'água (perenes ou não), que somam um total de, aproximadamente, 100 quilômetros de extensão. De acordo com o mapeamento geológico do local (com escala original de 1:100.000), executado pela CPRM (Serviço Geológico do Brasil), a unidade geológica mais representativa da área de estudo é caracterizada como ortognaissmigmatíticos de composição monzogranítica a tonalítica, com intercalações de anfíbolitos e rochas ultramáficas. Segundo o mapeamento (com escala original de 1:650.000) disponibilizado no site da UFV, a unidade de mapeamento de solos predominante na Bacia Hidrográfica do Ribeirão das Pedras é caracterizada como ARGISSOLO VERMELHO Distrófico típico.

A execução do presente trabalho contemplou cinco campanhas de campo, realizadas no ano de 2014, nas quais ocorreram análises visuais e o preenchimento de uma ficha de campo, a qual possuía por objetivo armazenar

os dados para auxiliar na futura classificação dos perfis analisados.

Para a locação dos pontos a serem visitados em campo, foi adotada a declividade da área, tendo sido considerado um fatiamento com 7 classes de declividade, a saber: 0-3% (relevo plano); 3-8% (relevo suave ondulado); 8-20% (relevo ondulado); 20-45% (relevo forte ondulado); 45-75% (relevo montanhoso) e >75% (relevo escarpado), conforme preconizado pelo IBGE (2010).

relevo escarpado), conforme preconizado pelo IBGE (2010).

Ao todo, foram analisados 20 perfis em campo, distribuídos da seguinte forma: relevo plano - perfis 8; 13; 14 e 15, relevo suave ondulado - perfis 9; 11; 16 e 17, relevo ondulado - perfis 1; 2; 6; 12 e 19, relevo forte ondulado - perfis 3; 4; 5; 7; 10 e 18, relevo montanhoso - perfil 20. A localização dos perfis supracitados é apresentada na Figura 3.

Figura 1. Bacia Hidrográfica do Ribeirão das Pedras, abrangendo os municípios de Conceição das Pedras, Natércia e Pedralva. Fonte: IBGE (2010) [Malha Municipal]; IBGE (1971) [Carta Topográfica Cristina –

Folha SF-23-Y-B-III-1 e Carta Topográfica Heliodora – Folha SF-23-Y-B-II-2].

Figura 2. Mosaico de imagens SRTM da Bacia Hidrográfica. Fonte: Miranda (2005).

Figura 3. Pontos de coleta de amostras e análise de perfins. Fonte das imagens orbitais: Google Earth Plus, 2014.

Durante a realização das análises morfológicas, foi realizada a separação dos horizontes e, posteriormente, fez-se a coleta de amostras ao longo do mesmo. Cabe ressaltar que os perfins foram coletados e descritos conforme estabelecido por Santos et al. (2015).

As referidas amostras foram devidamente identificadas e transportadas até a Universidade Federal de Itajubá, onde foram realizadas análises de textura, pelo método da pipeta, conforme

descrito por Resende et al. (1988) e determinação da cor das amostras, pela metodologia Munsell Soil Color Charts, tendo sido utilizadas amostras úmidas para esta determinação. Algumas amostras foram encaminhadas para a Universidade Federal de Lavras, onde foram determinados os seguintes atributos químicos: %SiO₂; %Al₂O₃; %Fe₂O₃; %TiO₃; %P₂O₅; Ki; Kr; Al₂O₃/Fe₂O₃; pH; K; P; Ca; Mg; Al; H+Al; SB; t; T; V; m; M.O. e P-Rem.

Para a delimitação da área de estudo, inicialmente foi gerado, com o auxílio do Software *Google Earth Plus*, um mosaico de imagens orbitais, datadas de setembro de 2011. Posteriormente, foi gerado um outro mosaico, utilizando como base duas cartas topográficas (Folha SF-23-Y-BII-2 e Folha SF-23-Y-B-III-1), elaboradas na década de 1970 pelo IBGE. Através do georeferenciamento e sobreposição dos mosaicos, foi possível realizar a vetorização do Ribeirão das Pedras, bem como dos demais cursos d'água existentes na área de estudo, utilizando o *Software Global Mapper 14*.

Os vetores gerados foram plotados sobre uma imagem com dados numéricos de relevo (com resolução espacial de 90 metros), obtida através do projeto Brasil em Relevo, executado pela Embrapa, no ano de 2001 (Miranda, 2005). Cabe ressaltar que optou-se por utilizar o banco de dados disponibilizado pelo projeto Brasil em Relevo, uma vez que estas imagens foram tratadas matematicamente, aumentando a confiabilidade dos dados.

A partir destas informações, foi gerado o Modelo Digital do Terreno (MDT) da área de estudo e posteriormente realizada a identificação e vetorização da área de drenagem, correspondente à Bacia Hidrográfica do Ribeirão das Pedras. A elaboração do MDT, bem como as vetorizações supracitadas foram realizadas com o auxílio do *Software Global Mapper 14*.

Utilizando o mesmo MDT (com resolução espacial de 90 metros) já descrito no tópico 4.4.1, foi elaborada a carta de declividade, utilizando a função *slope* do *software ArcGis*, versão 9.2 (ESRI, 2006). O fatiamento do relevo se deu em 6 categorias, de forma a representar as classes de relevo a serem utilizadas no escopo do trabalho, a saber: relevo plano, suave ondulado, ondulado, forte ondulado, montanhoso e escarpado.

Após elaborada a carta de declividade, foi calculado, com o auxílio do *software ArcGis*, versão 9.2, as áreas e porcentagens aproximadas de cada tipo de relevo existente na Bacia Hidrográfica do Ribeirão das Pedras. Neste processamento foram utilizadas as ferramentas *CalculateGeometrye* e *sumarize*.

De posse da carta de declividade e da classificação dos solos visitados em campo, elaborou-se um mapa pedológico, com escala 1:100.000, no qual foi associada uma unidade de mapeamento distinta para cada um dos tipos de relevo analisados. O referido mapa foi realizado com o auxílio do *software ArcGis*, versão 9.2.

Resultados e discussão

Através do mapeamento pedológico, disponibilizado no site da UFV, foi possível constatar que, aproximadamente 90% da área de estudo é caracterizada pela unidade de mapeamento PVd1, que corresponde ao ARGISSOLO VERMELHO Distrófico, sendo o restante caracterizado como PVAd8, que representa o ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico. Conforme observado na legenda expandida, a unidade de mapeamento PVd1 encontra-se relacionada com relevo forte ondulado, ou seja, declividades entre 20 – 45%. No que se refere à outra unidade de mapeamento existente na Bacia Hidrográfica (PVAd8 - ARGISSOLO VERMELHO – AMARELO + LATOSSOLO VERMELHO – AMARELO + CAMBISSOLO HÁPLICO), esta encontra-se associada com relevo ondulado (8-20% de declividade) e forte ondulado (20-45% de declividade).

Pela análise da carta de declividade, gerada a partir do MDT elaborado com dados disponibilizados pelo projeto Brasil em Relevo (com resolução espacial de 90 metros), foi possível notar na porção sudeste da área de estudo um relevo mais acentuado, caracterizado como montanhoso, com trechos escarpados, onde foi possível observar, em campo, a existência de um afloramento rochoso. Devido às características do local (superfície irregular, com a existência de morros e montanhas) o relevo plano é reduzido, tornando-se mais expressivos relevos com características onduladas e forte onduladas. As áreas e porcentagens aproximadas de cada tipo de relevo encontram-se apresentadas no Quadro 1.

Após as análises laboratoriais realizadas no laboratório de solos da Universidade Federal de Itajubá (Unifei), foi possível obter a textura e a atribuição da cor para os horizontes dos perfis analisados, sendo as porcentagens de argila, areia e silte dos perfis diagnósticos apresentados no Quadro 2.

Por meio dos dados de declividade e da classificação (até o quarto nível categórico, segundo metodologia do Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos - SiBCS) dos perfis visitados em campo, foi possível confeccionar um mapa pedológico, no qual as unidades de mapeamento encontram-se associadas com uma determinada classe de declive que, segundo Chagas et al. (2011) e Coelho e Giasson (2010), é a variável que traduz o comportamento mais diferenciado na formação pedológica. No Quadro 3 encontra-se relacionada a declividade com a ocorrência de cada perfil visitado em campo.

No que se refere ao relevo escarpado, observações de campo e imagens orbitais do local

levam a concluir que as áreas com declividade acima de 75% encontram-se relacionadas, em grande parte, a um afloramento rochoso existente na porção sul/sudeste da área de estudo.

As informações apresentadas na Tabela 2 permitem verificar que a declividade pode ser considerada como um fator de formação dos solos. Esta relação solo – paisagem, já estudada por vários autores, dentre eles Sarmento et al. (2008), Chagas et al. (2011), Coelho e Giasson (2010), é potencialmente útil para melhorar a predição da ocorrência dos diferentes tipos de solo nas paisagens, conforme afirmado por Campos et al. (2006). As características das unidades de mapeamento associadas a cada tipo de relevo podem ser descritas conforme segue:

Revelo plano

Para este tipo de relevo, os dados encontrados permitiram relacionar a ocorrência de GLEISSOLO, associado com CAMBISSOLO (gleissólico no quarto nível categórico). Segundo Santos et al. (2015), os GLEISSOLOS são formações pedológicas com expressiva gleização, nas quais ocorrem a redução de Fe e outros componentes sob condições anaeróbicas. Tais tipos de solos podem ser caracterizados pela forte manifestação de cores predominantemente acinzentadas, azuladas ou esverdeadas. A ocorrência de GLEISSOLOS foi identificada em relevo plano, onde o nível do lençol freático é alto na maior parte do ano. Este fato condiz com as características de formação deste tipo de solo que, em suma, são mal drenados e originados de sedimentos aluviais, em locais onde a deposição se sobrepõe a erosão.

Revelo suave ondulado

Para este tipo de relevo, os dados encontrados permitiram relacionar a ocorrência de LATOSSOLO, associado com CAMBISSOLO (latossólico no quarto nível categórico) e ARGISSOLO. Segundo Santos et al. (2015), os LATOSSOLOS são agrupamentos de solos com horizonte diagnóstico B latossólico em sequência a qualquer tipo de A quase nulo ou pouco aumento do teor de argila do A para o B. Além disso, são fortemente a bem drenados e normalmente muito profundos. Por tratar de solos “velhos”, possuem capacidade de troca de cátions da fração argila e valores de ki baixos.

Revelo ondulado

Assim como para o ocorrido no relevo suave ondulado, para o relevo ondulado os dados encontrados também permitiram relacionar a ocorrência de LATOSSOLO, no entanto, para este

caso, associado com ARGISSOLO, CAMBISSOLO e NITOSSOLO, ambos com comportamento transicional para LATOSSOLO (ambos latossólicos no quarto nível categórico). A predominância de LATOSSOLOS, tanto no relevo suave ondulado, quanto no ondulado, é esperada, uma vez que regiões com essa característica de relevo apresentam, geralmente, baixos índices de erosão, permitindo a formação de solos profundos e pedologicamente velhos.

Revelo forte ondulado

Para este tipo de relevo, os dados encontrados permitiram relacionar a ocorrência de ARGISSOLO, associado com CAMBISSOLO e LATOSSOLO. Segundo Santos et al. (2015), os ARGISSOLOS são agrupamentos de solos com horizonte B textural em sequência a qualquer tipo de horizonte A, com incremento no teor de argila da superfície para o horizonte B. Os ARGISSOLOS possuem como característica marcante o desenvolvimento da cor, estrutura e diferenciação textural da superfície para baixo no perfil do solo. Para condições de relevo forte ondulado, os processos de erosão são mais frequentes, quando comparado com relevos mais amenos. Neste cenário é esperada a existência de solos com características entre solos jovens e velhos (ARGISSOLOS).

Revelo montanhoso

Para este tipo de relevo, os dados encontrados permitiram relacionar a ocorrência de CAMBISSOLO. Segundo Santos et al. (2015), os CAMBISSOLOS são agrupamentos de solos pouco desenvolvidos, onde há a presença de um horizonte B incipiente (Bi), sendo que este ocorre abaixo de horizonte superficial de qualquer tipo. A coloração do Bi varia de amarela, bruna ou bruno-amarelada até vermelha e a textura varia de franco-arenosa a argilosa ou muito argilosa. Os CAMBISSOLOS são fortemente até imperfeitamente drenados, de rasos a profundos e de alta a baixa saturação por bases. Em locais com relevo montanhoso, a taxa de erosão do solo é maior do que a taxa de formação, em virtude do gradiente de declividade. Nestes ambientes, a ocorrência de solos jovens, como por exemplo os CAMBISSOLOS, é esperada.

A escala numérica do mapa de solos foi definida segundo diretrizes de Embrapa (1995), pelas quais foi possível caracterizar o produto final como sendo de reconhecimento de alta intensidade. Mapeamentos com estas características podem ser utilizados em estudos de avaliação semi-quantitativa de áreas prioritárias, uma vez que ao longo dos trabalhos foram

realizadas verificações de campo e correlações solo-paisagem.

De posse destas características, a escala numérica do mapa de solos, apresentado na Figura 4, obtido com a compilação de todas as informações coletadas ao longo da execução deste trabalho, foi estipulada como sendo 1:100.000.

Conforme observado no mapa pedológico refinado, apresentado na Figura 4, a unidade de mapeamento predominante (aproximadamente 58%) na Bacia Hidrográfica de estudo é representada por ARGISSOLO VERMELHO, associado à relevo forte ondulado. Este fato corrobora as informações transcritas no mapa pedológico disponibilizado pela Universidade Federal de Viçosa. No referido mapa (em escala de 1:650.000), é apresentada uma unidade de mapeamento de ARGISSOLO VERMELHO, associado a relevo forte ondulado, assim como encontrado no mapa de solos em escala 1:100.000, elaborado a partir da compilação dos resultados obtidos ao longo dos trabalhos de pesquisa. No entanto, para o mapa de solos refinado, foi possível identificar 4 unidades de mapeamento adicionais, associadas aos relevos plano, suave ondulado, ondulado, montanhoso e escarpado. Este resultado vem de encontro com o já apresentado por Campos et al. (2006), o qual considera as relações solo-paisagem ferramentas importantes para estudos detalhados dos atributos, mapeamento e levantamento dos solos.

Ao longo dos trabalhos de campo, foi possível observar que o relevo existente na área de estudo é complexo, havendo grande diversidade nas classes de declividade. As características peculiares do relevo da região, de acordo com assertiva apresentada por Sarmiento et al. (2008), corrobora a justificativa na utilização da associação da declividade com a pedogênese.

A premissa adotada no estudo, que relaciona o relevo com a formação pedológica, vai de encontro com constatações já estabelecidas por Campos (2012), nas quais é estabelecido que as formas de relevo exercem papel decisivo no tempo de exposição dos materiais de origem e na intensidade e direção do fluxo da água no perfil, sendo que as características geomorfológicas são capazes de regular as variações nos processos pedogenéticos.

A partir dos resultados obtidos, é possível constatar que a obtenção do mapa de solos refinado, apresentou resultados satisfatórios, assim como já descrito por Tencaten et al. (2012) em seus trabalhos. Cabe ressaltar que o refinamento das unidades de mapeamento através da sobreposição das classes de relevo só foi possível devido aos trabalhos de campo

executados que, conforme já apontado por Chagas et al. (2011), são essenciais para a checagem do mapeamento realizado. Em adição, o método utilizado para a execução deste trabalho, o qual relaciona trabalhos de campo intensificados, associados com características geomorfológicas, corrobora o exposto por Cunha et al. (2005).

Segundo informações obtidas através dos dados geológicos da área, a unidade geológica mais expressiva da Bacia Hidrográfica em estudo é composta por ortognaisses migmatíticos de composição monzo-granítica a tonalítica com intercalações de anfíbolitos e rochas ultramáficas (CPRM, 2014). Este material de origem justifica a coloração vermelha, predominante nos ARGISSOLOS existentes na área de estudo. Ainda no que se refere à geologia, na porção sudeste da Bacia do Ribeirão das Pedras há a presença de uma faixa composta por Granito Serra da Pedra Branca, que caracteriza-se por um granito cinza claro. Este material de origem encontra-se associado aos CAMBISSOLOS HÁPLICOS, bem como ao afloramento rochoso, de coloração clara, observado em campo.

Conforme percorrido, a partir da compilação de todos os dados obtidos ao longo da execução do trabalho, foi possível obter um mapa de solos refinado, o qual é composto por 5 unidades de mapeamento, somadas a regiões de afloramento rochoso existentes na área. Todas as unidades de mapeamento encontradas foram associadas a um determinado fatiamento de relevo. Cabe ressaltar que, para algumas unidades de mapeamento, foram encontradas associações de diferentes tipos de solo. Este fato pode ser explicado a partir da assertiva de Cantón et al. (2003), a qual menciona que as variações nos atributos do solo podem decorrer de vários fatores, como por exemplo drenagem do terreno, processos de erosão e deposição e desenvolvimento da vegetação. Com isso, mesmo ocorrendo em um mesmo fatiamento do relevo, outros fatores de formação de solo podem se sobrepor, acarretando em diferentes tipos de solo.

A utilização de ferramentas de geoprocessamento, aliadas a um banco de dados obtido de forma gratuita, possibilitou elaboração de um mapa de solos refinado, conforme já averiguado por Tencaten et al. (2012). Com a geração do Modelo Digital do Terreno (MDT), do qual foi extraída a carta de declividade da área de estudo, foi possível obter o detalhamento das unidades de mapeamento de solo existentes na Bacia Hidrográfica do Ribeirão das Pedras, através de associações com o relevo local, conforme preconizado por Diniz et al. (2013).

As informações obtidas através do mapa pedológico em escala 1:100.000, obtido neste trabalho, são importantes para conhecer e entender os diferentes tipos de substratos existentes na Bacia Hidrográfica do Ribeirão das Pedras. Tais informações podem ser utilizadas

para fins agrícolas, geotécnicos, estudos de impacto ambiental, dentre outros, possibilitando, por vezes, a identificação de uso indevido do solo, conforme mencionado por Nascimento et al. (2005).

Quadro 1. Porcentagem aproximada de cada tipo de relevo identificado na Bacia Hidrográfica do Ribeirão das Pedras, MG

Tipo de Relevo	Área aproximada (km ²)	% de cobertura
Plano (0-3%)	0,06	0,08
Suave Ondulado (3-8%)	2,67	3,39
Ondulado (8 - 20%)	25,39	32,23
Forte Ondulado (20 - 45%)	45,75	58,07
Montanhoso (45 - 75%)	4,75	6,03
Escarpado (>75%)	0,16	0,20
Total	78,78	100

Quadro 2. Resultados da textura para os horizontes diagnósticos analisados

Perfil	Horizonte	Argila	Areia	Silte
1	Bt	39,97%	42,76%	17,28%
	Bw	37,25%	36,53%	26,22%
2	Bw	54,50%	39,78%	5,72%
3	Bt	44,03%	45,16%	10,80%
	Bw	30,03%	50,21%	19,75%
4	Bt	46,75%	42,26%	10,99%
	Bw	44,45%	41,92%	13,63%
5	Bt	46,80%	41,59%	11,61%
6	Bw	22,30%	61,33%	16,37%
7	Bw	50,70%	33,51%	15,79%
8	A1	11,30%	37,42%	51,28%
	A2	27,60%	28,38%	44,02%
9	Bt	39,20%	39,39%	21,41%
10	A	21,70%	51,27%	27,03
	Bt	36,40%	36,54%	27,06%
11	Bi1	30,70%	54,36	14,94%
	Bi2	21,70%	63,64%	14,67%
12	Bi	49,00%	20,87%	30,13%
13	Bi	12,73%	72,68%	14,59%
14	C1	15,47%	74,57%	9,96%
15	A1	51,33%	16,84%	31,83%
	A2	54,43%	14,17%	31,39%
17	Bw	44,70%	48,23%	7,07%
18	Bi	19,37%	50,00%	30,63%
19	BA	49,27%	39,64%	11,09%
	Bw	46,60%	43,09%	10,32%
20	Bi	24,40%	44,81%	30,79%

Quadro 3. Descrição dos perfis identificados em campo e associação destes com o relevo ao qual encontram-se inseridos

Identificação do perfil	Tipo do relevo	Descrição do perfil
8	Plano	GLEISSOLO HÁPLICO Ta Distrófico típico
13		CAMBISSOLO FLÚVICO Tb Distrófico gleissólico
14		GLEISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico neofluvissólicos
15		GLEISSOLO MELÂNICO Ta Distrófico neofluvissólicos
9	Suave ondulado	ARGISSOLO AMARELO Distrófico típico
11		CAMBISSOLO HÁPLICO Distrófico latossólico
16		LATOSSOLO AMARELO Distrófico húmico
17		LATOSSOLO AMARELO Distrófico húmico
1	Ondulado	ARGISSOLO VERMELHO Distrófico latossólico
2		LATOSSOLO BRUNO Distrófico típico
6		LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico
12		CAMBISSOLO HÁPLICO Distrófico latossólico
19		NITOSSOLO VERMELHO Distrófico latossólico
3		ARGISSOLO VERMELHO Distrófico latossólico
4	Forte ondulado	ARGISSOLO VERMELHO Distrófico latossólico
5		ARGISSOLO VERMELHO Eutrófico típico
7		LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico
10		ARGISSOLO VERMELHO Eutrófico chernossólico
18		CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico úmbrico
20	Montanhoso	CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico típico

Figura 4. Mapa pedológico refinado da Bacia Hidrográfica do Ribeirão das Pedras, MG. Fonte: Compilação dos dados analisados durante a execução do trabalho.

Conclusões

Através das observações realizadas em campo, bem como das análises laboratoriais executadas nas amostras coletadas, foi possível elaborar um mapa de solos refinado, com escala 1:100.000, levando em consideração o relevo local da área de estudo.

A obtenção do mapa de solos refinado demonstrou similaridade com o mapeamento de solos, disponibilizado pela UFV, no qual também há a predominância de ARGISSOLO VERMELHO, associado à relevo forte ondulado, na área de estudo.

A técnica para detalhamento de mapa de solos, através da associação da pedogênese, pode proporcionar bons resultados, se aliada com uma verificação de campo, de forma a validar/lapidar o mapeamento realizado pelos dados secundários.

Agradecimentos

À Maria Inês, pelos valiosos conhecimentos transmitidos ao logo do trabalho, à Nívea, pela atenção e correções dedicadas, à Tânia e Laís, pelo auxílio nas etapas laboratoriais.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais - FAPEMIG -, pelo apoio financeiro.

Referências

- Alves, M. R., Dematte, J. A. M., Barros, P. P. S., 2015. Múltiplas ferramentas tecnológicas no mapeamento digital em solos tropicais. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 39, 1261-1274.
- Campos, M. C. C., cardozo, N. P., Marques JÚNIOR, J., 2006. Modelos de paisagem e sua utilização em levantamentos pedológicos. *Revista de Biologia e Ciências da Terra* 6, 104-114.
- Campos, M. C. C., 2012. Relações solo-paisagem: conceitos, evolução e aplicações. *Ambiência* 8, n. 3, 963-982.
- Cantón, Y., Solé-Benet, A., Lázaro, R., 2003. Soil geomorphology relations in gypsiferous materials of the Tabernas Desert (Almería, SE, Spain). *Geoderma*, Amsterdam 115, 193-222.
- Chagas, C. S., Júnior, W. C., Bhering, S. B., 2011. Interação de dados do Quickbird e atributos do terreno no mapeamento digital de solos por redes neurais artificiais. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 35, 693-704.
- Coelho, F. F., Giasson, E., 2010. Métodos para mapeamento digital de solos com utilização de sistema de informação geográfica. *Revista Ciência Rural* 40, 2099-2106.
- CPRM. Serviço Geológico do Brasil, 2014. Mapa geológico da região de Itajubá (MG). Disponível: <http://www.cprm.gov.br/publique/media/itajuba.pdf>. Acesso: 10 jun. de 2014.
- Cunha, P., Marques, J. J., Curi, N., Pereira, G. T., Lepsch, I. F., 2005. Superfícies geomórficas e atributos de Latossolos em uma sequência arenítico-basáltica da região de Jaboticabal (SP). *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 29, 81-90.
- Diniz, M. T. M., Almeida, I. C. S., Silva, S. D. R., Pereira, E. M., 2013. Pedologia e análise da paisagem: interações ambientais em Junco do Seridó / PB. *Caderno Prudentino de Geografia* 1, 90-111.
- ESRI. Environmental Systems Research Institute, 2006. Arc Gis / Arc Map. Versão livre / Free Trial.
- IBGE. Instituto Brasileiro DE Geografia e Estatística, 1971. Carta Topográfica Cristina – Folha SF-23-Y-B-III-1 e Carta Topográfica Heliadora – Folha SF-23-Y-B-II-2.
- IBGE. Instituto Brasileiro DE Geografia e Estatística, 2013. Cidades@. Disponível: <http://www.ibge.gov.br/cidadesat/xtras/perfil.php?codmun=311720&search=minas-gerais|conceicao-das-pedras>. Acesso: 31 jul. 2013.
- Ippoliti, G. A. R., Costa, L. M., Shaefer, C. E. G. R., Fernandes Filho, E. I., Gaggero, M. R., 2005. Análise digital do terreno: ferramenta na identificação de pedoformas em microbacia na região de Mar de Morros (MG). *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 29, 269 - 276.
- Mendonça, I. F. C., Lombardi, F. N., Viégas, R. A., 2006. Classificação da capacidade de uso das terras da Microbacia do Riacho Una, Sapé, PB. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 10, 888-895.
- Miranda, E. E. de (Coord.), 2005. Brasil em Relevo. Embrapa Monitoramento por Satélite, Campinas. Disponível: <http://www.relevobr.cnpm.embrapa.br>. Acesso: 12 maio 2013.
- Moura, L. C., Marques, A. F. S. M., Andrade, H., 2008. Modelagem e mapeamento de solos do município mineiro de Machado utilizando-se de geoprocessamento. *Revista on-line Caminhos de Geografia* 9, 195-202.
- Nanni, M. R., Cezar, E., Chicati, M. L., Hata, F. T., Oliveira, R. B., Demattê, J. A., 2010. Discriminação de unidades de paisagem para fins de levantamentos pedológicos por meio da resposta espectral orbital. *Revista Acta Scientiarum. Agronomy* 32, 555-561.

- Nascimento, M. C., Soares, V. P., Ribeiro, C. A. A. S., Silva, E., 2005. Uso do geoprocessamento na identificação de conflito de uso da terra em áreas de preservação permanente na Bacia Hidrográfica do Rio Alegre, Espírito Santo. *Ciência Florestal* 15, 207-220.
- Pereira, A. C., Morais, E. O. M., Ribeiro, S. A., 2004. Pedologia aplicada à construção civil no estado do Rio Grande do Norte. *Revista Holos* 2, 1-11.
- Resende, M., Curi, N., Santana, D.P., 1988. Pedologia e fertilidade do solo: interações e aplicações. MEC-ESAL-POTAFÓS, Brasília.
- Santos, R. D., Curi, N., Shimizu, S. H., 2015. Guia prático para classificação de solos brasileiros. Viçosa, Editora SBSC.
- Sarmiento, E. C., Flores, C. A., Weber, E., Hasenack, H., Potter, R. O., 2008. Sistema de informação geográfica como apoio ao levantamento detalhado de solos do Vale dos Vinhedos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 32, 2795-2803.
- Tencaten, A., Dalmolin, R. S. D., Ruiz, L. F. C., 2012. Digital soil mapping: strategy for data pre-processing. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 36, 1083-1091.
- Viola, M. R., Mello, C. R., Pinto, D. B. F., Mello, J. M., Avila, L. F., 2010. Métodos de interpolação espacial para o mapeamento da precipitação pluvial. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 14, 970 – 978.