

Mapeamento digital dos solos cultivados com cafés de qualidade na Serra da Mantiqueira, MG

Aurélio Alves Amaral Chaves¹
Marilusa Pinto Coelho Lacerda¹
Helena Maria Ramos Alves²

¹Universidade de Brasília – UnB/FAV- Caixa Postal 4508 - 70910-960 - Brasília – DF.
aaa.chaves@hotmail.com, marilusa@unb.br

²Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa Café -Parque Estação Biológica
s/nº -70770-901 – Brasília - DF, Brasil
helena.alves@embrapa.br

Abstract. Despite the importance of soil surveys as a fundamental source of information for planning soils and maintaining, the vastness of the Brazilian territory and the high costs involved in traditional surveys have so far precluded the production of detailed soil maps, and led to the use of digital-mapping methodologies. This research carried out a digital mapping of the soils linked to high quality coffee crops in the municipality of Carmo de Minas, as a sample of the micro-region of Serra da Mantiqueira (Mantiqueira Mountains), state of Minas Gerais, to provide data for a Geographic Indication (IG) seal in the Designation of Origin (DO) modality. The soil distribution model for this area is a result of an association between the morphometric features of the terrain, where, in altitudes above 1,000 m the curvature classes associated with each declivity control the variability of soils. According to the rules of the produced model, soils were digitally mapped using a *fuzzy* logic via ArcGIS. According to the map's results, Hapludox occur in convex terrains with a declivity of up to 35%; Hapludox associated with Oxíc Hapludult occur within the declivity range of 35-45%; Oxíc Hapludult predominate within a declivity range of 45-70%; and Hapludult occur on concave slopes with a declivity higher than 70%, where drainage networks are being implemented.

Palavras-chaves: *fuzzy* logic, soil map, pedomorphogeology, lógica *fuzzy*, mapa de solos, pedomorfogeologia.

1. Introdução

Para Giasson et al. (2006), os levantamentos de solos são importantes fontes de informação para o planejamento e gestão do uso das terras e devido às limitações financeiras, apenas uma pequena porção do território brasileiro possui levantamentos detalhados ou semidetalhados. Dalmolin e Ten Caten (2015) afirmaram que há uma carência muito grande de informações mais detalhadas dos solos e que novos conhecimentos são necessários para garantir um ambiente sustentável e que propicie a segurança alimentar.

Diante dessa realidade, torna-se fundamental a utilização de geotecnologias, como os Sistemas de Informações Geográficas e Sistemas de Posicionamento Global, para a execução de levantamentos detalhados de solos. Nesse sentido, o mapeamento digital de solos (MDS), aparece como alternativa para aumentar a viabilidade da execução de levantamentos de solos (Höfig et al., 2014).

A região da Serra da Mantiqueira Mineira, no Sul de Minas, principal estado na produção de café no Brasil, é reconhecida pela produção de cafés de elevada qualidade sensorial, detentora da segunda Indicação Geográfica para café no Brasil, na modalidade Indicação de Procedência (IP) (INPI, 2016). Entre os municípios da Região da Serra da Mantiqueira Mineira, Carmo de Minas destaca-se pela produção de cafés de alta qualidade, produzindo cafés de maior valor agregado do mundo.

Nesse contexto, o presente estudo teve como objetivo a realização do mapeamento digital dos solos cultivados com cafés especiais no município de Carmo de Minas, MG, Microregião da Serra da Mantiqueira Mineira, para fornecer dados na obtenção da Indicação Geográfica (IG) na modalidade Denominação de Origem (DO).

2. Metodologia de Trabalho

2.1. Caracterização da Área de Estudo

A área de estudo corresponde ao município de Carmo de Minas, Estado de Minas Gerais, localizado na região da Serra da Mantiqueira, entre as coordenadas UTM 472.343,99 a 493.814,59 m e 7.569.686,69 a 7.544.938,15 m, Datum SIRGAS 2000, Fuso 23 Sul (Figura 1).

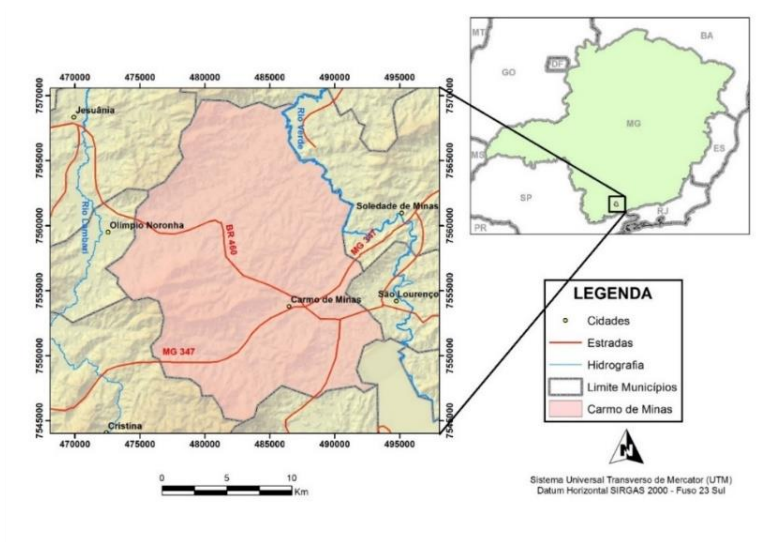


Figura 1. Localização da área de estudo, correspondente ao município de Carmo de Minas, MG.

Quanto à geologia, Carmo de Minas apresenta predomínio de rochas do Embasamento Paleoproterozóico/Arqueano, constituído principalmente por ortognaisses, localmente migmatíticos, além de pequenos corpos de rochas básicas e ultrabásicas e Sucessões Metassedimentares Neoproterozóicas, composta por paragnaisses, xistos e quartzitos (Trouw et al., 2007).

De acordo com Hasui (2010), esta região apresentou evolução geológica e geomorfológica complexa, com soerguimentos de blocos tectônicos seguidos por ciclos de aplainamentos em épocas geológicas relativamente recentes.

Segundo Zalán e Bach de Oliveira (2005), no Período Neo-Cretáceo (89 a 65 M. de anos), ocorreu na região um soerguimento da crosta continental, originando um megaplanalto (Serra do Mar Cretácea), seguido de um grande aplainamento no início do Período Terciário, ao redor de 66-65 M. de anos, originando a Superfície de Aplainamento Japi, que nivelou esse megaplanalto em torno de 2.000 m em relação ao nível do mar atual. Nestas condições, a crosta tornou-se instável, fendeu-se e afundou-se em áreas lineares formando corredores de grábens (rifes) paralelos à costa continental Sul Americana, gerando na margem continental do Brasil um duplo escarpamento formado pelas Serras do Mar e da Mantiqueira.

Do Período Terciário ao Paleógeno (65 a 24 milhões de anos), a região passou por um período de estabilidade tectônica, com o desenvolvimento da segunda grande superfície de aplainamento, a Superfície Sul-Americana, cujo aplainamento atingiu todo o continente Sul Americano (King, 1956), atualmente preservada nos topos aplainados das elevações a 1.100-1.200 m de altitude e nas Chapadas Elevadas do Planalto Central do Brasil (Motta et al., 2002).

Nas Épocas Geológicas que se sucederam, no Eoceno-Mioceno (24 a 5,3 milhões de anos), esta superfície foi novamente interrompida pelo soerguimento crustal da região costeira do Sudeste Brasileiro. Esse processo constituiu a formação definitiva e atual das Serras do Mar e da Mantiqueira (Hasui, 2010).

2.2. Modelo de distribuição dos solos de Carmo de Minas, MG

Carmo de Minas apresenta modelo de distribuição de solos associado à evolução geológica-geomorfológica-pedológica que originou a formação da Serra da Mantiqueira. Os solos observados na região se desenvolveram a partir das Superfícies Geomorfológicas de Aplainamento, particularmente a Japi e a Sul Americana. Nestas Superfícies de aplainamento evoluíram os Latossolos por longos períodos geológicos, seguido de deformações neotectônicas posteriores, com soerguimento e basculamento de blocos crustais. O remodelamento erosivo subsequente no período atual, marcado por dissecações nas superfícies aplainadas, originou alterações significativas nas classes de declividade em relevo com morfometria convexa predominante, além de transições convexo-côncavas a côncavas esparsas, profundas e escarpadas, onde estão se instalando a rede de drenagem atual, proporcionando o rejuvenescimento das classes de solo a partir de material já pré-intemperizado e pedogenizado.

Desta forma, os relevos convexos preservaram os Latossolos, previamente formados, em classes de declividades de até 45%. Por sua vez, nas porções convexo-côncavas já ocorre um discreto rejuvenescimento desses Latossolos, originando um solo transicional, os Nitossolos latossólicos, em classes de declividade mais acentuadas (> 45 a 75%), e nas porções côncavas profundas das encostas, onde estão se instalando as drenagens, proporcionaram o desenvolvimento dos Cambissolos, em declividades muito pronunciadas, maiores que 75%.

Observou-se também a ocorrência de Latossolos nas áreas aplainadas de topo, considerados importantes na interpretação do modelo de distribuição dos solos na região, pois representam remanescentes de solos desenvolvidos ao longo da evolução geológica e geomorfológica ocorrida na região (Hasui, 2010). Nessas áreas foram observados Latossolos com sequências de horizontes A e Bw enterrados, representando provavelmente os solos desenvolvidos no Período Terciário, ao redor de 66-65 milhões de anos, na Superfície de Aplainamento Japi (Zalán e Bach, 2005) e no Período Terciário - Paleógeno (65 a 24 milhões de anos), na Superfície de Aplainamento Sul-Americana.

2.3. Estabelecimento das relações pedomorfogeológicas de Carmo de Minas, MG

Foram realizadas campanhas de campo, em abril e agosto de 2012 e agosto de 2013, para o estabelecimento das relações pedomorfogeológicas em Carmo de Minas, MG.

Foram selecionadas três áreas-piloto no município de Carmo de Minas, cultivadas com cafezais responsáveis pela produção de cafés de alta qualidade sensorial, localizadas em altitudes maiores do que 950 - 1.000 m, apresentando relevo muito acidentado, com declividades pronunciadas, com predomínio de encostas convexas. Estas se localizam ao norte, a sul e na porção central do município. Foram caracterizados 16 perfis pedológicos distribuídos em sequências para a avaliação das relações entre as classes de solos e feições do relevo, nas três áreas-piloto. Os perfis dos solos foram expostos por meio de abertura de trincheiras ou em cortes de barrancos. Foram realizadas descrição e caracterização morfológica completa, com coletas de amostras dos horizontes A e B diagnóstico para a realização de análises laboratoriais, de acordo com Santos et al. (2013), visando a classificação no quarto nível categórico do SiBCS (Embrapa, 2013). Os perfis de solos foram georrefenciados por meio de GPS Garmin MAP64X.

Juntamente com a descrição morfológica dos perfis, foram verificados os parâmetros morfométricos associados, como declividade, hipsometria e curvatura do terreno. Estas observações de campo permitiram constatar que classes de curvatura associadas a uma determinada classe de declividade, controlam a variabilidade das classes de solos. Desta forma, os perfis de solos foram avaliados em sequências do terreno em classes de declividades similares, ao longo das encostas, com a mesma cota, considerando, nestas condições, a variação da classe de curvatura do terreno como o principal parâmetro morfométrico que controla a variabilidade e distribuição das classes de solos na paisagem da região. Estas sequências apresentam relevo convexo predominante com desenvolvimento e encaixamento de ravinas ou

nascentes de drenagens esparsas, proporcionando o desenvolvimento de concavidades no terreno. Estas seqüências de perfis foram denominadas de curvo-sequências, ao longo de encostas com classes de declividade definidas. As classes de declividade do terreno nas curvo-sequências foram avaliadas por intermédio de leituras com o clinômetro.

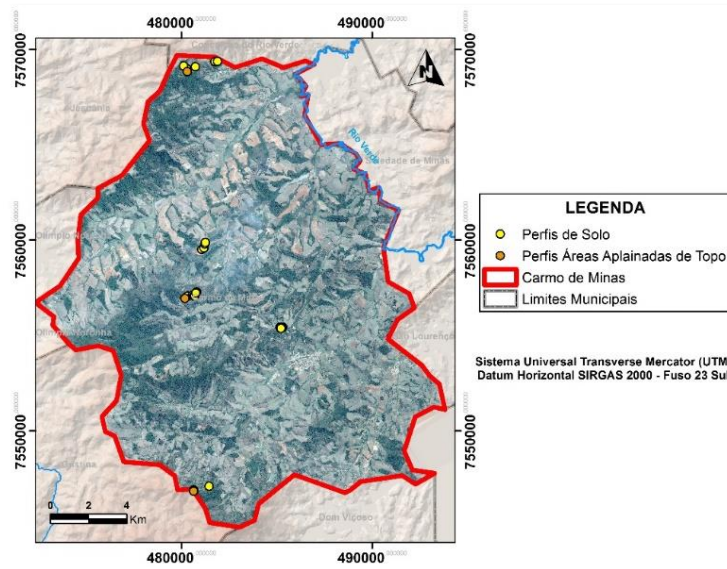


Figura 2. Distribuição dos perfis de solos descritos nas três áreas-piloto do Município de Carmo de Minas, MG.

Adicionalmente, para auxiliar a interpretação do modelo de distribuição dos solos da região, foram avaliados perfis de solos nas áreas aplainadas com as maiores altitudes, nos topos das três áreas-piloto. Estas áreas são de pequenas dimensões, esparsas e raras. Foram abertas trincheiras para descrição morfológica completa segundo Santos et al. (2013) e coleta de amostras para análises laboratoriais. Estes perfis pedológicos foram realizados com a finalidade de auxiliar a interpretação da distribuição dos solos na região, pois o posicionamento nas áreas de maiores altitudes nos topos aplainados, preservam feições relacionadas à evolução geológica-geomorfológica (Hasui, 2010).

Foi constatado que os parâmetros morfométricos do terreno são condicionantes da distribuição das classes de solos na paisagem regional, uma vez que as litologias de ocorrência, constituídas principalmente por rochas do Embasamento Paleoproterozóico/Arqueano (ortognaisses, localmente migmatíticos, além de pequenos corpos de rochas básicas e ultrabásicas e Sucessões Metassedimentares Neoproterozóicas) encontram-se mapeadas em escala 1:100.000, insuficiente para o delineamento das unidades geológicas. No entanto, as litologias de ocorrência apresentam composição mineralógica e geoquímica similares, não proporcionando, portanto, variações significativas nos atributos físicos, químicos e mineralógicos dos solos formados, e conseqüentemente apresentam pouca influência na variabilidade de classes originadas de solos.

Dessa forma, as observações de campo permitiram constatar que o modelo de distribuição de solos da área de estudo é resultante da associação de feições do relevo, uma vez que as classes de curvatura associadas a determinada classe de declividade, controlam a variabilidade dos solos. Foi considerado, ainda no modelo, a altimetria, uma vez que em Carmo de Minas há uma relação significativa entre a altitude e a qualidade do café, sendo que os cafés cultivados em altitudes acima de 1.100m, apresentam maiores avaliações sensoriais finais.

2.4. Aplicação da lógica *fuzzy* no mapeamento digital dos solos associados ao café de qualidade de Carmo de Minas, MG

As curvas de nível, com equidistância de 5 m, foram geradas a partir da imagem Pléiades Tri Stereo de 2015, com resolução espacial de 50 cm, adquirida pela Embrapa Café, que possibilitou a geração do Modelo Digital de Elevação (MDE) do município de Carmo de Minas, MG. Para a geração do MDE foi utilizada a ferramenta *Topo to Raster* do programa ArcGIS (ESRI, 2013). A partir do MDE gerado foram elaborados os mapas de classes hipsométricas, classes de curvatura e classes de declividade, por meio da ferramenta *Slope* do ArcGIS.

Para a integração dos dados para a elaboração do modelo de distribuição dos solos na paisagem, foi utilizada a lógica *fuzzy*, por meio do ArcGIS.

Com a utilização das ferramentas *Reclassify* e *Raster Calculator* do programa ArcGIS (ESRI, 2013), as classes dos mapas de curvatura, declividade e altimetria foram reclassificadas com a determinação dos graus de pertinência (no intervalo de 0 a 1). Posteriormente, foi utilizada a ferramenta *Fuzzy Overlay* para a integração dos mapas de classes de curvatura, declividade e altimetria, e geração dos mapas de possibilidades *fuzzy* de cada unidade simples e associações de classe de solos caracterizadas no município de Carmo de Minas, MG, utilizando o operador AND (intersecção) no ArcGIS.

Os cinco mapas de possibilidade *fuzzy* gerados foram reclassificados, por meio da ferramenta *Reclassify*, em sequências ordenadas de potências de 2. Segundo Nolasco-Carvalho et al. (2009), na sequência ordenada de 2, a ausência de determinada classe é expressa pelo valor zero e as associações ou zonas de transição são representadas pelos valores intermediários. Nolasco-Carvalho et al. (2009) denominam essa técnica de inferência média ponderada, a qual permite o reconhecimento dos resultados, evitando a interpretação equivocadas. Essa técnica foi também utilizada por Souza (2015), possibilitando a individualização dos solos com horizontes B textural e B nítico da microbacia do Ribeirão Salinas, Distrito Federal.

Ao final, foram gerados cinco mapas de possibilidade *fuzzy* das classes de solos identificadas na área de estudo, os quais foram combinados por meio da ferramenta *Raster Calculator*, gerando o mapa digital dos solos associados ao cultivo de cafés especiais do município de Carmo de Minas.

3. Resultados e Discussão

Os estabelecimentos dos graus de pertinência dos atributos morfométricos do terreno avaliados (curvatura, declividade e altimetria) são apresentados na Tabela 1.

3.1. Mapas de pertinência *fuzzy*

Com base nos atributos morfométricos do terreno, ou seja, curvatura, declividade e altimetria, a lógica *fuzzy* possibilitou a combinação dessas informações para a geração dos mapas das classes de solo caracterizadas nas áreas-piloto estudadas. Utilizando o operador AND do programa ArcGIS, foram gerados cinco mapas de pertinência *fuzzy*, os quais correspondem às possibilidades de ocorrência das classes de solo: Cambissolo Háplico, Latossolo Vermelho-Amarelo + Latossolo Vermelho, localizados nas áreas aplainadas de topo, Latossolo Vermelho + Latossolo Vermelho-Amarelo, a transição entre Latossolo Vermelho/Latossolo Vermelho-Amarelo + Nitossolo Vermelho, com inclusões de Nitossolo Háplico, e Nitossolo Vermelho, onde este último apresentava o horizonte B latossólico.

3.2. Mapa digital de solos associados ao cultivo de cafés de qualidade

O mapa digital de solos do município de Carmo de Minas, gerado a partir da combinação dos cinco mapas de possibilidades *fuzzy* de classes de solos caracterizadas na área de estudo é apresentado na Figura 4

Tabela 1. Peso dos atributos morfométricos do terreno associados às classes de solos de ocorrência no município de Carmo de Minas, MG.

Declividade (%)	PC	Curvatura	PC	Altimetria (m)	PC
Cambissolo Háplico					
0 - 7	1	Côncava	1	> 1.000 m	1
7 - 35	1	Plana	0		
35 - 45	1	Convexa	0		
45 - 70	1				
> 70	1				
Latossolo Vermelho-Amarelo + Latossolo Vermelho (Áreas aplainadas de topo)					
0 - 7	1	Côncava	0	> 1.000 m	1
7 - 35	0,4	Plana	1		
35 - 45	0	Convexa	1		
45 - 70	0				
> 70	0				
Latossolo Vermelho + Latossolo Vermelho-Amarelo					
0 - 7	0,5	Côncava	0,2	> 1.000 m	1
7 - 35	1	Plana	1		
35 - 45	0,4	Convexa	1		
45 - 70	0				
> 70	0				
Latossolo Vermelho + Latossolo Vermelho-Amarelo + Nitossolo Vermelho, com inclusões de Nitossolo Háplico					
0 - 7	0	Côncava	1	> 1.000 m	1
7 - 35	0	Plana	0		
35 - 45	1	Convexa	1		
45 - 70	0,4				
> 70	0				
Nitossolo Vermelho					
0 - 7	0	Côncava	1	> 1.000 m	1
7 - 35	0	Plana	0		
35 - 45	0,2	Convexa	1		
45 - 70	1				
> 70	0,2				

Onde PC = Peso das classes.

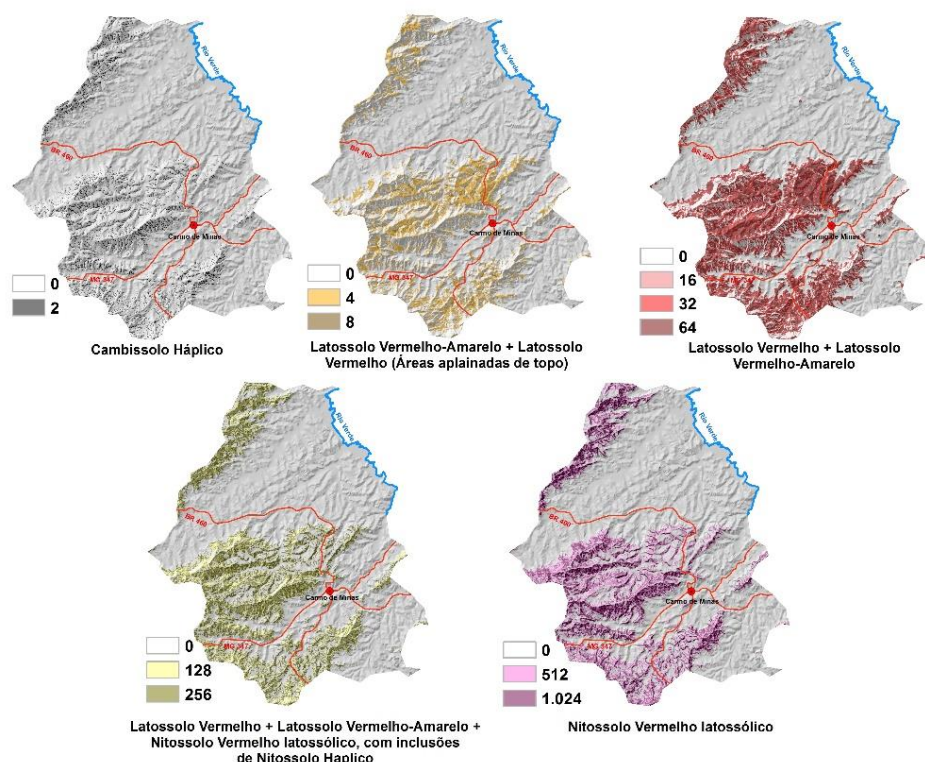


Figura 3. Mapas de pertinência *fuzzy* do município de Carmo de Minas, MG.

O mapa gerado apresenta as classes de solos caracterizadas e classificadas no Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos – SiBCS (Embrapa, 2013) no município de Carmo de Minas, em áreas associadas ao cultivo dos cafés de alta qualidade sensorial. As áreas não classificadas correspondem às regiões de altitude abaixo de 1.000 m, visto que estas áreas não são ocupadas por cafés de alta qualidade, limite este corroborado no trabalho de Borém (2012), que identificou em Carmo de Minas uma relação significativa entre a altitude e a qualidade do café, onde as variáveis analisadas (cor de fruto e tipo de processamento) dos cafés cultivados em altitudes acima de 1.100 m apresentam maiores notas nas avaliações sensoriais finais, com pontuação acima de 85. Segundo o autor essas variáveis conjuntas foram consideradas atributos para a Indicação Geográfica de Denominação de Origem para o café de qualidade da Serra da Mantiqueira Mineira.

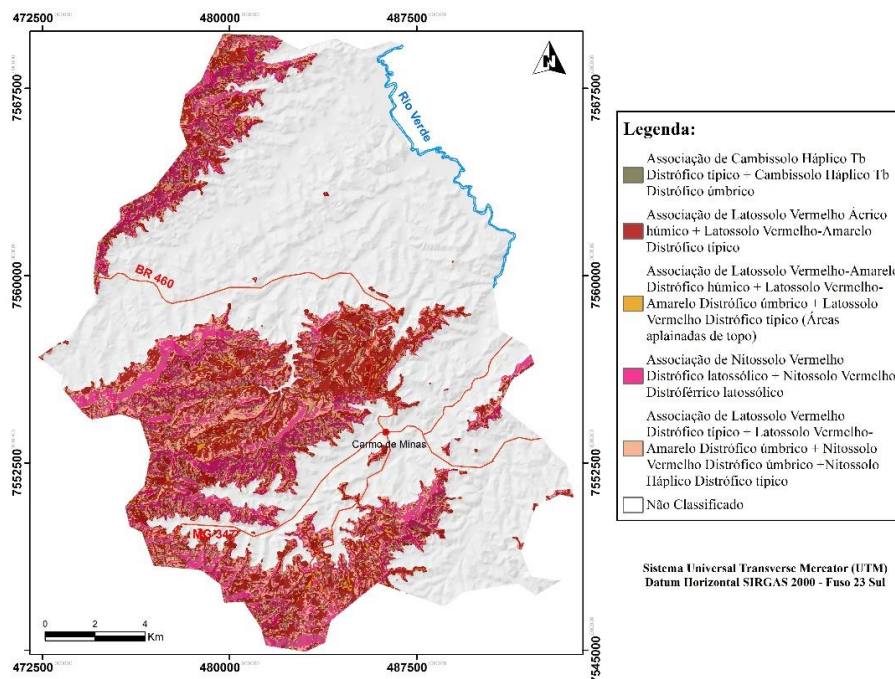


Figura 4. Mapa dos solos associados ao cultivo de cafés de alta qualidade do município de Carmo de Minas, MG.

O mapa gerado possibilitou a individualização dos Latossolos em relevo convexo em classes de declividade de até 45%, a faixa de transição observada entre as declividades de 35 e 45%, com ocorrência de Latossolos e Nitossolos latossólicos, nas porções convexo-côncavas, chegando ao predomínio dos Nitossolos latossólicos em declividade variando entre 45 e 70%. Os Cambissolos foram individualizados nas faixas de declividade mais acentuadas, acima de 70%, nas porções côncavas profundas das encostas, onde estão se instalando as redes de drenagem.

4. Conclusões

1. A utilização e integração das variáveis morfométricas do terreno, como altimetria, curvatura e declividade por meio da lógica *fuzzy*, possibilitou o mapeamento digital dos solos cultivados com café de alta qualidade sensorial em Carmo de Minas, MG, representativo da Serra da Mantiqueira Mineira.

2. No município de Carmo de Minas, MG, nas áreas com altitudes maiores que 1.000 m, ocorrem Latossolos em relevo convexo e classes de declividade de até 45%, e nos relevos convexo-côncavos, em declividade de 35 a 45%, surge uma zona de transição, com associação dos Latossolos com Nitossolos latossólicos, e com o acréscimo da declividade, entre 45 e 70% predominam os Nitossolos latossólicos. A ocorrência dos Cambissolos está associada às

porções côncavas profundas, com declividade maior que 70%, onde estão se instalando as redes de drenagem.

3. A eficácia do mapa digital de solos gerado do município de Carmo de Minas foi constatada pela caracterização detalhada dos perfis pedológicos avaliados nas áreas-pilotos, que demonstraram maior detalhamento das classes de solos quando comparado ao mapa tradicional existente.

5. Referências Bibliográficas

Borém, F. M. **Protocolo de identidade, qualidade e rastreabilidade para embasamento da indicação geográfica dos cafés da Mantiqueira**. In: BORÉM, F. M. (coord.). Relatório Final de Prestação de Contas. Edital CNPq/MAPA/SDA Nº 064/2008. Lavras: UFLA, 2012. 128p.

Dalmolin, R. S. D.; Ten Caten, A. Mapeamento Digital: nova abordagem em levantamento de solos. **Investigación Agraria**, v.17, n.2, p.77-86, 2015.

EMBRAPA - Centro Nacional de Pesquisas de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3ª Edição, Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2013. 353p.

ESRI - ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE. **ArcGIS Professional GIS for the desktop, version 10.0**. Redlands; 2013. Programa.

Giasson, E.; Clarke, R. T.; Inda Junior, A. V.; Merten, G. H.; Tornquist, C. G. Digital soil mapping using multiple logistic regression on terrain parameters in southern Brazil. **Scientia Agricola**, v.63, n.3, p.262-268, 2006.

Hasui, Y. A grande colisão pré-cambriana do sudeste brasileiro e a estruturação regional. São Paulo, UNESP, **Geociências**, v.29, n.2, p.141-169, 2010.

Höfig, P.; Giasson, E.; Vendrame, P. R. S. Mapeamento digital de solos com base na extrapolação de mapas entre áreas fisiograficamente semelhantes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.49, n.12, p.958-966, 2014.

INPI – INSTITUTO NACIONAL DE PROPRIEDADE INDUSTRIAL. **Pedidos de indicação geográfica concedidos e em andamento**. Disponível em: <<http://www.inpi.gov.br/menu-servicos/indicacao-geografica/pedidos-de-indicacao-geografica-no-brasil>>. Acesso em 2 jul.2016.

King, L. C. A Geomorfologia do Brasil Oriental. **Revista Brasileira de Geografia**, Rio de Janeiro, v.18, n.2, p.147-266, 1956.

Motta, P.E.F.; Carvalho Filho, A.; Ker, J.C.; Pereira, N.R. Relações solo-superfície geomórfica e evolução da paisagem em uma área do planalto central brasileiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.37, n.6, p.869-878, 2002.

Nolasco-Carvalho, C. C.; Franca-Rocha, W.; Ucha, J. M. Mapa digital de solos: uma proposta metodológica usando inferência fuzzy. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.13, n.1, p.46-55, 2009.

Santos, R. D.; Lemos, R. C.; Santos, H. G.; Ker, J. C.; Dos Anjos, L. H. C. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 5ª Edição, Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2013. 100p.

Souza, R. Q. **Pedomorfogeologia e mapeamento digital de solos com horizonte B textural e B nítico em uma área piloto no planalto central do Brasil**. 2015. 143p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade de Brasília, Brasília. 2015.

Trouw, R.A.J.; Nunes, R.P.M.; Castro, E.M.O.; Trouw, C.C.; Matos, G.C. **Folha Varginha-SF.23-V-D-VI, escala 1:100.000: nota explicativa integrada com a Folha Itajubá**. Programa Geologia do Brasil. Minas Gerais: CPRM, 2007. 99p.

Zalán, P. V.; Bach de Oliveira, J. A. Origem e evolução estrutural do Sistema de Riftes Cenozóicos do Sudeste do Brasil. **Boletim de Geociências da Petrobras**, Rio de Janeiro, v.13, n.2, p.269-300, 2005.