



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA
FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA

DISTRIBUIÇÃO DOS SOLOS ASSOCIADOS AO CULTIVO DE CAFÉS
DE QUALIDADE ESPECIAL NA SERRA DA MANTIQUEIRA
MINEIRA

AURÉLIO ALVES AMARAL CHAVES

TESE DE DOUTORADO EM AGRONOMIA

BRASÍLIA/DF
JULHO/2016



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA
FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA

DISTRIBUIÇÃO DOS SOLOS ASSOCIADOS AO CULTIVO DE CAFÉS
DE QUALIDADE ESPECIAL NA SERRA DA MANTIQUEIRA
MINEIRA

AURÉLIO ALVES AMARAL CHAVES

ORIENTADORA: MARILUSA PINTO COELHO LACERDA

CO-ORIENTADORA: HELENA MARIA RAMOS ALVES

TESE DE DOUTORADO EM AGRONOMIA

PUBLICAÇÃO: 048D/2016

BRASÍLIA/DF

JULHO/2016



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA
FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA

DISTRIBUIÇÃO DOS SOLOS ASSOCIADOS AO CULTIVO DE CAFÉS
DE QUALIDADE ESPECIAL NA SERRA DA MANTIQUEIRA
MINEIRA

AURÉLIO ALVES AMARAL CHAVES

TESE DE DOUTORADO SUBMETIDA AO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
AGRONOMIA, COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS À OBTENÇÃO
DO GRAU DE DOUTOR EM AGRONOMIA.

APROVADA POR:

MARILUSA PINTO COELHO LACERDA, Professora Associada III, Dra. (Universidade de Brasília – UnB)
(ORIENTADORA) CPF: 434.760.586-20 E-mail: marilusa@unb.br

SEBASTIÃO ALBERTO DE OLIVEIRA, Pesquisador Associado, Dr. (Universidade de Brasília – UnB)
(EXAMINADOR INTERNO) CPF: 052.361.771-20 E-mail: saoliveira1949@gmail.com

TAIRONE PAIVA LEÃO, Professor Adjunto, Dr. e Ph.D. (Universidade de Brasília - UnB)
(EXAMINADOR INTERNO) CPF: 713.262.271-49 E-mail: tleao@unb.br

RENATO FONTES GUIMARÃES, Professor Adjunto, Dr. (Universidade de Brasília - UnB)
(EXAMINADOR EXTERNO) CPF: 760.804.637-68 E-mail: renatofg@unb.br

EDSON EYJI SANO, Pesquisador, PhD, (Embrapa CPAC)
(EXAMINADOR EXTERNO) CPF: 034.617.098-06 E-mail: edson.sano@gmail.com

BRASÍLIA/DF, 29 DE JULHO DE 2016.

FOLHA CATALOGRÁFICA

Chaves, Aurélio Alves Amaral.

Distribuição dos Solos Associados ao Cultivo de Cafés de Qualidade Especial na Serra da Mantiqueira Mineira. / Aurélio Alves Amaral Chaves; orientação de Marilusa Pinto Coelho Lacerda. – Brasília, 2016.

190 p. : il.

Tese de Doutorado (D) – Universidade de Brasília / Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, 2016.

1. Relações solo-paisagem. 2. Pedomorfogeologia. 3. Curvatura. 4. Serra da Mantiqueira. 5. Lógica *fuzzy*.

I. Lacerda, M.P.C. II. Doutora.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

CHAVES, A. A. A. Distribuição dos Solos Associados ao Cultivo de Cafés de Qualidade Especial na Serra da Mantiqueira Mineira. Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília - Brasília, 2016; 190 p. Tese de Doutorado.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Aurélio Alves Amaral Chaves

TÍTULO DA TESE DE DOUTORADO: Distribuição dos Solos Associados ao Cultivo de Cafés de Qualidade Especial na Serra da Mantiqueira Mineira.

GRAU: DOUTOR.

ANO: 2016

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta tese de doutorado para única e exclusivamente propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva para si os outros direitos autorais, de publicação. Nenhuma parte desta tese de doutorado pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor. Citações são estimuladas, desde que citada à fonte.

Nome: Aurélio Alves Amaral Chaves

CPF: 710.396.271-53

Endereço: SQSW 504, Bloco I, Aptº 609, Setor Sudoeste. Brasília/DF

Tel. (061) 3522-5654

E-mail: aaa.chaves@hotmail.com

Aos meus pais, irmãos e sobrinho pelo incentivo durante toda minha vida, pelo amor, carinho e compreensão nos momentos de ausência.

À Mariella, minha esposa e companheira, por todo o amor e apoio nas situações mais difíceis. Agradeço por você fazer parte da minha vida e não existem palavras para descrever toda minha gratidão e felicidade ao seu lado.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

À minha orientadora Professora Dra. Marilusa Pinto Coelho Lacerda (Universidade de Brasília – UnB), que me incentivou desde a graduação, por todos os ensinamentos, motivação, conversas, pela tranquilidade transmitida e exemplo de profissional e pessoa.

À minha co-orientadora Dra. Helena Maria Ramos Alves (Embrapa Café), pela maravilhosa receptividade em Lavras, pelo suporte, auxílio e dedicação durante os trabalhos de campo e em todos os momentos necessários.

Ao Professor Dr. Flávio Meira Borém (Universidade Federal de Lavras - UFLA), pelo suporte e apoio para realização da pesquisa.

À Dra. Inara Oliveira Barbosa (Departamento Nacional de Produção Mineral – DNPM), pela amizade e por toda a ajuda e aprendizado durante o mestrado, o doutorado e a minha carreira profissional.

À Maria Angélica e Marcela, minha sogra e cunhada, por terem me acolhido na nova família e por todo o apoio e torcida em todos os momentos desta caminhada.

Ao mestrando Daniel Fernando Costa do Prado (Universidade Federal de Lavras - UFLA), pela grande ajuda nas atividades de campo.

Ao Ms. Manuel Pereira de Oliveira Junior (Universidade de Brasília – UnB), pela amizade, incentivo e disponibilidade sempre que necessário.

Aos meus colegas de trabalho, pelo incentivo, companheirismo e apoio durante as ausências necessárias para o desenvolvimento do doutorado.

Aos órgãos financiadores dos projetos de pesquisa ao qual este trabalho encontra-se associado:

- Consórcio Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento do Café - CNPD/Café, gerenciado pela Embrapa-Café e coordenado pela Dra. Helena Maria Ramos Alves (Embrapa Café), o qual financiou o projeto “*Distribuição Espacial e Padrões Ambientais dos Cafés Especiais da Microregião da Serra da Mantiqueira de Minas Gerais, por meio de Processamentos Geocomputacionais*”;
- Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – MAPA e Secretaria de Defesa Agropecuária – DAS, que por meio do Edital CNPq/MAPA/SDA N° 064/2008 financiou o projeto “*Protocolo de Identidade, Qualidade e Rastreabilidade para Embasamento da Indicação Geográfica dos Cafés da Mantiqueira*, coordenado pelo Dr. Flávio Meira Borém (Universidade Federal de Lavras - UFLA).

LISTA DE SIMBOLOS E ABREVIACOES

APROCAM – Associação dos Produtores de Café da Mantiqueira

AD – rvores de Decisão

BSCA – *Brazil Specialty Coffee Association*

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento

DO – Denominação de Origem

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

FEAM - Fundação Estadual de Meio Ambiente

FAO - *Food and Agriculture Organization*

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IG – Indicação Geográfica

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia

INPI – Instituto Nacional da Propriedade Industrial

IP – Indicação de Procedência

MDS – Mapeamento Digital de Solos

MDE – Modelo Digital de Elevação

MDT – Modelo Digital de Terreno

RNA – Redes Neurais Artificiais

RLM – Regressão Logística Múltipla

SiBCS - Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos

SIG – Sistema de Informação Geográfica

SCAA – *Coffee Association of América*

SRTM – *Shuttle Radar Topography Mission*

UM – Unidade de Mapeamento

UTM – Sistema Universal Transverso de Mercator

RESUMO GERAL

A utilização do solo de forma sustentável depende do conhecimento de seus atributos e sua distribuição na paisagem, porém, no Brasil, os levantamentos de solos detalhados são escassos, impossibilitando um planejamento racional e ocasionando a degradação desse recurso e a obtenção de rendimentos abaixo do potencial agropecuário das terras. Um dos motivos da carência de informações sobre os solos do território brasileiro é a sua grande extensão territorial, onde a execução de levantamentos pedológicos tradicionais em escalas mais detalhadas apresentam custo elevado. Torna-se, então, necessária a utilização de novas tecnologias aliadas aos levantamentos convencionais. Dentre os produtos agrícolas brasileiros, destaca-se o café, responsável por um setor economicamente importante e gerador de renda e empregos, uma vez que o Brasil é o maior produtor e exportador de café no mundo. Diante desse contexto, o presente estudo teve como objetivo caracterizar os solos associados à cultura cafeeira de alta qualidade sensorial e estabelecer o modelo de distribuição desses solos no município de Carmo de Minas, MG, representativo da Microregião da Serra da Mantiqueira Mineira, região tradicionalmente conhecida pela produção de cafés de alta qualidade. Por meio de atividades de campo, foram selecionados perfis pedológicos representativos, que foram devidamente caracterizados e classificados no SiBCS. Os parâmetros morfométricos associados à ocorrência das classes caracterizadas de solos, como declividade, hipsometria e curvatura foram verificados a fim de estabelecer as relações pedomorgeológicas da área de estudo. Foi observado que os Latossolos desenvolvidos em épocas geológicas anteriores, em superfícies geomorfológicas de aplainamento, encontram-se preservados nas encostas convexas, com classes de declividade de até 45%. Em classes de declividade variando de 45 a 75%, nas porções do relevo de curvatura transicional convexo-côncava, ocorrem Nitossolos latossólicos, e quando a declividade supera os 75%, com desenvolvimento de relevo côncavo, verifica-se a ocorrência de Cambissolos. A associação dos solos com a cultura dos cafés de alta qualidade

está relacionada à elevada evolução e profundidade destes solos em relevos acidentados e às características físicas latossólicas preservadas, que permitem o desenvolvimento da cafeicultura. A ocorrência comum de horizonte A húmico, de elevadas espessuras, também contribuem física e quimicamente à cultura do café na região. Com base no modelo elaborado da distribuição dos solos nas áreas cultivadas com cafés de qualidade no município de Carmo de Minas, representativo da Serra da Mantiqueira Mineira, foi realizado o mapeamento digital dos solos com a utilização da lógica *fuzzy*, por meio do programa ArcGIS.

Palavras-chave: Relações solo-paisagem, Pedomorfogeologia, Curvatura, Serra da Mantiqueira, Lógica *fuzzy*.

GENERAL ABSTRACT

The sustainable soil use relies on the available knowledge regarding its features and its distribution over the landscape. In Brazil, few soil studies have appeared to this day. Such gap precludes rational planning and entails degradation and suboptimal economic gains in terms of agricultural and livestock potential. One reason for the lack of information on the Brazilian territory soils is its large territory, where the execution of soil traditional surveys in more detailed scales have a high cost. Thus, it is necessary to couple the new technologies with conventional research. Coffee is one of Brazil's main agricultural products, accounting for an important economic sector in terms of income and jobs, and the country is the world's leading coffee producer and exporter. Bearing in mind such context, this study seeks to characterize the soils used to produce high quality coffee, and to present a soil distribution model covering the municipality of Carmo de Minas, as a sample of the micro-region of Serra da Mantiqueira (Mantiqueira Mountains), state of Minas Gerais – a region known for its high quality coffee. Field activities led to selecting the significant pedological profiles, which were characterized and typified according to the Brazilian Soil Classification System (SiBCS). The study assessed

morphometric parameters such as declivity, hypsometry and curvature in relation to the occurrence of the categorized soil classes, so their pedomorphogeological relations could be examined. Hapludox from previous epochs in geomorphological flatlands have been preserved in convex slopes with a declivity of up to 45%; Oxic Hapludult occur in transitional convex-concave terrains within a declivity range of 45-75%; and Hapludept occur in concave landforms where declivity rises above 75%. The linkage between these soils and the production of quality coffee is related to their high level of evolution and depth in rugged terrains, and to their preserved oxic features, which facilitate the establishment of coffee crops. The frequent occurrence of thick umbric horizons also contributes physically and chemically to coffee crops in this region. Based on its soil distribution model for quality coffee areas in Carmo de Minas, the study applied *fuzzy* logic via ArcGIS and digitally mapped the soils of the region.

Keywords: Soil-landscape relations, Pedomorphogeology, Curvature, Serra da Mantiqueira, *Fuzzy* logic.

SUMÁRIO

1.	CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO	21
1.1	INTRODUÇÃO.....	21
1.2	OBJETIVOS.....	24
1.2.1	Objetivo Geral.....	24
1.2.2	Objetivos Específicos	25
1.3	ESTRUTURA DA TESE	25
1.4	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	26
2.	CAPÍTULO 2 – REFERENCIAL TEÓRICO	29
2.1	REFERENCIAL TEÓRICO.....	29
2.1.1	Cultura do Café.....	29
2.1.2	Importância da Cultura do Café	32
2.1.3	Cafés Especiais e Qualidade da Bebida	33
2.1.4	Geotecnologias Aplicadas à Atividade Cafeeira	35
2.1.5	Mapeamento Digital de Solos - MDS	37
2.1.5.1	Redes Neurais Artificiais - RNA	41
2.1.5.2	Árvores de Decisão - AD.....	42
2.1.5.3	Regressões Logísticas Múltiplas - RLM.....	45
2.1.5.4	Regressão Linear Múltipla - RLM	46
2.1.5.5	Lógica <i>Fuzzy</i>	47
2.1.5.6	Pesos de evidência	48
2.1.5.7	Krigagem.....	49
2.2	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	50
3.	CAPÍTULO 3 – ÁREA DE ESTUDO	61
3.1	ÁREA DE ESTUDO	61
3.1.1	Localização da Área de Estudo	61
3.1.2	Caracterização da Área de Estudo.....	62
3.1.2.1	Clima	62
3.1.2.2	Vegetação	62
3.1.2.3	Evolução Geológica	64

3.1.2.4	Geologia Atual	66
3.1.2.5	Geomorfologia	68
3.1.2.6	Solos.....	69
3.2	CARACTERIZAÇÃO DOS SOLOS DA ÁREA ESTUDADA	71
3.2.1	Atividades de Campo - Primeira e Segunda Etapa	71
3.2.2	Atividades de Campo – Terceira Etapa.....	80
3.2.2.1	Caracterização dos solos da área-piloto norte - A	81
3.2.2.2	Caracterização solos da área-piloto central – B.....	87
3.2.2.3	Caracterização dos solos da área-piloto central - C.....	92
3.2.2.4	Caracterização dos perfis pedológicos da área-piloto D.....	100
3.2.2.5	Caracterização dos perfis pedológicos da área-piloto E.....	106
3.3	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	112
4.	CAPÍTULO 4 - DISTRIBUIÇÃO DOS SOLOS ASSOCIADOS AO CULTIVO DE CAFÉS ESPECIAIS NA SERRA DA MANTIQUEIRA MINEIRA, CARMO DE MINAS, MG	115
4.1	INTRODUÇÃO.....	117
4.2	MATERIAL E MÉTODOS.....	119
4.2.1	Localização da área de estudo	119
4.2.2	Caracterização da área de estudo	120
4.2.2.1	Clima	120
4.2.2.2	Evolução geológica e geomorfológica	120
4.2.2.3	Solos.....	122
4.2.3	Levantamento de dados secundários	123
4.2.4	Atividades de campo.....	123
4.2.5	Análises laboratoriais	127
4.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	128
4.4	CONCLUSÕES	139
4.5	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	140
5.	CAPÍTULO 5 - MAPEAMENTO DIGITAL DOS SOLOS ASSOCIADOS AO CULTIVO DE CAFÉS ESPECIAIS NA SERRA DA MANTIQUEIRA MINEIRA	145
5.1	INTRODUÇÃO.....	147
5.2	MATERIAL E MÉTODOS.....	149

5.2.1	Caracterização da Área de Estudo.....	149
5.2.2	Caracterização do meio físico de Carmo de Minas, MG	150
5.2.2.1	Clima	150
5.2.2.2	Geologia atual e evolução geológica-geomorfológica.....	150
5.2.2.3	Solos.....	152
5.2.3	Modelo de distribuição dos solos de Carmo de Minas, MG	152
5.2.4	Estabelecimento das relações pedomorfogeológicas de Carmo de Minas, MG	154
5.2.5	Aplicação da lógica <i>fuzzy</i> no mapeamento digital dos solos associados ao café de qualidade de Carmo de Minas, MG	156
5.2.5.1	Banco de Dados	156
5.2.5.2	Inferência <i>Fuzzy</i>	159
5.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	160
5.3.1	Mapas de pertinência <i>fuzzy</i>	161
5.3.2	Mapa digital de solos associados ao cultivo de cafés de qualidade.....	165
5.3.3	Validação do mapeamento digital de solos	167
5.4	CONCLUSÕES	179
5.5	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	180
6.	CAPÍTULO 6 – CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES.....	187
6.1	CONSIDERAÇÕES FINAIS	187
6.2	RECOMENDAÇÕES	188

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

CAPITULO 3 - ÁREA DE ESTUDO

Figura 1 - Localização da área de estudo - Município de Carmo de Minas, MG.....	61
Figura 2 – Imagem de satélite Pléiades de 2015 do Município de Carmo de Minas, MG, mostrando os remanescentes da Mata Atlântica.	63
Figura 3 - Principais feições do Paleógeno. Onde: Bacias tafrogenéticas: 1 - Rio das Mortes, 2 - Aiuruoca, 3 - São João da Barra, 4 - Guanabara e Itaboraí, 5 - Rio Santana, 6 - Paty dos Alferes, 7 - Volta Redonda, 8 - Serra da Bocaina, 9 - Resende, 10 - Taubaté, 11 - São Paulo, 12 - Sete Barras, 13 - Cananéia e Pariquera-Açu, 14 – Curitiba (Fonte: Hasui, 2010).	65
Figura 4 - Mapa geológico da área de estudo – Município de Carmo de Minas, MG (Fonte: Trouw et al., 2007).	67
Figura 5 - Mapa de solos da área de estudo – Município de Carmo de Minas, MG (Fonte: FEAM, 2010).	70
Figura 6 - Localização dos perfis de solos da segunda etapa - Município de Carmo de Minas, MG.	72
Figura 7 - Perfil 1 - LVw: Latossolo Vermelho Ácrico típico.....	77
Figura 8 - Perfil 3: LVAd: Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico húmico.	77
Figura 9 - Perfil 4 - LVAd: Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico húmico.	78
Figura 10 - Perfil 6 - NVd: Nitossolo Vermelho Distrófico latossólico.....	78
Figura 11 - Perfil 8 - NVd: Nitossolo Vermelho Distrófico latossólico.....	78
Figura 12 - Perfil 9 - CXbd: Cambissolo Háplico Tb Distrófico típico.....	78
Figura 13 - Perfil 11 - NVdf: Nitossolo Vermelho Distroférico latossólico húmico.	79
Figura 14 - Perfil 12 – NVd: Nitossolo Vermelho Distrófico latossólico.	79
Figura 15 - Perfil 2 - LVd: Latossolo Vermelho Distrófico típico.	79
Figura 16 - Localização dos perfis de solos avaliados nas áreas-piloto da terceira etapa de campo, município de Carmo de Minas, MG.....	80
Figura 17 - Localização dos perfis de solos avaliados nas áreas-piloto norte – A na terceira etapa de campo, município de Carmo de Minas, MG.....	82
Figura 18 - Perfil 1: Latossolo Vermelho Distrófico típico.....	82
Figura 19 - Perfil 3: Cambissolo Háplico Tb Distrófico típico.	83
Figura 20 - Perfil 6: Nitossolo Vermelho Distrófico latossólico.....	83
Figura 21 - Localização dos pontos de observação dos solos da Terceira Campanha. Área-Piloto B - Município de Carmo de Minas, MG.....	88

Figura 22 - Perfil 7: Latossolo Vermelho Ácrico típico.	89
Figura 23 - Perfil 9: Nitossolo Vermelho Distrófico típico.	89
Figura 24 - Localização dos pontos de observação dos solos da Terceira Campanha. Área-Piloto C - Município de Carmo de Minas, MG.....	93
Figura 25 - Perfil 11: Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico húmico.....	94
Figura 26 - Perfil 12: Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico.....	94
Figura 27 - Perfil 13: Latossolo Vermelho Ácrico húmico.	95
Figura 28 - Perfil 17: Nitossolo Háptico Distrófico típico.	95
Figura 29 - Perfil 18: Nitossolo Vermelho Distrófico úmbrico.....	96
Figura 30 - Localização dos pontos de observação dos solos da Terceira Campanha. Área-Piloto D - Município de Carmo de Minas, MG.	101
Figura 31 - Perfil 19: Latossolo Vermelho Distrófico típico.....	102
Figura 32 - Perfil 20: Nitossolo Vermelho Distrófico latossólico.....	102
Figura 33 - Perfil 21: Cambissolo Háptico Tb Distrófico úmbrico.	103
Figura 34 - Localização dos pontos de observação dos solos da Terceira Campanha. Área-Piloto E - Município de Carmo de Minas, MG.....	107
Figura 35 - Perfil 24: Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico úmbrico.	107
Figura 36 - Perfil 25: Nitossolo Vermelho Distroférico latossólico.....	108
Figura 37 - Perfil 26: Cambissolo Háptico Tb Distrófico típico.	108

CAPITULO 4 - DISTRIBUIÇÃO DOS SOLOS ASSOCIADOS AO CULTIVO DE CAFÉS ESPECIAIS NA SERRA DA MANTIQUEIRA MINEIRA, CARMO DE MINAS, MG

Figura 1 - Localização da área de estudo - Município de Carmo de Minas, MG.....	119
Figura 2 – Localização dos perfis de caracterização dos solos (segunda e terceira campanhas de campo), no município de Carmo de Minas, MG.....	124
Figura 3 – (a) Distribuição dos perfis de solos descritos em curvo-sequências nas três áreas-piloto do Município de Carmo de Minas, MG; (b) curvo-sequência representativa da distribuição dos solos na área piloto na porção central do município de Carmo de Minas, MG.	125
Figura 4 – (a) Distribuição dos perfis pedológicos de topo nas áreas-piloto do município de Carmo de Minas, MG; (b) Localização detalhada do perfil pedológico representativo das áreas aplainadas de topo - área-piloto da porção central (PTC) do Município de Carmo de Minas, MG.	126

CAPITULO 5 - MAPEAMENTO DIGITAL DOS SOLOS ASSOCIADOS AO CULTIVO DE CAFÉS ESPECIAIS NA SERRA DA MANTIQUEIRA MINEIRA

Figura 1 - Localização da área de estudo, correspondente ao município de Carmo de Minas, MG.	149
Figura 2 - Modelo digital de elevação (MDE) do município de Carmo de Minas.	157
Figura 3 - Mapa de classes hipsométricas do município de Carmo de Minas.	157
Figura 4 - Mapa de classes de declividade do município de Carmo de Minas.	158
Figura 5 - Mapa de classes de curvatura do município de Carmo de Minas.	158
Figura 6 - Mapas de pertinência <i>fuzzy</i> do município de Carmo de Minas, MG: a) Cambissolo Háplico; b) Latossolo Vermelho-Amarelo + Latossolo Vermelho (áreas aplainadas de topo).	163
Figura 7 - Mapas de pertinência <i>fuzzy</i> do município de Carmo de Minas, MG: a) Latossolo Vermelho + Latossolo Vermelho-Amarelo + Nitossolos Vermelhos latossólicos, com inclusões da Nitossolo Háplico; b) Latossolo Vermelho + Latossolo Vermelho-Amarelo.	164
Figura 8 - Mapas de pertinência <i>fuzzy</i> da classe de Nitossolo Vermelho latossólico do município de Carmo de Minas, MG.	165
Figura 9 - Mapa dos solos associados ao cultivo de cafés de alta qualidade do município de Carmo de Minas, MG.	166
Figura 10 – Detalhamento do mapa dos solos associados ao cultivo de cafés de alta qualidade da área-piloto norte - A, município de Carmo de Minas, MG.	168
Figura 11 – Perfil 1: Latossolo Vermelho Distrófico típico.	169
Figura 12 – Perfil 3: Cambissolo Háplico Tb Distrófico típico.	169
Figura 13 – Perfil 6: Nitossolo Vermelho Distrófico latossólico.	170
Figura 14 – Detalhamento dos solos associados ao cultivo de cafés de alta qualidade da curvo-sequência da área-piloto central - C, município de Carmo de Minas, MG.	171
Figura 15 – Perfil 11: Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico húmico.	171
Figura 16 – Perfil 12: Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico.	172
Figura 17 – Perfil 13: Latossolo Vermelho Ácrico húmico.	172
Figura 18 – Perfil 17: Nitossolo Háplico Distrófico típico.	173
Figura 19 – Perfil 18: Nitossolo Vermelho Distrófico úmbrico.	173
Figura 20 - Detalhamento do mapa dos solos associados ao cultivo de cafés de alta qualidade da curvo-sequência da área-piloto central - D, município de Carmo de Minas, MG.	174
Figura 21 – Perfil 19: Latossolo Vermelho Distrófico típico.	175

Figura 22 – Perfil 20: Nitossolo Vermelho Distrófico latossólico.	175
Figura 23 – Perfil 21: Cambissolo Háptico Tb Distrófico úmbrico.....	176
Figura 24 – Detalhamento do mapa dos solos associados ao cultivo de cafés de alta qualidade da curvo-sequência da área-piloto sul - E, município de Carmo de Minas, MG.....	177
Figura 25 – Perfil 24: Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico úmbrico.....	177
Figura 26 – Perfil 25: Nitossolo Vermelho Distroférico latossólico.	178
Figura 27 – Perfil 26: Cambissolo Háptico Tb Distrófico típico.....	178

LISTA DE TABELAS

CAPITULO 2 - REFERENCIAL TEÓRICO

Tabela 1 - Origem e distribuição das espécies de cafeeiros pertencentes aos gêneros <i>Coffea</i> e <i>Psilanthus</i> e espécies presentes em coleções de germoplasma no Brasil (Fonte: Carvalho, 2008).	31
--	----

CAPÍTULO 3 – ÁREA DE ESTUDO

Tabela 1 - Descrição das unidades de mapeamento identificadas no mapeamento de solos desenvolvido pela FEAM (2010).	70
Tabela 2 - Caracterização química dos solos avaliados da segunda etapa de campo na área de estudo, Município de Carmo de Minas, MG.....	73
Tabela 3 - Caracterização física dos solos avaliados na segunda campanha de campo na área de estudo, Município de Carmo de Minas, MG.....	75
Tabela 4 - Teores de óxidos constituintes extraídos pelo ataque sulfúrico dos solos avaliados na segunda campanha de campo na área de estudo, Município de Carmo de Minas, MG.....	76
Tabela 5 - Classificação dos solos identificados na Segunda Campanha realizada na área de estudo – Município de Carmo de Minas, MG.....	77
Tabela 6 - Características morfológicas dos solos estudados na área-piloto A – Município de Carmo de Minas, MG.....	84
Tabela 7 - Características físicas dos solos estudados na área-piloto A – Município de Carmo de Minas, MG.	85
Tabela 8 - Teores de óxidos constituintes extraídos pelo ataque sulfúrico dos solos estudados na área-piloto A – Município de Carmo de Minas, MG.	85
Tabela 9 - Caracterização química dos solos estudados na área-piloto A – Município de Carmo de Minas, MG.	86
Tabela 10 - Características morfológicas dos solos estudados na área-piloto B – Município de Carmo de Minas, MG.....	90
Tabela 11 - Caracterização química dos solos estudados na área-piloto B – Município de Carmo de Minas, MG.	91
Tabela 12 - Características física dos solos estudados na área-piloto B – Município de Carmo de Minas, MG.	92
Tabela 13 - Teores de óxidos constituintes extraídos pelo ataque sulfúrico dos solos estudados na área-piloto B – Município de Carmo de Minas, MG.	92

Tabela 14 - Características morfológicas dos solos estudados na área-piloto C – Município de Carmo de Minas, MG.....	96
Tabela 15 - Teores de óxidos constituintes extraídos pelo ataque sulfúrico dos solos estudados na área-piloto C – Município de Carmo de Minas, MG.	98
Tabela 16 - Caracterização química dos solos estudados na área-piloto C – Município de Carmo de Minas, MG.	99
Tabela 17 - Características física dos solos estudados na área-piloto C – Município de Carmo de Minas, MG.	100
Tabela 18 - Características morfológicas dos solos estudados na área-piloto - D – Município de Carmo de Minas, MG.....	103
Tabela 19 - Teores de óxidos constituintes extraídos pelo ataque sulfúrico dos solos estudados na área-piloto D – Município de Carmo de Minas, MG.	104
Tabela 20 - Caracterização química da curvo-sequência estudada na área-piloto - D – Município de Carmo de Minas, MG.	105
Tabela 21 - Características física dos solos estudados na área-piloto D – Município de Carmo de Minas, MG.	106
Tabela 22 - Características morfológicas dos solos estudados na área-piloto E – Município de Carmo de Minas, MG.....	109
Tabela 23 - Teores de óxidos constituintes extraídos pelo ataque sulfúrico dos solos estudados na área-piloto - E – Município de Carmo de Minas, MG.	110
Tabela 24 - Características física dos solos estudados na área-piloto - E – Município de Carmo de Minas, MG.	110
Tabela 25 - Caracterização química dos solos estudados na área-piloto - E – Município de Carmo de Minas, MG.....	111

CAPÍTULO 4 - DISTRIBUIÇÃO DOS SOLOS ASSOCIADOS AO CULTIVO DE CAFÉS ESPECIAIS NA SERRA DA MANTIQUEIRA MINEIRA, CARMO DE MINAS, MG

Tabela 1 - Características morfológicas do LVAd do PTC, representativo dos solos das áreas aplainadas de topo, e dos solos da curvo-sequência estudada, Carmo de Minas, MG.	128
Tabela 2 - Características físicas do LVAd do PTC, representativo dos solos das áreas aplainadas de topo e dos solos da curvo-sequência estudada, Carmo de Minas, MG.	132
Tabela 3 - Teores de óxidos constituintes do LVAd do PTC, representativo dos solos das áreas aplainadas de topo e dos solos da curvo-sequência estudada, Carmo de Minas, MG.	134

Tabela 4 - Caracterização química do LVAd do PTC, representativo dos solos das áreas aplainadas de topo e dos solos da curvo-sequência estudada, Carmo de Minas, MG. 135

CAPÍTULO 5 - MAPEAMENTO DIGITAL DOS SOLOS ASSOCIADOS AO CULTIVO DE CAFÉS ESPECIAIS NA SERRA DA MANTIQUEIRA MINEIRA

Tabela 1 - Peso dos atributos morfométricos do terreno associados às classes de solos de ocorrência no município de Carmo de Minas, MG..... 160

1. CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO

1.1 INTRODUÇÃO

O Brasil é um país de dimensões continentais, capaz de produzir alimentos de forma racional e sustentável. No entanto, em função do grande crescimento da população e aumento da demanda por alimentos e fontes energéticas renováveis, os solos estão sendo, muitas vezes utilizado de maneira indiscriminada. O uso intensivo e sustentável dos solos demanda conhecimento detalhado de suas características e propriedades, de forma que se estabeleça um planejamento racional com definição de técnicas de manejo prioritárias à sua exploração e conservação (Demattê et al., 2011).

Para a correta utilização dos solos é fundamental o conhecimento de seus atributos e sua distribuição na paisagem, porém, segundo Giasson et al. (2006), os levantamentos de solos existentes no Brasil não estão em escala adequada, ocasionando a má utilização dos recursos naturais, degradação dos solos e rendimentos abaixo do potencial agropecuário regional. Segundo Coelho e Giasson (2010), mapas pedológicos são fontes de informações primordiais para a execução de planejamentos de uso e manejos adequados dos solos e o Brasil possui grande parte de seu território coberto por mapas de solos pouco detalhados, com escala de 1:1.000.000, produzidos pelo projeto Radambrasil.

Pode-se considerar que um dos motivos da carência de informações sobre os solos utilizados pelas atividades agrícolas no Brasil é consequência da sua grande extensão territorial, que causa um grande custo em levantamentos tradicionais. Para isso torna-se necessária a utilização de tecnologias modernas aliadas aos levantamentos convencionais de solos, de forma a possibilitar a geração de informações em escalas adequadas para auxiliar o planejamento das diversas atividades agropecuárias.

Nesse sentido, são fundamentais os estudos que forneçam as informações necessárias para a produção econômica e ecologicamente sustentáveis das atividades agrícolas brasileiras. Estas constituem um dos principais setores econômicos do país, uma vez que contribui positivamente ao Produto Interno Bruto nacional e coloca o Brasil como um dos líderes mundiais de produção e exportação de vários produtos agropecuários (França et al., 2009; IBGE, 2012).

E diante deste contexto, a atividade agrícola no Brasil é crescente e intensa, dependente cada vez mais de mapeamentos pedológicos mais detalhados que permitam o desenvolvimento de uma agricultura sustentável. Dentre os produtos agrícolas brasileiros, o café possui um elevado destaque, pois o setor cafeeiro constitui uma importante atividade econômica geradora de renda e emprego. Além disso, o Brasil é o maior produtor e exportador de café do mundo (Brandão et al., 2012; Coelho, 2005; Reis, 2010), além do segundo posto como país consumidor no mercado internacional (Coelho, 2005).

Segundo Brandão et al. (2012), estatísticas da FAO (*Food and Agriculture Organization*) mostram que o Brasil é o maior produtor de café, seguido pelo Vietnã, Colômbia, Indonésia e Etiópia, além de ser o maior exportador. Estas características indicam a importância econômica do café para o agronegócio nacional, além de gerar renda e emprego para milhares de pessoas dos países produtores.

Minas Gerais destaca-se no cenário brasileiro com a maior contribuição na cafeicultura brasileira, com uma participação de 51,59% do café produzido no país. E a região Sul de Minas foi responsável pela produção de aproximadamente 48% da produção estadual e 25% da produção nacional da safra de 2015 (CONAB, 2015). Essa importante mesorregião mineira, destaca-se, pela elevada qualidade sensorial dos cafés produzidos, a cafeicultura da região da Serra da Mantiqueira Mineira.

Ressalta-se ainda que, segundo Vargas (2008), os consumidores buscam por produtos com qualidade e procedências garantidas, sendo que essa busca é motivada por incertezas

relacionadas às crises alimentares e alimentos geneticamente modificados. Segundo o autor a referência de origem seria um critério de agregação de valor, diferenciação e de fortalecimento da imagem de produtos e regiões, sendo representada pela denominação de origem, além de se tratar de uma estratégia competitiva desenvolvida com base em identidades territoriais. Reis (2015) afirma que a Indicação Geográfica – IG foi construída por meio da história, na medida em que produtores e comerciantes apresentavam produtos cujas qualidades podiam ser atribuídas à sua origem. Segundo o autor ocorreu a valorização dos produtos através do vínculo de qualidade, reputação ou outras características à região produtora.

A Lei nº 9.279 de 14 de maio de 1996 prevê que a Indicação de Procedência – IP e Denominação de Origem – DO, constituem as duas modalidades de Indicação Geográfica legalmente instituídas. Em seus artigos 177 e 178 são descritos que a IP trata do nome geográfico do país, cidade, região ou localidade de seu território, que tenha tornado conhecido como centro de extração, produção ou fabricação de determinado produto ou de prestação de determinado serviço. Por sua vez, a DO seria considerada como o nome geográfico de país, cidade, região ou localidade de seu território, que designe produto ou serviço cujas qualidades ou características se devam exclusiva ou essencialmente ao meio geográfico, incluídos fatores naturais e humanos (Borém, 2012).

Segundo Valente et al. (2012), no Brasil, o primeiro registro de uma IG se deu no ano de 1999, para a Região dos Vinhos Verdes, Portugal, na modalidade denominação de origem. Já a primeira IG brasileira reconhecida no País foi a Indicação de Procedência do Vale dos Vinhedos, em 2002, para vinhos tintos, brancos e espumantes. Hoje, conforme informações do Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI, 2016), o Brasil possui 40 Indicações de Procedência registradas. Dentre elas estão as indicações geográficas de Indicação de Procedência (IPs) da Região do Cerrado Mineiro, registrada em 14 de abril de 2005, e Região

da Serra da Mantiqueira de Minas Gerais, registrada em 31 de maio de 2011, sendo ambas para o produto café.

A microregião da Serra da Mantiqueira Mineira já possui IG na modalidade de Indicação de Procedência – IP para os cafés de alta qualidade sensorial. Para a obtenção da IG de Denominação de Origem – DO, onde a qualidade está exclusiva ou essencialmente associada ao meio geográfico, incluindo os fatores naturais e humanos (Borém, 2012), torna-se necessário a caracterização detalhada dos recursos do meio físico, entre eles os solos.

Este trabalho encontra-se associado aos projetos de pesquisa intitulados “*Distribuição Espacial e Padrões Ambientais dos Cafés Especiais da Microregião da Serra Da Mantiqueira de Minas Gerais, por meio de Processamentos Geocomputacionais*”, coordenado pela Dra. Helena Maria Ramos Alves (Embrapa-Café) e financiado pelo Consórcio Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento do Café - CNPD/Café, gerenciado pela Embrapa-Café; e “*Protocolo de Identidade, Qualidade e Rastreabilidade para Embasamento da Indicação Geográfica dos Cafés da Mantiqueira*”, coordenado pelo Dr. Flávio Meira Borém (UFLA), financiado pelo Edital CNPq/MAPA/SDA N° 064/2008. Ambos os projetos de pesquisa visavam a busca de dados para a Indicação Geográfica na modalidade DO para os cafés de alta qualidade da Serra da Mantiqueira Mineira, e este trabalho foi responsável pela caracterização e distribuição dos solos associados ao cultivo dos cafés de alta qualidade nesta microregião.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

O objetivo desse trabalho foi caracterizar os solos associados à cultura cafeeira de alta qualidade sensorial, assim como estabelecer o modelo de distribuição desses no município de Carmo de Minas, MG, representativo da Microregião da Serra da Mantiqueira Mineira.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Caracterizar os solos associados ao cultivo de cafés de alta qualidade sensorial, no Município de Carmo de Minas, representativo da Microregião da Serra da Mantiqueira Mineira.
- Estabelecer o modelo de distribuição dos solos da área de estudo, por meio do estabelecimento de relações pedomorfogeológicas, a fim de realizar o mapeamento digital de solos associados à cafeicultura no município de Carmo de Minas, MG;
- Verificar características dos solos associados à produção dos cafés de alta qualidade sensorial nesta microregião mineira, para auxiliar a caracterização dos padrões de identidade e qualidade do café da região, em processo de obtenção da Indicação Geográfica na modalidade de Denominação de Origem.

1.3 ESTRUTURA DA TESE

A tese foi organizada em seis capítulos. O primeiro capítulo apresenta a introdução, os objetivos do estudo e a estrutura da tese.

O segundo capítulo trata de uma revisão da literatura acerca das metodologias utilizadas no desenvolvimento do trabalho de pesquisa

O terceiro capítulo apresenta a caracterização da área de estudo, incluindo os perfis pedológicos avaliados para a compreensão da distribuição das classes de solos no município de Carmo de Minas, MG.

O quarto capítulo aborda o estabelecimento do modelo de distribuição dos solos associados ao cultivo de cafés de alta qualidade sensorial e a sua distribuição no município de Carmo de Minas, MG.

O quinto capítulo refere-se à elaboração do mapeamento digital de solos do município de Carmo de Minas, MG, associados ao cultivo de cafés especiais na Microregião da Serra da Mantiqueira mineira, elaborado com base no modelo estabelecido no quarto capítulo.

O sexto capítulo apresenta as considerações finais, com base nos resultados alcançados e principais conclusões dos capítulos anteriores e indica as recomendações para o aperfeiçoamento do trabalho e para futuros estudos relacionados a temática abordada.

1.4 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 N° 064/2008. Lavras: UFLA, 2012. 128p.
- BRANDÃO, F. S.; CEOLIN, A. C.; GIANEZINI, M.; RUVIARO, C. F.; DIAS, E. A.; BARCELLOS, J. O. J. Orientação para mercado externo do café brasileiro. **Coffee Science**, Lavras, v.7, n.3, p.275-283, 2012.
- COELHO, F. M. G. O café num outro retrato do Brasil rural: o lugar da agricultura familiar. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, Edição especial. v.26, p.9-16, 2005.
- COELHO, F. F.; GIASSON, E. Métodos para mapeamento digital de solos com utilização de sistema de informação geográfica. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.40, n.10, p.2099-2106, 2010.
- CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da Safra Brasileira de Café, Safra 2015 – Quarto Levantamento**. Brasília: CONAB, 2015.

- DEMATTE, J. A. M.; RIZZO, R.; BORTOLETTO, M. A. M. Método geotecnológico integrativo na caracterização de solos desenvolvidos de diferentes materiais de origem. **Bragantia**, Campinas, v.70, n.3, p.638-648, 2011.
- FRANÇA, C. G.; DEL GROSSI, M. E.; MARQUES, V. P. M. A. **O censo agropecuário 2006 e a agricultura familiar no Brasil**. Brasília: MDA, 2009. 96p.
- GIASSON, E.; INDA JUNIOR, A. V.; NASCIMENTO, P. C. Estimativa do benefício econômico potencial de dois levantamentos de solos no Estado do Rio Grande do Sul. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.36, n.2, p.478-486, 2006.
- IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Agropecuário 2006**. Segunda Apuração. Brasil, Grandes Regiões e Unidade da Federação. Rio de Janeiro, 2012. 774p.
- 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>. Acessado em 2 jul.2016.
- REIS, P. R. **Café Arábica do plantio à colheita**/Paulo Rebelles Reis, Rodrigo Luz da Cunha. – Lavras: U.R. EPAMIG SM, 2010. 1 v., 896p.
- REIS, L. M. **Indicação Geográfica no Brasil: determinantes, limites e possibilidades**. 2015. 270f. (Tese de Doutorado em Geografia). Universidade Federal da Bahia, Salvador, BA.
- VARGAS, I.C.S. **Indicações geográficas do Brasil: possibilidades para os produtores inseridos na área de proteção ambiental do Ibirapuitã- RS**. 2008. 100p. (Dissertação de Mestrado em Extensão Rural). Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, RS.

VALENTE, M. E. R.; PEREZ, R.; RAMOS, A. M.; CHAVES, J. B. P. Indicação geográfica de alimentos e bebidas no Brasil e na União Europeia. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.42, n.3, p.551-558, 2012.

2. CAPÍTULO 2 – REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1.1 Cultura do Café

Pode-se dizer que o cafeeiro é um arbusto perene, cuja altura varia entre dois e seis metros e, no estado selvagem, sem nenhum tipo de intervenção pode alcançar 10 metros de altura. O formato da copa é cilíndrico, com um ramo vertical (ortotópico) e ramificações laterais horizontais (ramos plagiotrópicos). As folhas são brilhantes e de coloração verde-escura, com formato elíptico, bordas onduladas, nervuras secundárias de pequena profundidade e domácias glabras. As inflorescências se desenvolvem na axila foliar dando origem a até quatro flores, em uma estrutura denominada de glomérulo. A coloração dos frutos pode ser amarela ou vermelha, com formato oblongo e o pergaminho envolvem duas sementes (Carvalho, 2008).

O sistema radicular dos cafeeiros é composto por uma raiz pivotante e raízes laterais. A raiz pivotante é pouco proeminente ou ausente, em razão do sistema de produção de mudas, onde é realizada a prática de cortar o fundo do recipiente para evitar a formação do “pião torto”. Esta prática causa a perda da dominância apical dessa raiz e induz a emissão das ramificações laterais. Caso seja realizada a repicagem mal feita ou aplicado um excesso de pressão durante o plantio, forçando a raiz a se dobrar, pode ocorrer também o enovelamento ou entortamento da raiz. As raízes laterais são as ramificações da raiz principal e são classificadas em axiais e laterais de superfície. As axiais se desenvolvem logo abaixo do tronco, verticalmente ao solo. As laterais de superfície são aquelas que crescem paralelamente a superfície do solo (Reis, 2010; Carvalho, 2008).

Segundo Carvalho (2008) os cafeeiros pertencem a divisão das Fanerógamas, classe Angiosperma, subclasse Eudicotiledônea, ordem Rubiales, família das Rubiáceas, tribo

Coffeae, subtribo Coffeinae, gêneros *Coffea* e *Psilanthus*. O gênero *Coffea* é composto por dois subgêneros: *Coffea* e *Baracoffea*.

Segundo Soares (2012), o café pertence à família das rubiáceas, onde uma das suas características mais visíveis está relacionada ao fato dos frutos se tornarem vermelhos quando maduros, se assemelhando à rubis.

Por sua vez, segundo Melo e Sousa (2011) o cafeeiro pertence ao Reino: *Plantae*, Divisão: *Magnoliophyta*, Classe: *Magnoliopsida*, Ordem: *Gentianales*, Família: *Rubiaceae* e Gênero: *Coffea*. Segundo os autores a família *Rubiaceae* abrange mais de 10 mil espécies agrupadas em 630 gêneros. Os cafeeiros foram reunidos em dois gêneros: o *Psilanthus* Hook e *Coffea* L. e segundo Carvalho (2008) as flores do gênero *Coffea* apresentam anteras e estigmas proeminentes e estilo longo, por sua vez as espécies pertencentes ao gênero *Psilanthus* têm estilo curto e flores com anteras e estigmas inclusos, não ultrapassando o tubo da corola.

O gênero *Coffea* se divide em quatro seções: *Eucoffea* com 24 espécies, *Marcarocoffea* com 18 espécies, *Argocoffea* com 11 espécies e *Paracoffea* com 13 espécies. A de maior importância econômica é a *Eucoffea*, onde estão as espécies mais cultivadas para o consumo (Melo e Sousa, 2011). Segundo Souza et al. (2004) o gênero *Coffea* possui mais de 90 espécies descritas, onde cerca de 25 são exploradas comercialmente e apenas quatro têm importância significativa no mercado mundial: *Coffea arabica*, conhecido como café arábica; *Coffea canephora*, conhecido como café robusta, e em menor volume *Coffea liberica* e *Coffea dewevrei*, que produzem o café libérica e o café excelsa, respectivamente. Segundo Soares (2012), as duas espécies mais conhecidas são a *Coffea arabica* e a *Coffea canephora*.

A espécie *C. arabica* é originária do sudeste da Etiópia, sudeste do Sudão e norte do Quênia, em altitudes variando entre 1.000 e 1.200 metros. A dispersão se deu por meio do Iêmen e o início da cafeicultura brasileira se deu em 1727, pela introdução de apenas três plantas (Carvalho, 2008; Reis, 2010). Segundo Reis (2010) os primeiros cafezais foram descendentes

de uma única espécie, *Coffea arabica* cv. *Arabica*, também conhecido como *Typica*. Por sua vez, a espécie de *C. canephora* é originária de uma ampla região quente, úmida, com precipitação entre 1.500 e 2.000 mm anuais, que se estende da Guiné ao Congo (Carvalho, 2008).

Tabela 1 - Origem e distribuição das espécies de cafeeiros pertencentes aos gêneros *Coffea* e *Psilanthus* e espécies presentes em coleções de germoplasma no Brasil (Fonte: Carvalho, 2008).

Região	Gênero	
	<i>Coffea</i>	<i>Psilanthus</i>
África Ocidental	<i>Coffea</i> (<i>C. canephora</i> , <i>C. humilis</i> , <i>C. klainii</i> , <i>C. liberica</i> , <i>C. dewevrei</i> , <i>C. stenophylla</i>)	<i>Afrocoffea</i> (<i>P. ebracteolatus</i>) <i>Psilanthus</i>
África Central	<i>Coffea</i> (<i>C. kapakata</i> , <i>C. ibérica</i> , <i>C. dewevrei</i> , <i>C. canephora</i> , <i>C. congensis</i> , <i>C. anthonyi</i>)	<i>Afrocoffea</i> (<i>P. ebracteolatus</i>) <i>Psilanthus</i>
África Oriental	<i>Coffea</i> (<i>C. arabica</i> , <i>C. eugenioides</i> , <i>C. racemosa</i> , <i>C. sessiliflora</i> , <i>C. salvatrix</i>)	<i>Afrocoffea</i>
Madagascar	<i>Baracoffea</i> <i>Coffea</i> (<i>C. richardii</i>) <i>Baracoffea</i>	-
Ásia e Oceania	-	<i>Afrocoffea</i> (<i>P. bengalensis</i> , <i>P. travacorensis</i>)

Segundo a Souza et al. (2004) o café arábica (*Coffea arabica* L.) é a espécie mais importante do gênero *Coffea*. É cultivado no continente americano, na África e na Ásia. Segundo os autores a bebida apresenta qualidade superior, com aroma marcante e sabor adocicado, consumida pura ou em misturas com outras espécies. As variedades de *Coffea arabica* mais difundidas no Brasil são a Catuaí e Mundo Novo, por serem apropriadas para regiões de maior altitude e de clima ameno. Além dessas variedades podemos citar também a Bourbon, Acaíá, Caturra, Catucaí, dentre outras.

Em virtude das plantas das variedades de *C. canephora* apresentarem um alto vigor vegetativo, elas são conhecidas por “Robusta”. As mais importantes do ponto de vista comercial no Brasil são as variedades Conillon, Robusta, Guarini e Apoatã (Souza et al., 2004).

Segundo Carvalho (2008), o teor de cafeína é bastante variável entre as espécies de *Coffea*, sendo as plantas de *C. canephora*. O *C. arabica*, apresenta teor médio de cafeína de 1,2% do peso seco da semente, enquanto o *C. canephora* pode atingir até 4%.

2.1.2 Importância da Cultura do Café

O café tem fundamental importância na economia brasileira, pois além da participação na receita cambial, transfere renda aos outros setores, contribui na formação de capital do setor agrícola e tem expressiva capacidade de absorção de mão-de-obra (Campos, 2005).

Historicamente, o café é estratégico para as exportações brasileiras. Mesmo perdendo importância relativa no quadro geral das receitas cambiais, o produto tem garantido ao Brasil o primeiro lugar como produtor e exportador e o segundo lugar como país consumidor no mercado internacional (Coelho, 2005). Segundo Reis (2010), o volume de café brasileiro produzido é proporcional a soma dos outros seis maiores países produtores, sendo o Brasil responsável por 30% do mercado internacional de café, perdendo como mercado consumidor apenas para os Estados Unidos. O agronegócio do café engloba cerca de 1.900 municípios, 370.000 cafeicultores, 1 milhão de trabalhadores rurais e mais de 8 milhões de brasileiros que dependem da atividade agroindustrial da cadeia do café (Khatounian e Soares-Júnior, 2005).

As espécies de café mais cultivadas no Brasil são *Coffea arabica* L. e *Coffea canephora* Pierre, as quais respondem por cerca de 70% e 30% da produção mundial, respectivamente (Sales Júnior, 2006; IBGE, 2015). Dados do IBGE (2015) e CONAB (2015) informam que o

café arábica representa mais de 74% do total de café produzido no país e Minas Gerais é o maior produtor brasileiro de café arábica, com 68,5% do total esperado em 2015.

Minas Gerais destaca-se no cenário brasileiro como o maior produtor, com uma participação de 51,59% do café produzido no país. Segundo Reis (2010), em Minas Gerais a cafeicultura concentrou-se em três grandes regiões: Zona da Mata, Triângulo Mineiro e Sul de Minas. Dados da CONAB (2015) mostram que a Região Sul de Minas foi responsável pela produção de aproximadamente 48% da produção estadual e 25% da produção nacional da safra de 2015. Inserida nessa importante mesorregião mineira, destaca-se, pela elevada qualidade sensorial dos cafés produzidos, a Região da Serra da Mantiqueira.

Por sua vez a região da Serra da Mantiqueira de Minas Gerais representa a segunda Indicação Geográfica para café no Brasil. Esta indicação foi concedida pelo Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI) em maio de 2011 para a APROCAM (Associação dos Produtores de Café da Mantiqueira) na modalidade Indicação de Procedência (IP). A região delimitada para a utilização da IP compreende 22 municípios sendo eles: Baependi, Brasópolis, Cachoeira de Minas, Cambuquira, Campanha, Carmo de Minas, Caxambu, Conceição das Pedras, Conceição do Rio Verde, Cristina, Dom Viçoso, Heliódora, Jesuânia, Lambari, Natércia, Olímpio Noronha, Paraisópolis, Pedralva, Pouso Alto, Santa Rita do Sapucaí, São Lourenço e Soledade de Minas (Borém, 2012). O processo de obtenção da Denominação de Origem foi solicitado pela Associação dos Produtores de Café de Carmo de Minas - APROCAM ao Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI, 2016).

2.1.3 Cafés Especiais e Qualidade da Bebida

O conceito de café especial está ligado ao prazer que a bebida pode proporcionar por meio de algum atributo específico, que pode estar relacionado ao processo de produção ou beneficiamento. Os principais diferenciais, que tornam um café mais valorizado, são a

qualidade e a complexidade da bebida. Quanto mais rara e exótica for a sensação de prazer e percepção sensorial proporcionada ao consumidor, mais valorizado será o café (Borém, 2012). Segundo Bressani (2007), os cafés especiais geralmente apresentam 100% de grãos arábica, produzidos com 100% de grãos cereja, devem ser considerados cafés sustentáveis, com certificação ambiental e ter nota na análise sensorial acima de 80, em uma classificação sensorial que vai de 0 a 100.

Silva (2010) descreve que a qualidade do café pode ser avaliada por defeitos (presença de grãos verdes, grão quebrados, entre outros) ou por qualidade sensorial, que avalia a amostra de café de acordo com suas características de bebida.

No Brasil, o café é classificado, tradicionalmente, pela prova de xícara, seguindo as recomendações da Instrução Normativa nº 08, de 11 de julho de 2013, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, onde segundo Ribeiro (2013) essa é uma análise subjetiva, pois poderia variar de degustador para degustador. Outro aspecto apontado pelo autor seria o fato dos procedimentos para a sua realização serem menos criteriosos, principalmente quanto à torra do café, fazendo com que esse tipo de avaliação seja empregado exclusivamente para o café commodity. Na prova de xícara a bebida é classificada como estritamente mole, mole, apenas mole, dura, riado, rio e rio zona.

Segundo Ribeiro (2013), para a avaliação de cafés especiais, são adotados os métodos de análises sensoriais descritivas. Nesses métodos os degustadores conferem notas a cada atributo sensorial da bebida, merecendo destaque aos métodos da *Specialty Coffee Association of América* (SCAA) e o da *Brazil Specialty Coffee Association* (BSCA). Segundo o autor, o método SCAA se baseia em uma análise sensorial descritiva quantitativa da bebida, realizada por provadores treinados e qualificados como Juízes Certificados de Cafés Especiais (SCAA *Certified Cupping Judges*). É utilizada a escala não estruturada de 0 a 10, com a avaliação dos

seguintes atributos: fragrância/aroma, acidez, corpo, sabor, sabor residual (finalização), doçura, uniformidade, xícara limpa (ausência de defeitos), equilíbrio (harmonia) e avaliação global.

Os cafés que apresentam nota final igual ou superior a 80 pontos, mediante avaliação sensorial pelo método SCAA ou BSCA, são considerados cafés especiais (Ribeiro, 2013).

2.1.4 Geotecnologias Aplicadas à Atividade Cafeeira

Fatores ambientais como clima, solo, relevo e orientação de vertentes são determinantes na viabilização da exploração econômica de cafezais. Tratam-se de variáveis independentes de investimento e de práticas de manejo. Dessa forma o estudo do agroecossistema cafeeiro torna-se fundamental para o planejamento e consolidação desta atividade, uma vez que as seleções de áreas adequadas ao cultivo exigem menores gastos, maximizam a capacidade produtiva e proporcionam produtos mais saudáveis (Barros, 2006).

Nesse sentido, vários autores têm realizados estudos e levantamentos de fatores ambientais relacionados à cultura do café. Pode se citar o trabalho de Bernardes et al. (2012), que elaboraram uma modelagem ambiental do parque cafeeiro do Estado de Minas Gerais em relação às variáveis morfométricas (altimetria, declividade e orientação de vertentes) e aos tipos de solo.

No município de Umuarama (PR) Trabaquini et al. (2011) utilizaram técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto para caracterização de lavouras cafeeiras relacionando variáveis físicas, como altimetria, declividade e classes de solo com o sistema cafeeiro. Moreira et al. (2010) realizaram o mapeamento das áreas de café cultivadas nos Estados de Minas Gerais e São Paulo utilizando imagens de sensoriamento remoto e técnicas de geoprocessamento.

Já Ramirez e Junior (2009) avaliaram as correlações existentes entre os parâmetros biofísicos de plantios de café e sua resposta espectral nas imagens dos satélites Landsat-TM e

Quickbird. Os autores observaram que a porcentagem de cobertura do terreno pelas plantas de café (%COB) é o parâmetro biofísico que possui maior correlação com a resposta espectral nas bandas do visível dos satélites Quickbird e Landsat/TM e que a quantidade de sombras da plantação influenciou significativamente na resposta espectral da banda do infravermelho próximo (b4) das duas imagens avaliadas.

Barros et al. (2007) utilizaram geotecnologias para caracterizar a cafeicultura em quatro municípios do estado de Minas Gerais, mapeando as áreas de cafeicultura nos municípios de Aguanil, Boa Esperança, Campo Belo e Cristais. Foi realizada a modelagem topográfica a partir dos dados interferométricos (SRTM) e caracterizadas as áreas de cafeicultura, mapeadas em escala municipal, em relação às variáveis altimetria, declividade e orientação de vertentes. Por sua vez, Trabaquini et al. (2010) relacionaram o agrossistema cafeeiro no município de Londrina (PR), com três variáveis físicas do ambiente: altimetria, declividade e classes de solo, utilizando imagens do sensor *Thematic Mapper* (TM) a bordo do satélite Landsat-5 e técnicas de geoprocessamento.

No trabalho de Machado et al. (2010) foi realizado o mapeamento de áreas cafeeiras da Zona da Mata de Minas Gerais por meio do sensoriamento remoto, usando imagens de satélite Landsat TM e fotografias aéreas digitais não convencionais. Apesar das imagens Landsat TM não possibilitarem a delimitação e quantificação das lavouras cafeeiras da região, podem servir como referência de localização, com maior potencial de aplicação em regiões de relevo mais suave e com uma cafeicultura distribuída em lavouras mais extensas e homogêneas. Já Vieira et al. (2007) utilizaram geotecnologias para avaliar as mudanças temporais e espaciais de áreas ocupadas pela cafeicultura em quatro regiões de Minas Gerais, mediante técnicas de sensoriamento remoto e utilização de sistema de informações geográficas para avaliação espaço-temporal da dinâmica de áreas de café de Minas Gerais, propiciando uma melhor compreensão dos ambientes cafeeiros e fornecendo informação que pode subsidiar o

planejamento agrícola regional dos municípios mineiros Machado, São Sebastião do Paraíso, Três Pontas e Patrocínio.

No estudo de Souza et al. (2012) foi utilizado um Sistemas de Informação Geográfica (SIG) para espacializar as variáveis, área plantada e produção de café, dos 853 municípios mineiros, no período de 1990 a 2008 e analisaram a evolução temporal da dinâmica espacial, identificando os padrões espaciais dessa cultura no Estado e sua dinâmica no decorrer dos anos.

2.1.5 Mapeamento Digital de Solos - MDS

Em virtude da grande extensão territorial do Brasil, a carência de informações básicas do ambiente e o alto custo dos levantamentos tradicionais dos recursos naturais, tais como os solos, torna-se necessário a utilização de tecnologias modernas para a execução dos levantamentos de solos específicos e em escalas de publicação adequadas para cada atividade a ser desenvolvida. Segundo Coelho e Giasson (2010), além de possibilitarem a extrapolação da informação das classes de solos para áreas não mapeadas, as utilizações de métodos de mapeamento supervisionados possibilitam a produção de mapas com baixo custo-benefício, em razão do alto custo para elaboração de mapas em escalas maiores pelo método convencional. Da mesma forma, Figueiredo et al. (2008) destacaram que os levantamentos pedológicos utilizando métodos tradicionais são exequíveis apenas em pequenas áreas, pois envolvem um alto custo, a grande demanda de tempo e trabalho e a necessidade de recursos humanos especializados. Segundo Höfig et al. (2014), o fato do mapeamento digital de solos (MDS) utilizar informações digitais de relevo, aumenta a viabilidade da execução dos levantamentos de solos. Basher (1997), indica que a evolução da pedologia se dará com a utilização de novas tecnologias para aquisição de dados e informações sobre os solos e para elaboração de mapas pedológicos, situação observada atualmente onde diversos estudos são desenvolvidos utilizando sistema de informação geográfica e sensoriamento remoto.

Segundo Lagacherie e McBratney (2007) o Mapeamento Digital dos Solos (MDS) pode ser definido como a criação de sistemas de informações espaciais de solo, criado a partir de modelos numéricos para a inferência das variações espaciais e temporais dos tipos e propriedades de solos, a partir de observações e do conhecimento dos solos e de variáveis ambientais correlacionadas.

Segundo McBratney et al. (2003), o modelo de formação dos solos desenvolvido por Jenny (1941), é uma função (S) do clima (cl); organismos (o); relevo (r); material de origem (p) e tempo (t), conforme equação 1 e pode ser considerado como um modelo mecânico.

$$S = f (cl,o,r,p,t) \quad \text{Eq. 1}$$

McBratney et al. (2003) propuseram uma adaptação deste modelo para possibilitar descrições quantitativas empíricas da relação entre o solo e outros fatores espacialmente referenciados, de forma a possibilitar a sua utilização na predição da ocorrência espacial dos solos. Com isso os autores incluíram o próprio solo como um fator, uma vez que o solo pode ser previsto a partir de suas propriedades, ou as propriedades podem ser preditas a partir das classes de solos ou outras propriedades, e o fator espacial, considerando que o solo pode ser predito a partir de informações ambientais da sua vizinhança. O modelo proposto foi denominado de “SCORPAN” e é apresentado na equação 2.

$$Sc = f (s,c,o,r,p,a,n) \quad \text{Eq.2}$$

Onde a classe do solo (Sc) é uma função do solo (s); clima (c); organismos (o); relevo (r); material de origem (p); tempo (a) e posição espacial (n).

De acordo com Dalmolin e Ten Caten (2015), a publicação de McBratney et al. (2003) estabeleceu um novo paradigma ao propor para o MDS o modelo SCORPAN, elaborado com base no modelo determinístico empírico dos fatores de formação do solo proposto por Jenny (CLORPT), onde os solos (classes e atributos) podem ser preditos quantitativamente como funções espaciais, utilizando as novas tecnologias existentes.

O mapeamento digital de solos estabelece relações estatísticas ou matemáticas entre as covariáveis ambientais e as classes de solos para a predição da distribuição espacial das classes ou propriedades do solo. Com isso, o mapeamento digital de solos possibilita reproduzir mapas elaborados por levantamentos tradicionais ou extrapolar informações regionais de solos para áreas onde não existam levantamentos disponíveis (Giasson et al., 2013; Giasson et al., 2015).

Diversos trabalhos têm comprovado a eficiência no mapeamento de solos de maneira automatizada e com auxílio de avaliações em campo e técnicas de modelagem pedomorfogeológica (Ippoliti et al., 2003; Demattê et al., 2004; Sirtoli et al., 2008; Zhu et al., 2010; Lacerda e Barbosa, 2012, Bazaglia Filho et al., 2013; Arruda et al., 2013, Calderano Filho et al., 2013, Vasques et al., 2014; Höfig et al, 2014, entre outros). Segundo Machado (2002) na área de mapeamento e classificação de solos, o papel dos mapas pedológicos analógicos está sendo rapidamente substituído pela tecnologia computacional para armazenamento de dados pontuais e espaciais.

Um outro exemplo da utilização de tecnologias é a análise digital do terreno, que permite o delineamento de unidades de solo-paisagem de maneira rápida e econômica, podendo ser aplicada na quantificação e classificação do relevo, proporcionando ainda a definição automática ou semi-automática das unidades morfológicas da paisagem (Moore et al., 1993; Irvin et al., 1997). Estes modelos podem ser integrados a outros tipos de dados como geologia e cobertura das terras, para obtenção de relações geopedológicas e geomorfopelológicas associadas à estratificação das classes de solos.

Sousa Junior e Demattê (2008) caracterizaram unidades de mapeamento de solos das regiões de Ibaté e São Carlos, SP, desenvolvidos de materiais basálticos e areníticos, em função da declividade e altitudes, utilizando modelos digitais de elevação, aumentando a acurácia do mapeamento de solos, diminuindo custos e tempo, quando comparado aos métodos tradicionais.

Por sua vez, Ippoliti et al. (2005), afirmam que a análise digital de terreno além de ser uma ferramenta capaz de avaliar o relevo, por meio do modelo digital de terreno (MDT), é uma alternativa rápida e econômica, o que permite a definição semiautomática das unidades morfológicas da paisagem. Enfatizam ainda que os principais atributos topográficos usados são: a elevação, a declividade, a orientação e a curvatura da superfície terrestre. Segundo os autores os métodos que organizam a superfície de acordo com um modelo morfológico apresentam potencial para melhorar a previsão de ocorrência dos tipos de solos, considerando o fato da posição da paisagem influenciar os processos de formação dos solos e seus atributos. Com isso, os autores propuseram um procedimento para a extração de informação morfológica para fins de mapeamento pedológico utilizando dados digitais de elevação e Sistema de Informação Geográfica (SIG). Foi feita a análise quantitativa da superfície de uma microbacia localizada no Córrego Ipiúna, município de Viçosa (MG), visando à identificação e classificação das geoformas da paisagem e a sua associação com as classes de solos.

Segundo Demattê et al. (2011), inúmeros trabalhos são realizados na caracterização de solos por meio de associações com feições do relevo e rede de drenagem e com o surgimento do sensoriamento remoto espectral são observados trabalhos que utilizam a energia refletida para a caracterização dos solos. Os autores realizaram a caracterização dos solos da região de Piracicaba, estado de São Paulo, utilizando diferentes metodologias: método tradicional; associações com aspectos da paisagem, obtidos por intermédio da utilização de fotografias aéreas e por imagens de satélite; além das relações com as classes de declividade e de altitude, derivados de modelos digitais de terreno. Concluíram que os métodos de forma isolada não possibilitam a distinção de diferentes classes de solo, mas que a interpretação associando todas as informações possibilita observar padrões de distribuição de solos.

Silva Júnior et al. (2012), também utilizaram a classificação numérica e o modelo digital do terreno para identificar padrões condicionados pelas formas do relevo, de forma a

caracterizar a variabilidade espacial de atributos físicos e químicos de Latossolos e Argissolos no município de Catanduva, Estado de São Paulo.

Pode-se citar, também, o trabalho de Pinheiro et al. (2012) que avaliaram modelos digitais de terreno (MDT) para derivar variáveis morfométricas utilizadas em mapeamento digital de solos na Bacia Hidrográfica do Rio Guapi-Macacu, onde concluíram que há maior qualidade em modelos por interpolação de dados primários, em comparação aos obtidos por sensores remotos.

A Embrapa Solos coordena a Rede Brasileira de Mapeamento Digital de Solos (Rede MDS), a qual reúne pesquisadores nessa área do conhecimento (Nolasco-Carvalho et al., 2013; Souza, 2015). Diversos estudos têm sido realizados na área de mapeamento digital de solos, com a utilização de árvores de decisão (Crivelenti et al., 2009; Giasson et al., 2011, Giasson et al., 2013; Teske et al., 2014; Höfig et al., 2014; Giasson et al., 2015), redes neurais (Chagas et al., 2010; Carvalho Junior et al., 2011; Calderano Filho et al., 2013), regressões logísticas múltiplas (Giasson et al. 2006; Figueiredo et al., 2008; Coelho e Giasson, 2010; Ten Caten et al., 2011), lógica *fuzzy* (Nolasco-Carvalho et al., 2009; Lima, 2013), krigagen (Kraemer, 2007; Valladares et al., 2009; Lima et al., 2014), geotecnologias (Demattê et al., 2004; Demattê et al., 2011; Demattê et al., 2012; Lacerda e Barbosa, 2012).

2.1.5.1 Redes Neurais Artificiais - RNA

Mendonça-Santos e Santos (2003) consideram que as redes neurais são modelos matemáticos que operam de forma semelhante ao cérebro humano. São constituídas de “neurons” conectados por canais de comunicação denominados de “connectors”. Segundo os autores os conectores possuem os dados numéricos que podem ser arrançados ou organizados em camadas. Não existe estrutura definida e os dados podem receber pesos diferentes, o que demonstra que as redes são ajustadas ou “treinadas” para responder a uma determinada demanda.

A técnica de RNA, de acordo com Paloschi et al. (2015) pode ser resumida em duas partes: a arquitetura e o algoritmo de aprendizagem e o treinamento, onde o treinamento parte do princípio que o conhecimento sobre o problema está guardado dentro dos exemplos disponíveis e expostos à rede e o algoritmo de aprendizagem cria uma generalização dos dados e memoriza o conhecimento.

Calderano Filho et al. (2013) utilizou redes neurais artificiais para a predição de classes de solos, a partir de dados de sensores remotos orbitais, atributos do terreno derivados de um modelo digital de elevação e informação da geologia local, em paisagens rurais montanhosas da Serra do Mar. Segundo os autores, com a utilização das redes neurais artificiais foi possível estabelecer com maior precisão as relações solos-paisagem da área estudada, possibilitando a obtenção de mapas pedológicos com muita coerência e semelhança aos mapas de solos convencional, apresentando porém, mais detalhes espaciais.

Já Carvalho Junior et al (2011) avaliaram a relação entre os componentes ambientais de áreas de vertentes do Rio de Janeiro utilizando redes neurais artificiais e algoritmo de máxima verossimilhança. Os mapeamentos pedológicos realizados foram comparados aos mapas de solos existentes e os autores observaram uma maior precisão no mapeamento realizado com a utilização de redes neurais artificiais.

Também por meio do uso de redes neurais artificiais (RNA), Arruda et al. (2013) geraram um mapa digital de solos (MDS) em uma área localizada no município de Barra Bonita, SP, sendo possível observar uma boa concordância entre as unidades de mapeamento delineadas pelo MDS e pelo método convencional, onde a comparação entre os pontos de referência e o mapa de solos digital evidenciou exatidão de 72%.

2.1.5.2 Árvores de Decisão - AD

Segundo Mendonça-Santos e Santos (2003), as árvores de decisão/classificação podem ser compreendidas como um tipo de chave taxonômica múltipla automatizada, onde a resposta às questões relacionadas aos atributos observados possibilita a classificação. Os autores afirmam que

a construção de uma estrutura hierárquica de regras chamada de “*decision/classification trees*”, possibilita o estudo de interações complexas entre atributos, a identificação de padrões e o reconhecimento em análises futuras.

Para Giasson et al. (2011), o mapeamento preditivo de solos, utilizando a análise de árvores de decisão, a qual divide os conjuntos de dados em blocos a partir de uma árvore, pode aumentar a precisão e eficiência do mapeamento, pela extração de relações entre os tipos de solo e as variáveis ambientais, aplicando essas relações para prever classes de solo para áreas não mapeadas.

As árvores de decisão podem ser utilizadas para o estabelecimento das relações entre as variáveis ambientais e a distribuição espacial dos solos, possibilitando a predição das unidades de mapeamento, com base nas variáveis hidrológicas e de terreno. Nas análises de árvores de decisão, as observações são inseridas no nó raiz, onde é aplicado um teste para separar essas observações em classes, determinando os grupos mais puros. Em seguida a observação passa para o próximo nó onde novamente ocorre o processo de teste até que se atinja o nó terminal. Todas as observações que atingem o mesmo nó terminal são classificadas da mesma forma, assim como vários nós terminais podem definir a mesma classificação. Dessa forma observa-se que uma observação pode seguir vários caminhos para se tornar parte de uma classe em particular (Giasson et al., 2011).

Segundo Giasson et al. (2015), uma questão crítica no mapeamento digital de solos é a seleção do melhor método de amostragem dos dados para treinamento do modelo preditivo. Por este motivo os autores avaliaram dois esquemas de amostragem, utilizando a localização em relação aos limites de mapas de solo como critério. No primeiro método foram selecionados pontos localizados fora das áreas marginais aos limites das unidades de mapeamentos e no segundo os pontos estavam situados dentro das áreas marginais aos limites das unidades de mapeamento. Com a utilização de árvores de decisão para modelagem das classes utilizando os dois métodos, os autores observaram que ambos foram eficazes para reduzir o tamanho do conjunto de dados, mas não trouxeram vantagens para o mapeamento digital de classes de solos.

Höfig et al. (2014) testaram metodologias de mapeamento digital de solos (MDS) e avaliaram a possibilidade de extrapolação de mapas entre áreas fisiograficamente semelhantes. Os autores avaliaram o uso combinado de dois modelos de árvore de decisão (AD) e observaram que a extrapolação dos mapas gera resultados satisfatórios, com acurácia maior do que 75% e que o uso conjunto de dois modelos de árvores de decisão, divididos por paisagens homogêneas, melhora a concordância entre o mapa digital e o convencional de solos.

Cinco algoritmos de árvores de decisão e três modelos digitais de elevação (MDE) foram testados por Giasson et al. (2013) para o mapeamento digital de solos a nível semidetalhado na Bacia do Lageado Grande, RS, Brasil. Os resultados mostraram que o uso do MDE Aster GDEM e árvore de decisão com algoritmo J48, Simple Tree e BF Tree foram os que produziram modelos capazes de produzir mapas de solos com maior similaridade ao mapa de referência.

Já o estudo de Teske et al. (2014), comparando os efeitos de diferentes modelos digitais de elevação (MDEs) na predição de ocorrência de unidades de mapeamento de solos (UM) por meio de árvores de decisão, correlacionaram 12 atributos do terreno derivados de diferentes MDEs, com resoluções de 30 e 90 m. Os autores concluíram que os modelos preditivos mais acurados e com maior número de UM estimadas foram os gerados a partir dos MDEs com resolução espacial de 90 m, sendo os mais indicados em áreas onde predominarem relevos planos e suave ondulados.

A eficácia do uso de árvores de decisão na predição de ocorrência de unidades de mapeamento de solos em áreas de encostas basálticas no Sul do Brasil foi avaliada por Giasson et al. (2011). Os autores utilizaram mapas de solos com a legenda original e a legenda simplificada para testar combinações de tipos de algoritmos de árvore de decisão e quantidade de elementos nos nós terminais. Além da eficácia da utilização de árvores de decisão, foi observado que o menor número de elementos no nó terminal produziu acurácias mais altas e a simplificação da legenda (agregação) reduziu a precisão das predições.

2.1.5.3 Regressões Logísticas Múltiplas - RLM

Segundo Figueiredo et al. (2008), tem crescido o interesse acerca do emprego de regressões nominais logísticas como método preditivo da distribuição de solos, uma vez que essas regressões estabelecem relações matemáticas entre variáveis dependentes discretas (classes de solos) e variáveis independentes contínuas ou discretas (atributos de terreno). Os autores avaliaram o potencial das regressões nominais logísticas em prever a ocorrência e distribuição de classes de solos dos municípios de Ibirubá e Quinze de Novembro (RS) e concluíram que as mesmas apresentaram potencial preditivo para serem usadas como ferramentas no mapeamento supervisionado de solos, uma vez que serviram para calcular a probabilidade de ocorrência de cada classe de solo, onde o mapa final foi produzido atribuindo-se a cada célula a denominação da classe de solo com maior probabilidade de ocorrência.

Uma vez que as unidades de mapeamento dos solos são variáveis categóricas, a regressão logística múltipla pode ser adequada para a predição da ocorrência de classes de solos a partir de variáveis da paisagem, com a vantagem de permitir associar a predição com probabilidades de ocorrência das unidades de mapeamento de solos (Giasson et al., 2006).

Coelho e Giasson (2010) utilizaram sistemas de informações geográficas e de variáveis geomorfométricas para produção de mapas pedológicos com legenda original e simplificada. Os autores compararam métodos de classificação em estágio único (Regressões Logísticas Múltiplas Multinomiais e Bayes) e em estágios múltiplos (Classification and Regression Trees - CART, J48 e Logistic Model Trees - LMT) e observaram que os métodos de classificação em estágio múltiplo apresentaram melhoras nas acurácias globais e nos índices Kappa.

Regressões Logísticas Múltiplas como modelos preditores dos solos foram utilizadas por Ten Caten et al. (2011), que observaram que as Regressões Logísticas Múltiplas possibilitam gerar mapas de probabilidade de ocorrência de classes de solo na paisagem e que a técnica de modelos lineares generalizados se mostrou sensível à proporção relativa das amostras utilizadas

para gerar os modelos, indicando que aplicações sistemáticas de RLM ao MDS deverão considerar o agrupamento (associação ou inclusão) das classes de solo pouco representativas, de menor ocorrência.

Giasson et al. (2006), também utilizaram regressões logísticas múltiplas na predição de ocorrência de classes de solos a partir de áreas de referência, com base no mapa disponível de solos e parâmetros do terreno derivados do modelo numérico do terreno. Os autores observaram que os parâmetros do terreno como elevação, distância dos rios, acúmulo de fluxo e índice de umidade topográfica foram as variáveis que melhor explicaram a distribuição das classes de solos e que a simplificação da legenda aumentou a precisão do método.

2.1.5.4 Regressão Linear Múltipla - RLM

A regressão linear múltipla considera que existe uma relação linear entre uma variável dependente (variável resposta) e uma ou mais variáveis independentes (variáveis explicatórias, regressoras ou preditoras). A análise de regressão possibilita explorar as formas dessas relações, proporcionando sua utilização em mapeamentos digitais de solos, uma vez que possibilita inferir relações causais entre as variáveis dependentes e independentes (Berk, 2004).

Pinheiro (2015) avaliou a capacidade das Regressões Lineares Múltiplas (RLM), Árvores de Regressão (AR) na predição de componentes da fração mineral na superfície dos solos, da bacia hidrográfica do rio Guapi-Macacu, RJ. Os resultados mostraram que os modelos apresentaram similaridade de desempenho. Observou-se, também, que os produtos gerados possibilitam o conhecimento das incertezas associadas a predição e facilitam a reprodutibilidade dos procedimentos, além de proporcionarem informações para decisões quanto ao uso e manejo dos solos.

2.1.5.5 Lógica *Fuzzy*

Segundo Mendonça-Santos e Santos (2003) a lógica e os conjuntos nebulosos (*fuzzy*) trata-se de uma técnica utilizada em pedometria para lidar de uma maneira quantitativa com a imprecisão, a qual, introduzida por Zadeh, (1965), trabalha com conceitos não exatos, onde as classes são indefinidas e com limites indeterminados (conceitos não exatos).

Zadeh (1965) relatam que os conjuntos *fuzzy* podem ser definidos como uma classe de objetos com graus de associação contínua. Tal conjunto é caracterizado pela função de pertinência (característica), que atribui a cada objeto uma nota de associação que varia entre zero e um.

Para Mendonça-Santos e Santos (2003), essa técnica representa uma evolução da lógica Booleana (verdadeiro ou falso), onde um indivíduo pertence ou não pertence a uma determinada classe, para um conceito mais amplo onde um indivíduo pode pertencer totalmente, parcialmente ou não pertencer, onde o grau de pertinência pode variar entre 0 e 1. Segundo os autores esses conceitos e técnicas têm sido aplicados na ciência dos solos e em várias outras áreas do conhecimento.

Nolasco-Carvalho et al. (2009) elaboraram o mapa digital de solos de uma área na região de Mucugê, BA, utilizando dados da vegetação e da geologia, integrados em ambiente SIG (Sistema de Informações Geográficas) sob inferência *fuzzy*. Os autores observaram que a modelagem por lógica *fuzzy*, utilizando dados preexistentes relacionados aos fatores de formação dos solos e o conhecimento dos especialistas, possibilitou a predição de unidades de mapeamentos e mapas digitais com refinamento da escala. Além disso, os autores observaram, também, uma menor generalização das classes de solo, a operacionalização e redução das etapas dos trabalhos de campo e a possibilidade de maior agilidade no processo de atualização futura de mapas, em razão da facilidade de integração de informações.

2.1.5.6 Pesos de evidência

A técnica de modelagem espacial pesos de evidência (WofE - *Weights of Evidence*) é utilizada para gerar as melhores estimativas de valores para as associações espaciais entre os fatores condicionantes ou evidências e determinado evento, onde esses valores representam a probabilidade de ocorrer um evento quando da presença de um condicionante (Bonham-Carter, 1994).

Salazar (2015) ressalta que o método dos pesos de evidência se baseia no teorema de probabilidade condicional de Bayes, onde a probabilidade de ocorrer um evento A, está condicionada ou dependente da ocorrência de outro evento B.

Segundo Perrota (1996), no método “Bayesiano”, a combinação de um conjunto de dados (ou mapas) é feita utilizando-se uma estrutura de probabilidades, as quais são medidas mediante proporções entre as áreas dos mapas de evidência e o das ocorrências.

Correia et al. (2013) aplicaram a técnica de pesos de evidência para o mapeamento de áreas com suscetibilidade natural a deslizamentos na região do baixo vale do Itajaí, SC. Os autores concluíram que os mapas finais coincidem com os pontos de treinamento, atestando os bons resultados da classificação, onde o modelo alcançou 74,56% de acurácia.

Já Galvão e Meneses (2005) aplicaram a técnica estatística de inferência espacial de pesos de evidência integrada à Sistema de Informação Geográfica para a identificação de um subconjunto de variáveis geoambientais preditivas do processo de elaboração de mapas potenciais para locação de estações fluviométricas na bacia do rio São Francisco. Segundo os autores, o processo usado na modelagem com pesos de evidência constitui, em sua essência, uma versão quantitativa do método de sobreposição e inspeção de diversos mapas temáticos, com vistas à identificação de áreas onde um determinado fenômeno ou evento possa estar presente.

Perrota (1996) utilizou o método de modelagem de indexação de *overlays* e pesos de evidência para estudar o potencial aurífero de uma área no distrito mineiro do Vale do Rio Ribeira de Iguape. O autor identificou coincidência entre os dois tipos de modelagem utilizados, onde os modelos mostraram áreas com potencial aurífero ainda não prospectadas, muitas vezes com índices de favorabilidade mais altos em relação às áreas com depósitos já avaliados, estabelecendo-se assim prioridades para explorações futuras.

2.1.5.7 Krigagem

Segundo Carvalho e Assad (2005) os métodos de krigagem são considerados metodologias geoestatísticas de interpolação, uma vez que utilizam a dependência espacial entre amostras vizinhas, expressa no semivariograma, para estimar valores em qualquer posição dentro do campo, sem tendência e com variância mínima. Devido a essas características os autores consideram que a krigagem é um excelente estimador e apontam como principal diferencial dos interpoladores geoestatísticos a realização da correlação espacial entre observações vizinhas para prever valores em locais não-amostrados. Para Landim (2003) a krigagem é um processo de estimação de valores de variáveis distribuídas no espaço a partir de valores adjacentes, considerados como espacialmente dependentes pelo semivariograma. Já Angelico (2006) considera que a krigagem faz uma descrição mais acurada da estrutura espacial dos dados e produz valiosa informação sobre a distribuição da estimativa do erro.

A distribuição espacial de dados físico-químicos a fim de analisar o comportamento desses parâmetros nos ambientes de manguezal, apicum e encosta da parte norte do município de Madre de Deus, localizado na Bahia, foi avaliada por Assumpção et al. (2013) por meio da krigagem. Os resultados comprovaram a eficiência da krigagem na espacialização de dados geoquímicos, facilitando a obtenção de informações por intermédio do uso de dados georreferenciados.

A comparação da eficiência da interpolação de dados por meio da krigagem ordinária (Kri) e pelo inverso do quadrado da distância (IQD) na estimativa de atributos químicos do solo, no município de Alegre (ES), em Argissolo Vermelho-Amarelo foi realizada por Souza et al. (2010). A análise geoestatística mostrou que todos os atributos químicos do solo apresentaram dependência espacial, os métodos de interpolação foram eficientes na inferência de dados para os atributos químicos analisados e não houve diferenças significativas entre os métodos de interpolação utilizados.

2.2 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANGELICO, J. C. Desempenho da co-krigagem na determinação da variabilidade de atributos do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.30, n.6, p.931-936, 2006.

ARRUDA, G. P.; DEMATTÊ, J. A. M.; CHAGAS, C. S. Mapeamento digital de solos por redes neurais artificiais com base na relação solo-paisagem. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.37, p.327-338, 2013.

ASSUMPÇÃO, H. C. P.; UCHA, J. M.; HADLICH, G. M. Uso da Krigagem para variáveis ambientais no município de Madre de Deus – BA. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO – SBSR, 16, 2013, Foz do Iguaçu, **Anais... INPE**, Foz do Iguaçu, 2013, p.6636-6642.

BARROS, M.A. **Geotecnologias como contribuição ao estudo do Agroecossistema cafeeiro de Minas Gerais em nível municipal**. 2006. 157p. (Dissertação de Mestrado em Sensoriamento Remoto). Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, SP.

BARROS, M. A.; MOREIRA, M. A.; RUDORFF, B. F. T. Dados interferométricos para modelagem topográfica e caracterização ambiental do café em escala municipal. **Sociedade & Natureza**, v.19, n.2, p.33-50, 2007.

- BASHER, L. R. **Is pedology dead and buried?** *Australian Journal of Soil Resource*, n.35, p.979-994, 1997.
- BAZAGLIA FILHO, O.; RIZZO, R.; LEPSCH, I. F.; PRADO, H.; GOMES, F. H.; MAZZA, J. A.; DEMATTÊ, J. A. M. Comparison between detailed digital and conventional soil maps of an area with complex geology. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, p.1136-1148, 2013.
- BERNARDES, T.; MOREIRA, M. A.; ADAMI, M.; RUDORFF, B. F. T. Diagnóstico físico-ambiental da cafeicultura no estado de Minas Gerais – Brasil. **Coffee Science**, Lavras, v.7, n.2, p. 139-151, 2012.
- BERK, A. R. **Regression Analysis: A constructive critique**. London: Sage Publications, 2004. 259p.
- BONHAM-CARTER, G.F. **Geographic information systems for geoscientists: modeling with GIS**. Ottawa: Pergamon, 1994. 398p.
- 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 N° 064/2008. Lavras: UFLA, 2012. 128p.
- BRESSANI, E. **Guia do Barista. Da origem do café ao expresso perfeito**. Local: Café Editora, 2007. 210p.
- CALDERANO FILHO, B.; POLIVANOV, H.; CHAGAS, C. S.; GUERRA, A. J. T.; JUNIOR, W. C. Predição de Classes de Solos de Paisagens Montanhosas da Serra do Mar, com o Uso de Redes Neurais Artificiais (RNAs). In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO - SBSR, 16, 2013, Foz do Iguaçu, **Anais...** INPE, Foz do Iguaçu, 2013. p.3916-3923.

- CAMPOS, D. S. **Análise da variabilidade espacial da produtividade da cafeicultura de montanha com uso de técnicas de sensoriamento remoto**. 2005. 50p. (Dissertação de Mestrado). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.
- CARVALHO JUNIOR, W.; CHAGAS, C. S.; FERNANDES FILHO, E. I.; VIEIRA, C. A. O.; SCHAEFER, C. E. G.; BHERING, S. B.; FRANCELINO, M. R. Digital soilscape mapping of tropical hillslope areas by neural networks. **Scientia Agricola**, v.68, n.6, p.691-696, 2011.
- CARVALHO, J. R. P; ASSAD, E. D. Análise espacial da precipitação pluviométrica no Estado de São Paulo: comparação de métodos de interpolação. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.25, n.2, p.377-384, 2005.
- CARVALHO, C. H. S. **Cultivares de café: origem, características e recomendações**. Brasília: Embrapa Café, 2008. 334 p.
- CHAGAS, C.S.; FERNANDES FILHO, E.I.; VIEIRA, C.A.O.; SCHAEFER, C.E.G.R.; CARVALHO JÚNIOR, W. Atributos topográficos e dados do Landsat7 no mapeamento digital de solos com uso de redes neurais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.45, n.5, p.497-507, 2010.
- COELHO, F. M. G. O café num outro retrato do Brasil rural: o lugar da agricultura familiar. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, Edição especial. v.26, p.9-16, 2005.
- COELHO, F. F.; GIASSON, E. Métodos para mapeamento digital de solos com utilização de sistema de informação geográfica. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.40, n.10, p.2099-2106, 2010.
- CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da Safra Brasileira de Café, Safra 2015** – Quarto Levantamento. Brasília: CONAB, 2015.

- CORREIA, M. R. D.; NOGUEIRA, R. E.; SOUZA FILHO, C. R.; POZZOBON, M. Aplicação da técnica Pesos de Evidência (*Weights of Evidence - WofE*) para o mapeamento de áreas suscetíveis a deslizamentos na região do baixo vale do Itajaí–SC. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO – SBSR, 16, Foz do Iguaçu, **Anais...** INPE, Foz do Iguaçu, 2013, p.6010-6017.
- CRIVELENTI, R. C.; COELHO, R. M.; ADAMI, S. F.; OLIVEIRA, S. R. M. O. Mineração de dados para inferência de relações solo-paisagem em mapeamentos digitais de solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.44, n.12, p.1707-1715, 2009.
- 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.
- DEMATTÊ, J. A. M.; GENÚ, A. M.; FIORIO, P. R.; ORTIZ, J. L.; MAZZA, J. A.; LEONARDO, H. C. L. Comparação entre mapas de solos obtidos por sensoriamento remoto espectral e pelo método convencional. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.39, n.12, p.1219-1229, 2004.
- DEMATTÊ, J. A. M.; RIZZO, R.; BORTOLETTO, M. A. M. Método geotecnológico integrativo na caracterização de solos desenvolvidos de diferentes materiais de origem. **Bragantia**, Campinas, v.70, n.3, p.638-648, 2011.
- DEMATTÊ, J. A. M.; VASQUES, G. M.; CORRÊA, E. A.; ARRUDA, G. P. Fotopedologia, espectroscopia e sistema de informação geográfica na caracterização de solos desenvolvidos do Grupo Barreiras no Amapá. **Bragantia**, Campinas, v.71, n.3, p.438-446, 2012.
- FIGUEIREDO, S. R.; GIASSON, E.; TORNQUIST, C. G.; NASCIMENTO, P. C. Uso de regressões logísticas múltiplas para mapeamento digital de solos no Planalto Médio do RS. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v.32, n.esp., p.2779-2785, 2008.

- GALVÃO, W. S.; MENESES, P. R. Identificação de variáveis geoambientais preditivas ao processo de locação de estações fluviométricas com o apoio do Modelo de Pesos de Evidência. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO – SBSR, 12, Goiânia, **Anais...** INPE, Goiânia, 2005, p.2169-2176.
- GIASSON, E.; INDA JUNIOR, A. V.; NASCIMENTO, P. C. Estimativa do benefício econômico potencial de dois levantamentos de solos no Estado do Rio Grande do Sul. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.36, n.2, p.478-486, 2006.
- GIASSON, E.; SARMENTO, E. C.; WEBER, E.; FLORES, C. A.; HASENACK, H. Decision trees for digital soil mapping on subtropical basaltic steepplands. **Scientia Agricola**. v.68, n.2, p.167-174, 2011.
- GIASSON, E.; HARTEMINK, A. E.; TORNQUIST, C. G.; TESKE, R.; BAGATINI, T. Avaliação de cinco algoritmos de árvores de decisão e três tipos de modelos digitais de elevação para mapeamento digital de solos a nível semidetalhado na Bacia do Lageado Grande, RS, Brasil. **Ciência Rural**, v.43, p.61-67, 2013.
- GIASSON, E.; TEN CATEN, A.; BAGATINI, T.; BONFATTI, B. Instance selection in digital soil mapping: a study case in Rio Grande do Sul, Brazil. **Ciência Rural**, v.45, n.9, p.1592-1598, 2015.
- 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.
- IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Indicadores IBGE. **Estatística da Produção Agrícola**. Abril de 2015.
- 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>. Acessado em 2 jul.2016.

IPPOLITI, G.; COSTA, L. M.; GAGGERO, M. R.; SCHAEFER, C. E.; FILHO, E. I. F. Uso de Geoprocessamento para levantamento preliminar de solos em uma microbacia na Zona da MATA (MG). In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 11, 2003, Belo Horizonte. **Anais...** São José dos Campos: INPE. 2003, p.153-160. CD ROM.

IPPOLITI, G. A. R.; COSTA, L. M.; SCHAEFER, C. E. G. R.; FERNANDES FILHO, E. I.; GAGGERO, M. R. Análise digital do terreno: ferramenta na identificação de pedoformas em microbacia na região de “Mar de Morros” (MG). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.29, p.269-276, 2005.

IRVIN, B. J.; VENTURA, S. J.; SLATER, B. K. Fuzzy and isodata classification of landform elements from digital terrain data in Pleasant Valley, Wisconsin. **Geoderma**, Amsterdam, v.77, n.2/4, p.137-154, 1997.

JENNY, H. **Factors of soil formation, a system of quantitative pedology**. McGraw- Hill: New York, 1941. 281p.

KRAEMER G. B. **Variabilidade espacial dos atributos do solo na delimitação das unidades de mapeamento**. 2007. 87p. (Dissertação de Mestrado). Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR.

KHATOUNIAN, C. A.; SOARES-JÚNIOR, D. Abordagem sistêmica e pesquisa participativa na agricultura familiar: ferramentas para o desenvolvimento. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.26, p.17-27, 2005.

LACERDA, M. P. C.; BARBOSA, I. O. Relações Pedomorfogeológicas e Distribuição de Pedoformas na Estação Ecológica de Águas Emendadas, Distrito Federal. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.36, p.709-721, 2012.

- LAGACHERIE, P.; MCBRATNEY, A. B. Spatial soil information systems and spatial soil inference systems: perspectives for digital soil mapping. In: LAGACHERIE, P. et al. **Digital soil mapping: an introductory perspective**. Amsterdam: Elsevier, 2007. Cap. 1, p.3-22.
- LANDIM, P.M.B. **Análise estatística de dados geológicos**. 2ª. Edição, São Paulo: Editora Unesp, 2003. 253p.
- LIMA, G. C.; SILVA, M. L. N.; OLIVEIRA, M. S.; CURI, N.; SILVA, M. A.; OLIVEIRA, A. H. Variabilidade de atributos do solo sob pastagens e mata atlântica na escala de microbacia hidrográfica **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.18, n.5, p.517–526, 2014.
- MACHADO, M. L. **Caracterização de agroecossistemas cafeeiros da Zona da Mata de Minas Gerais, usando Sensoriamento Remoto e Sistemas de Informações Geográficas**. 2002. 137p. (Dissertação de Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas). Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.
- MACHADO, M. L.; ALVES, H. M. R.; VIEIRA, T. G. C.; FERNANDES FILHO, E. I.; LACERDA, M. P. C. Mapeamento de áreas cafeeiras (*Coffea arabica* L.) da Zona da Mata Mineira usando sensoriamento remoto. **Coffee Science**, Lavras, v.5, n.2, p.113-122, 2010.
- MCBRATNEY, A. B.; SANTOS, M. L. M.; MINASNY, B. On digital soil mapping. **Geoderma**. Amsterdam, v.117, p.3-52, 2003.
- MELO, B.; SOUSA, L. B. Biologia da reprodução de *Coffea arabica*. L. e *Coffea canephora* Pierre. **Revista Verde**, Mossoró, Rio Grande do Norte, v.6, n.2, p.01-07, 2011.
- MENDONÇA-SANTOS M. L.; SANTOS H. G. dos. **Mapeamento Digital de Classes e Atributos de Solos - Métodos, paradigmas e novas técnicas**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos. 2003.19p. (Documentos, 55)

- MOORE, I. D.; GESSLER, P. E.; NIELSEN, G. A.; PETERSON, G. A. Soil attribute prediction using terrain analysis. **Soil Science Society of American Journal**, v.57, p.443-452, 1993.
- MOREIRA, M. A.; RUDORFF, B. F. T.; BARROS, MARCO A.; FARIA, V. G. C.; ADAMI, M. Geotecnologias para mapear lavouras de café nos estados de Minas Gerais e São Paulo. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.30, n.6, p.1123-1135, 2010.
- 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.
- NOLASCO-CARVALHO, C. C.; NUNES, F. C.; ANTUNES, M. A. H. Histórico do levantamento de solos no Brasil: da industrialização brasileira à era da informação. **Revista Brasileira de Cartografia**, n.65/5, p.997-1013, 2013.
- PALOSCHI, R. A.; JÚNIOR, C. C.; JOHANN, J. A. Geotecnologias e redes neurais artificiais para o mapeamento da cultura de cana-de-açúcar por meio de série temporal de EVI no estado do Paraná. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO - SBSR, 17, 2015, João Pessoa, **Anais...** INPE, João Pessoa, 2015, p.3875-3881.
- PERROTA, M. M. **Potencial aurífero de uma região no Vale do Ribeira, São Paulo, estimado por modelagem de dados geológicos, geoquímicos, geofísicos e de sensores remotos num sistema de informações geográficas**. 1996. 149p. (Tese de Doutorado). Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP.
- PINHEIRO, H. S. K.; CHAGAS, C. S.; CARVALHO JÚNIOR, W.; ANJOS, L. H. C. Modelos de elevação para obtenção de atributos topográficos utilizados em mapeamento digital de solos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.47, n.9, p.1384-1394, 2012.
- PINHEIRO, H. S. K. **Métodos de mapeamento digital aplicados na predição de classes e atributos dos solos da Bacia Hidrográfica do Rio Guapi Macacu, RJ**. 2015. 166f.

(Teses de Doutorado em Agronomia). Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ.

RAMIREZ, G. M.; JUNIOR, J. Z. Avaliação da resposta espectral de plantios de café (*Coffea arabica*) nas imagens LANDSAT/TM E QUICKBIRD. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14, 2009, Natal, **Anais...** INPE, Natal, 2009, p.339-345.

REIS, P. R. **Café Arábica do plantio à colheita**/Paulo Rebelles Reis, Rodrigo Luz da Cunha. – Lavras: U.R. EPAMIG SM, 2010. 1 v., 896p.

RIBEIRO, D. E. **Interação genótipo e ambiente na composição química e qualidade sensorial de cafés especiais em diferentes formas de processamento**. 2013. 62p. (Dissertação de Mestrado). Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

SALAZAR, J. P. C. **Determinação de cenários futuros de uso e cobertura do solo e sua influência na vulnerabilidade ambiental: o caso do Município de Formosa – GO**. 2015. 112p. (Dissertação de Mestrado). Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, DF.

SALES JÚNIOR, S. G. **Avaliação de variedades de café (*Coffea arabica* L.) no município de Barra do Choça, estado da Bahia**. 2006. 96p. (Dissertação de Mestrado em Agronomia). Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Vitória da Conquista, BA.

SILVA, A. V. L. **Clima e qualidade natural de bebida de café na região mogiana do estado de São Paulo**. 2010. 58p. (Dissertação de Mestrado em Agricultura Tropical e Subtropical). Campinas: Instituto Agronômico, Campinas, SP.

SILVA JÚNIOR, J. F.; SIQUEIRA, D. S.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G. T. Classificação numérica e modelo digital de elevação na caracterização espacial de atributos dos solos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, n.4, p.415-424, 2012.

- SIRTOLI, A. E.; SILVEIRA, C. T.; MANTOVANI, L. E.; SIRTOLI, A. R. 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.
- SOARES, S. C. **Distribuição da cafeicultura em parte do Estado do Espírito Santo, em relação às variáveis morfométricas e tipos de solos, usando dados de sensoriamento remoto**. 2012. 99p. (Dissertação de Mestrado em Sensoriamento Remoto). Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, SP.
- SOUSA JUNIOR, J. G. A.; DEMATTÊ, J. A. M. Modelo digital de elevação na caracterização de solos desenvolvidos de basalto e material arenítico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.449-456, 2008.
- SOUZA, F. F.; SANTOS, J. C. F.; COSTA, J. N. M.; SANTOS, M. M. **Características das principais variedades de café cultivadas em Rondônia**. Porto Velho: Embrapa Rondônia, 2004. 21p.
- SOUZA, G. S.; LIMA, J. S. S.; XAVIER, A. C.; ROCHA, W. S. D. Krigagem ordinária e inverso do quadrado da distância aplicados na espacialização de atributos químicos de um argissolo. **Scientia Agraria**, Curitiba, v.11, n., p.73-81, 2010.
- SOUZA, V. C. O.; VIEIRA, T. G. C.; VOLPATO, M. M. L.; ALVES, H. M. R. Espacialização e dinâmica da cafeicultura mineira entre 1990 e 2008, utilizando técnicas de geoprocessamento. **Coffee Science**, Lavras, v.7, n.2, p.122-134, 2012.
- 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 de Mestrado). Universidade de Brasília, Brasília, DF.
- TEN CATEN, A.; DALMOLIN, R. S. D.; PEDRON, F. A.; MENDONÇA-SANTOS, M. L. regressões logísticas múltiplas: fatores que influenciam sua aplicação na predição de classes de solos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, n.1, p.53-62, 2011.

- TESKE, R.; GIASSON, E.; BAGATINI, T. Comparação do uso de modelos digitais de elevação em mapeamento digital de solos em Dois Irmãos, RS, Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.38, n.5, p.1367-1376, 2014.
- TRABAQUINI, K.; MIGLIORANZA, E.; FRANÇA, V.; NETO, O. C. P. Uso da geotecnologia para caracterizar os cafezais no município de Londrina-PR, em relação à altimetria, declividade e tipo de solo. **Engenharia Agrícola**, v.30, n.6, p.1136-1147, 2010.
- TRABAQUINI, K.; MIGLIORANZA, E.; FRANÇA, V.; NETO, O. C. P. Caracterização de lavouras cafeeiras, utilizando técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto, no município de Umuarama – PR. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.35, n.1, p.35-44, 2011.
- VALLADARES, G. S.; AZEVEDO, E. C.; CAMARGO, O. A.; GREGO, C. R.; RASTOLDO, A. M. C. S. Variabilidade espacial e disponibilidade de cobre e zinco em solos de vinhedos e adjacências. **Bragantia**, Campinas, v.68, n.3, p.733-742, 2009.
- VASQUES, G. M.; DEMATTÊ, J. A. M.; ROSSEL, R. A. V.; RAMÍREZ-LÓPEZ, L.; TERRA, F.S. Soil classification using visible/near-infrared diffuse reflectance spectra from multiple depths. **Geoderma**. Amsterdam, v.223-225, p.73-78, 2014.
- VIEIRA, T. G. C.; ALVES, H. M. R.; BERTOLDO, M. A.; SOUZA, V. C. O. Geotechnologies in the assessment of land use changes in coffee regions of the state of Minas Gerais in Brazil. **Coffee Science**, Lavras, v.2, n.2, p.142-149, 2007.
- ZADEH, L. A. *Fuzzy sets*. **Information and Control**. v.8, p.338-353, 1965.
- ZHU, A.X.; YANG, L.; LI, B.; QIN, C.; PEI, T.; LIU, B. Construction of membership functions for predictive soil mapping under fuzzy logic. **Geoderma**, v.155, p.164-174, 2010.

3. CAPÍTULO 3 – ÁREA DE ESTUDO

3.1 ÁREA DE ESTUDO

3.1.1 Localização da Área de Estudo

A área de estudo, corresponde ao município de Carmo de Minas, Estado de Minas Gerais, na região da Serra da Mantiqueira, com uma área territorial de aproximadamente 322 km² e uma população de 13.750 habitantes, segundo informações do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2010). A localização do município pode ser observada na Figura 1.

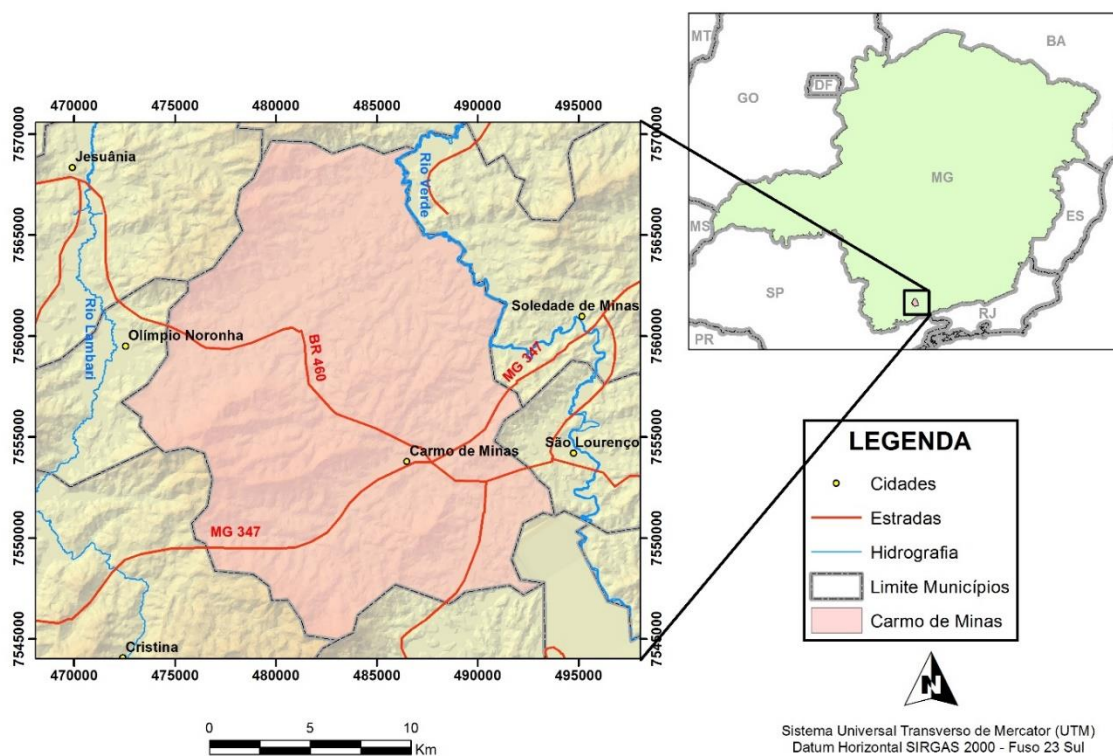


Figura 1 - Localização da área de estudo - Município de Carmo de Minas, MG.

O município foi escolhido por apresentar as características representativas encontradas na região da Serra da Mantiqueira em relação ao relevo, geologia, classes de solo, cafeicultura e clima. Além disso, o município é um importante produtor de café de qualidade. Dentre os 10

cafés de maior valor agregado do mundo estão dois cafés brasileiros, produzidos no município de Carmo de Minas. Como exemplo, um desses cafés, vencedor do *Cup of Excellence* de 2005 (Sertão Coffees, 2006), com nota de 95,85 pontos numa escala que vai até 100, foi vendido a US\$ 6.580,81/saca ou aproximadamente R\$ 15.000,00 a saca de 60 kg.

3.1.2 Caracterização da Área de Estudo

3.1.2.1 Clima

Segundo o IBGE (2006), o clima do município de Carmo de Minas é classificado como Tropical do Brasil Central, Mesotérmico Brando, Úmido, com duas estações bem definidas, sendo uma chuvosa e outra seca, com verão mais quente e inverno brando e temperatura média do mês mais frio variando entre 15° e 10°C. De acordo com classificação que relaciona os meses secos com os tipos de vegetação natural predominante, primitiva ou potencial, a fim de mostrar a interação do regime climático com a biogeografia e ecologia, Carmo de Minas é classificado como úmido, apresentado de 1 a 2 meses secos, quase sempre acompanhado de florestas.

Quanto à classificação de Köppen (1936), os dados das Normais Climatológicas 1961-1990, disponíveis no Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2009), registrados na estação climatológica de São Lourenço, indicam que o município possui clima Cwa (clima temperado úmido com inverno seco e verão quente). Este tipo climático apresenta inverno seco e verão com temperatura do mês mais quente maior que 22°C. Os dados mostram que julho é o mês que apresenta a menor temperatura média e precipitação, com 14,3°C e 24 mm, respectivamente. Fevereiro é o mês mais quente do ano, com 22,3°C.

3.1.2.2 Vegetação

A vegetação original da Serra da Mantiqueira é a Mata Atlântica, que ocupa cerca de 13% do território brasileiro, com apenas 27% de sua cobertura florestal original. Atualmente sua área

encontra-se reduzida e fragmentada com remanescentes florestais localizados, principalmente em áreas de difícil acesso (IBGE, 2004).

Essa realidade pode ser observada no Município de Carmo de Minas e pela imagem de satélite apresentada na Figura 2. As áreas mais baixas e menos declivosas estão ocupadas em sua maioria por pastagens, utilizadas pela pecuária leiteira, atividade economicamente importante para a região. A cafeicultura encontra-se instalada nas áreas de maior altitude e maior declividade, intercalada com pequenas manchas de remanescentes florestais.

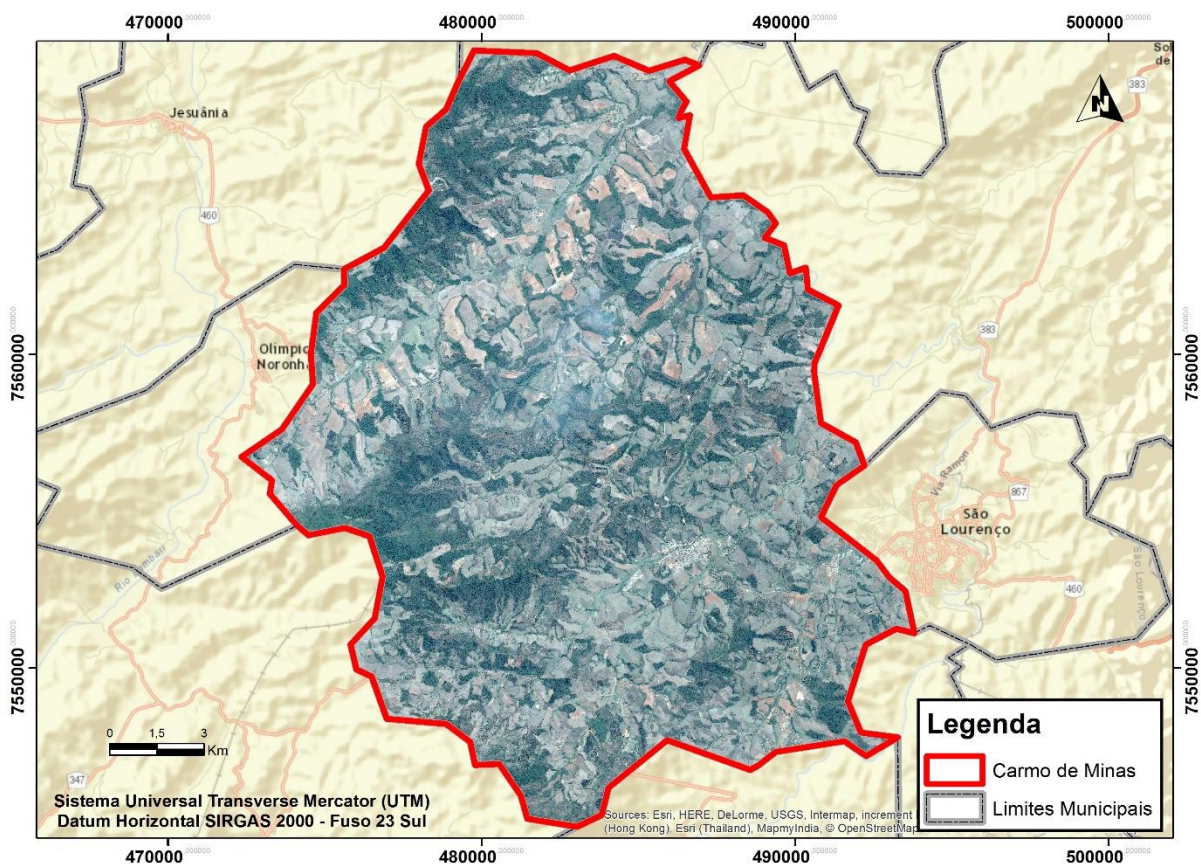


Figura 2 – Imagem de satélite Pléiades de 2015 do Município de Carmo de Minas, MG, mostrando os remanescentes da Mata Atlântica.

3.1.2.3 Evolução Geológica

Segundo Hasui (2010) a região da Serra da Mantiqueira 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), na Era geológica Mesozóica, Período Neo-Cretáceo (89 a 65 milhões de anos) ocorreu na região um soerguimento epirogenético da crosta continental, originando um megaplanalto de cerca de 300.000 km² (Serra do Mar Cretácea). Ao final desse soerguimento, no início do Período Terciário, ao redor de 66-65 milhões de anos, ocorreu um grande aplainamento, gerando a Superfície de Aplainamento Japi, que nivelou o megaplanalto em torno de 2.000 m em relação ao nível do mar atual. Com esta situação, a crosta tornou-se isostaticamente instável e com o colapso gravitacional do megaplanalto, a crosta continental fendeu-se e afundou-se em diversas áreas lineares formando-se corredores de grábens (rifes) paralelos à costa continental Sul Americana, gerando uma feição peculiar na margem continental do Brasil: o duplo escarpamento formado pelas Serras do Mar e da Mantiqueira. Os remanescentes topográficos deste megaplanalto constituem atualmente as partes mais altas destas serras, modificadas por basculamentos dos blocos tectônicos.

Após esta grande instabilidade tectônica, no início da Era Cenozóica, no Período Terciário - Paleógeno (65 a 24 milhões de anos), a região passou por um período de estabilidade tectônica, em que se desenvolveu a segunda grande superfície de aplainamento, a Superfície Sul-Americana, correspondendo ao aplainamento da superfície de 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 (Período Terciário - Paleógeno/Neógeno - 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 entre o sul do Espírito Santo e Santa Catarina, e o rifteamento que originou as pequenas bacias conhecidas entre o Paraná e o Rio de Janeiro (Hasui, 2010). A Figura 3 mostra essas feições, que denotam forte controle pela estruturação brasileira.

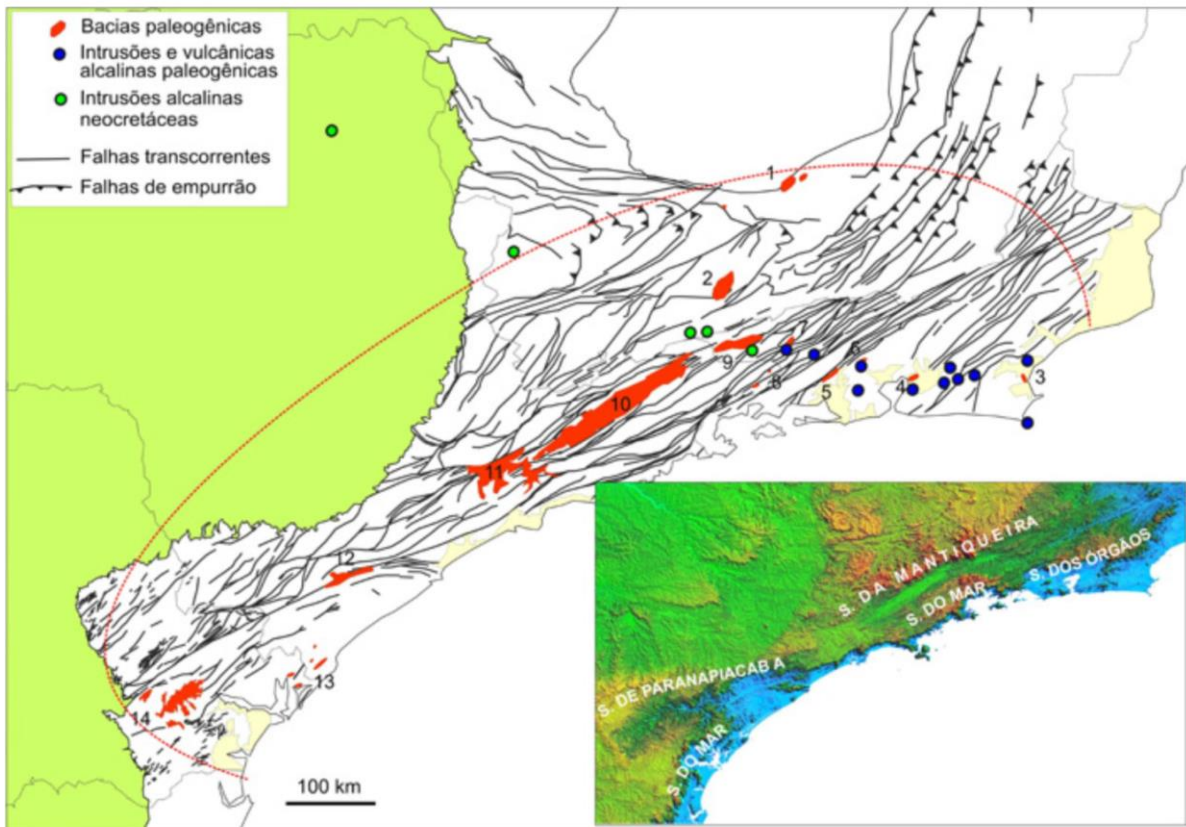


Figura 3 - Principais feições do Paleógeno. Onde: Bacias tafrogenéticas: 1 - Rio das Mortes, 2 - Aiuruoca, 3 - São João da Barra, 4 - Guanabara e Itaboraí, 5 - Rio Santana, 6 - Paty dos Alferes, 7 - Volta Redonda, 8 - Serra da Bocaina, 9 - Resende, 10 - Taubaté, 11 - São Paulo, 12 - Sete Barras, 13 - Cananéia e Pariquera-Açu, 14 - Curitiba (Fonte: Hasui, 2010).

Neto e Perez Filho (2012) afirmam que a deformação expressiva ocorrida na Superfície Japi apresenta um controle neo-tectônico ativo, que nos tempos geológicos atuais está remodelando escarpas e reorganizando a rede de drenagem por meio de progressão remontante das linhas erosivas.

3.1.2.4 Geologia Atual

O município de Carmo de Minas, encontra-se geologicamente inserido na Província Mantiqueira, representando o extremo sul da Faixa Brasília Meridional (Orógeno Brasília). Nessa região há um predomínio de rochas do Embasamento Paleoproterozóico/Arqueano, constituído principalmente por ortognaisses, localmente migmatíticos, além de pequenos corpos de rochas máficas e ultramáficas, seqüência tipo *greenstone belt*, e Sucessões Metassedimentares Neoproterozóicas, composta por paragnaisses, xistos, quartzitos e, localmente, calcário e rocha calciossilicática, além de rochas metabásicas intercaladas (Trouw et al., 2007).

Dentro do Embasamento Paleoproterozóico/Arqueano, observa-se em Carmo de Minas, o predomínio da Unidade Ortognaisses Migmatíticos (APPogn), ocorrendo em toda porção central do município, de leste a oeste de seu território. Essa unidade é composta por ortognaisses paleoproterozóicos, ocorrendo em uma extensa nappe posicionada tectonicamente sobre Sucessões Metassedimentares Neoproterozóicas (Figura 4).

Nas Sucessões Metassedimentares Neoproterozóicas, a Unidade São Vicente (NPasv) é a mais representativa, ocorrendo na porção norte do município. Trata-se da unidade basal da Megassequência Andrelândia posicionada tectonicamente sobre ortognaisses do embasamento. Esta unidade engloba as duas associações de litofácies basais, sendo que na associação inferior predominam paragnaisses bandados de granulometria fina, com intercalações de anfibolitos e xistos ultramáficos na base. Para o topo da unidade são comuns intercalações de muscovita xistos associados com quartzitos, biotita xistos, anfibolitos e escassos mármores ou xistos carbonáticos, caracterizando a associação superior (Figura 4) (Trouw et al., 2007).

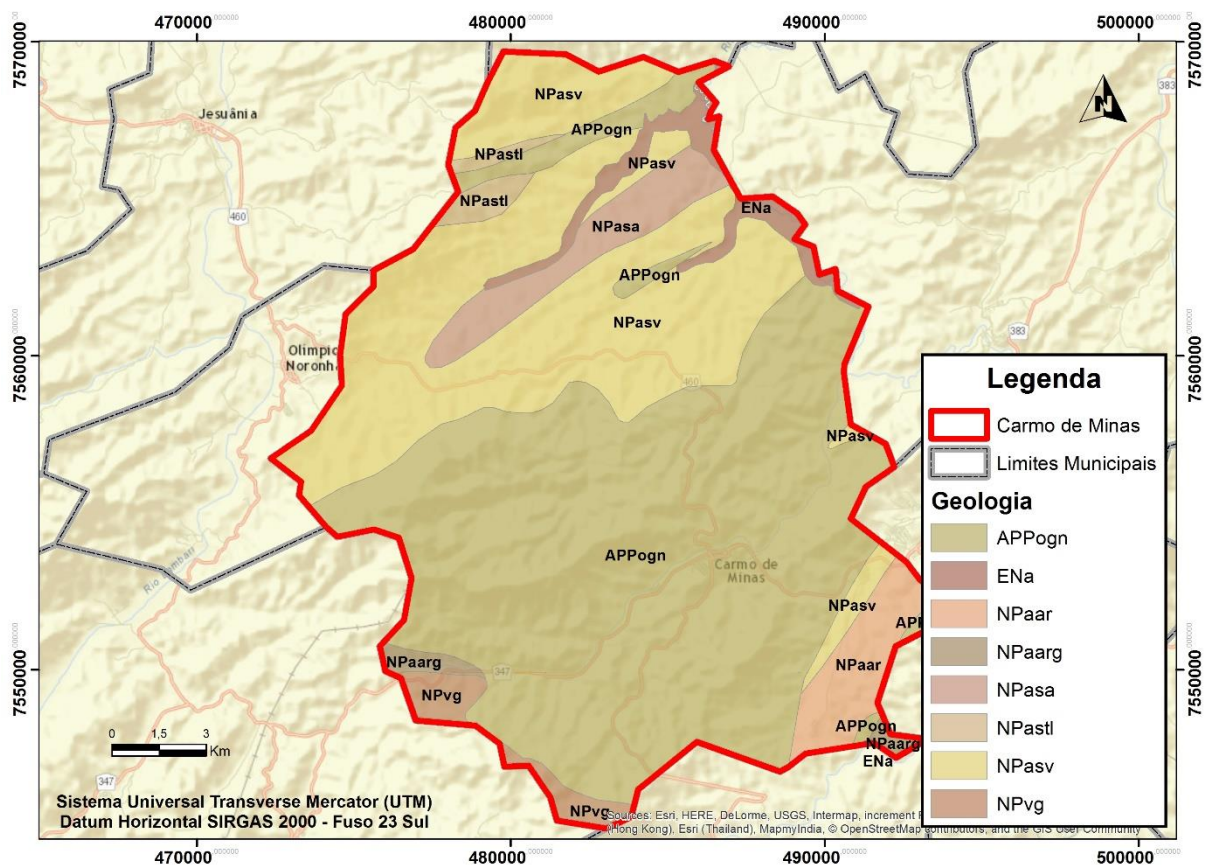


Figura 4 - Mapa geológico da área de estudo – Município de Carmo de Minas, MG (Fonte: Trouw et al., 2007).

Além dessas duas principais unidades, segundo Trouw et al. (2007), observa-se a ocorrência ao norte de Carmo de Minas, em menor proporção, da Unidade São Tomé das Letras (NPastl). Essa unidade assenta sobre os paragneisses da Unidade São Vicente, composta por sucessões quartzíticas e intercalações subordinadas de muscovita-xistos.

A região sul do município apresenta a Unidade Santo Antônio (NPasa), constituída por muscovita-biotita xistos de granulometria fina, ricos em plagioclásio, que localmente gradam a gnaisses.

A Unidade Arantina ocorre no sudeste do Município, nas *Nappes* Carmo da Cachoeira e Lambari, em fácies anfibolito (NPaar) e na *Nappe* Varginha, em facies granulito (NPaarg). É constituída por biotita-muscovita xistos/gnaisses de granulometria grossa, separadas por

frequentes intercalações de quartzitos, quartzo xistos, anfibolitos, quartzitos manganésíferos e rochas calciossilicáticas. A Unidade Arantina em fácies granulito é caracterizada por gnaisses fitados com cianita e K-feldspato e ausência de muscovita (Trouw et al., 2007).

Na porção sul do município ocorre a Unidade Granulítica Basal do Complexo Varginha-Guaxupé (NPvg), composta por hiperstênio-granulitos. Esta unidade ocorre posicionada tectonicamente sobre granulitos da Unidade Arantina (fácies granulítica) da Megasseqüência Andrelândia. São constituídos, essencialmente, por plagioclásio, k-feldspato, quartzo, ortopiroxênio e clinopiroxênio, com porcentagens menores de granada, anfibólio, biotita e minerais opacos, além de traços de apatita e zircão (Trouw et al., 2007).

São observados também Depósitos Quaternários (ENa), constituídos principalmente por sedimentos inconsolidados aluvionares, especialmente bem desenvolvidos nas proximidades do Rio Verde, Ribeirão dos Criminosos e Córrego São Pedro.

3.1.2.5 Geomorfologia

Quanto aos aspectos geomorfológicos, o município de Carmo de Minas apresenta características representativas observadas na região da Serra Mantiqueira, onde, segundo Dias (2007) é recortada por vales profundos, exibindo quase sempre lombadas e patamares à meia encosta, com controle geológico estrutural evidente. Segundo Pinto (1995) as cotas da Serra da Mantiqueira raramente ultrapassam 1.200 m, exceção feita às porções sustentadas pelas formações quartzíticas que podem atingir 1.800 m na serra de Ibitipoca. Aluviões suspensos são encontrados em todas as superfícies. Caracterizam as fases de sedimentação e a retomada dos processos erosivos em ciclos subsequentes.

A Serra da Mantiqueira mostra um forte processo erosivo vertical para a montante, com a tendência a atingir as superfícies de aplainamento do ciclo atual. Ocorre pequeno desnível no planalto da Mantiqueira (cotas entre 1.100 e 1.200 m), associado ao longo período de atuação dos agentes intempéricos, onde o intemperismo químico predominou sobre o físico.

Produziram-se espessos pacotes de solos e de formações superficiais com transporte físico reduzido. Os agentes físicos atuam com intensidade marcante nos flancos das serras, gerando principalmente formas abruptas de relevo, com morros rochosos e escorregamentos de encostas (solifluxão). O processo se acelera nos locais de declividade acentuada, desprovidos da vegetação de grande porte, consequência muitas vezes de atividade antrópica (Pinto, 1995).

As serras observadas em Carmo de Minas apresentam orientação predominante na direção nordeste-sudoeste, como as Serras do Bugio, da Soledade Velha, da Água Limpa e de Dom Viçoso. Conforme descrito no trabalho desenvolvido pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (Trouw et al., 2007), essas serras podem ser compostas por granitos neoproterozoicos, como na Serra da Água Limpa, localizada a sudoeste de Carmo de Minas, por granulitos da Unidade Granulítica Basal, do Complexo Varginha-Guaxupé, como a Serra de Dom Viçoso, ao sul do município e por ortognaisses paleoproterozóicos da Unidade Ortognaisses Migmatíticos, como as serras do Bugio (localizada a oeste) e da Soledade Velha (leste de Carmo de Minas). Ao norte do município, como no caso da Serra dos Criminosos, observa-se a composição por paragnaisses (Unidade São Vicente), capeados por sucessões quartzíticas (Unidade São Tomé das Letras) mais resistentes a erosão.

3.1.2.6 Solos

Segundo o mapa de solos elaborado pela Fundação Estadual de Meio Ambiente (FEAM, 2010), o município de Carmo de Minas apresenta uma cobertura pedológica formada pela associação de Latossolos, Argissolos e Cambissolos, com predominância de Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico A moderado textura argilosa e Argissolo Vermelho Distrófico típico A moderado/fraco textura média/argilosa (Figura 5 e Tabela 1).

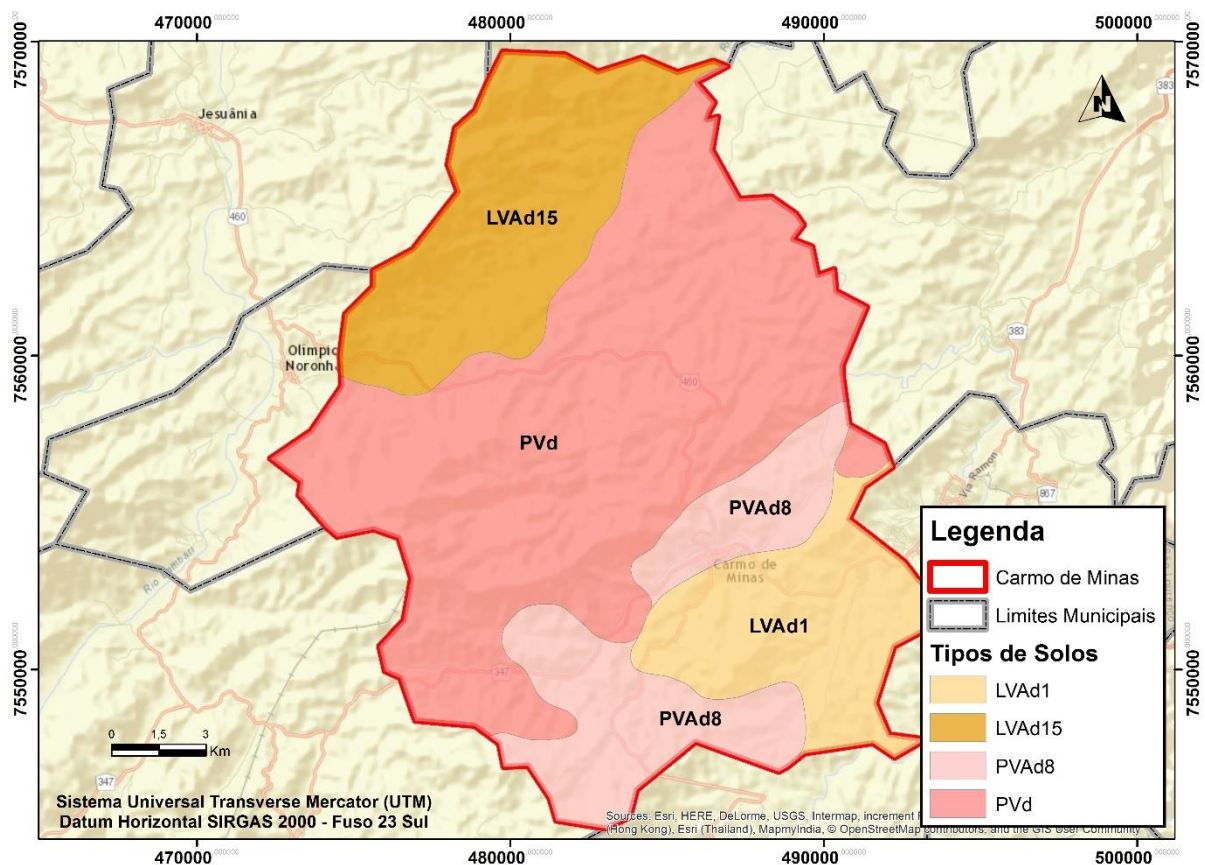


Figura 5 - Mapa de solos da área de estudo – Município de Carmo de Minas, MG (Fonte: FEAM, 2010).

Tabela 1 - Descrição das unidades de mapeamento identificadas no mapeamento de solos desenvolvido pela FEAM (2010).

UNIDADE DE MAPEAMENTO	DESCRIÇÃO
LVAd1	Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico A moderado textura argilosa; fase cerrado, relevo plano e suave ondulado.
LVAd15	Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico A moderado textura argilosa + Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico A moderado textura média/argilosa; ambos fase floresta subperenifólia, relevo suave ondulado e ondulado e forte ondulado.
PVAd8	Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico A moderado textura média/argilosa + Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico A moderado textura argilosa + Cambissolo Háptico Distrófico típico A moderado textura siltosa/argilosa; todos fase floresta subcaducifólia, relevo ondulado e forte ondulado.
PVd	Argissolo Vermelho Distrófico típico A moderado/fraco textura média/argilosa; fase floresta subperenifólia, relevo forte ondulado.

Dias (2007) descreve que a cobertura pedológica da região da Serra da Mantiqueira seria formada por uma associação de Cambissolos e Latossolos, com Neossolos Litólicos nas áreas mais acidentadas. O autor afirma que os solos têm forte vínculo com o substrato rochoso, sendo espessos no alto da Serra da Mantiqueira e muitas vezes ausentes em suas encostas, com exposições rochosas. Sobre o domínio gnáissico, são normalmente Latossolos Vermelho-Amarelo Álicos, sobre os quartzitos são essencialmente arenosos, com delgada cobertura orgânica. Solos hidromórficos ocorrem em áreas de depressão aluvionar e em rochas máficas/ultramáficas desenvolvem Latossolos Vermelhos, argilosos, geralmente férricos.

3.2 CARACTERIZAÇÃO DOS SOLOS DA ÁREA ESTUDADA

3.2.1 Atividades de Campo - Primeira e Segunda Etapa

Na atividade preliminar de campo, em abril de 2012, foi realizado o reconhecimento dos solos associados ao cultivo de cafés de elevada qualidade sensorial na Microregião da Serra da Mantiqueira Mineira. Foi selecionado o município de Carmo de Minas, considerado representativo da distribuição dos solos em relação à cafeicultura.

Em agosto de 2012, durante a segunda etapa de campo, foram avaliados 13 perfis pedológicos no município de Carmo de Minas, em perfis representativos da distribuição dos solos, principalmente em relação às feições morfométricas do terreno (altitude, declividade e curvatura) e associação com cultivo de café de elevada qualidade sensorial (Figura 6). Os solos foram avaliados por meio da caracterização morfológica expedita de campo (cor, textura, estrutura e consistência), e análises químicas, físicas e teor de óxidos ao ataque sulfúrico, apresentadas nas tabelas 2, 3 e 4, conduzidas segundo metodologias descritas em Embrapa (1997). Os solos foram classificados no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos - SiBCS (Embrapa, 2013), conforme observado na tabela 5. As figuras 7 a 15 ilustram os perfis pedológicos estudados.

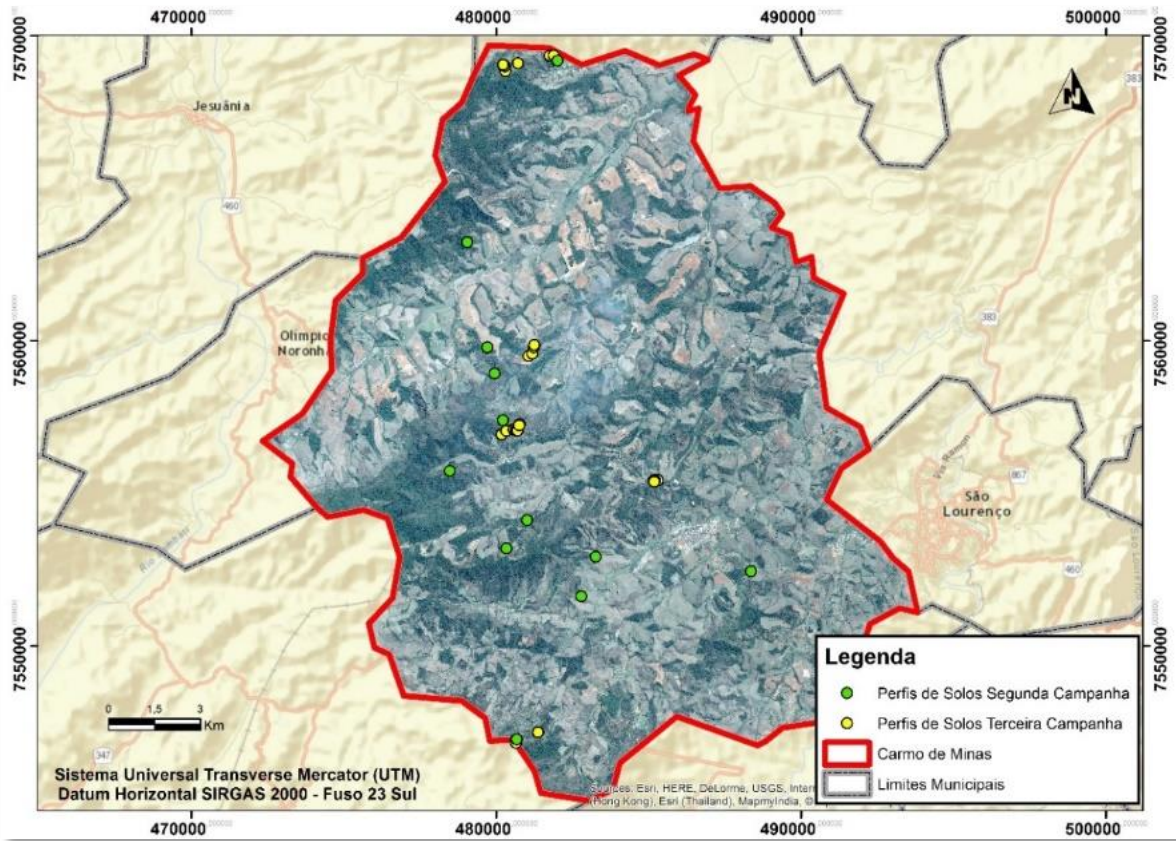


Figura 6 - Localização dos perfis de solos da segunda etapa - Município de Carmo de Minas, MG.

Tabela 2 - Caracterização química dos solos avaliados da segunda etapa de campo na área de estudo, Município de Carmo de Minas, MG.

Perfis	Hor.	pH	Bases trocáveis				K ⁺	P	SB	t	T	m	V	C	MO	
			Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	Al ³⁺ + H ⁺										cmol _c dm ⁻³
LVw: Latossolo Vermelho Ácrico típico																
01	Bw	5,10	0,10	0,10	0,60	4,04	113,88	0,84	0,49	1,09	4,53	55,05	10,86	5,60	9,70	
LVd: Latossolo Vermelho Distrófico típico																
02	Bw	5,60	1,40	0,60	0,10	2,59	29,64	0,84	2,08	2,18	4,67	4,59	44,45	10,10	17,50	
LVAd: Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico húmico																
03	Ap	4,90	0,10	0,10	2,90	19,15	96,72	2,00	0,45	3,35	19,60	88,57	2,29	20,55	35,60	
	Bw	4,50	0,10	0,10	1,50	7,87	15,60	1,13	0,24	1,74	8,11	88,21	2,96	2,54	4,40	
LVAd: Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico húmico																
04	Ap	5,10	0,60	0,30	0,90	10,99	23,40	1,71	0,96	1,86	11,95	48,39	8,03	27,48	47,60	
	Bw	5,10	0,10	0,10	0,20	5,05	29,64	0,84	0,28	0,48	5,33	41,67	5,18	10,10	17,50	
LVAd: Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico húmico																
05	Ap	4,60	0,10	0,10	1,40	9,83	32,76	2,30	0,28	1,68	10,11	83,33	2,81	18,94	32,80	
	Bw	4,90	0,10	0,10	0,90	5,05	12,48	1,13	0,23	1,13	5,28	79,65	4,39	6,81	11,80	
NVd: Nitossolo Vermelho Distrófico latossólico																
06	Ap	4,80	0,10	0,10	1,40	8,80	39,00	0,84	0,30	1,70	9,10	82,35	3,30	12,18	21,10	
	Bt1	4,10	0,10	0,10	1,20	8,08	53,04	1,71	0,34	1,54	9,14	77,92	3,68	7,45	12,90	
	Bw2	4,60	0,20	0,10	0,10	4,04	37,44	2,60	0,40	0,50	4,44	20,00	8,92	4,97	8,60	
06	Bw22	4,70	0,10	0,10	0,10	3,62	26,52	2,30	0,27	0,37	3,89	27,03	6,89	5,60	9,70	
	NVd: Nitossolo Vermelho Distrófico latossólico															
	07	Ap	4,70	0,20	0,10	1,00	8,80	49,92	2,30	0,43	1,43	9,23	69,93	4,64	14,32	24,80
Bt		4,80	0,10	0,10	0,40	4,04	57,72	1,13	0,35	0,75	4,39	53,33	7,93	7,45	12,90	
NVd: Nitossolo Vermelho Distrófico latossólico																
08	Ap	5,10	3,00	1,00	0,40	6,30	45,24	10,24	4,12	4,52	10,42	8,85	39,50	16,57	28,70	
	Bt	4,40	0,10	0,10	0,80	5,05	18,72	0,84	0,25	1,05	5,30	76,19	4,68	6,81	11,80	
CXbd: Cambissolo Háptico Tb Distrófico típico																
09	Ap	5,50	0,30	0,30	0,20	2,90	93,60	1,13	0,84	1,04	3,74	19,23	22,46	8,14	14,10	
	Bi	4,80	0,10	0,10	0,50	2,59	29,64	0,56	0,28	0,78	2,87	64,10	9,62	3,12	5,40	
	BC	5,30	0,10	0,10	0,00	1,86	28,08	0,56	0,27	0,27	2,13	0,00	12,77	2,54	4,40	
	C	5,70	0,10	0,10	0,20	2,08	7,80	0,84	0,22	0,42	2,30	47,62	9,57	2,54	4,40	

Perfis	Hor.	pH	Bases trocáveis				K ⁺	P	SB	t	T	m	V	C	MO
			Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	Al ³⁺ + H ⁺									
			cmol _c dm ⁻³												
LVAd: Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico húmico															
10	Ap	5,20	2,90	0,90	0,40	7,87	26,52	2,00	3,87	4,27	11,74	9,37	32,95	18,13	31,40
	Bw	5,00	0,40	0,30	0,10	2,59	9,36	0,84	0,72	0,82	3,31	12,20	21,87	4,97	8,60
NVdf: Nitossolo Vermelho Distroférico latossólico húmico															
11	Ap	5,00	0,40	0,10	0,90	8,80	14,04	0,84	0,54	1,44	9,34	62,50	5,74	19,69	34,10
	Bt	4,90	0,50	0,10	0,00	2,59	43,68	3,84	0,71	0,71	3,30	0,00	21,58	6,18	10,70
NVd: Nitossolo Vermelho Distrófico latossólico															
12	Ap	5,80	2,90	1,10	0,10	3,24	199,68	3,21	4,51	4,61	7,75	2,17	58,22	17,32	30,00
	Bt1	5,10	0,20	0,20	0,80	5,05	65,52	0,84	0,57	1,37	5,62	58,39	10,11	8,14	14,10
	Bw2	5,00	0,30	0,10	0,60	3,24	73,32	0,84	0,59	1,19	3,83	50,42	15,35	1,96	3,40
LVd: Latossolo Vermelho Distrófico típico															
13	Ap	5,10	0,10	0,10	1,60	8,80	48,36	5,47	0,32	1,92	9,12	83,33	3,55	16,57	28,70
	B1	5,00	0,10	0,10	1,30	6,30	46,80	2,60	0,32	1,62	6,62	80,25	4,83	6,81	11,80
	B2	4,90	0,10	0,10	1,00	3,24	48,36	1,13	0,32	1,32	3,56	75,76	9,10	1,96	3,40

Em que pH em água, KCl e CaCl₂ (relação 1:2,5); SB = soma de bases trocáveis; CTC (T) = Capacidade de Troca Catiônica a pH 7,0; m = Índice de Saturação de Alumínio; CTC (t) = CTC efetiva; V = Índice de Saturação de Bases; C = carbono orgânico e MO = matéria orgânica. Extratores: P, K, Na: Mehlich I / Ca, Mg, Al: KCl 1 mol/L / H + Al: SMP / MO: Oxidação Na₂Cr₂O₇ 4N + H₂SO₄ 10N.

Tabela 3 - Caracterização física dos solos avaliados na segunda campanha de campo na área de estudo, Município de Carmo de Minas, MG.

Perfis	Horizontes	Textura			Rela. Silte/Argila	Gradiente Textural (B/A)
		Argila	Areia	Silte		
LVw: Latossolo Vermelho Ácrico típico						
01	Bw	39,00	48,00	13,00	0,33	
LVd: Latossolo Vermelho Distrófico típico						
02	Bw	66,00	25,00	11,00	0,17	
LVAd: Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico húmico						
03	Ap	58,00	36,00	6,00		
	Bw	54,00	42,00	4,00	0,07	0,93
LVAd: Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico húmico						
04	Ap	45,00	42,00	13,00		
	Bw	52,00	36,00	12,00	0,23	1,16
LVAd: Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico húmico						
05	Ap	41,00	44,00	15,00		
	Bw	48,00	37,00	15,00	0,31	1,17
NVd: Nitossolo Vermelho Distrófico latossólico						
06	Ap	55,00	31,00	14,00		
	Bt1	64,00	26,00	10,00	0,16	1,16
	Bw2	65,00	25,00	10,00	0,15	1,18
	Bw22	65,00	26,00	9,00	0,14	1,18
NVd: Nitossolo Vermelho Distrófico latossólico						
07	Ap	42,00	52,00	6,00		
	Bt	48,00	42,00	10,00	0,21	1,14
NVd: Nitossolo Vermelho Distrófico latossólico						
08	Ap	57,00	25,00	18,00		
	Bt	67,00	16,00	17,00	0,25	1,18
CXbd: Cambissolo Hálico Tb Distrófico Típico						
09	Ap	43,00	36,00	21,00		
	Bi	32,00	39,00	29,00	0,91	0,74
	BC	21,00	32,00	47,00	2,24	0,49
	C	14,00	44,00	42,00	3,00	0,33
LVAd: Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico húmico						
10	Ap	55,00	35,00	10,00		
	Bw	61,00	30,00	9,00	0,15	1,11
NVdf: Nitossolo Vermelho Distroférico latossólico húmico						
11	Ap	60,00	25,00	15,00		
	Bt	64,00	23,00	13,00	0,20	1,07
NVd: Nitossolo Vermelho Distrófico latossólico						
12	Ap	30,00	54,00	16,00		
	Bt1	42,00	47,00	11,00	0,26	1,40
	Bt2	29,00	21,00	20,00	0,69	0,97

Perfis	Horizontes	Textura			Rela. Silte/Argila	Gradiente Textural (B/A)
		Argila	Areia	Silte		
LVd: Latossolo Vermelho Distrófico típico						
13	Ap	34,00	49,00	17,00		
	Bw1	42,00	43,00	15,00	0,36	1,24
	Bw2	19,00	66,00	15,00	0,79	0,45

Tabela 4 - Teores de óxidos constituintes extraídos pelo ataque sulfúrico dos solos avaliados na segunda campanha de campo na área de estudo, Município de Carmo de Minas, MG.

Perfis	Hor	Ataque Sulfúrico					Ki	Kr	Al ₂ O ₃ / Fe ₂ O ₃
		SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	P ₂ O ₅			
LVw: Latossolo Vermelho Ácrico típico									
01	Bw	18,93	21,66	7,79	0,943	0,045	1,49	1,21	4,37
LVd: Latossolo Vermelho Distrófico típico									
02	Bw	19,81	26,09	9,82	1,135	0,065	1,29	1,04	4,17
LVAd: Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico húmico									
04	Ap	7,74	19,74	8,98	2,043	0,116	0,67	0,52	3,45
	Bw								
NVd: Nitossolo Vermelho Distrófico latossólico									
06	Ap								
	Bt1	20,62	20,97	14,09	2,346	0,120	1,67	1,17	2,34
	Bw2	21,45	19,61	14,86	2,472	0,129	1,86	1,25	2,07
	Bw22	21,68	22,71	14,84	2,026	0,120	1,62	1,14	2,40
NVd: Nitossolo Vermelho Distrófico latossólico									
07	Ap								
	Bt	13,17	20,18	9,13	1,293	0,061	1,11	0,86	3,47
NVd: Nitossolo Vermelho Distrófico latossólico									
08	Ap								
	Bt	22,85	24,87	12,52	1,919	0,124	1,56	1,18	3,12
CXbd: Cambissolo Hálico Tb Distrófico Típico									
09	Ap								
	Bi	26,88	25,31	9,62	1,291	0,110	1,81	1,45	4,13
	BC	29,52	26,33	15,59	2,030	0,361	1,91	1,38	2,65
	C								
NVdf: Nitossolo Vermelho Distroférico latossólico húmico									
11	Ap								
	Bt	19,94	23,33	15,18	3,120	0,288	1,45	1,03	2,41
NVd: Nitossolo Vermelho Distrófico latossólico									
12	Ap								
	Bt1	10,75	19,92	7,61	1,094	0,079	0,92	0,74	4,11
	Bw2	13,59	20,23	8,95	1,261	0,062	1,14	0,89	3,55
LVd: Latossolo Vermelho Distrófico típico									
13	Ap								
	Bw1	14,03	19,79	8,17	1,266	0,115	1,21	0,95	3,80
	Bw2	12,62	16,53	5,87	0,836	0,098	1,30	1,06	4,42

Tabela 5 - Classificação dos solos identificados na Segunda Campanha realizada na área de estudo – Município de Carmo de Minas, MG.

PERFIS	CLASSIFICAÇÃO
01	LVw: Latossolo Vermelho Ácrico típico
02	LVd: Latossolo Vermelho Distrófico típico
03	LVAd: Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico húmico
04	LVAd: Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico húmico
05	LVAd: Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico húmico
06	NVd: Nitossolo Vermelho Distrófico latossólico
07	NVd: Nitossolo Vermelho Distrófico latossólico
08	NVd: Nitossolo Vermelho Distrófico latossólico
09	CXbd: Cambissolo Hálico Tb Distrófico Típico
10	LVAd: Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico húmico
11	NVdf: Nitossolo Vermelho Distroférico latossólico húmico
12	NVd: Nitossolo Vermelho Distrófico latossólico
13	LVd: Latossolo Vermelho Distrófico típico



Figura 7 - Perfil 1 - LVw:
Latossolo Vermelho Ácrico típico.



Figura 8 - Perfil 3: LVAd:
Latossolo Vermelho-Amarelo
Distrófico húmico.



Figura 9 - Perfil 4 - LVAd:
Latossolo Vermelho-Amarelo
Distrófico húmico.



Figura 10 - Perfil 6 - NVd:
Nitossolo Vermelho Distrófico
latossólico.



Figura 11 - Perfil 8 - NVd:
Nitossolo Vermelho Distrófico
latossólico.



Figura 12 - Perfil 9 - CXbd:
Cambissolo Háptico Tb Distrófico
típico.



Figura 13 - Perfil 11 - NVdf:
Nitossolo Vermelho Distroférico
latossólico húmico.



Figura 14 - Perfil 12 – NVd:
Nitossolo Vermelho Distrófico
latossólico.



Figura 15 - Perfil 2 - LVd: Latossolo Vermelho Distrófico típico.

3.2.2 Atividades de Campo – Terceira Etapa

A terceira etapa de campo, realizada em agosto de 2013, foi planejada em função das observações realizadas na etapa anterior, com o objetivo de determinar o modelo de distribuição das classes de solos na área de estudo, considerada anômala em relação aos modelos padronizados de distribuição de classes de solos em relação às variações de feições do relevo. Foram estabelecidas três áreas-piloto, localizadas na porção norte (A), central (B, C, D) e sul (E) do município de Carmo de Minas, MG, em função da maior representatividade em relação às feições morfométricas do relevo e associação da cultura de café. A área-piloto central foi subdividida em B, C e D em função de sua maior extensão (Figura 16).

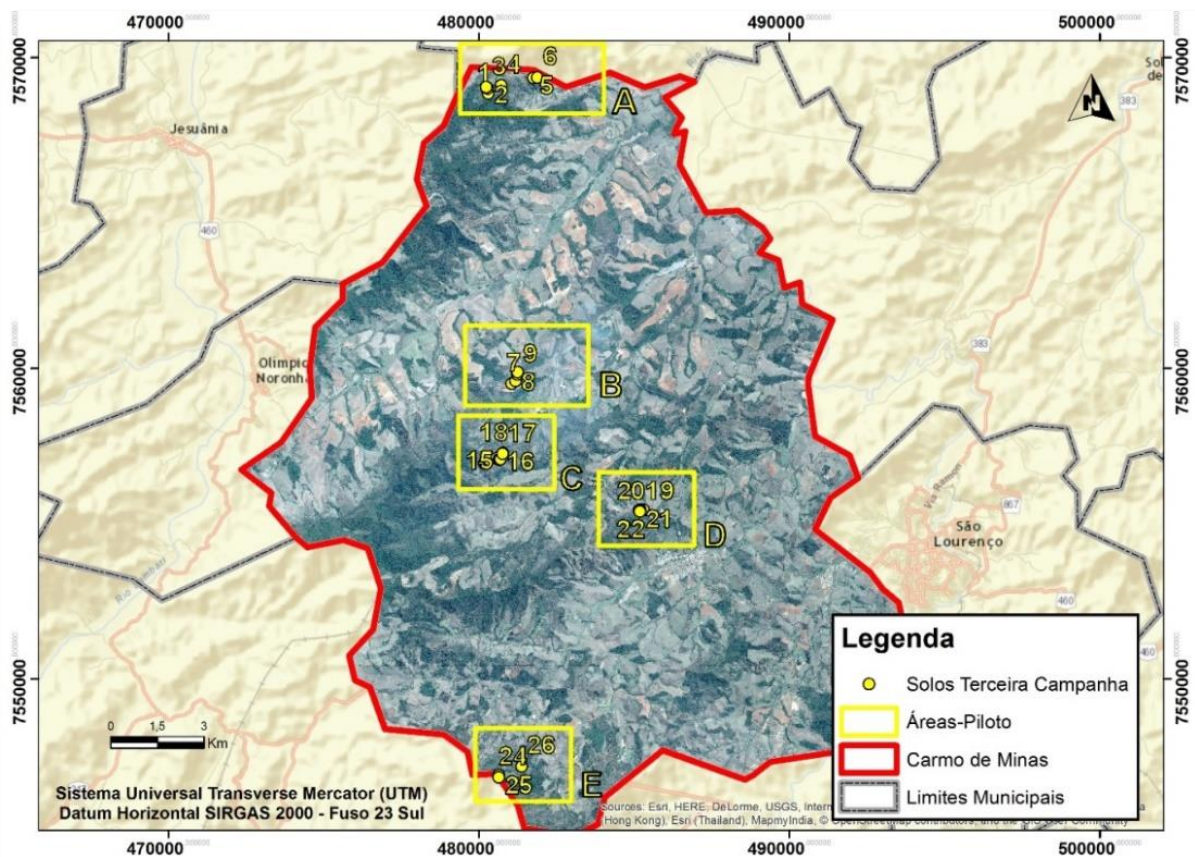


Figura 16 - Localização dos perfis de solos avaliados nas áreas-piloto da terceira etapa de campo, município de Carmo de Minas, MG.

Foram avaliados 26 perfis de solos, com a seleção de 16 perfis pedológicos distribuídos nas áreas-piloto localizadas nas porções norte - A, central - B, C, D e sul - E do município de Carmo de Minas.

Nos perfis de solos 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. (2005), visando a classificação no quarto nível categórico do SiBCS (Embrapa, 2013).

3.2.2.1 Caracterização dos solos da área-piloto norte - A

Na área-piloto - A (Figura 17) foram avaliados seis perfis pedológicos. Os perfis 1 e 5 localizam-se nas porções planas de topo; o perfil 2 localiza-se em relevo convexo e declividade em torno de 25%; o perfil 3 encontra-se em relevo côncavo com 70% de declividade; o perfil 4 localiza-se em relevo côncavo, com declividade em torno de 75%; e o perfil 6 está localizado na transição de relevo côncavo-convexo, em declividade de 50%. A caracterização morfológica, física e químicas dos solos estão apresentadas nas tabelas 6 a 09.

Nessa área-piloto foi realizada a descrição completa dos solos dos perfis 1, 3 e 6, uma vez que os perfis 2 e 5 correspondem a mesma classe do solo do perfil 1 e o perfil 4 corresponde a mesma classe de solo do perfil 3.

O perfil 1 é constituído por Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico, assim como os perfis 2 e 5, enquanto o perfil 6 é representado por Nitossolo Vermelho Distrófico latossólico. Já os solos dos perfis 3 e 4 foram caracterizados e classificados como Cambissolo Háplico Tb Distrófico típico (Figuras 18 a 20).

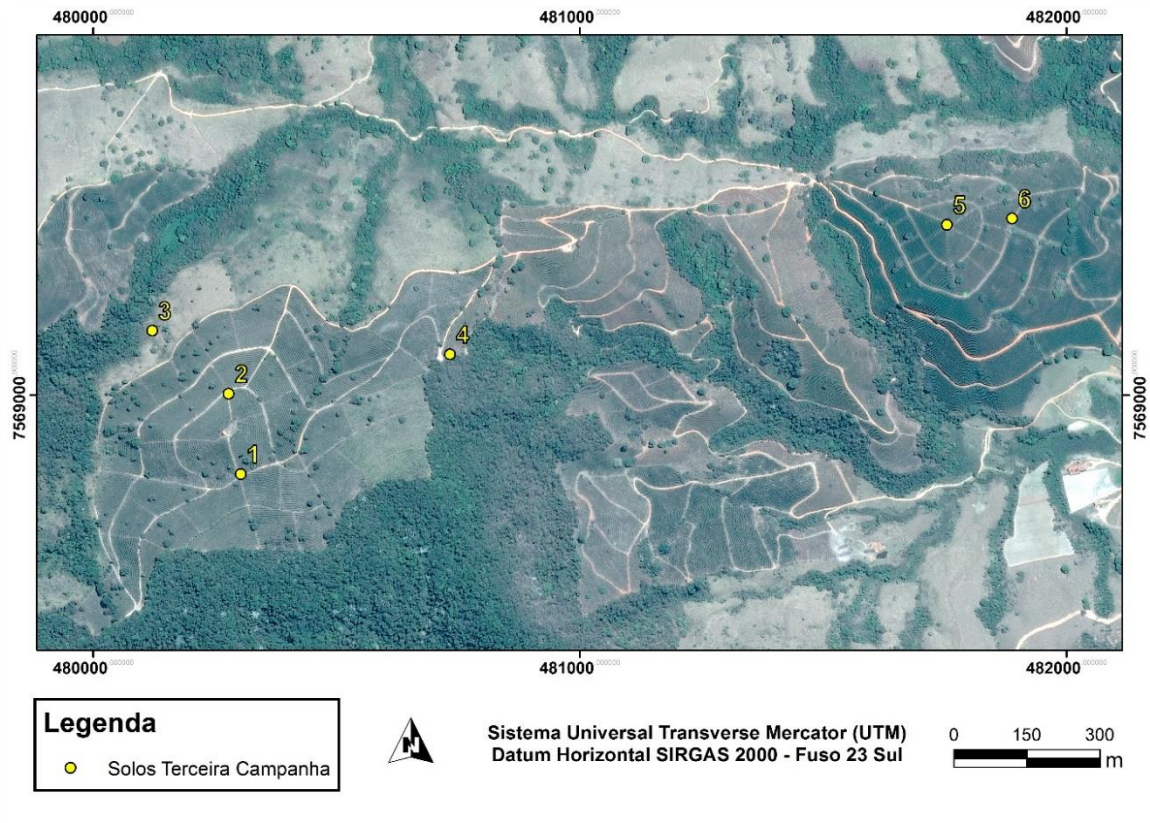


Figura 17 - Localização dos perfis de solos avaliados nas áreas-piloto norte – A na terceira etapa de campo, município de Carmo de Minas, MG.

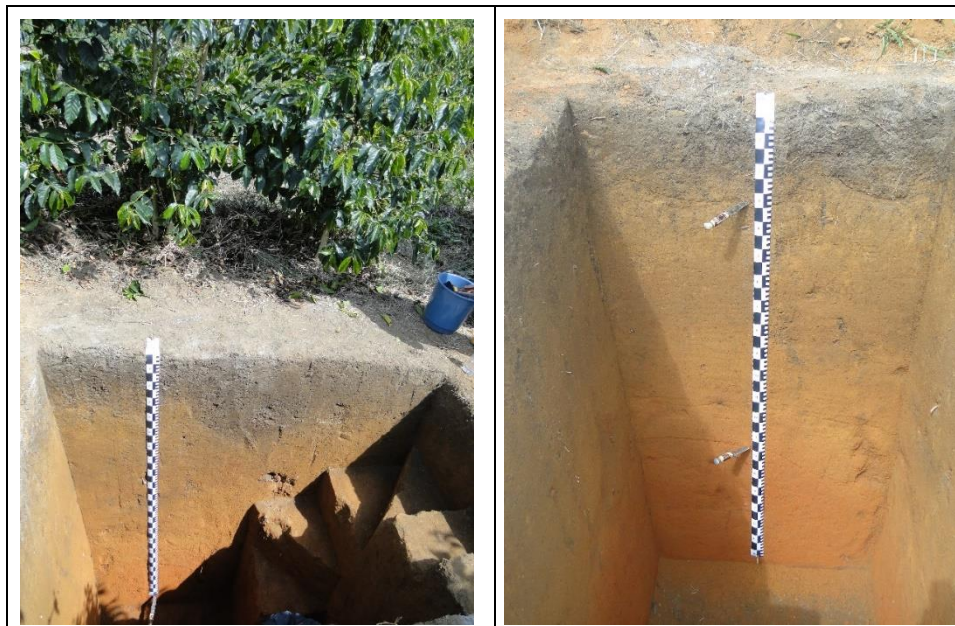


Figura 18 - Perfil 1: Latossolo Vermelho Distrófico típico.



Figura 19 - Perfil 3: Cambissolo Háplico Tb Distrófico típico.



Figura 20 - Perfil 6: Nitossolo Vermelho Distrófico latossólico.

Tabela 6 - Características morfológicas dos solos estudados na área-piloto A – Município de Carmo de Minas, MG.

Perfil	Hor.	Prof.	Cor	Estrutura	Cerosidade	Consistência	Transição
Latossolo Vermelho Distrófico típico							
1	A	0 – 24 cm (24 – 33cm)	2,5 YR 3/2 (úmida) e 2,5 YR 4/2 (seca)	Moderada muito pequena grumosa	-	Ligeiramente dura, friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa	Ondulada e gradual
	AB1	24 – 83 cm (81 – 100 cm)	5 YR 3/4 (úmida) e 5 YR 4/6 (seca)	Forte muito pequena granular	-	Ligeiramente dura, friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa	Ondulada e gradual
	AB2	83 – 106 cm (100 – 109 cm)	7,5 YR 4/4 (úmida) e 7,5 YR 4/6 (seca)	Forte muito pequena granular	-	Ligeiramente dura, muito friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa	Ondulada e gradual
	BA	106 – 134 cm (109 – 160 cm)	5 YR 4/6 (úmida) e 5 YR 5/8 (seca)	Forte muito pequena granular	-	Macia, muito friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa	Plana e difusa
	Bw	134 – 210 cm+	2,5 YR 4/6 (úmida) e 2,5 YR 4/8 (seca)	Forte muito pequena granular	-	Macia, muito friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa	Plana e difusa
Cambissolo Háptico Tb Distrófico típico							
3	A	0 – 50 cm	5 YR 3/3 (úmida) e 5 YR 3/6 (seca)	Moderada pequena grumosa	-	Ligeiramente dura, firme, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa	Ondulada e gradual
	Bi	50 – 62 cm	2,5 YR 3/6 (úmida) e 2,5 YR 4/6 (seca)	Moderada pequena blocos subangulares	-	Ligeiramente dura, firme, ligeiramente plástica e pegajosa	Ondulada e gradual
	C	62 – 115 cm+	2,5 YR 4/6 (úmida) e 2,5 YR 4/8 (seca)	Fraca muito pequena blocos subangulares	-	Ligeiramente dura, friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa	-
Nitossolo Vermelho Distrófico latossólico							
6	O	2 – 3 cm	2,5 YR 2,5/1 (úmida) e 2,5 YR 3/1 (seca)	Fibras	-	-	-
	A	0 – 17 cm	2,5 YR 2,5/4 (úmida) e 2,5 YR 3/4 (seca)	Moderada pequena grumosa	-	Dura, firme, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa	Ondulada e gradual
	AB	17 – 51 cm	2,5 YR 3/4 (úmida) e 2,5 YR 3/6 (seca)	Moderada pequena blocos subangulares	-	Ligeiramente dura, firme, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa	Ondulada e gradual
	Bt	51 – 92 cm	2,5 YR 3/6 (úmida) e 2,5 YR 4/6 (seca)	Moderada pequena blocos subangulares	Comum e moderada	Ligeiramente dura, friável, ligeiramente plástica e pegajosa	Ondulada e gradual
	Bw	92 – 220 cm+	2,5 YR 4/6 (úmida) e 2,5 YR 4/8 (seca)	Forte muito pequena granular	-	Macia, muito friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa	Ondulada e difusa

Tabela 7 - Características físicas dos solos estudados na área-piloto A – Município de Carmo de Minas, MG.

Perfil	Hor	Dp g cm ⁻³	Textura			Silte/Argila	B/A
			Argila	Silte	Areia		
			dag kg ⁻¹				
Latossolo Vermelho Distrófico típico							
1	A	2,56	30,00	1,00	69,00	0,03	
	Bw	2,53	52,00	10,00	38,00	0,19	1,73
Cambissolo Háptico Tb Distrófico típico							
3	A	2,56	41,00	18,00	41,00	0,44	
	Bi	2,60	46,00	17,00	37,00	0,37	1,12
Nitossolo Vermelho Distrófico latossólico							
6	A	2,53	46,00	14,00	40,00	0,30	
	Bt	2,67	63,00	6,00	31,00	0,10	1,37
	Bw	2,60	61,00	8,00	31,00	0,13	1,33

Tabela 8 - Teores de óxidos constituintes extraídos pelo ataque sulfúrico dos solos estudados na área-piloto A – Município de Carmo de Minas, MG.

Perfil	Hor	Ataque Sulfúrico			Ki	Kr	Al ₂ O ₃ / Fe ₂ O ₃
		SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃			
			%				
Latossolo Vermelho Distrófico típico							
1	Bw	10,33	22,57	6,10	0,78	0,66	5,81
Cambissolo Háptico Tb Distrófico típico							
3	Bi	17,84	20,75	6,92	1,46	1,20	4,71
Nitossolo Vermelho Distrófico latossólico							
6	Bt	18,75	21,85	11,36	1,46	1,09	3,02
	Bw	18,74	21,26	10,63	1,50	1,14	3,14

Tabela 9 - Caracterização química dos solos estudados na área-piloto A – Município de Carmo de Minas, MG.

Id	Hor	pH (KCl)	pH (H ₂ O)	DpH	Bases trocáveis				K ⁺	P	SB	t	T	m	V	C	MO	P-rem	Zn	Fe	Mn	Cu	B
					Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	Al ³⁺ + H ⁺															
Latossolo Vermelho Distrófico típico																							
1	A	5,80	6,30	-0,50	3,60	0,20	0,00	1,86	32,00	3,53	3,88	3,88	5,74	0,00	67,63	18,13	31,40	20,22	0,80	69,04	8,94	0,75	0,21
	Bw	5,60	5,00	0,60	0,10	0,10	0,00	1,66	26,00	0,00	0,27	0,27	1,93	0,00	13,82			2,31	0,04	15,85	0,39	0,39	0,17
Cambissolo Háplico Tb Distrófico típico																							
3	A	4,30	4,80	-0,50	0,10	0,10	1,30	6,30	24,00	1,13	0,26	1,56	6,56	83,33	3,99	13,63	23,60	11,37	0,37	101,26	2,05	0,88	0,21
	Bi	4,30	4,70	-0,40	0,10	0,10	1,00	4,04	8,00	0,00	0,22	1,22	4,26	81,97	5,18			12,53	0,19	52,75	1,76	0,84	0,13
Nitossolo Vermelho Distrófico latossólico																							
6	A	5,60	6,40	-0,80	2,80	0,80	0,00	1,86	208,00	45,08	4,13	4,13	5,99	0,00	69,00	16,57	28,70	15,59	3,52	30,73	37,83	1,72	0,19
	Bt	4,70	4,60	0,10	0,10	0,10	0,10	2,90	30,00	0,28	0,28	0,38	3,18	26,32	8,71			3,42	0,24	26,25	2,46	2,33	0,21
	Bw	5,50	5,00	0,50	0,20	0,10	0,00	1,86	30,00	0,28	0,38	0,38	2,24	0,00	16,83			2,10	0,19	33,48	0,74	1,51	0,15

Em que pH em água, KCl e CaCl₂ (relação 1:2,5); SB = soma de bases trocáveis; CTC (T) = Capacidade de Troca Catiônica a pH 7,0; m = Índice de Saturação de Alumínio; CTC (t) = CTC efetiva; V = Índice de Saturação de Bases; C = carbono orgânico e MO = matéria orgânica. Extratores: P, K, Fe, Zn, Mn, Cu: Mehlich I / Ca, Mg, Al: KCl 1mol/L / H + Al: SMP / MO: Oxidação Na₂Cr₂O₇ 4N + H₂SO₄ 10N; P-rem: fósforo Remanescente; B – Extrato água quente.

3.2.2.2 Caracterização solos da área-piloto central – B

A partir da caracterização da distribuição dos solos na área-piloto norte - A, foi confirmado e estabelecido o padrão de distribuição dos solos na região. Assim, a partir da área-piloto central - B, 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 sequências de perfis foram denominadas de curvo-sequências, ao longo de encostas com classes de declividade uniformes. As classes de declividade do terreno nas curvo-sequências foram avaliadas por intermédio de leituras com o clinômetro.

Desta forma foram avaliadas as classes de solo nas encostas, ao longo de curvo-sequências, nas seguintes porções de curvatura distinta: porção convexa do terreno (em ambos os flancos das encostas); porção transicional convexo-côncava (em ambos os flancos das encostas) e porção côncava, com desenvolvimento de ravinas e nascentes encaixadas, localizadas na porção central da curvo-sequência

Na área-piloto central - B (Figura 21) foram avaliados quatro perfis pedológicos. O perfil 7 localiza-se em área de relevo convexo, com 35% de declividade; o perfil 8 também se encontra em local de relevo convexo, porém com declividade de 25%; o perfil 9 está localizado no início da transição convexo-côncavo, ao longo de uma ravina, e em declividade de 55%; o perfil 10 está localizado no flanco oposto ao perfil 9, também em transição convexo-côncavo, em relevo com declividade de 45%.

Na área piloto B, foi realizada a descrição morfológica completa e coleta de solos para análises laboratoriais dos perfis 7 e 9 (Santos et al. 2005), uma vez que os perfis 8 e 10

correspondem a mesma classe de solo dos perfis 7 e 9, respectivamente. Os resultados das análises químicas, físicas e dos óxidos constituinte ao ataque sulfúrico encontram-se nas tabelas 11, 12 e 13.

O perfil 7 é constituído por Latossolo Vermelho Ácrico típico, assim como o perfil 8. O solo do perfil 9 foi classificado como Nitossolo Vermelho Distrófico típico, mesma classe do perfil 10 (Figuras 22 e 23). Na porção côncava do terreno disposta em uma ravina entre os perfis 8 e 10 não foi possível a caracterização do solo em função da elevada declividade, provavelmente trata-se, também de Cambissolo Háplico.

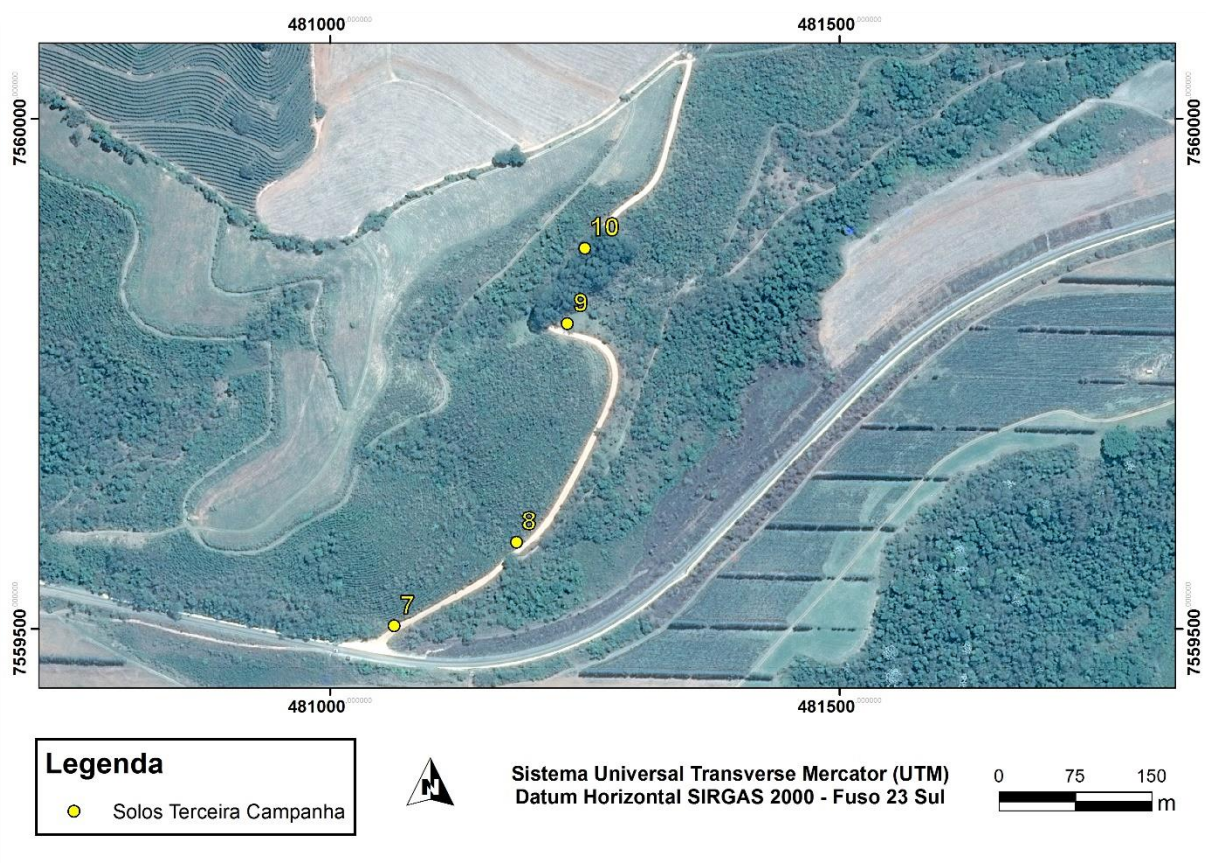


Figura 21 - Localização dos pontos de observação dos solos da Terceira Campanha. Área-Piloto B - Município de Carmo de Minas, MG.



Figura 22 - Perfil 7: Latossolo Vermelho Ácrico típico.



Figura 23 - Perfil 9: Nitossolo Vermelho Distrófico típico.

Tabela 10 - Características morfológicas dos solos estudados na área-piloto B – Município de Carmo de Minas, MG.

Perfil	Hor.	Prof.	Cor	Estrutura	Cerosidade	Consistência	Transição
Latossolo Vermelho Ácrico típico							
	A	0 – 25 cm	5 YR 3/3 (úmida) e 5 YR 3/4 (seca)	Moderada, pequena grumosa	-	Ligeiramente dura, friável ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa	Ondulada e gradual
7	AB 1	25 – 50 cm	5 YR 4/3 (úmida) e 5 YR 4/4 (seca)	Moderada, pequena a muito pequena granular	-	Ligeiramente dura, friável ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa	Ondulada e gradual
	AB 2	50 – 94 cm	5 YR 4/4 (úmida) e 5 YR 4/6 (seca)	Forte muito pequena granular	-	Macia, friável ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa	Ondulada e gradual
	BA	94 – 143 cm	2,5 YR 3/6 (úmida) e 2,5 YR 4/6 (seca)	Forte muito pequena granular	-	Macia, muito friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa	Ondulada e difusa
	Bw	143 – 220 cm+	2,5 YR 4/6 (úmida) e 2,5 YR 4/8 (seca)	Forte muito pequena granular	-	Macia, muito friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa	Ondulada e difusa
Nitossolo Vermelho Distrófico típico							
	A	0 – 25 cm	5 YR 3/4 (úmida) e 5 YR 4/4 (seca)	Moderada pequena grumosa	-	Ligeiramente dura, friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa	Ondulada e gradual
9	AB	25 – 67 cm	5 YR 4/6 (úmida) e 5 YR 4/8 (seca)	Moderada muito pequena blocos subangulares	-	Ligeiramente dura, friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa	Ondulada e gradual
	Bt	67 – 87 cm	2,5 YR 4/6 (úmida) e 2,5 YR 4/8 (seca)	Moderada muito pequena blocos subangulares	Comum e moderada	Ligeiramente dura, friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa	Ondulada e gradual
	BC	87 – 120 cm	2,5 YR 4/8 (úmida) e 2,5 YR 5/8 (seca)	Moderada muito pequena blocos subangulares	-	Ligeiramente dura, friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa	Ondulada e gradual
	C	120 – 280 cm+	2,5 YR 6/4 (úmida) e 2,5 YR 6/6 (seca)	Moderada muito pequena blocos subangulares	-	Ligeiramente dura, friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa	-

Tabela 11 - Caracterização química dos solos estudados na área-piloto B – Município de Carmo de Minas, MG.

Id	Hor	pH (KCl)	pH (H ₂ O)	ΔpH	Bases trocáveis				K ⁺	P	SB	t	T	m	V	C	MO	P-rem	Zn	Fe	Mn	Cu	B
					Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	Al ³⁺ + H ⁺															
Latossolo Vermelho Ácrico típico																							
7	A	4,60	5,30	-0,70	1,20	0,30	0,20	5,64	34,00	2,60	1,59	1,79	7,23	11,17	21,95	25,69	44,50	12,13	1,04	38,29	19,90	0,48	0,26
	Bw	5,70	5,70	0,00	0,10	0,10	0,00	1,66	4,00	0,00	0,21	0,21	1,87	0,00	11,24			2,52	0,10	17,58	0,58	0,33	0,17
Nitossolo Vermelho Distrófico típico																							
9	A	4,60	5,20	-0,60	1,20	0,10	0,30	4,52	28,00	1,42	1,37	1,67	5,89	17,96	23,29	15,07	26,10	18,95	0,49	60,04	24,44	1,66	0,19
	Bt	4,90	5,40	-0,50	0,10	0,10	0,20	2,32	8,00	0,00	0,22	0,42	2,54	47,62	8,68			3,54	0,13	20,18	2,98	1,30	0,15

Em que pH em água, KCl e CaCl₂ (relação 1:2,5); SB = soma de bases trocáveis; CTC (T) = Capacidade de Troca Catiônica a pH 7,0; m = Índice de Saturação de Alumínio; CTC (t) = CTC efetiva; V = Índice de Saturação de Bases; C = carbono orgânico e MO = matéria orgânica. Extratores: P, K, Fe, Zn, Mn, Cu: Mehlich I / Ca, Mg, Al: KCl 1mol/L / H + Al: SMP / MO: Oxidação Na₂Cr₂O₇ 4N + H₂SO₄ 10N; P-rem: fósforo Remanescente; B – Extrato água quente.

Tabela 12 - Características física dos solos estudados na área-piloto B – Município de Carmo de Minas, MG.

Perfil	Hor	Dp g cm ⁻³	Textura			Silte/Argila	B/A
			Argila	Silte dag kg ⁻¹	Areia		
Latossolo Vermelho Ácrico típico							
7	A	2,50	46,00	8,00	46,00	0,17	
	Bw	2,63	56,00	6,00	38,00	0,11	1,22
Nitossolo Vermelho Distrófico típico							
9	A	2,67	46,00	18,00	36,00	0,39	
	Bt	2,56	48,00	22,00	30,00	0,46	1,04

Tabela 13 - Teores de óxidos constituintes extraídos pelo ataque sulfúrico dos solos estudados na área-piloto B – Município de Carmo de Minas, MG.

Perfil	Hor	Ataque Sulfúrico					Al ₂ O ₃ / Fe ₂ O ₃
		SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Ki	Kr	
%							
Latossolo Vermelho Ácrico típico							
7	Bw	8,86	21,69	10,76	0,69	0,53	3,16
Nitossolo Vermelho Distrófico típico							
9	Bt	20,43	23,80	12,38	1,46	1,09	3,02

3.2.2.3 Caracterização dos solos da área-piloto central - C

Na área-piloto central - C (Figura 24) foram avaliados oito perfis pedológicos. O perfil 11 localiza-se em área plana de topo; o perfil 12 localiza-se em relevo convexo, com 25% de declividade; o perfil 13 ocorre em relevo convexo com 15% de declividade; os perfis 14 e 15 ocorrem em relevo convexo com 20% de declividade; o perfil 16 está em local de relevo convexo, com 45% de declividade; o perfil 17 apresenta transição de relevo de transição côncavo-convexo com declividade em torno de 50%; perfil 18 em relevo convexo com declividade de 55%.

Foi realizada a descrição morfológica completa dos perfis 11, 12, 13, 17 e 18 (Santos et al. 2005), uma vez que os perfis 14, 15 e 16 correspondem a mesma classe de solo do perfil 13. Os resultados das análises químicas, físicas e dos óxidos constituinte ao ataque sulfúrico encontram-se nas tabelas 15, 16 e 17.

O perfil 11, localizado na área plana de topo, consiste em um Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico húmico. Por sua vez, o perfil 12, corresponde a um Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico; o perfil 13 foi caracterizado como Latossolo Vermelho Ácrico húmico, assim como os perfis 14, 15 e 16. O perfil 17 corresponde a um Nitossolo Háplico Distrófico típico; o perfil 18 corresponde a um Nitossolo Vermelho Distrófico úmbrico.

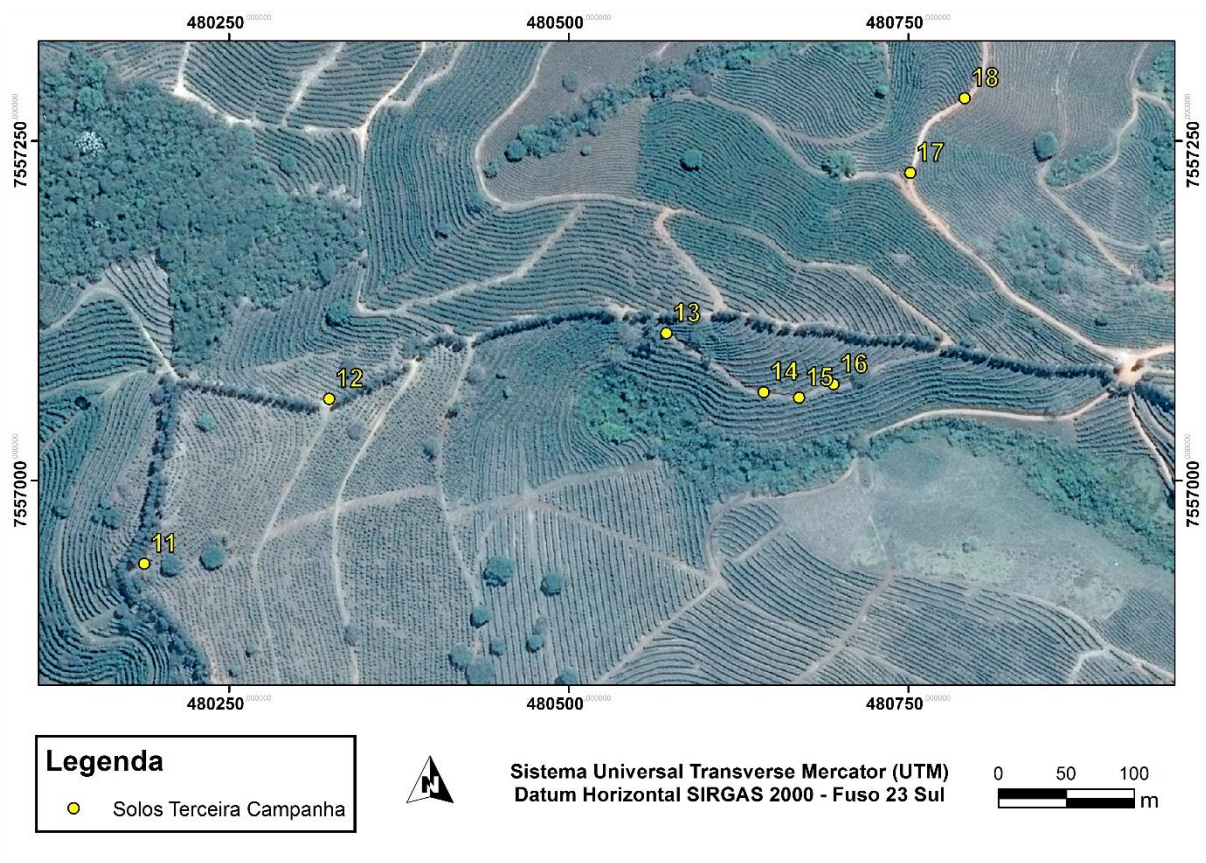


Figura 24 - Localização dos pontos de observação dos solos da Terceira Campanha. Área-Piloto C - Município de Carmo de Minas, MG.



Figura 25 - Perfil 11: Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico húmico.



Figura 26 - Perfil 12: Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico.

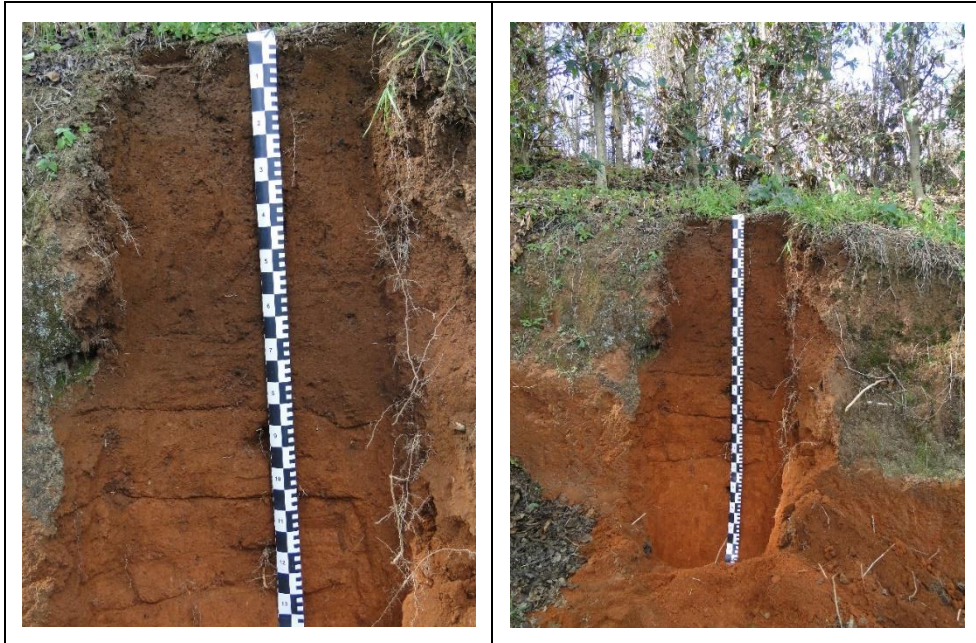


Figura 27 - Perfil 13: Latossolo Vermelho Ácrico húmico.



Figura 28 - Perfil 17: Nitossolo Háplico Distrófico típico.



Figura 29 - Perfil 18: Nitossolo Vermelho Distrófico úmbrico.

Tabela 14 - Características morfológicas dos solos estudados na área-piloto C – Município de Carmo de Minas, MG.

Perfil	Hor.	Prof.	Cor	Estrutura	Cerosidade	Consistência	Transição
Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico húmico							
A1	0 – 45 cm	7,5 YR 3/2 (úmida) e 7,5 YR 4/2 (seca)	Moderada média a pequena grumosa	-	Dura, friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa	Ondulada e gradual	
A2	45 – 78 cm	7,5 YR 3/4 (úmida) e 7,5 YR 4/4 (seca)	Moderada pequena a muito pequena granular	-	Dura, friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa	Ondulada e gradual	
AB	78 – 119 cm	7,5 YR 4/4 (úmida) e 7,5 YR 4/6 (seca)	Moderada muito pequena granular	-	Ligeiramente dura, friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa	Ondulada e gradual	
11	Bw	119 – 160 cm	5 YR 4/4 (úmida) e 7,5 YR 4/6 (seca)	Moderada muito pequena granular	-	Ligeiramente dura, friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa	Ondulada e gradual
	2Ab	160 – 200 cm	5 YR 2,5/2 (úmida) e 5 YR 3/2 (seca)	Moderada média a pequena blocos subangulares	-	Dura, firme, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa	Ondulada e gradual
	2ABb	200 – 220 cm	7,5 YR 4/4 (úmida) e 7,5 YR 4/6 (seca)	Forte pequena a muito pequena granular	-	Ligeiramente dura, friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa	Ondulada e clara
	2Bwb1	220 – 247 cm	5 YR 5/6 (úmida) e 5 YR 5/8 (seca)	Forte muito pequena granular	-	Macia, muito friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa	Ondulada e difusa

Perfil	Hor.	Prof.	Cor	Estrutura	Cerosidade	Consistência	Transição
	2Bwb2	247 – 291 cm	7,5 YR 5/6 (úmida) e 7,5 YR 5/8 (seca)	Forte muito pequena granular	-	Macia, muito friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa	Ondulada e difusa
	2BCb	291 – 304 cm+	2,5 YR 3/6 (úmida) e 2,5 YR 4/6 (seca)	Forte muito pequena granular	-	Macia, muito friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa	Ondulada e gradual
Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico							
12	A	0 – 45 cm	2,5 YR 2,5/2 (úmida) e 2,5 YR 3/2 (seca)	Moderada média a pequena grumosa	-	Ligeiramente dura, friável, ligeiramente plástica, ligeiramente pegajosa	Ondulada e gradual
	AB	45 – 70 cm	2,5 YR 3/4 (úmida) e 2,5 YR 3/6 (seca)	Forte muito pequena granular	-	Macia, friável, ligeiramente plástica, ligeiramente pegajosa	Ondulada e difusa
	Bw	70 – 130 cm	5 YR 5/6 (úmida) e 5 YR 5/8 (seca)	Forte muito pequena granular	-	Macia, muito friável, ligeiramente plástica, ligeiramente pegajosa	Ondulada e difusa
Latossolo Vermelho Ácrico húmico							
13	A	0 – 87 cm	5 YR 3/3 (úmida) e 5 YR 3/4 (seca)	Moderada pequena grumosa	-	Marcia, friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa	Ondulada e gradual
	AB	87 – 106 cm	5 YR 4/4 (úmida) e 5 YR 4/6 (seca)	Forte pequena granular	-	Marcia, friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa	Ondulada e gradual
	BA	106 – 128 cm	2,5 YR 4/4 (úmida) e 2,5 YR 4/6 (seca)	Forte muito pequena granular	-	Macia, muito friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa	Ondulada e gradual
	Bw	128 – 173 cm+	2,5 YR 4/6 (úmida) e 2,5 YR 4/8 (seca)	Forte muito pequena granular	-	Macia, muito friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa	-
Nitossolo Háptico Distrófico típico							
17	A	0 – 20 cm	5 YR 2/4 (úmida) e 5 YR 3/4 (seca)	Forte média a pequena blocos subangulares	-	Dura, firme, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa	Ondulada e gradual
	AB	20 – 40 cm	5 YR 3/4 (úmida) e 5 YR 4/4 (seca)	Moderada pequena blocos subangulares	-	Dura, firme, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa	Ondulada e gradual
	BA	40 – 52 cm	5 YR 4/4 (úmida) e 5 YR 4/6 (seca)	Moderada pequena blocos subangulares	-	Ligeiramente dura, firme, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa	Ondulada e gradual
	Bt1	52 – 80 cm	5 YR 3/6 (úmida) e 5 YR 4/6 (seca)	Moderada pequena blocos subangulares	Comum e moderada	Ligeiramente dura, firme, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa	Ondulada e gradual
	Bt2	80 – 112 cm	5 YR 4/8 (úmida) e 5 YR 5/8 (seca)	Moderada muito pequena blocos subangulares	Comum e moderada	Ligeiramente dura, firme, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa	Ondulada e gradual
	BC	112 – 130 cm	5 YR 5/6 (úmida) e 5 YR 5/6 (seca)	Moderada muito pequena blocos subangulares		Ligeiramente dura, firme, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa	Ondulada e gradual
	C1	130 – 160 cm	2,5 Y 5/3 (úmida) e 2,5Y 5/4 (seca)	Moderada muito pequena blocos subangulares		Macia, friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa	Ondulada e gradual

Perfil	Hor.	Prof.	Cor	Estrutura	Cerosidade	Consistência	Transição	
18	C2	160 – 190 cm+		Moderada muito pequena blocos subangulares		Macia, friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa	-	
	Nitossolo Vermelho Distrófico úmbrico							
	A	0 – 30 cm	5 YR 3/3 (úmida) e 5 YR 3/4 (seca)	Moderada pequena a média blocos subangulares	-	Dura, muito firme, ligeiramente plástica a ligeiramente pegajosa	Ondulada e gradual	
	Bt1	30 – 82 cm	2,5 YR 3/4 (úmida) e 2,5 YR 3/6 (seca)	Forte muito pequena blocos subangulares	Comum e moderada	Dura, firme, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa	Ondulada e gradual	
	Bt2	82 – 140 cm	2,5 YR 4/4 (úmida) e 2,5 YR 4/6 (seca)	Moderada muito pequena blocos subangulares	Comum e moderada	Ligeiramente dura, friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa	Ondulada e gradual	
BC	140 – 160 cm+	2,5 YR 4/6 (úmida) e 2,5 YR 4/8 (seca)	Moderada pequena blocos subangulares	-	Ligeiramente dura, friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa	-		

Tabela 15 - Teores de óxidos constituintes extraídos pelo ataque sulfúrico dos solos estudados na área-piloto C – Município de Carmo de Minas, MG.

Perfil	Hor	Ataque Sulfúrico					Al ₂ O ₃ / Fe ₂ O ₃
		SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Ki	Kr	
%							
Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico húmico							
11	Bw	20,93	21,55	13,00	1,65	1,19	2,60
	2Bwb1	21,31	20,54	14,50	1,76	1,21	2,22
Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico							
12	Bw	14,87	20,95	9,24	1,21	0,94	3,56
Latossolo Vermelho Ácrico húmico							
13	Bw	13,45	24,54	11,34	0,93	0,72	3,40
Nitossolo Háptico Distrófico típico							
17	Bt1	24,07	20,79	21,60	1,97	1,18	1,51
	Bt2	23,77	20,77	19,35	1,95	1,22	1,69
Nitossolo Vermelho Distrófico úmbrico							
18	Bt1	21,42	22,89	12,38	1,59	1,18	2,90
	Bt2	19,38	20,24	12,21	1,63	1,17	2,60

Tabela 16 - Caracterização química dos solos estudados na área-piloto C – Município de Carmo de Minas, MG.

Id	Hor	pH (KCl)	pH (H ₂ O)	DpH	Bases trocáveis				K ⁺ _mg dm ⁻³ _	P	SB	t	T	m	V	C	MO	P-rem	Zn	Fe	Mn	Cu	B
					Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	Al ³⁺ + H ⁺															
Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico húmico																							
11	A1	5,00	5,70	-0,70	3,10	1,20	0,10	4,04	106,00	2,00	4,57	4,67	8,61	2,14	53,10	25,69	44,50	17,71	5,65	29,58	25,15	2,18	0,31
	Bw	5,30	4,80	0,50	0,10	0,10	0,10	2,32	22,00	0,00	0,26	0,36	2,58	27,78	9,94			3,30	0,07	32,62	1,59	0,66	0,10
	2Ab	4,50	4,90	-0,40	0,30	0,20	0,70	9,83	10,00	0,56	0,53	1,23	10,36	56,91	5,07	23,04	39,90	1,16	0,46	17,11	1,17	1,39	0,15
	2Bwb1	5,80	4,90	0,90	0,10	0,20	0,00	1,66	20,00	1,42	0,35	0,35	2,01	0,00	17,48			2,00	0,10	40,49	0,38	0,39	0,17
Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico																							
12	A	4,30	5,00	-0,70	1,70	0,20	0,50	8,80	120,00	2,30	2,21	2,71	11,01	18,45	20,05	21,36	37,00	13,33	5,32	61,82	11,36	2,55	0,24
	Bw	5,50	4,80	0,70	0,10	0,10	0,10	2,32	8,00	0,00	0,22	0,32	2,54	31,25	8,68			3,19	0,11	13,35	0,46	0,78	0,15
Latossolo Vermelho Ácrico húmico																							
13	A	4,30	5,30	-1,00	0,40	0,10	1,00	7,04	18,00	2,91	0,55	1,55	7,59	64,52	7,20	15,82	27,40	10,26	1,60	56,52	7,55	1,54	0,10
	Bw	5,40	5,10	0,30	0,10	0,10	0,00	2,08	6,00	1,13	0,22	0,22	2,30	0,00	9,36			3,66	0,22	19,58	2,49	0,70	0,13
Nitossolo Háptico Distrófico típico																							
17	A	5,10	5,90	-0,80	2,40	0,70	0,10	3,24	76,00	3,53	3,29	3,39	6,53	2,95	50,46	16,57	28,70	16,51	7,17	32,02	36,48	2,61	0,21
	Bt1	5,70	5,90	-0,20	0,90	0,30	0,10	1,66	8,00	1,71	1,22	1,32	2,88	7,58	42,38			6,12	0,24	37,42	6,58	0,72	0,17
	Bt2	5,80	6,10	-0,30	1,10	0,20	0,10	1,66	10,00	2,00	1,33	1,43	2,99	6,99	44,34			14,17	0,35	44,76	7,70	0,93	0,15
Nitossolo Vermelho Distrófico úmbrico																							
18	A	5,10	5,80	-0,70	2,10	0,60	0,10	2,90	72,00	4,80	2,88	2,98	5,78	3,36	49,91	12,88	22,30	18,95	5,79	19,80	21,51	1,65	0,26
	Bt1	4,20	4,60	-0,40	0,10	0,10	1,20	4,52	8,00	2,30	0,22	1,42	4,74	84,51	4,65			6,12	0,34	29,61	0,97	0,97	0,10
	Bt2	4,20	4,40	-0,20	0,10	0,10	1,10	4,52	10,00	2,60	0,23	1,33	4,75	82,71	4,75			4,72	0,31	44,09	0,55	0,74	0,15

Em que pH em água, KCl e CaCl₂ (relação 1:2,5); SB = soma de bases trocáveis; CTC (T) = Capacidade de Troca Catiônica a pH 7,0; m = Índice de Saturação de Alumínio; CTC (t) = CTC efetiva; V = Índice de Saturação de Bases; C = carbono orgânico e MO = matéria orgânica. Extratores: P, K, Fe, Zn, Mn, Cu: Mehlich I / Ca, Mg, Al: KCl 1mol/L / H + Al: SMP / MO: Oxidação Na₂Cr₂O₇ 4N + H₂SO₄ 10N; P-rem: fósforo Remanescente; B – Extrato água quente.

Tabela 17 - Características física dos solos estudados na área-piloto C – Município de Carmo de Minas, MG.

Perfil	Hor	Dp g cm ⁻³	Textura			Silte/Argila	B/A
			Argila	Silte dag kg ⁻¹	Areia		
Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico húmico							
11	A1	2,56	540,00	120,00	340,00	0,22	
	Bw	2,67	580,00	120,00	300,00	0,21	1,07
	2Ab	2,56	640,00	120,00	240,00	0,19	
	2Bwb1	2,70	470,00	190,00	340,00	0,40	0,73
Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico							
12	A	2,53	47,00	6,00	47,00	0,13	
	Bw	2,70	48,00	12,00	40,00	0,25	1,02
Latossolo Vermelho Ácrico húmico							
13	A	2,56	47,00	16,00	37,00	0,34	
	Bw	2,63	53,00	14,00	33,00	0,26	1,13
Nitossolo Háptico Distrófico típico							
17	A	2,56	48,00	24,00	28,00	0,50	
	Bt1	2,70	30,00	38,00	32,00	1,27	0,63
	Bt2	2,60	26,00	33,00	41,00	1,27	0,54
Nitossolo Vermelho Distrófico úmbrico							
18	A	2,60	47,00	14,00	39,00	0,30	
	Bt1	2,67	65,00	8,00	27,00	0,12	1,38
	Bt2	2,70	50,00	18,00	32,00	0,36	1,06

3.2.2.4 Caracterização dos perfis pedológicos da área-piloto D

Na área-piloto D foram avaliados cinco perfis pedológicos em curvo-sequência (Figura 30). Os perfis 19 e 23 localizam-se nas porções convexas do terreno nos flancos opostos das encostas; o perfil 21 encontra-se próximo a uma nascente, que proporciona a evolução de concavidade no terreno. Já os perfis 20 e 22, localizam-se em flancos opostos da encosta, em posição de transição da curvatura do terreno de convexo para côncavo. Desta forma, os perfis 19 e 23, assim como os perfis 20 e 22 representam as mesmas classes de solos. A caracterização morfológica, física e química dos solos estão apresentadas nas tabelas 18 a 21.

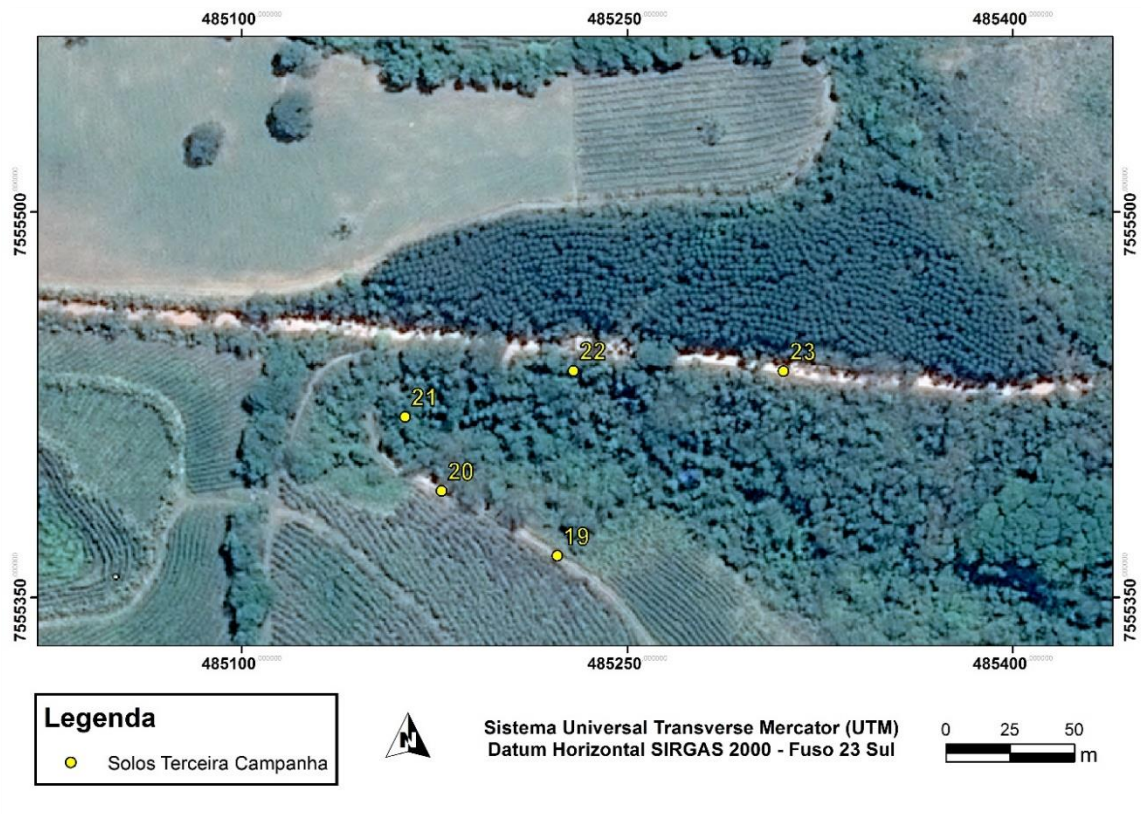


Figura 30 - Localização dos pontos de observação dos solos da Terceira Campanha. Área-Piloto D - Município de Carmo de Minas, MG.

Nessa área-piloto foi realizada a descrição completa dos solos dos perfis 19, 20 e 21, uma vez que o perfil 22 e 23 correspondem as mesmas classes de solo localizados nos pontos 20 e 19, respectivamente.

O perfil 19 é constituído por Latossolo Vermelho Distrófico típico, assim como o perfil 23. Já os solos dos perfis 20 e 22 foram caracterizados e classificados como Nitossolo Vermelho Distrófico latossólico; e o perfil 21 é representado por Cambissolo Háplico Tb Distrófico úmbrico (Figuras 31, 32 e 33).



Figura 31 - Perfil 19: Latossolo Vermelho Distrófico típico.



Figura 32 - Perfil 20: Nitossolo Vermelho Distrófico latossólico.

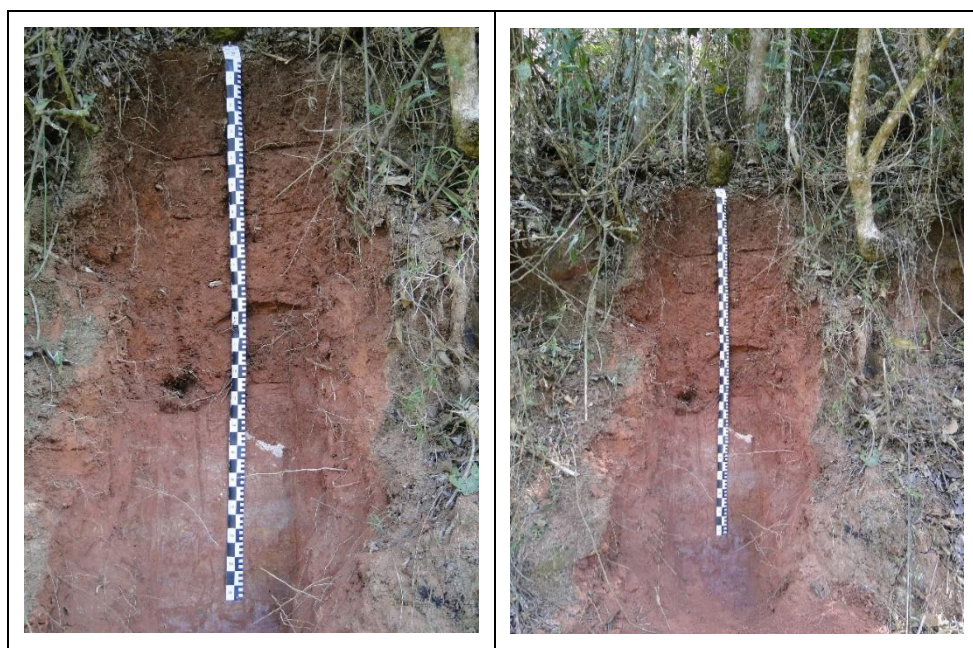


Figura 33 - Perfil 21: Cambissolo Háplico Tb Distrófico úmbrico.

Tabela 18 - Características morfológicas dos solos estudados na área-piloto - D – Município de Carmo de Minas, MG.

Perfil	Hor.	Prof.	Cor	Estrutura	Cerosidade	Consistência	Transição
Latossolo Vermelho Distrófico típico							
19	A	0 – 40 cm	5 YR 3/3 (úmida) e 5 YR 3/4 (seca)	Moderada muito pequena grumosa	-	Ligeiramente dura, muito friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa	Ondulada e gradual
	AB	40 – 70 cm	2,5 YR 3/4 (úmida) e 2,5 YR 4/4 (seca)	Forte muito pequena granular	-	Ligeiramente dura, muito friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa	Ondulada e difusa
	Bw	70 cm+	2,5 YR 4/6 (úmida) e 2,5 YR 4/8 (seca)	Forte muito pequena granular	-	Macia, muito friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa	Ondulada e difusa
Nitossolo Vermelho Distrófico latossólico							
20	A	0 – 52 cm	2,5 YR 3/4 (úmida) e 2,5 YR 3/6 (seca)	Moderada pequena grumosa	-	Dura, firme, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa	Ondulada e gradual
	AB	52 – 78 cm	2,5 YR 3/6 (úmida) e 2,5 YR 4/6 (seca)	Moderada pequena blocos subangulares	-	Ligeiramente dura, firme, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa	Ondulada e gradual
	Bt	78 – 108 cm	2,5 YR 4/4 (úmida) e 2,5 YR 4/6 (seca)	Moderada pequena blocos subangulares	Comum e moderada	Ligeiramente dura, friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa	Ondulada e gradual
	Bw	108 - 133 cm	2,5 YR 4/6 (úmida) e 2,5 YR 4/8 (seca)	Forte muito pequena granular	-	Macia, muito friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa	Ondulada e difusa

Perfil	Hor.	Prof.	Cor	Estrutura	Cerosidade	Consistência	Transição
	BwC	133 - 183 cm	2,5 YR 4/8 (úmida) e 2,5 YR 5/6 (seca)	Forte muito pequena granular	-	Macia, muito friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa	Ondulada e difusa
	C	183 - 237 cm+	2,5 YR 5/6 (úmida) e 2,5 YR 5/8 (seca)	Forte muito pequena granular	-	Macia, muito friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa	-
Cambissolo Háptico Tb Distrófico úmbrico							
	A	0 - 40 cm	2,5 YR 2,5/2 (úmida) e 2,5 YR 2,5/4 (seca)	Moderada pequena grumosa	-	Ligeiramente dura, friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa	Ondulada e gradual
21	AB	40 - 60 cm	2,5 YR 3/6 (úmida) e 2,5 YR 3/4 (seca)	Moderada pequena blocos subangulares	-	Ligeiramente dura, friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa	Ondulada e gradual
	Bi	60 - 128 cm	2,5 YR 4/6 (úmida) e 2,5 YR 4/4 (seca)	Fraca pequena a muito pequena blocos subangulares	-	Ligeiramente dura, friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa	Ondulada e gradual
	C	128 - 135 cm+	2,5 YR 5/3 (úmida) e 2,5 YR 5/2 (seca)	Fraca muito pequena blocos subangulares	-	Ligeiramente dura, friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa	-

Tabela 19 - Teores de óxidos constituintes extraídos pelo ataque sulfúrico dos solos estudados na área-piloto D – Município de Carmo de Minas, MG.

Perfil	Horiz.	Ataque Sulfúrico			Ki	Kr	Al ₂ O ₃ / Fe ₂ O ₃
		SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃			
%							
Latossolo Vermelho Distrófico típico							
19	Bw	16,41	21,05	9,60	1,32	1,03	3,44
Nitossolo Vermelho Distrófico latossólico							
20	Bt	19,39	21,10	9,89	1,56	1,20	3,35
	Bw	18,30	21,58	11,63	1,44	1,07	2,91
Cambissolo Háptico Tb Distrófico úmbrico							
21	Bi	21,76	20,65	10,32	1,79	1,36	3,14

Tabela 20 - Caracterização química da curvo-sequência estudada na área-piloto - D – Município de Carmo de Minas, MG.

Id.	Hor	pH (KCl)	pH H ₂ O	ΔpH	Bases trocáveis				K ⁺	P	SB	t	T	m	V	C	MO	P-rem	Zn	Fe	Mn	Cu	B
					Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	Al ³⁺ + H ⁺															
LVd - Latossolo Vermelho Distrófico típico																							
19	A	4,30	4,90	-0,60	0,10	0,10	1,10	7,87	16,00	0,84	0,24	1,34	8,11	82,09	2,97	11,49	19,90	6,92	0,44	53,46	3,21	0,93	0,26
	Bw	4,60	5,00	-0,40	0,10	0,10	0,30	3,24	4,00	1,13	0,21	0,51	3,45	58,82	6,09			4,87	0,16	14,78	1,14	0,45	0,08
NVd - Nitossolo Vermelho Distrófico latossólico																							
20	A	4,30	4,80	-0,50	0,10	0,10	1,10	6,30	14,00	0,84	0,24	1,34	6,54	82,09	3,61	11,49	19,90	9,56	0,33	54,67	2,22	0,86	0,21
	Bt	4,60	4,70	-0,10	0,10	0,10	0,30	3,62	4,00	0,84	0,21	0,51	3,83	58,82	5,49			5,47	0,11	18,06	1,39	0,57	0,10
	Bw	4,80	4,70	0,10	0,10	0,10	0,10	2,59	4,00	1,13	0,21	0,31	2,80	32,26	7,51			5,16	0,11	15,06	1,24	0,45	0,08
CXbd - Cambissolo Háplico Tb Distrófico úmbrico																							
21	A	4,30	4,90	-0,60	0,10	0,10	1,40	7,87	22,00	1,71	0,26	1,66	8,13	84,34	3,15	20,55	35,60	8,53	0,42	57,75	4,13	0,52	0,13
	Bi	4,50	5,10	-0,60	0,10	0,10	0,80	4,52	6,00	0,28	0,22	1,02	4,74	78,43	4,54			12,92	0,19	53,02	3,55	0,36	0,08

Em que pH em água, KCl e CaCl₂ (relação 1:2,5); SB = soma de bases trocáveis; CTC (T) = Capacidade de Troca Catiônica a pH 7,0; m = Índice de Saturação de Alumínio; CTC (t) = CTC efetiva; V = Índice de Saturação de Bases; C = carbono orgânico e MO = matéria orgânica. Extratores: P, K, Fe, Zn, Mn, Cu: Mehlich I / Ca, Mg, Al: KCl 1mol/L / H + Al: SMP / MO: Oxidação Na₂Cr₂O₇ 4N + H₂SO₄ 10N; P-rem: fósforo Remanescente; B – Extrato água quente.

Tabela 21 - Características física dos solos estudados na área-piloto D – Município de Carmo de Minas, MG.

Perfil.	Hor	Dp g cm ⁻³	Textura			Silte/Argila	(B/A)
			Argila	Silte	Areia		
g kg ⁻¹							
Latossolo Vermelho Distrófico típico							
19	A	2,60	470,00	150,00	380,00	0,32	
	Bw	2,63	550,00	90,00	360,00	0,16	1,17
Nitossolo Vermelho Distrófico latossólico							
20	A	2,56	470,00	140,00	390,00	0,30	
	Bt	2,67	500,00	150,00	350,00	0,30	1,06
	Bw	2,67	510,00	140,00	350,00	0,27	1,09
Cambissolo Háptico Tb Distrófico úmbrico							
21	A	2,53	420,00	190,00	390,00	0,45	
	Bi	2,63	520,00	120,00	360,00	0,23	1,24

3.2.2.5 Caracterização dos perfis pedológicos da área-piloto E

Na área-piloto - E foram avaliados três perfis pedológicos (Figura 34). O perfil 24 localiza-se na área plano de topo e é constituído por Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico úmbrico; o perfil 25 trata-se de uma Nitossolo Vermelho Distroférico latossólico e encontra-se em relevo côncavo-convexo com declividade de aproximadamente 60%; o perfil 26 (Cambissolo Háptico Tb Distrófico típico) em relevo côncavo em declividade de aproximadamente 70%. A caracterização morfológica, física e químicas dos solos estão apresentadas nas tabelas 22 a 25.

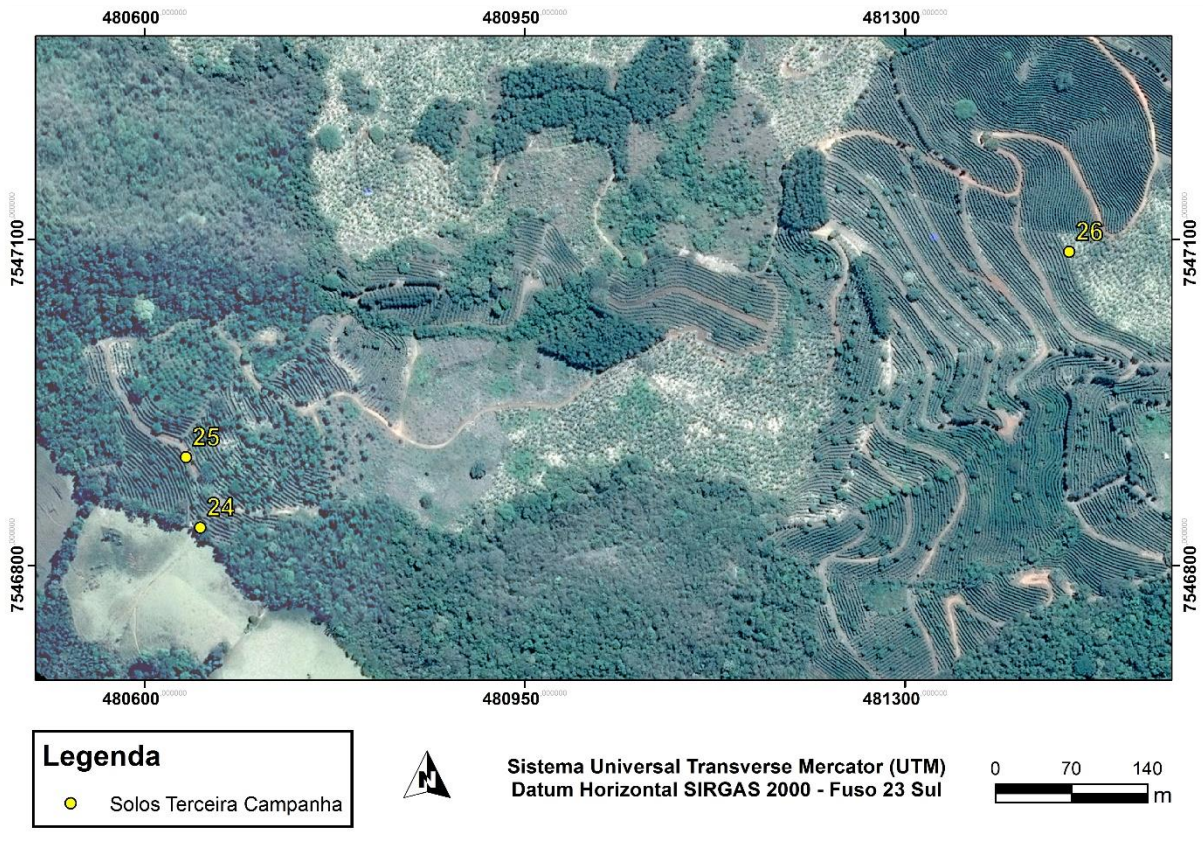


Figura 34 - Localização dos pontos de observação dos solos da Terceira Campanha. Área-Piloto E - Município de Carmo de Minas, MG.



Figura 35 - Perfil 24: Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico úmbrico.



Figura 36 - Perfil 25: Nitossolo Vermelho Distroférrico latossólico.



Figura 37 - Perfil 26: Cambissolo Háptico Tb Distrófico típico.

Tabela 22 - Características morfológicas dos solos estudados na área-piloto E – Município de Carmo de Minas, MG.

Perfil	Hor.	Prof.	Cor	Estrutura	Cerosidade	Consistência	Transição
Latossolo Vermelho Amarelo Distrófico úmbrico							
24	A	0 – 20 cm	5 YR 3/1 (úmida) e 5 YR 3/2 (seca)	Moderada pequena a muito pequena grumosa	-	Dura, friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa	Ondulada e gradual
	AB	20 – 30 cm	5 YR 3/2 (úmida) e 5 YR 4/2 (seca)	Moderada muito pequena grumosa	-	Ligeiramente dura, friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa	Ondulada e gradual
	BA	30 – 45 cm	5 YR 4/3 (úmida) e 5 YR 4/4 (seca)	Forte muito pequena granular	-	Macia, muito friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa	Ondulada e gradual
	Bw	45 – 90 cm	5 YR 4/4 (úmida) e 5 YR 4/6 (seca)	Forte muito pequena granular	Pouca e fraca	Macia, muito friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa	Ondulada e difusa
	BC	90 – 120 cm	5 YR 4/6 (úmida) e 5 YR 5/6 (seca)	Forte muito pequena granular	-	Macia, muito friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa	Ondulada e difusa
	CB	120 – 150 cm	5 YR 5/6 (úmida) e 5 YR 5/8 (seca)	Forte muito pequena granular	-	Macia, muito friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa	Ondulada e gradual
	C	150 – 250 cm+	5 Y 4/2 (úmida) e 5 Y 4/3 (seca)	Forte muito pequena granular	-	Macia, muito friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa	Irregular e abrupta
	2C	150 – 250 cm+	5 Y 4/1 (úmida) e 5 Y 5/1 (seca)	Forte muito pequena granular	-	Macia, muito friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa	Irregular e abrupta
Nitossolo Vermelho Distroférico latossólico							
25	A	0 – 30 cm	5 YR 3/2 (úmida) e 5 YR 3/3 (seca)	Moderada pequena grumosa	-	Dura, firme, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa	Ondulada e gradual
	AB	30 – 53 cm	5 YR 3/4 (úmida) e 5 YR 4/4 (seca)	Moderada pequena blocos subangulares	-	Ligeiramente dura, firme, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa	Ondulada e gradual
	BA	53 – 90 cm	2,5 YR 3/4 (úmida) e 2,5 YR 4/4 (seca)	Moderada pequena blocos subangulares	-	Ligeiramente dura, firme, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa	Ondulada e gradual
	Bt	90 – 130 cm	2,5 YR 3/6 (úmida) e 2,5 YR 4/6 (seca)	Moderada pequena blocos subangulares	Comum e moderada	Ligeiramente dura, friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa	Ondulada e gradual
	Bw	130 – 164cm	2,5 YR 4/4 (úmida) e 2,5 YR 4/6 (seca)	Forte muito pequena granular	-	Macia, muito friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa	Ondulada e difusa
	C	194 cm+	2,5 YR 4/6 (úmida) e 2,5 YR 4/8 (seca)	Forte muito pequena granular	-	Macia, muito friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa	Ondulada e difusa
Cambissolo Háptico Tb Distrófico típico							
26	A	0 – 24 cm	5 YR 3/3 (úmida) e 5 YR 3/4 (seca)	Moderada pequena grumosa	-	Ligeiramente dura, firme, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa	Ondulada e gradual
	AB	24 – 47 cm	5 YR 4/6 (úmida) e 5 YR 5/6 (seca)	Moderada pequena blocos subangulares	-	Ligeiramente dura, friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa	Ondulada e gradual
	Bi	47 – 99 cm	2,5 YR 4/4 (úmida) e 2,5 YR 4/8 (seca)	Fraca pequena blocos subangulares	-	Ligeiramente dura, friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa	Ondulada e gradual

Perfil	Hor.	Prof.	Cor	Estrutura	Cerosidade	Consistência	Transição
	C	99 – 210 cm+	2,5 Y 6/3 (úmida) e 2,5 Y 6/4 (seca)	Fraca pequena blocos subangulares	-	Ligeiramente dura, friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa	-

Tabela 23 - Teores de óxidos constituintes extraídos pelo ataque sulfúrico dos solos estudados na área-piloto - E – Município de Carmo de Minas, MG.

Perfil	Hor	Ataque Sulfúrico					Al ₂ O ₃ / Fe ₂ O ₃
		SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Ki	Kr	
%							
Latossolo Vermelho Amarelo Distrófico úmbrico							
24	Bw	17,49	20,61	14,57	1,44	0,99	2,22
Nitossolo Vermelho Distroférico latossólico							
25	Bt	20,62	20,89	15,74	1,68	1,13	2,08
	Bw	19,61	22,22	15,12	1,50	1,05	2,31
Cambissolo Háptico Tb Distrófico típico							
26	Bi	21,01	20,97	11,61	1,70	1,26	2,83

Tabela 24 - Características física dos solos estudados na área-piloto - E – Município de Carmo de Minas, MG.

Perfil	Hor	Dp g cm ⁻³	Textura			Silte/Argila	B/A
			Argila	Silte	Areia		
dag kg ⁻¹							
Latossolo Vermelho Amarelo Distrófico úmbrico							
24	A	2,44	40,00	29,00	31,00	0,73	
	Bw	2,67	59,00	15,00	26,00	0,25	1,48
Nitossolo Vermelho Distroférico latossólico							
25	A	2,67	50,00	19,00	31,00	0,38	
	Bt	2,70	66,00	10,00	24,00	0,15	1,32
	Bw	2,70	65,00	10,00	25,00	0,15	1,30
Cambissolo Háptico Tb Distrófico típico							
26	A	2,56	46,00	20,00	34,00	0,43	
	Bi	2,63	54,00	16,00	30,00	0,30	1,17

Tabela 25 - Caracterização química dos solos estudados na área-piloto - E – Município de Carmo de Minas, MG.

Id	Hor	pH (KCl)	pH (H ₂ O)	DpH	Bases trocáveis				K ⁺	P	SB	t	T	m	V	C	MO	P-rem	Zn	Fe	Mn	Cu	B
					Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	Al ³⁺ + H ⁺															
Latossolo Vermelho Amarelo Distrófico úmbrico																							
24	A	4,80	5,50	-0,70	4,30	0,90	0,40	6,30	74,00	2,91	5,39	5,79	11,69	6,91	46,11	31,35	54,30	13,33	7,44	22,61	42,53	0,42	0,17
	Bw	5,00	5,40	-0,40	0,80	0,40	0,10	4,52	60,00	0,84	1,35	1,45	5,87	6,90	23,06			4,31	0,36	39,77	6,93	1,19	0,17
Nitossolo Vermelho Distroférrico latossólico																							
25	A	4,60	5,50	-0,90	1,80	0,50	0,30	6,30	72,00	2,91	2,48	2,78	8,78	10,79	28,30	29,39	50,90	9,56	3,86	40,27	31,51	1,63	0,19
	Bt	5,60	5,70	-0,10	0,20	0,10	0,10	2,08	14,00	4,48	0,34	0,44	2,42	13,88	22,73			1,81	0,41	34,45	2,64	0,58	0,08
	Bw	5,70	5,30	0,40	0,30	0,10	0,10	2,08	14,00	5,81	0,44	0,54	2,52	18,52	17,30			0,56	0,29	36,59	1,91	0,44	0,13
Cambissolo Háplico Tb Distrófico típico																							
26	A	4,30	5,20	-0,90	0,50	0,30	0,80	7,87	198,00	1,13	1,31	2,11	9,18	37,91	14,25	15,07	26,10	10,99	1,08	37,67	21,03	1,64	0,21
	Bi	4,70	5,40	-0,70	0,10	0,10	0,30	3,24	16,00	2,91	0,24	0,54	3,48	55,56	6,93			3,30	0,21	24,72	3,41	1,44	0,19

Em que pH em água, KCl e CaCl₂ (relação 1:2,5); SB = soma de bases trocáveis; CTC (T) = Capacidade de Troca Catiônica a pH 7,0; m = Índice de Saturação de Alumínio; CTC (t) = CTC efetiva; V = Índice de Saturação de Bases; C = carbono orgânico e MO = matéria orgânica. Extratores: P, K, Fe, Zn, Mn, Cu: Mehlich I / Ca, Mg, Al: KCl 1mol/L / H + Al: SMP / MO: Oxidação Na₂Cr₂O₇ 4N + H₂SO₄ 10N; P-rem: fósforo Remanescente; B – Extrato água quente.

3.3 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

DIAS, J. R. **Unidades Geoambientais da Área de Proteção Ambiental da Serrinha do Alambari - Capelinha, Resende – RJ.** 2007. 69p. Monografia (Bacharelado em Geologia). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solo. **Manual de métodos de análise de solos.** 2ª Edição, Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1997. 212p.

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

FEAM - FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE. **Mapa de solos do Estado de Minas Gerais: legenda expandida.** Universidade Federal de Viçosa; Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais; Universidade Federal de Lavras; Fundação Estadual do Meio Ambiente. Belo Horizonte: Fundação Estadual do Meio Ambiente, 2010. 49p.

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.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Mapa de Biomas do Brasil – primeira aproximação.** Síntese das Descrições. Rio de Janeiro, 2004. Disponível em <ftp://geoftp.ibge.gov.br/informacoes_ambientais/vegetacao/vetores/brasil/biomas/>. Acessado em: 01 jul. 2016.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Projeto: Sistematização das Informações sobre Recursos Naturais. **Mapa de Clima do Brasil.** 2006. Disponível em: <

ftp://geofpt.ibge.gov.br/mapas_tematicos/mapas_murais/shapes/clima/>. Acessado em 02 mai.2016.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Demográfico 2010**. Disponível em: <<http://cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?lang=&codmun=311410&search=minas-gerais|carmo-de-minas>>. Acessado em: 01 mai. 2016.

INMET - INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Normais Climatológicas do Brasil 1961-1990**. Versão revista e ampliada. [on-line]. INMET, 2009. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/normaisClimatologicas>>. Acessado em 01 jul.2016.

KÖPPEN, W. **Das geographische System der Klimate**. In: KÖPPEN, W.; GEIGER, R. (eds.). Handbuch der Klimatologie. Gebruder Borntrager, Berlin: 1936. p.1-44, part C.

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.

NETO, R. M.; PEREZ FILHO, A. Relevos tectônicos no meio tropical: questões sobre a fisiologia da paisagem nas terras altas do sudeste brasileiro. **Revista Geonorte**, Edição Especial, v.2, n.4, p.646-658, 2012.

PINTO, C.P. **Petrologia de rochas alcalinas, cálcio-clcalinas e toleíticas da Serra da Mantiqueira em Minas Gerais - Brasil**. 1995. 191p. (Dissertação de Mestrado). Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Minas Gerais.

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, 2005. 100p.

SERTÃO COFFEES. Cup of Excellence 2006 [on-line]. Carmo de Minas, MG: **Sertão Coffees**,

2006. Disponível em: <<http://www.gruposertao.com.br>>. Acessado em 15 set. 2011.

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.

4. CAPÍTULO 4 - DISTRIBUIÇÃO DOS SOLOS ASSOCIADOS AO CULTIVO DE CAFÉS ESPECIAIS NA SERRA DA MANTIQUEIRA MINEIRA, CARMO DE MINAS, MG

RESUMO

Para o desenvolvimento de uma agricultura sustentável, economicamente viável, visando a manutenção dos solos, é necessário o conhecimento dos atributos dos solos e sua distribuição na paisagem. O objetivo desse trabalho foi caracterizar os solos associados ao cultivo de cafés de alta qualidade sensorial e a sua distribuição no município de Carmo de Minas, MG, representativo da Serra da Mantiqueira Mineira, para fornecer dados na obtenção da Indicação Geográfica (IG) na modalidade Denominação de Origem (DO). Foram realizadas atividades de campo com a seleção de curvo-sequências e perfis pedológicos das classes de solos representativas, para descrição e caracterização morfológica completa, coletas de amostras para a realização de análises laboratoriais, em auxílio à classificação no Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos. Foram, também, avaliados os parâmetros morfométricos do terreno associados às classes de solo, como declividade, hipsometria e curvatura, verificando-se que em altitudes maiores do que 1.000 m, as classes de curvatura associadas a uma determinada classe de declividade, controlam a variabilidade das classes de solos na região. Nas curvo-sequências avaliadas, os Latossolos desenvolvidos em épocas geológicas anteriores, em superfícies geomorfológicas de aplainamento encontram-se preservados nas encostas convexas, com classes de declividade de até 45%. Em classes de declividade variando de 45 a 75%, nas porções do relevo de curvatura transicional convexo-côncava ocorrem Nitossolos latossólicos, e quando a declividade supera os 75%, com desenvolvimento de relevo côncavo, verifica-se a ocorrência de Cambissolos. A associação dos solos com a cultura dos cafés de alta qualidade está relacionada à elevada evolução e profundidade destes solos em relevos acidentados e às

características físicas latossólicas preservadas, que permitem o desenvolvimento da cafeicultura. A ocorrência comum de horizonte A húmico, de elevadas espessuras, também contribuem física e quimicamente à cultura do café na região.

Palavras-chave: Relações solo-paisagem, Pedomorfogeologia, Gênese de solos, Curvatura, Serra da Mantiqueira.

ABSTRACT

In order to develop a sustainable and economically feasible agricultural production capable of maintaining its soils, it is necessary to know the features of different types of soils and their distribution over the landscape. This research categorizes the soils of high quality coffee crops and their distribution at the municipality of Carmo de Minas, as a sample of the 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. Field activities led to selecting the curvature and pedological profiles of significant soil classes, in order to produce a complete morphological description and characterization, and to collecting lab samples as an input for the Brazilian Soil Classification System (SiBCS). This research also assessed the morphometric parameters of the terrain, e.g. declivity, hypsometry and curvature, in relation to its soil classes, and found that in altitudes higher than 1,000m, curvature classes linked to a specific declivity class control the variability of soil classes in the region. Hapludox from previous epochs in geomorphological flatlands were preserved in convex slopes with a declivity of up to 45%; Oxic Hapludult occur in transitional convex-concave terrains within a declivity range of 45-75%; and Hapludept occur in concave landforms with a declivity higher than 75%. The linkage between these soils and quality coffee crops is related to the long evolution and depth of these soils in rugged terrains and to their preserved oxic features, which

facilitate the existence of coffee crops. The frequent occurrence of thick umbric horizons also contributes physically and chemically to coffee crops in this region.

Keywords: Soil-landscape relations, Pedomorphogeology, Soil genesis, Curvature, Serra da Mantiqueira.

4.1 INTRODUÇÃO

O Brasil é um país de dimensões continentais, capaz de produzir alimentos de forma racional e sustentável. No entanto, em função do grande desenvolvimento da população e aumento da demanda por alimentos e fontes energéticas renováveis, os solos estão sendo, muitas vezes, utilizados de maneira indiscriminada. O uso intensivo e sustentável dos solos demanda conhecimento detalhado de suas características e propriedades, de forma que se estabeleça um planejamento racional com definição de técnicas de manejo prioritárias à sua exploração e conservação (Demattê et al., 2011).

Para a correta utilização dos solos é fundamental o conhecimento de seus atributos e de sua distribuição na paisagem, porém, segundo Giasson et al. (2006), a falta de disponibilidade de levantamentos de solos em escala adequada em diversas regiões do Brasil, traz como consequência a má utilização dos recursos naturais, com a degradação dos solos e obtenção de rendimentos e lucros abaixo do potencial agropecuário regional. Segundo Coelho e Giasson (2010) mapas pedológicos são fontes de informações primordiais para a execução de planejamentos de uso e manejos adequados dos solos, no entanto, o Brasil possui grande parte de seu território coberto por mapas de solos pouco detalhados, produzidos a partir do ano de 1986 pelo projeto Radambrasil.

E diante deste contexto, a atividade agrícola no Brasil é crescente e intensa, dependente cada vez mais de mapeamentos pedológicos mais detalhados que permitam o desenvolvimento de uma agricultura sustentável. Dentre os produtos agrícolas brasileiros, o café possui um

elevado destaque, pois o setor cafeeiro constitui uma importante atividade econômica geradora de renda e emprego. Além disso, o Brasil é o maior produtor e exportador de café do mundo (Brandão et al., 2012; Coelho, 2005; Reis e Cunha, 2010), além da segunda colocação como país consumidor no mercado internacional (Coelho, 2005).

Minas Gerais destaca-se no cenário brasileiro com a maior contribuição na cafeicultura brasileira, com uma participação de 51,59% do café produzido no país. E a Região Sul de Minas foi responsável pela produção de aproximadamente 48% da produção deste estado e 25% da produção nacional da safra de 2015 (CONAB, 2015). Nessa importante mesorregião mineira, destaca-se a produção dos cafés de elevada qualidade sensorial, na Região da Serra da Mantiqueira Mineira.

Dentre os municípios da Região da Serra da Mantiqueira Mineira, Carmo de Minas destaca-se pela produção de cafés de alta qualidade, onde dentre os dez cafés de maior valor agregado do mundo, estão dois cafés brasileiros, produzidos neste município. Pode-se citar o café vencedor do Cup of Excellence de 2005 (Sertão Coffees, 2006), com nota de 95,85 pontos numa escala que vai até 100, vendido a US\$6.580,81/saca ou aproximadamente R\$15.000,00 a saca de 60 kg.

Na região da Serra da Mantiqueira Mineira, onde o relevo é muito acidentado, o padrão de distribuição dos solos na paisagem é complexo e não segue os modelos padronizados, tal como descrito por Ippoliti et al. (2005), confirmando a carência de levantamentos de solos em escalas mais detalhadas nesta região para o planejamento das atividades agrícolas, conforme citado por diversos autores como Giasson et al. (2006), Crivelenti et al. (2009), Coelho e Giasson (2010), dentre outros.

Assim, o objetivo desse trabalho foi caracterizar os solos associados à produção de cafés de alta qualidade sensorial e seu padrão de distribuição na paisagem no município de Carmo de Minas, MG, representativo da Microregião da Serra da Mantiqueira Mineira, a fim de fornecer

dados para a obtenção da Indicação Geográfica (IG) na modalidade Denominação de Origem (DO) dos cafés de alta qualidade nesta microregião mineira.

4.2 MATERIAL E MÉTODOS

4.2.1 Localização da área de estudo

A área de estudo representa a região produtora de cafés de alta qualidade sensorial da Serra da Mantiqueira Mineira, no município de Carmo de Minas, Estado de Minas Gerais, Brasil. Apresenta uma área territorial de aproximadamente 322 km², localizada 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).

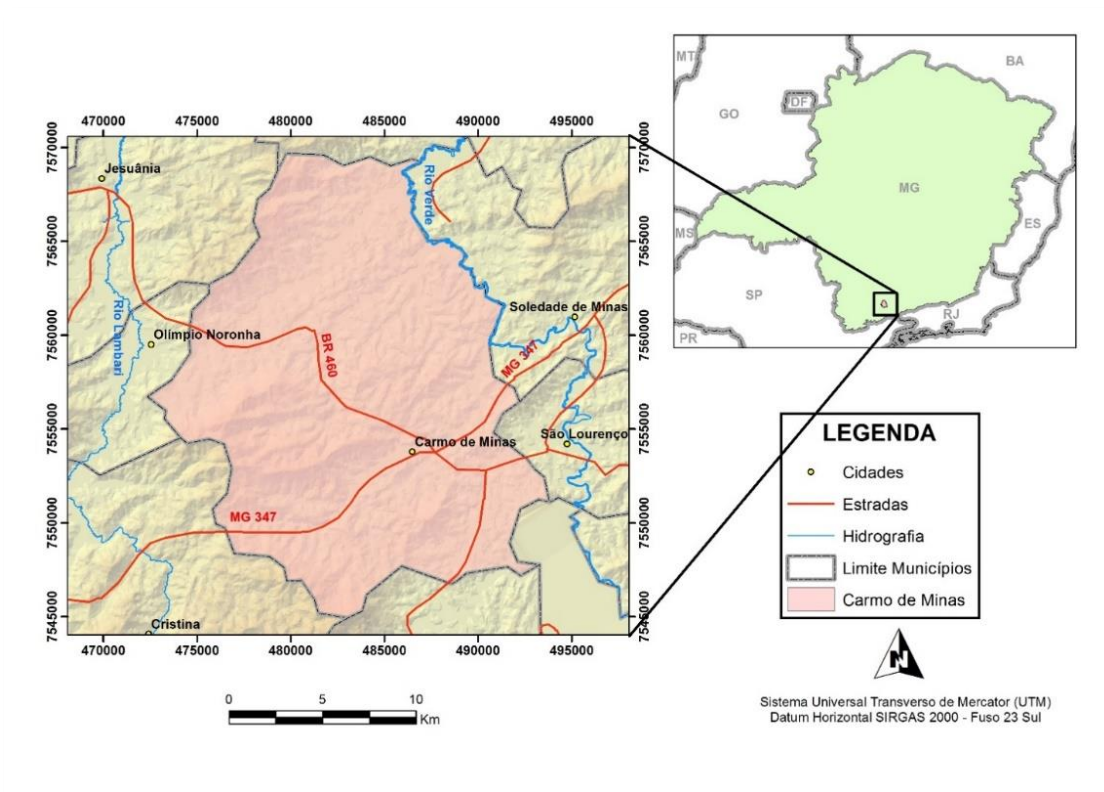


Figura 1 - Localização da área de estudo - Município de Carmo de Minas, MG.

4.2.2 Caracterização da área de estudo

4.2.2.1 Clima

Segundo o IBGE (2006), o clima do município de Carmo de Minas é classificado como tropical do Brasil Central, mesotérmico brando, úmido. Este tipo climático possui duas estações bem definidas, sendo uma chuvosa e outra seca, com verão mais quente e inverno brando, onde a temperatura média do mês mais frio varia entre 15° e 10°C e apresenta de 1 a 3 meses secos. Quanto à classificação de Köppen (1936), os dados das Normais Climatológicas 1961-1990, disponíveis no Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2009), registrados na estação climatológica de São Lourenço, indicam que o município possui clima Cwa (clima temperado úmido com inverno seco e verão quente). Este tipo climático apresenta inverno seco e verão com temperatura do mês mais quente maior que 22°C. Os dados mostram que julho é o mês que apresenta a menor temperatura média e precipitação, com 14,3°C e 24 mm, respectivamente. Fevereiro é o mês mais quente do ano, com 22,3°C.

4.2.2.2 Evolução geológica e geomorfológica

O município de Carmo de Minas encontra-se geologicamente inserido na Província Mantiqueira, representando o extremo sul da Faixa Brasília Meridional. Nessa região há um predomínio de rochas do Embasamento Paleoproterozóico/Arqueano, constituído principalmente por ortognaisses, localmente migmatíticos, além de pequenos corpos de rochas básicas e ultrabásicas e sequências do tipo *greenstone belt* e Sucessões Metassedimentares Neoproterozóicas, composta por paragnaisses, xistos, quartzitos e, localmente, calcários e rochas calciossilicáticas, além de rochas metabásicas intercaladas (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), na Era Geológica, Período Neo-Cretáceo (89 a 65 milhões de anos) ocorreu na região um soerguimento epirogenético da crosta continental, originando um megaplanalto de cerca de 300.000 km² (Serra do Mar Cretácea). Ao final desse soerguimento, no início do Período Terciário, ao redor de 66-65 milhões de anos, sucedeu-se um grande aplainamento, gerando a Superfície de Aplainamento Japi, que nivelou esse megaplanalto em torno de 2.000 m em relação ao nível do mar atual. Com esta situação, a crosta tornou-se isostaticamente instável e com o colapso gravitacional do megaplanalto, a crosta continental fendeu-se e afundou-se em diversas áreas lineares formando-se corredores de grábens (riftes) paralelos à costa continental Sul Americana, gerando uma feição peculiar na margem continental do Brasil: o duplo escarpamento formado pelas Serras do Mar e da Mantiqueira. Os remanescentes topográficos deste megaplanalto constituem hoje em dia as partes mais altas destas Serras, modificadas por basculamentos dos blocos tectônicos.

Após esta grande instabilidade tectônica, no início da Era Cenozóica, no Período Terciário - 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, correspondendo ao aplainamento da superfície de 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 (Período Terciário - Paleógeno/Neógeno - 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, entre o sul do Espírito Santo e Santa Catarina, e o rifteamento que originou as pequenas bacias conhecidas entre o Paraná e o Rio de Janeiro (Hasui, 2010).

Neto e Perez Filho (2012) afirmam que a deformação expressiva ocorrida na Superfície Japi apresenta um controle neo-tectônico ativo, que nos tempos geológicos atuais está remodelando escarpas e reorganizando a rede de drenagem por meio de progressão remontante das linhas erosivas.

Carmo de Minas localiza-se neste contexto geológico-geomorfológico, apresentando feições geomorfológicas relacionadas à formação da Serra da Mantiqueira, onde, segundo Dias (2007) é recortada por vales profundos exibindo quase sempre lombadas e patamares à meia encosta, com controle geológico estrutural evidente. Segundo Pinto (1995) as cotas da Mantiqueira raramente ultrapassam 1.200 m, exceção feita às porções sustentadas pelas formações quartzíticas que podem atingir 1.800 m na serra de Ibitipoca, testemunho da Superfície Japi. Aluviões suspensos são encontrados em todas as superfícies e caracterizam as fases de sedimentação dos ciclos correspondentes e a retomada dos processos erosivos em ciclos subseqüentes.

As serras observadas em Carmo de Minas apresentam orientação predominante na direção nordeste-sudoeste, concordantes com os falhamentos decorrentes dos soerguimentos crustais paralelos à margem continental do Brasil, constituindo o duplo escarpamento representado pelas Serras do Mar e da Mantiqueira.

4.2.2.3 Solos

Segundo o mapa de solos elaborado pela Fundação Estadual de Meio Ambiente (FEAM, 2010), o município de Carmo de Minas apresenta uma cobertura pedológica formada pela associação de Latossolos, Argissolos e Cambissolos, com predominância de Latossolos Vermelho-Amarelos Distróficos típicos A moderado textura argilosa e Argissolos Vermelhos Distróficos típico A moderado/fraco textura média/argilosa. Dias (2007) relata que a cobertura pedológica da região da Serra da Mantiqueira seria formada por uma associação de Cambissolos

e Latossolos com Neossolos Litólicos nas áreas mais acidentadas. O autor afirma que os solos têm forte vínculo com o substrato rochoso, sendo espessos no alto da Serra da Mantiqueira e muitas vezes ausentes em suas encostas, com exposições rochosas. Sobre o domínio gnáissico, desenvolvem-se Latossolos Vermelho-Amarelos Álicos, argilosos e quando desenvolvidos a partir de rochas básicas/ultrabásicas constituem Latossolos Vermelhos, argilosos, geralmente férricos. Solos evoluídos sobre os quartzitos são essencialmente arenosos, e Solos hidromórficos ocorrem em áreas de depressão aluvionar.

4.2.3 Levantamento de dados secundários

Para a caracterização geológica foram utilizados os mapas desenvolvidos pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (Trouw et al., 2007), folhas Varginha, SF.23-V-D-VI, e Itajubá, SF.23-Y-B-III, na escala de 1:100.000. Já as informações relacionadas aos solos do município de Carmo de Minas foram obtidas do Mapa de Solos do Estado de Minas Gerais, elaborado pela Fundação Estadual de Meio Ambiente (FEAM, 2010), em escala 1:650.000. Foi utilizada, ainda, uma imagem Pléíades de 2015, com resolução espacial de 50 cm que possibilitou a avaliação da distribuição da cafeicultura na região, além da verificação da morfometria predominante do relevo, permitindo a locação detalhada das sequências dos perfis de solos estudados.

4.2.4 Atividades de campo

Foram realizadas campanhas de campo, em abril e agosto de 2012 e agosto de 2013, sendo a primeira de reconhecimento da área e observações da distribuição das classes de solos na paisagem, particularmente aquelas associadas à cultura dos cafés de elevada qualidade sensorial.

Na segunda campanha de campo foram avaliadas as classes de solo ocupadas pelo cultivo de cafés especiais na Serra da Mantiqueira Mineira, no município de Carmo de Minas, MG, localizadas em altitudes maiores do que 950 - 1.000 m, apresentando relevo muito acidentado, com declividades pronunciadas, com predomínio de encostas convexas. Nesta etapa foram avaliados 13 perfis pedológicos (Figura 2) por meio de caracterização morfológica expedita de campo (cor, textura, estrutura e consistência), permitindo a caracterização dos horizontes diagnósticos e classes preliminares de solos. Foram, também, verificadas as relações entre as classes de solo com feições do relevo e material de origem, estabelecendo as relações pedomorfogeológicas preliminares.

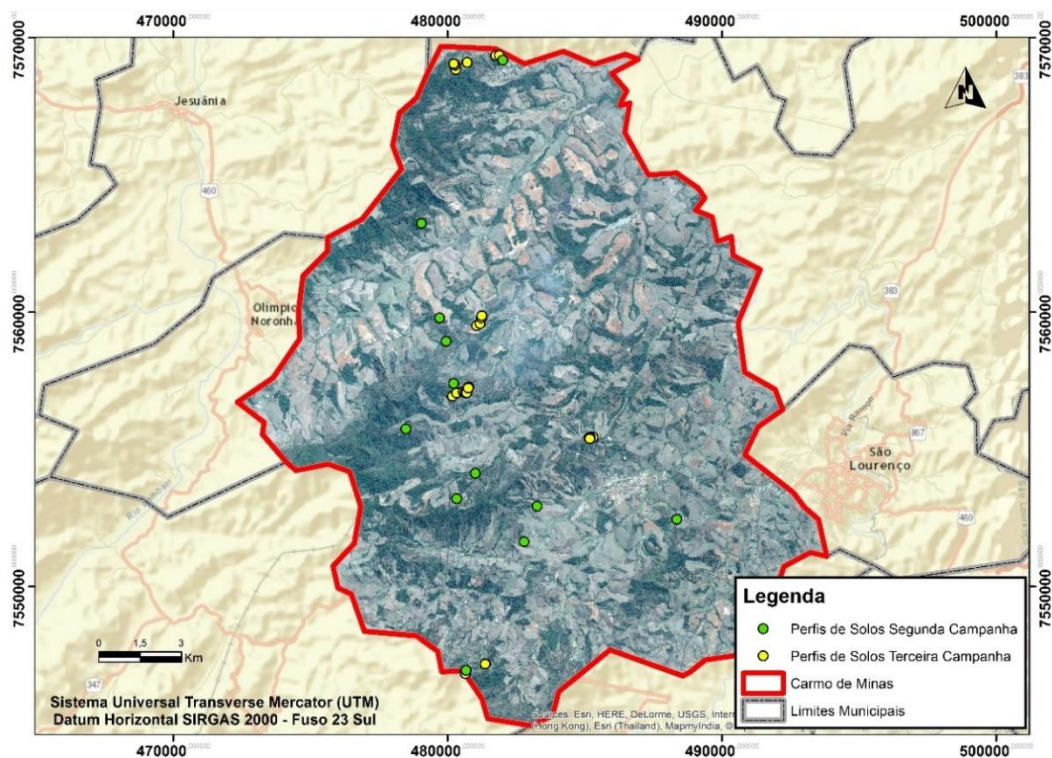


Figura 2 – Localização dos perfis de caracterização dos solos (segunda e terceira campanhas de campo), no município de Carmo de Minas, MG.

A terceira etapa de campo foi planejada em função das observações realizadas na etapa anterior. O estabelecimento prévio das relações pedomorfogeológicas permitiu a avaliação

preliminar da distribuição dos solos na paisagem da região, que foi considerada anômala em relação aos modelos padronizados de distribuição de classes de solos em relação às variações de feições do relevo.

Nesta etapa de campo, foram selecionadas três áreas-piloto no município de Carmo de Minas, consideradas representativas das feições do relevo e distribuição de classes de solos, cultivadas com cafezais responsáveis pela produção de cafés de alta qualidade sensorial. Estas se localizam ao norte, a sul e na porção central do município (Figura 3a). 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 (Figura 3a).

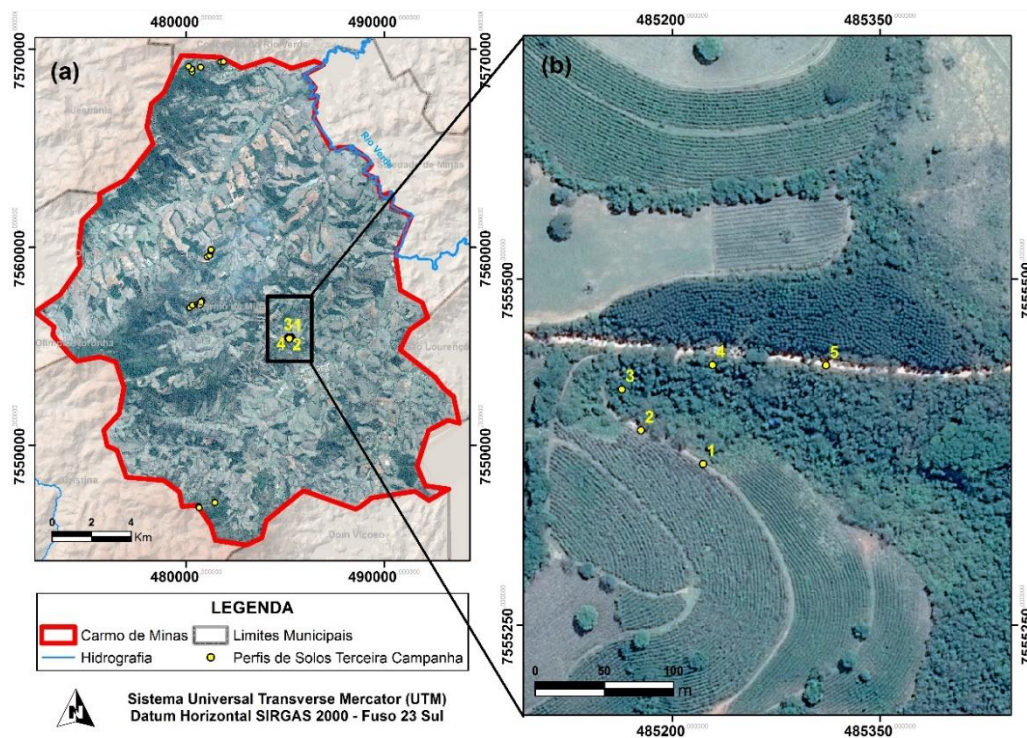


Figura 3 – (a) Distribuição dos perfis de solos descritos em curvo-sequências nas três áreas-piloto do Município de Carmo de Minas, MG; (b) curvo-sequência representativa da distribuição dos solos na área piloto na porção central do município de Carmo de Minas, MG.

Os perfis dos solos foram expostos por meio de abertura de trincheiras ou em cortes de barrancos, principalmente em estradas vicinais. 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. (2005), visando a classificação no quarto nível categórico do SiBCS (Embrapa, 2013). Os perfis de solos foram georreferenciados por meio de GPS Garmin MAP64X.

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 (Figura 4). Estas áreas são de pequenas dimensões, esparsas e raras. Foram abertas trincheiras para descrição morfológica completa segundo Santos et al. (2005) e coleta de amostras para análises laboratoriais. Foi selecionado como representativo, o perfil pedológico de topo da área-piloto central (PTC) localizado na área aplainada de topo da mesma área-piloto da curvo-sequência significativa apresentada neste trabalho.

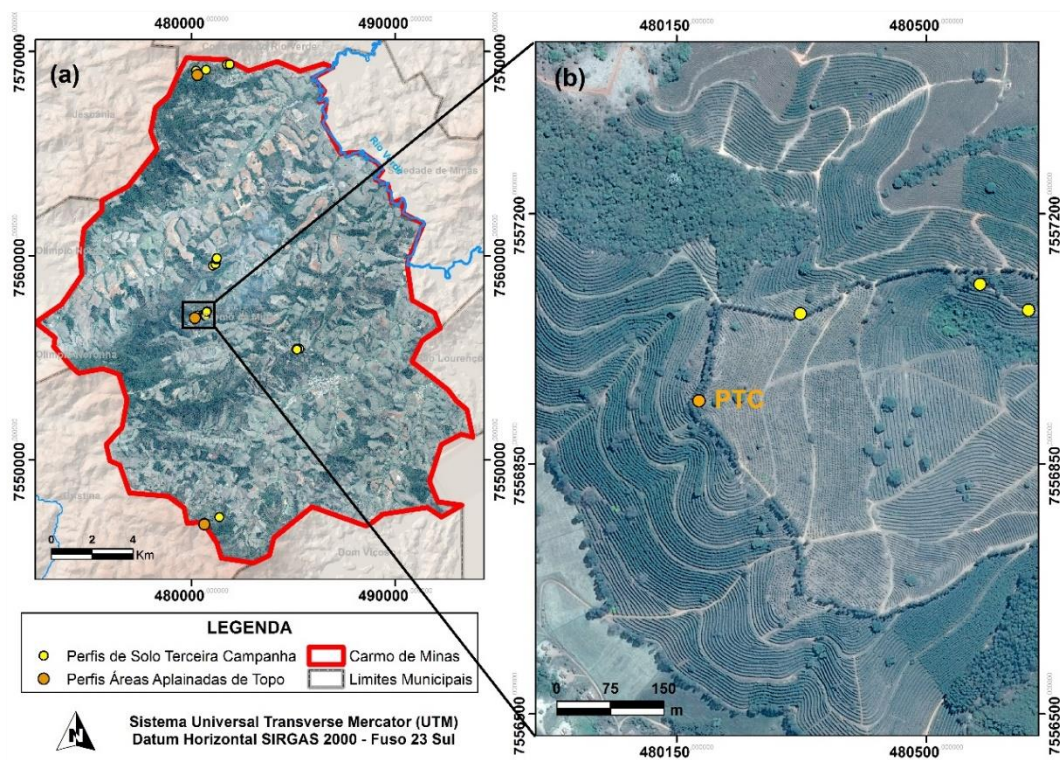


Figura 4 – (a) Distribuição dos perfis pedológicos de topo nas áreas-piloto do município de Carmo de Minas, MG; (b) Localização detalhada do perfil pedológico representativo das áreas

aplainadas de topo - área-piloto da porção central (PTC) do Município de Carmo de Minas,
MG.

Estes perfis pedológicos foram avaliados, considerando que o posicionamento nas áreas de maiores altitudes nos topos aplainados, poderiam preservar feições relacionadas à evolução geológica e geomorfológica da região em épocas geológicas relativamente recentes, de acordo com Hasui (2010).

4.2.5 Análises laboratoriais

Para as análises químicas, foram avaliados no Laboratório de Química do Solo da Universidade Federal de Lavras: pH determinado em água, KCl e CaCl₂, (na relação 1:2,5); P disponível, K⁺, Na⁺, Fe²⁺, Zn²⁺, Mn²⁺ e Cu²⁺ utilizando o extrator Mehlich I. Boro com extrator em água quente e S extraído em fosfato monocálcico em ácido acético. Já os teores de Ca²⁺, Mg²⁺ e Al³⁺, foram extraídos com KCl 1M. H⁺ + Al³⁺ foi determinado pelo método SMP (Shoemaker, Mac Lean e Pratt), a matéria orgânica foi determinada por meio da oxidação em Na₂Cr₂O₇ 4N + H₂SO₄ 10N e todas as análises foram realizadas de acordo com metodologias descritas em Embrapa (1997).

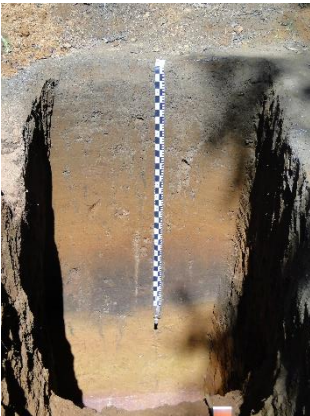

A análise de óxidos totais foi determinada no extrato do ataque sulfúrico (SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, TiO₂ e P₂O₅) dos horizontes subsuperficiais diagnósticos, realizada no Laboratório de Química do Solo da Universidade Federal de Lavras e as relações Ki e Kr foram calculadas por meio das equações descritas em Embrapa (1997).



A análise de textura do solo foi determinada pelo método do Densímetro de Bouyoucos (Embrapa, 1997).

4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O perfil pedológico representativo dos solos localizados nas áreas aplainadas de topo, com altitudes atingindo 1.100 - 1.200 m da área-piloto da porção central (PTC) do município de Carmo de Minas, MG é constituído por Latossolo Vermelho-Amarelo com horizonte A húmico, apresentando duas sequências de Latossolos enterrados (horizontes 1A e 1Bw e 2Ab e 2Bwb). A descrição morfológica está descrita na tabela 1.

Tabela 1 - Características morfológicas do LVAd do PTC, representativo dos solos das áreas aplainadas de topo, e dos solos da curvo-sequência estudada, Carmo de Minas, MG.

Perfil	Ilustração	Hor.	Prof.	Cor	Estrutura	Cerosidade	Consistência	Transição
Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico húmico								
PTC		A1	0 – 45 cm	7,5 YR 3/2 (úm.) e 7,5 YR 4/2 (sec.)	Mod. méd. a peq. grum.	-	Dur., fri., lig. pla. e lig. peg.	Ond. e grad.
		A2	45 – 78 cm	7,5 YR 3/4 (úm.) e 7,5 YR 4/4 (sec.)	Mod. peq. a mt. peq. gran.	-	Dur., fri., lig. pla. e lig. peg.	Ond. e grad.
		AB	78 – 119 cm	7,5 YR 4/4 (úm.) e 7,5 YR 4/6 (sec.)	Mod. mt. peq. gran.	-	Lig. dur., fri., lig. pla. e lig. peg.	Ond. e grad.
		Bw	119 – 160 cm	5 YR 4/4 (úm.) e 7,5 YR 4/6 (sec.)	Mod. mt. peq. gran.	-	Lig. dur., fri., lig. pla. e lig. peg.	Ond. e grad.
		2Ab	160 – 200 cm	5 YR 2,5/2 (úm.) e 5 YR 3/2 (sec.)	Mod. média a peq. bloc. suban.	-	Dur., fir., lig. pla. e lig. peg.	Ond. e grad.
		2ABb	200 – 220 cm	7,5 YR 4/4 (úm.) e 7,5 YR 4/6 (sec.)	For. peq. a mt. peq. gran.	-	Lig. dur., fri., lig. pla. e lig. peg.	Ond. e cla.
		2Bwb1	220 – 247 cm	5 YR 5/6 (úm.) e 5 YR 5/8 (sec.)	For. mt. peq. gran.	-	Mac., mt fri., lig. pla. e lig. peg.	Ond. e dif.
		2Bwb2	247 – 291 cm	7,5 YR 5/6 (úm.) e 7,5 YR 5/8 (sec.)	For. mt. peq. gran.	-	Mac., mt fri., lig. pla. e lig. peg.	Ond. e dif.
		2BCb	291 – 304 cm+	2,5 YR 3/6 (úm.) e 2,5 YR 4/6 (sec.)	For. mt. peq. gran.	-	Mac., mt fri., lig. pla. e lig. peg.	Ond. e grad.
Latossolo Vermelho Distrófico típico								
1		A	0 – 40 cm	5 YR 3/3 (úm.) e 5 YR 3/4 (sec.)	Mod. mt. peq. grum.	-	Lig. dur., mt. fri., lig. pla. e lig. peg.	Ond. e grad.
		AB	40 – 70 cm	2,5 YR 3/4 (úm.) e 2,5 YR 4/4 (sec.)	For. mt. peq. gran.	-	Lig. dur., mt. fri., lig. pla. e lig. peg.	Ond. e dif.
		Bw	70 cm+	2,5 YR 4/6 (úm.) e 2,5 YR 4/8 (sec.)	For. mt. peq. gran.	-	Mac., mt. fri., lig. pla. e lig. peg.	Ond. e dif.

Perfil	Ilustração	Hor.	Prof.	Cor	Estrutura	Cerosidade	Consistência	Transição	
2		Nitossolo Vermelho Distrófico latossólico							
		A	0 – 52 cm	2,5 YR 3/4 (úm.) e 2,5 YR 3/6 (sec.)	Mod. peq. grum.	-	Dur., fir., lig. pla. e lig. peg.	Ond. e grad.	
		AB	52 – 78 cm	2,5 YR 3/6 (úm.) e 2,5 YR 4/6 (sec.)	Mod. peq. bloc. suban.	-	Lig. dur., fir., lig. pla. e lig. peg.	Ond. e grad.	
		Bt	78 – 108 cm	2,5 YR 4/4 (úm.) e 2,5 YR 4/6 (sec.)	Mod. peq. bloc. suban.	Com. e mod.	Lig. dur., fri., Lig. pla. e lig. peg.	Ond. e grad.	
		Bw	108 - 133 cm	2,5 YR 4/6 (úm.) e 2,5 YR 4/8 (sec.)	For. mt. peq. gran.	-	Mac., mt. fri., lig. pla. e lig. peg.	Ond. e dif.	
3		Cambissolo Háplico Tb Distrófico úmbrico							
		A	0 - 40 cm	2,5 YR 2,5/2 (úm.) e 2,5 YR 2,5/4 (sec.)	Mod. peq. grum.	-	Lig. dur., fri., lig. pla. e lig. peg.	Ond. e grad.	
		AB	40 - 60 cm	2,5 YR 3/6 (úm.) e 2,5 YR 3/4 (sec.)	Mod. peq. bloc. suban.	-	Lig. dur., fri., lig. pla. e lig. peg.	Ond. e grad.	
		Bi	60 - 128 cm	2,5 YR 4/6 (úm.) e 2,5 YR 4/4 (sec.)	Fra. peq. a mt. peq. bloc. suban.	-	Lig. dur., fri., lig. pla. e lig. peg.	Ond. e grad.	
		C	128 cm+	2,5 YR 5/3 (úm.) e 2,5 YR 5/2 (sec.)	Fra. mt. peq. bloc. suban.	-	Lig. dur., fri., lig. pla. e lig. peg.	-	

Em que Úmida = Úm.; Seca = Sec.; Mod. = Moderada; Med. = Média; Peq. = Pequena; Grum. = Grumosa; Mt. = Muito; Gran = Granular; Bloc. = Blocos; Suban. = Subangulares; For. = Forte; Fraca = Fra.; Fri. = Friável; Dur. = Dura; Lig. = Ligeiramente; Pla. = Plástica; Peg. = Pegajosa; Fir. = Firme; Mac. = Macia; Ond. = Ondulada; Grad. = Gradual; Dif. = Difusa; Clara = Cla.

Os perfis pedológicos representativos dos solos localizados nas áreas aplainadas de topo, tal como o PTC, foram 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, de acordo com Hasui (2010). A sequência de horizontes A e Bw enterrados, provavelmente representam solos desenvolvidos no Período Terciário, ao redor de 66-65 milhões de anos, na Superfície de Aplainamento Japi (Zalán e Bach de Oliveira, 2005). Esta Superfície de Aplainamento foi seguida por grande instabilidade tectônica, com grandes falhamentos da crosta continental, com rifteamentos e rebaixamentos de grandes blocos crustais, paralelamente à costa continental Sul Americana,

gerando o duplo escarpamento representado pelas Serras do Mar e da Mantiqueira. Após esta grande instabilidade tectônica, no Período Terciário - Paleógeno (65 a 24 milhões de anos), a região passou novamente por um período de estabilidade tectônica, em que se desenvolveu a segunda grande superfície de aplainamento, a Superfície Sul-Americana, correspondendo ao aplainamento da superfície de todo o continente Sul Americano (King, 1956), atualmente preservada nos topos aplainados das elevações a 1.100-1.200 m de altitude (Motta et al., 2002). A sequência de horizontes A e Bw superiores, constituem os Latossolos Vermelho-Amarelos relictuais dos topos aplainados da Serra da Mantiqueira, evoluídos nesta Superfície Sul Americana. Atualmente, a ação erosiva está proporcionando o remodelamento da Serra da Mantiqueira, com a reorganização e encaixamento da rede de drenagem atual.

Conforme apresentado nas tabelas 2, 3 e 4, o PTC representado por Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico húmico (LVAd) apresenta textura argilosa e características diagnósticas típicas de processo intenso de latolização (Embrapa, 2013), com horizonte Bw com baixa capacidade de troca de cátions, relação molecular $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ (Ki) inferior a 2,0, baixa saturação de bases, pH ácido e baixa relação silte/argila ($< 0,6$), indicando alto grau de intemperismo (Embrapa, 2013).

Ao longo das curvo-sequências avaliadas, 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 (constituídos principalmente por ortognaisses localmente migmatíticos, pequenos corpos de rochas básicas e ultrabásicas do Embasamento Paleoproterozóico/Arqueano, e paragnaisses, xistos e quartzitos das Sucessões Metassedimentares Neoproterozóicas) encontram-se mapeadas em escala 1:100.000, insuficiente para a individualização destas 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.

As curvo-seqüências encontram-se dispostas em classe de declividade uniforme, uma vez que a classe de declividade, além da curvatura, é também um parâmetro pedométrico responsável pela variabilidade e distribuição das classes de solos na paisagem regional.

Na curvo-seqüência representativa selecionada para o estudo, localizada na área-piloto da porção central do município (Figura 3), foram avaliados cinco perfis pedológicos. Os perfis 1 e 5 localizam-se nas porções convexas do terreno em flancos opostos das encostas; o perfil 3 encontra-se a jusante de uma nascente, que proporciona a evolução de concavidade no terreno. Já os perfis 2 e 4, tais como os perfis 1 e 5, localizam-se em flancos opostos, em posição morfométrica de transição da curvatura do terreno de convexo para côncavo. Desta forma, os perfis 1 e 5, assim como os perfis 2 e 4 representam as mesmas classes de solos

O perfil 1 é constituído por Latossolo Vermelho Distrófico típico, assim como o perfil 5. Já os solos dos perfis 2 e 4 foram caracterizados e classificados como Nitossolos Vermelhos Distróficos latossólicos; e o perfil 3 é constituído por Cambissolo Háptico Tb Distrófico úmbrico. A variação e transição da curvatura convexa, convexa-côncava a côncava apresenta transição coincidente com as classes de solo LVd, NVd latossólico e CX, respectivamente.

A distribuição destas classes de solos é semelhante em todas as curvo-seqüências, onde em classes de declividade de 0% até 45%, nas porções convexas do terreno, ocorrem os Latossolos Vermelhos Distróficos típicos com horizonte A húmico ou A proeminente, podendo atingir 2 m de espessura. Já nas porções convexo-côncavas, com exposição dos Nitossolos Vermelhos Distróficos latossólicos, a declividade é maior, variando entre 45% e 75%. E nas porções côncavas, a declividade é muito pronunciada, maior que 75%, desenvolvendo Cambissolos Hápticos Tb Distróficos típicos, ao longo de canais de drenagem encaixados e muito profundos, em relevo escarpado.

No LVAd, o horizonte Bw apresenta estrutura forte muito pequena granular, atributo morfológico diagnóstico dos Latossolos. Por sua vez, os horizontes B nítico do NVd latossólico e Bi dos Cambissolos, apresentam estruturas em blocos subangulares bem desenvolvidas no Bnítico e fracamente desenvolvidas no Bi. No caso dos Nitossolos, pode-se observar que, além da estrutura, os horizontes B nítico e Bw se diferenciam quanto à consistência seca, onde o horizonte Bw apresenta consistência seca macia, e o horizonte B nítico apresenta consistência seca ligeiramente dura (Tabela 1).

Os Nitossolos Vermelhos Distróficos latossólicos apresentam horizonte B nítico, ambos com textura argilosa (maiores que 350g/kg) (Tabela 2), apresentando estruturação característica de Nitossolos com cerosidade comum e moderada, estrutura moderada em blocos subangulares e gradiente textural inferior a 1,5. O horizonte de maior profundidade por sua vez apresenta características morfológicas diagnósticas de B latossólico, principalmente estrutura granular e a transição é ondulada e difusa. Características semelhantes foram encontradas por Grego et al. (2011), que identificaram um Nitossolo Vermelho Distroférrico latossólico, que apresentava horizonte B latossólico abaixo de B nítico, onde uma das principais diferenças era em relação à estrutura. Os Latossolos e Nitossolos estudados pelos autores, assim como no presente estudo, também apresentavam características químicas e teores de argila semelhantes (Tabelas 2 e 3).

Tabela 2 - Características físicas do LVAd do PTC, representativo dos solos das áreas aplainadas de topo e dos solos da curvo-sequência estudada, Carmo de Minas, MG.

Perfil	Horiz.	Dp g cm ⁻³	Textura			Silte/Argila	B/A
			Argila	Silte g kg ⁻¹	Areia		
Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico húmico							
PTC	A1	2,56	540,00	120,00	340,00	0,22	
	Bw	2,67	580,00	120,00	300,00	0,21	1,07
	2Ab	2,56	640,00	120,00	240,00	0,19	
	2Bwb1	2,70	470,00	190,00	340,00	0,40	0,73
Latossolo Vermelho Distrófico típico							
1	A	2,60	470,00	150,00	380,00	0,32	

Perfil	Horiz.	Dp g cm ⁻³	Textura			Silte/Argila	B/A
			Argila	Silte g kg ⁻¹	Areia		
	Bw	2,63	550,00	90,00	360,00	0,16	1,17
Nitossolo Vermelho Distrófico típico							
2	A	2,56	470,00	140,00	390,00	0,30	
	Bt	2,67	500,00	150,00	350,00	0,30	1,06
	Bw	2,67	510,00	140,00	350,00	0,27	1,09
Cambissolo Háptico Tb Distrófico úmbrico							
3	A	2,53	420,00	190,00	390,00	0,45	
	Bi	2,63	520,00	120,00	360,00	0,23	1,24

A tabela 4 apresenta as características químicas dos perfis pedológicos da curvo-sequência estudada. Os resultados mostram que os três solos avaliados apresentam características químicas semelhantes, com baixos valores de soma de bases, capacidade de troca catiônica (CTC), saturação de bases, pH ácido, e valores altos de saturação de Al. Essas características denotam solos distróficos, ácidos e álicos.

Conforme pode ser observado na tabela 4, os solos apresentam valores de pH com acidez dentro das classes fortemente ácido (4,3 - 5,3), segundo Embrapa (2013). De acordo com os critérios de Alvarez et al. (1999), todos os solos possuem Soma de Bases considerada muito baixa (< 0,6 cmol_c dm⁻³) e CTC efetiva (t) variando de muito baixa (≥ 0,80 cmol_c dm⁻³) a baixa (0,81 a 2,3 cmol_c dm⁻³).

Tabela 3 - Teores de óxidos constituintes do LVAd do PTC, representativo dos solos das áreas aplainadas de topo e dos solos da curvo-sequência estudada, Carmo de Minas, MG.

Perfil	Horiz.	Ataque Sulfúrico			Ki	Kr	Al ₂ O ₃ / Fe ₂ O ₃
		SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃			
		%					
		Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico húmico					
PTC	Bw	20,93	21,55	13,00	1,65	1,19	2,60
	2Bwb1	21,31	20,54	14,50	1,76	1,21	2,22
		Latossolo Vermelho Distrófico típico					
1	Bw	16,41	21,05	9,60	1,32	1,03	3,44
		Nitossolo Vermelho Distrófico latossólico					
2	Bt	19,39	21,10	9,89	1,56	1,20	3,35
	Bw	18,30	21,58	11,63	1,44	1,07	2,91
		Cambissolo Háplico Tb Distrófico úmbrico					
3	Bi	21,76	20,65	10,32	1,79	1,36	3,14

Os resultados apresentados na tabela 3 mostram, ainda, que o NVd latossólico apresenta uma ligeira tendência de diminuição de Ki, Kr e da relação Al₂O₃/Fe₂O₃ do horizonte Bnítico ao Bw, demonstrando uma discreta maior concentração de Al₂O₃ em relação ao Fe₂O₃ no horizonte B nítico. Quanto ao teor de óxidos de ferro, observa-se que os solos são considerados mesoférricos, ou seja, com teores de Fe₂O₃ variando de 80 a 180 g/kg, conforme estabelecido pela Embrapa (2013).

Nos resultados das análises físicas dos solos (Tabela 2) pode ser observado que os solos apresentam uma baixa relação silte/argila (< 0,6), indicando alto grau de intemperismo (Embrapa, 2013). Além disso, os solos apresentaram gradientes texturais baixos, porém observa-se o predomínio da fração argila nos horizontes, caracterizando textura argilosa em todos os solos.

Tabela 4 - Caracterização química do LVAd do PTC, representativo dos solos das áreas aplainadas de topo e dos solos da curvo-sequência estudada, Carmo de Minas, MG.

Id	Hor	pH (KCl)	pH H ₂ O	ΔpH	Bases trocáveis				K ⁺	P	SB	t	T	m	V	C	MO	P-rem	Zn	Fe	Mn	Cu	B
					Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	Al ³⁺ + H ⁺															
LVAd - Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico húmico																							
PTC	A1	5,00	5,70	-0,70	3,10	1,20	0,10	4,04	106,00	2,00	4,57	4,67	8,61	2,14	53,10	25,69	44,50	17,71	5,65	29,58	25,15	2,18	0,31
	Bw	5,30	4,80	0,50	0,10	0,10	0,10	2,32	22,00	0,00	0,26	0,36	2,58	27,78	9,94			3,30	0,07	32,62	1,59	0,66	0,10
	2Ab	4,50	4,90	-0,40	0,30	0,20	0,70	9,83	10,00	0,56	0,53	1,23	10,36	56,91	5,07	23,04	39,90	1,16	0,46	17,11	1,17	1,39	0,15
	2Bwb1	5,80	4,90	0,90	0,10	0,20	0,00	1,66	20,00	1,42	0,35	0,35	2,01	0,00	17,48			2,00	0,10	40,49	0,38	0,39	0,17
LVd - Latossolo Vermelho Distrófico típico																							
1	A	4,30	4,90	-0,60	0,10	0,10	1,10	7,87	16,00	0,84	0,24	1,34	8,11	82,09	2,97	11,49	19,90	6,92	0,44	53,46	3,21	0,93	0,26
	Bw	4,60	5,00	-0,40	0,10	0,10	0,30	3,24	4,00	1,13	0,21	0,51	3,45	58,82	6,09			4,87	0,16	14,78	1,14	0,45	0,08
NVd - Nitossolo Vermelho Distrófico latossólico																							
2	A	4,30	4,80	-0,50	0,10	0,10	1,10	6,30	14,00	0,84	0,24	1,34	6,54	82,09	3,61	11,49	19,90	9,56	0,33	54,67	2,22	0,86	0,21
	Bt	4,60	4,70	-0,10	0,10	0,10	0,30	3,62	4,00	0,84	0,21	0,51	3,83	58,82	5,49			5,47	0,11	18,06	1,39	0,57	0,10
	Bw	4,80	4,70	0,10	0,10	0,10	0,10	2,59	4,00	1,13	0,21	0,31	2,80	32,26	7,51			5,16	0,11	15,06	1,24	0,45	0,08
CXbd - Cambissolo Háplico Tb Distrófico úmbrico																							
3	A	4,30	4,90	-0,60	0,10	0,10	1,40	7,87	22,00	1,71	0,26	1,66	8,13	84,34	3,15	20,55	35,60	8,53	0,42	57,75	4,13	0,52	0,13
	Bi	4,50	5,10	-0,60	0,10	0,10	0,80	4,52	6,00	0,28	0,22	1,02	4,74	78,43	4,54			12,92	0,19	53,02	3,55	0,36	0,08

Em que pH em água, KCl e CaCl₂ (relação 1:2,5); SB = soma de bases trocáveis; CTC (T) = Capacidade de Troca Catiônica a pH 7,0; m = Índice de Saturação de Alumínio; CTC (t) = CTC efetiva; V = Índice de Saturação de Bases; C = carbono orgânico e MO = matéria orgânica. Extratores: P, K, Fe, Zn, Mn, Cu: Mehlich I / Ca, Mg, Al: KCl 1mol/L / H + Al: SMP / MO: Oxidação Na₂Cr₂O₇ 4N + H₂SO₄ 10N; P-rem: fósforo Remanescente; B – Extrato água quente.

A evolução geológica-geomorfológica-pedológica que originou a formação da Serra da Mantiqueira é demonstrada pelo comportamento químico semelhante dos solos avaliados na curvo-sequência representativa (LVd, NVd latossólico e CXbd), considerando que a variação atual das classes de solo, ocorreu em função de remodelamento erosivo do relevo da região, como consequência de rejuvenescimentos em períodos repetitivos de pedogênese a partir do mesmo material já pré-intemperizado e pedogenizado em épocas geológicas anteriores, nas 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 neo-tectônicas posteriores, com soerguimento e basculamento de blocos crustais. O remodelamento erosivo subsequente no período atual, marcado por dissecações nas superfícies aplainadas, originando alterações significativas nas classes de declividade em morfometria convexa predominantes, 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 Latossolos previamente formados encontram-se preservados em relevos convexos, 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%.

Silva e Vidal-Torrado (1999) citam diversos autores que também descrevem essa situação de ocorrência de Latossolos em áreas de maior declividade no Sul de Minas, onde Latossolos Húmicos são encontrados em esparsos topos aplainados de uma paisagem formada por uma coalescência de colinas de relevo suave ondulado a ondulado e nas adjacências, os Latossolos

Húmicos ocorrem em áreas de relevo montanhoso a ondulado, constituídas pelos interflúvios dos reversos de blocos basculados movimentados pelo menos desde o Terciário. Estes autores, estudando a gênese destes Latossolo Húmicos e suas relações com a evolução da paisagem nesta mesma região, identificaram Latossolos com baixos valores de CTC, S e V%, relação silte/argila menor que 0,1 no Bw, além de mineralogia caulínica-gibbítica. Segundo os autores, essas características atestam o elevado estágio de intemperismo, resultante de repetidos ciclos de pedogênese, por se tratar de comportamento típico de regiões cratônicas tropicais caracterizadas pela ausência de eventos de sedimentação de grande intensidade, pelo fato de o material de superfície ter ficado por muito tempo exposto à ação do intemperismo e sujeito à redistribuição pela paisagem.

O estudo de uma crono-toposequências em Viçosa, Minas Gerais, realizado por Rezende (1971), também identificou a ocorrência de Cambissolos Háplicos Tb distróficos típicos ou latossólicos, e os Latossolos Vermelho-Amarelos Distróficos câmbicos em vertentes mais íngremes da paisagem, inclusive nas bordas das ravinas.

Machado (2002) em estudo realizado na Zona da Mata de Minas Gerais, também identificou a ocorrência de Latossolos em superfícies remanescentes de topo e Latossolos em encostas convexas e Cambissolos nas porções côncavas das encostas, com declividade entre 25 e 90%, provavelmente relacionados ao rejuvenescimento geomorfológico da região, relacionado à tectônica Terciária-Quaternária, que afetou a área estudada e manteve nas encostas, remanescentes de Latossolos desenvolvidos em uma paleounidade geomórfica aplainada.

Segundo Borém (2012) a Indicação Geográfica (IG) na modalidade Denominação de Origem (DO), associa os cafés de alta qualidade sensorial da Serra da Mantiqueira ao seu ambiente. O autor 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. Essas variáveis conjuntas foram consideradas atributos para a Indicação Geográfica de Denominação de Origem para o café de qualidade da Serra da Mantiqueira Mineira.

Com relação às classes de solo, não foi verificada grande variabilidade, cuja distribuição na paisagem atual é decorrente do remodelamento erosivo, marcado por relevo muito acidentado, com predomínio de encostas convexas, com transições convexo-côncavas e instalação de rede de drenagem em ravinas côncavas, profundas e escarpadas, demonstrando um relevo em formação a partir de evolução geológica-geomorfológica-pedológica em épocas relativamente recentes. A distribuição atual dos solos na paisagem regional é decorrente de preservação e rejuvenescimento de Latossolos desenvolvidos nas Superfícies de Aplainamento Japi e Sul-Americana, com exposição por longos períodos geológicos, proporcionando desenvolvimento de solos extremamente evoluídos e profundos. Na situação atual, as características químicas dos solos não contribuem ao cultivo de café, pois são solos muito pobres em nutrientes, ácidos e álicos. No entanto, os solos ainda são extremamente profundos nas condições de relevo atual, onde as características físicas decorrentes da estrutura granular extremamente forte, mineralogia sesquióxídica, com porosidade elevada e alta disponibilidade de água, favorecem o desenvolvimento de culturas perenes como a cafeicultura. Destaca-se ainda a presença comum de horizonte A húmico, de espessuras elevadas, atingindo 2 m de espessura, que além das características físicas favoráveis, melhoram as condições químicas destes solos.

4.4 CONCLUSÕES

- Latossolos Vermelho-Amarelos, Latossolos Vermelhos, Nitossolos Vermelhos latossólicos e Cambissolos Háplicos representam as classes de solos associadas ao cultivo de café de alta qualidade no município de Carmo de Minas, MG, na Serra da Mantiqueira Mineira.
- Estes solos apresentam características químicas e físicas semelhantes, decorrentes da origem dos mesmos, por meio de processos de rejuvenescimentos repetitivos de pedogênese, a partir do mesmo material já pré-intemperizado e pedogenizado, associados à evolução geológica e geomorfológica da região.
- Foi estabelecido o padrão de distribuição dos solos na paisagem, constatando-se que altitude, curvatura e declividade são os parâmetros morfométricos que controlam a variabilidade das classes de solos na área de estudo.
- Os Latossolos se distribuem em relevo convexo, em classes de declividade de até 45%; nas porções convexo-côncavas ocorre rejuvenescimento dos Latossolos, originando os Nitossolos latossólicos, em classes de declividade de 45 a 75%; e, nas porções côncavas do terreno, devido à instalação de drenagens, desenvolvem Cambissolos, em declividades maiores que 75%.
- A associação dos solos com a cultura dos cafés de alta qualidade sensorial da Microregião da Serra da Mantiqueira Mineira está relacionada à elevada evolução e profundidade destes, ocorrendo em relevos serranos com declividades elevadas, cujas características físicas latossólicas permitem o desenvolvimento de culturas perenes como a cafeicultura. A presença comum de horizonte A húmico de elevadas espessuras, também contribuem física e quimicamente à cultura do café.

4.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVAREZ, V. V. H.; NOVAES, R. F.; BARROS, N. F.; CANTARUTTI, R.B.; LOPES, A. S. Interpretação dos resultados das análises de solos. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARAES, P. T. G.; ALVAREZ, V. V. H. (Ed.). **Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª Aproximação**. Viçosa: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. p.25-32.
- 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.
- BRANDÃO, F. S.; CEOLIN, A. C.; GIANEZINI, M.; RUVIARO, C. F.; DIAS, E. A.; BARCELLOS, J. O. J. Orientação para mercado externo do café brasileiro. **Coffee Science**, Lavras, v.7, n.3, p.275-283, 2012.
- COELHO, F. M. G. O café num outro retrato do Brasil rural: o lugar da agricultura familiar. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, Edição especial. v.26, p.9-16, 2005.
- COELHO, F. F.; GIASSON, E. Métodos para mapeamento digital de solos com utilização de sistema de informação geográfica. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.40, n.10, p.2099-2106, 2010.
- CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da Safra Brasileira de Café, Safra 2015 – Quarto Levantamento**. Brasília: CONAB, 2015.
- CRIVELENTI, R. C.; COELHO, R. M.; ADAMI, S. F.; OLIVEIRA, S. R. M. O. Mineração de dados para inferência de relações solo-paisagem em mapeamentos digitais de solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.44, n.12, p.1707-1715, 2009.

- DEMATTÊ, J. A. M.; RIZZO, R.; BORTOLETTO, M. A. M. Método geotecnológico integrativo na caracterização de solos desenvolvidos de diferentes materiais de origem. **Bragantia**, Campinas, v.70, n.3, p.638-648, 2011.
- DIAS, J. R. **Unidades Geoambientais da Área de Proteção Ambiental da Serrinha do Alambari - Capelinha, Resende – RJ**. 2007. 69p. Monografia (Bacharelado em Geologia). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.
- EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solo. **Manual de métodos de análise de solos**. 2ª Edição, Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1997. 212p.
- EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3ª Edição, Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2013. 353p.
- FEAM - FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE. **Mapa de solos do Estado de Minas Gerais: legenda expandida**. Universidade Federal de Viçosa; Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais; Universidade Federal de Lavras; Fundação Estadual do Meio Ambiente. Belo Horizonte: Fundação Estadual do Meio Ambiente, 2010. 49p.
- GIASSON, E.; INDA JUNIOR, A. V.; NASCIMENTO, P. C. Estimativa do benefício econômico potencial de dois levantamentos de solos no Estado do Rio Grande do Sul. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.36, n.2, p.478-486, 2006.
- GREGO, C. R.; COELHO, R. M.; VIEIRA, S. R. Critérios morfológicos e taxonômicos de latossolo e nitossolo validados por propriedades físicas mensuráveis analisadas em parte pela geoestatística. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, p.337-350, 2011.
- 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.

- IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Projeto: Sistematização das Informações sobre Recursos Naturais. **Mapa de Clima do Brasil**. 2006. Disponível em: <ftp://geofp.ibge.gov.br/mapas_tematicos/mapas_murais/shapes/clima/>. Acessado em 02 mai.2016.
- INMET - INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Normais Climatológicas do Brasil 1961-1990**. Versão revista e ampliada. [on-line]. INMET, 2009. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/normaisClimatologicas>>. Acessado em 01 jul.2016.
- IPPOLITI, G. A. R.; COSTA, L. M.; SCHAEFER, C. E. G. R.; FERNANDES FILHO, E. I.; GAGGERO, M. R. Análise digital do terreno: ferramenta na identificação de pedoformas em microbacia na região de “Mar de Morros” (MG). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.29, p.269-276, 2005.
- KING, L. C. A Geomorfologia do Brasil Oriental. **Revista Brasileira de Geografia**, Rio de Janeiro, v.18, n.2, p.147-266, 1956.
- KÖPPEN, W. Das geographische System der Klimate. In: KÖPPEN, W.; GEIGER, R. (eds.). **Handbuch der Klimatologie**. Gebruder Borntrager, Berlin: 1936. p.1-44, part C.
- MACHADO, M. L. **Caracterização de agroecossistemas cafeeiros da Zona da Mata de Minas Gerais, usando Sensoriamento Remoto e Sistemas de Informações Geográficas**. 2002. 137p. (Dissertação de Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas). Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.
- 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.

- NETO, R. M.; PEREZ FILHO, A. Relevos tectônicos no meio tropical: questões sobre a fisiologia da paisagem nas terras altas do sudeste brasileiro. **Revista Geonorte**, Edição Especial, v.2, n.4, p.646-658, 2012.
- PINTO, C.P. **Petrologia de rochas alcalinas, cálcio-alcálicas e toleíticas da Serra da Mantiqueira em Minas Gerais - Brasil**. 1995. 191p. (Dissertação de Mestrado). Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Minas Gerais.
- REIS, P. R.; CUNHA, R. L. **Café Arábica do plantio à colheita**/Paulo Rebelles Reis, Rodrigo Luz da Cunha. – Lavras: U.R. EPAMIG SM, 2010. 1 v., 896p.
- REZENDE, S. B. **Estudo de crono-topossequência em Viçosa**. 1971. 71p. (Dissertação de Mestrado). Centro de Ciências Agrárias, Departamento de Solos, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.
- 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, 2005. 100p.
- SERTÃO COFFEES. Cup of Excellence 2006 [on-line]. Carmo de Minas, MG: **Sertão Coffees**, 2006. Disponível em: <<http://www.gruposertao.com.br>>. Acessado em 15 set. 2011.
- SILVA, A. C.; VIDAL-TORRADO, P. Gênese dos Latossolos Húmicos e sua relação com a evolução da paisagem numa área cratônica do sul de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.23, p.329-341, 1999.
- 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.

5. CAPÍTULO 5 - MAPEAMENTO DIGITAL DOS SOLOS ASSOCIADOS AO CULTIVO DE CAFÉS ESPECIAIS NA SERRA DA MANTIQUEIRA MINEIRA

RESUMO

Apesar da importância dos levantamentos de solos como fonte de informação primordial para o planejamento e manutenção desse recurso natural, a grande extensão territorial do Brasil e os altos custos dos levantamentos tradicionais têm inviabilizado a elaboração de mapas de solos detalhados, tornando necessária a utilização de metodologias empregadas no mapeamento digital dos solos. O presente estudo teve como objetivo a realização do mapeamento digital dos solos associados aos cultivos de cafés especiais no município de Carmo de Minas, MG, representativo da Microregião da Serra da Mantiqueira Mineira, para fornecer dados na obtenção da Indicação Geográfica (IG) na modalidade Denominação de Origem (DO). O modelo de distribuição de solos da área de estudo resulta da associação de feições morfométricas do terreno onde, em altitudes maiores do que 1.000 m, as classes de curvatura associadas a determinada classe de declividade, controlam a variabilidade dos solos. Mediante as regras do modelo elaborado, foi realizado o mapeamento digital dos solos com a utilização da lógica *fuzzy*, por meio do programa ArcGIS. O mapa gerado mostra a ocorrência de Latossolos em relevos convexos com declividade de até 35% e em intervalos de declividade de 35 a 45% ocorre a associação de Latossolos e Nitossolos latossólicos, chegando ao predomínio dos Nitossolos latossólicos quando a declividade varia de 45 a 70%. Nas faixas de declividade acima de 70%, nas porções côncavas das encostas, onde estão se instalando as redes de drenagem, surgem os Cambissolos.

Palavras-chave: Distribuição de solos, Lógica *fuzzy*, Mapa de solos, Pedomorfogeologia, Serra da Mantiqueira.

ABSTRACT

Despite the importance of soil surveys as a fundamental source of information for planning and maintaining soils, 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 1,000m the curvature classes associated with each declivity class 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 Oxic Hapludult occur within the declivity range of 35-45%; Oxic Hapludult predominate within a declivity range of 45-70%; and Hapludept occur on concave slopes with a declivity higher than 70%, where drainage networks are being implemented.

Keywords: Soil distribution, *Fuzzy* logic, Soil map, Pedomorphogeology, Serra da Mantiqueira.

5.1 INTRODUÇÃO

Para a sustentabilidade do meio ambiente e eficiência na produção de alimentos, são fundamentais o conhecimento sobre as propriedades e os atributos dos solos, possibilitando a adoção de práticas adequadas de manejo. Diversos problemas ambientais ou de produção, relacionados aos solos, como erosão, contaminação do lençol freático, produtividades abaixo do potencial da área, podem ser evitados ou reduzidos com o uso de informações obtidas nos mapas de solos (Arruda et al., 2013).

Para Giasson et al. (2006), os levantamentos de solos são reconhecidos como importantes fontes de informação para o planejamento e gestão do uso das terras e apesar disso, no Brasil, os levantamentos de solos na maior parte do país só estão disponíveis em pequena escala 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). Além disso, a evolução da pedologia se dará com a utilização de novas tecnologias para aquisição de dados e informações e para elaboração de mapas pedológicos, situação prevista por Basher (1997) e observada atualmente nos diversos estudos desenvolvidos utilizando sistema de informação geográfica e sensoriamento remoto.

Diversos trabalhos têm comprovado a eficiência do mapeamento digital de solos, por meio da utilização de geotecnologias (Ippoliti et al., 2003; Demattê et al., 2011; Lacerda e Barbosa,

2012; Demattê et al., 2012, entre outros), alguns com aplicação de técnicas de árvores de decisão (Crivelenti et al., 2009; Giasson et al., 2011; Giasson et al., 2013; Höfig et al., 2014; Teske et al., 2014; Giasson et al., 2015), redes neurais (Chagas et al., 2010; Carvalho Junior et al., 2011; Calderano Filho et al., 2013), regressões logísticas múltiplas (Giasson et al. 2006; Figueiredo et al., 2008; Coelho e Giasson, 2010; Ten Caten et al., 2011), lógica *fuzzy* (Nolasco-Carvalho et al., 2009; Zhu et al., 2010; Lima, 2013), metodologia de krigagen (Kraemer, 2007; Valladares et al., 2009; Lima et al., 2014), entre outros.

A região da Serra da Mantiqueira Mineira 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), concedida pelo Instituto Nacional da Propriedade Industrial em maio de 2011 (INPI, 2016). A Serra da Mantiqueira Mineira está inserida na Região Sul de Minas, responsável pela produção de aproximadamente 48% da produção estadual e 25% da produção nacional da safra de café em 2015 (CONAB, 2015).

Entre os municípios da Região da Serra da Mantiqueira Mineira, Carmo de Minas destaca-se pela produção de cafés de alta qualidade, onde dentre os dez cafés de maior valor agregado do mundo, estão dois cafés brasileiros, produzidos neste município, onde pode-se citar o café vencedor do Cup of Excellence de 2005 (Sertão Coffees, 2006), com nota de 95,85.

Diante desse cenário tornam-se necessários estudos que possibilitem o conhecimento das características dos solos associados à produção desses cafés de elevada qualidade sensorial, nesta microregião mineira, de forma a possibilitar a Indicação Geográfica (IG) na modalidade Denominação de Origem (DO).

Nesse contexto, o presente estudo teve como objetivo a realização do mapeamento digital dos solos associados ao cultivo de 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).

5.2 MATERIAL E MÉTODOS

5.2.1 Caracterização da Área de Estudo

A área de estudo corresponde ao município de Carmo de Minas, Estado de Minas Gerais, na região da Serra da Mantiqueira, com uma área territorial de aproximadamente 322 km² e uma população de 13.750 habitantes (IBGE, 2010). A localização do município pode ser observada na Figura 1.

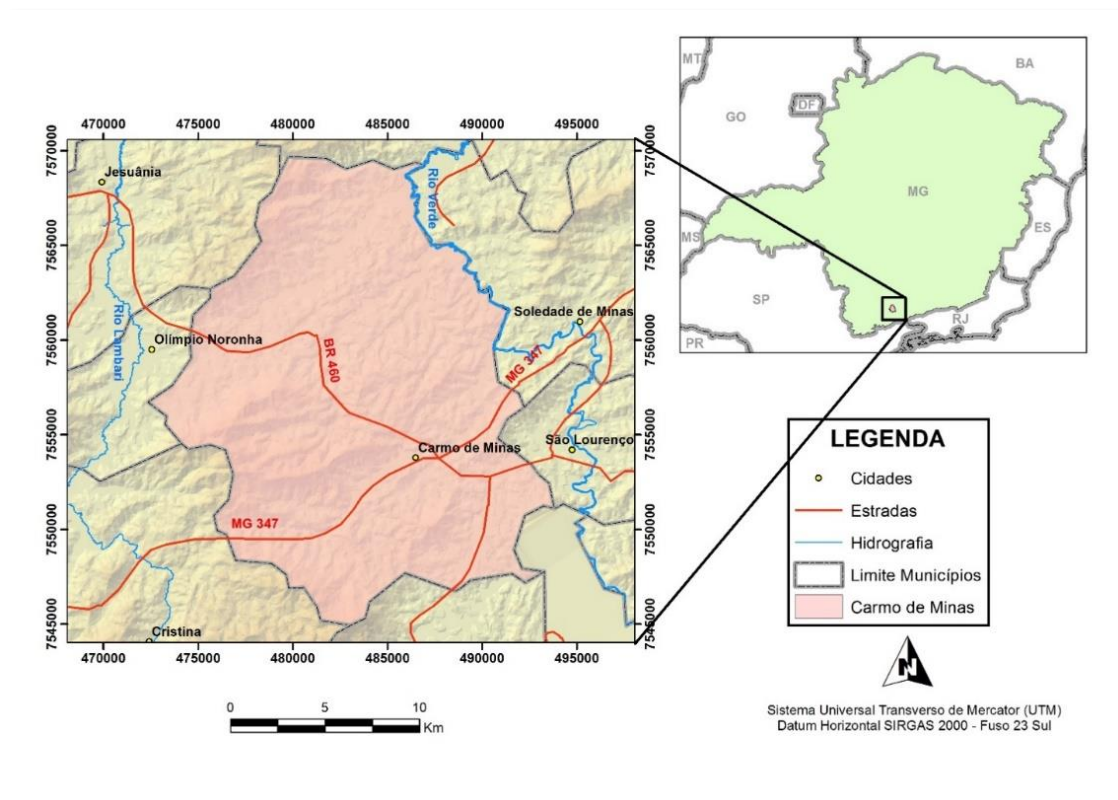


Figura 1 - Localização da área de estudo, correspondente ao município de Carmo de Minas, MG.

O município foi escolhido por apresentar as características representativas encontradas na região da Serra da Mantiqueira em relação ao relevo, geologia, classes de solo, cafeicultura e clima, além de ser um importante produtor de café de alta qualidade sensorial.

5.2.2 Caracterização do meio físico de Carmo de Minas, MG

5.2.2.1 Clima

A partir dos dados das Normais Climatológicas 1961-1990, disponíveis no Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2009), registrados na estação climatológica de São Lourenço, segundo a classificação de Köppen (1936), o clima de Carmo de Minas é classificado como temperado úmido com inverno seco e verão quente (Cwa). O clima Cwa apresenta inverno seco e verão com temperatura do mês mais quente maior que 22°C. Julho é o mês que apresenta a menor temperatura média e precipitação pluviométrica, com 14,3°C e 24 mm, respectivamente. Fevereiro é o mês mais quente do ano, com 22,3°C.

5.2.2.2 Geologia atual e evolução geológica-geomorfológica

Quanto à geologia, Carmo de Minas está inserido na Província Mantiqueira, representando o extremo sul da Faixa Brasília Meridional. Nessa região há um predomínio de rochas do Embasamento Paleoproterozóico/Arqueano, constituído principalmente por ortognaisses, localmente migmatíticos, além de pequenos corpos de rochas básicas e ultrabásicas e sequências do tipo *Greenstone Belts* e Sucessões Metassedimentares Neoproterozóicas, composta por paragnaisses, xistos, quartzitos, além de rochas metabásicas intercaladas (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), na Era Mesozóica, Período Neo-Cretáceo (89 a 65 milhões de anos), ocorreu na região um soerguimento da crosta continental, originando um megaplanalto de cerca de 300.000 km² (Serra do Mar Cretácea). Ao final desse soerguimento, no início do Período Terciário, ao redor de 66-65 milhões de anos, sucedeu-se um grande

aplainamento, gerando a Superfície de Aplainamento Japi, que nivelou esse megaplanalto em torno de 2.000 m em relação ao nível do mar atual. Com esta situação, a crosta tornou-se isostaticamente instável e com o colapso gravitacional do megaplanalto, a crosta continental fendeu-se e afundou-se em diversas áreas lineares formando-se corredores de grábens (riftes) paralelos à costa continental Sul Americana, gerando uma feição peculiar na margem continental do Brasil: o duplo escarpamento formado pelas Serras do Mar e da Mantiqueira. Os remanescentes topográficos deste megaplanalto constituem hoje em dia as partes mais altas destas Serras, modificadas por basculamentos dos blocos tectônicos.

Após esta grande instabilidade tectônica, no início da Era Cenozóica, no Período Terciário - 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, correspondendo ao aplainamento da superfície de 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 (Período Terciário - Paleógeno/Neógeno - 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).

Neto e Perez Filho (2012) afirmaram que a deformação expressiva ocorrida na Superfície Japi apresenta um controle neo-tectônico ativo, que nos tempos geológicos atuais está remodelando escarpas e reorganizando a rede de drenagem por meio de progressão remontante das linhas erosivas.

Carmo de Minas localiza-se neste contexto geológico-geomorfológico, apresentando feições geomorfológicas relacionadas à formação da Serra da Mantiqueira, onde, segundo Dias (2007) é recortada por vales profundos exibindo quase sempre lombadas e patamares à meia

encosta, com controle geológico estrutural evidente. Segundo Pinto (1995), as cotas da Mantiqueira raramente ultrapassam 1.200 m, exceção feita às porções sustentadas pelas formações quartzíticas que podem atingir 1.800 m na serra de Ibitipoca, testemunho da Superfície Japi. Aluviões suspensos são encontrados em todas as superfícies e caracterizam as fases de sedimentação dos ciclos correspondentes e a retomada dos processos erosivos em ciclos subseqüentes.

As serras observadas em Carmo de Minas apresentam orientação predominante na direção nordeste-sudoeste, concordantes com os falhamentos decorrentes dos soerguimentos crustais paralelos à margem continental do Brasil, constituindo o duplo escarpamento representado pelas Serras do Mar e da Mantiqueira.

5.2.2.3 Solos

Quanto aos solos, o município de Carmo de Minas apresenta uma cobertura pedológica formada pela associação de Latossolos, Argissolos e Cambissolos, com predominância de Latossolos Vermelho-Amarelos distróficos típicos A moderado textura argilosa e Argissolos Vermelhos distróficos típico A moderado/fraco textura média/argilosa (FEAM, 2010).

5.2.3 Modelo de distribuição dos solos de Carmo de Minas, MG

Em Carmo de Minas e na região da Serra da Mantiqueira Mineira como um todo, onde o relevo é muito acidentado, o padrão de distribuição dos solos na paisagem é complexo e não segue os modelos padronizados, confirmando a carência de levantamentos de solos em escalas mais detalhadas nesta região para o planejamento das atividades agrícolas, conforme citado por diversos autores como Giasson et al. (2006), Crivelenti et al. (2009), Coelho e Giasson (2010), dentre outros.

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 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 foram instaladas 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 de Oliveira, 2005) e no Período Terciário - Paleógeno (65 a 24 milhões de anos), na Superfície de Aplainamento Sul-Americana. A sequência de horizontes

A e Bw superiores, constituem os Latossolos Vermelho-Amarelos relictuais dos topos aplainados da Serra da Mantiqueira, evoluídos na Superfície Sul Americana.

5.2.4 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 de Carmo de Minas, MG.

Foram selecionadas três áreas-piloto no município de Carmo de Minas, consideradas representativas das feições do relevo e distribuição de classes de solos, 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, principalmente em estradas vicinais. 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. (2005), 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 sequências 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.

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. (2005) 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 (constituídos principalmente por ortognaisses localmente migmatíticas, pequenos corpos de rochas básicas e ultrabásicas do Embasamento Paleoproterozóico/Arqueano, e paragnaisses, xistos das 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, conforme observado por Borém (2012), 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 notas nas avaliações sensoriais finais, com pontuação acima de 85.

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

5.2.5.1 Banco de Dados

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 (Figuras 2, 3, 4 e 5).

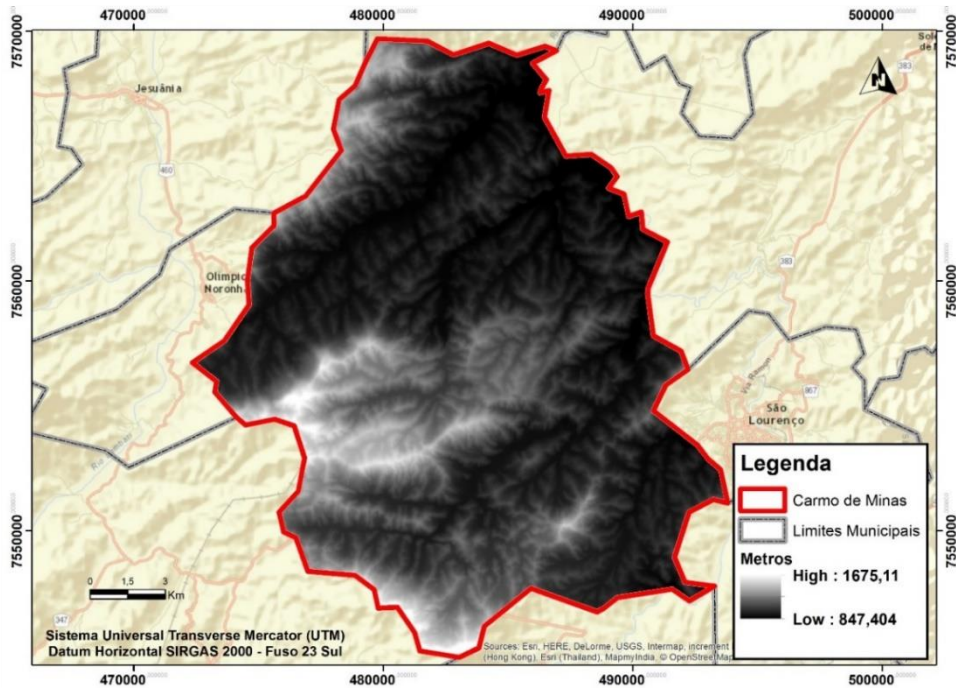


Figura 2 - Modelo digital de elevação (MDE) do município de Carmo de Minas.

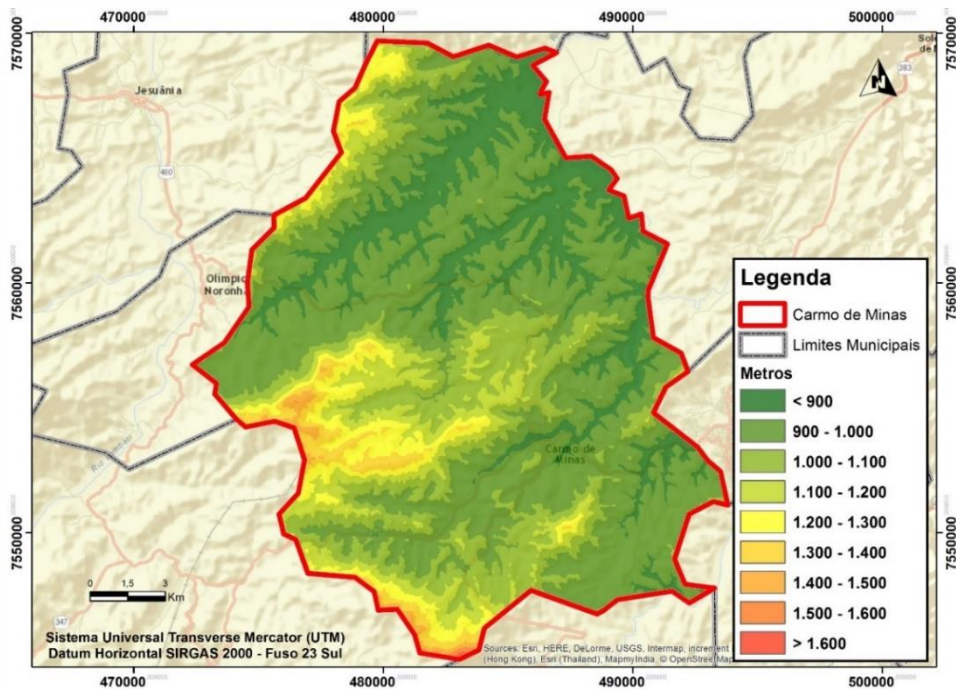


Figura 3 - Mapa de classes hipsométricas do município de Carmo de Minas.

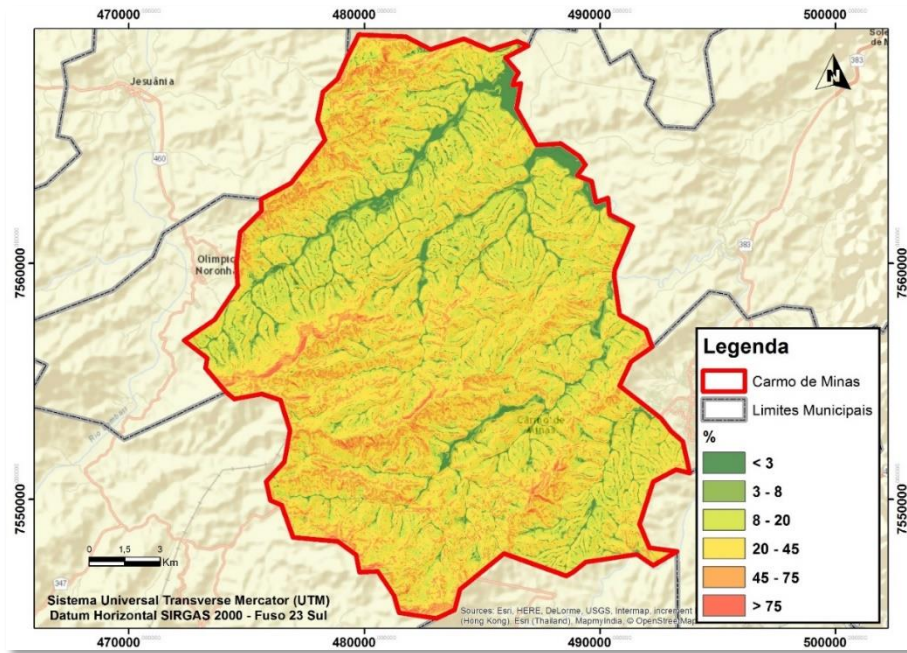


Figura 4 - Mapa de classes de declividade do município de Carmo de Minas.

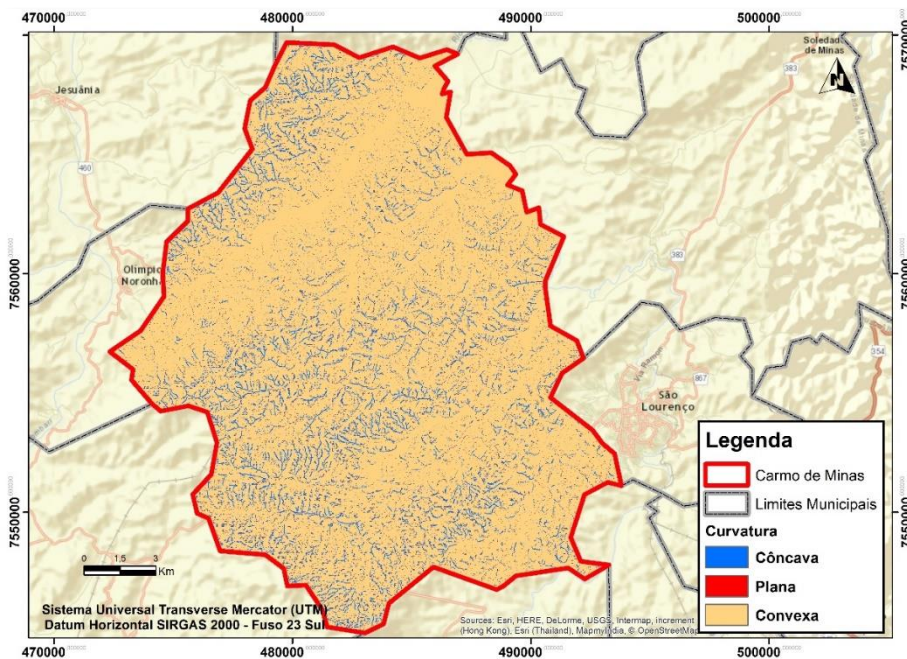


Figura 5 - Mapa de classes de curvatura do município de Carmo de Minas.

Também fazem parte do banco de dados, o modelo de distribuição de solos de Carmo de Minas (relações pedomorfogeológicas) e os perfis de solos descritos nas três áreas-piloto estudadas.

5.2.5.2 Inferência *Fuzzy*

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. Os conjuntos *fuzzy* são caracterizados pela função de pertinência (característica), onde um indivíduo pode pertencer totalmente, parcialmente ou não pertencer a determinada classe, sendo que esse grau de pertinência pode variar de zero a um (Zadeh, 1965; Mendonça-Santos e Santos, 2003), demonstrando que essa caracterização de classes estabelecida pelos conjuntos *fuzzy* não possuem limites rígidos (bordas).

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. Este operador foi utilizado também por Nolasco-Carvalho et al. (2009) e Souza (2015).

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 e consequentemente evitando uma distribuição espacial incorreta dos solos, uma vez que possibilitam o reconhecimento das classes associadas no mapa final. 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.

5.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O modelo de distribuição dos solos do município de Carmo de Minas, Minas Gerais, foi gerado por meio da lógica *fuzzy* no ArcGIS, embasado pelo estabelecimento das relações pedomorfogeológicas da área de estudo, que permitiu os estabelecimentos dos graus de pertinência dos atributos morfométricos do terreno avaliados (curvatura, declividade e altimetria), apresentados na tabela 1.

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 Háptico					
0 – 7	1	Côncava	1	> 1.000 m	1
7 – 35	1	Plana	0		
35 - 45	1	Convexa	0		
45 - 70	1				
> 70	1				
Associação de 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				

Declividade (%)	PC	Curvatura	PC	Altimetria (m)	PC
Associação de 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				
Associação de 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.

5.3.1 Mapas de pertinência *fuzzy*

Com base nos atributos morfométricos do terreno relacionados ao modelo de distribuição dos solos do município de Carmo de Minas, MG, 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.

O operador AND, foi utilizado, também, por Nolasco-Carvalho et al. (2009) para a elaboração do mapa digital de solos de uma área na região de Mucugê, no estado da Bahia. Segundo os autores o operador AND possibilita a obtenção de estimativas mais conservadoras, uma vez que identifica de forma rigorosa áreas mais favoráveis à ocorrência das classes, a partir dos fatores considerados no modelo de predição de solos.

Souza (2015) também utilizou o operador AND no mapeamento digital dos solos da microbacia do Ribeirão Salinas, Distrito Federal, para determinação dos solos com horizontes B textural e B nítico. A autora testou diversos operadores e observou que o *Fuzzy* AND foi o único que identificou unidades simples e associações de classes de solos.

Os mapas de pertinência *fuzzy* para cada classe de solo reclassificados em potências ordenadas de 2, podem ser observados nas figuras 6, 7 e 8.

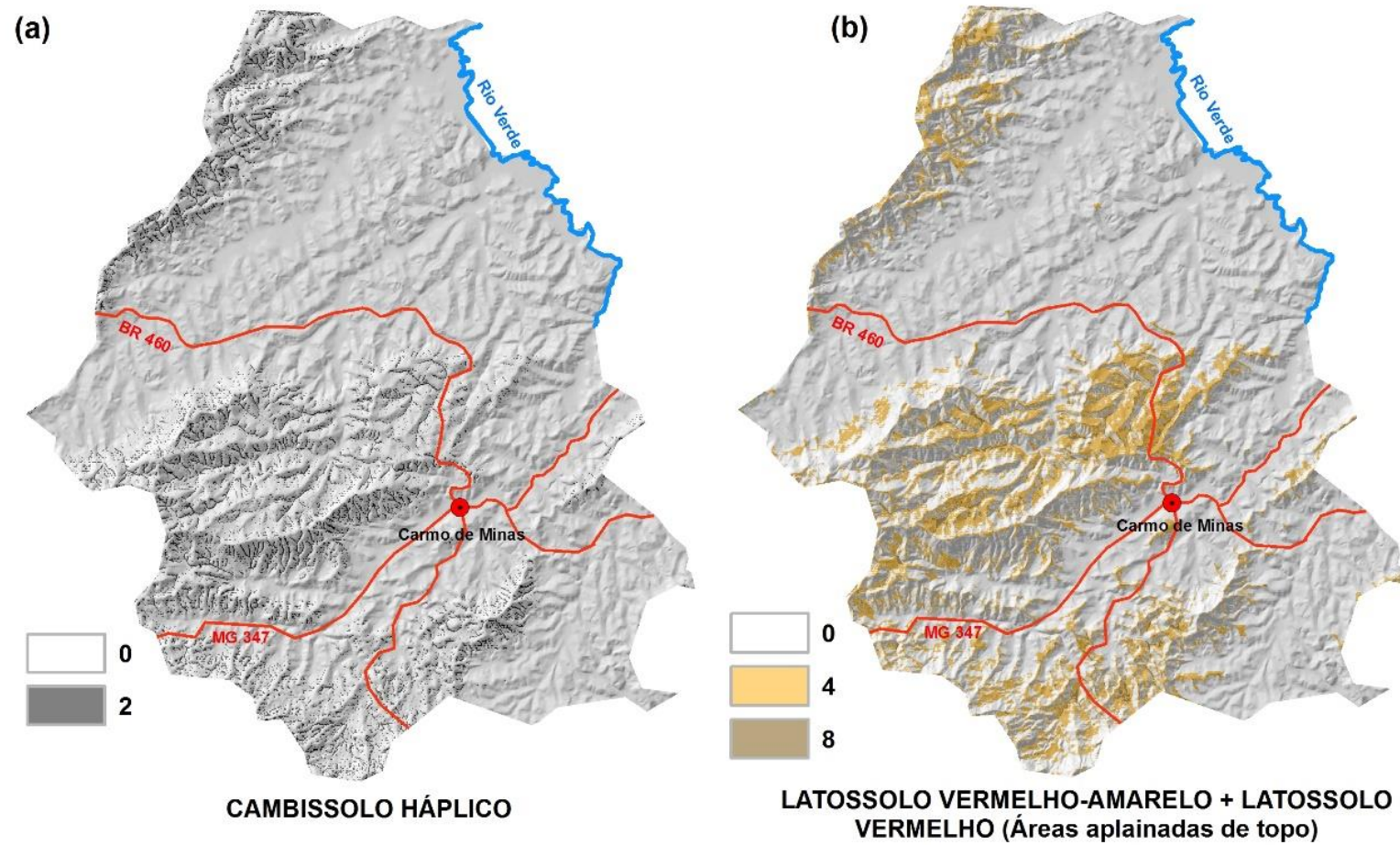


Figura 6 - Mapas de pertinência *fuzzy* do município de Carmo de Minas, MG: a) Cambissolo Háplico; b) Latossolo Vermelho-Amarelo + Latossolo Vermelho (áreas aplainadas de topo).

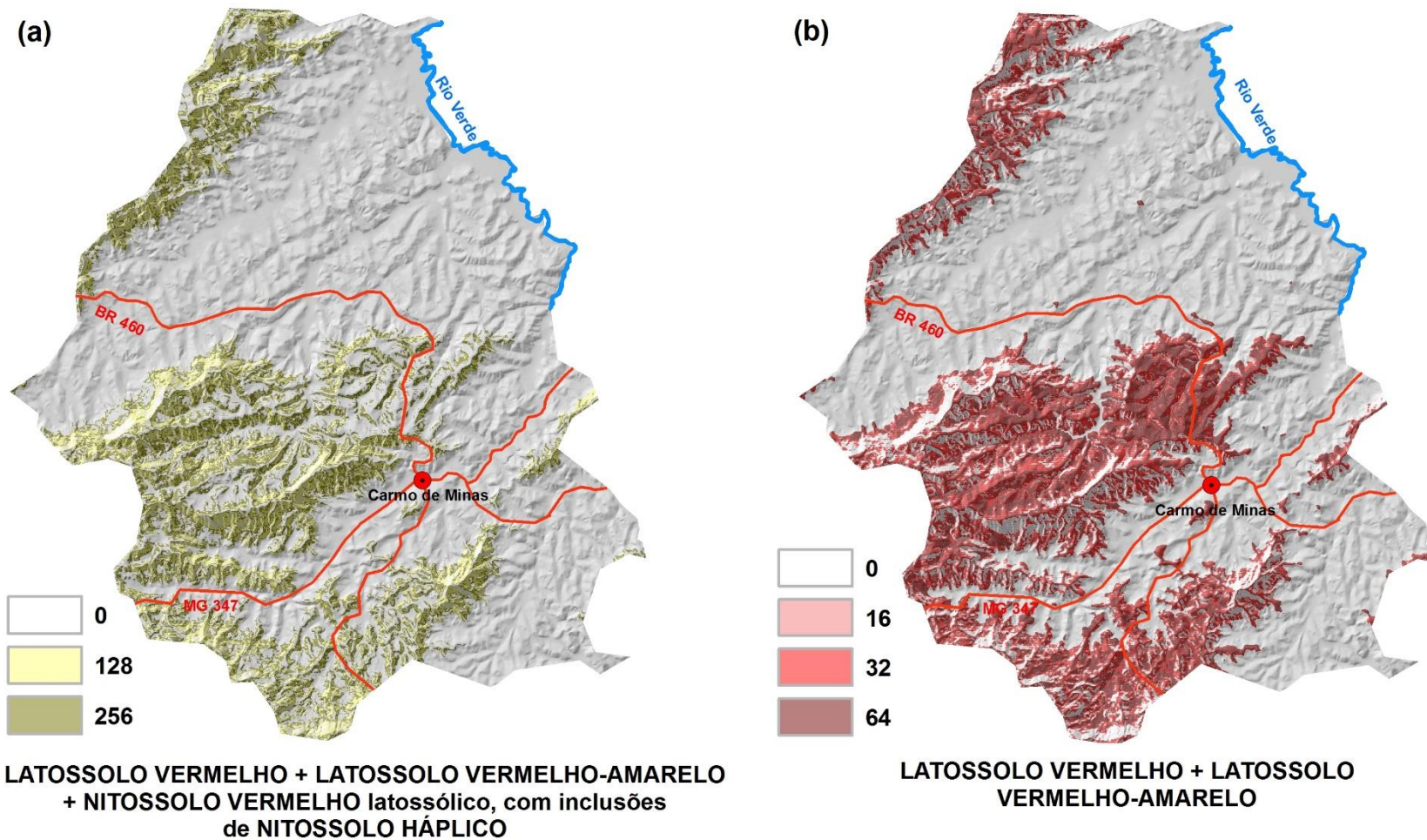


Figura 7 - Mapas de pertinência *fuzzy* do município de Carmo de Minas, MG: a) Latossolo Vermelho + Latossolo Vermelho-Amarelo + Nitossolos Vermelhos latossólicos, com inclusões da Nitossolo Háplico; b) Latossolo Vermelho + Latossolo Vermelho-Amarelo.

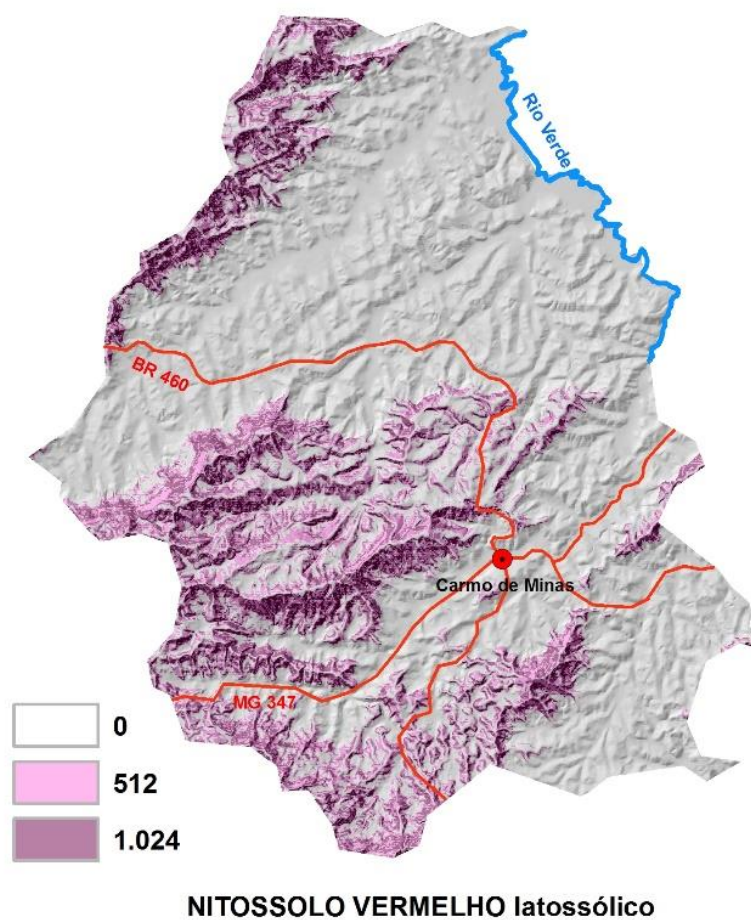


Figura 8 - Mapas de pertinência *fuzzy* da classe de Nitossolo Vermelho latossólico do município de Carmo de Minas, MG.

5.3.2 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 9.

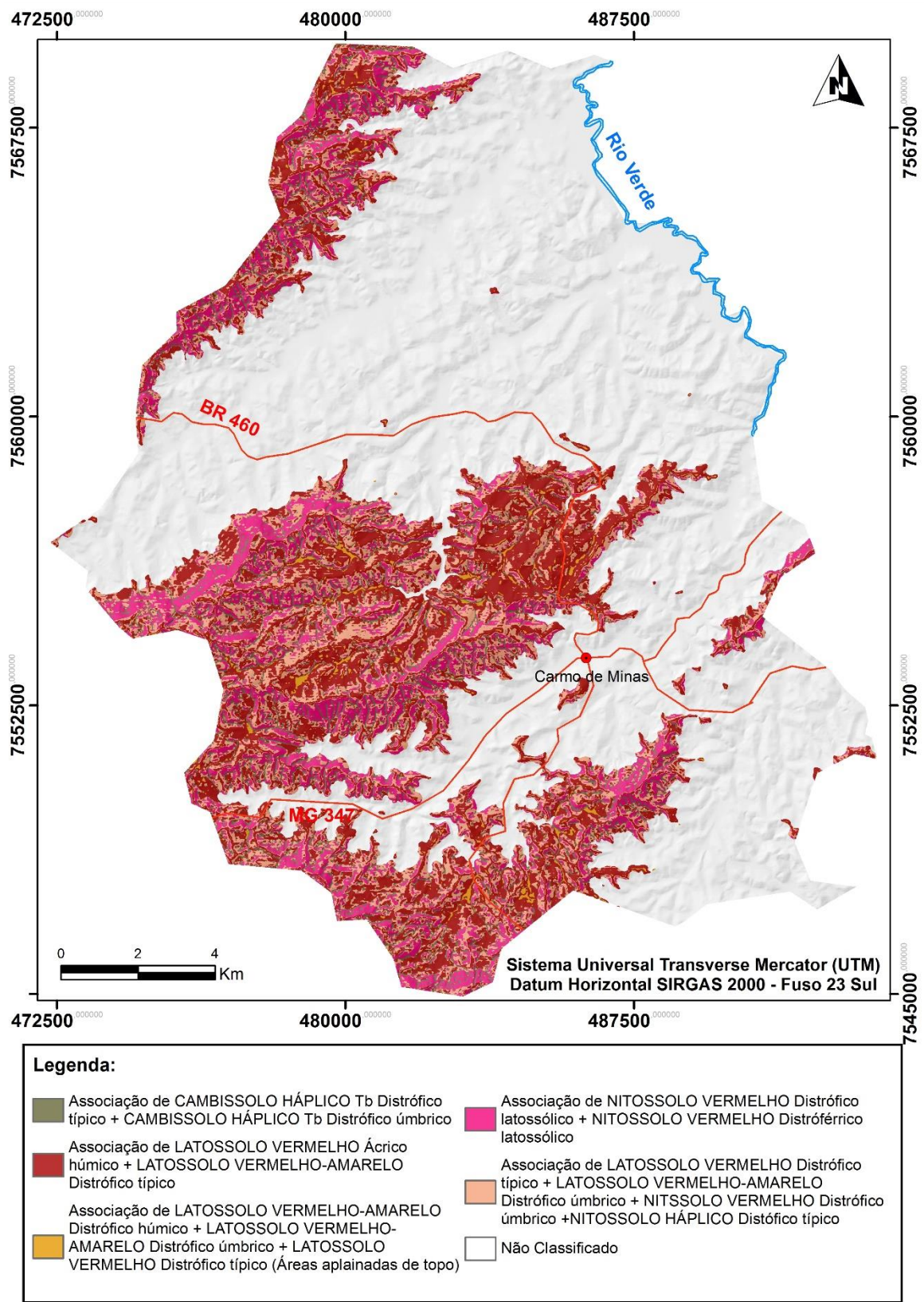


Figura 9 - Mapa dos solos associados ao cultivo de cafés de alta qualidade do município de Carmo de Minas, MG.

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.

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.

5.3.3 Validação do mapeamento digital de solos

A Figura 10 apresenta o detalhamento das classes de solos caracterizados na área-piloto norte - A. Os perfis 1 e 5 constituídos por Latossolos Vermelho-Amarelos Distróficos típicos localizam-se nas porções planas de topo; o perfil 2 também trata-se de um latossolo, localiza-se em relevo convexo e declividade em torno de 25%; o perfil 3 (Cambissolo Háplico Tb Distrófico típico), localiza-se em relevo côncavo em 70% de declividade; o perfil 4 (Cambissolo

Háplico Tb Distrófico típico) localiza-se em relevo côncavo, com declividade em torno de 75%; e o perfil 6 trata-se de um Nitossolo Vermelho Distrófico latossólico, localizado na transição de relevo côncavo-convexo, em declividade de 50%. Nessa área-piloto foi realizada a descrição completa dos solos dos perfis 1, 3 e 6, uma vez que os perfis 2 e 5 correspondem a mesma classe de solos do perfil 1 e o perfil 4 corresponde a mesma classe de solo do perfil 3 (Figuras 11, 12 e 13).

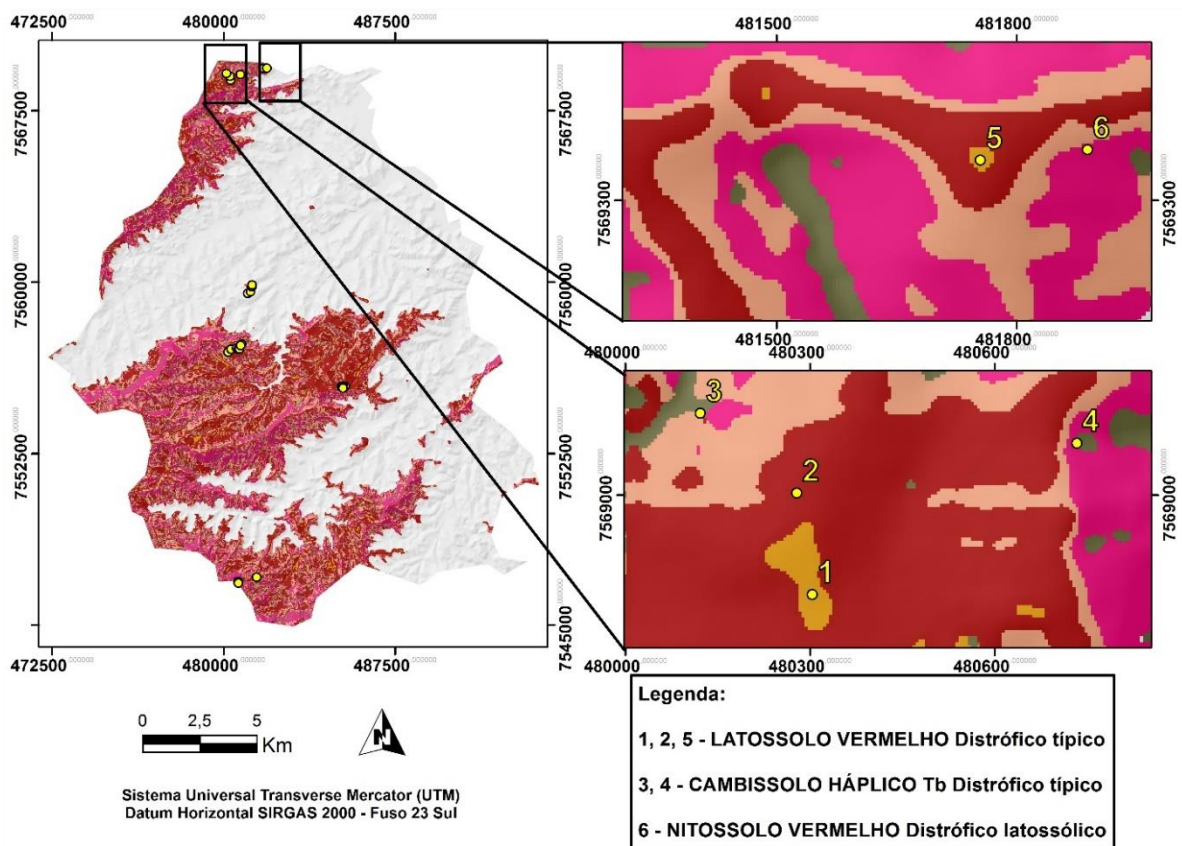


Figura 10 – Detalhamento do mapa dos solos associados ao cultivo de cafés de alta qualidade da área-piloto norte - A, município de Carmo de Minas, MG.

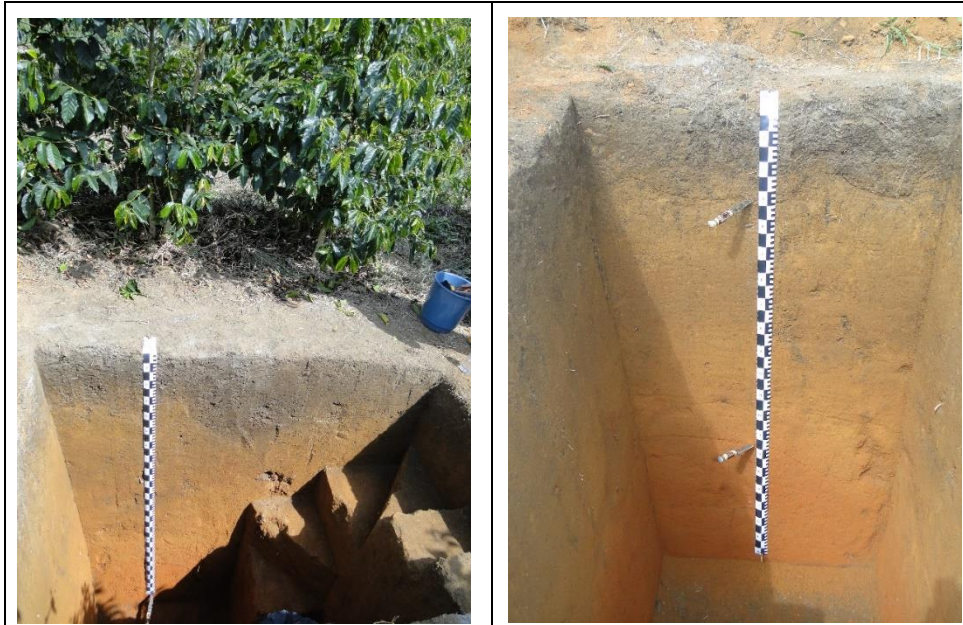


Figura 11 – Perfil 1: Latossolo Vermelho Distrófico típico.

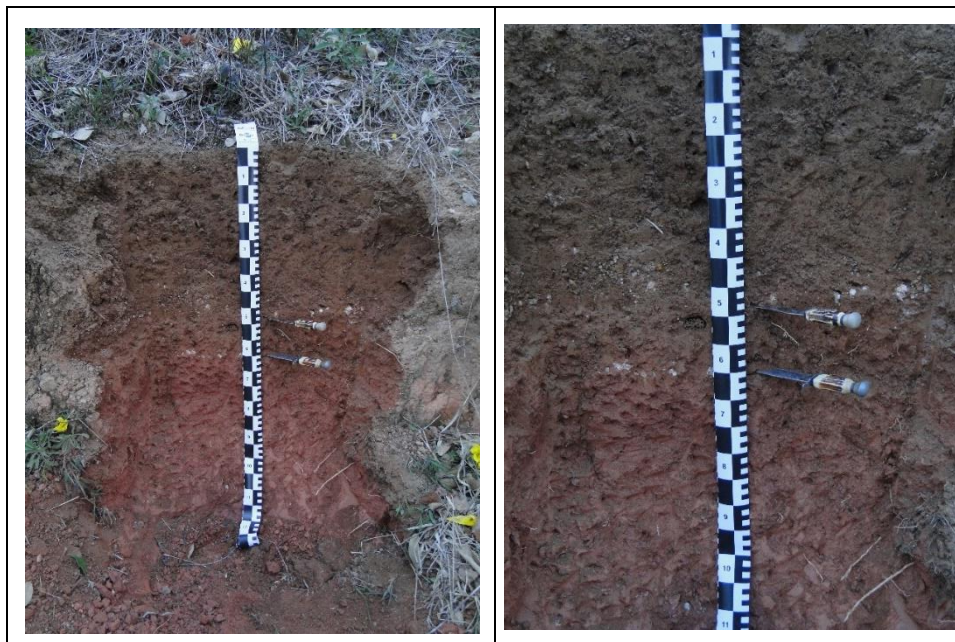


Figura 12 – Perfil 3: Cambissolo Háplico Tb Distrófico típico.



Figura 13 – Perfil 6: Nitossolo Vermelho Distrófico latossólico.

A figura 14 mostra o detalhamento da curvo-seqüência da área-piloto central - C, onde foram avaliados oito perfis pedológicos. O perfil 11 (Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico húmico) localiza-se em área plana de topo; o perfil 12 (Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico) localiza-se em relevo convexo, com 25% de declividade; o perfil 13 (Latossolo Vermelho Distrófico típico) ocorre em relevo convexo com 15% de declividade; os perfis 14 e 15 (Latossolos Vermelhos Distróficos típicos) ocorrem em relevo convexo com 20% de declividade; o relevo do perfil 16 é convexo, com 45% de declividade; o perfil 17 (Nitossolo Háplico Distrófico típico) apresenta transição de relevo côncavo-convexo com declividade em torno de 50%; perfil 18 (Nitossolo Vermelho Distrófico úmbrico) em relevo convexo com declividade de 55% (Figuras 15, 16, 17, 18 e 19).

Nessa área-piloto foi realizada a descrição completa dos solos dos perfis 11, 12, 13, 17 e 18, uma vez que os perfis 14, 15 e 16 correspondem a mesma classe de solos do perfil 13.

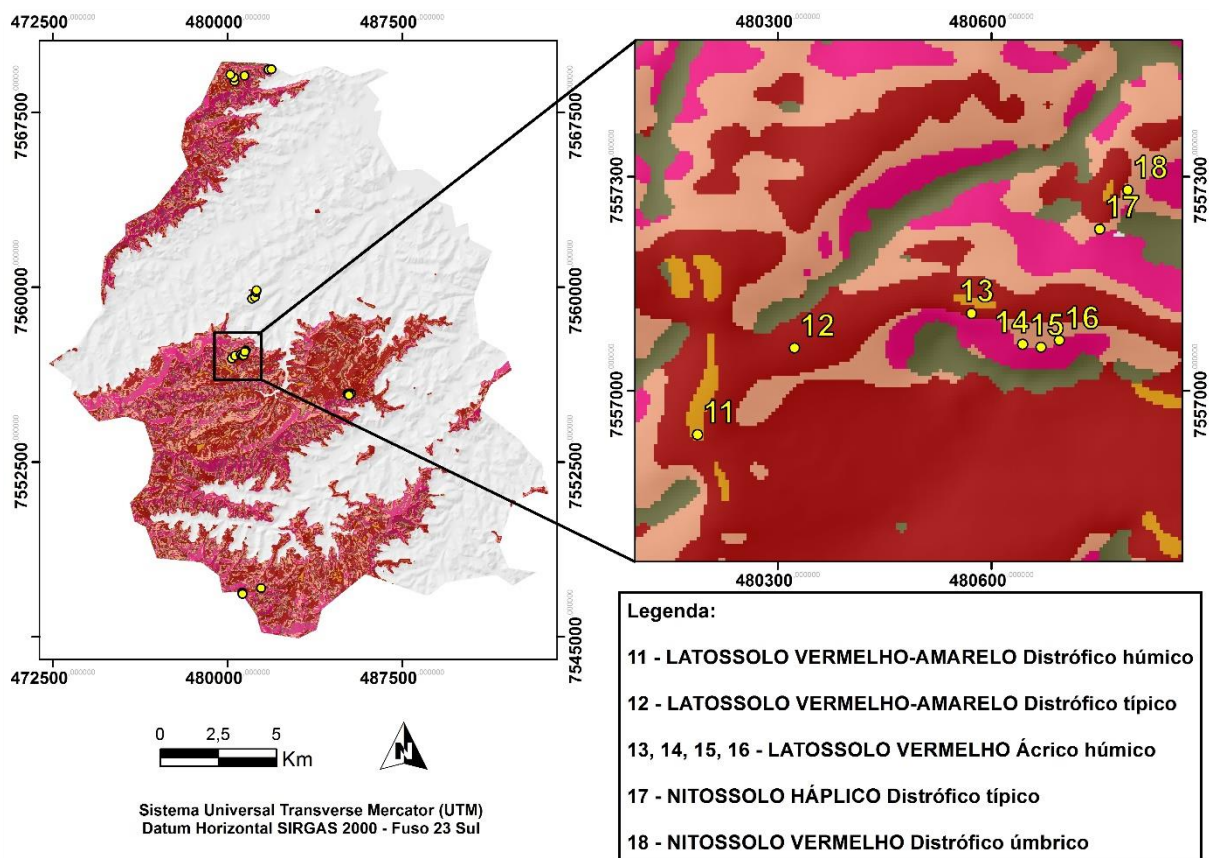


Figura 14 – Detalhamento dos solos associados ao cultivo de cafés de alta qualidade da curvo-sequência da área-piloto central - C, município de Carmo de Minas, MG.



Figura 15 – Perfil 11: Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico húmico.



Figura 16 – Perfil 12: Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico.

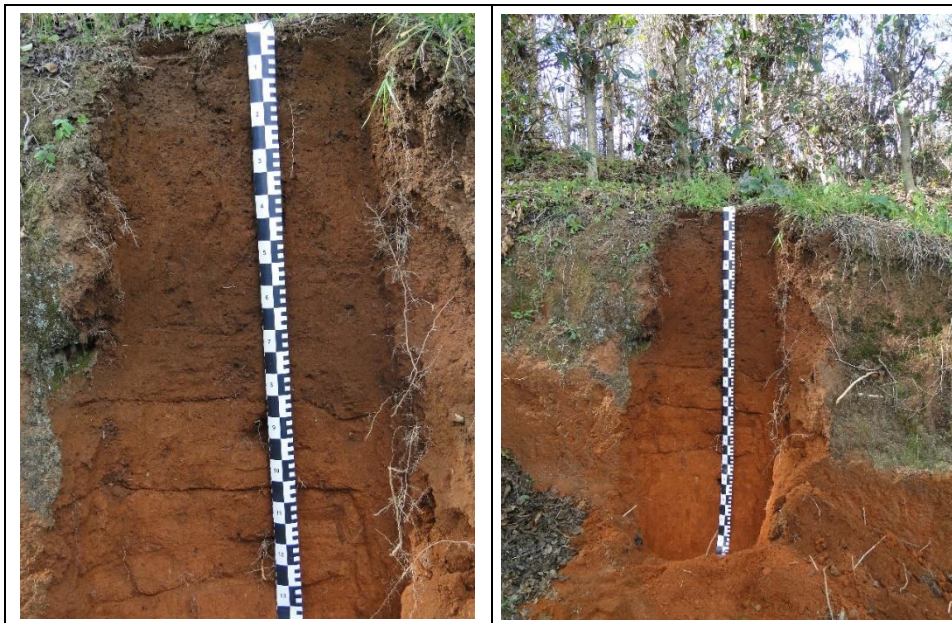


Figura 17 – Perfil 13: Latossolo Vermelho Ácrico húmico.



Figura 18 – Perfil 17: Nitossolo Háplico Distrófico típico.

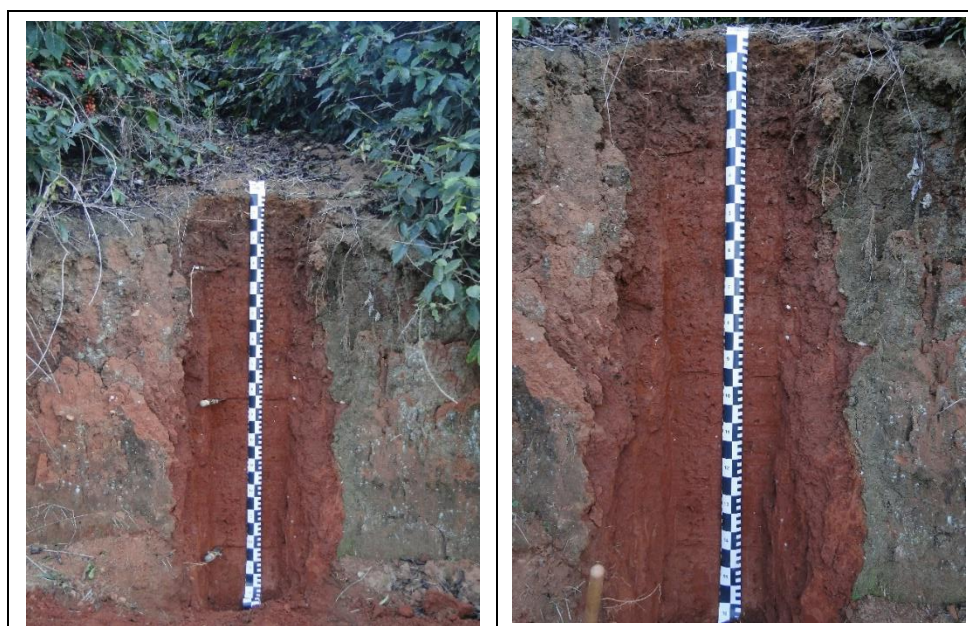


Figura 19 – Perfil 18: Nitossolo Vermelho Distrófico úmbrico.

O detalhamento da curvo-sequência realizada na área-piloto central - D, encontra-se apresentado na Figura 20, onde foram avaliados cinco perfis pedológicos. Os perfis 19 e 23 (Latosolos Vermelhos Distróficos típicos) localizados nas porções convexas do terreno nos flancos opostos das encostas; o perfil 21 (Cambissolo Háplico Tb Distrófico úmbrico) encontra-

se próxima a uma nascente, que proporciona a evolução de concavidade no terreno. Já nos perfis 20 e 22, tal como os perfis 19 e 23 localizam-se em flancos opostos da encosta, em posição de transição da curvatura do terreno de convexo para côncavo, são constituídos por Nitossolos Vermelhos Distróficos latossólicos. Desta forma, os perfis 19 e 23, assim como os perfis 20 e 22 representam as mesmas classes de solos (Figura 21, 22 e 23).

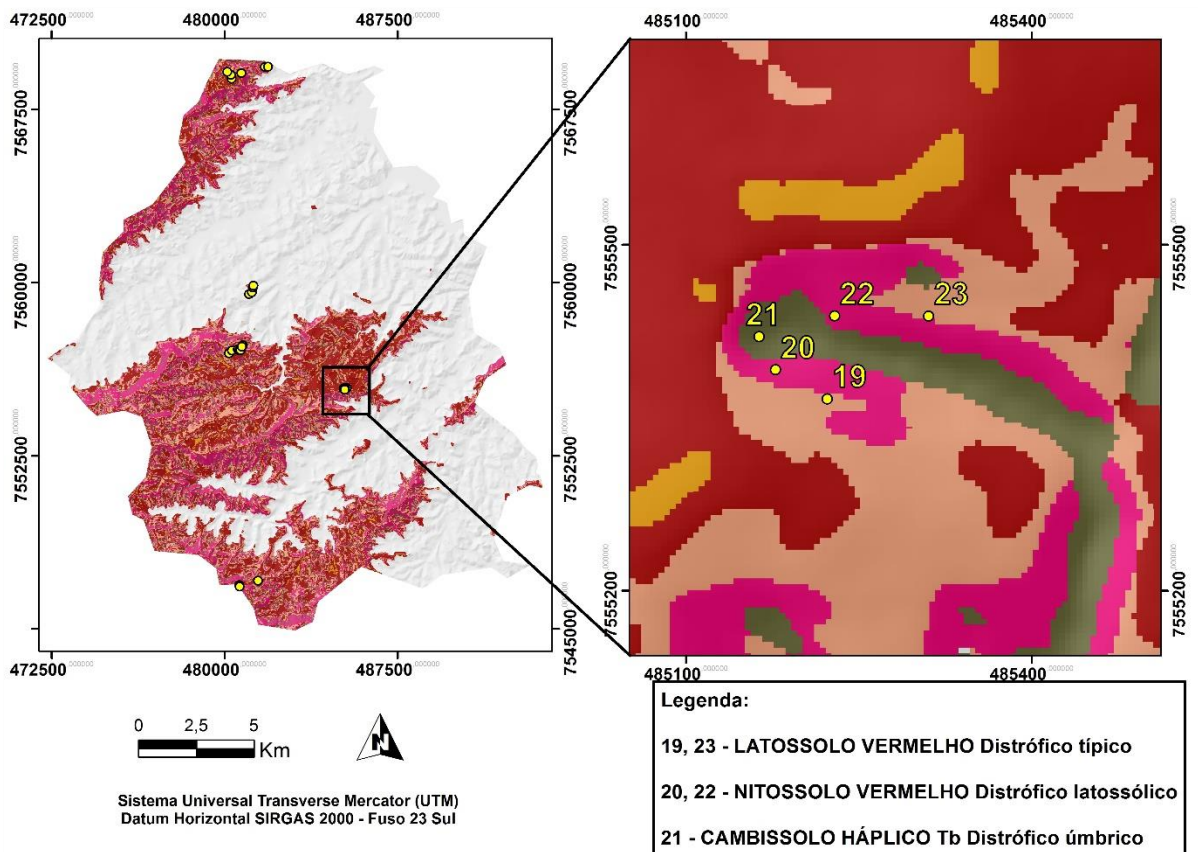


Figura 20 - Detalhamento do mapa dos solos associados ao cultivo de cafés de alta qualidade da curvo-sequência da área-piloto central - D, município de Carmo de Minas, MG.



Figura 21 – Perfil 19: Latossolo Vermelho Distrófico típico.



Figura 22 – Perfil 20: Nitossolo Vermelho Distrófico latossólico.



Figura 23 – Perfil 21: Cambissolo Háplico Tb Distrófico úmbrico.

A figura 24 apresenta o detalhamento da curvo-sequência da área piloto - E, localizada ao sul do município. Nessa área foram avaliados três perfis pedológicos. O perfil 24, constituído por Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico úmbrico, localiza-se na área aplainada de topo; o perfil 25 (Nitossolo Vermelho Distroférico latossólico) encontra-se em relevo côncavo-convexo com declividade de aproximadamente 60%; e o perfil 26 (Cambissolo Háplico Tb Distrófico típico) encontra-se na transição relevo côncavo em declividade de aproximadamente 70% (Figuras 25, 26 e 27).

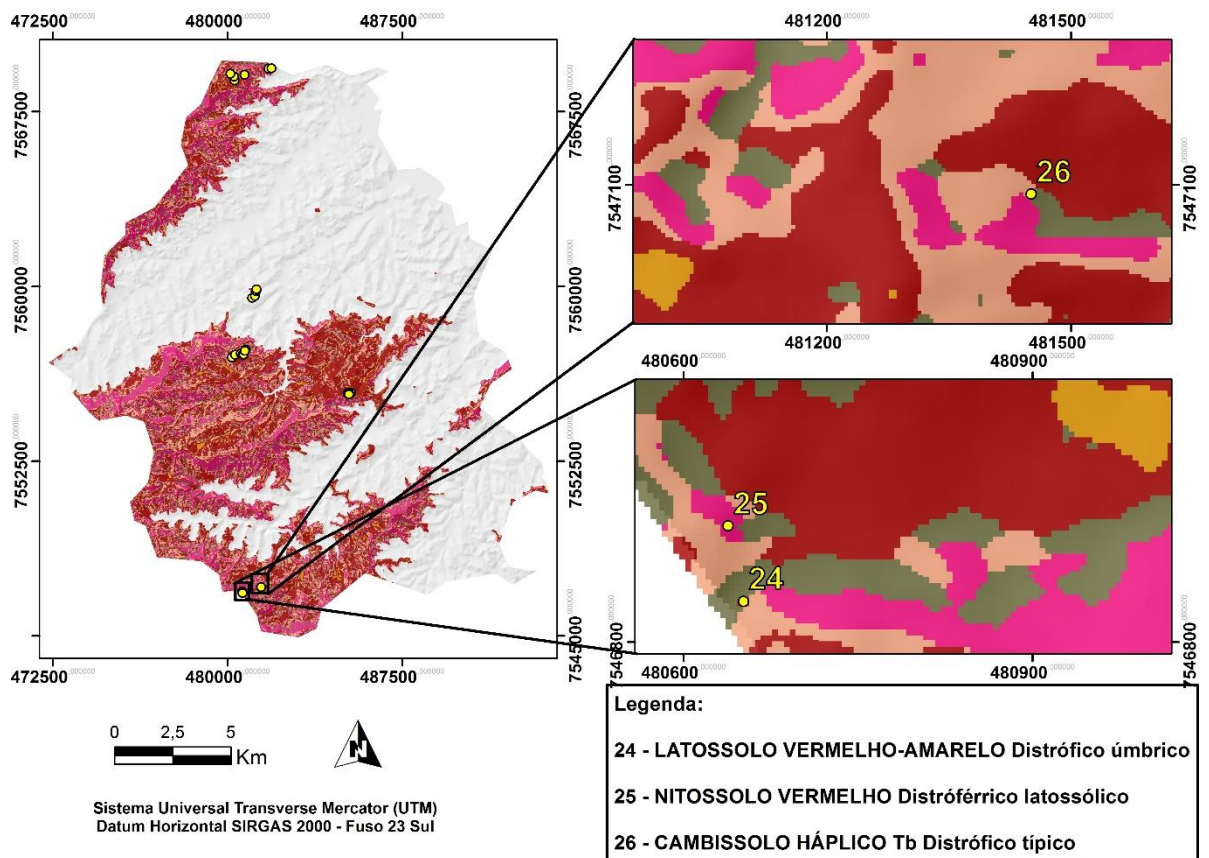


Figura 24 – Detalhamento do mapa dos solos associados ao cultivo de cafés de alta qualidade da curvo-seqüência da área-piloto sul - E, município de Carmo de Minas, MG.



Figura 25 – Perfil 24: Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico úmbrico.

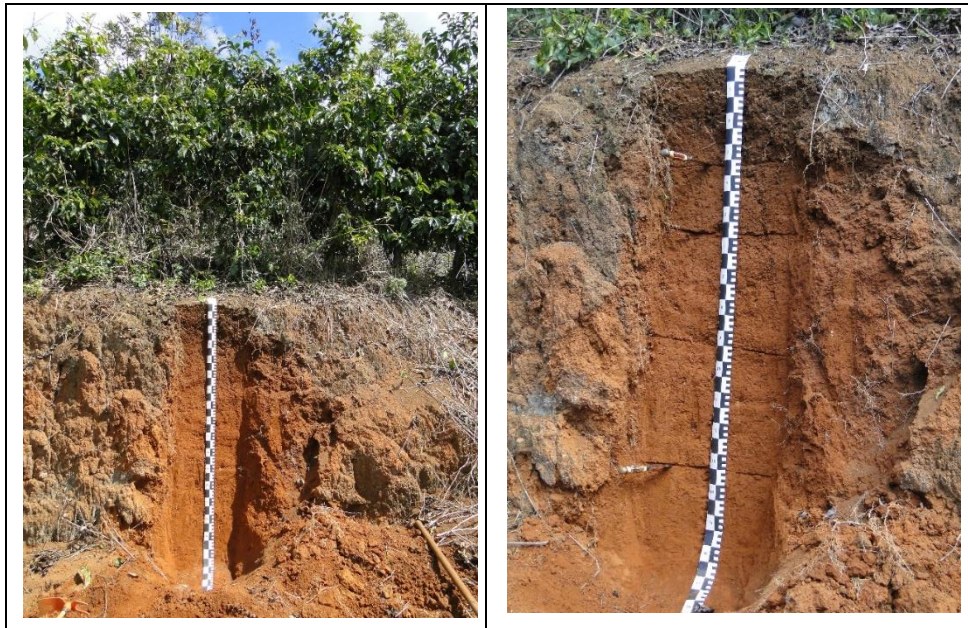


Figura 26 – Perfil 25: Nitossolo Vermelho Distroférico latossólico.



Figura 27 – Perfil 26: Cambissolo Háplico Tb Distrófico típico.

5.4 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 associados ao café de alta qualidade sensorial do município de 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 comparação como os perfis pedológicos avaliados nas áreas-pilotos demonstram a eficácia do mapa digital de solos gerado para o município de Carmo de Minas, que apresentou ainda um maior detalhamento das classes de solos quando comparado ao mapa tradicional existente, que identifica a ocorrência de apenas quatro grandes unidades de mapeamento caracterizadas pela presença de Latossolos Vermelho-Amarelos, associações de Latossolos Vermelho-Amarelos + Argissolos Vermelho-Amarelos, Argissolos Vermelho-Amarelos + Latossolos Vermelho-Amarelos + Cambissolo Háptico e Argissolos Vermelhos, todos distróficos, sem concordância na disposição espacial das classes de solo similares mapeadas neste trabalho e no mapeamento tradicional existente.

5.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARRUDA, G. P.; DEMATTÊ, J. A. M.; CHAGAS, C. S. Mapeamento Digital de Solos por Redes Neurais Artificiais com base na relação solo-paisagem. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.37, p.327-338, 2013.
- BASHER, L. R. Is pedology dead and buried? **Australian Journal of Soil Resource**, n.35, p.979-994, 1997.
- 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.
- CALDERANO FILHO, B.; POLIVANOV, H.; CHAGAS, C. S.; GUERRA, A. J. T.; JUNIOR, W. C. Predição de classes de solos de paisagens montanhosas da Serra do Mar, com o uso de redes neurais artificiais (RNAs). In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO - SBSR, 16, 2013, Foz do Iguaçu, **Anais...** INPE, Foz do Iguaçu, 2013. p.3916-3923.
- CARVALHO JUNIOR, W.; CHAGAS, C. S.; FERNANDES FILHO, E. I.; VIEIRA, C. A. O.; SCHAEFER, C. E. G.; BHERING, S. B.; FRANCELINO, M. R. Digital soilscape mapping of tropical hillslope areas by neural networks. **Scientia Agricola.**, v.68, n.6, p.691-696, 2011.
- CHAGAS, C.S.; FERNANDES FILHO, E.I.; VIEIRA, C.A.O.; SCHAEFER, C.E.G.R.; CARVALHO JÚNIOR, W. Atributos topográficos e dados do Landsat7 no mapeamento digital de solos com uso de redes neurais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.45, n.5, p.497-507, 2010.

- COELHO, F. F.; GIASSON, E. Métodos para mapeamento digital de solos com utilização de sistema de informação geográfica. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.40, n.10, p.2099-2106, 2010.
- CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da Safra Brasileira de Café, Safra 2015 – Quarto Levantamento**. Brasília: CONAB, 2015.
- CRIVELENTI, R. C.; COELHO, R. M.; ADAMI, S. F.; OLIVEIRA, S. R. M. O. Mineração de dados para inferência de relações solo-paisagem em mapeamentos digitais de solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.44, n.12, p.1707-1715, 2009.
- 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.
- DEMATTÊ, J. A. M.; RIZZO, R.; BORTOLETTO, M. A. M. Método geotecnológico integrativo na caracterização de solos desenvolvidos de diferentes materiais de origem. **Bragantia**, Campinas, v.70, n.3, p.638-648, 2011.
- DEMATTÊ, J. A. M.; VASQUES, G. M.; CORRÊA, E. A.; ARRUDA, G. P. Fotopedologia, espectroscopia e sistema de informação geográfica na caracterização de solos desenvolvidos do Grupo Barreiras no Amapá. **Bragantia**, Campinas, v.71, n.3, p.438-446, 2012.
- DIAS, J. R. **Unidades Geoambientais da Área de Proteção Ambiental da Serrinha do Alambari - Capelinha, Resende – RJ**. 2007. 69p. Monografia (Bacharelado em Geologia). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.
- EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. 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.
- FEAM - FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE. **Mapa de solos do Estado de Minas Gerais: legenda expandida**. Universidade Federal de Viçosa; Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais; Universidade Federal de Lavras; Fundação Estadual do Meio Ambiente. Belo Horizonte: Fundação Estadual do Meio Ambiente, 2010. 49p.
- FIGUEIREDO, S. R.; GIASSON, E.; TORNQUIST, C. G.; NASCIMENTO, P. C. Uso de regressões logísticas múltiplas para mapeamento digital de solos no Planalto Médio do RS. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v.32, n.esp., p.2779-2785, 2008.
- 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.
- GIASSON, E.; SARMENTO, E. C.; WEBER, E.; FLORES, C. A.; HASENACK, H. Decision trees for digital soil mapping on subtropical basaltic steepplands. **Scientia Agricola**, v.68, n.2, p.167-174, 2011.
- GIASSON, E.; HARTEMINK, A. E.; TORNQUIST, C. G.; TESKE, R.; BAGATINI, T. Avaliação de cinco algoritmos de árvores de decisão e três tipos de modelos digitais de elevação para mapeamento digital de solos a nível semidetalhado na Bacia do Lageado Grande, RS, Brasil. **Ciência Rural**, v.43, p.61-67, 2013.
- GIASSON, E.; TEN CATEN, A.; BAGATINI, T.; BONFATTI, B. Instance selection in digital soil mapping: a study case in Rio Grande do Sul, Brazil. **Ciência Rural**, v.45, n.9, p.1592-1598, 2015.
- 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.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Demográfico 2010**. Disponível em: <<http://cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?lang=&codmun=311410&search=minas-gerais|caro-de-minas>>. Acessado em: 01 mai. 2016.

INMET - INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Normais Climatológicas do Brasil 1961-1990**. Versão revista e ampliada. [on-line]. INMET, 2009. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/normaisClimatologicas>>. Acessado em 01 jul.2016.

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>. Acessado em 2 jul.2016.

IPPOLITI, G.; COSTA, L. M.; GAGGERO, M. R.; SCHAEFER, C. E.; FILHO, E. I. F. Uso de Geoprocessamento para levantamento preliminar de solos em uma microbacia na Zona da MATA (MG). In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 11, 2003, Belo Horizonte. **Anais...** São José dos Campos: INPE. 2003, p.153-160. CD ROM.

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

KÖPPEN, W. Das geographische System der Klimate. In: KÖPPEN, W.; GEIGER, R. (eds.). **Handbuch der Klimatologie**. Gebruder Borntrager, Berlin: 1936. p.1-44, part C.

- KRAEMER G. B. **Variabilidade espacial dos atributos do solo na delimitação das unidades de mapeamento.** 2007. 87p. (Dissertação de Mestrado). Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR.
- LACERDA, M. P. C.; BARBOSA, I. O. Relações Pedomorfogeológicas e Distribuição de Pedoformas na Estação Ecológica de Águas Emendadas, Distrito Federal. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.36, p.709-721, 2012.
- LIMA, L. A. S. **Aplicação dos métodos semi-automático e lógica fuzzy para o mapeamento de solos da bacia do Sarandi.** 2013. 124 p. (Dissertação de Mestrado). Universidade de Brasília, Brasília, DF. 2013.
- LIMA, G. C.; SILVA, M. L. N.; OLIVEIRA, M. S.; CURI, N.; SILVA, M. A.; OLIVEIRA, A. H. Variabilidade de atributos do solo sob pastagens e mata atlântica na escala de microbacia hidrográfica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.18, n.5, p.517-526, 2014.
- MENDONÇA-SANTOS M. L.; SANTOS H. G. dos. **Mapeamento digital de classes e atributos de solos - Métodos, paradigmas e novas técnicas.** Rio de Janeiro: Embrapa Solos. 2003.19p. (Documentos, 55)
- 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.
- NETO, R. M.; PEREZ FILHO, A. Relevos tectônicos no meio tropical: questões sobre a fisiologia da paisagem nas terras altas do sudeste brasileiro. **Revista Geonorte**, Edição Especial, v.2, n.4, p.646-658, 2012.
- 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.

- PINTO, C.P. **Petrologia de rochas alcalinas, cálcio-alcalinas e toleíticas da Serra da Mantiqueira em Minas Gerais - Brasil**. 1995. 191p. (Dissertação de Mestrado). Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Minas Gerais.
- 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, 2005. 100p.
- SERTÃO COFFEES. Cup of Excellence 2006 [on-line]. Carmo de Minas, MG: **Sertão Coffees**, 2006. Disponível em: <<http://www.gruposertao.com.br>>. Acessado em 15 set. 2011.
- 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 de Mestrado). Universidade de Brasília, Brasília, DF.
- TEN CATEN, A.; DALMOLIN, R. S. D.; PEDRON, F. A.; MENDONÇA-SANTOS, M. L. regressões logísticas múltiplas: fatores que influenciam sua aplicação na predição de classes de solos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, n.1, p.53-62, 2011.
- TESKE, R.; GIASSON, E.; BAGATINI, T. Comparação do uso de modelos digitais de elevação em mapeamento digital de solos em Dois Irmãos, RS, Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.38, n.5, p.1367-1376, 2014.
- 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.
- VALLADARES, G. S.; AZEVEDO, E. C.; CAMARGO, O. A.; GREGO, C. R.; RASTOLDO, A. M. C. S. Variabilidade espacial e disponibilidade de cobre e zinco em solos de vinhedos e adjacências. **Bragantia**, Campinas, v.68, n.3, p.733-742, 2009.
- ZADEH, L. A. Fuzzy sets. **Information and Control**. v.8, p.338-353, 1965.

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.

ZHU, A.X.; YANG, L.; LI, B.; QIN, C.; PEI, T.; LIU, B. Construction of membership functions for predictive soil mapping under fuzzy logic. **Geoderma**, v.155, p.164-174, 2010.

6. CAPÍTULO 6 – CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES

6.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os estudos realizados possibilitaram verificar a variabilidade das classes de solos de ocorrência na área de estudo relacionadas ao remodelamento erosivo do relevo da região, onde a distribuição dos solos na paisagem atual é função da preservação e rejuvenescimento de Latossolos desenvolvidos nas Superfícies de Aplainamento Japi e Sul-Americana, relacionadas à evolução geológica-geomorfológica-pedológica que originou a Serra da Mantiqueira. A exposição por períodos geológicos destas Superfícies de Aplainamento, proporcionaram o desenvolvimento de Latossolos extremamente evoluídos e profundos.

A evolução de Latossolos por longos períodos geológicos nestas Superfícies de Aplainamento, foi seguida de ativações neo-tectônicas posteriores, com soerguimento e basculamento de blocos crustais, e, nas épocas atuais são marcadas pela atividade erosiva seletiva, com remodelamento do relevo, originando alterações significativas nas classes de declividade em morfometria predominantemente convexa, 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.

Essa evolução proporcionou que os Latossolos previamente formados se encontrem preservados em relevos convexos, em classes de declividades de até 45%, com um discreto rejuvenescimento desses Latossolos, originando os Nitossolos latossólicos quando a declividade está entre 45 e 75% e em relevo convexo-côncavo. Nas porções côncavas profundas das encostas, onde estão se instalando as drenagens, em declividades superiores a 75%, há o desenvolvimento dos Cambissolos.

Esta evolução pronunciada dos solos foi constatada no comportamento químico semelhante dos mesmos, uma vez a variação das classes de solo da região estudada são

consequência de rejuvenescimentos em períodos repetitivos de pedogênese a partir do mesmo material já pré-intemperizado e pedogenizado em épocas geológicas anteriores.

Na situação atual, os solos são muito pobres em nutrientes, ácidos e álicos, quimicamente não contribuindo ao cultivo de café, mas apresentam características físicas favoráveis, uma vez que são extremamente profundos, com elevada porosidade e permeabilidade, provavelmente com altas taxas de disponibilidade de água. Somam-se a essas características a presença comum de horizonte A húmico, com espessuras atingindo 2 m, que melhoram as condições químicas destes solos.

O padrão de distribuição dos solos na paisagem, demonstra que as feições morfométricas como altitude, curvatura e declividade controlam a variabilidade das classes de solos na área de estudo, onde os Latossolos Vermelho-Amarelos, Latossolos Vermelhos, Nitossolos Vermelhos latossólicos e Cambissolos Háplicos representam as classes de solos associadas ao cultivo de café de alta qualidade no município de Carmo de Minas, MG.

A utilização da lógica fuzzy para a integração das variáveis morfométricas do terreno, altimetria, curvatura e declividade, possibilitou o mapeamento digital dos solos associados ao café de alta qualidade sensorial do município de Carmo de Minas, MG, representativo da Serra da Mantiqueira Mineira. Esse mapeamento demonstrou precisão, confirmada pelos perfis pedológicos avaliados nas áreas-piloto e maior detalhamento quando comparado ao mapa tradicional existente.

6.2 RECOMENDAÇÕES

Dentre as recomendações para a continuidade de estudos das características dos solos associados ao cultivo de cafés de alta qualidade na Microregião da Serra da Mantiqueira Mineira, sugere-se a complementação do o mapeamento digital de solos de todo o município de Carmo de Minas, nas áreas localizadas em altitudes abaixo dos 1.000 m, onde não há

indicação de ocorrência de cafés especiais. Essa complementação possibilitará a comparação entre as classes de solos de ocorrência nas áreas localizadas em altitudes acima de 1000 m associadas aos cafés de qualidade com as classes de solo localizadas nas áreas abaixo de 1000m onde predominam pastagens.

Em função das zonas de cisalhamento associadas à evolução-geológica-geomorfológica da região, investigou-se a possibilidade de atividade hidrotermal associada, com enriquecimento de elementos químicos preservados nos solos, que constituíssem elementos nutrientes essenciais ao desenvolvimento do cafeeiro. Entretanto, este enriquecimento não foi constatado na caracterização química dos solos, provavelmente em função dos processos de latolização predominantes. Portanto, recomenda-se a mudança de enfoque, com o estudo detalhado das características físico-hídricas associadas aos solos cultivados com cafés de alta qualidade sensorial da Microregião da Serra da Mantiqueira Mineira.

Sugere-se, ainda, o levantamento pormenorizado do manejo químico utilizado pelos agricultores, uma vez que os resultados das análises químicas induzem a interpretação de que há uma predominância na utilização da adubação foliar para suprir as deficiências químicas dos solos.

Recomenda-se a correção do Modelo Digital de Elevação utilizado neste trabalho, para obtenção do Modelo Digital de Terreno, de forma a possibilitar uma melhor representação das feições morfométricas do terreno, particularmente nas regiões com preservação de matas exuberantes, resquícios da Mata Atlântica que ocorrem na região, particularmente nas áreas de preservação permanente.

Para a validação da associação dos solos com a evolução geológica-geomorfológica-pedológica da região, a datação dos solos por meio de metodologia radioisotópica do C^{14} seria, também, uma atividade indicada.

Em continuidade ao trabalho, aconselha-se também, a validação em campo do mapa digital de solos gerado e a identificação de regiões com características semelhantes para a extrapolação do modelo digital de solos gerado, de forma a possibilitar o reconhecimento das classes de solos e áreas propícias ao cultivo de cafés de alta qualidade sensorial em locais não estudados.