

**CARACTERIZAÇÃO DO MEIO FÍSICO DE ÁREAS CAFEEIRAS DO SUL
DE MINAS POR MEIO DO SPRING**

RICARDO JOSÉ TAVARES PEREIRA DE RESENDE

2000

Ficha Catalográfica Preparada pela Divisão de Processos Técnicos da
Biblioteca Central da UFLA

Resende, Ricardo José Tavares Pereira de
Caracterização do meio físico de áreas cafeeiras do Sul de Minas por meio do
SPRING / Ricardo José Tavares Pereira de Resende. – Lavras: UFLA, 2000.
120 p. : il.

Orientador: Hélcio Andrade.
Dissertação (Mestrado) – UFLA.
Bibliografia.

1. Agroecossistema cafeeiro. 2. Levantamento de solo. 3. Modelo de
distribuição de solo. 4. Uso do solo. 5. Sistema de Informação Geográfica. 6.
Microbacia. 7. Geoprocessamento. 8. Sensoriamento remoto. I. Universidade
Federal de Lavras. II. Título.

CDD-633.73
-621.834
-631.47

RICARDO JOSÉ TAVARES PEREIRA DE RESENDE

CARACTERIZAÇÃO DO MEIO FÍSICO DE ÁREAS CAFEEIRAS DO SUL
MINAS POR MEIO DO SPRING

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras como parte das exigências do Curso de Mestrado em Agronomia, área de concentração em Solos e Nutrição de Plantas, para a obtenção do título de “Mestre”.

Orientador
Prof. Dr. HÉLCIO ANDRADE

LAVRAS
MINAS GERAIS – BRASIL
2000

RICARDO JOSÉ TAVARES PEREIRA DE RESENDE

**CARACTERIZAÇÃO DO MEIO FÍSICO DE ÁREAS CAFEEIRAS DO SUL
DE MINAS POR MEIO DO SPRING**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras como parte das exigências do Curso de Mestrado em Agronomia, área de concentração em Solos e Nutrição de Plantas, para a obtenção do título de “Mestre”.

APROVADA em 26 de abril de 2000.

Pesq. Helena Maria Ramos Alves EPAMIG

Pesq. Marilusa Pinto Coelho Lacerda EPAMIG

Pesq. Tatiana Grossi Chquiloff Vieira EPAMIG

Prof. Dr. Hélcio Andrade
UFLA
(Orientador)

LAVRAS
MINAS GERAIS - BRASIL

Aos meus pais, Hélio e Dilma,
pelo amor, confiança, proteção e significado de vida.

DEDICO

Aos meus irmãos, Loisa, Lilisa, Liário, Nenê, Nicinha, Luciana e Helinho.

Aos meus sobrinhos, Pedro, Flavinha e Felipe,
Aos cunhados e cunhadas,
pelos valores sentimentais.

OFEREÇO

AGRADECIMENTOS

A Coordenadoria de Aperfeiçoamento de Pessoal de Ensino Superior(CAPES), à Universidade Federal de Lavras (UFLA), à (Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG) e, em especial, ao Departamento de Ciências do Solo da UFLA, pela oportunidade de realização do curso.

À Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), pelo auxílio inicial.

Ao Prof. Dr. Hélcio Andrade, pela orientação, conselhos e amizade.

Aos professores do curso de Solos e Nutrição de Plantas, e dos departamentos de Engenharia, Ciências Exatas e Ciências Florestais.

Às amigas pesquisadoras, Helena M. R. Alves, Marilusa P. C. Lacerda., Tatiana G.C. Vieira, Maria Inês N. Alvarenga, pela orientação, apoio e sugestões durante a realização deste trabalho.

Aos amigos bolsistas de iniciação científica, João Paulo K. Brasil, Eduardo R. Rosa, Hudson S. Marques.

Ao amigo e companheiro Dimas Renato Esteves pela inestimável ajuda conclusiva deste trabalho.

A Rachel, pelo amor, carinho, companheirismo, paciência e amizade.

Aos funcionários Nilson, Vera, Adriana, Dulce, Ana, Carlinhos e Pezão.

Aos colegas do Curso de Pós-graduação, Guilherme Augusto, Agostinho Rebellatto, Roveri, Vinícius, Durães, Gigi, Fábio, Júlio Nóbrega, Kondo, Reginaldo, Totó e os demais, pelo auxílio e companheirismo nos momentos difíceis.

A todos que fizeram parte dessa etapa de minha vida.

AGRADEÇO

SUMÁRIO

Página

RESUMO.....	i
ABSTRACT.....	iii
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	3
2.1 Caracterização do meio físico como ferramenta para o planejamento agronômico.....	3
2.2 Geoprocessamento e Sistemas de Informações Geográficas	8
2.3 Cafeicultura e desenvolvimento.....	12
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	15
3.1 Caracterização geral das áreas de estudo.....	15
3.1.1 Microbacia do Ribeirão Maranhão.....	15
3.1.2 Microbacia do Ribeirão Fundo.....	18
3.2 Material.....	21
3.3 Métodos.....	23
3.3.1 Hidrografia.....	23
3.3.2 Relevo.....	25
3.3.3 Geologia.....	26
3.3.4 Solos.....	27
3.3.4.1 Fointerpretação preliminar.....	27
3.3.4.2 Metodologia de campo.....	27
3.3.4.3 Metodologia de laboratório.....	28
3.3.4.4 Modelagem dos dados.....	30
3.3.5 Uso atual.....	30

4	Resultados e Discussão.....	32
4.1	Rede de drenagem.....	32
4.2	Relevo.....	38
4.3	Geologia.....	42
4.4	Uso atual.....	49
4.5	Solos.....	55
4.5.1	Microbacia do Ribeirão Fundo.....	55
4.5.1.1	Mapeamento e quantificação dos solos.....	55
4.5.1.2	Caracterização morfológica dos perfis representativos.....	59
4.5.1.3	Caracterização física dos perfis.....	77
4.5.1.4	Caracterização química do complexo sortivo.....	79
4.5.1.5	Comportamento ao ataque sulfúrico	82
4.5.1.6	Uso atual.....	85
4.5.2	Microbacia do Ribeirão Maranhão	87
4.5.2.1	Mapeamento e quantificação dos solos.....	87
4.5.2.2	Caracterização morfológica dos perfis representativos	92
4.5.2.3	Caracterização física dos perfis	101
4.5.2.4	Caracterização química do complexo sortivo.....	103
4.5.2.5	Comportamento de óxidos ao ataque sulfúrico	106
4.5.2.6	Uso atual.....	107
5	CONCLUSÕES.....	110
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	111

RESUMO

RESENDE, Ricardo José Tavares Pereira de. **Caracterização do meio físico de áreas cafeeiras do Sul de Minas por meio do SPRING.** Lavras: UFLA, 2000. 120 p. (Dissertação – Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas)¹.

O presente trabalho foi desenvolvido com o objetivo de caracterizar o meio físico de áreas cafeeiras do Sul de Minas, representadas pelas microbacias hidrográficas do Ribeirão Fundo, município de São Sebastião do Paraíso e Ribeirão Maranhão, município de Lavras. A caracterização foi realizada, através da compilação de informações secundárias provenientes de cartas planimétricas do IBGE (escala 1:50.000), imagens digitais e analógicas do sensor remoto TM/Landsat (Bandas 3 4 5), mapas geológicos DNPM/CPRM (escala 1:100.000) e fotografias aéreas verticais (escala 1:25.000). Para a captura e a transformação destes dados para o formato digital, foi utilizado o sistema de informação geográfica – Sistema para Processamento de Informações Georreferenciadas-SPRING do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais-INPE. Por meio das funções e módulos oferecidos pelo SPRING, tais como a Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algébrico (LEGAL), foi possível caracterizar e quantificar diversos segmentos do meio ambiente, criando planos de informação referentes à rede de drenagem, classes de declive, geologia, solos e uso atual. Foram gerados mapas na escala de 1:50.000 de cada um destes planos para as duas microbacias. A rede de drenagem foi caracterizada, sendo determinados parâmetros dimensionais e quantitativos segundo metodologia de Horton (1948) e Strahler (1952). Estes parâmetros mostraram as diferenças entre

¹ Comitê orientador: Hélcio Andrade – DCS-UFLA (Orientador), Helena Maria Ramos Alves (EPAMIG), Marilusa Pinto Coelho Lacerda (EPAMIG), Tatiana Grossi Chquiloff Vieira (EPAMIG).

os dois ambientes estudados, evidenciando a correlação da drenagem com a compartimentação geológica e topografia de cada região e, consequentemente, com os solos formados nas duas microbacias. A geologia também mostrou-se diferente, com o predomínio de arenitos (Formação Bauru, Formação Botucatu e Grupo Itararé Indiviso) e basaltos (Grupo São Bento da Formação Serra Geral) na região de São Sebastião do Paraíso e Granitos e Gnaisses (Associação β_1 /Complexo Lavras) na região de Lavras. Estas diferenças foram refletidas nas características físicas e químicas dos solos analisados. O relevo foi modelado por meio de um modelo numérico de terreno, que foi fatiado em 5 classes de declive, correlacionadas com as diferentes classes de solo formadas nas duas regiões. A análise quantitativa das classes de declive mostrou que nas microbacias predominam declives de 3 a 12% (aproximadamente 50% das áreas de estudo). Os mapas de uso atual mostraram que a maior parte das terras das duas microbacias está sob pastagem. O café ocupa o segundo lugar em termos de ocupação do solo na microbacia do Ribeirão Fundo (21,56% da área total) e apenas o quarto lugar na microbacia do Ribeirão Maranhão (8,46% da área), evidenciando a maior vocação edafoambiental da região de São Sebastião do Paraíso para a cafeicultura. Com base nos planos de informação gerados foram elaborados modelos de distribuição dos solos nas paisagens das duas microbacias. Estes modelos foram checados no campo, com a amostragem e caracterização morfológica, física (análise granulométrica) e química (complexo sortivo, óxidos constituintes pela extração do ataque sulfúrico) de perfis representativos das principais classes de solo observadas em cada ambiente (7 perfis na microbacia do Ribeirão Fundo e 4 perfis na microbacia do Ribeirão Maranhão). Na microbacia do Ribeirão Fundo, predominam Latossolos Vermelhos (33,50% da área), seguidos de Nitossolos Vermelhos (mapeados como a associação NV/PV/CX, que totalizaram 27,12% da área). Estes solos, desenvolvidos sobre as rochas basálticas da região, oferecem boas condições

para o cultivo do café. Na microbacia do Ribeirão Maranhão predominam Latossolos Vermelhos e Latossolos Vermelho-Amarelos, que representam aproximadamente 61% da área total da microbacia. Estes solos, apesar de apresentarem boas características físicas e topográficas, possuem baixa fertilidade natural, que restringem a cafeicultura à agricultores com melhor nível tecnológico. O trabalho mostrou que o uso de técnicas de geoprocessamento, por meio dos sistemas de informação geográfica, auxilia na caracterização ambiental, propiciando uma visualização e quantificação dos diversos segmentos do meio físico, que são importantes para o planejamento do uso da terra. Estas técnicas, quando utilizadas com modelos geomorfopedológicos, auxiliam os pedólogos, agilizando e melhorando a eficiência dos trabalhos de levantamento e classificação de solos.

ABSTRACT

RESENDE, Ricardo José Tavares Pereira de. **Environmental characterisation of coffee agroecosystems in the south region of Minas Gerais using the software SPRING.** Lavras: UFLA, 2000. 120 p. (Master of Science Dissertation in Soil Science and Plant Nutrition)².

The objective of this work was to characterise the physical environment of coffee production agricultural ecosystems in the south region of the state of Minas Gerais in Brazil. Two watersheds were selected as pilot areas: the one of Ribeirão Fundo, in São Sebastião do Paraíso and the watershed of Ribeirão Maranhão, in Lavras. Existing analogue data was used to build up a geographical database of each one of the watersheds. This was based upon topographical maps of the Brazilian Institute of Geography and Statistic (IBGE, scale 1:50.000), satellite image of TM/Landsat (bands 3 4 and 5), geological maps (DNPM/CPRM, scale 1:100.000) and aerial photographs (scale 1:25.000). The data was analysed and digitized using the software SPRING, a GIS developed by the Brazilian Institute of Spatial Information – INPE. Using the tools provided by SPRING, the various elements of the environment were characterised and quantified, creating layers into the database for the drainage network, lithology, slopes, soils and land cover. These overlays were used to make thematic maps at the scale of 1:50.000 for the two watersheds. The drainage network was analysed quantitatively according to Horton (1948) and Strahler (1952). The results showed the differences between the two environments, enhancing the correlation among the drainage, lithology and topography of each area and its effects upon the different soils formed in the

² Guidance Committee: Hélcio Andrade – DCS-UFLA (Major Professor), Helena Maria Ramos Alves (EPAMIG), Marilusa Pinto Coelho Lacerda (EPAMIG), Tatiana Grossi Chquilloff Vieira (EPAMIG).

watersheds. The geological maps showed the predominance of sandstones (Bauru Formation, Botucatu Formation and Itararé Group) as well as basaltic rocks (Serra Geral Formation of the São Bento Group) in the region of São Sebastião do Paraíso and granitic and gnaissic rocks (β_1 Association/ Lavras Complex) in the region of Lavras. These lithological differences were reflected on the physical and chemical characteristics of the soils surveyed. The relief was modelled by a Digital Elevation Model and segmented into 5 slope classes that were correlated to classes of soils in both regions. The quantitative analysis of the slope maps showed the predominance of gently sloping surfaces with gradients between 3 to 12% (approximately 50% of the study areas) in both areas. The land use/land cover maps showed that most of the area is being used as grazing land. The coffee crop holds the second place in land occupation in the watershed of Ribeirão Fundo (21.56% of the total area) but only the forth place in the watershed of Ribeirão Maranhão (8.46%), showing a greater land suitability of the region of São Sebastião do Paraíso for coffee production. On the basis of the understanding of the relations among lithology, relief and soil formation, a model of the soil distribution in each landscape studied was elaborated and soil maps for both watersheds were created. The model was checked up on the field. Representative soil profiles of the main soil classes were selected, described and sampled for physical and chemical analyses (7 soil profiles in the Ribeirão Fundo watershed and 4 soil profiles in the Ribeirão Maranhão watershed). The quantitative analysis of the soil maps showed the predominance of Red Latosols (33.50% of the area), followed by Red Nitossols (27.12% of the area). These soils develop from the basalt parent material and they are highly suitable for coffee growing. At the Ribeirão Maranhão watershed the predominance was of Red Latosols and Yellow Red Latosols, which represent almost 61% of the total watershed area. These soils, despite their good

physical and geomorphological conditions, feature very low natural fertility that restrict the coffee production to farmers who use higher technological production systems. The work showed that the use of computerised spatial modelling tools and GIS can improve our understanding on spatial processes in the natural environment and provide important visual and quantitative information for land use planning. These techniques coupled with geomorphopedological models can help soil surveyors by speeding and making their work of soil surveying and classification more efficient.

1 INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, o crescimento populacional desordenado proporcionou, principalmente em regiões mais desenvolvidas, constantes mudanças no meio ambiente. A necessidade de aumentar cada vez mais a fronteira agrícola, na busca por fontes diversas de energia e reservas nutricionais a todo custo, teve como conseqüência a degradação e contaminação dos recursos naturais renováveis.

O estudo e conhecimento do meio físico de uma região ou bacia hidrográfica é condição básica para um planejamento agroambiental bem sucedido. As informações da realidade edafo-climática, obtidas por meio da estratificação e caracterização do ambiente em microbacias hidrográficas, são importantes para a maioria das práticas conservacionistas, permitindo correlacionar dados de solos, geologia, geomorfologia, drenagem e uso atual, com um desenvolvimento agrícola sustentável.

A carência de informações sobre os recursos naturais que pudessem subsidiar o planejamento correto do parque cafeeiro do Sul de Minas, cuja a produção representa 48,7% do café produzido no estado, estimulou a realização deste trabalho, cujo objetivo foi a caracterização do meio físico de áreas piloto representativas do parque cafeeiro da região. Para tanto, espera-se, que forneça subsídio para a avaliação da real capacidade de suporte e vulnerabilidade de seus recursos naturais para este tipo de uso e ocupação.

Como unidades de referência foram selecionadas a microbacia do Ribeirão Maranhão, no município de Lavras-MG e a microbacia do Ribeirão Fundo, no município de São Sebastião do Paraíso-MG, inseridas em ambientes geomorfológicos distintos, dentro da estrutura regional de produção cafeeira. Com o auxílio de técnicas disponibilizadas pelo avanço tecnológico da análise geográfica, da cartografia automatizada, dos sistemas de manipulação de

banco de dados e do sensoriamento remoto, que são hoje oferecidas por meio dos Sistemas de Informação Geográfica (SIG's), foram realizados estudos de correlação e modelagem para a caracterização dos agroecossistemas selecionados. A correlação entre geologia, relevo e pedologia possibilitou a elaboração de modelos preditivos da distribuição dos solos na paisagem regional (monitorados através da caracterização química, física e mineralógica de perfis representativos amostrados no campo), agilizando e melhorando a eficiência do levantamento e classificação de solos, permitindo a extração dos resultados para agroecossistemas semelhantes.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Caracterização do meio físico como ferramenta para o planejamento agronômico

O desenvolvimento agrícola sustentável implica no gerenciamento e conservação dos recursos naturais, orientando as mudanças tecnológicas para assegurar a realização satisfatória das necessidades humanas das gerações presentes e futuras. Este desenvolvimento sustentado conserva os recursos genéticos, não degrada o meio ambiente, é apropriado tecnicamente, viável economicamente e aceitável socialmente (FAO, 1990).

O ecossistema agrícola é bastante heterogêneo. Varia no que se refere às condições climáticas, à topografia, cobertura vegetal, classes de solos, densidade da rede hidrográfica, dentre outros. Todos estes elementos que compõem a superfície terrestre formam um mosaico, proporcionando diferentes ambientes. O padrão de uso, agrícola ou não, feito pelo homem, é bastante relacionado com esta trama de ambientes. Para o agricultor, que ganha seu sustento em cada peça do mosaico de ambientes contida em sua propriedade, informações sobre os diversos estratos ambientais são cruciais, pois refletem-se nas estimativas de custo/benefício que são feitas na tomada de decisões.

Para que se possa estruturar e viabilizar o planejamento agrícola, tanto no nível local como regional, são necessárias informações referentes à dinâmica do uso e cobertura vegetal das terras. Estas informações, associadas a outras relativas a clima, relevo e exigência das culturas, podem ser organizadas em mapas de zoneamento edafo-ambiental. Todo este conhecimento constitui elemento essencial, que permite avaliar a capacidade de uso das terras e que, juntamente com as condições sócio-econômicas, constitui a base sobre a qual deve assentar-se o planejamento agronômico.

A microbacia hidrográfica, segundo Brasil (1987), citado por Assad et al. (1993), é a unidade geográfica ideal para um planejamento integrado dos recursos naturais no ecossistema por ele envolvido. Naturalmente delimitada por seus divisores de água, ela representa de acordo com Freitas e Ker (1996) um ecossistema agrícola fechado, facilmente monitorável em todos seus aspectos, constituindo um campo ideal para estudos do comportamento dos solos frente ao uso e manejo. Esta representação permite o controle da dinâmica dos fatores ambientais, como mostrado por Serra (1993) e Pereira (1995), que elaboraram modelos específicos sobre a caracterização do meio físico, avaliando a degradação ambiental de microbacias.

O estudo de bacias hidrográficas pode ser feito de duas maneiras: qualitativamente e quantitativamente. Segundo França (1968), somente após 1945 é que alguns pesquisadores passaram a utilizar a análise quantitativa de bacias hidrográficas e de suas redes de drenagem como complemento de suas pesquisas. Com base nas descrições da composição da rede de drenagem, Horton (1945) deu um caráter quantitativo a estes estudos, considerando as relações infiltração/deflúvio e os processos de erosão pelas águas correntes, estabelecendo regras para a relação do número e comprimento de rios às diversas ordens de ramificação da rede de drenagem.

Na hierarquização de microbacias proposta por Horton (1945) e modificada por Strahler (1952), os menores canais, que iniciam a rede, são considerados de primeira ordem. Quando dois canais de primeira ordem se unem, formam um de segunda ordem, que poderá receber um de primeira. A união de dois canais de segunda ordem, forma um de terceira e assim por diante. As características dimensionais da microbacia são compostas pelos atributos de maior comprimento, maior largura, comprimento do tributário principal, perímetro e comprimento da rede de drenagem por ordens de classificação. Através destas medições, Horton (1945), determinou índices quantitativos da

rede de drenagem, que possibilitam inferir sobre diversas condições do terreno, eliminando a subjetividade da caracterização descritiva.

Existe uma estreita relação entre as características da rede de drenagem e o relevo (Horton, 1945, Smith, 1950 e Strahler, 1957) e, muitas vezes, as variações no comportamento da rede de drenagem refletem alterações das condições topográficas de uma região. Em seus estudos, França (1968) atribuiu as variações no padrão de drenagem, em primeiro lugar, à natureza do solo e depois, à posição topográfica e à natureza e profundidade do substrato rochoso.

Mesmo no nível mais restrito da microbacia hidrográfica, o conhecimento de ambientes complexos e multivariáveis como os ecossistemas agrícolas é facilitado pela estratificação dos mesmos em segmentos mais homogêneos. Uma estratificação de ambientes muito útil é o levantamento de solos (Resende, 1983). O solo é o principal recurso natural para o aproveitamento agrícola, mas é um recurso que pode ser esgotado, conforme o processo aplicado na sua exploração.

De acordo com Smith e Aandahl (1957), citados por Silva (1993), as unidades de solos têm um padrão de distribuição na paisagem que se repete e que está relacionado com o relevo, com o material de origem deste solo, com os organismos que nele vivem e com o tipo de uso dado pelo homem. De acordo com Vieira (1991), o estudo da rede de drenagem e relevo, associado a observações sobre à geologia, podem auxiliar na diferenciação das unidades de solos. Diversos trabalhos relacionando solos, material de origem e geomorfologia foram realizados por Lepsch e Buol (1975), Carmo et al. (1984), Perez Filho, Donzelli e Lepsch (1980), Teramoto (1995). Com maior ênfase nas relações solo-relevo para a região de Lavras citam-se os trabalhos de Andrade et al. (1998b), Marques Júnior (1988), Conhalato Rostangno (1999) e para a relação solo-relevo-material de origem, Lacerda (1999).

O levantamento de solos é efetuado com o exame e identificação dos solos no campo, estabelecendo seus limites geográficos, que são representados em mapas e complementados com a descrição e interpretação dos mesmos, de acordo com as várias finalidades a que se destinam (Lepsch et al., 1991). De acordo com Larach (1981) os objetivos de um levantamento de solos são, justamente: i) determinar suas características; ii) classificá-los em unidades definidas de um sistema uniforme de classificação, de acordo com a nomenclatura padronizada; iii) estabelecer e locar seus limites, mostrando, em um mapa, sua distribuição e arranjoamento (representação gráfica); e iv) prever e determinar sua adaptabilidade para diferentes aplicações.

Existem vários tipos de levantamento de solos, cada um adequado a diferentes objetivos. O objetivo e a precisão das informações apresentadas é que determinam o tipo de levantamento e, em consequência, as decisões a respeito da composição das unidades de mapeamento, das características taxonômicas a serem utilizadas, dos métodos de prospecção, da densidade de observações e freqüência de amostragem e da qualidade e escala do material cartográfico (EMBRAPA, 1995). O mapa de solos constitui a representação cartográfica de uma região, cuja paisagem se apresenta estratificada em unidades de mapeamento, cujo grau de homogeneidade depende do nível de detalhe e escala com que foi feito o levantamento.

De acordo com Jenny (1941), o relevo assume um papel tão importante na formação do solo, que em alguns casos poderá ser estudado separadamente. Para Buol, Hole e MacCracken. (1980) e Resende et al. (1997), o relevo influencia a formação do solo interagindo com outros fatores como o clima, material de origem e tempo, sendo as suas relações muito importantes para explicar a evolução das propriedades e atributos dos solos. Segundo Marques Júnior (1995), citado por Andrade et al. (1998a), a ocorrência e a distribuição dos solos na paisagem está intimamente relacionada às condições das superfícies

geomórficas e à compartimentação destas superfícies segundo os respectivos segmentos de vertente, que constituem portanto, importante instrumento para os trabalhos de levantamento e mapeamento de solos, principalmente na etapa de campo. De acordo com a EMBRAPA (1988), o relevo é classificado em função da declividade, do comprimento da encosta e da configuração superficial dos terrenos em: plano, suave ondulado, ondulado, forte ondulado, montanhoso e escarpado, sendo estas classes relacionadas à ocorrência de diferentes unidades de solos.

Além do relevo o conhecimento e identificação das unidades geológicas é de fundamental importância para o entendimento na gênese dos solos. Segundo Arnold (1983), a identificação do material de origem permite avaliar o grau de influência dos diferentes fatores e processos pedogenéticos na variabilidade dos solos. De acordo com Teramoto (1995), a distribuição espacial do material de origem, que nem sempre apresenta-se de forma uniforme e contínuo, é de grande importância para a compreensão da ocorrência dos solos na paisagem.

Segundo Andrade (1979) e Curi et al. (1990) estudos sobre a interdependência entre superfícies de erosão e distribuição de solos na paisagem na região de Lavras-MG, mostraram que as variações químicas, físicas e mineralógicas dos solos amostrados deveram-se, principalmente, a diferenças no material de origem e idade do solo.

Ainda na região de Lavras, Lacerda (1998) realizou investigações sobre a correlação entre o material parental e classes de solos B texturais de ocorrência regional, visando o estabelecimento de critérios pedogenéticos associados ao material de origem. Partindo do estudo de perfis de alteração e de mapas de classes de declividade e domínios geológicos com individualização petrológica/geoquímica, foram estabelecidos critérios de correlação geomorfológica, que após checagem de campo, permitiram a elaboração de uma mapa de classes de solos para a região de Lavras.

O levantamento de solos é, na verdade, um poderoso instrumento no processo de produção agrícola, georreferenciando dados analíticos obtidos em laboratório, possibilitando a transferência de resultados de experimentos agrícolas obtidos em um solo específico para solos semelhantes em outros locais e ainda subsidiando os profissionais das ciências agrárias, para que orientem o produtor na utilização de suas terras de acordo com a vocação agrícola das mesmas. A aptidão agrícola das terras só pode ser feita se existirem informações sobre as características do ecossistema e sobre as propriedades físicas, químicas e morfológicas das diferentes classes de solos que nele ocorrem (Baruqui, Resende e Figueiredo, 1985). Daniels (1988), contudo, expressa sua preocupação em relação à tendência da pedologia atual, questionando o uso intenso de análises de laboratório em detrimento das observações de campo. Para melhor compreender as questões sobre pedologia, geomorfologia, hidrologia e estratigrafia do ambiente, é imprescindível um bom trabalho de campo. Este, combinado aos resultados obtidos no laboratório, fornecem ao pedólogo os fundamentos para que ele possa criar um modelo da realidade, onde os diversos segmentos do ambiente estejam relacionados. A partir deste modelo, o trabalho do levantador torna-se mais simples, ficando muito mais fácil a identificação dos elementos deste modelo no mundo real.

2.2 Geoprocessamento e Sistemas de Informações Geográficas

O geoprocessamento tem sido proposto como forma de atender as necessidades referentes ao monitoramento, caracterização, planejamento e tomada de decisão relativas ao espaço geográfico, abrindo perspectivas diferenciadas aos profissionais que atuam com o meio ambiente (Carmen Saiz e Valério Filho, 1997; Áglio et al., 1997; Pereira, Schuback e Carvalho Júnior, 1998; Bolfe, Pereira e Siqueira, 1999 e Gausmann e Fitz, 1999).

Entende-se por geoprocessamento, o conjunto de técnicas computacionais para a coleta e tratamento das informações geográficas, bem como o desenvolvimento e uso de sistemas para a manipulação destas informações (Rodrigues, 1990; Câmara e Medeiros, 1998) Estes sistemas são denominados de Sistemas de Informações Geográficas.

O primeiro SIG foi desenvolvido em 1964 pelo Programa da Agência de Desenvolvimento e Reabilitação da Agricultura no Canadá, chamado de CGIS-Canadian Geographic Information System, com o objetivo de analisar, integrar e processar o grande volume de dados sobre os recursos naturais do país e subsidiar a tomada de decisão sobre questões ambientais complexas (Star e Estes, 1990).

Desde esta data, tem havido mudanças substanciais nas técnicas utilizadas nos levantamentos de recursos naturais, com um crescimento significativo no desenvolvimento da tecnologia dos SIG's. No ano de 1989, nos EUA, foram registrados 62 SIG's diferentes em uso, cada um com capacidade própria de armazenar, recuperar e analisar diferentes tipos de dados (Alves, 1990). Em duas décadas de pesquisa em inovações tecnológicas, a taxa de adoção destes sistemas em instituições privadas, governamentais e de ensino e pesquisa aumentou rapidamente (Cerri, 1999).

Oliveira Júnior (1994) definiu os SIG's como sistemas capazes de manipular uma grande quantidade de dados geográficos, provenientes de diversas fontes e formatos, em um ambiente computacional ágil e de gerar novos dados derivados dos originais. Para Burrough (1986) e Aronoff (1989), um Sistema de Informação Geográfica é constituído por um conjunto de ferramentas para aquisição, armazenamento, manipulação, transformação, recuperação e saída de dados geográficos. Estes dados descrevem objetos do mundo real, em termos de seus posicionamentos com relação a um sistema de coordenadas, seus atributos, e das relações topológicas existentes entre os mesmos.

Para seu funcionamento os SIG's requerem equipamento computacional adequado (hardware), um conjunto de módulos aplicativos (software) e um contexto organizacional diferenciado, que inclui técnicos qualificados no uso desta metodologia (Burrough e McDonnell, 1998)

Estes sistemas manipulam dados de diversas fontes, como mapas planialtimétricos, mapas geológicos, imagens de satélites, fotografias aéreas, cadastros urbano e rural e outros, permitindo combinar informações e efetuar os mais diversos tipos de análises (Alves, 1990; Assunção, Formaggio e Alves, 1990 e Goodchild, 1993).

Assad (1995), cita as etapas de um trabalho que utiliza o Sistema de Informação Geográfica:

- Definição da escala do trabalho e unidade de medidas.
- Entrada de dados.
- Conversão de dados vetoriais para forma raster.
- Obtenção de novos planos de informação, mediante a análise geográfica: reclassificação, cruzamento e cálculos sobre os dados de entrada.
- Saída dos dados.

No Brasil, já existem muitos profissionais ligados à área de geoprocessamento, sendo a maioria, usuários destes sistemas. Trabalhando na pesquisa e desenvolvimento de software destaca-se o Instituto de Pesquisas Aeroespaciais – INPE, responsável pelo desenvolvimento do Sistema para Processamento de Informações Georreferenciadas ou SPRING. Segundo Câmara (1996), citado por Medeiros (1999), o software SPRING, desenvolvido a partir do SGI-SITIM, também desenvolvido pelo INPE, pode trabalhar acoplado a diversos sistemas gerenciadores de bancos de dados, atendendo aos seguintes objetivos: dar suporte a um banco de dados geográficos de grande porte, sem limitações decorrentes dos recortes das projeções cartográficas; aprimorar a

integração de dados geográficos, com a introdução do conceito de modelagem de geocampos e geoobjetos; obter escalabilidade, isto é, funcionamento tanto em microcomputadores pessoais, quanto em estações de trabalho; e dispor de uma interface que combine aplicações comandadas por menus e uma linguagem de manipulação e consulta espacial, denominada **LEGAL** – Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algébrico.

Na literatura, encontram-se diversos trabalhos utilizando a tecnologia dos SIGs, com aplicações metodológicas diferenciadas na caracterização dos recursos naturais. No monitoramento das alterações ambientais em microbacias, por meio das técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto, autores como Pinto, Valério Filho e Garcia (1989); Leite e Oliveira (1997); Fernandes et al. (1997); Valério Filho et al. (1997), obtiveram resultados satisfatórios em relação à determinação de classes de aptidão agrícola, uso e ocupação do solo.

Por meio de um Sistema de Informação Geográfica, Moreira (1994) quantificou os atributos da rede de drenagem e calculou os índices morfométricos (área, perímetro, densidade de drenagem, razão de textura) de uma bacia hidrográfica, relacionando-os a fatores atuantes no processo de erosão. Utilizando um SIG e técnicas de quantificação de retenção de águas das chuvas por infiltração (coeficiente de rugosidade/RN), com a finalidade de prever os processos erosivos devidos ao uso inadequado do solo, Kurtz et al. (1999), por meio da metodologia descrita por Rocha (1991), puderam avaliar corretamente a realidade físico-conservacionista de uma sub-bacia no município de Santa Maria-RS.

Motter, Scopel e Rocha (1997), utilizando técnicas de geoprocessamento para o monitoramento da ocupação do solo, evidenciaram grande concordância entre os métodos de Avaliação da Aptidão Agrícola das Terras e a Equação Universal de Perdas de Solo (USLE).

A utilização de ferramentas e módulos disponíveis em diferentes Sistemas de Informação Geográfica, ajudou Vasco (1997) e Andrade et al. (1998a) a modelarem o ambiente com rapidez e segurança, tornando possível, por intermédio da geração de um Modelo Numérico de Terreno-MNT e correlações geomorfopedológicas, o mapeamento de solos das regiões estudadas.

Soares (1994) e Mello et al. (1999), utilizando o SPRING no mapeamento do desflorestamento da Amazônia, combinaram técnicas de registro, tratamento, segmentação e classificação de imagens digitais Landsat-TM, bandas 3 4 5, mostrando a viabilidade do sistema em automatizar 80 a 90% do trabalho fotointerpretativo, anteriormente realizado visualmente a partir de produtos analógicos do Landsat-TM. Silva (1999) também utilizou o SPRING para auxiliar a apresentação de um diagnóstico sobre o uso do solo em uma bacia hidrográfica, situada a montante de uma pequena central hidrelétrica no município de Colorado do Oeste-RO, relacionando a suscetibilidade erosiva dos solos ao assoreamento da represa.

Utilizando dados digitais, bandas 1 a 5 e 7 do sensor TM/Landsat-5 e dados coletados em campo para a avaliação da influência dos parâmetros culturais de cafezais da região do Sul de Minas sobre a sua resposta espectral, Leonardi (1990) concluiu que os parâmetros relativos às características da planta (tais como altura, ano de poda, percentagem de cobertura de terreno, idade, vigor vegetativo e tipo de poda) correlacionam-se melhor com a reflectância do café do que os parâmetros relativos ao meio físico (tais como solo ou características geomorfológicas do terreno).

2.3 Cafeicultura e desenvolvimento

Na década de 1980, segundo Castro Júnior (1995), Minas Gerais assumiu a liderança na produção de café do Brasil, sendo atualmente

responsável por aproximadamente 50% da produção nacional e do parque cafeeiro do país. O estado possui a cafeicultura mais tecnificada (é o maior produtor de cafés finos do país, responsável por mais de 60% do volume exportado), um clima favorável à cultura e um grande potencial de expansão. Castro Júnior (1995) relata também que o parque cafeeiro, distribuído nas regiões Zona da Mata, Triângulo Mineiro, Alto Paranaíba, Vale do Jequitinhonha e, principalmente Sul de Minas, é caracterizado por uma predominância de cafeeiros novos e variedades mais produtivas.

Dentre os fatos que mais contribuíram para o desenvolvimento da cafeicultura mineira, destacam-se a ampliação das atividades de pesquisa e assistência técnica a partir de 1970 e a receptividade ao Plano de Renovação e Revigoramento de Cafezais, instituído em 1969, que não só viabilizaram a racionalização do cultivo do café em Minas Gerais, como também permitiram a sua expansão em áreas até então muito pouco utilizadas (Caixeta et al., 1989, citados por Castro Júnior, 1995).

Após a extinção do Instituto Brasileiro do Café (IBC), em 1990, o setor cafeeiro ficou sem as informações necessárias ao seu gerenciamento racional, principalmente aquelas relativas à produção, tais como a evolução do parque cafeeiro, produtividade, volume da safra e outras condições ligadas a lavoura cafeeira.

O Diagnóstico da Cafeicultura em Minas Gerais (FAEMG, 1996), baseado em levantamento de campo e amostragem estatística estratificada, analisou as principais características das propriedades e do produtor de café no estado. Esse estudo mostrou uma franca recuperação e renovação das lavouras com a expansão dos plantios, suplantando o abandono das áreas improdutivas ou economicamente inviáveis. Contudo, apesar de levantar dados quantitativos de produção e alguns aspectos técnicos relacionados às práticas de manejo, o diagnóstico abordou, principalmente, os aspectos econômicos e sociais do setor.

As diversas regiões produtoras apresentam características distintas na infra-estrutura das propriedades, nos sistemas de manejo, nos aspectos sociais do produtor, na composição do parque cafeeiro e na sua capacidade de produção. Essa distinção ocorre em função de diferenças ambientais, que condicionam ações de âmbito econômico e social.

Considerando-se o dinamismo da lavoura, sujeita a condições climáticas variáveis, à conjuntura do mercado nacional e internacional e à variação dos fatores de produção, aos quais associam-se variações no uso das terras, é preciso que haja um acompanhamento periódico, gerando constantes aperfeiçoamentos nas informações disponíveis.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Caracterização geral das áreas de estudo

Foram selecionadas e delimitadas para o trabalho de caracterização do meio físico, duas microbacias hidrográficas com a mesma classificação climática e características edáficas distintas, representando dois ambientes diferentes no contexto da produção cafeeira do Sul de Minas.

3.1.1 Microbacia do Ribeirão Maranhão

A área em estudo localiza-se no município de Lavras, na região sul do estado de Minas Gerais, a 220 km de Belo Horizonte, pela BR-381 (Fernão Dias) sentido sul, com acesso também pela BR-265.

O Ribeirão Maranhão forma uma microbacia hidrográfica de 4^a ordem, com aproximadamente 100 km², afluente do Alto Rio Grande, integrante da bacia do Rio Paraná. Como mostra a Figura 1, a área está delimitada pelas coordenadas geográficas 21° 10'44" e 21° 20'30" de latitude sul (coordenadas UTM correspondentes: 7.660.000 e 7.638.000 m) e 45° 09'10" e 45° 01'10" de longitude oeste (coordenadas UTM correspondentes: 484.000 e 500.000 m).

Pelo Sistema Climático de Köppen, o clima da região é classificado no limite entre Cwb e Cwa, caracterizado, segundo Brasil (1960) e Galvão (1967), como clima mesotérmico, de inverno seco, verões brandos e estação chuvosa no verão. É também denominado, segundo DNPM/CPRM (1979), de tropical de altitude. A temperatura média do mês mais quente (fevereiro) é de 22,1° C e do mês mais frio (julho) é de 15,8° C, com temperatura média anual de 19,4° C. O índice pluviométrico médio anual, em uma série de 17 anos de registro na área, realizado por Vilela e Ramalho (1980), é igual a 1.530 mm, sendo que

aproximadamente 66% da precipitação anual ocorre entre período de novembro e fevereiro. Os meses de junho a agosto, segundo Castro Neto, Sediyama e Vilela (1980), são os de menor intensidade de chuvas, com totais pluviométricos não superando a 10% do total médio anual.

A região corresponde, sob o critério florístico, à floresta tropical subperenifólia e subcaducifólia e ao cerrado, sendo que grande parte dessa vegetação natural tem sido modificada, geralmente substituída por pastagens, devido à intensa ação antrópica a que a área vem sendo submetida, conforme Lacerda (1999).

De acordo com o levantamento geológico executado em 1979 pelo Departamento Nacional da Produção Mineral (DNPM), juntamente com a Companhia de Pesquisa e Recursos Minerais (CPRM), denominado de Projeto Sapucaí, a área encontra-se relacionada, conforme discutido por Lacerda (1999), ao Embasamento Granito-Gnáissico, mais especificadamente, à Associação β_1 – Complexo Lavras, constituído por gnaisses, migmatitos, rochas granítoides, leptinitos, granulitos básicos e rochas metabásicas. Ocorrem também as unidades litológicas metassedimentares do Grupo São João Del Rei e Grupo Andrelândia na porção sul da área, além de sedimentos recentes (deposições aluvionares) ao longo das planícies de inundação.

Andrade (1979), baseado no modelo proposto pelo Serviço Nacional de Pesquisas Agronômicas (Brasil, 1962), propôs a subdivisão da geomorfologia da região de Lavras em quatro superfícies de aplanação, ou seja: 1) Superfície de Aplainamento dos Altos Platôs, com altitudes entre 1.200 e 1.300 m, é a mais antiga da área e situa-se sobre quartzitos e mica-xistos do Grupo Andrelândia, predominando Solos Litólicos e Cambissolos, sendo comum a ocorrência de afloramento rochosos; 2) Superfície Dissecada de Topografia Montanhosa e Morros Residuais, constituída por formas de relevo acidentado, com altitudes variando de 1.000 a 1.100 m, foi esculpida em rochas do Embasamento Granito-



FIGURA 1 – Localização da microbacia do Ribeirão Maranhão, município de Lavras-MG.

Fonte: reprodução da imagem de satélite adquirida da ENGESAT Imagens de Satélites S/C. Ltda. Escala aproximada 1: 235.000.

Gnáissico e mais restritamente em quartzitos e mica-xistos do Grupo Andrelândia, ocorrendo descontinuamente na região, morros isolados referentes à mesma. Predominam solos Podzólicos Vermelho-Amarelos, Podzólicos Vermelho-Escuros, eventualmente Terra Roxa Estruturada, Cambissolos, Solos Litólicos e afloramentos de rochas. Mais recentemente, estudos realizados por Lacerda (1999), mencionaram a ocorrência de Brunizém Avermelhado; 3) Superfície Rebaixada dos Patamares Colinosos, altitudes em torno de 900 m, constituindo topos aplainados, vales de dissecação, com concordância de topos. Predominam Latossolos Vermelho-Escuros, Latossolos Vermelho-Amarelos e Latossolo Roxo, que ocorrem no topo e descem em direção ao fundo dos vales, cedendo lugar a Podzólicos Vermelho-Amarelos, Podzólicos Vermelho-Escuros e Terra Roxa Estruturada, além de Cambissolos à meia encosta e 4) Superfície dos Terraços e Aluviões Recentes, altitudes entre 800 e 880 m, compreendendo o fundo aplainado dos vales, conectados ou não ao aluvião do Rio Grande, nível base regional de erosão, ocorrendo Solos Aluviais e Hidromórficos. Na região de Lavras, os solos podem ser relacionados a estas superfícies.

3.1.2 Microbacia do Ribeirão Fundo

A segunda área selecionada para estudo localiza-se no município de São Sebastião do Paraíso, na região sudoeste do estado de Minas Gerais, distante aproximadamente 400 km de Belo Horizonte, com acesso rodoviário pela MG-050. Próximo de São Sebastião do Paraíso, o acesso principal a área é realizado pelas rodovias MG-050 e SP-351 (São Sebastião do Paraíso - Ribeirão Preto).

O Ribeirão Fundo forma uma microbacia hidrográfica de 5^a ordem, com aproximadamente 190 km². É afluente do Rio Sapucaí e integrante da bacia do Médio/Baixo Rio Grande. A área representada na Figura 2 está delimitada pelas coordenadas geográficas 20° 51'35" e 21° 01'15" de latitude sul (coordenadas

UTM correspondentes: 7.692.000 e 7.674.000 m) e 47° 10'20" e 46° 57'40" de longitude oeste (coordenadas UTM correspondentes: 274.000 e 296.000 m).

Pelo Sistema Climático de Köppen, o clima da região é classificado como do subtipo Cwa, que grada para o Cwb, ou seja, clima mesotérmico. O índice pluviométrico situa-se entre 1.300 e 1.700 mm anuais. A estação seca estende-se de maio a setembro, sendo janeiro, geralmente, o mês mais chuvoso, quando o total de chuvas pode atingir mais de 10 vezes às do mês de julho (DNPM/CPRM, 1979). De acordo com Oliveira e Prado (1987), a temperatura do mês mais quente é inferior a 22°C.

Segundo Lima (1966), a floresta mesófila é o tipo primitivo de vegetação que ocorre na região, com manchas de cerrado e campo limpo. Trata-se de formação florestal estacional, latifoliada e subcaducifólia. Atualmente, de acordo com o Inventário Florestal do Estado de São Paulo (Instituto Florestal, 1993), existem poucas evidências dessa cobertura vegetal natural. A maior parte foi substituída por grandes culturas anuais e permanentes, além de pastagens (Martorano, 1998).

O levantamento geológico executado pelo DNPM/CPRM (1978) denominado de Projeto Mantiqueira-Furnas, relaciona a área de estudo às seguintes unidades litoestratigráficas: 1) Super Grupo Tubarão – Grupo Itararé Indiviso, do período Permiano/Carbonífero, constituído por arenitos grosseiros a finos, de cor amarelo a avermelhado; 2) Grupo São Bento, do período Jurássico/Cretáceo subdividido em: Formação Serra Geral composta por lavas basálticas com intercalações de lentes e camadas areníticas (Botucatu) e Formação Botucatu constituída por arenitos de granulação fina a média, esbranquiçados a avermelhados e quartzosos e 3) Formação Bauru, do período Cretáceo, correspondendo a arenitos de granulação média, argilosos, róseos, avermelhados e esbranquiçados, às vezes conglomeráticos, feldspáticos e com intercalações silticargas-argilosas.

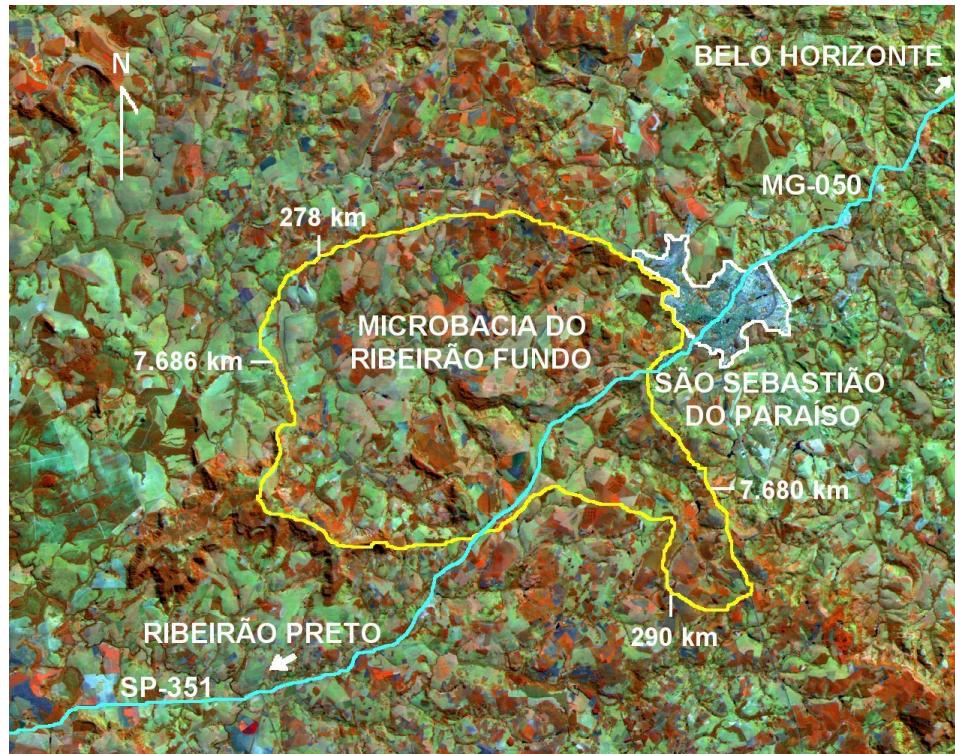


FIGURA 2 – Localização da microbacia do Ribeirão Fundo, município de São Sebastião do Paraíso-MG.

Fonte: reprodução da imagem de satélite adquirida da ENGESAT Imagens de Satélites S/C. Ltda. Escala aproximada 1: 235.000.

O relevo apresenta-se talhado nas camadas sedimentares, com cuestas arenito-basálticas sem continuidade, formando escarpas esculpidas em estruturas monoclinais e seccionadas epigeneticamente. Ao longo dos topos das cuestas, quando coincide a superfície de erosão com a superfície estrutural, há o decapamento das camadas superiores areníticas, com exposição do basalto, o qual, ao se decompor, cria manchas de terras roxas, de importante valor econômico para a região (DNPM/CPRM, 1979).

As classes de solos presentes na região, segundo os estudos de Oliveira e Prado (1987) e Martorano (1998), são: Latossolo Roxo, Latossolo Vermelho-Escuro, Areia Quartzosa, Solos Litólicos e Solos Hidromórficos.

No levantamento de reconhecimento dos solos em uma topossequência da base física da EPAMIG em São Sebastião do Paraíso, Resende et al. (1974) encontraram solos Aluviais na parte inferior da topossequência, faixas alternadas de Latossolo Roxo distrófico textura argilosa e Latossolo Vermelho-Escuro distrófico textura média do terço médio ao topo e um afloramento isolado de material basáltico na metade da topossequência.

A formação das diferentes classes de solo é influenciada pela forma de evolução do relevo, por meio do entalhamento das camadas geológicas sedimentares superiores e inferiores. Esse entalhamento origina áreas de exposição parcial de basalto, podendo ocorrer intercalações areníticas responsáveis pela formação de solos transicionais. Ocorrem mais restritamente na microbacia, em função dos domínios geológicos, variações de solos como: Podzólico Vermelho-Amarelo, Podzólico Vermelho-Escuro, Latossolo Roxo textura argilosa e textura média, Terra Roxa Estruturada, Latossolo Vermelho-Amarelo textura média, Solos Hidromórficos e Aluviais.

3.2 Material

Os dados de relevo e rede drenagem para as duas microbacias foram extraídos de cartas planialtimétricas do IBGE, na escala 1:50.000, que constituíram a base cartográfica do estudo. Adotou-se portanto, a escala 1:50.000 para o trabalho. A microbacia do Ribeirão Maranhão localiza-se nas folhas SF-23-I-II-4: Carmo da Cachoeira (IBGE, 1969a) e SF-23-I-II-2: Nepomuceno (IBGE, 1969b). A microbacia do Ribeirão Fundo engloba as folhas topográficas SF-23V-C-III-1: Monte Santo de Minas (IBGE, 1970), SF-

23-V-C-II-2: Itamoji (IBGE, 1971a), SF-23-V-A-VI-3: São Sebastião do Paraíso (IBGE, 1971b) e SF-23-V-A-V-4: São Tomás de Aquino (IBGE, 1972).

Os dados referentes à geologia foram obtidos de cartas geológicas do Projeto Mantiqueira-Furnas (DNPM/CPRM, 1978), abrangendo a área da microbacia do Ribeirão Maranhão folha SF-23-V-B: Varginha-MG, escala de 1:250.000 (coordenadas geográficas 21° 00' a 22° 00'S e 45° 00'a 46° 30'W) e Projeto Sapucaí (DNPM/CPRM, 1979), englobando a área da microbacia do Ribeirão Fundo, folha SF-23-V-A: Franca-SP, escala de 1:250.000 (coordenadas geográficas 21° 00' a 22° 00'S e 46° 30' a 48° 00'a'W).

Os dados referentes ao uso atual das terras foram extraídos, principalmente, de imagens do satélite LANDSAT-5 TM (Thematic Mapper), no formato digital e analógico, com resolução espacial 30 x 30 m:

Formato digital:

- Cena: 218-075, quadrante A, de 13 de agosto de 1997, bandas 3 4 5, município de Lavras-MG.
- Cena: 220-074 F, quadrante D, 13 de julho de 1998, bandas 3 4 5, município de São Sebastião do Paraíso-MG.

Formato analógico:

- Extrato da cena: 218-075, escala 1:50.000, de 13 de agosto de 1997, composição colorida das bandas 4 5 3 em R G B, área do município de Lavras-MG.
- Extrato da cena: 220-075, escala 1:50.000, 13 de julho de 1998, composição colorida das bandas 4 5 3 em R G B, área do município de São Sebastião do Paraíso-MG.

Fotografias aéreas verticais provenientes do levantamento executado pelos Serviços Aerofotogramétricos Cruzeiro do Sul S.A., para o Instituto Brasileiro do Café (IBC/GERCA) e CEMIG, ambos da década de 1970, com escala aproximada de 1:25.000, foram utilizadas, principalmente, para a identificação das classes de solos Hidromórficos e Aluviais.

Para o processamento digital das imagens, digitalização das entidades gráficas e modelagem dos dados foi utilizado o software SPRING (Sistema para Processamento de Informações Georreferenciadas) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais-INPE, versão 3.3 para Windows.

Para o georreferenciamento dos dados obtidos em campo utilizou-se um GPS de navegação modelo Garmin 12.

3.3 Métodos

Porções das cartas planialtimétricas do IBGE e das cartas geológicas dos projetos Mantiqueira-Furnas DNPM/CPRM (1978) e Sapucaí DNPM/CPRM (1979), referentes às microbacias em estudo, foram escaneadas, registradas e transformadas em um arquivo digital para implementação no banco de dados do SPRING. A partir das imagens registradas, procedeu-se à digitalização de pontos cotados, linhas cotadas (curvas de nível), rede hidrográfica e divisores de água das respectivas microbacias.

3.3.1 Hidrografia

As características dimensionais e quantitativas da rede de drenagem das microbacias foram obtidas pela digitalização da rede de drenagem a partir das cartas planialtimétricas. A quantificação foi feita por meio do SPRING, seguindo a medialogia abaixo:

- a) **Densidade de drenagem:** definida como o comprimento médio dos drenos por unidade de área, expressa pela equação:

$$D_d = L_t/A, \text{ km/km}^2$$

Sendo: L_t o comprimento total de drenos das diversas ordens e A a área da microbacia (Horton, 1945).

- b) **Freqüência de drenos:** representa o número de drenos por unidade de área, expressa pela equação:

$$F = N/A, \text{ drenos/ km}^2$$

Sendo: N é o número total de drenos e A é a área da microbacia hidrográfica (Horton, 1945).

A razão de textura foi inicialmente determinada por Smith (1950), baseando-se em mapas topográficos e modificada posteriormente por França (1968), para ser aplicada a fotografias aéreas. A razão de textura representa a relação entre o número total de drenos e o perímetro da microbacia, sendo expressa por:

$$T = N/P$$

Sendo: N o número total de drenos e P o perímetro da microbacia em km.

Segundo Vieira (1991), a infiltração relativa proposta por Strandberg (1975) é definida pelo produto da densidade de drenagem pela freqüência de drenos. Quanto menor o valor de infiltração relativa, maior permeabilidade do solo, considerando a drenagem interna natural.

De acordo com Kurtz et al. (1999), seguindo a metodologia utilizada para a elaboração do diagnóstico físico-conservacionista utilizada por Rocha (1991), o coeficiente de rugosidade é o parâmetro que direciona o uso potencial da terra com relação às suas características para agricultura, pecuária e reflorestamento e é dado pela expressão:

$$RN = Dd \times H$$

Sendo: Dd a densidade de drenagem da microbacia e H a declividade média da microbacia expressa em porcentagem.

3.3.2 Relevo

A partir da digitalização das curvas de nível (por meio do módulo Modelo Numérico de Terreno-MNT do SPRING) foram geradas grades no formato retangular com o interpolador de média ponderada por cota e por quadrante e no formato triangular (TIN - Triangulated Irregular Network), por meio da triangulação de Delaunay com a inserção de linhas de quebras. A performance das metodologias de geração de grades foi testada e comparada, adotando-se o modelo triangular, que adaptou-se adequadamente à escala do trabalho e apresentou a melhor modelagem do terreno.

A partir da TIN foi gerada uma grade numérica de declividade em porcentagem. Essa nova grade de declividade foi fatiada em 5 intervalos correspondentes às classes de declive apresentadas na Tabela 1, baseada em

Lemos e Santos (1996), modificada por Andrade et al. (1998a), obtendo-se um mapa temático de classes de declive, que possibilita uma visualização do relevo.

TABELA 1 Correlação entre classes de declive e classes de relevo.

Classes de declive (%)	Classes de relevo
0 - 3	Áreas planas ou quase planas das planícies aluviais
0 - 3	Áreas planas ou quase planas de topos de encostas
3 - 12	Áreas de relevo suave-ondulado
12 - 20	Áreas de relevo suave-ondulado e ondulado
20 - 45	Áreas de relevo ondulado e fortemente ondulado
> 45	Áreas de relevo montanhoso e/ou escarpado

3.3.3 Geologia

Os dados referentes a geologia foram obtidos digitalizando-se, por meio do software SPRING, as cartas geológicas do Projeto Mantiqueira-Furnas para a microbacia do Ribeirão Fundo (DNPM/CPRM, 1978) e Projeto Sapucaí para a microbacia do Ribeirão Maranhão (DNPM/CPRM, 1979), ambos na escala de 1:250.000. Como os dados geológicos disponíveis estão em escala menor que a utilizada no trabalho, optou-se por uma ampliação por meio do SPRING, ressaltando-se, contudo, que esta ampliação não implica num aumento da confiabilidade dos dados originais.

3.3.4 Solos

3.3.4.1 Fotointerpretação preliminar

Numa primeira fase, no Laboratório de Geoprocessamento do DCS-UFLA/EPAMIG, foi realizada a fotointerpretação preliminar, utilizando-se fotografias aéreas verticais, para identificação das áreas de solos Hidromórficos e Aluviais. Estas classes foram digitalizadas como um plano de informação separado, o qual foi agregado por meio do LEGAL (Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algébrico), ao mapa definitivo de solos gerado pelo SPRING.

3.3.4.2 Metodologia de campo

Foram feitas campanhas de campo para o estabelecimento de correlações entre os domínios geológicos, relevo e os grupamentos de solo correspondentes. Ambas as áreas selecionadas foram percorridas, realizando-se o reconhecimento e levantamento pedológico nas duas áreas, de acordo com EMBRAPA (1989). Tomando-se por base o modelo de distribuição de solos na paisagem regional de Lavras proposto por Andrade et al. (1998a) e Andrade et al. (1998b) e as observações feitas no campo, foi estabelecida uma correlação entre as classes de declive selecionadas (conforme estabelecido na Tabela 1) e os principais grupamentos de solos, conforme apresentado na Tabela 2. Esta correlação foi testada para a microbacia do Rio Fundo, onde também mostrou-se representativa.

Para as principais classes de solos foram selecionados perfis representativos. Estes perfis foram georreferenciados por meio de um GPS, descritos morfologicamente, de acordo com Lemos e Santos (1996), sendo

coletadas amostras dos horizontes A e B para posterior caracterização analítica e classificação de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação do Solo (EMBRAPA, 1999). Foram selecionados 7 perfis na microbacia do Ribeirão Fundo e 4 perfis na microbacia do Ribeirão Maranhão.

TABELA 2 Correlação entre classes de declive e classes de solo.

Classes de declive (%)	Classes de solos
0 - 3	Hidromórficos e Aluviais
0 - 3 (Topo)	Latossolos
3 - 12	Latossolos
12 - 20	Solos B texturais
20 - 45	Solos B texturais e B incipiente
> 45	Solos Litólicos

3.3.4.3 Metodologia de laboratório

As amostras de solo foram secas ao ar, destorroadas e passadas em peneiras de 2 mm de malha para obtenção das amostras de TFSA, sendo posteriormente analisadas nos laboratórios de química e física do Solo do Departamento de Ciência do Solo-DCS da Universidade Federal de Lavras-UFLA.

Análise física

O método do densímetro, proposto por Bouyoucos em 1926, é conhecido também como método do hidrômetro e foi empregado na análise granulométrica dos solos amostrados.

Análises químicas

O complexo sortivo foi determinado segundo metodologias descritas por Vettori (1969) e EMBRAPA (1997). Cálcio, magnésio e alumínio trocáveis foram extraídos com KCl 1N. A extração do potássio e fósforo foi realizada em solução com H_2SO_4 0,025N + HCl 0,05N. A extração do hidrogênio foi feita com acetato de cálcio 1N a pH 7. O pH foi determinado potenciometricamente utilizando-se relação solo/água e solo/KCl de 1:2,5. O carbono orgânico foi determinado pela oxidação da matéria orgânica com bicromato de potássio a 8%. A partir destes dados, calculou-se a soma de bases (S), CTC efetiva (t), CTC a pH 7 (T), saturação de bases (V) e saturação de alumínio (m), sendo:

- $S = Ca^{2+} + Mg^{2+} + K^+$
- $t = S + Al^{3+}$
- $T = S + (Al^{3+} + H^+)$
- $V = (S/T) \times 100$
- $m = (Al^{3+}/t) \times 100$

Óxidos – Os óxidos foram determinados no extrato do ataque sulfúrico (SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , TiO_2 e P_2O_5), segundo metodologia descrita por Vettori (1969) e EMBRAPA (1997). As relações moleculares K_i e K_r foram calculadas pelas equações:

- $K_i = \text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3 \times 1,70$
- $K_r = \text{SiO}_2 \times 1,7/\text{Al}_2\text{O}_3 + (\text{Fe}_2\text{O}_3 \times 0,64)$

3.3.4.4 Modelagem dos dados

Com base nas observações das várias campanhas de campo realizadas e nas correlações entre os domínios geológicos, classes de declive e classes de solos apresentadas nas Tabelas 1 e 2, estabeleceu-se um modelo de distribuição e ocorrência de solos nas paisagens estudadas. Por meio do SPRING, os mapas temáticos de classes de declive para ambas as microbacias foram reclassificados, agrupando-os separadamente em três grandes classes: 0-12%, 12-45% e > 45%, tendo em vista que os solos hidromórficos e aluviais, que também ocorrem em declives de 0 a 3%, foram identificados separadamente, por meio da fotointerpretação (item 3.3.4.1). Os mapas temáticos das unidades geológicas das microbacias foram também reclassificados em grandes grupamentos, de acordo com a composição geoquímica e mineralógica aproximada, extraídos do DNPM/CPRM (1978) e DNPM/CPRM (1979).

Por meio da álgebra de mapas, realizada pela linguagem de consulta e manipulação espacial chamada LEGAL (Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algébrico), foram estabelecidos, respeitando a individualidade de cada microbacia, os cruzamentos das classes de declive agrupadas com todos os grandes grupamentos geológicos, obtendo-se como resultado final um mapa temático de classes de solos.

3.3.5 Uso atual

O uso atual das terras das duas microbacias foi individualizado em 6 classes principais: classe 1-Mata; classe 2-café; classe 3-pastagem; classe 4-

cultura; classe 5-silvicultura e classe 6-corpos d'água. Os mapas temáticos foram gerados pelo software SPRING, utilizando-se imagens de satélite LANDSAT 5 TM (Tematic Mapper) no formato digital e analógico, com resolução espacial 30 x 30 m.

O mapa temático de uso atual da microbacia do Ribeirão Maranhão foi obtido por meio de digitalização manual direta em modo tela, utilizando os diferentes elementos de interpretação visual (cor, forma, tamanho, textura, dentre outros) sobre a imagem digital de satélite, auxiliado por funções de processamentos de imagens como a ampliação de contraste e de áreas. A comparação com os padrões fotointerpretativos da imagem em formato analógico e trabalhos de campo facilitou a discriminação mais precisa dos principais alvos.

O mapa temático de uso atual da microbacia do Ribeirão Fundo foi obtido por meio do software SPRING. De uma imagem fração-sombra, gerada pelo programa de Modelo Linear de Mistura Espectral a partir das três bandas da imagem original, foi realizada uma segmentação, utilizando-se a técnica de crescimento de regiões. Para realizar a segmentação, foram testados diversos valores de limiares, chegando-se definitivamente ao valor 12 para o limiar de similaridade e 25 para o limiar de área. A imagem segmentada foi posteriormente classificada por regiões.

Com a utilização de mapas, produtos analógicos de satélite e informações de campo, foi possível melhorar a identificação de parâmetros referentes ao uso, facilitando o treinamento supervisionado na imagem digital. A dificuldade em separar mata e café, em função do comportamento espectral semelhante das duas classes, levou à aquisição do maior número possível de amostras de treinamento, com posterior edição das áreas reconhecidas em campo, para que fosse possível a identificação correta dos alvos.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Rede de drenagem

Segundo Andrade et al. (1998c), um plano de informação, gerado pela digitalização dos dados da rede hidrográfica, contidos em mapas planialtimétricos, permite estratificar ambientes pedológicos, tendo como base padrões de drenagem.

A partir da rede de drenagem digitalizada, foi possível quantificar, pelo Sistema de Informação Geográfica (SPRING), as características dimensionais e quantitativas da rede de drenagem das microbacias do Ribeirão Fundo, apresentada na Figura 3 e Ribeirão Maranhão, apresentada na Figura 4, obtendo-se dados complementares importantes sobre a caracterização do meio físico das áreas cafeeiras.

Os atributos mensuráveis da rede de drenagem foram calculados e encontram-se nas tabelas 3, 4 e 5, mostrando, de acordo com Horton (1945), Smith (1950) e Strahler (1957), que as diferenças entre os parâmetros de densidade de drenagem, freqüência de drenos infiltração relativa e razão de textura, refletem nas alterações das condições topográficas das regiões.

De acordo com Strahler (1952), a relação dos parâmetros de densidade de drenagem e freqüência de drenos varia com o tamanho da área e a forma da bacia, não sendo recomendável, porém, a comparação direta entre as duas microbacias em estudo. Não obstante, os valores calculados podem, em conjunto, informar sobre determinadas características e propriedades do material de origem e pedoforma, que associados a observações de campo, são bons diferenciadores das unidades de solos.

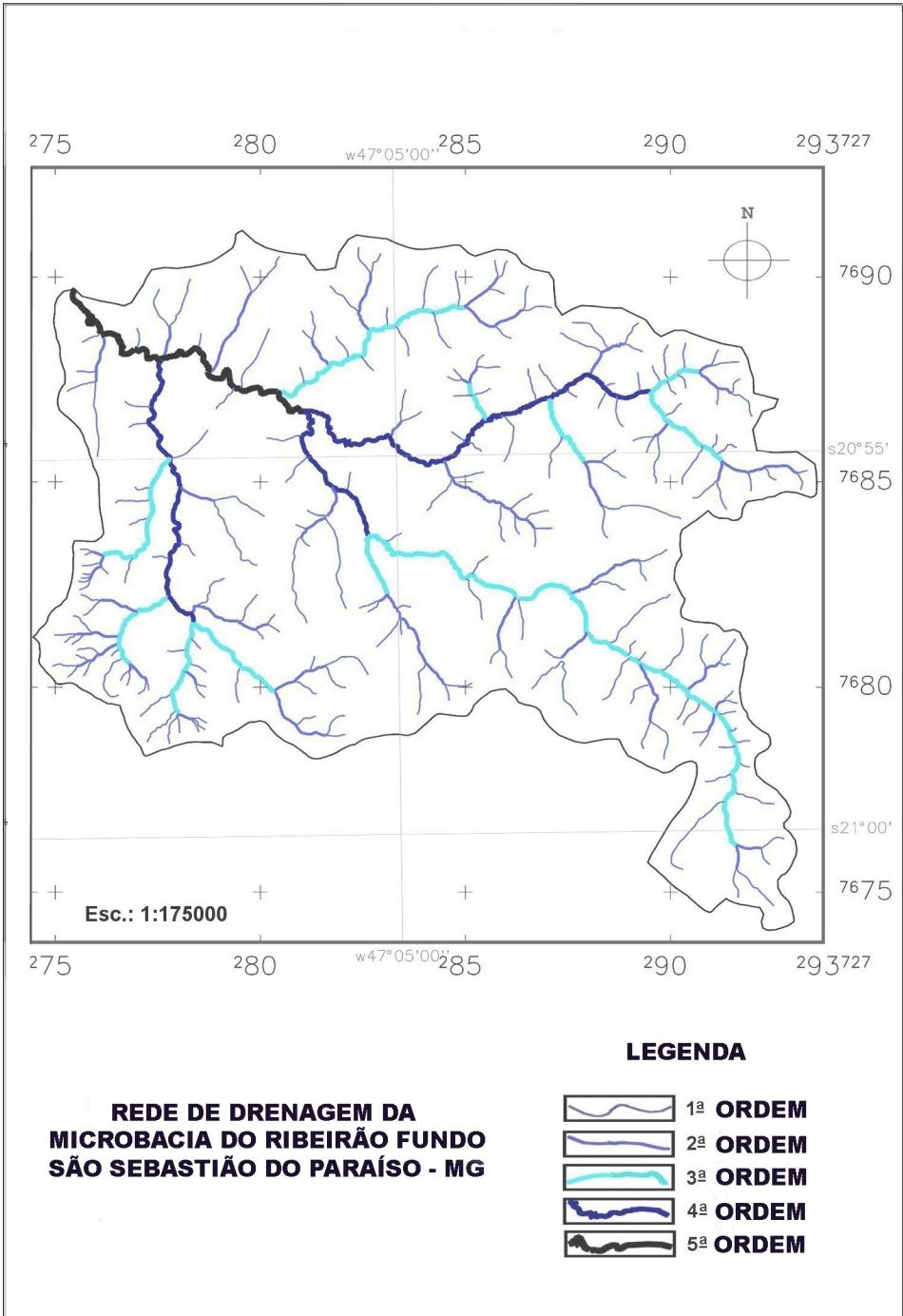


FIGURA 3 - Mapa de rede de drenagem da microbacia do Ribeirão Fundo.

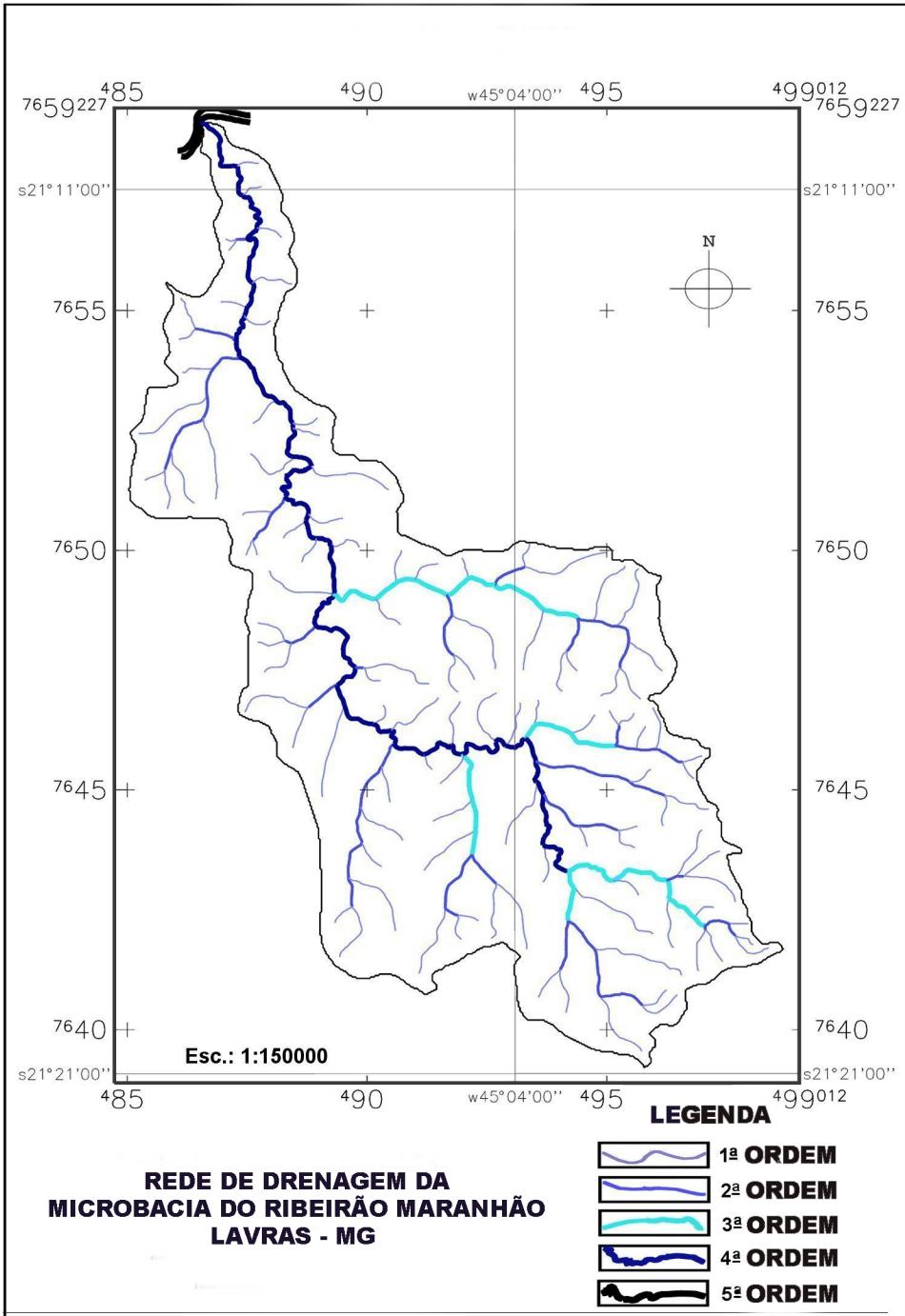


FIGURA 4 - Mapa de rede de drenagem da microbacia do Ribeirão Maranhão.

TABELA 3 Características dimensionais das microbacias.

Atributos	Ribeirão Fundo	Ribeirão Maranhão
Maior comprimento (C)	22,49 km	19,47 km
Maior largura (L)	12,83 km	9,44 km
Comp. Drenagem principal (Cp)	29,80 km	30,24 km
Perímetro (P)	79,00 km	64,59 km
Área (A)	191,87 km ²	105,08 km ²

TABELA 4 Comprimento da rede de drenagem, de acordo com a ordem dos drenos das microbacias (Cr).

Ribeirão Fundo				Ribeirão Maranhão		
Ordem	Nº de drenos	Comp. (km)	Comp. médio. (km)	Nº de drenos	Comp. (km)	Comp. médio (km)
1 ^a	207	143,65	0,69	108	96,95	0,90
2 ^a	43	47,10	1,10	21	30,01	1,42
3 ^a	11	40,40	3,67	5	15,12	3,02
4 ^a	3	23,47	7,82	1	26,22	26,22
5 ^a	1	8,89	8,89	-	-	-
Total	265	263,52	-	135	168,31	-

TABELA 5 Características quantitativas das microbacias.

Atributos	Ribeirão Fundo	Ribeirão Maranhão
Densidade de drenagem (Dd)	1,37 km/km ²	1,60 km/km ²
Freqüência de drenos (F)	1,38 drenos/km ²	1,28 drenos/km ²
Infiltração relativa (I)	1,89	2,05
Razão de textura (T)	3,35 drenos /km	2,09 drenos /km
Coeficiente de rugosidade (RN)	0,137	0,160

A densidade de drenagem (Tabela 5), que refere-se ao comprimento dos canais por unidade de área, mostra que a microbacia do Ribeirão Maranhão e do Ribeirão Fundo, apresentam densidade de drenos leve ($2,0 \text{ km/km}^2$), segundo estabelecido por Lueder (1959), citado por Vieira (1991). A microbacia do Ribeirão Maranhão apresentou um valor de Dd um pouco maior que a microbacia do Rio Fundo. Apesar de não ser possível uma comparação direta destes dois valores, em função da heterogeneidade das áreas, os resultados estão consistentes com as compartimentações geológicas diferentes das duas microbacias, que apresentam domínios geológicos com graus de resistência distintos. Em Lavras predominam rochas magmáticas intrusivas (granito) em diferentes graus de metamorfismo, mais resistentes que as unidades geológicas sedimentares (arenitos) e derrames basálticos de São Sebastião do Paraíso. Relaciona-se também a estas variações, o parâmetro de infiltração relativa, que foi mais baixo na microbacia do Ribeirão Fundo, onde predominam classes de

solos mais profundos e permeáveis, influenciados pelos materiais de origem de composição arenítica e basáltica verificados na região.

A razão de textura e a freqüência de drenos foram mais baixas na microbacia do Ribeirão Maranhão, sendo o primeiro influenciado pela menor heterogeneidade nos padrões de drenagem dentro e entre microbacias, aliado a um menor perímetro (Tabela 3) e o segundo por possuir uma ordem hierárquica a menos que a microbacia do Ribeirão Fundo (Tabela 4).

Em ambas as microbacias, particularmente na microbacia do Ribeirão Fundo, além do padrão dentrítico, observam-se porções com controle litoestrutural (sub-paralelo, sub-dentrítico e até mesmo sub-retangular), pois são padrões característicos de declive regional uniforme, apresentando-se em derrames de lavas, estratos de espessuras diferentes (rochas sedimentares) e são classificados também como drenos de quarta e quinta ordem.

O baixo coeficiente de rugosidade (RN), adotando-se uma declividade média de 10% para ambas as microbacias, está associado, segundo Smit citado por Rocha (1991), Serra (1993) e Pereira (1995), à classe A de uso da terra, que corresponde a solos apropriados para agricultura com menor risco de erosão.

A utilização de fotografias aéreas em escalas maiores que 1:50.000 implicariam numa maior confiabilidade na obtenção dos parâmetros de drenagem relativos à identificação de ambientes pedológicos, em função do nível de detalhamento propiciado, que permitiria caracterizar de maneira mais realista o meio físico. Não obstante, os resultados obtidos pela metodologia aplicada neste trabalho mostraram-se adequados, podendo ser aplicados quando se necessite de uma maneira mais rápida e econômica para a obtenção de dados, ou quando não existam levantamentos aerofotogramétricos para a área de estudo.

4.2 Relevo

Durante as campanhas de campo foram confirmadas, para as duas microbacias, as correlações entre as classes de relevo e classes de solo do modelo proposto por Andrade et al. (1998a) e Andrade et al. (1998b). Sendo assim, as cinco classes correlacionando declive e grupamentos de solos foram:

- Classe 1: 0-3%. Compreende as áreas planas ou quase planas das planícies aluviais e terraços fluviais e de topos de encostas, ocupadas por solos de várzea (Hidromórficos e Aluviais) e latossolos, respectivamente.
- Classe 2: 3–12%. Compreende as áreas de relevo suave-ondulado com predominância de latossolos.
- Classe 3: 12–20%. Abrange as áreas de relevo suave-ondulado e ondulado com ocorrência de solos com horizonte B textural.
- Classe 4: 20–45%. Compreende as áreas de relevo ondulado e fortemente ondulado dissecado, onde ocorrem solos com horizontes B textural e B incipiente .
- Classe 5: > 45%. Compreende as áreas de relevo montanhoso e/ou escarpado, ocupados por solos pouco desenvolvidos, ou seja solos litólicos e afloramentos rochosos.

A geração de grades no formato TIN, pela triangulação de Delaunay modificada com a inserção de linhas de quebras, permitiu modelar de maneira

mais eficiente, as superfícies geomórficas das microbacias. Foram gerados mapas temáticos de classes de declive no formato raster, sendo estes mapas apresentados na Figura 5 para a microbacia do Ribeirão Fundo e Figura 6 para a microbacia do Ribeirão Maranhão. Segundo Netgis (1997), esta modelagem permite que informações morfológicas importantes, como as feições lineares de relevo (cristas) e drenagem (vales), sejam consideradas durante a geração da grade triangular, possibilitando uma modelagem do terreno que preserva as feições geomórficas da superfície. A Tabela 6 apresenta a quantificação da área ocupada por cada uma das classes de declive, segundo a modelagem realizada pelo SPRING.

TABELA 6 Quantificação das classes de declive das microbacias do Ribeirão Fundo e Ribeirão Maranhão.

Classes de declive	Ribeirão Fundo			Ribeirão Maranhão		
	km²	ha	%	km²	ha	%
Classe 1: 0-3%	21,00	2.100	10,95	16,80	1.680	16,01
Classe 2: 3-12%	94,22	9.422	49,13	48,29	4.829	46,01
Classe 3: 12-20%	46,20	4.620	24,09	23,89	2.389	22,76
Classe 4: 20-45%	27,40	2.740	14,29	13,55	1.355	12,91
Classe 5: > 45	2,96	296	1,54	2,43	243	2,31
Total	191,78	19.178	100	104,96	10.496	100

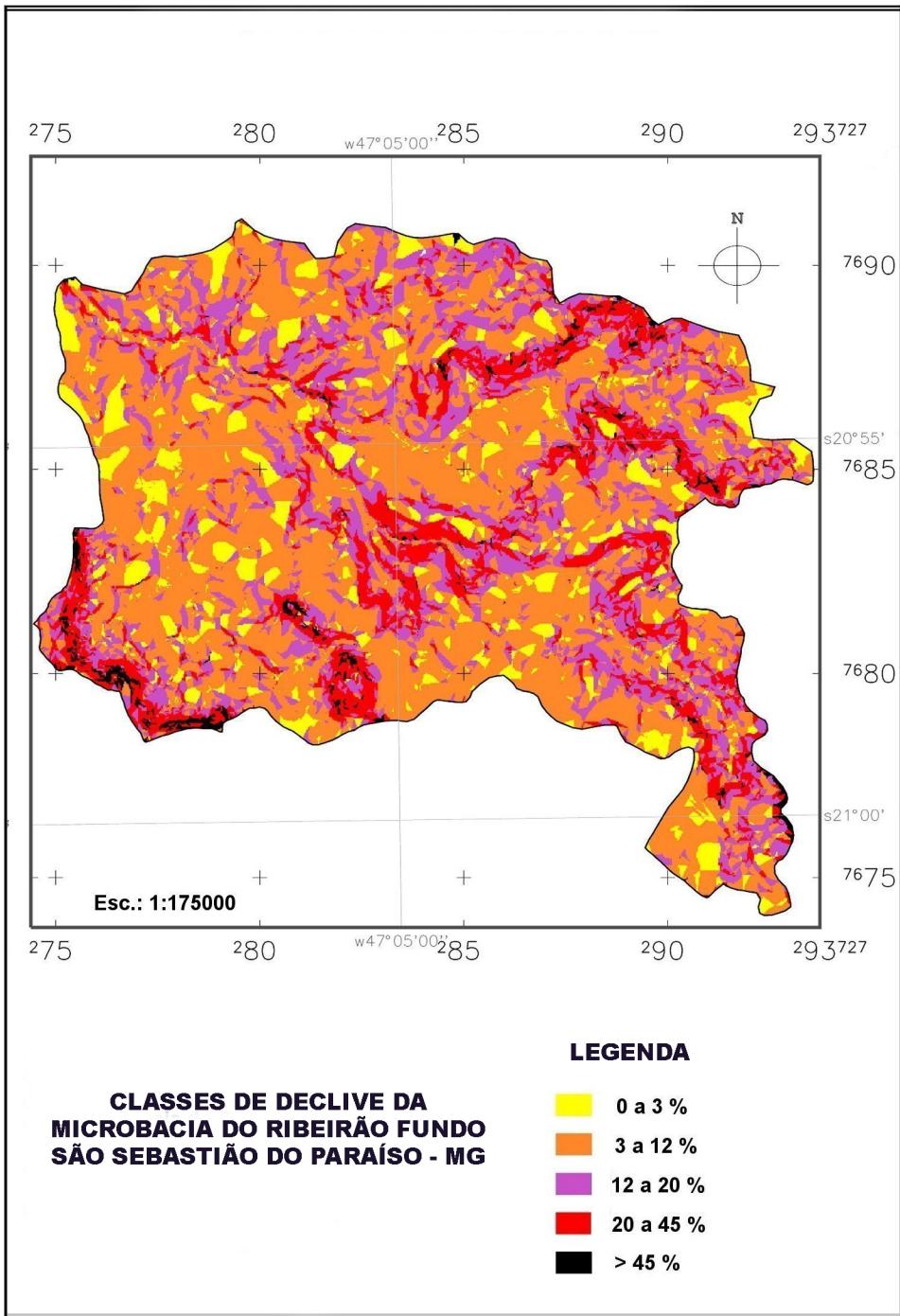


FIGURA 5 - Mapa de classes de declive da microbacia do Ribeirão Fundo.

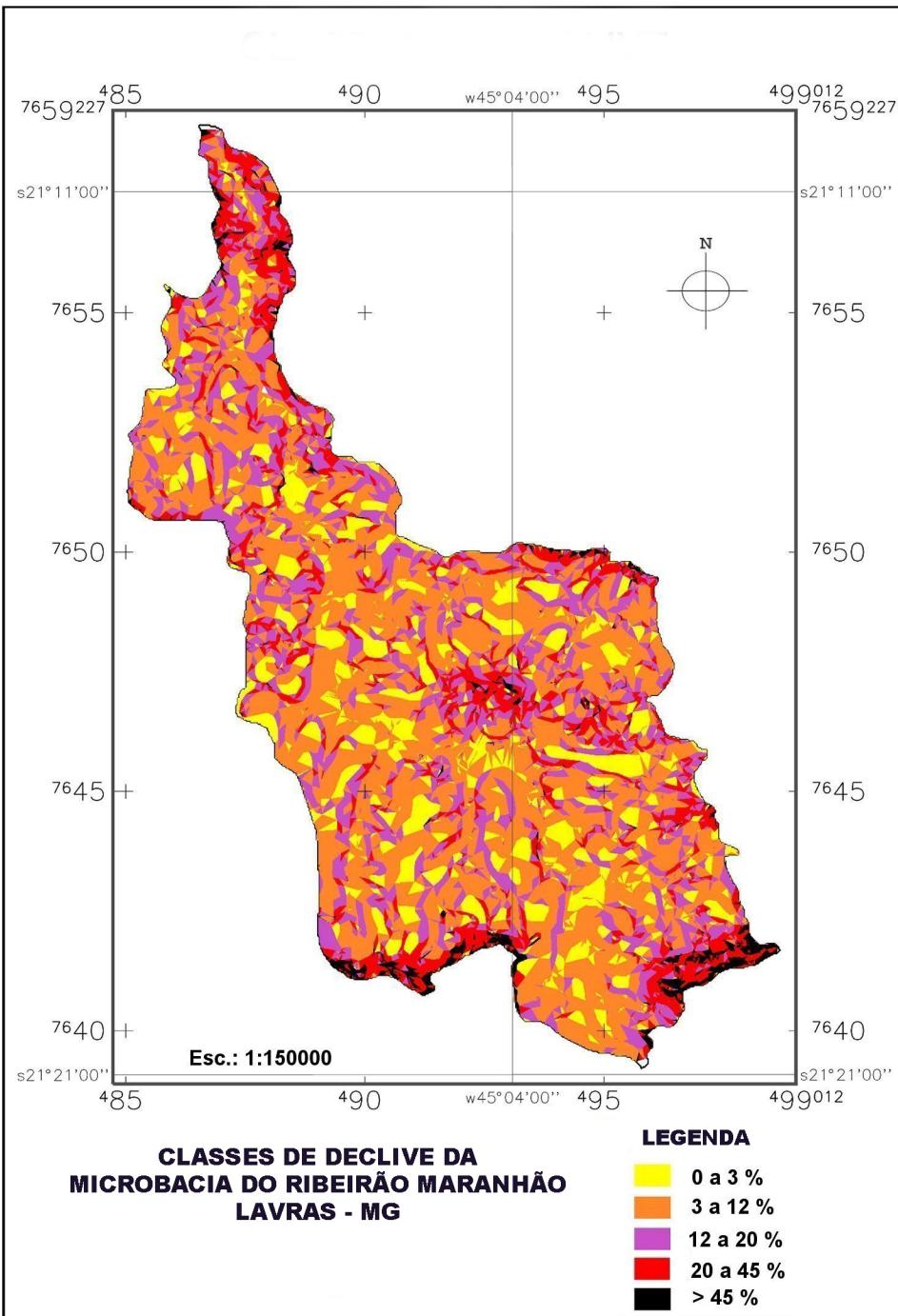


FIGURA 6 - Mapa de classes de declive da microbacia do Ribeirão Maranhão.

A classe de declive mais representativa nas duas microbacias foi a classe 2, que ocupa aproximadamente 50% da microbacia do Ribeirão Fundo e 46% da microbacia do Ribeirão Maranhão. Ambas as microbacias apresentam predomínio de áreas com relevo plano e suave-ondulado, propiciando a mecanização agrícola em 60% da área total. São terrenos onde o escoamento superficial das águas é mais lento, de menor risco de erosão, aptos ao plantio de culturas anuais e perenes.

Essas informações auxiliam o planejamento regional da lavoura cafeeira. Tendo em conta o nível tecnológico adotado e o alto investimento requerido para implantação de uma lavoura de café nas regiões estudadas, a seleção de áreas de topografia mais suave, onde os custos de produção podem ser menores que os necessários em áreas de topografia mais acidentada, torna-se um fator importante. Os mapas e a tabela apresentados propiciam aos planejadores e tomadores de decisão uma visualização e quantificação imediata do potencial da região para produção de café.

4.3 Geologia

As unidades geológicas ocorrentes dentro dos limites das microbacias do Ribeirão Fundo e Ribeirão Maranhão, subdivididas em diferentes domínios, de acordo com o levantamento geológico realizado pelo DNPM/CPRM (1978, 1979) encontram-se sumarizadas a seguir:

Ribeirão Fundo

- Domínio 1: Qa - depósitos sedimentares predominantemente aluviais.

- Domínio 2: TQi - coberturas indiferenciadas, envolvendo latossolos alóctones com paleopavimentos reconhecidos.
- Domínio 3: Kb – Formação Bauru - arenitos de granulação média, argilosos, róseos avermelhados e esbranquiçados a avermelhados, quartzosos, localmente com leitos de arenitos grosseiros, com estratificação cruzada e planar de pequeno a médio porte.
- Domínio 4: KJsg – Grupo São Bento - Formação Serra Geral - lavas basálticas com intercalações de lentes e camadas areníticas (tipo arenito Botucatu).
- Domínio 5: KJb – Grupo São Bento - Formação Botucatu - arenitos de granulação fina a média, bem selecionados, esbranquiçados a avermelhados, quartzosos; localmente com leitos de arenitos grosseiros, com estratificação cruzada, tangencial, de grande porte na base.
- Domínio 6: PCi – Super Grupo Tubarão - Grupo Itararé Indiviso - arenitos grosseiros a finos, de cor amarela a avermelhada, com desenvolvimento subordinado de diamictitos de cor vermelho-tijolo, passando a lamitos arenosos e sílticos; apresentam estratificação cruzada e planar de pequeno a médio porte.

Ribeirão Maranhão

- Domínio 1: Qi - coberturas indiferenciadas, envolvendo latossolos alóctones com paleopavimentos reconhecidos.

- Domínio 2: q – Grupo SJDR (São João Del Rei) - predominância de rochas quartizíticas em diversos complexos.
- Domínio 3: bsjr – Grupo SJDR (São João Del Rei) - predominância de mica-xistos
- Domínio 4: Mo – Associação β_1 /Complexo Lavras - migmatitos porfiroblásticos oftálmicos ou facoidais com elementos granodioríticos de estruturação quase granítica.
- Domínio 5: gnb – Associação β_1 /Complexo Lavras - biotita-leptitos, granulitos leucocráticos com farta intercalação de massas anfíbolíticas.
- Domínio 6: gnc – Associação β_1 /Complexo Lavras - predominância do rochas gnáissicas leuco a mesocráticas cataclasticamente deformadas.
- Domínio 7: gr – Associação β_1 /Complexo Lavras - rochas granítóides pouco deformadas.

Os mapas temáticos apresentados nas Figuras 7 e 8, relativos à geologia das duas microbacias, mostram os seus domínios geológicos e correspondem a planos de informação gerados no SPRING, que posteriormente serão utilizados na modelagem para a elaboração do mapa de solos.

Os resultados quantitativos das classes geológicas de ambas as microbacias, estão apresentados nas Tabelas 7 e 8. Conforme mostrado na Tabela 7, o domínio geológico com maior extensão na microbacia do Ribeirão

Fundo foi o Domínio 4 -Formação Serra Geral, correspondendo a 61,86% da área total. O basalto é a principal rocha desse domínio que, a princípio, em função de sua composição mineralógica, (apresentando minerais máficos ou ferromagnesianos) será mais facilmente intemperizável do que as rochas ricas em minerais felsicos. (Resende, 1997). Isto implica que a maioria dos solos ocorrentes na microbacia pode apresentar teores significativos de Fe, Mg e elementos traços. Estes elementos ocorrerão em teores mais elevados, quanto menor for a taxa de pedogênese dos solos, particularmente naqueles desenvolvidos em relevos mais acidentados (Terra Roxa Estruturada). Os solos formados a partir do basalto, principalmente o Latossolo Roxo, são os mais cultivados com lavouras cafeeiras, pois apresentam declives suaves e respondem bem a adubações. A distribuição espacial do domínio 4 na microbacia do Ribeirão Fundo, concordando com Teramoto (1995), nem sempre apresenta-se uniforme e contínua, em função das zonas de contato com as formações areníticas do Grupo Itararé Indiviso (Domínio 6: 12,53%), Coberturas indiferenciadas (Domínio 2: 12,07%) e Formação Botucatu (Domínio 5: 11,82%). Aparecem, então, porções de Latossolo Roxo textura média.

Como mostram a Tabela 8 e a Figura 8, a microbacia do Ribeirão Maranhão apresenta, em seu principal contexto geológico, rochas granitognáissicas de composição geoquímica e mineralógica semelhantes (Domínios 4 a 7), que correspondem a uma área total aproximada de 70%. Isso implica em uma pequena variabilidade espacial do material de origem dos solos, que, controlado pelo relevo, favorece o desenvolvimento de Latossolo Vermelho-Escuro e Latossolo Vermelho-Amarelo nos topos e declives suaves e planos, aptos à cultura cafeeira. As coberturas indiferenciadas (Domínio 1), correspondem a 15,22% da microbacia, preferencialmente constituídas por materiais latossólicos alóctones, de coloração vermelha-escura, situados em terras planas e com boa aptidão para a produção de café. Segue o domínio de

rochas quartizíticas (Domínio 2) com 6,24% e rochas micáceas (Domínio 3), com 7,70% da área total. Estas são as piores áreas da microbacia do Ribeirão Maranhão para o cultivo racional do café, pois os solos originados dessas rochas situam-se em áreas declivosas, às vezes com mais de 45% de declive, aflorando materiais rochosos, predominando Cambissolos e Litossolos que são pouco profundos e quimicamente pobres.

TABELA 7 Quantificação dos domínios geológicos referentes à microbacia do Ribeirão Fundo.

Domínios geológicos	Ribeirão Fundo		
	km ²	ha	%
Domínio 1: Qa	1,98	198	1,04
Domínio 2: TQi	23,07	2.307	12,07
Domínio 3: Kb	1,29	129	0,68
Domínio 4: KJsg	118,23	11.823	61,86
Domínio 5: KJb	22,59	2.259	11,82
Domínio 6: PCi	23,95	2.395	12,53
Total	191,11	19.111	100

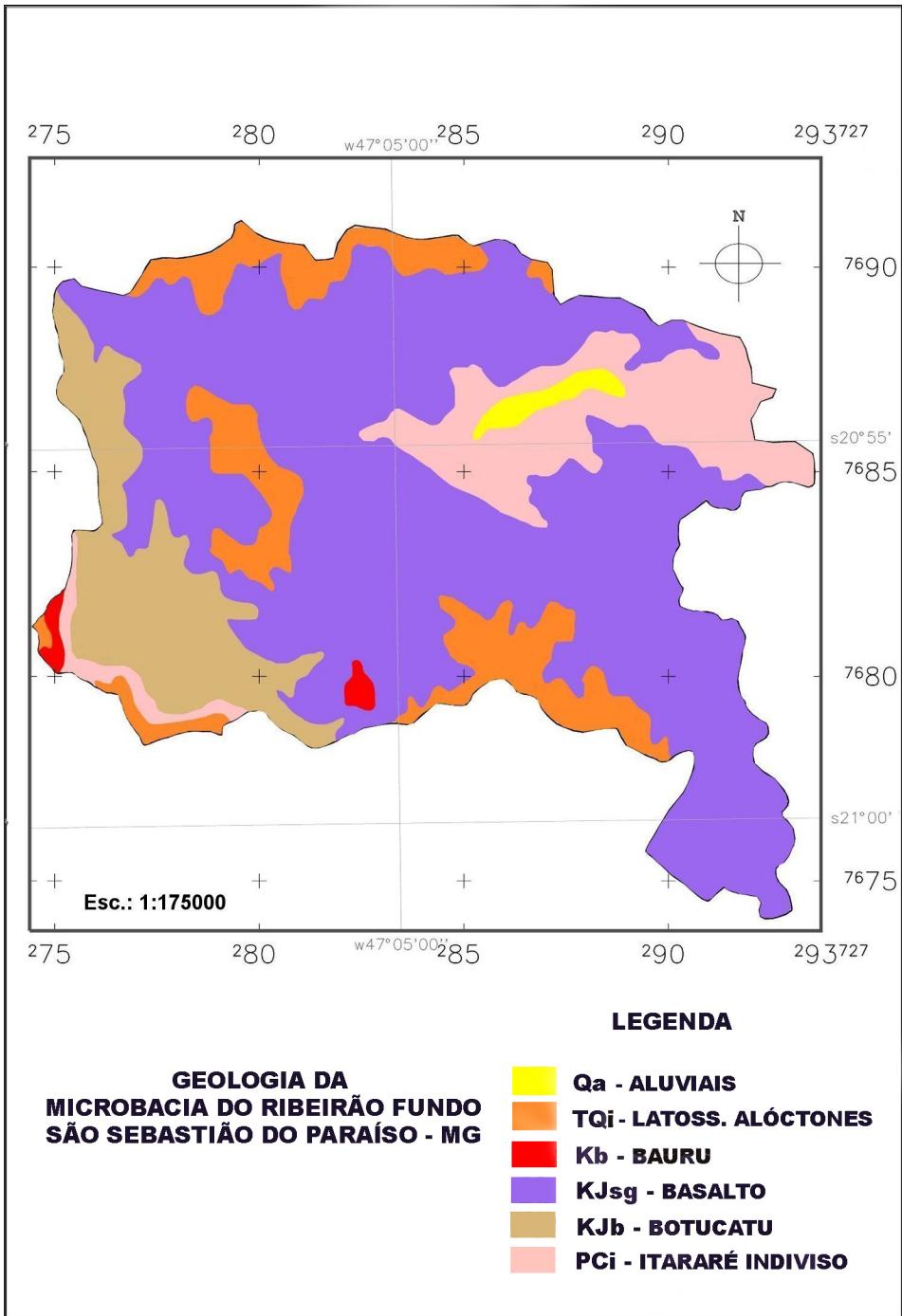


FIGURA 7 - Mapa geológico da microbacia do Ribeirão Fundo.

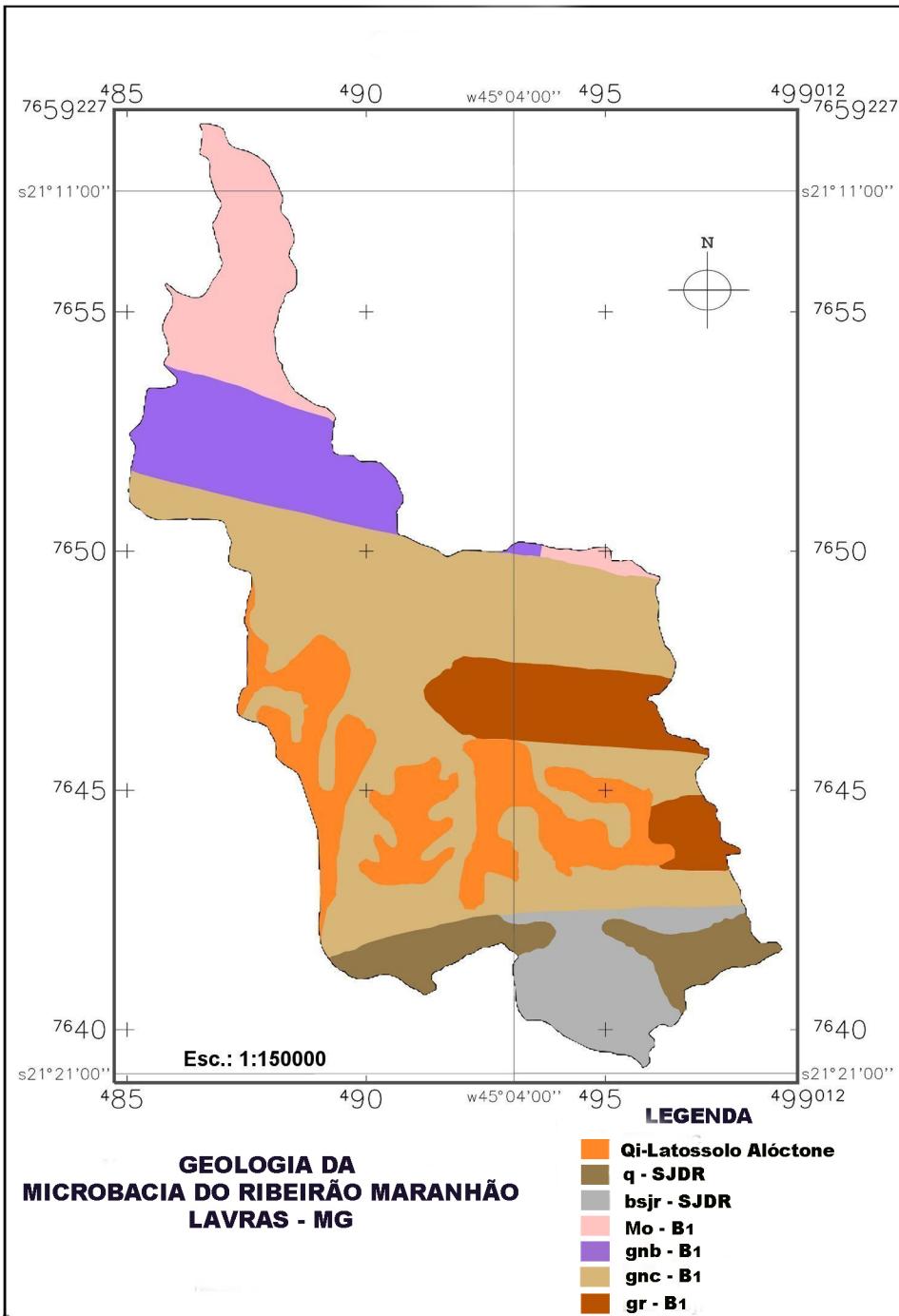


FIGURA 8 - Mapa geológico da microbacia do Ribeirão Maranhão.

TABELA 8 Quantificação dos domínios geológicos referentes à microbacia do Ribeirão Maranhão.

Domínios geológicos	Ribeirão Maranhão		
	km ²	ha	%
Domínio 1: Qi	15,94	1.594	15,22
Domínio 2: q	6,53	653	6,24
Domínio 3: bsjr	8,06	806	7,70
Domínio 4: Mo	9,74	974	9,30
Domínio 5: gnb	10,98	1.098	10,49
Domínio 6: gnc	43,70	4.370	41,74
Domínio 7: gr	9,75	975	9,31
Total	104,70	10.470	100

4.4 Uso Atual

A metodologia aplicada na classificação das imagens Landsat-TM, bandas 3 4 5 em conjunto com a interpretação visual das imagens e dados coletados em campo, possibilitou a identificação dos principais padrões de uso do solo para as microbacias do Ribeirão Fundo e Ribeirão Maranhão. As classes de uso atual do solo foram assim organizadas:

- Classe 1 – Mata - áreas de matas primárias, secundárias e cerrado.
- Classe 2 – Café - cafezais em produção, formação ou reforma.

- Classe 3 – Pastagem - áreas de pastagem natural, bem como pastagens plantadas.
- Classe 4 – Cultura - áreas destinadas ao plantio de culturas anuais, preparadas para o cultivo de verão, solos desnudos (voçorocas).
- Classe 5 – Silvicultura - áreas restritas de eucaliptos.
- Classe 6 – Perímetro Urbano – (somente Ribeirão Fundo) áreas residenciais e industriais e loteamentos.
- Classe 7 - Corpos d’água - pequenas áreas de alagamento, bem como açudes de pequeno porte.

O método de crescimento de regiões, utilizado para a segmentação das imagens e classificação supervisionada da composição das bandas 3 4 5 realizada sobre a imagem segmentada, mostrou-se bastante adequado para a microbacia do Ribeirão Fundo, fornecendo resultados confiáveis mais rapidamente que a classificação visual adotada para a microbacia do Ribeirão Maranhão. Mello et al. (1999) concluíram em seus estudos que, a utilização das técnicas de segmentação e classificação da imagem sintética sombra, derivada do modelo de mistura espectral oferecido pelo SPRING, representa de 80 a 90% do esforço fotointerpretativo empregado na análise visual das imagens Landsat-TM.

Para a microbacia do Ribeirão Maranhão, em função da maior variabilidade ambiental e complexidade nos padrões de uso do solo optou-se pela análise visual comparativa das imagens digitais e analógicas com apoio dos dados de campo. De acordo com Epiphanio, Leonardi e Formaggio (1994), a

cultura do café constitui um alvo complexo do ponto de vista do sensoriamento remoto, mas a integração do confronto entre a realidade de campo e os diferentes elementos fotointerpretativos como a cor, forma, tamanho, textura, entre outros, relacionados com a resposta espectral de cafezais, auxiliam na sua identificação.

Os mapas de uso atual da microbacia do Ribeirão Fundo e Ribeirão Maranhão, apresentado nas Figuras 9 e 10 respectivamente, foram checados em campo e confirmaram o bom resultado obtido com a classificação das imagens multiespectrais –Landsat-TM para este fim, mesmo considerando seus limites de resolução espacial de 30 x 30 metros.

A quantificação das classes de uso atual, descritas anteriormente para as duas microbacias em estudo, está apresentada na Tabela 9. O uso atual das terras, predominante em ambas as áreas de estudo, é a pastagem, que representa 45,85% da área total na microbacia do Ribeirão Fundo e 62,44% na do Ribeirão Maranhão. Essas microbacias estão inseridas em uma importante bacia leiteira, possuindo aptidões favoráveis ao desenvolvimento do sistema produtivo leiteiro como: clima, solo, água e mercado consumidor. As áreas de matas correspondem a 13,56% da microbacia do Ribeirão Fundo e 18,57% da microbacia do Ribeirão Maranhão, localizadas principalmente nas vertentes, em áreas de mananciais de água e áreas de declividade superior a 45% de declive.

Na microbacia do Ribeirão Fundo, o segundo uso atual é a cultura do café, que ocupa cerca de 22% da área total. A determinação da classe 2 (café) foi dificultada pela semelhança com a resposta espectral da classe 1 (mata), que ocupa cerca de 13,5% da área. Isto demandou um aumento do número de amostras de controle devidamente georreferenciadas, checadas a campo e reeditadas posteriormente. A expressividade do café na região de São Sebastião do Paraíso tem origem, principalmente, nas melhores condições edafoclimáticas, com uma distribuição espacial de solos de bem estruturados (Latossolo Roxo), associados a relevo planos e suave-ondulados, bem como uma

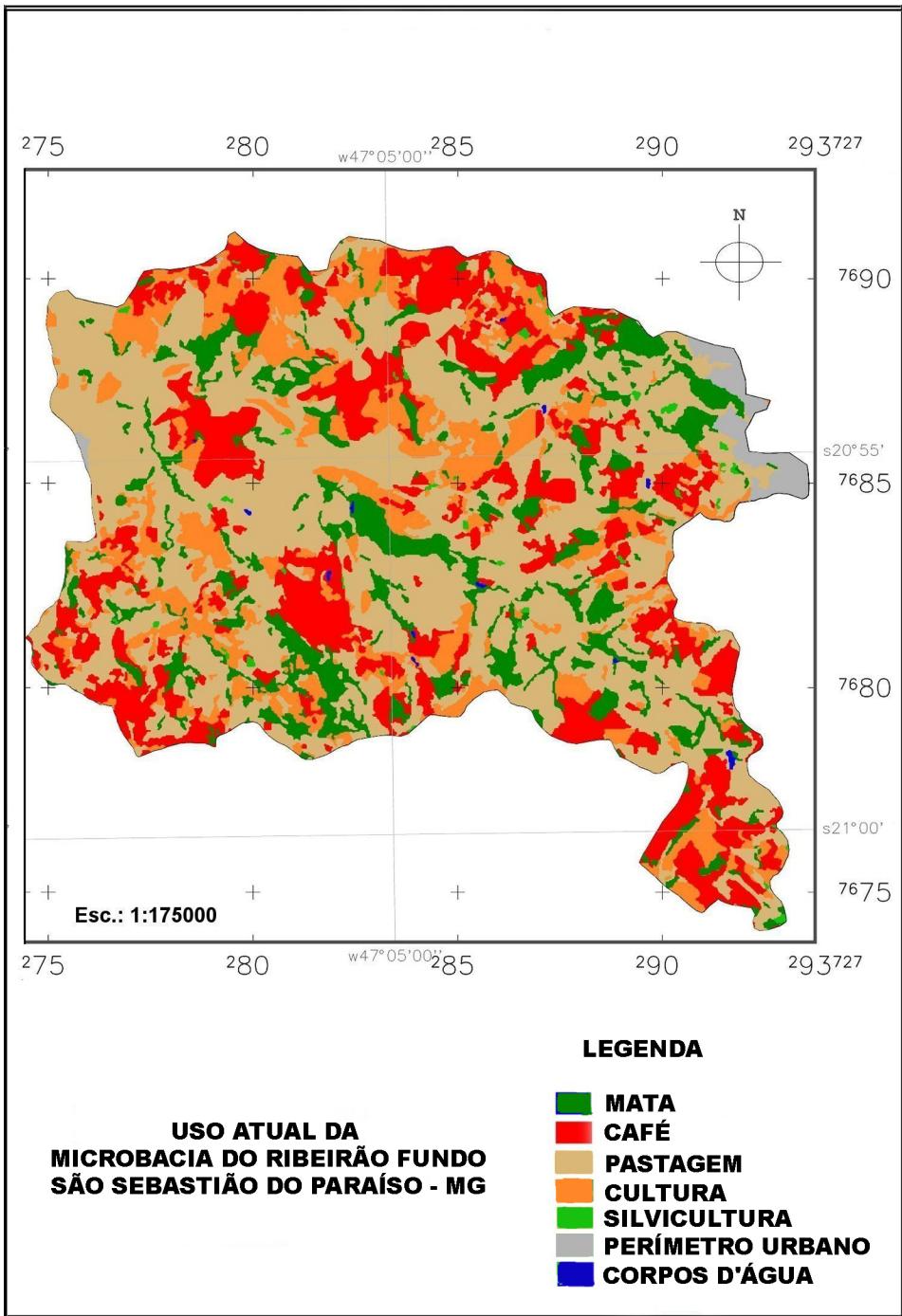


FIGURA 9 - Mapa de classes de uso atual da microbacia do Ribeirão Fundo.

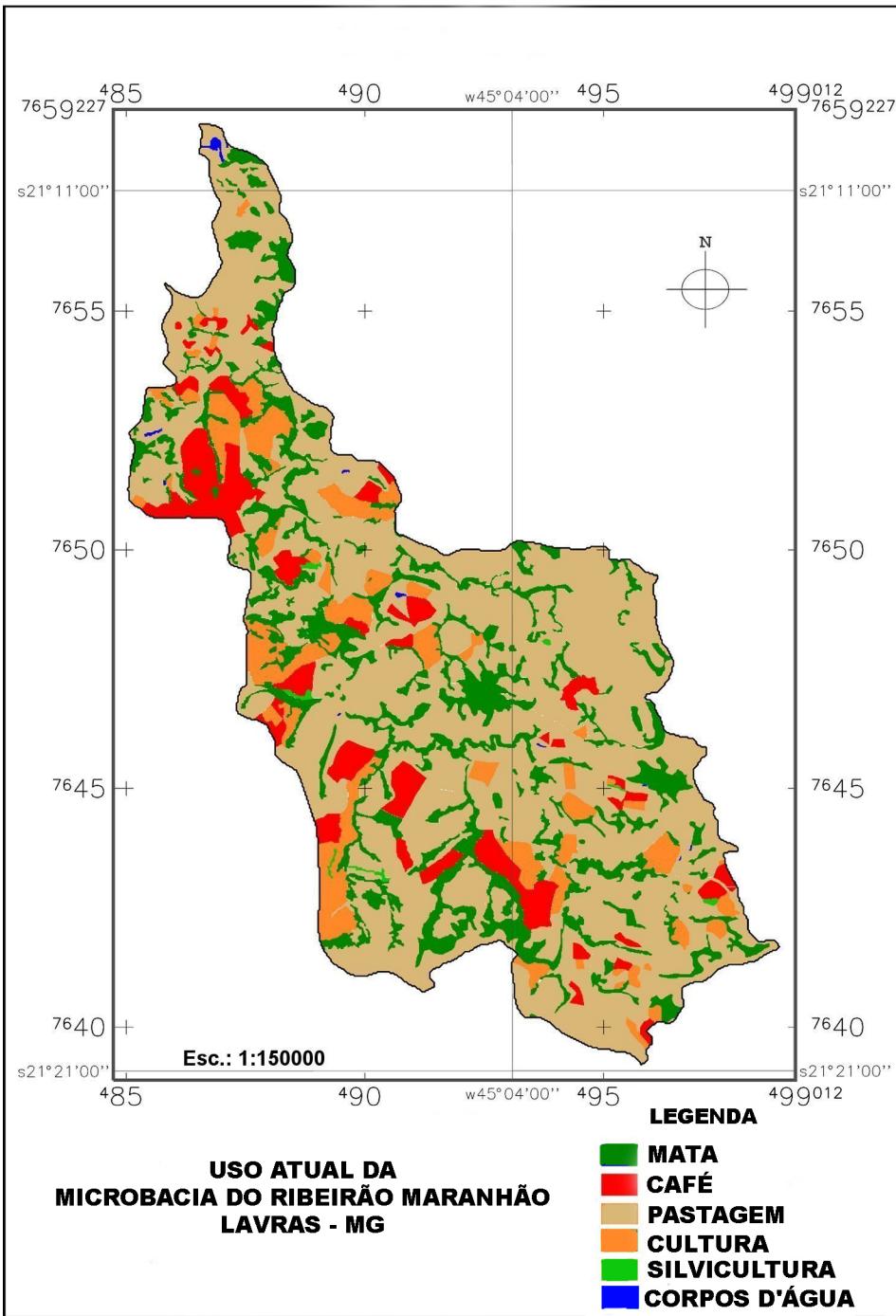


FIGURA 10 - Mapa de classes de uso atual da microbacia Ribeirão Maranhão.

estrutura cooperativista atuante na região (COOPARAÍSO), que proporciona um sistema dinâmico de produção e comercialização.

TABELA 9 Quantificação das classes de uso atual das microbacias do Ribeirão Fundo e Ribeirão Maranhão.

Classes de Uso	Ribeirão Fundo			Ribeirão Maranhão		
	km²	ha	%	km²	ha	%
Classe 1: Mata	25,63	2.563	13,36	19,37	1.937	18,57
Classe 2: Café	41,36	4.136	21,56	8,82	882	8,46
Classe 3: Pastagem	87,98	8.798	45,85	65,11	6.511	62,44
Classe 4: Cultura	32,64	3.264	17,02	10,56	1.056	10,13
Classe 5: Silvicultura	0,91	91	0,47	0,27	27	0,26
Classe 6: Perímetro urbano	3,11	311	1,62	-	-	-
Classe 7: Corpos d'água	0,24	24	0,12	0,15	15	0,14
Total	191,87	19.187	100	104,28	10.428	100

A microbacia do Ribeirão Maranhão apresenta-se como a principal área cafeeira do município de Lavras. Em relação à área total da microbacia, o café ocupa 8,46%, mas esta porcentagem aumenta quando se considera áreas adjacentes de municípios vizinhos como Nepomuceno e Carmo da Cachoeira, favorecidos com maiores extensões de relevo plano a suave-onulado, associados a solos como o Latossolo Vermelho-Escuro e Latossolo Vermelho-Amarelo, de boa aptidão para o cultivo do café.

4.5 Solos

Após a observação dos diferentes fatores pedogenéticos atuantes nas microbacias do Ribeirão Fundo e Ribeirão Maranhão e amostragens no campo de acordo com o método de prospecção por caminhamento livre (EMBRAPA, 1995), foi possível compreender a distribuição dos solos nas duas paisagens e estabelecer um modelo de correlação entre relevo e geologia, que possibilitou o mapeamento das principais unidades de solo. Foram selecionados perfis representativos para caracterização destas unidades. Estes perfis foram descritos, amostrados para posterior análise química e física e classificados segundo EMBRAPA (1999).

4.5.1 Microbacia do Ribeirão Fundo

4.5.1.1 Mapeamento e quantificação dos solos

O mapa de solos apresentado na Figura 11, foi obtido mediante o cruzamento entre o mapa de classes de declive e o mapa de domínios geológicos para a microbacia do Ribeirão Fundo, conforme o modelo proposto na Tabela 10. Foram definidas e mapeadas as principais classes de solos no segundo nível categórico do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 1999).

Os resultados quantitativos das classes de solos da microbacia são apresentados na Tabela 11. A classe 2, referente ao Latossolo Vermelho, é a classe de maior abrangência nesta microbacia, ocupando 6.400 ha, representando 33,50% da área total. Em seguida, dentro do grupamento dos latossolos, aparece a classe 1, referente ao Latossolo Vermelho-Amarelo, com 4.794 ha, ou seja 25,10% da área da microbacia. Em conjunto, estas duas classes ocupam 11.194 ha, representando cerca de 58,6% da área total, destacando-se como classes de

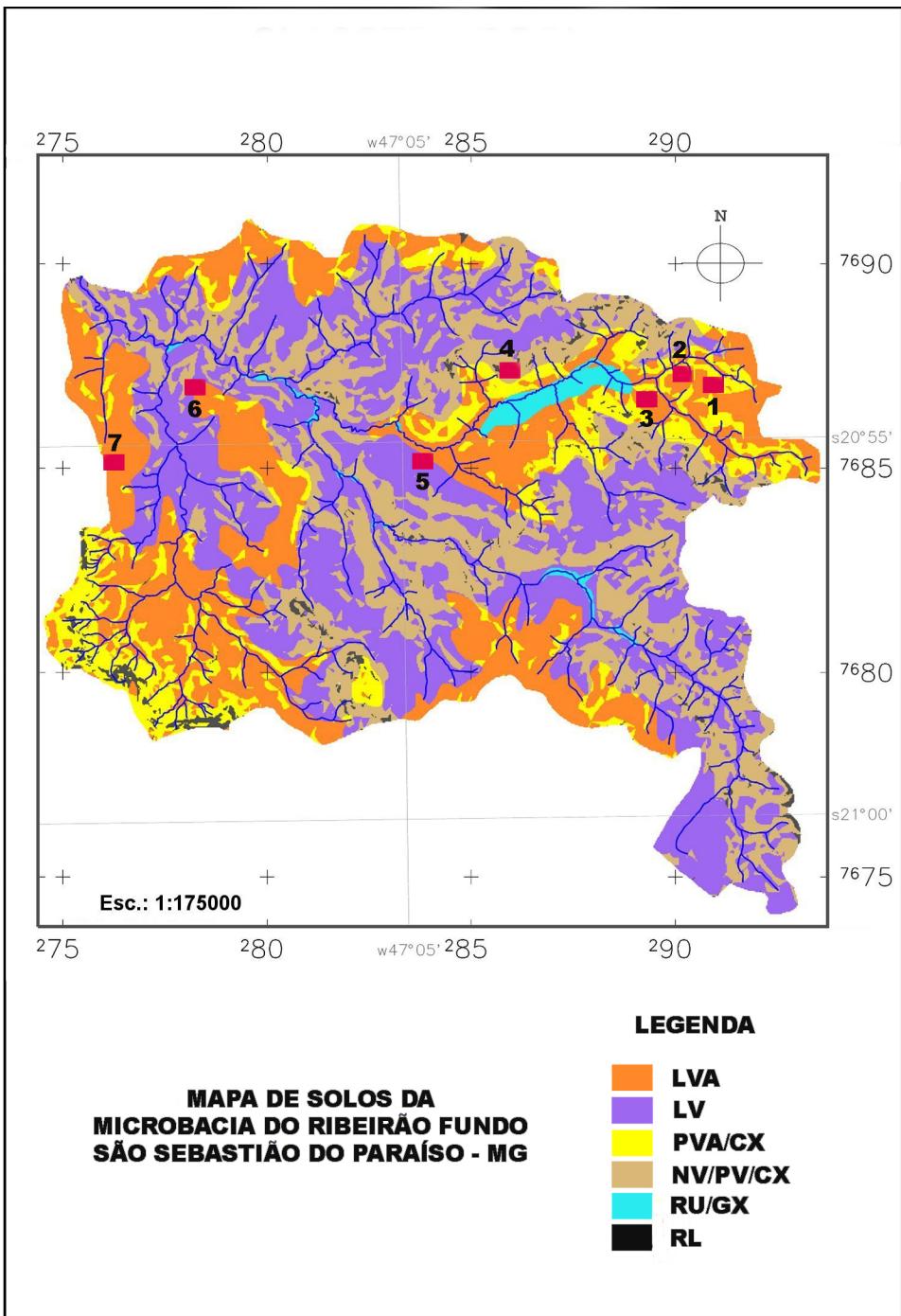


FIGURA 11 - Mapa de classes de solo da microbacia do Ribeirão Fundo.

solos potencialmente adequadas ao cultivo do café. Os Latossolos Vermelho-Amarelos (classe 1) estão localizados basicamente sobre domínios geológicos de composição arenítica. Como herança deste material de origem são solos muito arenosos, friáveis e de estruturação fraca, o que restringe seu uso, requerendo o emprego de práticas adequadas de conservação do solo. Os Latossolos Vermelhos (classe 2) por outro lado, ocorrem sobre material de origem basáltica, sendo solos argilosos, bem desenvolvidos e estruturados, podendo ser utilizados em cultivos mais intensivos como culturas anuais e perenes, com o emprego de práticas de conservação do solo mais simples.

TABELA 10 Modelo de correlação entre classes de declive, domínio geológico e classes de solo para a microbacia do Ribeirão Fundo.

Classes de declive	Domínios geológicos	Classes de solo
0-12%	Qa	(*) Gleissolos Háplicos (GX), Neossolos Flúvicos (RU)
	KJsg	Latossolo Vermelho (LV)
	TQi, Kb, KJb, PCi	Latossolo Amarelo (LVA)
20-45%	KJsg	Nitossolo (NV), Cambissolos (CX)
	TQi, Kb, KJb, PCi	Argissolos (PVA, PV), Cambissolos Háplicos (CX)
>45%	KJsg, TQi, Kb, KJsg, KJb, PCi	Neossolos Litólicos (RL)

(*) Classe de solo obtida com base em fotografias aéreas.

TABELA 11 Quantificação das classes de solos da microbacia do Ribeirão Fundo.

Classes de solos	Ribeirão Fundo		
	km ²	ha	%
Classe 1: LVA	47,94	4.794	25,10
Classe 2: LV	64,00	6.400	33,50
Classe 3: PVA/ CX	21,48	2.148	11,24
Classe 4: NV/PV/CX	51,82	5.182	27,12
Classe 5: RU/GX	3,01	301	1,57
Classe 6: RL e Afloramentos Rochosos	2,80	280	1,47
Total	191,05	19.105	100

A classe 3 corresponde às classes de solos Podzólicos Vermelho-Amarelo e Cambissolos, ocupando uma área total de 2.148 ha ou 11,24% da microbacia. Estes solos estão localizados em declividades superiores a 12%, sobre domínio geológico de composição arenítica, o que potencializa o risco de erosão se cultivado sem práticas de conservação do solo.

A classe 4 é composta principalmente por Nitossolos Vermelhos e Cambissolos, desenvolvidos sobre rocha basáltica. Em menor escala, seguem os Podzólicos Vermelhos, que aparecem em função das transições basálticas com domínios areníticos. Esta classe é a segunda maior classe em área na microbacia, ocupando aproximadamente 5.182 ha ou 27,12%. Em função da sua extensão constitui área importante sob o aspecto sócio-econômico, pois são solos que

apresentam fertilidade natural elevada e que, sob manejo correto e práticas adequadas de conservação do solo, permitem o seu cultivo principalmente com culturas perenes, inclusive por agricultores de baixo e médio nível tecnológico.

A classe 5, referente a Neossolos Flúvicos - RU (Solos Aluviais) e Gleissolos Háplicos – GX e a classe 6, referente a Neossolos Litólicos – RL e Afloramentos Rochosos, ocupam, juntas, aproximadamente 581 ha ou 3,04% da área total da microbacia. Apesar da baixa expressividade em relação aos demais solos e indiferentemente de sua aptidão agrícola, sua localização é estratégica sob o ponto de vista da conservação ambiental, sendo encontrados próximos a mananciais de água e em declives superiores a 45%, devendo constituir áreas destinadas exclusivamente à preservação ambiental.

4.5.1.2 Caracterização morfológica dos perfis representativos

As principais classes de solos da microbacia do Ribeirão Fundo foram estabelecidas e descritas, segundo os critérios de Lemos e Santos (1996) e EMBRAPA (1999). Os fatores considerados na escolha dos perfis representativos foram a distribuição espacial, com base na modelagem geopedológica e a utilização agrícola das classes de solo na microbacia. A Tabela 12 apresenta a classe de solo caracterizada por cada um dos perfis selecionados (Figura 12 e 13) e a localização destes perfis está indicada na Figura 11. A seguir é apresentada a caracterização morfológica de cada um dos perfis representativos selecionados.

TABELA 12 Principais classes de solos amostrados na microbacia do Ribeirão Fundo.

Número do perfil	Domínio Geológico	Classe de Solo Selecionado
1	PCi	LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico psamítico textura média
2	PCi	ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico típico textura média.
3	PCi/KJsg	NITOSSOLO VERMELHO Distrófico típico textura argilosa.
4	KJsg	NITOSSOLO VERMELHO Eutroférreco típico textura argilosa/muito argilosa
5	KJsg/PCi	LATOSSOLO VERMELHO Ácrico típico textura média
6	KJsg	LATOSSOLO VERMELHO Acriférreco típico textura argilosa.
7	KJb	LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico psamítico textura arenosa/media

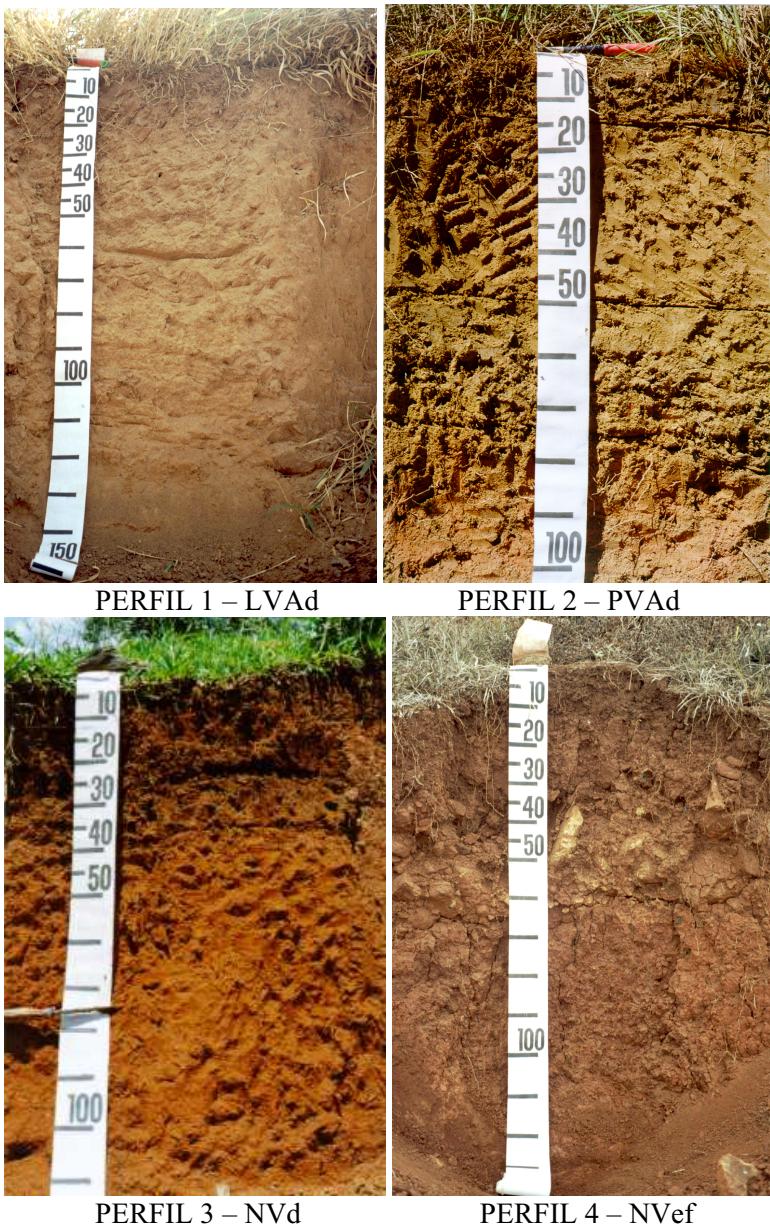


FIGURA 12 – Fotos dos perfis analisados da microbacia do Ribeirão Fundo.



PERFIL 5 – LVd



PERFIL 6 – LVwf



PERFIL 7 – LVAd

FIGURA 13 – Fotos dos perfis analisados da microbacia do Ribeirão Fundo.

Perfil nº1

Data:	15/02/2000
Classificação SBCS:	LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico psamítico, textura média, A moderado.
Localização:	estrada não pavimentada sentido EPAMIG-Guardinha, município de São Sebastião do Paraíso-MG; coordenadas UTM: 290.837 W, 7.686.879 S.
Situação:	corte de estrada, terço médio de encosta, com cerca de 2,5% de declive e sob pastagem de capim Brachiaria.
Altitude:	970 m.
Litologia:	arenitos grosseiros a finos, com desenvolvimento subordinado a dimictitos passando a lamitos arenosos e silticos, estratificação cruzada e planar de pequeno a médio porte.
Formação geológica:	Super Grupo Tubarão, Grupo Itararé Indiviso.
Material originário:	sedimentos arenosos provenientes do intemperismo e retrabalhamento de arenito da formação Itararé Indiviso.
Pedregosidade:	não pedregosa.
Rochosidade:	não rochosa.
Relevo local:	plano.
Relevo regional:	suave ondulado a ondulado.
Erosão:	não aparente.

Vegetação primária:	Floresta	Tropical	Subperenifólia/ Subcaducifólia.
Drenagem:	bem drenado.		
Uso atual:	pastagem.		
Clima:	Cwb (Köppen).		
Descrito e coletado:	R. J. T. P. de Resende, H. Andrade.		

Descrição morfológica

A 0-80 cm; bruno-amarelado-escuro (10YR 4/4, úmido), bruno-amarelado (10YR 5/6, seco) bruno a bruno-escuro (10YR 4/3, úmido e amassado); areia franca; fraca a moderada muito pequena e pequena granular; macio, muito friável, não plástico e ligeiramente pegajoso; transição difusa e plana.

B_w 80-140+ cm; bruno-amarelado (10YR 5/8, úmido), bruno-forte (7,5YR 5/8, seco) e bruno-amarelado (10YR 5/6, úmido e amassado); franco arenoso; fraca muito pequena e pequena granular; macio, muito friável; ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso.

RAÍZES: fasciculadas, finas e comuns no A e raras no B.

Perfil nº2

Data:	15/02/2000
Classificação SBCS:	ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO
	Distrófico típico, Tb, textura média, A moderado.

Localização:	estrada não pavimentada sentido EPAMIG-Guardinha, município de São Sebastião do Paraíso-MG; coordenadas UTM: 290.335 W, 7.687.042 S.
Situação:	corte de estrada, terço inferior de encosta, com cerca de 12% de declive e sob pastagem natural e capim Brachiaria.
Altitude:	920 m.
Litologia:	arenitos grosseiros a finos, com desenvolvimento subordinado a dimictitos passando a lamitos arenosos e silticos, estratificação cruzada e planar de pequeno a médio porte.
Formação geológica:	Super Grupo Tubarão, Grupo Itararé Indiviso.
Material originário:	sedimentos arenosos provenientes do intemperismo e retrabalhamento de arenito da formação Itararé Indiviso.
Pedregosidade:	não pedregosa.
Rochosidade:	não rochosa.
Relevo local:	suave ondulado.
Relevo regional:	suave ondulado a ondulado.
Erosão:	laminar ligeira a moderada e em sulcos rasos e freqüentes.
Vegetação primária:	Floresta Tropical Subperenifólia/Subcaducifólia.
Drenagem:	moderadamente drenado a bem drenado.
Uso atual:	pastagem.
Clima:	Cwb (Köppen).

Descrito e coletado: R. J. T. P. de Resende, H. Andrade.

Descrição morfológica

A₁ 0-12 cm; bruno-amarelado-escuro (10YR 4/4, úmido), bruno amarelado (10YR 5/4, seco) e bruno a bruno escuro (10YR 4/3, úmido e amassado); franco arenoso; moderada a forte, muito pequena e pequena granular; macio, muito friável, ligeiramente plástico a plástico e ligeiramente pegajoso; transição clara e plana.

A₂ 12-50 cm; bruno-amarelado-escuro (10YR 4/6, úmido), bruno-amarelado (10YR 5/4, seco) e bruno-amarelado-escuro (10YR 4/4, úmido e amassado); franco arenoso; moderada, muito pequena e pequena granular; macio, muito friável; ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição gradual e plana.

B_{tf1} 50-75 cm; bruno-amarelado (10YR 5/6, úmido), bruno muito claro-acinzentado (10YR 7/4, seco) e bruno-amarelado (10YR 5/4, úmido e amassado); mosqueado vermelho-amarelado (5YR 5/8); franco arenoso; moderada, muito pequena, pequena a médio blocos angulares a subangulares; cerosidade fraca a moderada e comum, macio, muito friável; plástico e ligeiramente pegajoso; transição clara e plana.

B_{tf2} 75-100+ cm; vermelho-amarelado (5YR 5/8, úmido), amarelo-avermelhado (5YR 6/6, seco e úmido amassado); mosqueado amarelo-avermelhado (5YR 6/8); franco a franco argiloso; moderada a forte, muito

pequena, pequena a médio blocos angulares a subangulares; cerosidade moderada e comum, macio, muito friável; plástico e pegajoso.

RAÍZES: fasciculadas, finas e abundantes no A₁, comuns no A₂ e poucas no B_{tf1} e B_{tf2}.

Observação: o horizonte B₂ apresenta linha de pedra na profundidade 60-75.

Perfil nº3

Data: 15/02/2000

Classificação SBCS: NITOSSOLO VERMELHO Distrófico típico, Tb, textura argilosa, A moderado.

Localização: estrada não pavimentada sentido EPAMIG-Guardinha, município de São Sebastião do Paraíso-MG; coordenadas UTM: 289.341 W, 7.686.826 S.

Situação: corte de estrada, terço inferior de encosta, com cerca de 10% de declive e sob pastagem de capim Brachiaria.

Altitude: 865 m.

Litologia: arenitos grosseiros a finos, com desenvolvimento subordinado a dimictitos passando a lamitos arenosos e silticos, estratificação cruzada e planar de pequeno a médio porte.

Formação geológica: Super Grupo Tubarão, Grupo Itararé Indiviso.

Material originário:	intemperismo e retrabalhamento de arenito da formação Itararé Indiviso.		
Pedregosidade:	não pedregosa.		
Rochosidade:	não rochosa.		
Relevo local:	suave ondulado a ondulado.		
Relevo regional:	suave ondulado a ondulado.		
Erosão:	não aparente.		
Vegetação primária:	Floresta	Tropical	Subperenifólia/ Subcaducifólia.
Drenagem:	bem drenado.		
Uso atual:	pastagem.		
Clima:	Cwb (Köppen).		
Descrito e coletado:	R. J. T. P. de Resende, H. Andrade.		

Descrição morfológica

A_{pl} 0-22 cm; vermelho-escuro (2,5YR 3/6, úmido), vermelho (2,5YR 4/6, seco) e vermelho (2,5YR 4/8, úmido e amassado); franco argiloso; moderada, pequena e médio granular; ligeiramente duro, friável a muito friável, ligeiramente plástico a plástico e ligeiramente pegajoso a muito pegajoso; transição clara e plana.

A₂ 22-35 cm; vermelho-escuro (10R 3/6, úmido), vermelho (2,5YR 4/6, seco) e vermelho-escuro (2,5YR 3/6, úmido e amassado); franco argiloso; forte, pequena média e grande granular; ligeiramente duro, muito friável a friável; ligeiramente plástico a plástico e pegajoso a muito pegajoso; transição difusa e plana.

B_t 35-110+ cm; vermelho (2,5YR 4/8, úmido) e vermelho (2,5YR 5/8, seco e úmido amassado); franco argiloso a argiloso; moderado a forte, pequena média e grande blocos angulares a subangulares; cerosidade moderada e comum, ligeiramente duro, friável; plástico, pegajoso a muito pegajoso.

RAÍZES: fasciculadas, finas, abundantes no Ap, comuns A₂, poucas no B.

Perfil nº4

Data: 01/03/2000

Classificação SBCS: NITOSSOLO VERMELHO Eutroférreico típico, Tb, textura argilosa/muito argilosa, A moderado, pouco cascalhenta.

Localização: estrada não pavimentada sentido EPAMIG-Guardinha, Fazenda Diamantina, no município de São Sebastião do Paraíso-MG; coordenadas UTM: 286.001 W, 7.687.143 S.

Situação: corte de estrada em carreador de talhão de café, meia encosta, com cerca de 30% de declive e sob cultura de café.

Altitude: 890 m.

Litologia: lavas basálticas com intercalações de lentes e camadas areníticas (tipo arenito Botucatu).

Formação geológica: Grupo São Bento – Formação Serra Geral.

Material originário: produto de alteração do Basalto.

Pedregosidade: pedregosa.

Rochosidade: ligeiramente rochosa.

Relevo local: forte ondulado.

Relevo regional:	suave ondulado a forte ondulado.
Erosão:	ligeira.
Vegetação primária:	Floresta Tropical Subperenifólia/ Subcaducifólia.
Drenagem:	bem drenado.
Uso atual:	cafeicultura.
Clima:	Cwb (Köppen).
Descrito e coletado:	R. J. T. P. de Resende.

Descrição morfológica

A 0-40 cm; vermelho-escuro (10R 3/6, úmido), vermelho (2,5YR 4/4, seco) e vermelho (2,5YR 4/6, úmido e amassado); argiloso; forte muito pequena a média blocos angulares a subangulares; muito duro a extremamente duro, firme; muito plástico e muito pegajoso; transição gradual e plana.

BA 40-80 cm; vermelho (10R 4/6, úmido), vermelho escuro (2,5YR 3/6, seco) e vermelho (2,5YR 4/6, úmido e amassado); muito argiloso; forte pequena a grande blocos angulares a subangulares; cerosidade forte e abundante; muito duro a extremamente duro, firme; muito plástico e muito pegajoso; transição abrupta e plana.

B_t 80-140+ cm; vermelho (10R 4/6, úmido), vermelho escuro (2,5YR 3/6, seco); vermelho (2,5YR 4/8, úmido e amassado); muito argiloso; forte muito pequena a média blocos angulares a subangulares; cerosidade forte e abundante; muito duro, firme; plástico e muito pegajoso.

RAÍZES: fasciculadas, finas, abundantes no A, poucas no BA e raras no B.

Observações: ocorrência de matações e calhaus de maior tamanho forma descartados na coleta, estimando-se sua contribuição em volume em aproximadamente 50% no horizonte BA.

Perfil nº5

Data:	01/03/2000
Classificação SBCS:	LATOSSOLO VERMELHO Árico típico, textura média, A moderado.
Localização:	estrada não pavimentada sentido Guardinha, Fazenda Sapé, município de São Sebastião do Paraíso-MG; coordenadas UTM: 284.074 W, 7.684.935 S.
Situação:	corte de estrada, terço inferior da encosta, com cerca de 4% de declive, sob pastagem.
Altitude:	875 m.
Litologia:	lavas basálticas com intercalações de lentes e camadas areníticas (tipo arenito Botucatu).
Formação geológica:	Grupo São Bento – Formação Serra Geral.
Material originário:	produto de alteração do Basalto com influência do material arenítico do Grupo Itararé Indiviso.
Pedregosidade:	não pedregosa.
Rochosidade:	não rochosa.
Relevo local:	plano a suave ondulado.

Relevo regional:	plano a suave ondulado.
Erosão:	não aparente.
Vegetação primária:	Floresta Tropical Subperenifólia/ Subcaducifólia.
Drenagem:	fortemente drenado.
Uso atual:	pastagem.
Clima:	Cwb (Köppen).
Descrito e coletado:	R. J. T. P. de Resende.

Descrição morfológica

A_{p1} 0-30 cm; vermelho-escuro-acinzentado (10R 3/4, úmido) e vermelho-escuro (2,5YR 3/6, seco); vermelho-escuro-acinzentado (10R 3/4, úmido e amassado); franco arenoso a franco-argilo-arenoso; fraca, muito pequena, pequena e média granular; ligeiramente duro, muito friável a friável, ligeiramente plástico a plástico e ligeiramente pegajoso; transição abrupta e plana.

A_2 30-130 cm; vermelho-escuro-acinzentado (10R 3/4, úmido), vermelho-escuro (10R 3/6, seco) e vermelho-escuro (10R 3/6, úmido e amassado); franco-arenoso; fraca a moderada, muito pequena, pequena e média granular; macio a ligeiramente duro, solto a muito friável; ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição difusa e plana.

B_w 130-160+ cm; vermelho-escuro-acinzentado (10R 3/4, úmido), vermelho (2,5YR 4/6, seco) e vermelho-escuro (10R 3/6, úmido e amassado); franco-argilo-arenoso; fraca, muito pequena granular (tipo maciço poroso);

macio a ligeiramente duro, muito friável; não plástico a ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso.

RAÍZES: fasciculadas, finas e muitas no A_{p1}, poucas no A₂ e raras no B_w.

Perfil nº6

Data:	15/02/2000
Classificação SBCS:	LATOSSOLO VERMELHO Acriférreico típico, textura argilosa, A moderado.
Localização:	estrada não pavimentada sentido Guardinha após a EPAMIG, município de São Sebastião do Paraíso-MG; coordenadas UTM: 278.036 W, 7.687.138 S.
Situação:	corte de estrada, terço médio de encosta, com cerca de 14% de declive, sob mata modificada por atividade antrópica.
Altitude:	855 m.
Litologia:	lavas basálticas com intercalações de lentes e camadas areníticas (tipo Arenito Botucatu).
Formação geológica:	Grupo São Bento – Formação Serra Geral.
Material originário:	produto de alteração do Basalto.
Pedregosidade:	não pedregosa.
Rochosidade:	não rochosa.
Relevo local:	plano a suave ondulado.
Relevo regional:	suave ondulado a ondulado.
Erosão:	não aparente.

Vegetação primária:	Floresta	Tropical	Subperenifólia/ Subcaducifólia.
Drenagem:	fortemente drenado.		
Uso atual:	cerradão transição floresta.		
Clima:	Cwb (Köppen).		
Descrito e coletado:	R. J. T. P. de Resende, H. Andrade.		

Descrição morfológica

A 0-72 cm; vermelho-escuro-acinzentado (10R 3/3, úmido e seco) e vermelho-escuro (10R 3/6, úmido e amassado); argiloso; forte, muito pequena granular; ligeiramente duro, friável, plástico a muito plástico e pegajoso a muito pegajoso; transição difusa e plana.

AB 72-100 cm; vermelho-escuro-acinzentado (10R 3/2, úmido), vermelho-escuro-acinzentado (10R 3/4, seco) e vermelho-escuro (10R 3/6, úmido e amassado); argiloso; moderada, muito pequena granular; macio a ligeiramente duro, friável; plástico a muito plástico e pegajoso a muito pegajoso; transição gradual e plana.

B_w 100-160+ cm; vermelho-escuro-acinzentado (10R 3/4, úmido), vermelho-escuro (10R 3/6, seco e úmido amassado); argiloso; fraca a moderada, muito pequena granular (maciço poroso); macio a ligeiramente duro, muito friável a friável; plástico, pegajoso a muito pegajoso.

RAÍZES : fasciculadas, finas e poucas no A e AB, raras e uma pivotante média no B_t.

Perfil nº7

Data:

01/03/2000

Classificação SBCS:

LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO

Distrófico psamítico, textura arenosa/média, A moderado.

Localização:

Distrito Guardinha, estrada não pavimentada sentido a rodovia MG-050, município de São Sebastião do Paraíso-MG; coordenadas UTM: 276.134 W, 7.684.816 S.

Situação:

corte de estrada, topo de morro, com cerca de 3% de declive, sob pastagem de Brachiaria.

Altitude:

885 m.

Litologia:

arenitos de granulação fina a média, bem selecionados, esbranquiçados a avermelhados, quartzosos, localmente com leitos de arenitos grosseiros; com estratificação cruzada, tangencial, de grande porte na base.

Formação geológica:

Grupo São Bento – Formação Botucatu.

Material originário:

sedimentos arenosos provenientes do intemperismo e retrabalhamento de arenito da formação Botucatu.

Pedregosidade:

não pedregosa.

Rochosidade:

não rochosa.

Relevo local:

plano.

Relevo regional:

suave ondulado.

Erosão:	não aparente.
Vegetação primária:	Floresta Tropical Subperenifólia Subcaducifólia.
Drenagem:	fortemente drenado.
Uso atual:	pastagem.
Clima:	Cwb (Köppen).
Descrito e coletado:	R. J. T. P. de Resende.

Descrição morfológica

A 0-62 cm; bruno-avermelhado-escuro (2,5YR 3/4, úmido), vermelho-amarelado (5YR 4/6, seco); bruno-avermelhado-escuro (2,5YR 3/4, úmido e amassado), areia franca; fraca, muito pequena a média granular; ligeiramente duro, friável, não plástico a ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição difusa e plana.

B_w 62-150+ cm; vermelho-escuro (2,5YR 3/6, úmido), vermelho-amarelado (5YR 4/6, seco) e vermelho-escuro (2,5YR 3/6, úmido e amassado); franco-arenoso; fraca muito pequena e pequena granular; macio a ligeiramente duro, muito friável; não plástico a plástico e ligeiramente pegajoso.

RAÍZES: Fasciculadas, finas e muitas no A e poucas B_w.

4.5.1.3 Caracterização física dos perfis

As principais características físicas dos sete perfis de solos descritos encontram-se na Tabela 13.

Para os perfis 1 e 7, ambos Latossolos Vermelho-Amarelos distróficos psamíticos, observa-se predomínio da fração areia nos horizontes A e B_w , caracterizando classe textural areia franca e franco arenoso, respectivamente.

A relação silte/argila para os dois perfis é baixa, estando dentro do limite estabelecido para Latossolos ($< 0,7$ para solos de textura média segundo EMBRAPA, 1999). Esta relação serve como base para se ter uma idéia do estágio de intemperismo dos solos de região tropical. Deve-se ressaltar contudo, que no caso destes perfis, esta relação deve ser utilizada com cautela, pois esta característica pode ter sido herdada do material de origem muito arenoso.

O perfil 2, classificado como Argissolo Vermelho-Amarelo, desenvolvido a partir do arenito do Grupo Itararé, apresenta predomínio da fração areia até o horizonte subsuperficial (B_{tf2}), no qual os teores de silte e argila aumentam. O gradiente textural B/A médio igual a 2,0 atende aos requisitos estabelecidos por EMBRAPA (1999) para a definição de horizonte diagnóstico B textural. Verifica-se também a ocorrência de estruturas em blocos com cerosidade moderada e comum.

No perfil 3, Nitossolo Vermelho Distrófico, observa-se ligeiro predomínio de areia nos horizontes A_{pl} e A_2 , decrescendo em direção ao B. Esta característica textural reflete o material de origem, transicional entre os domínios geológicos 4 (basaltos da Formação Serra Geral - KJsg) e 6 (arenitos do Grupo Itataré Indiviso- PCi). O gradiente textural de 1,18 é muito baixo, excluindo-o de ser caracterizado como um horizonte B textural.

TABELA 13 Características físicas dos perfis da microbacia do Ribeirão Fundo.

Classe de solo	Horiz. Prof. cm	Areia	Silte g/kg	Argila	Silte/ argila	Classificação SBCS ⁽¹⁾	textural EMBRAPA ⁽²⁾
PERFIL 1							
LVAd	A 0-80 B _w 80-140+	880 760	20 70	100 170	0,20 0,41	areia-fr fr-aren	arenoso médio
PERFIL 2							
PVAd	A ₁ 0-12 A ₂ 12-50 B _{fl} 50-75 B _{tp2} 75-100+	680 750 530 320	200 150 300 410	120 100 170 270	1,66 1,50 1,76 1,51	fr-aren fr-aren fr-aren fr	médio médio médio médio
PERFIL 3							
NVd	A _{p1} 0-22 A ₂ 22-35 B _t 35-110+	430 410 370	240 270 240	330 320 390	0,73 0,84 0,62	fr-arg fr-arg fr-arg	médio médio argiloso
PERFIL 4							
NVef	A 0-40 BA 40-80 B _t 80-140+	210 150 110	250 170 250	540 680 640	0,46 0,25 0,39	arg m-arg m-arg	argiloso m-arg m-arg
PERFIL 5							
LVd	A _{p1} 0-30 A ₂ 30-130 B _w 130-160+	690 710 680	110 100 90	200 190 230	0,55 0,53 0,39	fr-arg-aren fr-aren fr-arg-aren	médio médio médio
PERFIL 6							
LVwf	A 0-72 AB 72-100 B _w 100-160+	290 250 250	290 320 290	420 430 460	0,69 0,74 0,63	arg arg arg	argiloso argiloso argiloso
PERFIL 7							
LVAd	A 0-62 B _w 62-150+	850 830	40 40	110 130	0,36 0,31	areia-fr fr-aren	arenoso médio

Em que: m-arg = muito argiloso, arg = argiloso, fr = franco, silt = siltoso, aren = arenoso; ⁽¹⁾ = Classes texturais do material constitutivo de horizontes e perfis de solos, segundo Lemos e Santos (1996), adotado pela Sociedade Brasileira de Ciência do Solo – SBCS; ⁽²⁾ = Classificação textural simplificada segundo a EMBRAPA (1979).

O perfil 4, caracterizado como Nitossolo Vermelho Eutroférrico, desenvolvido a partir de basalto da Formação Serra Geral, apresenta classe textural muito argilosa e relação B/A média de 1,22, atendendo aos requisitos estabelecidos para a definição do horizonte B nítico.

O perfil 5, classificado como Latossolo Vermelho Ácrico, desenvolveu-se em zona de transição entre os domínios geológicos Formação Serra Geral (basalto) e Grupo Itararé Indiviso (arenitos). Sendo assim, apresentou na análise granulométrica, o predomínio da fração areia nos três horizontes avaliados, caracterizando classe textural média. Tal como observado nos perfis 1 e 7 a relação silte/argila é baixa, caracterizando alto grau de intemperização, com minerais mais resistentes ao intemperismo, persistindo na fração areia.

O perfil 6, Latossolo Vermelho Acriférreco, apresenta predomínio da fração argila, caracterizando classe textural argilosa para todos os horizontes avaliados. Este predomínio de argila é característica herdada do material de origem basáltica (Formação Serra Geral). A relação silte/argila no horizonte diagnóstico é de 0,63, refletindo o alto grau de intemperização deste solo.

4.5.1.4 Caracterização química do complexo sortivo

As principais características químicas dos sete perfis representativos amostrados na microbacia do Ribeirão Fundo encontram-se na Tabela 14.

Os valores de ΔpH para todos os horizontes dos perfis 1 e 7, ambos Latossolos Vermelho-Amarelos distróficos psamíticos, são negativos, indicando a existência de argilo minerais silicatados. Ambos possuem baixa capacidade de troca de cátions (T) e baixa saturação por bases. O perfil 7, contudo, possui saturação de alumínio elevada (caráter álico) ao longo de todo o perfil. Estas

TABELA 14 Características químicas dos perfis da microbacia do Ribeirão Fundo.

Horiz. Prof. cm		pH		Bases trocáveis						K mg/dm ³	P cmol _e /dm ³	S cmol _e /dm ³	t	T	m %	V	C g/kg	MO	
		H ₂ O	KCl	Ca cmol/dm ³	Mg cmol/dm ³	Al cmol/dm ³	Al+H cmol/dm ³	K mg/dm ³	P cmol _e /dm ³										
PERFIL 1 – LVAd																			
A	0-80	5,3	4,4	-0,9	0,5	0,2	0,2	1,9	16	2	0,7	0,9	2,6	21,3	28,1	0,52	0,9		
B _w	80-140+	4,6	4,4	-0,2	0,4	0,2	0,2	1,7	6	1	0,6	0,8	2,3	24,5	26,6	0,29	0,5		
PERFIL 2 – PVAd																			
A ₁	0-12	5,4	4,5	-0,9	1,8	0,8	0,1	2,6	41	12	2,7	2,8	5,3	3,6	51,0	1,45	2,5		
A ₂	12-50	5,5	4,1	-1,4	0,5	0,2	0,4	2,3	17	4	0,7	1,1	3,0	35,0	24,4	0,75	1,3		
B _{tf1}	50-75	5,2	4,1	-1,1	0,7	0,2	0,6	2,6	16	1	0,9	1,5	3,5	38,9	26,6	0,75	1,3		
B _{tf2}	75-100+	5,6	4,3	-1,3	0,6	0,2	0,4	1,9	16	1	0,8	1,2	2,7	32,2	30,7	0,46	0,8		
PERFIL 3 – NVd																			
A _{p1}	0-22	5,6	4,2	-1,4	6,7	23,7	0,4	4,0	353	29	11,2	11,2	15,2	3,4	73,7	1,22	2,1		
A ₂	22-35	5,8	4,4	-1,4	3,5	2,6	0,1	4,0	184	4	6,6	6,7	10,6	1,5	62,2	2,20	3,8		
B _t	35-110+	5,4	4,1	-1,3	0,9	0,7	1,0	5,0	98	1	1,9	2,9	6,9	35,1	27,0	0,81	1,4		
PERFIL 4 – NVef																			
A	0-40	5,8	4,8	-1,0	7,7	2,2	0,7	4,0	101	1	10,2	10,9	14,2	6,4	71,7	1,4	2,5		
BA	40-80	6,2	5,4	-0,8	7,1	2,9	0,1	2,1	89	1	10,2	10,3	12,3	1,0	83,0	0,64	1,1		
B _t	80-140+	6,2	5,5	-0,7	7,8	2,5	0	2,1	131	1	10,6	10,6	12,7	0	83,5	0,23	0,4		
PERFIL 5 - LVd																			
A _{p1}	0-30	6,0	4,9	-1,1	1,0	0,7	0	2,9	126	1	2,0	2,0	4,9	0	41,1	0,93	1,6		
A ₂	30-130	5,6	4,5	-1,1	0,4	0,2	0	2,9	6,0	1	0,6	0,6	3,5	0	17,5	0,70	1,2		
B _w	130-160+	5,1	5,1	0,0	0,4	0,1	0	2,1	3,0	1	0,5	0,5	2,6	0	19,5	0,46	0,8		
PERFIL 6 - LVwf																			
A	0-72	4,8	4,4	-0,4	0,3	0,1	0,2	4,5	19	1	0,4	0,6	4,9	30,8	9,1	1,68	2,9		
AB	72-100	4,4	5,0	+0,6	0,4	0,1	0,1	2,9	16	1	0,5	0,6	3,4	15,6	15,7	1,22	2,1		
B _w	100-160+	5,1	5,7	+0,6	0,3	0,1	0	2,1	8	1	0,4	0,4	2,5	0,0	16,7	0,93	1,6		
PERFIL 7 - LVAd																			
A	0-62	5,2	4,2	-1,0	0,2	0,1	0,7	3,2	9,0	1	0,3	1,0	3,5	68,4	9,2	0,64	1,1		
B _w	62-150+	5,3	4,3	-1,0	0,4	0,2	1,5	2,3	3,0	1	0,6	2,1	2,9	71,2	20,9	0,23	0,4		

Em que S = soma de bases trocáveis, t = CTC efetiva, T = CTC a pH a 7, m = saturação de Al da CTC efetiva, V = saturação de bases da CTC a pH 7. C= carbono orgânico e MO = matéria orgânica.

características, associadas à composição arenítica, resultam em maiores custos na adubação mineral de plantio, formação e produção da lavoura cafeeira.

O perfil 2, Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico, apresenta baixa saturação por bases, CTC efetiva e CTC a pH 7,0, à exceção do horizonte A₁, cujos dados refletem ação antrópica. É um solo com características químicas naturais ruins para produção agrícola, em particular para cultura cafeeira. Contudo, se comparado aos perfis 1 e 7, apresenta um maior teor de matéria orgânica e argila, possibilitando a correção e manutenção das bases para um cultivo racional.

O solo representado pelo perfil 3, Nitossolo Vermelho Distrófico, possui características químicas naturais melhores (valores maiores de Ca, Mg, S, t e T) que o perfil 2, por estar em uma área de transição com material de origem mais rico em minerais portadores de ferro, magnésio e cálcio (basalto). O material amostrado do horizonte A, evidencia a interferência do homem, modificando consideravelmente as características químicas.

O solo estudado no perfil 4, Nitossolo Vermelho Eutroférico, também originado de rocha cuja composição mineral é rica em Fe, Mg, e Ca (basalto), apresenta valores altos de soma de bases trocáveis e baixos de acidez trocáveis. Consequentemente, os valores de saturação de bases, CTC efetiva e CTC a pH 7 são altos e a saturação por alumínio é baixa em todo o perfil. Caracteriza-se, então, como solo hipereutrófico, com excelente fertilidade natural, bom para o cultivo de café não mecanizado em função da sua ocorrência em declives superiores a 20%.

O perfil 5, Latossolo Vermelho Ácrico textura média apresenta como material de origem, uma rocha básica (basalto da Formação Serra Geral) em transição com arenito do Grupo Itararé Indiviso. Como consequência apresenta baixa saturação por bases, CTC efetiva e CTC a pH 7. Não apresenta, contudo,

alumínio trocável nos limites detectáveis pelo método analítico utilizado. No horizonte diagnóstico apresenta caráter ácrico, pois possui ΔpH zero e CTC efetiva menor que 1,5 cmol./dm³, mostrando equilíbrio de cargas positivas e negativas e um elevado grau de intemperização.

O solo estudado no perfil 6, Latossolo Vermelho Acriférreco textura argilosa, apresenta como material de origem uma rocha básica (basalto da Formação Serra Geral). O material de origem frente ao processo pedogenético atuante, poderá nos indicar através dos valores de ΔpH positivo nos horizontes subsuperficiais, cujas magnitudes dos valores, caracterizam solos ácricos e com alto grau de intemperização. A soma de bases e a saturação por bases são baixas, assim como a CTC efetiva e a CTC a pH 7. Esse solo possui características adequadas à correção da acidez e de bases, aliadas a um declive plano e suave-ondulado, que potencializam-no como um dos mais adequados à produção comercial de café sob manejo desenvolvido, baseado em práticas agrícolas que refletem um alto nível tecnológico.

Os dados apresentados mostram, de maneira geral, boa correlação dos solos mapeados com os diferentes materiais do origem, geoquimicamente distintos, levantados pelo DNPM/CPRM (1978).

4.5.1.5 Comportamento de óxidos ao ataque sulfúrico

Nos levantamentos de solos, no Brasil, a digestão da amostra por H₂SO₄ (Vettori, 1969 e EMBRAPA, 1997) tem sido utilizada na fração terra fina para estimar a composição da fração argila, determinando-se Si, Al, Ti e P expressos na forma de óxidos. Este processo não pode ser considerado como total, pois, teoricamente, ataca somente a fração argila; contudo, pode deixar de dissolver todos os integrantes da fração argila e dissolver partículas de outras frações,

devendo considerar, não somente as quantidades ponderais de óxidos, mas a suas relações moleculares (Verdade, 1972, citado por Lacerda, 1999).

Os teores de óxidos constituintes obtidos pela extração ao ataque sulfúrico dos horizontes diagnósticos, representados pelos perfis estudados na microbacia do Ribeirão Fundo, encontram-se na Tabela 15.

Os solos com horizonte diagnóstico B_w , representados pelos perfis 1, 5, 6 e 7, possuem valores de K_i e K_r baixos, confirmando o seu maior grau de intemperismo. Contudo, em função das limitações do método utilizado, para os perfis 1 e 7, estes valores devem ser analisados com cautela, tendo em vista suas características texturais, ambos Latossolos Vermelho-Amarelos distróficos psamíticos, com teores de argila muito baixos.

Os perfis 1 e 7, mostram valores de Fe_2O_3 iguais a 2,01% e 4,32% no horizonte B_w . A baixa concentração de ferro no material de origem, presente somente como agente cimentante da rocha arenítica, é responsável pela baixa concentração de sesquióxidos secundários de ferro no solo, refletindo na coloração bruno-amarelado (10YR 5/8) para o perfil 1 e coloração vermelha (2,5 YR 3/6), para o perfil 7, sendo este parâmetro responsável pela classificação destes solos, segundo EMBRAPA (1999).

TABELA 15 Teores de óxidos dos horizontes B, extraídos pelo ataque sulfúrico.

Hor.(B) Perfil	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	P ₂ O ₅	Ki	Kr	Al ₂ O ₃ / Fe ₂ O ₃
	%							
Ribeirão Fundo								
1 - B _w	3,88	8,97	2,01	0,522	0,008	0,74	0,64	7,01
2 - B _t	8,48	10,11	2,88	0,668	0,016	1,30	1,11	5,99
3 - B _t	10,81	15,94	6,56	1,434	0,039	1,15	0,91	3,81
4 - B _t	29,53	24,68	18,92	4,092	0,119	2,03	1,36	2,05
5 - B _w	3,70	14,26	9,25	3,005	0,047	0,44	0,31	2,42
6 - B _w	6,57	27,13	29,34	9,472	0,132	0,41	0,24	1,45
7 - B _w	3,48	8,46	4,32	1,201	0,022	0,70	0,53	3,07

O perfil 2, Argissolo Vermelho-Amarelo, apresenta baixo teor de Fe₂O₃ e TiO₂, proporcionando coloração bruno amarelado (10YR 5/6) no horizonte B_t, responsável pela classificação do solo, segundo EMBRAPA (1999). Esta coloração é função da baixa concentração de minerais primários portadores de ferro, reflexo da composição mineralógica do material de origem. Pela coloração este solo poderia ter sido classificado como Argissolo Amarelo. Os Argissolos Amarelos (Podzólico Amarelo) apresentam coloração com matiz 10 ou 7,5 YR (Oliveira, Jacomine e Camargo, 1992, citados por Lacerda, 1999). No entanto, segundo Resende et al. (1997), estes solos estão restritos a associações com Latossolos Amarelos originados do Grupo Barreiras e rochas sedimentares afins, pobres em ferro, que ocorrem nos Platos Litorâneos e na Amazônia.

O perfil 3, Nitossolo Vermelho distrófico, desenvolvido a partir do domínio geológico 4 (arenito do Grupo Itararé), em transição com o domínio geológico 6 (basalto da Formação Serra Geral), apresenta 6,56% de teor de Fe₂O₃ e 1,43% de TiO₂ no horizonte B_t. Comparado ao perfil 2, que desenvolveu-se sobre o mesmo domínio geológico, o perfil 3 mostra maiores

valores de Fe_2O_3 e TiO_2 em função da transição geológica com material basáltico, enriquecido em minerais primários portadores de Fe, Mg e Ca. O processo de alteração ocasiona uma maior concentração de sesquióxidos secundários de ferro no solo, principalmente de hematita, originando coloração vermelha (2,5 YR 4/8).

O perfil 4, Nitossolo Vermelho Eutroférico, possui valor de Ki igual a 2,03 e Kr 1,36. Estes valores são mais altos que os apresentados pelos horizontes diagnósticos dos demais perfis, evidenciando seu menor grau de evolução pedogenética. Derivado de rocha basáltica, apresenta elevado teor de Fe_2O_3 no horizonte B_t , ou seja, 18,92%. A concentração de sesquióxidos secundários de ferro reflete em coloração vermelho escura (10R 4/6), responsável pela classificação do solo (horizonte B textural com matiz 2,5 YR ou mais vermelho e teores de Fe_2O_3 de 15% a < 36%), segundo EMBRAPA (1999).

O perfil 5, Latossolo Vermelho, textura média evidencia a boa correlação do material de origem com os teores de Fe_2O_3 e TiO_2 no solo, ou seja, transição de domínio geológico arenítico com basáltico. O teor de ferro é moderado (9,25%) e o teor de titânio é elevado (3,0%), refletindo a influência da rocha basáltica, enriquecida nestes elementos. Apresenta baixos valores de Ki e Kr, evidenciando o processo acentuado de lixiviação de bases deste solo.

O perfil 6, Latossolo Vermelho, textura argilosa, possui os menores valores de Ki e Kr entre os solos estudados da microbacia do Ribeirão Fundo, evidenciando seu maior grau de intemperização. Por ser formado exclusivamente sobre material de origem basáltica, possui três vezes mais teores de Fe_2O_3 e TiO_2 que o perfil 5. Com o processo de lixiviação de bases e dessilicatização mais intensos, relacionados às melhores condições de drenagem e confirmados pelo baixo Ki (0,24), o perfil 6 apresenta maior concentração de sesquióxidos secundários de ferro (principalmente hematita e goethita, com predomínio do primeiro), originando coloração vermelha escura (10R 3/4).

Os teores de óxido de ferro foram determinantes para a classificação adequada dos solos em questão, principalmente na Microbacia do Ribeirão Fundo, onde o diagnóstico de campo com o imã não foi suficiente. Para os perfis analisados, observou-se boa correlação do material de origem com os teores de óxidos constituintes pela extração ao ataque sulfúrico, especialmente com relação aos teores de Fe₂O₃ e TiO₂.

4.5.1.6 Uso atual

A Tabela 16 apresenta uma tabulação cruzada entre o uso atual das terras e as classes de solos mapeadas. As áreas pertencentes a classe 1 (LVA) encontram-se, na maioria, sob pastagem, ocupando 2.247 ha e, em seguida, aparecem as classes de cultura e café com aproximadamente 38% de utilização agrícola dos LVAs da microbacia. A classe 2 (LV) possui 43,51% (2.782 ha) das suas áreas com pastagem, 26% (1.663 ha) sob domínio da cafeicultura e 19,2% (1.228 ha) com culturas diversas. Da área total cultivada com café na microbacia, 40,6% encontra-se na classe 2 (LV). Considera-se, entretanto que a intensidade desta ocupação poderia ser incrementada, diante do potencial agrícola e baixo risco de erosão dessa classe de solo, adotando-se técnicas adequadas de manejo da fertilidade, aproveitando suas áreas contínuas mecanizáveis. Justifica-se assim, uma maior expansão de áreas destinadas para a produção de culturas anuais e perenes como o café.

TABELA 16 Tabulação cruzada entre os mapas de classes de solos e classes de uso atual da microbacia do Ribeirão Fundo.

CLASSES (ha)	LVA	LV	PVA/ CX	NV/PV /CX	RU/ GX	RL e Afloramentos Rochosos	Total (ha)
Mata	473	674	304	957	89	79	2.576
Café	908	1.663	478	948	0	99	4.096
Pastagem	2.247	2.782	1.021	2.499	144	81	8.774
Cultura	919	1.228	264	749	67	18	3.245
Silvicultura	19	36	15	18	0	1	89
Per. urbano	227	3	66	3	0	0	299
Água	0	7	0	7	10	0	24
Total (ha)	4.793	6.393	2.148	5.181	310	278	—

O uso atual sob o domínio da classe 4 (PVA/CX) compreende, em sua maioria, áreas ocupadas por pastagens, abrangendo cerca de 1.021 ha (47,5%). Em seguida, a ocupação deste solo com café representa 22,2% (478 ha), mata 14,2% (304 ha) e 12,2% (264 ha) estão destinados à culturas, atendendo, de maneira geral, a um boa utilização deste solo. Ajuda também a conservação dos recursos hídricos a jusante da microbacia.

A cultura cafeeira com relação à classe 4 (NV/PVCX) ocupa uma área significativa de 948 ha, sendo até mesmo maior que a área ocupada por essa cultura na classe 1 (LVA), representando 23,14% do café cultivado na microbacia. Encontra-se, também formada por pastagem (48,23%), área essa que poderia estar melhor utilizada com culturas perenes de maior valor econômico

(café), além de porções de áreas que deveriam ser destinadas a preservação da fauna e flora nos ambientes mais declivosos.

Os solos das classes 5 e 6 (RU, GX, RL e Afloramentos Rochosos) encontram-se ocupados principalmente por pastagens, enquanto deveriam estar em sua totalidade ocupados por mata, respeitando as normas de uso agrícola e conservação ambiental.

4.5.2 Microbacia do Ribeirão Maranhão

4.5.2.1 Mapeamento e quantificação dos solos

O mapa de solos apresentado na Figura 14, foi obtido mediante o cruzamento entre o mapa de classes de declive e o mapa de domínios geológicos para a microbacia do Ribeirão Maranhão, conforme o modelo proposto na Tabela 17. Foram definidas e mapeadas as principais classes de solos no segundo nível categórico do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 1999).

Os resultados quantitativos das classes de solos da microbacia do Ribeirão Maranhão estão apresentadas a seguir na Tabela 18.

A classe 1, referente à associação Latossolo Vermelho-Amarelo e Latossolo Vermelho, é a classe de maior abrangência nesta microbacia, ocupando 5.147 ha, que representam 49,16% da área total. Lima (1987), estudando a relação entre erosão, teor de ferro, parâmetros físicos e mineralógicos de outros latossolos (LVA e LV) da região de Lavras, semelhantes aos encontrados na microbacia do Ribeirão Maranhão, concluiu que o Latossolo Vermelho é o mais resistente a erosão, destacando-se como de maior potencial ao cultivo de culturas anuais e perenes como o café.

TABELA 17 Modelo proposto da correlação de classes de declive, domínio geológico e classes de solo para a microbacia do Ribeirão Maranhão.

Classes de declive	Domínios geológicos	Classe de solo
0-12%	-	(*) Gleissolos Háplicos (GX), Neossolos Flúvicos (RU)
	Qi	Latossolo Vermelho (LV)
	Mo, gnb, gnc, gr	Latossolo Vermelho (LV), Latossolo-Vermelho Amarelo (LVA)
20-45%	q, bsjr, Mo, gnb, gnc, gr	Argissolos (PVA, PV), Cambissolos Háplicos (CX)
>45%	q, bsjr, Mo, gnb, gnc, gr	Neossolos Litólicos (RL)

(*) Classes de solos obtidas com base em fotografias aéreas.

Na classe 2 foram mapeados apenas os latossolos vermelhos alóctones, originados do domínio geológico 1 (Qi - coberturas indiferenciadas envolvendo latossolos alóctones com paleopavimentos reconhecidos). Juntamente com a classe 1, ocupam 6.388 ha, ou seja, cerca de 60% da área total da microbacia. Por estarem localizados sobre declives suaves a suave-ondulados, aptos à mecanização, estes solos oferecem as melhores condições para a produção agrícola da microbacia, inclusive o cultivo do café.

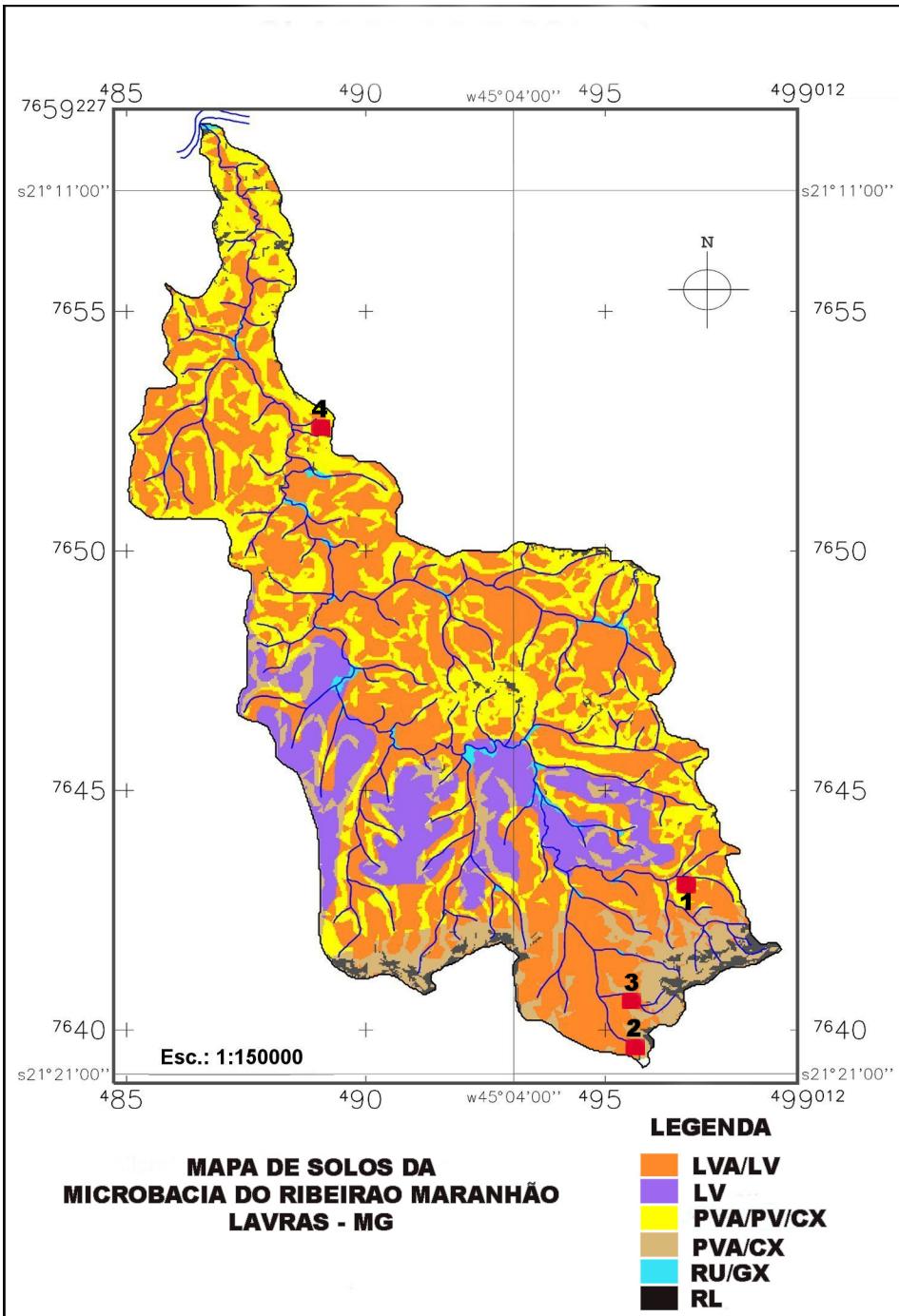


FIGURA 14 - Mapa de classes de solos da microbacia do Ribeirão Maranhão.

TABELA 18 Quantificação das classes de solos da microbacia do Ribeirão Maranhão.

Classes de solos	Ribeirão Maranhão		
	km²	ha	%
Classe 1: LVA/LV	51,47	5.147	49,16
Classe 2: LV	12,41	1.241	11,85
Classe 3: PVA/PV/CX	28,55	2.855	27,27
Classe 4: PVA/CX	8,76	876	8,37
Classe 5: RU/GX	1,15	115	1,10
Classe 6: RL	2,36	236	2,25
Total	104,70	10.470	100

A classe 3 corresponde às classes de solos Argissolos Vermelhos Amarelos, Argissolos Vermelhos e Cambissolos Háplicos em menor escala, ocupando uma área total de 2.855 ha ou 27,27% da microbacia. A grande maioria destes solos está localizada sobre rochas granito-gnaissse leuco a mesocráticas da Associação β_1 /Complexo Lavras (domínios geológicos 4, 5, 6 e 7 da Tabela 8), em declividades superiores a 12%, o que potencializa o risco de

erosão se cultivado sem práticas adequadas de conservação. A aptidão agrícola para o cultivo do café é moderada, pois apresenta algum impedimento ao sistema radicular, seja por presença de pedregosidade ('linha de pedra') ou argila iluvial no horizonte B_t.

A classe 4 (PVA/CX) corresponde a uma pequena parcela da área total da microbacia, ocupando aproximadamente 876 ha ou 8,37%. Esta classe refere-se aos Argissolos Vermelho-Amarelos e Cambissolos Háplicos (PVA/CX), ocorrendo predominantemente sobre mica-xistos (domínio geológico 3 - bsjr do Grupo São João Del Rei). Quando ocorrem em áreas adjacentes aos latossolos alóctones da classe 2, ocupando as partes com declividade superior aos 12%, mostra as propriedades herdadas do material de origem autóctone da região ou seja, gnaisses leuco a mesocráticos (domínio geológico 6 – gnc da Associação β₁/Complexo Lavras), tornando-se semelhantes aos argissolos da unidade de mapeamento 2.

A classe 5, referente a Neossolos Flúvicos - RU (Solos Aluviais) e Gleissolos Háplicos – GX e a classe 6, referente a Neossolos Litólicos – RL e Afloramentos Rochosos, ocupam, juntas, aproximadamente 351ha ou 3,35% da área total da microbacia. Apesar da baixa expressividade em relação aos demais solos e indiferentemente da sua aptidão agrícola restrita, sua localização é estratégica sob o ponto de vista da conservação ambiental.

4.5.2.2 Caracterização morfológica dos perfis representativos

As principais classes de solos da microbacia do Ribeirão Maranhão foram estabelecidas e descritas segundo os critérios de Lemos e Santos (1996) e EMBRAPA (1999). Os fatores considerados na escolha dos perfis representativos foram a distribuição espacial, com base na modelagem geopedológica e a utilização agrícola das classes de solo na microbacia. As

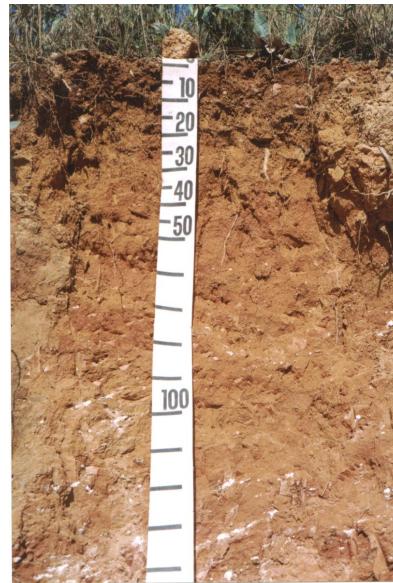
classes de solos caracterizadas estão apresentadas na Tabela 19 e a localização dos perfis (Figura 15) representativos está indicada na Figura 14. A seguir é apresentada a caracterização morfológica de cada um dos perfis representativos selecionados.

TABELA 19 Principais classes de solos amostrados na microbacia do Ribeirão Maranhão.

Número dos perfis	Domínio Geológico	Classes de Solos
1	gnc- β_1	Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico textura argilosa
2	bsjr-SJDR	Cambissolo Háplico Distrófico típico textura argilosa
3	Qi	Latossolo Vermelho Ácrico típico textura muito argilosa
4	Mo- β_1 /gnb- β_1	Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico textura argilosa



PERFIL 1 – PVAd



PERFIL 2 – CXbd



PERFIL 3 – LVw



PERFIL 4 - PVAd

FIGURA 15 – Fotos dos perfis analisados da microbacia do Ribeirão Maranhão.
Perfil n°01

Data:	17/02/2000
Classificação SBCS:	ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico típico, Tb, textura argilosa, A moderado.
Localização:	estrada não pavimentada sentido Farias - município de Lavras-MG; coordenadas UTM: 497.360 W, 7.643.185 S.
Situação:	corte de estrada, terço inferior de encosta, com cerca de 13% de declive e sob pastagem de capim Brachiaria.
Altitude:	975 m.
Litologia:	rochas gnáissicas (leuco a mesocráticas) cataclasticamente deformadas.
Formação geológica:	Complexo Lavras.
Material originário:	produto do intemperismo das rochas supracitadas.
Pedregosidade:	não Pedregosa (associação com afloramento rochoso).
Rochosidade:	ligeiramente rochosa.
Relevo local:	suave ondulado a ondulado.
Relevo regional:	ondulado a forte ondulado.
Erosão:	laminar ligeira.
Vegetação primária:	Floresta Tropical Subperenifólia/ Subcaducifólia.
Drenagem:	moderadamente drenado a bem drenado.
Uso atual:	pastagem.
Clima:	Cwb (Köppen).
Descrito e coletado:	R. J. T. P. de Resende, H. Andrade.

Descrição morfológica

Ap 0-20 cm; bruno a bruno escuro (10YR 4/3, úmido), bruno amarelado (10YR 5/4, seco) e bruno-amarelado-escuro (10YR 4/4, úmido e amassado); franco-argilo-arenoso a franco-argiloso; moderada muito pequena a média granular; ligeiramente duro a macio, friável, plástico e pegajoso; transição abrupta e plana.

A 20-47; bruno-amarelado-escuro (10YR 4/4, úmido), bruno-amarelado-claro (10YR 6/4, seco) e bruno a bruno-escuro (10YR 4/3, úmido e amassado); argilo-arenoso; forte grande que se desfaz em médias pequenas e muito pequena granular; ligeiramente duro, friável, plástico e pegajoso; transição clara e plana.

AB 47-60 cm; bruno-amarelado (10YR 5/6, úmido), amarelo-brunado (10YR 6/6, seco) e bruno-amarelado (10YR 5/4, úmido amassado); franco-argiloso a argilo-arenoso; forte muito pequena a média blocos angulares a subangulares; apresenta cerosidade comum e moderada; ligeiramente duro, friável, plástico e pegajoso; transição clara e plana.

BA 60-80 cm; bruno-amarelado (10YR 5/8, úmido), amarelo-brunado (10YR 6/8, seco) e bruno-amarelado (10 YR 5/6, úmido e amassado); franco argiloso a argiloso; forte a moderado muito pequena a média blocos angulares a subangulares; cerosidade comum a abundante; ligeiramente dura, friável, plástico e pegajoso; transição clara e plana.

Bt 80-200+ cm; bruno-forte (7,5YR 5/8, úmido), amarelo-avermelhado (7,5YR 6/8, seco) e amarelo-avermelhado (7,5YR 6/6, úmido e amassado); argiloso; moderado a forte, muito pequena a média blocos angulares a subangulares; cerosidade moderada a fraca e comum; ligeiramente dura, friável, pegajoso a muito pegajoso e plástico.

RAÍZES: fasciculadas, finas e comuns no Ap, A, AB e BA e raras no Bt.

Perfil nº02

Data:	15/03/2000
Classificação SBCS:	CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico típico, textura argilosa, A moderado.
Localização:	estrada não pavimentada sentido Farias, município de Lavras-MG; coordenadas UTM: 495.816 W, 7.639.265 S.
Situação:	corte de estrada, terço superior de encosta, com cerca de 30% de declive e sob pastagem suja.
Altitude:	1020 m.
Litologia:	predominância de mica-xisto.
Formação geológica:	Complexo São João Del Rei.
Material originário:	produto de alteração do mica-xisto.
Pedregosidade:	não pedregosa.
Rochosidade:	não rochosa.
Relevo local:	forte ondulado.
Relevo regional:	forte ondulado.
Erosão:	laminar ligeira.

Vegetação primária:	Floresta	Tropical	Subperenifólia/ Subcaducifólia.
Drenagem:			moderadamente drenado.
Uso atual:			pastagem.
Clima:			Cwb (Köppen).
Descrito e coletado:			R. J. T. P. de Resende.

Descrição morfológica

A 0-13 cm; vermelho amarelado (5YR 5/8, úmido), amarelo avermelhado (7,5YR 7/6, seco) e amarelo avermelhado (7,5YR 5/6, úmido e amassado); mosqueado amarelo-brunado (10YR 6/8, úmido); franco-argilo-siltoso; moderada muito pequena e pequena blocos subangulares; duro a muito duro, friável, muito plástico e muito pegajoso; transição clara e plana.

B_i 13-60 cm; amarelo-avermelhado (7,5YR 6/8, úmido), amarelo-avermelhado (7,5YR 7/8, seco) e bruno forte (7,5YR 5/8, úmido e amassado); mosqueado amarelo brunado (10YR 6/8); franco-argilo-siltoso; moderado médio pequeno e muito pequeno blocos subangulares; duro, friável, plástico a muito plástico e pegajoso a muito pegajoso; transição clara e plana.

RAÍZES: fasciculadas, finas e muitas e médias raras no A, poucas e finas no B_i.

Perfil nº03

Data:	15/03/2000
Classificação SBCS:	LATOSSOLO VERMELHO Ácrico típico, textura muito argilosa, A moderado.

Localização:	estrada não pavimentada sentido Farias-município de Lavras-MG; coordenadas UTM: 495.733 W, 7.639.605 S.
Situação:	corte de estrada, terço superior de encosta, com cerca de 8% de declive, sob pastagem.
Altitude:	1000 m.
Litologia:	coberturas indiferenciadas, envolvendo latossolos alóctones com paleopavimentos reconhecidos.
Formação geológica:	Cenozóico / Quaternário.
Material originário:	coberturas indiferenciadas.
Pedregosidade:	não pedregosa.
Rochosidade:	não rochosa.
Relevo local:	plano a suave ondulado.
Relevo regional:	suave ondulado.
Erosão:	não aparente.
Vegetação primária:	Floresta Tropical Subperenifólia/ Subcaducifólia.
Drenagem:	fortemente drenado.
Uso atual:	pastagem.
Clima:	Cwb (Köppen).
Descrito e coletado:	R. J. T. P. de Resende.

Descrição morfológica

A 0-47 cm; vermelho-escuro-acinzentado (10R 3/4, úmido), vermelho (10R 4/6, seco) e vermelho-escuro (10R 3/6, úmido e amassado); argiloso; forte, muito pequena e pequena granular; ligeiramente duro a duro,

friável a firme, plástico a muito plástico e muito pegajoso; transição difusa e plana.

BA 47-72 cm; vermelho-escuro-acinzentado (10R 3/4, úmido), vermelho (2,5YR 4/8, seco) e vermelho-escuro (10R 3/6, úmido e amassado); argiloso a muito argiloso; forte, muito pequena e pequena granular; ligeiramente duro a duro, friável; plástico a muito plástico e muito pegajoso; transição gradual e plana.

B_w 72-160+ cm; vermelho-escuro (10R 3/6, úmido), vermelho (2,5YR 4/8, seco), vermelho-escuro (10R 3/6, úmido amassado); muito argiloso; forte, muito pequena e pequena granular (maciço poroso); duro a muito duro, muito friável a friável; muito plástico e muito pegajoso.

RAÍZES : fasciculadas, finas e muitas no A, poucas no AB, raras no B_w.

Perfil nº04

Data: 15/03/2000

Classificação SBCS: ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO
Distrófico típico, Tb, textura argilosa, A moderado.

Localização: estrada não pavimentada, junto à BR-265, 300m após a Fazenda Ipé, próximo ao divisor de águas entre o Ribeirão da Água Limpa e Ribeirão Maranhão, município de Lavras-MG; coordenadas UTM: 489.032 W, 7.652.956 S.

Situação:	corte de estrada, terço superior de encosta, com cerca de 22% de declive e sob pastagem de capim <i>Brachiaria</i> .
Altitude:	915 m.
Litologia:	transição de Biotita-Leptitos e granulitos leucocráticos com farta intercalação de massas anfibolíticas e migmatitos porfiroblásticos com elementos granodioríticos de estruturação quase graníticas.
Formação geológica:	Complexo Lavras.
Material originário:	produto do intemperismo das rochas supracitadas.
Pedregosidade:	não pedregosa.
Rochosidade:	não rochosa.
Relevo local:	suave ondulado a ondulado.
Relevo regional:	ondulado a forte ondulado.
Erosão:	laminar ligeira.
Vegetação primária:	Floresta Tropical Subperenifólia/ Subcaducifólia.
Drenagem:	bem drenado a moderadamente drenado.
Uso atual:	pastagem.
Clima:	Cwb (Köppen).
Descrito e coletado:	R. J. T. P. de Resende.

Descrição morfológica

A 0-30 cm; vermelho-amarelado (5YR 4/6, úmido), amarelo-avermelhado (5YR 6/6, seco) e vermelho-amarelado (5YR 5/6, úmido e

amassado); argiloso; moderado a forte, muito pequena pequena e média blocos subangulares; duro a muito duro, friável a firme, plástico a muito plástico e muito pegajoso; transição clara e plana.

AB 30-52 cm; vermelho-amarelado (5YR 5/8, úmido), amarelo-avermelhado (5YR 6/8, seco) e vermelho-amarelado (5YR 5/6, úmido e amassado); argiloso; moderado muito pequena pequena e média blocos subangulares; duro a muito duro, friável a firme, plástico a muito plástico e muito pegajoso; transição clara e plana.

B_t 52-153+ cm; vermelho-amarelado (5YR 5/6, úmido) amarelo-avermelhado (5YR 6/8, seco) e vermelho-amarelado (5YR 5/8, úmido amassado); argiloso; moderado muito pequena pequena e média blocos subangulares; apresenta cerosidade comum e fraca; duro, friável, plástico a muito plástico e muito pegajoso.

RAÍZES : fasciculadas, finas e muitas no A, poucas no AB, raras B_t.

4.5.2.3 Caracterização física dos perfis

As principais características físicas dos quatro perfis de solos descritos na microbacia do Ribeirão Maranhão, encontram-se na Tabela 20.

Nos horizontes A e AB do perfil 1, um Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico desenvolvido sobre rochas gnáissicas leuco a mesocráticas (Complexo Lavras - gnc-β₁), predomina a fração areia, estabelecendo classe de textura franco-argilo-arenosa a argilo-arenosa. A partir do horizonte BA em direção ao B, as quantidades de areia e argila são quase iguais, originando textura argilosa. A relação silte/argila é baixa, refletindo de acordo com os

TABELA 20 Características físicas dos perfis da microbacia do Ribeirão Maranhão.

Classe de solo	Horiz.	Prof. cm	Areia g/kg	Silte	Argila	Silte/ Argila	Classificação textural SBCS ⁽¹⁾	EMBRAPA ⁽²⁾
PERFIL 1								
PVAd	A _p	0-20	440	230	330	0,70	fr-arg-aren	médio
	A	20-47	460	170	370	0,46	arg-aren	argiloso
	AB	47-60	450	190	360	0,53	arg-aren	argiloso
	BA	60-80	420	180	400	0,45	fr-arg a arg	argiloso
	B _t	80-200+	420	170	410	0,42	arg	argiloso
PERFIL 2								
CXbd	A	0-13	210	450	340	1,32	fr-arg-silt	argiloso
	B _i	13-60+	160	480	360	1,33	fr-arg-silt	argiloso
PERFIL 3								
LVw	A	0-47	150	320	530	0,60	arg	argiloso
	BA	47-72	160	240	600	0,40	arg a m-arg	m-arg
	B _w	72-160+	160	180	660	0,27	m-arg	m-arg
PERFIL 4								
PVAd	A	0-30	210	320	470	0,68	arg	argiloso
	AB	30-52	180	300	520	0,58	arg	argiloso
	B _t	52-153+	170	330	500	0,66	arg	argiloso

Em que: m-arg = muito argiloso, arg = argiloso, fr = franco, silt = siloso, aren = arenoso;

⁽¹⁾ = Classes texturais do material constitutivo de horizontes e perfis de solos, segundo Lemos e Santos (1996), adotado pela Sociedade Brasileira de Ciência do Solo – SBCS;⁽²⁾

= Classificação textural simplificada, segundo a EMBRAPA (1979).

limites propostos pela EMBRAPA (1999) um solo intemperizado, e o gradiente textural B/A também é baixo, 1,24. No entanto, o horizonte diagnóstico foi caracterizado como B textural, por apresentar cerosidade comum e moderada a fraca e estrutura em blocos moderada a forte (EMBRAPA, 1999).

O perfil 2, classificado como Cambissolo Háplico Distrófico, é derivado da alteração do mica-xisto (unidade bsjr do Grupo São João Del Rei - SJDR). Apresenta predomínio da fração silte, caracterizando classe textural franco-argilo-siltosa para os dois horizontes amostrados. A relação silte/argila do horizonte diagnóstico é 1,33, o que indica um menor grau de intemperização deste solo.

O perfil 3, classificado como Latossolo Vermelho Ácrico, é um solo alóctone com paleopavimentos reconhecidos, predominantemente muito argiloso, principalmente no horizonte diagnóstico, o qual apresenta relação silte/argila de 0,27, dentro dos limites estabelecidos para B_w .

O perfil 4, desenvolvido sobre a transição das unidades Mo- β_1 /gnb- β_1 do Complexo Lavras, foi classificado como Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico. A relação silte/argila neste solo é de 0,66, estando no limite propostos por EMBRAPA (1999) para a definição de latossolos. No entanto, apesar de apresentar um baixo gradiente textural, 1,06, foi classificado com B textural, em função da ocorrência de estrutura em blocos moderada e cerosidade comum e fraca (EMBRAPA, 1999).

4.5.2.4 Caracterização química do complexo sortivo

As principais características químicas dos quatro perfis representativos amostrados na microbacia do Ribeirão Maranhão encontram-se na Tabela 21.

Os valores de ΔpH para todos os horizontes do perfil 1, Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico, são negativos, indicando a presença de minerais argilosilicatados. Este solo, apesar de apresentar boas características físicas, não possui características químicas adequadas para o cultivo do café. Os horizontes superficiais (A e AB) apresentam elevada saturação de alumínio (caráter epiálico). Estes teores decrescem em direção ao horizonte B textural, mas os valores de bases trocáveis, S, t e T são baixos, indicando a baixa fertilidade natural deste solo.

O perfil 2, Cambissolo Háplico Distrófico, originado de mica-xisto, rocha de composição química enriquecida em Al, apresenta valores baixos de soma de bases trocáveis e médios de acidez trocável. Os valores de saturação de bases, CTC efetiva e CTC a pH 7, são baixos e a saturação por alumínio é muito

TABELA 21 Características químicas dos perfis da microbacia do Ribeirão Maranhão.

Horiz.	Prof. cm	pH		Bases trocáveis						S	t	T	m	V	C	MO	
		H ₂ O	KCl	Ca	Mg	Al	Al+H	K	P								
PERFIL 1 – PVAd																	
A _p	0-20	5,1	4,0	-1,9	0,4	1,6	0,9	5,6	39	1	0,6	1,5	6,2	60	9,7	1,80	3,1
A	20-47	5,2	4,0	-1,4	0,3	0,1	0,9	5,0	16	1	0,4	1,3	5,4	67,1	8,1	1,16	2,0
AB	47-60	4,9	4,1	-1,2	0,4	0,1	0,8	4,5	11	1	0,5	1,3	5,0	60,2	10,5	0,93	1,6
BA	60-80	4,8	4,2	-0,6	0,4	0,2	0,4	3,2	9	1	0,6	1,0	3,8	39,1	16,3	0,70	1,2
B _t	80-200+	4,9	4,4	-0,9	0,3	0,1	0,2	2,6	11	1	0,4	0,6	3,0	31,8	14,1	0,46	0,8
PERFIL 2 – CXbd																	
A	0-13	5,0	4,0	-1,0	0,2	0,1	0,9	4,5	42	1	0,4	1,3	4,9	68,8	8,3	1,51	2,6
B _i	13-60+	5,4	4,3	-1,1	0,1	0,1	0,5	2,6	8	1	0,2	0,7	2,8	69,4	7,8	0,46	0,8
PERFIL 3 – LVw																	
A	0-47	5,3	4,3	-1,0	0,1	0,1	0,5	5,0	12	1	0,2	0,6	5,2	68,4	4,4	1,45	2,5
BA	47-72	5,1	4,8	-0,3	0,1	0,1	0,1	2,9	5	1	0,2	0,6	3,1	32,0	6,8	0,81	1,4
B _w	72-160+	4,9	5,1	+0,2	0,1	0,1	0	2,9	6	1	0,2	0,4	3,1	0	6,9	0,64	1,1
PERFIL 4 – PVAd																	
A	0-30	5,1	4,3	-0,8	1,8	6,8	0,4	5,0	39	2	2,4	2,8	7,4	14,3	32,4	1,74	3,0
AB	30-52	4,8	4,1	-0,7	0,6	0,2	0,8	5,6	17	17	0,8	1,6	6,4	48,7	13,1	1,10	1,9
B _t	52-153+	5,3	5,3	0	0,4	0,2	0	2,3	8	1	0,6	0,6	2,9	0	21,2	0,46	0,8

Em que S = soma de bases trocáveis, t = CTC efetiva, T = CTC a pH a 7, m = saturação de Al da CTC efetiva, V

= saturação de bases da CTC a pH7. C= carbono orgânico e MO = matéria orgânica.

alta em todos os horizontes amostrados. Caracteriza-se, então, como solo com caracter álico, com baixa fertilidade natural, não recomendado para o cultivo de café, principalmente pela ocorrência em declives superiores a 20%.

O solo estudado no perfil 3, Latossolo Vermelho Ácrico típico, mostra valores baixos de ΔpH nos horizontes subsuperficiais, indicando solos altamente intemperizados, de mineralogia oxídica no horizonte B_w em função da ocorrência de ΔpH positivo. A soma de bases, saturação por bases, bem como a CTC efetiva e a CTC a pH 7 são baixas. A saturação de alumínio vai de alta a média ao longo do perfil. Os valores de t , juntamente com o ΔpH positivo caracteriza-o como ácrico, segundo os critérios de EMBRAPA (1999).

O perfil 4, Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico, apresenta valores baixos de saturação por bases, valores médios a baixos de CTC efetiva e CTC a pH 7. A baixa saturação por alumínio (m) do horizonte A, indica haver alguma modificação antrópica neste perfil, que está localizado sob pastagem plantada.

4.5.2.5 Comportamento de óxidos ao ataque sulfúrico

Os teores de óxidos obtidos pela extração ao ataque sulfúrico dos horizontes diagnósticos dos perfis representativos estudados na microbacia do Ribeirão Maranhão, estão na Tabela 22.

O perfil 1, Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico, apresenta baixo teor de Fe_2O_3 e TiO_2 , proporcionando coloração bruno forte (7,5YR 5/8) no horizonte B_t , responsável pela classificação do solo, segundo EMBRAPA (1999). Esta coloração é função da baixa concentração de minerais primários portadores de ferro, reflexo da composição do material de origem gnáissica leuco a mesocráticas. Possui valores de K_i e K_r baixos. Contudo, da mesma

forma que a relação silte/argila anteriormente comentada, estes parâmetros não foram suficientes para alterar a classificação do solo como B textural.

TABELA 22 Teores de óxidos dos horizontes B, extraídos pelo ataque sulfúrico.

Hor.(B) Perfil	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	P ₂ O ₅	Ki	Kr	Al ₂ O ₃ / Fe ₂ O ₃
	Ribeirão Maranhão							
1 - B _t	12,95	24,04	3,07	0,681	0,023	0,92	0,85	12,28
2 - B _i	18,92	21,04	9,27	1,130	0,025	1,53	1,19	3,56
3 - B _w	12,06	32,71	13,68	1,935	0,057	0,63	0,49	3,75
4 - B _t	20,82	24,81	16,88	3,081	0,147	1,46	1,01	2,25

O perfil 2, Cambissolo Háplico Distrófico, possui valor de Ki igual a 1,53 e Kr 1,19. Estes valores são mais altos que os apresentados pelos horizontes diagnósticos dos demais perfis, definindo o menor estágio de evolução deste solo. Apresentando ainda valor Ki indicativo da presença de caulinita. Possui teores médios de Fe₂O₃ no horizonte Bt, 9,27%, reflexo de seu material de origem (mica-xisto, possivelmente biotita-xisto – bsjr-SJDR), provavelmente com predomínio de goethita, dado à coloração amarelo-avermelhado (7,5YR 6/8).

O perfil 3, Latossolo Vermelho Ácrico típico, possui relação molecular Ki e Kr muito baixas, indicando maior grau de intemperismo, reflexo do retrabalhamento de um material já intemperizado e com atuação de paleo-processos pedogenéticos. O teor de Fe₂O₃ é moderado (13,68%), mostrando concentração em sesquióxidos secundários de ferro, que resulta em coloração vermelho-escura (10R 3/6), responsável pela classificação do solo. Apresenta,

ainda, no horizonte B_w , 1,9 % de TiO_2 , provavelmente devido à presença de Ti em maior quantidade na rocha de origem.

O perfil 4, Argissolo Vermelho Amarelo Distrófico, desenvolvido sobre transição de rochas de composição intermediária a ácida (unidades do Complexo Lavras - Mo- β_1 /gnb- β_1) com farta intercalação de massas anfibolíticas, constituídas por rochas enriquecidas em ferro e titânio, apresenta valores relativamente elevados de Fe_2O_3 (16,88%) e TiO_2 (3,1%), decorrentes do processo de alteração. Sua coloração mais clara (5YR 5/8) indica o predomínio de goethita sobre a hematita.

Estes perfis apresentam, de modo geral, boa correlação com o material de origem, particularmente com relação aos teores de Fe_2O_3 e TiO_2 .

4.5.2.6 Uso atual

A Tabela 23 apresenta uma tabulação cruzada entre as classes de uso atual e classes de solos mapeadas.

As áreas pertencentes a classe de solo 1 (LVA/LV) encontram-se, em sua maioria, sob pastagem, ocupando 3.229 ha, que correspondem a 63,19%. Logo em seguida, aparecem os latossolos sob mata, com 952 ha (18,63%) e áreas de utilização agrícola com culturas anuais (milho e feijão), abrangendo 499 ha (9,76%) e café com 411 ha (8,04%).

TABELA 23 Tabulação cruzada entre os mapas de classes de solos e classes de uso atual da microbacia do Ribeirão Maranhão.

CLASSE (ha)	LVA/ LV	LV	PVA/ PV/ CX	PVA/ CX	RU/ GX	RL e Afloramentos Rochosos	Total (ha)
Mata	952	126	615	149	40	49	1.931
Café	411	214	189	60	0	6	880
Pastagem	3.229	699	1.749	570	73	177	6.497
Cultura	499	187	271	92	1	2	1.052
Silvicultura	9	12	6	0	0	0	27
Água	10	0	4	0	1	0	15
Total (ha)	5.110	1.238	2.834	871	115	234	—

A classe 2 (LV) possui 56,46% (699 ha) das suas áreas com pastagem, 17,28% (214 ha) sob domínio da cafeicultura e 15,10% (187 ha) com culturas anuais. A área de latossolos das classes 1 e 2, destinados ao cultivo de café, somam somente 9,8%. A intensidade de ocupação destes solos com culturas perenes e anuais, tendo em vista o potencial agrícola dos mesmos (declividade apta a mecanização, baixo risco de erosão) é baixa e poderia ser incrementada com a expansão de áreas destinadas ao café.

O principal uso destinado aos solos da classe 3 (PVA/PV) é a pastagem, que abrange cerca de 1.749 ha, o que significa 26,92% da área total ocupada com pastagens na microbacia. Em seguida, aparece a classe mata com 615 ha ou 31,85% da área total de mata, propiciando um bom recobrimento do solo, ajudando na conservação dos recursos hídricos da microbacia. A participação da

utilização agrícola (café e culturas) nesta classe de solo perfazem 460 ha que representam 16,23% dos argissolos da classe 3.

A cultura cafeeira na classe 4 (PVA/CX) ocupa 60 ha ou 6,8% do café cultivado da microbacia. Do total da área da classe 4, 65,44% encontra-se formada por pastagens plantadas e naturais e 17,10% encontra-se sob mata. Esta divisão deveria estar melhor equilibrada, com uma maior proporção de terras florestadas, destinadas à preservação da fauna e flora, pois estes solos são naturalmente pobres, com pouca estruturação, localizados na cabeceira da microbacia e em declives ondulados a forte ondulados.

Da mesma forma, a totalidade dos solos das classes 5 e 6 (RU, GX, RL e Afloramentos Rochosos) deveriam estar ocupados por mata. Observa-se, contudo, que existem áreas de pastagens.

5 CONCLUSÕES

Considerando-se os objetivos deste trabalho, as condições específicas sob as quais foi conduzido, os resultados obtidos e interpretados com a metodologia utilizada permitiram as seguintes conclusões:

- O SPRING/INPE constitui uma ferramenta valiosa para o tratamento de dados geográficos, auxiliando a caracterização do meio físico das microbacias estudadas.
- A visualização espacial da caracterização do meio físico auxilia o planejamento adequado do uso agrícola das microbacias.
- O uso da classificação supervisionada agilizou o mapeamento do uso atual na microbacia do Ribeirão Fundo.
- O modelo proposto de correlação entre geologia, classes de declive e solos, representou adequadamente a distribuição dos solos nas paisagens estudadas, tendo sido confirmados pelos estudos das características morfológicas, físicas e químicas dos perfis representativos das principais unidades de solos mapeadas.
- Melhores resultados poderão ser obtidos se forem utilizados mapas geológicos em escala de maior detalhamento, principalmente para a região de Lavras.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ÁGLIO, D. M.; CARVALHO Jr., W.; OLIVEIRA, R. P. de et al. Modelagem topográfica de declividade para classificação de solos: uma comparação metodológica. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 26., 1997, Rio de Janeiro. *Anais...* Rio de Janeiro: SBCS, 1997. 1 CD-ROM.
- ALVES, D. S. Sistemas de informações geográficas. **Geoprocessamento**, Londrina, v.1, n.1, p.66-78, maio 1990.
- ANDRADE, H. **Caracterização genética, morfológica e classificação de dois solos do município de Lavras-MG em correlação com a geomorfologia da área**. Lavras, MG: ESAL, 1979. 79p. (Dissertação-Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas).
- ANDRADE, H.; ALVES, H. M. R.; VIEIRA, T. G. C. et al. Diagnóstico ambiental do município de Lavras com base em dados do meio físico: III – Estratificação em classes de declive. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 27., 1998, Poços de Caldas-MG. *Anais...* Lavras: UFLA/SBEA, 1998a. v.4, p.356-357.
- ANDRADE, H.; ALVES, H. M. R.; VIEIRA, T. G. C. et al. Diagnóstico ambiental do município de Lavras com base em dados do meio físico: IV – Principais grupamentos de solos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 27., 1998, Poços de Caldas-MG. *Anais...* Lavras: UFLA/SBEA, 1998b. v.4, p.442-443.
- ANDRADE, H.; ALVES, H. M. R.; VIEIRA, T. G. C. et al. Diagnóstico ambiental do município de Lavras com base em dados do meio físico: II – Rede de drenagem. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 27., 1998, Poços de Caldas-MG. *Anais...* Lavras: UFLA/SBEA, 1998c. v.4, p.440-441.
- ARNOLD, R. W. Concepts of soils and pedology. **Elsevier Science Publication**, New York, v.I, n.2, p.21, 1983.
- ARONOFF, S. **Geographic information systems: a management perspective**. Ottawa: WDL Publications, 1989. 225p.

- ASSAD, L. M. Sistemas de informações geográficas na determinação da aptidão agrícola das terras. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.19, n.1, p. 133-139, 1995.
- ASSUNÇÃO, G. V.; FORMAGGIO, A. R.; ALVES, A. R. Mapa de aptidão agrícola das terras: uma abordagem usando o SGI e imagens de satélite. In.: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 6., 1990, São José dos Campos. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 1990. p.162-166.
- BARUQUI, F. M. RESENDE, M.; FIGUEIREDO, M. S. Causas da degradação e possibilidades de recuperação de pastagens em Minas Gerais (Zona da Mata e Rio Doce). **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.11, n. 128, p.27-37, setembro. 1985.
- BOLFE, E. L.; PEREIRA, S. R.; SIQUEIRA, O. J. W. de. Caracterização ambiental da região de clima temperado: uso atual e potencial dos solos do sul do Rio Grande do Sul. In: CONGRESSO E FEIRA PARA USUÁRIOS DE GEOPROCESSAMENTO DA AMÉRICA LATINA-GISBRASIL, 5., 1999, Salvador. **Anais...** Salvador: Universo Online, 1999. 1 CD-ROM.
- BRASIL. Ministério da Agricultura. Centro Nacional de Ensino e Pesquisas Agronômicas. **Levantamentos dos solos do estado de São Paulo**. Rio de Janeiro: CNEPA, 1960. 634p. (B. Serv. Nac. Ensino Pesq. Agron.).
- BRASIL. Ministério da Agricultura. Centro Nacional de Ensino e Pesquisas Agronômicas. **Levantamento de reconhecimento dos solos da região sob influência do Reservatório de Furnas**. Rio de Janeiro: CNEPA, 1962. 462p. (Boletim técnico, 13).
- BUOL, S. W.; HOLE, F. D.; MACCRAKEN, R. J. **Soil genesis and classification**. Ames: The Iowa State University Press, 1980. 404p.
- BURROUGH, P. A. **Principles of geographic information systems for land resources assessment**. Oxford: Oxford University Press, 1986. 193p.
- BURROUGH, P. A.; McDONNELL, R. A. **Principles of geographical information systems**. Oxford: Oxford University Press, 1998. 333p.
- CÂMARA, G.; MEDEIROS, J. S de. Princípios básicos em geoprocessamento. In.: ASSAD, E. D.; SANO, E. E. **Sistema de Informações Geográficas**. 2.ed. Brasília: EMBRAPA - SPI/CPAC, 1998. Cap.1, p.3-11.

- CARMEN SAIZ, C. del.; VALÉRIO FILHO, M. Técnicas de geoprocessamento aplicadas ao levantamento e integração de dados do meio físico como subsídio ao planejamento conservacionista. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 26., 1997, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: SBCS, 1997. 1 CD-ROM.
- CARMO, D. N.; CURI, N.; RESENDE, M. et al. Caracterização de latossolos da região do Alto Paranaíba (MG). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.8, n.2, p.235-240, mai./ago. 1984.
- CASTRO NETO, P.; SEDIYAMA, G. C.; VILELA, E. A. Probabilidade de ocorrência de períodos chuvosos em Lavras, Minas Gerais. **Ciência e Prática**, Lavras, v.1, n.4, p.56-57, 1980.
- CASTRO JÚNIOR, L. G. **Mudança tecnológica na cafeicultura mineira**: um estudo no período de 1978 a 1993. Lavras: UFLA. 1995. 57p. (Dissertação-Mestrado em Administração da Empresa Rural).
- CERRI, C. E. P. **Mapeamento das áreas de risco de erosão dos solos da bacia do rio Piracicaba, utilizando geoprocessamento**. Piracicaba: ESALQ, 1999. 89p. (Dissertação-Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas).
- CONHALATO ROSTAGNO, L. S. da. **Caracterização de uma paisagem na área de influência do reservatório da usina hidrelétrica do Funil, Ijaci-MG**. Lavras: UFLA, 1999. 66p. (Dissertação-Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas).
- CURI, N.; LIMA, J. M. de; ANDRADE, H. et al. Geomorfologia, física, química e mineralogia dos principais solos da região de Lavras (MG). **Ciência e Prática**, Lavras, v.14, n.3, p.297-307, set./dez. 1990.
- DANIELS, R. B. Pedology a field or a laboratory science? **Soil Science Society of America Journal**, Madson, v.52, n.5, p.1518-1519, set./out. 1988.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DA PRODUÇÃO MINERAL. COMPANHIA DE PESQUISA E RECURSOS MINERAIS-DNPM/CPRM. **Projeto Mantiqueira-Furnas**. Belo Horizonte: DNPM/CPRM, 1978. n.7.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DA PRODUÇÃO MINERAL. COMPANHIA DE PESQUISA E RECURSOS MINERAIS-DNPM/CPRM. **Projeto Sapucaí**. São Paulo: DNPM/CPRM, 1979. n.5, 299p.

- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA-EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. **Critérios para distinção de classes de solos e de fases de unidades de mapeamento:** normas em uso pelo SNLCS. Rio de Janeiro: EMBRAPA-SNLCS, 1988. 67p. (EMBRAPA-SNLCS. Documentos, 11).
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA-EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. **Manual de métodos de análise de solos.** 2.ed. rev. atual. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPS, 1997. 212p.: il. (EMBRAPA-CNPS. Documentos, 1).
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA-EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. **Normas e critérios para levantamentos pedológicos.** Rio de Janeiro: EMBRAPA-SNLCS, 1989. 94p. (EMBRAPA-SNLCS, no prelo).
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA-EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. **Procedimentos normativos de levantamentos pedológicos.** Brasília: EMBRAPA-SPI, 1995. 101p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA-EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos.** Brasília: EMBRAPA-Produção de Informação, 1999. 412p.
- EPIPHANIO, J. C. N.; LEONARDI, L.; FORMAGIO, A. R. Relações entre parâmetros culturais e resposta espectral de cafezais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.29, n.3, p.439-447, mar. 1994.
- FEDERAÇÃO DA AGRICULTURA DO ESTADO DE MINAS GERAIS-FAEMG. **Diagnóstico da cafeicultura de Minas Gerais.** Belo Horizonte: FAEMG, 1996. 52p.
- FERNANDES, D. C. M.; FERNANDES, R. B. A. BRITES, R. S. et al. Uso de um sistema de informações geográficas na determinação da aptidão agrícola e monitoramento das alterações verificadas para uma microbacia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 26., 1997, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: SBCS, 1997. 1 CD-ROM.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS-FAO. **Water and sustainable agricultural development.** Rome: FAO, 1990. 48p.

FRANÇA, G. V. **Interpretação fotográfica de bacias e de redes de drenagem aplicadas a solos da região de Piracicaba.** Piracicaba: ESALQ/USP, 1968. 151p. (Tese-Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas).

FREITAS, P. L. de; KER, J. C. As pesquisas em microbacias hidrográficas: situação atual, entraves e perspectivas no Brasil. In : CASTRO FILHO, C. de; MUZILLI, O. (ed.). **Manejo integrado de solos em microbacias hidrográfica.** Londrina: IAPAR, 1996. p.43-57.

GALVÃO, M. V. Regiões bioclimáticas do Brasil. **Revista Brasileira de Geografia**, Rio de Janeiro, v.29, n.1, p.3-36, jan./mar. 1967.

GAUSMANN, E.; FITZ, P. R. Manejo de microbacias hidrográficas com a utilização de técnicas de geoprocessamento. In: CONGRESSO E FEIRA PARA USUÁRIOS DE GEOPROCESSAMENTO DA AMÉRICA LATINA-GISBRASIL, 5., 1999, Salvador. **Anais...** Salvador: Universo Online, 1999. 1 CD-ROM.

GOODCHILD, M. F. The state of GIS for environmental problem-solving. In: GOODCHILD, M. F.; PARKS, B. O.; STEYAERT, L. T. (ed.) **Environmental modelling with GIS.** New York: Oxford University Press, 1993. p.8-15.

HORTON, R. E. Erosional development of streams and their drainage basins: hidrophysical approach to quantitative morphology. **Geological Society America Bulletin**, Rochester, v.56, n.3, p.275-370, 1945.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA-IBGE. **Carmo da Cachoeira:** carta planialtimétrica. Belo Horizonte, 1969a. 1 mapa: [52 x 56cm]. Escala 1:50.000. Material cartográfico. (Projeção Universal Transversa de Mercator).

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA-IBGE. **Nepomuceno:** carta planialtimétrica. Belo Horizonte, 1969b. 1 mapa: [52 x 56cm]. Escala 1:50.000. Material cartográfico. Projeção Universal Transversa de Mercator. (Projeção Universal Transversa de Mercator).

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA-IBGE. **Monte Santo de Minas:** carta planialtimétrica. Belo Horizonte, 1970. 1 mapa: [52 x 56cm]. Escala 1:50.000. Material cartográfico. (Projeção Universal Transversa de Mercator).

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA-IBGE.

Itamogi: carta planialtimétrica. Belo Horizonte, 1971a. 1 mapa: [52 x 56cm]. Escala 1:50.000. Material cartográfico. (Projeção Universal Transversa de Mercator).

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA-IBGE. **São**

Sebastião do Paraíso: carta planialtimétrica. Belo Horizonte, 1971b. 1 mapa: [52 x 56cm]. Escala 1:50.000. Material cartográfico. (Projeção Universal Transversa de Mercator).

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA-IBGE. **São**

Tomás de Aquino: carta planialtimétrica. Belo Horizonte, 1972. 1 mapa: [52 x 56cm]. Escala 1:50.000. Material cartográfico. (Projeção Universal Transversa de Mercator).

INSTITUTO FLORESTAL/IF. **Inventário Florestal do Estado de São Paulo.**

São Paulo, 1993. p.28.

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

KURTZ, S. M. de J. M.; ROCHA, J. S. M.; KURTZ, F. C. et al. Uso de SIG aplicado ao estudo do diagnóstico físico-conservacionista na sub-bacia hidrográfica do Arroio Cadena, Santa Maria (RS). In: CONGRESSO E FEIRA PARA USUÁRIOS DE GEOPROCESSAMENTO DA AMÉRICA LATINA-GISBRASIL, 5., 1999, Salvador. **Anais...** Salvador: Universo Online, 1999. 1 CD-ROM.

LACERDA, M. P. C. **Correlação geo-pedológica em solos B texturais na Região de Lavras.** Lavras: UFLA, 1999. 257p. (Tese—Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas).

LARACH, J. O. I. **Base para leitura de mapas de solos.** Rio de Janeiro:EMBRAPA-SNLCS,1981. 91p. (EMBRAPA-SNLCS. Série Miscelânea, 4).

LEITE, F. R. B.; OLIVEIRA, S. B. P. Aptidão agrícola das terras da folha SB. 24-Z-A IV-3 – Ipaumirim utilizando sistema de informações geográficas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 26., 1997, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: SBCS, 1997. 1 CD-ROM.

LEMOS, R. C. de; SANTOS, R. D. dos. **Manual de descrição e coleta de solo no campo.** 3.ed. Campinas: SBCS/CNPS, 1996. 84p.

- LEONARDI, L. **Influência de parâmetros culturais de cafezais sobre os dados TM/Landsat-5.** São José dos Campos: INPE, 1990. 161p. (Dissertação–Mestrado em Sensoriamento Remoto).
- LEPSCH, I. F.; BELLINAZZI JÚNIOR, R.; BERTOLINI, D. et al. **Manual para levantamento utilitário do meio físico e classificação de terras no sistema de capacidade de uso: 4^a aproximação.** Campinas: SBCS, 1991. 175p.
- LEPSCH, I. F.; BUOL, S. W. Investigation in na Oxisol-Ultisol toposequence in São Paulo State, Brazil. **Soil Science Society America Proceedings,** Madison, v.38, n.3, p.491-496, mai./jun. 1975.
- LIMA, D.A. de. **Atlas Nacional do Brasil.** Rio de Janeiro: IBGE, 1966. (Mapa vegetação).
- LIMA, J. M. de. **Relação entre erosão, teor de ferro, parâmetros físicos e mineralógicos de solos da região de Lavras (MG).** Lavras: ESAL, 1987. 86p. (Dissertação–Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas).
- MARQUES JÚNIOR, J. **Litocronocromossequência de solos da Região de Lavras (MG).** Lavras: ESAL, 1988. 78p. (Dissertação–Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas).
- MARTORANO, L. G. **Zoneamento agroecológico da quadrícula de Ribeirão Preto, SP, com base em características de solo, relevo e clima.** Piracicaba: ESALQ, 1998. 77p. (Dissertação–Mestrado em Agrometeorologia).
- MEDEIROS, J. S. de. **Banco de dados geográficos e redes neurais artificiais: tecnologias de apoio à gestão do território.** São Paulo: FFLCH-USP, 1999. 221p. (Tese–Doutorado em Geografia Física).
- MELLO, E. M. K.; MOREIRA, J. C.; SANTOS, J. R. dos et al. O uso do SPRING no mapeamento do desflorestamento da Amazônia. In: CONGRESSO E FEIRA PARA USUÁRIOS DE GEOPROCESSAMENTO DA AMÉRICA LATINA-GISBRASIL, 5.,1999, Salvador. **Anais...** Salvador: Universo Online, 1999. 1 CD-ROM.
- MOREIRA, A. J. da R. **Utilização de um sistema de informações geográficas na caracterização de uma bacia hidrográfica na Reserva Biológica de Tinguá-RJ.** Piracicaba: ESALQ/USP, 1994. 91p.: il. (Dissertação–Mestrado em Ciências Florestais).

MOTTER, I.; SCOPEL, I.; ROCHA.H.O. da. Monitoramento da ocupação do solo em microbacias de técnicas de geoprocessamento. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 26., 1997, Rio de Janeiro. *Anais...* Rio de Janeiro: SBCS, 1997. 1 CD-ROM.

NETGIS. SPRING: Manual do usuário – versão 3.0. São José dos Campos: NETGIS, 1997. 4v.

OLIVEIRA, J. B. de; PRADO, H. do. **Levantamento pedológico semidetalhado do Estado de São Paulo**: quadrícula de Ribeirão Preto. II. Memorial Descritivo. Campinas: Instituto Agronômico de Campinas, 1987. 133p. (Boletim do IAC, n.7).

OLIVEIRA JÚNIOR, D. R. **Espacialização do risco de enxurradas e de estresse hídrico no Distrito Federal, através do Sistema de Informações Geográficas**. Brasília, UnB, 1994. 55p. (Dissertação-Mestrado em Agronomia).

PEREIRA, J. C. **Avaliação da degradação ambiental de três microbacias hidrográficas da região Campo da Vertentes (MG)**. Lavras: UFLA, 1995. 81p. (Dissertação–Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas).

PEREIRA, N. R.; SCHUBACK, P. d'A.; CARVALHO JÚNIOR, W. O uso das técnicas de geoprocessamento na detecção de áreas de incompatibilidade de uso, com base na aptidão agrícola das terras e o uso atual: estudo aplicado no município de Engenheiro Paulo de Frontim-RJ. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 9., 1998, Santos. *Anais...* Santos: INPE, 1998. 1 CD-ROM.

PEREZ FILHO, A.; DONZELLI, J. B.; LEPSCH, I. F. Relações solo geomorfologia em várzea do Rio Mogi-Guaçu (SP). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.4, n.3, p.181-187, set./dez. 1980.

PINTO, S. dos A. F.; VALÉRIO FILHO, M.; GARCIA G. J. Utilização de imagens TM/Landsat na análise comparativa entre dados de uso da terra e aptidão agrícola. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.13, n.19, p.101-110, 1989.

RESENDE, M. Sistema de classificação da aptidão agrícola dos solos (FAO-Brasileiro) para algumas culturas específicas: necessidade e sugestões para o desenvolvimento. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.9, n.105, p.83-88, 1983.

RESENDE, M.; CURI, N.; REZENDE, S. B. de et al. **Pedologia**: base para distinção de ambientes. 2 ed. Viçosa: NEPUT, 1997. 367p.: il.

RESENDE, M.; REZENDE, S. B. de; HARA, T. et al. Levantamento de reconhecimento dos solos das bases físicas de Ponte Nova e São Sebastião do Paraíso, Estado de Minas Gerais. In.: EPAMIG/ESAL/UFV. **Projeto Café**: relatório anual 73/74. Belo Horizonte: EPAMIG, 1974. p. 268-272.

ROCHA, J. S. M. **Manual de manejo integrado de bacias hidrográficas**. 2.ed. Santa Maria: UFSM, 1991. 181p.

RODRIGUES, M. Introdução ao geoprocessamento. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOPROCESSAMENTO, 8., 1996, São Paulo. **Anais...** São Paulo: USP, 1990. p.1-26.

SERRA, E. L. **Avaliação da degradação ambiental de três microbacias hidrográficas no município de Lavras-MG**. Lavras: ESAL, 1993. 153p. (Dissertação–Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas).

SILVA, L. C. F. da. **Fotointerpretação de redes de drenagem e caracterização do relevo de dos solos do município de São Pedro–SP**. Piracicaba: ESALQ-USP, 1993. 125p. (Tese–Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas).

SILVA, L. P. da. Uso de geoprocessamento no diagnóstico da bacia hidrográfica do Rio Escondido e suas relações com a PCH-Castaman: II-Colorado do Oeste/RO. In: CONGRESSO E FEIRA PARA USUÁRIOS DE GEOPROCESSAMENTO DA AMÉRICA LATINA-GISBRASIL, 5., 1999, Salvador. **Anais...** Salvador: Universo Online, 1999. 1 CD-ROM.

SMITH, K. G. Standards for grading texture of erosional topography. **American Journal of Science**, New Haven, v.248, n.2, p.655-688, 1950.

SOARES, A. F. **Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados na caracterização dos solos e da cobertura vegetal na bacia hidrográfica do Rio Candiru-açu (PA)**. Piracicaba: ESALQ-USP, 1994. 138p. (Dissertação–Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas).

STAR, J.; ESTES, J. **Geographic information system**: an introduction. New Jersey: Prentice Hall, 1990. 303p.

- STRAHLER, A. N. Hypsometric (Area-Altitude) analysis of erosional topography. **Bulletin of the Geological Society of America**, Rochester, v.63, n.4, p.1117-1141, 1952.
- STRAHLER, A. N. Quantitative analysis of watershed geomorphology. **Transactions American Geophysical Union**, Washington, v.38, n.6, p.913-92, dez. 1957.
- STRANDEBERG, C. H. **Manual de fotografia aérea**. Barcelona: Omega, 1975. 286p.
- TERAMOTO, E. R. **Relações solo, substrato geológico e superfícies geomórficas na microbacia do Ribeirão Marins (Piracicaba, SP)**. Piracicaba: ESALQ-USP, 1995. 93p. (Dissertação—Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas).
- VALERIO FILHO, M.; DONZELI, P. L.; PINTO, S. dos A. F. et al. Monitoramento da dinâmica do uso agrícola e vegetação natural em microbacias hidrográficas através de técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 26., 1997, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: SBCS, 1997. 1 CD-ROM.
- VASCO, L. S. T. Estudo da microbacia do ribeirão Oratórios, localizada na Zona da Mata-MG, utilizando um Sistema de Informações Geográficas. In: XXVI CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 6, 1997, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: SBCS, 1997. 1 CD-ROM.
- VETTORI, L. **Métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro: equipe de Pedologia e Fertilidade de solo EMBRAPA/SNLS, 1969. 34p. (Boletim técnico, 7).
- VIEIRA, T. G. C. **Fotointerpretação de atributos de drenagem e relevo na diferenciação de solos do Município de Lavras – MG**. Lavras: ESAL, 1991. 76p. (Dissertação—Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas).
- VILELA, E. A; RAMALHO, M. A. P. Análise das temperaturas e precipitações pluviométricas da Lavras, Minas Gerais. **Ciência e Prática**, Lavras, v.1, n.3, p.71-79, 1980.