

**USO DE GEOTECNOLOGIAS NO  
ESTUDO DAS RELAÇÕES ENTRE  
SOLOS, ORIENTAÇÃO DE  
VERTENTES E O  
COMPORTAMENTO ESPECTRAL DE  
ÁREAS CAFEEIRAS EM MACHADO,  
MINAS GERAIS**

**HUDSON SOUSA MARQUES**

**2003**

**HUDSON SOUSA MARQUES**

**USO DE GEOTECNOLOGIAS NO ESTUDO DAS  
RELAÇÕES ENTRE SOLOS, ORIENTAÇÃO DE  
VERTENTES E O COMPORTAMENTO ESPECTRAL DE  
ÁREAS CAFEEIRAS EM MACHADO, MINAS GERAIS**

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 obtenção do título de “Mestre”.

Orientador

Prof. Dr. Hércio Andrade

LAVRAS  
MINAS GERAIS - BRASIL  
2003

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

Marques, Hudson Sousa

Uso de geotecnologias no estudo das relações entre solos, orientação de vertentes e o comportamento espectral de áreas cafeeiras em Machado, Minas Gerais / Hudson Sousa Marques. -- Lavras : UFLA, 2003.

82 p. : il.

Orientador: Hécio Andrade.

Dissertação (Mestrado) – UFLA.

Bibliografia.

1. Café. 2. Vertente. 3. Sensoriamento remoto. 4. Geoprocessamento. 5. Solo. 6. Imagem orbital. 7. Machado, Minas Gerais. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD-621.3678

-633.73

-631.47

**HUDSON SOUSA MARQUES**

**USO DE GEOTECNOLOGIAS NO ESTUDO DAS  
RELAÇÕES ENTRE SOLOS, ORIENTAÇÃO DE  
VERTENTES E O COMPORTAMENTO ESPECTRAL DE  
ÁREAS CAFEEIRAS EM MACHADO, MINAS GERAIS**

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 obtenção do título de “Mestre”.

APROVADA em 13 de agosto de 2003

Profa. Dra. Helena Maria Ramos Alves

EMBRAPA/CAFÉ

Profa. Dra. Marilusa Pinto Coelho Lacerda

UnB

Prof. Dr. Hécio Andrade  
UFLA  
(Orientador)

LAVRAS  
MINAS GERAIS - BRASIL

A Deus,

por sempre estar ao meu lado me iluminando,

**OFEREÇO.**

Aos meus queridos pais, Sebastião e Maria Helena, pelo amor e apoio sempre  
prestados;

à minha querida tia Divina, pelos ensinamentos, apoio e lição de vida;

à minha querida companheira Elke, pelo convívio e amor dedicados,

**DEDICO.**

## **AGRADECIMENTOS**

À Universidade Federal de Lavras e ao Departamento de Ciência do Solo, pela oportunidade de realização do curso.

Ao Consórcio Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento do Café (CBPD&Café), pelos recursos liberados para o desenvolvimento deste trabalho.

Ao Prof. Hécio Andrade, pela oportunidade de trabalho no Laboratório de Geoprocessamento, orientação, amizade e ensinamentos durante todos esses anos de convívio.

Às professoras Helena M. R. Alves, Marilusa P. C. Lacerda e pesquisadoras Tatiana G. C. Vieira, Mathilde Bertoldo e Margareth, pelo apoio, sugestões, companheirismo, dedicação e ensinamentos prestados.

Ao amigo Mestre Marley L. Machado, pela colaboração para a realização deste trabalho e amizade de sempre.

Aos amigos João Paulo Brasil e Dimas Esteves, pelo companheirismo.

Ao técnico Nilson B. dos Santos, pela ajuda e amizade prestada.

Aos professores que contribuíram para a minha formação durante a realização deste curso.

Aos funcionários Adriana, Wal, Maria Alice, Vera, Heleninha, Pezão, Dulce, Delane e Carlinhos, pela colaboração, amizade e convívio.

Aos colegas do curso, que batalharam ao meu lado.

À família do Mário e Janice, pelo apoio e amizade.

Aos meus tios, tias, primos e primas, pelo incentivo e torcida para o meu crescimento profissional.

Aos meus avós José M. Barbosa e Maria B. de Jesus (*em memória*); José Nazário Sousa e Maria de Lourdes Sousa, pelo amor e carinho.

Ao meu irmão Heberth, pelo carinho de sempre.

Ao meu primo Paulo de Carvalho, pela amizade e companheirismo.

Aos amigos que sempre apostaram na minha pessoa.

## SUMÁRIO

	<b>Página</b>
RESUMO .....	i
ABSTRACT .....	iii
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	3
2.1 A cafeicultura em Minas Gerais .....	3
2.2 Geoprocessamento.....	8
2.2.1 Sensoriamento remoto .....	9
2.2.1.1 Imagens orbitais.....	11
2.2.1.2 Sistema Landsat Thematic Mapper (TM).....	12
2.2.2 Sistemas de Informações Geográficas (SIGs)..	15
2.2.3 O uso do sensoriamento remoto e Sistemas de Informações Geográficas (SIGs) no desenvolvimento da cultura cafeeira.....	17
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	19
3.1 Caracterização geral da área de estudo.....	19
3.2 Material.....	21
3.3 Métodos .....	23
3.3.1 Registro da imagem orbital.....	23
3.3.2 Digitalização das cartas topográficas planialtimétricas .....	24
3.3.3 Transformação do número digital do pixel em valor de reflectância .....	24
3.3.4 Interpretação de imagem .....	25
3.3.5 Classificação de imagens pelo SPRING.....	26
3.3.6 Análise da exatidão dos classificadores de imagem do SPRING.....	26
3.3.7 Geração dos planos de informação (PIs) .....	28

3.3.8 Amostragem espectral das áreas com café em produção.....	29
3.3.9 Análise estatística .....	30
3.3.10 Cruzamento dos planos de informação.....	31
3.3.11 Análise de solo dos perfis estudados .....	31
3.3.11.1 Análises físicas .....	32
3.3.11.2 Análises químicas.....	32
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	33
4.1 Interpretação e tratamento da imagem orbital .....	33
4.1.1 Imagem orbital da área estudada .....	33
4.1.2 Geração do mapa de uso da terra pela interpretação da imagem .....	35
4.1.3 Geração do mapa de uso da terra pela classificação automatizada do SPRING.....	37
4.1.4 Avaliação dos classificadores do SPRING.....	42
4.2 Comportamento espectral das áreas cafeeiras em relação aos solos e orientações das vertentes .....	46
4.3 Relações da cultura cafeeira com o meio físico.....	53
4.3.1 Altimetria da área de estudo .....	53
4.3.2 Cruzamento entre áreas de café em produção e atributos do meio físico .....	56
4.3.3 Caracterização dos solos estudados em campo .....	61
4.3.3.1 Caracterização química.....	61
4.3.3.2 Caracterização física.....	65
5 CONCLUSÕES.....	68
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	70
ANEXOS.....	76



## RESUMO

MARQUES, Hudson Sousa. **Uso de geotecnologias no estudo das relações entre solos, orientação de vertentes e o comportamento espectral de áreas cafeeiras em Machado, Minas Gerais.** LAVRAS: UFLA, 2003. 82p. (Dissertação – Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas)\*

A cultura cafeeira é importante para o Brasil, devido à grande geração de renda propiciada pelas exportações do café e sua contribuição na área social, gerando empregos e evitando o êxodo rural. A região Sul de Minas Gerais é a maior produtora de café do país. O uso de geotecnologias foi importante para o estudo do parque cafeeiro desta região, devido ao potencial dessas ferramentas na caracterização do ambiente como um todo e suas interações com a cultura do café. Este trabalho teve como objetivo a utilização de técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento, por meio do software SPRING, no estudo do comportamento espectral de áreas cafeeiras, influenciadas pelos diferentes solos e orientações diferenciadas das vertentes. Avaliaram-se também dois algoritmos classificadores de mapas temáticos do uso da terra e o cruzamento de informações espaciais das áreas com café em produção com atributos do meio físico. Selecionou-se uma área cafeeira representativa da região Sul de Minas Gerais, localizada em sua maior parte no município de Machado. Foi usada a imagem orbital do sistema ETM+ do Landsat-7 com resolução espacial de 30 x 30 m, dados planialtimétricos das cartas topográficas do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e mapa de classes de solos associados da área de estudo, proposto por Lacerda et al. (2001), como base para este trabalho. A composição com as bandas espectrais 3, 4 e 5 da imagem foi registrada e teve seus valores digitais convertidos em valores de reflectância real da superfície terrestre, para posterior avaliação do comportamento espectral das áreas com café em produção. Criou-se um plano de informação (PI) a partir da interpretação da imagem e com o auxílio de trabalhos de campo determinou-se classes de uso da terra. Este PI foi considerado como referência de campo, a fim de determinar, por tabulação cruzada e estatísticas Kappa e Tau, a qualidade dos mapas gerados pelos algoritmos classificadores Battacharya e Maxver disponíveis no SPRING. A ferramenta cruzamento de PIs permitiu quantificar a distribuição das lavouras com café em produção sobre as classes de solos,

---

\* Comitê Orientador: Hécio Andrade - UFLA (Orientador), Helena Maria Ramos Alves - EMBRAPA/CAFÉ, Marilusa Pinto Coelho Lacerda - UnB.

classes de altitude, orientação de vertentes e tipo de relevo. Concluiu-se, pelos resultados obtidos e analisados estatisticamente, que a reflectância média na banda 4 foi superior nas áreas com café em produção cultivadas sobre as classes de solos com associação dos argissolos com horizonte A proeminente e nas classes com associação dos latossolos, seja com horizonte A húmico ou não. Acredita-se que o fato destes horizontes superficiais serem relativamente profundos e ricos em matéria orgânica tenha contribuído para um melhor vigor dos cafeeiros nestas áreas, com isso apresentando os maiores valores de reflectância. As áreas com café em produção sobre as vertentes orientadas para NE-E obtiveram o maior valor médio para a reflectância, em virtude, provavelmente, desta orientação receber maior incidência de raios solares no horário da passagem do satélite. Quanto à classificação temática dos classificadores, o algoritmo Battacharya obteve melhor desempenho que o algoritmo Maxver. As áreas com café em produção estão localizadas, em sua maioria, sobre relevo suave-ondulado a ondulado, altitude média de 800 a 900 m, cultivadas sobre latossolos e argissolos. O trabalho evidenciou excelentes resultados na caracterização de áreas ocupadas pela cultura do café com a utilização de geotecnologias, por intermédio do software SPRING.

## ABSTRACT

MARQUES, Hudson Sousa. **Geotechnologies in the study of the relationships between soils, slope orientation and the spectral behavior of coffee fields in Machado, state of Minas Gerais, Brazil.** LAVRAS: UFLA, 2003. 82p. (Dissertation - Master's degree in Soils and Nutrition of Plants)\*

Coffee is one of Brazil's most important crops, due to the incomes generated by exportation and the social benefits the coffee agribusiness propitiates. The South region of Minas Gerais is the major coffee producer of the country. In spite of its importance, updated information about the areas occupied by the crop is scarce. A sound planning of any agricultural activity requires, first, the knowledge of the environment in which such an activity is located and for this purpose geotechnologies can be very useful. The objective of this work was to characterize coffee agro ecosystems of the southern region of Minas Gerais and evaluate the relationships between the physical environment and coffee fields distribution, using remote sensing and geoprocessing techniques. The influence of the different soils and slopes' orientations on coffee canopies' reflectance was evaluated using TM/Landsat 7 image and two classifying algorithms (Battacharya and Maxver algorithms available in the geographic information system SPRING), used to produce land use thematic maps from digital satellite images, were also compared. The work was carried out in a selected area around the city of Machado. The data was obtained by compilation of secondary information, interpretation of TM/Landsat-7 satellite image, topographic sheets and complementary field surveys. A soil map of the studied area, proposed by Lacerda et al. (2001), was also used. The composition with the 3, 4 and 5 image's spectral bands was registered and had its digital values converted in terrestrial surface's real reflectance values, for subsequent evaluation of the spectral behaviour of the coffee areas. A land use map was generated by the interpretation of the image, with the support of field references. This layer was considered as ground truth, in order to determine, by cross tabulation and the Kappa and Tau statistics, the quality of the maps generated by the classifying algorithms. The land use map was crossed with the soils map and with the slope orientation, the slope classes and altitude classes' information layers, in order to quantify the distribution of the coffee fields over these

---

\* Guidance Committee: Hécio Andrade – UFLA (Adviser), Helena Maria Ramos Alves - EMBRAPA/CAFÉ, Marilusa Pinto Coelho Lacerda - UnB.

segments of the landscape. The results showed that the average reflectance in band 4 was higher in the coffee areas cultivated on ultisols with prominent A horizons and on oxisols with humic or not humic A horizons. It seems that these superficial horizons, which are deeper and richer in organic matter, contribute to a better vegetative state of the coffee trees, resulting in higher reflectance values. The areas with coffee over the NE-E oriented slopes showed higher average values of reflectance, probably because this orientation receives more solar radiation at the time the Landsat shoots the area. The Battacharya algorithm showed a better performance than the Maxver for mapping the areas with coffee. Most of the coffee fields are located over gently undulating till undulating landscapes, altitudes from 800 to 900 m, over oxisols and ultisols. The work evidenced the advantages of using geotechnologies for the characterization of areas occupied with coffee.

## 1 INTRODUÇÃO

O desenvolvimento de uma nação está associado à sua capacidade de produção, gerenciamento e comercialização de recursos advindos de vários setores, como a indústria e a agricultura. No caso do nosso país, o setor agrícola contribui com a maior fatia do montante das exportações, gerando assim os recursos financeiros necessários ao desenvolvimento.

A cafeicultura se destaca fortemente na agricultura do Brasil, que é o maior produtor mundial, tendo assim grande importância para a economia do país. A cultura tem ainda importante papel no aspecto social, uma vez que as lavouras cafeeiras empregam muita mão-de-obra, garantindo renda a muitos trabalhadores e, conseqüentemente, melhores condições de vida para suas famílias. Dessa forma contribui para evitar o êxodo rural e, consecutivamente, a concentração populacional, formação de favelas e cortiços nas grandes cidades.

Tendo em vista a importância da cultura cafeeira para o nosso país, é fundamental que se promovam estudos e trabalhos científicos ligados a essa cultura. Eles são indispensáveis para seu desenvolvimento, colaborando cada vez mais para o avanço na produção, o aumento das áreas a serem cultivadas com a cultura e a melhoria da produtividade dos parques cafeeiros, sem que ocorram desequilíbrio e degradação ambiental.

Novas tecnologias e metodologias desenvolvidas pelo homem têm sido usadas no desenvolvimento de vários setores da agricultura, como, por exemplo, no caso da cafeicultura. Entre elas, cita-se o sensoriamento remoto, aliado aos Sistemas de Informação Geográfica (SIGs).

Estas novas tecnologias podem ser vistas como ferramentas úteis ao desenvolvimento da cultura cafeeira, pois permitem a manipulação e confecção de mapas analógicos e digitais das áreas cafeeiras, obtidas por imagens dos sensores de satélites orbitais, além de possibilitar, de uma maneira bem mais

econômica em relação às fotos aéreas, o estudo temporal, a caracterização, o monitoramento e o gerenciamento sustentável dessas áreas.

O presente trabalho teve como objetivos o estudo do comportamento espectral de áreas cafeeiras, influenciadas pelos diferentes solos e orientações diferenciadas das vertentes em que se encontram estas áreas, com a utilização de técnicas de geoprocessamento, por meio do software SPRING. Avaliaram-se também, dois algoritmos classificadores de mapas temáticos do uso da terra e o cruzamento de informações espacializadas das áreas com café em produção com atributos do meio físico.

## **2 REFERENCIAL TEÓRICO**

### **2.1 A cafeicultura em Minas Gerais**

O Brasil é o maior produtor e exportador de café, detendo cerca de 18% do mercado mundial e gerando aproximadamente 3 bilhões de dólares por ano para o país. Além do aspecto econômico, a cafeicultura apresenta relevante importância social como atividade geradora de empregos e fixadora da mão-de-obra no campo (Maciel, 2001).

Segundo Sreenath (2000), citado por Ribeiro (2001), a cafeicultura brasileira é também importante para o mercado interno, visto que, além de ser o maior produtor e exportador de café, o Brasil é o segundo mercado consumidor de café do mundo.

O centro-sul é a principal região cafeeira do país; os estados de Minas Gerais, São Paulo, Espírito Santo e Paraná somam mais de 90% da produção nacional de café. Minas Gerais participa de forma importante nesse cenário, destacando-se como o maior produtor do Brasil, respondendo por 45% a 50% da produção nacional (Mendes, 1997 e Anuário..., 2002).

Segundo Malavolta (2000), o estado de Minas Gerais se destaca dos demais quanto à produção cafeeira, visto que a área cultivada cresceu de 800 mil para 950 mil ha no período referente a 1992/1993. Por isso, detém o maior parque cafeeiro do Brasil, ou seja, 38% do total. Para efeito de comparação, a produção corresponde aos parques cafeeiros de São Paulo e Espírito Santo juntos.

Segundo Castro Júnior (1995), o alto grau de tecnificação da cafeicultura mineira o torna o maior produtor de cafés finos do país, sendo responsável por mais de 60% do volume total exportado. As regiões Zona da Mata, Triângulo Mineiro, Alto Paranaíba, Vale do Jequitinhonha e em destaque o Sul de Minas,

caracterizam-se pela predominância de culturas com cafeeiros novos e variedades mais produtivas, o que contribui para esse grande volume de produção.

Os fatores que contribuíram muito para o desenvolvimento da cafeicultura mineira foram a ampliação das atividades de pesquisa e assistência técnica a partir de 1970 e a receptividade ao Plano de Renovação e Revigoração de Cafezais, instituído em 1969 pelo Instituto Brasileiro do Café (IBC). Este plano contribuiu para a racionalização do cultivo do café no estado, permitindo a expansão da cultura em áreas até então pouco utilizadas (Caixeta et al., 1989, citados por Castro Júnior, 1995).

No estado de Minas Gerais, a região Sul se destaca das demais, pois é responsável por 29% da produção nacional e 56% da produção mineira, sendo hoje identificada como maior produtora de café do Brasil. O seu parque cafeeiro abrange cerca de 37 mil propriedades em uma área cultivada de 629,7 mil hectares, com uma produção média de 12 milhões de sacas de café beneficiado (Brasil, [2002?]).

Segundo Ribeiro et al. (1998), esta região compreende a área geográfica delimitada pelos paralelos 12°12' a 22°10' S de latitude e 44°20' a 47°20' W de longitude, caracterizando-se por áreas elevadas com altitude variando entre 700 a 1.080 m , temperatura amena, sujeitas a geadas moderadas e capazes de produzir um café de excelente qualidade de bebida.

Segundo Felipe & Abrahão (2001), citados por Romaniello et al. (2002), a região caracteriza-se por produzir cafés de boa qualidade; 80% da produção são exportáveis, dos quais 30% são de bebida mole a estritamente mole e 50% de bebida dura para melhor. A atividade gera aproximadamente 672 mil empregos diretos e indiretos, colaborando assim para o desenvolvimento da região.



Segundo Silva (1998), também merece destaque o fato de encontrar-se nesta região a maior concentração de cooperativas de café do Brasil, bem como a melhor estrutura no que diz respeito à assistência técnica, beneficiamento, armazenamento e comercialização do produto.

Na Tabela 1 são apresentados os dados sobre a atual situação da produção cafeeira no Brasil e a Tabela 2 informa a situação do parque cafeeiro do Brasil.

Devido à grande importância da cafeicultura para o nosso país, sobretudo na região Sul de Minas Gerais, tornam-se indispensáveis o seu estudo e acompanhamento com o uso de novas tecnologias. Neste contexto, o uso de novas geotecnologias, como o sensoriamento remoto e o Sistema de Informação Geográfica (SIG) na caracterização e mapeamento das áreas ocupadas pela cultura, pode auxiliar o desenvolvimento do setor cafeeiro.

TABELA 1 Comparativo da produção cafeeira nos estados e regiões do Brasil, período de 2001 a 2003

UF/Regiões	Produção (mil sacas beneficiadas de 60 kg)						Variação
	Safr a 2001/2002			Safr a 2002/2003			
	Arábica	Robusta	Total (B)	Arábica	Robusta	Total (A)	
Minas Gerais	12700	40	12740	22675	40	22715	78,3
Sul/Oeste	6200	-	6200	12020	-	12020	93,9
Triângulo/Alto Paranaíba	2900	-	2900	4250	-	4250	46,6
Zona da Mata/Jequitinhonha	3600	40	3640	6405	40	6445	77,1
Espírito Santo	1900	4900	6800	2500	6490	8990	32,2
São Paulo	3050	-	3050	5560	-	5560	82,3
Paraná	540	-	540	1950	-	1950	261,1
Bahia	1700	492	2192	1890	490	2380	8,6
Rondônia	-	1910	1910	-	1960	1960	2,6
Mato Grosso	45	310	355	50	350	400	12,7
Pará	-	250	250	-	290	290	16,0
Rio de Janeiro	150	10	160	250	15	265	65,6
Outros	50	90	140	60	120	180	28,6
Total Brasil	20135	8002	28137	34935	9755	44690	58,8

FONTE: Ministério da Agricultura/CONAB; (Anuário..., 2002).

TABELA 2 Comparativo do parque cafeeiro nos estados e regiões do Brasil, período de 2001 a 2003

UF/Regiões	2001/2002		2002/2003		Variação	
	Área (A)	Cafeeiros (B)	Área (C)	Cafeeiros (D)	%	
	(ha)	(mil covas)	(ha)	(mil covas)	C/A	D/B
<b>Minas Gerais</b>	<b>891100</b>	<b>2287000</b>	<b>1062000</b>	<b>2295300</b>	<b>19,2</b>	<b>0,4</b>
Sul/Oeste	473400	1203000	545000	1174000	15,1	-2,4
Triângulo/Alto Paranaíba	140700	459000	177000	475000	25,8	3,5
Zona da Mata/Jequitinhonha	277000	625000	340000	646300	22,7	3,4
<b>Espírito Santo</b>	<b>510930</b>	<b>995260</b>	<b>538960</b>	<b>1130920</b>	<b>5,5</b>	<b>13,6</b>
<b>São Paulo</b>	<b>223470</b>	<b>407170</b>	<b>228520</b>	<b>418120</b>	<b>2,3</b>	<b>2,7</b>
<b>Paraná</b>	<b>127700</b>	<b>277200</b>	<b>120000</b>	<b>284000</b>	<b>-6,0</b>	<b>2,5</b>
<b>Bahia</b>	<b>95600</b>	<b>208600</b>	<b>101440</b>	<b>276378</b>	<b>6,1</b>	<b>32,5</b>
<b>Rondônia</b>	<b>245000</b>	<b>340000</b>	<b>208000</b>	<b>302500</b>	<b>-15,1</b>	<b>-11,0</b>
<b>Mato Grosso</b>	<b>38100</b>	<b>74200</b>	<b>36900</b>	<b>77500</b>	<b>-3,1</b>	<b>4,4</b>
<b>Pará</b>	<b>19400</b>	<b>38100</b>	<b>19500</b>	<b>38100</b>	<b>0,5</b>	<b>0,0</b>
<b>Rio de Janeiro</b>	<b>10400</b>	<b>20400</b>	<b>12480</b>	<b>26200</b>	<b>20,0</b>	<b>28,4</b>
<b>Outros</b>	<b>17500</b>	<b>33600</b>	<b>18980</b>	<b>36060</b>	<b>8,5</b>	<b>7,3</b>
<b>Total Brasil</b>	<b>2179200</b>	<b>4681530</b>	<b>2346780</b>	<b>4885078</b>	<b>7,7</b>	<b>4,3</b>

FONTE: Ministério da Agricultura/CONAB; (Anuário..., 2002).

## **2.2 Geoprocessamento**

Segundo Assad (1998), o principal objetivo do geoprocessamento é fornecer ferramentas computacionais para que os diferentes analistas determinem as evoluções espacial e temporal de um fenômeno geográfico e as suas inter-relações.

Para Teixeira (1997), citado por Bolfe (2001) e Vettorazzi (1996), citado por Valente (2001), o geoprocessamento é a tecnologia que abrange o conjunto de procedimentos de entrada, manipulação, armazenamento e análise de dados espacialmente referenciados, isto é, possíveis de serem georreferenciados.

Rosa & Brito (1996), citados por Lemos & Ferreira (2002b), definem o termo geoprocessamento como sendo o conjunto de tecnologias destinadas à coleta e tratamento de informações espaciais, bem como o desenvolvimento de novas aplicações e de novos sistemas, utilizado por profissionais que trabalham diretamente com dados da superfície terrestre.

Até alguns anos atrás, quando necessitava-se de informações sobre as características naturais da superfície terrestre, tais como distância entre pontos estratégicos, bem como de sua ocupação por casas, bairros, cidades, fazendas e outros, eram utilizados sistemas de sobreposição de mapas desenhados em folhas transparentes, calculando-se assim, por meio de planímetros, curvímetros, entre outros aparelhos mecânicos, as informações de interesse. Mas, esses métodos apresentavam problemas, pois tinham um alto custo, despendiam muita mão-de-obra e tempo e, o que era pior, tinham uma baixa precisão.

Nos últimos anos, com o grande desenvolvimento da tecnologia nas áreas da informática, tanto em hardwares como nos softwares e a conseqüente redução dos valores desses equipamentos, os problemas anteriores citados vêm sendo amplamente minimizados. Tecnologias como o GPS (sigla em inglês para Sistema de Posicionamento Global), scanner, mesa digitalizadora, impressoras

de alta definição e processadores poderosos instalados em computadores pessoais contribuem de intensa forma para o avanço de estudos e trabalhos sobre informações da superfície terrestre.

### **2.2.1 Sensoriamento remoto**

Steffen et al. (1981), citados por Costa (2000), conceituam o sensoriamento remoto como um conjunto de atividades com o objetivo de caracterizar as propriedades dos alvos naturais, realizando a sua detecção, registro e análise do fluxo de energia radiante, seja refletido ou emitido por eles.

Segundo Novo (1992), citado por Valente (2001), o sensoriamento remoto pode ser definido como a utilização de sensores para a aquisição de informações sobre objetos presentes na superfície terrestre sem que haja o contato direto entre eles. Para o mesmo autor, os sensores são equipamentos que coletam a energia proveniente do objeto, convertendo-a em sinal capaz de ser registrado e que possibilite a extração de informações sobre os alvos terrestres.

Para Campbell (1987), Jensen (1996), Crosta (1993) e Brown et al. (2000), citados por Valente (2001), a grande aplicação do sensoriamento remoto em diferentes ramos da ciência, deve-se à sua capacidade de coletar dados multiespectrais em diferentes escalas, diferentes épocas e oferecer uma grande gama de estudos e análises de fenômenos da natureza ao longo do tempo.

Segundo Rosa (1995), citado por Costa (2000), os sistemas sensores utilizados para a detecção dos alvos podem ser classificados de acordo com a resolução espacial (imageadores e não-imageadores), segundo a fonte de radiação (ativa e passiva) e segundo o sistema de registro (fotográfico e não-fotográfico). O mesmo autor especifica cada um deles:

- sensores imageadores: são os sistemas sensores que fornecem a imagem de um alvo qualquer. Por exemplo, o scanner e a câmera fotográfica;

- sensores não-imageadores: são os sistemas sensores que fornecem informações sobre o alvo por meio de gráficos, tabelas ou outros tipos de informação, porém, não fornecem a imagem do respectivo alvo. Por exemplo, os radiômetros e termômetros de radiação;

- sensores ativos: estes sistemas sensores têm como característica principal uma fonte própria de radiação eletromagnética. Como exemplo, citam-se o radar e uma câmera fotográfica com “flash”;

- sensores passivos: estes sistemas sensores não têm uma fonte própria de radiação eletromagnética. Por exemplo, radiômetros, termômetros de radiação e o sensor TM/Landsat;

- sensores fotográficos: são os sistemas sensores que utilizam como fonte de registro um filme fotográfico. Estes sistemas sensores são também denominados sensores suborbitais. É um exemplo a câmera fotográfica acoplada a uma aeronave qualquer;

- sensores não-fotográficos: são os sistemas sensores que não utilizam o filme como fonte de registro. Estes sistemas sensores são também denominados sensores orbitais. Por exemplo, os sensores TM/Landsat, MSS/Landsat e SPOT acoplados em satélites orbitais.

A superfície terrestre contém inúmeros elementos e fatores que a tornam extremamente complexa. As imagens orbitais para o sensoriamento remoto produzidas pelos sensores dos satélites têm informações geográficas no formato “raster”. Cada pixel contido nestas imagens carrega consigo a representação da radiância média de um local por meio dos valores de brilho (Crosta, 1993), citado por Hott (2000). Segundo Loch (1990), a tecnologia de sensoriamento remoto orbital, que tem como principal característica a repetitividade, torna-se uma importante ferramenta para o mapeamento das características da superfície terrestre a curtos intervalos de tempo.

### **2.2.1.1 Imagens orbitais**

O emprego das imagens orbitais no estudo da superfície terrestre torna-se cada vez mais utilizado e difundido nas mais variadas áreas da ciência. As imagens orbitais proporcionam uma melhor capacidade de gerenciar e estudar os alvos da superfície terrestre, visto fornecerem maior número de informações espectrais refletidas pelos alvos, como também proporcionarem um acompanhamento temporal de menor ciclo desses alvos da superfície terrestre.

A idéia de desenvolver um sistema sensor para registrar a radiação refletida e/ou emitida pelos alvos da superfície terrestre, a partir de plataformas orbitais, surgiu após a análise das primeiras fotografias tiradas da Terra, durante os programas espaciais Mercury e Gemini. Desta maneira, foi concebido o sistema RBV (Return Beam Vidicon), semelhante a uma câmera de televisão, que permitia o registro instantâneo de uma certa área do terreno. Após a concepção do RBV, muitos outros sistemas sensores orbitais foram desenvolvidos, para fins de coleta de informações de recursos naturais (Moreira, 2001).

A partir da descoberta desta nova tecnologia, Coutinho (1997) afirma que a criação de câmaras multiespectrais, acopladas aos satélites, possibilitou a aquisição de dados sincrônicos, diacrônicos e sistemáticos da superfície terrestre, minimizando problemas, como os elevados custos na aquisição de fotografias aéreas, ausência de séries temporais de grandes extensões da superfície terrestre, distorções causadas pelas objetivas utilizadas e problemas na estruturação dos mosaicos.

Dentre os sensores multiespectrais mais utilizados podem-se citar os sensores multiespectrais MSS-Landsat e, atualmente, os sensores TM-Landsat e HRV-SPOT. A curto prazo, existe uma clara tendência da melhoria da resolução espectral e espacial dos sensores orbitais. Já encontram-se em operação sensores hiperespectrais como o ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and

Reflection Radiometer), com catorze canais distribuídos nas faixas do visível, infravermelho próximo e infravermelho termal. Após o ano de 2001, sensores com mais de 100 canais poderão gerar dados para uma comunidade de usuários caracterizada por uma enorme diversidade de aplicações nos mais diferentes campos do conhecimento (Fiorio, 2002).

#### **2.2.1.2 Sistema Landsat Thematic Mapper (TM)**

O sistema Landsat, originalmente denominado ERTS (Earth Resources Technology Satellite), é um sistema orbital para sensoriamento remoto que foi desenvolvido a partir das primeiras fotografias orbitais com o objetivo de se obter uma ferramenta prática no inventário e no manejo dos recursos naturais da Terra (Garcia, 1982 e Novo, 1995).

Segundo Moreira (2001), a partir do ano de 1984, a NASA colocou em órbita o sensor TM (Thematic Mapper), que apresentava melhorias no que diz respeito às resoluções espectral, espacial, temporal e radiométrica em relação aos primeiros sensores orbitais. Esse sistema passou a fazer parte da carga útil dos satélites Landsat 4, 5, 6 e 7, sendo que no Landsat 6 o sistema não chegou a operar, devido à destruição do satélite durante o lançamento. De acordo com Novo (1989), citado por Moreira (2001), entende-se por carga útil aqueles equipamentos que estão a bordo do satélite exclusivamente para a coleta de informações sobre a superfície terrestre.

Segundo Machado (2002), o objetivo deste sistema é o registro da radiação emitida e/ou refletida pelos alvos terrestres em grandes áreas, fornecendo imagens reais da superfície da Terra, de forma que podem ser atualizadas constantemente e a um baixo custo.

O sensor TM opera em 7 faixas espectrais, também chamadas bandas espectrais do espectro eletromagnético, que são apresentadas na Tabela 3. A



resolução espacial é entendida como a capacidade do sensor em captar e registrar a menor área possível no terreno. No caso do sensor TM, essa resolução espacial equivale a 30 x 30m no terreno, ou seja, tudo que estiver na superfície terrestre em uma área de 900m<sup>2</sup> será registrado em um único pixel da imagem produzida. Para a banda 6 essa resolução espacial é igual a 120 x 120m. Na versão do Landsat 7, lançado em 1999, o sensor ETM+ (Enhancement Thematic Mapper Plus) apresenta uma nova banda, a banda 8 (PAN), que opera numa banda pancromática com resolução espacial de 15m x 15m. Na Tabela 4 são apresentadas as modificações realizadas para este último sensor.

TABELA 3 Características espectrais e espaciais do sensor TM

Banda	Faixa espectral		Região do espectro	Resolução espacial (m x m)
	nm	μm		
1	450 - 520	0,45 - 0,52	Azul	30
2	520 - 600	0,52 - 0,60	Verde	30
3	630 - 690	0,63 - 0,69	Vermelho	30
4	760 - 900	0,76 - 0,90	IV <sup>1</sup> /Próximo	30
5	1550 - 1750	1,55 - 1,75	IV/Médio	30
6	10400 - 12500	10,4 - 12,5	IV/Termal	120
7	2080 - 2350	2,08 - 2,35	IV/Médio	30

1 - IV – Infravermelho.

FONTE: Moreira (2001).

TABELA 4 Características espectrais e espaciais do sensor ETM+ do LANDSAT-7

Banda	Faixa espectral		Região do espectro	Resolução espacial (m x m)
	nm	μm		
1	450 - 520	0,45 - 0,52	Azul	30
2	<b>530 - 610</b>	<b>0,53 - 0,61</b>	Verde	30
3	630 - 690	0,63 - 0,69	Vermelho	30
4	<b>780 - 900</b>	0,76 - 0,90	IV <sup>1</sup> /Próximo	30
5	1550 - 1750	1,55 - 1,75	IV/Médio	30
6	10400 - 12500	10,4 - 12,5	IV/Termal	120
7	<b>2090 - 2350</b>	2,08 - 2,35	IV/Médio	30
8	520 - 900	0,52 - 0,90	VIS <sup>2</sup> /IV/Próximo	15

1 - IV – Infravermelho.

2 - VIS – Visível.

FONTE: Moreira (2001).

As aplicações das bandas do TM, segundo SERE et al. (1998), citadas por Machado (2002) são:

- banda 1: usada em estudos batimétricos, pois apresenta grande penetração em corpos d'água. Detalha a turbidez da água e correntes em corpos de águas costeiras. É sensível à fumaça proveniente de queimadas e atividade industrial;

- banda 2: usada em estudos da qualidade da água, pois tem grande sensibilidade à presença de sedimentos em suspensão na água e uma boa penetração em corpos d'água;

- banda 3: sensível à vegetação verde, densa e uniforme. Fornece um bom contraste entre diferentes tipos de cobertura vegetal (campo, cerrado e floresta); é útil para diferenciar áreas vegetadas das áreas descobertas (solo

exposto, estradas e áreas urbanas). Nas áreas vegetadas a tonalidade de níveis de cinza da imagem é mais escura e nas áreas descobertas a tonalidade de níveis de cinza da imagem é mais clara;

- banda 4: sensível à radiação eletromagnética refletida pela vegetação verde, define bom contraste entre água e solo, permitindo o mapeamento de corpos d'água como rios, lagos, reservatórios, áreas úmidas de várzeas, geologia e geomorfologia e macrófitas aquáticas. Tem grande sensibilidade também à absorção da radiação eletromagnética pelos óxidos de ferro e titânio, comuns em solos muito intemperizados das regiões tropicais;

- banda 5: permite estudar o teor de umidade nas plantas e detectar estresses na vegetação causados pela falta de água. Também é usada para obter informações sobre a umidade do solo;

- banda 6: usada para estudos de propriedade termal dos solos e mapeamento da temperatura de águas oceânicas superficiais;

- banda 7: essa banda é importante para os estudos nas áreas de geologia, solos e geomorfologia, visto ser uma banda sensível à morfologia do terreno. Muito usada também para identificar minerais presentes no solo e detectar a umidade em que se encontram os solos.

### **2.2.2 Sistemas de Informações Geográficas (SIGs)**

Os SIGs se inserem como ferramentas que têm a capacidade de manipular as funções que representam os processos ambientais, de uma forma simplificada e eficiente, que permite uma economia de recursos e tempo. Dados de diferentes fontes e diferentes escalas, como, por exemplo, imagens de satélite, fotografias aéreas, mapas topográficos, etc; são agregados e manipulados, resultando em mapas temáticos com as informações desejadas (Costa, 2000).

Segundo Lemos & Ferreira (2002a), os Sistemas de Informações Geográficas constituem uma ferramenta de atividades de geoprocessamento.

Segundo Calijuri & Rohm (1994), os SIGs combinam os avanços da cartografia automatizada, dos sistemas de manipulação de banco de dados e do sensoriamento remoto com desenvolvimento metodológico da análise geográfica, para produzir um conjunto distinto de procedimentos analíticos que auxiliam no gerenciamento e na atualização constante das informações disponíveis.

Os sistemas de informação geográfica são ferramentas poderosas, pois permitem a integração e análise de dados, mesmo que eles sejam provenientes de fontes muito diferentes. A importância destes sistemas pode ser avaliada pelas suas aplicações nos mais diversos campos do conhecimento da humanidade. No geral, esses sistemas têm sido aplicados no manejo de recursos naturais, no planejamento urbano, planejamento de tráfego, planejamento empresarial, militar e muitos outros (Alves, 1993).

Após a Segunda Guerra Mundial, o uso da tecnologia dos computadores conduziu a desenvolvimentos extraordinários em diversas áreas do conhecimento. Mas foi somente após a década de 1960 que foram dados os primeiros passos para aplicar a tecnologia computacional na obtenção de dados espacializados de recursos naturais (Ramalho, 1994).

Para Crosta (1999), o processamento digital tem como função fornecer meios para facilitar a identificação e a extração da informação contida nas imagens, para uma posterior interpretação e estudo delas. Para alcançar esse objetivo, são utilizados sistemas espacializados de computação para atividades de análise e manipulação das imagens brutas. O resultado desse processo computacional é a produção de outras imagens, estas já contendo informações específicas, extraídas e realçadas a partir das imagens originais, estando aptas a serem estudadas e analisadas.

Segundo Machado (2002), o processamento de informações espaciais por meio do sensoriamento remoto e SIGs, quando comparado à metodologia tradicional, possibilita a caracterização do meio físico de uma região com maior rapidez e a um custo menor, uma vez que demanda uma quantidade menor de levantamentos de campo.

### **2.2.3 O uso do sensoriamento remoto e Sistemas de Informações Geográficas (SIGs) no desenvolvimento da cultura cafeeira**

Torna-se cada vez mais crescente o uso de técnicas de sensoriamento remoto aliadas aos SIGs no estudo e caracterização da cultura cafeeira, no intuito de promover o desenvolvimento tecnológico para esta cultura, contribuindo para um eventual avanço na produção cafeeira do país.

Segundo Marques et al. (2003), o uso do sensoriamento remoto e SIGs no desenvolvimento da cafeicultura e outras culturas em geral, pode contribuir para a melhoria da produtividade dessas culturas sem que haja o comprometimento dos recursos naturais disponíveis.

Ramirez et al. (2003) utilizaram imagens pancromáticas do sensor do satélite Ikonos-II na identificação de áreas com plantios de café. Os resultados obtidos indicam que as imagens do canal pancromático deste satélite podem ser úteis na melhoria da identificação de plantios distintos de café, principalmente em áreas com plantios menores (próximo a 4,4 ha), proporcionando um aumento na precisão da determinação da área plantada de café, devido à melhor resolução espacial (1 m no modo pancromático) e radiométrica (11 bits) deste sensor.

Moreira et al. (2003), estudando o comportamento espectral da cultura cafeeira em imagens dos sensores TM e ETM+ dos satélites Landsat-5 e 7, respectivamente, concluíram que a banda 4 (infravermelho-próximo) foi apropriada para diferenciar áreas cultivadas com café das áreas cobertas por

mata e pastagem. Os mesmos autores ressaltam ainda que a melhor época para o mapeamento dessa cultura, por meio de dados orbitais, é nos meses mais secos, quando o contraste espectral das áreas cafeeiras e outros alvos de ocupação do solo é maior.

Vieira et al. (2003) e Machado (2002), trabalhando nas características espectrais da cultura do café, concluíram que a banda 4 foi a que melhor se apresentou para o estudo do comportamento espectral da cultura cafeeira.

Segundo Souza et al. (2003), o SIG mostrou-se uma ferramenta adequada no mapeamento das áreas de café arábica irrigado na bacia do rio São Francisco, em Minas Gerais. Os mapas temáticos gerados por esta classificação poderão auxiliar na tomada de decisões quanto ao planejamento e implantação dessa cultura na área estudada.

Lacerda et al. (2001), Alves et al. (2003) e Bertoldo et al. (2003) trabalharam na caracterização de agroecossistemas cafeeiros em Minas Gerais. Todos estes autores concluíram que as técnicas de geoprocessamento, aliadas aos trabalhos de campo, foram muito eficientes para esta caracterização, principalmente na quantificação e distribuição espacial das áreas cafeeiras em relação aos atributos do meio físico.

O presente trabalho, que também visa contribuir para o desenvolvimento da cultura cafeeira, propõe fornecer informações das características espectrais das áreas cafeeiras, as quais têm o seu comportamento espectral influenciado pelas diferentes classes de solo e as orientações da vertente em que se localizam. Com isso, pretende-se colaborar para futuros estudos relacionados ao mapeamento interpretativo e/ou automatizado das áreas cultivadas pelo café, utilizando-se de imagens orbitais e novas geotecnologias, como o sensoriamento remoto e os SIGs.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Caracterização geral da área de estudo

A área de estudo situa-se na região Sudeste do Brasil, no sul do estado de Minas Gerais, compreendendo a maior parte do município de Machado e pequena parte dos municípios de Serrania, Alfenas, Fama e Paraguaçu, os quais pertencem à microrregião Alfenas. A microrregião apresenta seu centro posicionado geograficamente a 21°40'40'' de latitude sul e 45°55'45'' de longitude oeste.

A área total do município de Machado é de 587,1 km<sup>2</sup>. Sua altitude média está em torno de 1.703 m, com máxima de 1.310 m (na cabeça do córrego da Barra) e mínima de 835 m (na foz do córrego Coroadó). Os principais acessos à região são a partir de Belo Horizonte, pela BR-381 e MG-453; a partir de São Paulo, pela BR-381 e MG-179 e a partir do Rio de Janeiro, pela BR-116 a BR-354 e MG-179 (Machado Online, 2003).

A área de estudo, conforme mostra a Figura 1, delimita-se geograficamente pelas coordenadas 21°31'09'' e 21°42'04'' de latitude sul (correspondentes a 7.620 e 7.600 km N, projeção UTM, fuso 23, Datum Córrego Alegre, MG) e coordenadas 46°02'38'' e 45°47'30'' de longitude oeste (correspondentes a 392 e 418 km E, projeção UTM, fuso 23, Datum Córrego Alegre, MG), englobando uma área total de 520 km<sup>2</sup>, ou seja, 52 mil ha.

O clima é o Cwa, segundo a classificação de Köppen, apresentando temperaturas moderadas com verão quente e chuvoso. A temperatura média anual é de 21,20°C; a média mensal máxima é de 27°C, a média mensal mínima de 14,20°C e o índice pluviométrico médio anual é de 1.824 mm (Machado Online, 2003).

Quanto à hidrografia, a região faz parte da bacia hidrográfica do rio Grande, constituindo uma porção das terras alagadas pela represa de Furnas. O complexo hídrico é formado, principalmente, pelos rios Dourado, Machado, São Tomé e Sapucaí, além dos córregos Coroado, Jacutinga e Ouvidor (Machado Online, 2003).

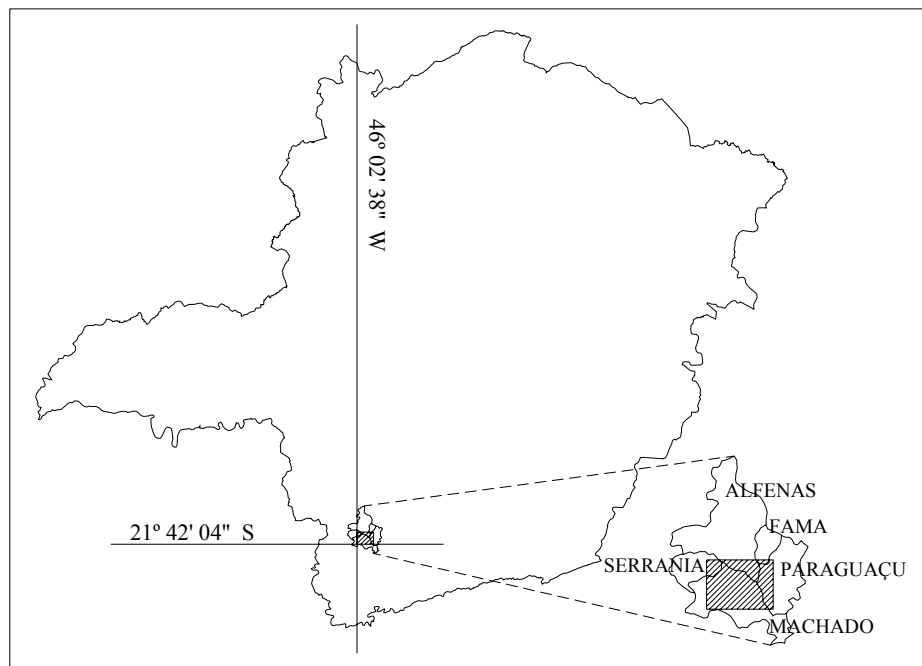


FIGURA 1 Localização geográfica da área de estudo

A geologia corresponde ao Complexo Varginha, principalmente constituído por gnaisses migmatíticos (DNPM/CPRM, 1979).

Segundo Lacerda et al. (2001) e Alves et al. (2003), a avaliação da geomorfologia e distribuição de solos da região em questão permitiu o zoneamento geomorfo-pedológico em dois grandes ambientes principais representativos: o ambiente geomorfo-pedológico N-NE-E, com domínio de



Latossolos, em relevo predominantemente plano a ondulado, ocorrendo na região norte, nordeste e leste em relação à área urbana de Machado e o ambiente geomorfo-pedológico W-NW, com domínio de solos com horizonte B textural, além de ocorrências de Cambissolos e solos litólicos, em relevo predominantemente ondulado a montanhoso, ocorrendo na região oeste e noroeste em relação à área urbana de Machado. Os mesmos autores verificaram, na região, a grande ocorrência de solos com horizontes diagnósticos superficiais A húmico e A proeminente em altitudes superiores 950 m de altitude.

### **3.2 Material**

Os dados sobre o relevo foram extraídos de cartas topográficas planialtimétricas do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), na escala de 1:50000. As cartas topográficas do IBGE, que constituíram a base cartográfica para o estudo, foram as folhas SF-23-I-III-1 - MACHADO e SF-23-V-D-IV-2 - CAMPESTRE, ambas na escala 1:50000, apresentando equidistância das curvas de nível de 20 m, projeção Universal Transversa de Mercator (UTM), Datum horizontal Córrego Alegre, MG, fuso 23 e Datum vertical Marégrafo Imbituba, SC.

A base completa de dados referentes à superfície terrestre foi extraída da imagem orbital do satélite LANDSAT-7/ETM+ (Enhancement Thematic Mapper Plus), datada de 17 de junho de 2000 entre 9:00 e 10:00 horas. A imagem corresponde à órbita/ponto 219/75, apresentando as bandas espectrais 1, 2, 3, 4, 5 e 7, com resolução espacial de 30 x 30 m e formato digital.

Os dados referentes aos solos da região foram extraídos do trabalho de Lacerda et al. (2001), que mapearam os solos da região, agrupando-os em classes apropriadas, utilizando técnicas de geoprocessamento e modelagem associadas a levantamentos de campo.

Algumas ortofotos em preto e branco da área de interesse, datadas de 30/08/1964, na escala aproximada de 1:60000, foram usadas a fim de eliminar eventuais dúvidas quanto ao relevo.

Usou-se o software SPRING (Sistema de Processamento de Informações Geográficas), do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), na sua versão 3.6 para Windows, para o processamento digital da imagem e sua análise espacial, bem como a digitalização dos dados altimétricos e a geração dos diferentes planos de informações.

O software 6s, na sua versão 4.1 para Windows, desenvolvido em parceria pelo Departamento de Geografia da Universidade de Maryland, Estados Unidos e o Laboratório de Óptica Atmosférica da Universidade de Ciências e Técnicas de Lille, França, foi usado para a transformação do valor do pixel, de nível de cinza para valor de reflectância real da superfície terrestre.

Para a localização e georreferenciamento dos dados no campo, foi utilizado o GPS (sigla em inglês para Sistema de posicionamento Global) de navegação, com precisão de 4 m. Este aparelho, após captar sinais emitidos por satélites, permite a localização em tempo real no globo terrestre, assim como a velocidade e o tempo, sendo, portanto, muito útil nos trabalhos de campo.

Os perfis representativos dos solos estudados na área, constituídos por um LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico húmico (LVAd), um ARGISSOLO VERMELHO Eutrófico típico (PVe) e um ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico típico (PVAd), foram descritos e amostrados de acordo com os critérios estabelecidos por Lemos & Santos (1996). A classificação foi feita de acordo com a metodologia proposta pelo Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 1999).

O estudo estatístico foi realizado pelo software SISVAR 4.3 do Departamento de Ciências Exatas da UFLA, para análise dos dados.

### **3.3 Métodos**

#### **3.3.1 Registro da imagem orbital**

A imagem orbital engloba várias bandas espectrais, já citadas anteriormente. Para o eventual estudo, selecionaram-se três bandas espectrais representativas da superfície terrestre, as bandas 3, 4 e 5. Portanto, temos a imagem na banda 3, imagem na banda 4 e imagem na banda 5.

Estas três imagens, no formato tiff, foram importadas para o módulo IMPIMA do SPRING e salvas no formato grib (Gridded binary), cujo formato apresenta valores de ponto de grade do tipo binário. Assim faz com que haja um ganho em desempenho de transmissão dos dados e economia de memória para armazenamento dos dados.

No módulo principal do SPRING, importaram-se as imagens no formato grib e deu-se início ao processo de registro. O registro pode ser entendido como o processo de georreferenciamento da imagem, ou seja, o processo de locar os pontos na imagem de acordo com um sistema referencial geográfico conhecido. Com o uso da carta topográfica, selecionaram-se pontos de controle para o registro, sendo esses pontos reconhecidos tanto na carta como na imagem bruta (sem registro). A fim de exemplificar o processo do registro, toma-se o primeiro ponto, localizado na carta topográfica; extrai-se a sua localização na projeção UTM e, posteriormente, na imagem orbital da tela do SPRING, indica-se o mesmo ponto e informa-se ao software a coordenada geográfica em que o ponto se encontra. Com isso, o software adotará essa nova coordenada para este ponto e, após indicados no mínimo quatro pontos para o registro, o software é capaz de localizar geograficamente qualquer outro ponto na imagem.

Adotou-se um número de dez pontos de controle, para uma melhor precisão do georreferenciamento, conforme recomendado por Mather (1993). O

polinômio usado na transformação geométrica foi o de primeiro grau, tendo o erro dos pontos de controle do registro das imagens, valores inferiores a um, adequando-se aos parâmetros propostos por Milne (1998) e Townshend et al. (1992), ambos citados por Machado (2002).

### **3.3.2 Digitalização das cartas topográficas planialtimétricas**

Os dados referentes à altimetria foram digitalizados, isto é, transcritos no formato digital a partir dos dados analógicos das cartas topográficas planialtimétricas do IBGE. A digitalização foi realizada pelo software SPRING, por meio de mesa digitalizadora, sendo digitalizados, para toda a área de estudo, pontos cotados e as isolinhas cotadas eqüidistantes de 20 m, também chamadas curvas de nível. As curvas de nível foram usadas para gerar o modelo numérico de terreno (MNT) da área, que constitui o formato tridimensional do relevo. A geração deste modelo é de tamanha importância visto que permite a elaboração de outros importantes planos de informação (PIs), como classes altimétricas, classes de declive e classes de orientação das vertentes. O MNT foi elaborado a partir do modelo Triangulated Irregular Network (TIN) do tipo Delaunay. Segundo Resende (2000), este modelo representa melhor o relevo do que o modelo retangular.

### **3.3.3 Transformação do número digital do pixel em valor de reflectância**

Após devidamente registradas, as imagens (bandas 3, 4 e 5) tiveram seus valores digitais convertidos para valores de reflectância, os quais, segundo Epiphanyo & Formaggio (1988) e Machado (2002), representam melhor as propriedades físicas do alvo superficial terrestre, pois eliminam a influência atmosférica na imagem.

Segundo Luiz et al. (2003), o valor de reflectância é importante para se estudar o comportamento espectral do alvo de interesse, pois possibilita comparar imagens orbitais obtidas por diferentes sensores ou, ainda, em diferentes épocas do ano.

Foi aplicada a metodologia proposta por Luiz et al. (2003) para a transformação dos números digitais para valores de reflectância, que recomenda os seguintes passos: transformação dos valores digitais para valores de radiância, para valores de reflectância aparente (sob efeito da atmosfera) e, finalmente, para reflectância real.

Os cálculos para a transformação foram realizados no software 6s 4.1 para Windows, obtendo assim as imagens (bandas 3refle, 4refle e 5refle) com os devidos valores de reflectância real para cada pixel.

#### **3.3.4 Interpretação de imagem**

A interpretação de imagem foi realizada diretamente sobre a composição colorida das bandas 3, 4 e 5 em filtros B, R e G, respectivamente. Campanhas de campo foram importantes para averiguar e confirmar as classes de uso da terra selecionadas.

As classes de uso da terra selecionadas foram: café em produção, mata e outros usos. Convencionaram-se estas classes por meio das seguintes características:

- classe café em produção: lavouras cafeeiras com idade superior a 3 anos;
- classe mata: compreende áreas de matas nativas exuberantes e matas de capoeira;
- classe outros usos: são as áreas que não se encaixam nas características descritas anteriormente.

As classes de interesse, após terem sido identificadas sobre a imagem orbital, foram digitalizadas em um plano de informação (PI) temático chamado “uso interpretado”, por meio do software SPRING.

### **3.3.5 Classificação de imagens pelo SPRING**

A fim de averiguar-se qual o melhor classificador automatizado de imagens disponível no software SPRING para a individualização das classes de uso da terra na área de estudo, realizou-se uma classificação feita por meio de imagem segmentada, ou seja, por um classificador por região, usando o algoritmo Battacharya e outra classificação feita de forma supervisionada, pixel a pixel, usando o algoritmo Maxver (máxima verossimilhança). Segundo Moreira (2001), o algoritmo classificador de forma supervisionada leva em consideração a informação espectral de cada pixel, enquanto o algoritmo classificador por região considera a informação espectral e espacial do pixel em relação aos seus vizinhos.

Os treinamentos dos classificadores foram feitos sobre amostras coletadas dentro dos limites definidos pela interpretação da imagem orbital, ou seja, sobre as informações do PI “uso interpretado” sobreposto à imagem composta pelas bandas 3, 4 e 5.

Foram gerados a partir das classificações, um PI temático, chamado “uso Battacharya” e outro PI temático, chamado “uso Maxver”.

### **3.3.6 Análise da exatidão dos classificadores de imagem do SPRING**

A exatidão das classificações dos PIs gerados pelas classificações automatizadas do software SPRING foi medida por meio dos métodos estatísticos Kappa e Tau. Segundo Moreira (2001), estes métodos são muito

utilizados para avaliar a concordância entre a referência de campo e os mapas temáticos, obtidos a partir dos classificadores automatizados. Os índices Kappa e Tau obtidos foram comparados em tabelas propostas respectivamente por Moreira (2001) e Machado (2002), a fim de avaliar a qualidade das classificações.

Os dados utilizados pelos métodos estatísticos Kappa e Tau foram calculados com base nas matrizes de erro, as quais foram definidas por operações de tabulação cruzada entre os PIs “uso interpretado” e “uso Battacharya” e entre os PIs “uso interpretado” e “uso Maxver”, por intermédio do SPRING.

A seguir são apresentados os cálculos a partir das matrizes de erros para a determinação dos índices Kappa e Tau.

Para a obtenção dos índices, usam-se as seguintes fórmulas:

- para o índice Kappa:

$$K = (Po - Pc) / (1 - Pc)$$

em que K é o índice Kappa, Po é a exatidão geral ou valor observado e Pc é o valor esperado. Po e Pc são determinados por:

$$Po = \frac{\sum_{i=1}^M n_{ij}}{N} \quad \text{e} \quad Pc = \frac{\sum_{i=1}^M n_{i+} \cdot n_{j+}}{N^2}$$

em que M é o número de classes presentes na matriz de erros;  $n_{ij}$  representa o número de observações na linha i e coluna j, ou seja, os valores classificados corretamente;  $n_{i+}$  e  $n_{j+}$  são os totais marginais da linha i e da coluna j, respectivamente e N representa o número total de unidades amostrais contempladas pela matriz.

Para o índice Tau:

$$T = (Po - 1/M) / (1 - 1/M)$$

em que T é o índice Tau, Po é o valor observado e M é o número de classes.

As unidades amostrais para a matriz de erro podem ser os pixels ou a área compreendida por estes pixels. Neste trabalho foram utilizadas para o cálculo dos índices Kappa e Tau, as unidades de cada área compreendida pelo conjunto de pixels de cada classe.

### **3.3.7 Geração dos planos de informação (PIs)**

A partir dos dados altimétricos das cartas do IBGE, que foram usados para gerar o módulo numérico de terreno (MNT), conforme mencionado anteriormente, foi possível, por meio do software SPRING, mais precisamente pelas ferramentas “DECLIVIDADE (saída: declividade e exposição)” e “FATIAMENTO” do menu “MNT”, elaborar novos PIs com dados sobre o relevo regional, tais como: altitude, declividade e orientação das vertentes, denominados, respectivamente, PI “altitude”, PI “declividade” e PI “vertentes”.

Para a geração do PI “altitude”, por meio da ferramenta “FATIAMENTO”, estabeleceram-se as seguintes classes, ou seja, as faixas de altitude em metros: < 800, 800-900, 900-1000, 1000-1100, 1100-1200 e > 1200.

Para a geração do PI “declividade”, por meio da ferramenta “DECLIVIDADE (saída: declividade)”, padronizaram-se as seguintes classes, ou seja, as faixas de declive em porcentagem: plano (0%-3%), suave-ondulado (3%-12%), ondulado (12%-24%), forte-ondulado (24%-45%) e montanhoso (> 45%).

Para a geração do PI “vertentes”, por meio da ferramenta “DECLIVIDADE (saída: exposição)”, padronizaram-se oito classes de acordo com o azimute do quadrante, ou seja, as faixas de orientação das vertentes em graus, conforme segue: 0° a 45° (N-NE), 45° a 90° (NE-E), 90° a 135° (E-SE),



135° a 180° (SE-S), 180° a 225° (S-SW), 225° a 270° (SW-W), 270° a 315° (W-NW), 315° a 360° (NW-N) e áreas que não possuem orientação definida, isto é, as áreas planas.

### **3.3.8 Amostragem espectral das áreas com café em produção**

Com a imagem orbital na banda 4refle apresentando os valores de reflectância real, carregada na tela do SPRING, foram sobrepostos o PI “solos”, apresentando o mapa de solos proposto por Lacerda et al. (2001); o PI “vertentes”, que apresenta as faixas de orientação das vertentes, porém, para este caso, sem a classe áreas planas e o PI “uso interpretado”, porém, agora, somente com a classe café em produção. A partir daí procedeu-se à amostragem aleatória dos pixels, coletando-se seus respectivos valores de reflectância para as áreas com café em produção sobre os diferentes solos e as diferentes orientações das vertentes.

O PI “solos” apresenta as seguintes unidades de mapeamento: associação **LVA1 + LV1** (em relevo plano); associação **LVA2 + LV2** (em relevo suave ondulado); associação **LVA1 + LV1 A húmico**; associação **LVA2 + LV2 A húmico**; associação **PVA + PV**; associação **PVA + PV A proeminente**; associação **PVA + PV + CX**; associação **PVA + PV + CX A proeminente** e associação **CX + RL A proeminente**. As denominações para as classes de solos das unidades de mapeamento são: LVA - LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO; LV - LATOSSOLO VERMELHO; PVA - ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO; PV - ARGISSOLO VERMELHO; CX - CAMBISSOLO HÁPLICO e RL - NEOSSOLO LITÓLICO.

O PI “vertentes” apresenta as classes a seguir: N-NE; NE-E; E-SE; SE-S; S-SW; SW-W; W-NW; NW-N.

### 3.3.9 Análise estatística

A análise estatística foi realizada usando-se as fontes de variação: solo e orientação da vertente. Utilizou-se o modelo estatístico fatorial (solo [9] vs orientação da vertente [8]). O objetivo da análise estatística foi verificar se há diferença significativa quanto aos valores de reflectância na banda 4, para as áreas com café em produção, dentre as várias classes de solo e as diferentes orientações das vertentes em que se apresentam estas lavouras cafeeiras.

O espaço amostral utilizado foi a própria classe café em produção do PI “uso interpretado” sobreposto aos PIs “solos” e “vertentes” e, evidentemente, a imagem orbital na banda 4refle, a qual apresenta as informações da reflectância.

Decidiu-se adquirir elementos da amostra de forma aleatória, num total de 30 pixels para cada unidade de mapeamento de solos e classe de orientação da vertente, de tal forma que o delineamento estatístico utilizado pudesse validar a suposição de normalidade da amostra, necessária para a comparação dos tratamentos (solos e orientações das vertentes), segundo recomendação de Cochran & Cox (1966) e Triola (1999). Portanto, o tamanho da amostra compreende 2.160 elementos amostrais ( $9 \times 8 \times 30$ ).

Utilizou-se o software SISVAR 4.3 para os cálculos estatísticos, aplicando-se a análise de Shapiro Wilk para verificar a normalidade dos dados amostrais e, para o teste de comparação das médias, optou-se pelo teste de Scott-Knott, por este eliminar o sentido de ambigüidade presente em outros testes. Como a análise pelo teste de Shapiro Wilk confirmou a normalidade dos dados amostrais, procedeu-se à análise de variância, na qual foram usadas as seguintes fontes de variação: solo, orientação da vertente e solo vs orientação da vertente. Analisou-se o desdobramento dos tratamentos para averiguar quais solos diferem dentro de cada orientação e quais orientações diferem dentro de cada solo, obtendo-se assim um maior detalhamento da análise estatística.

### **3.3.10 Cruzamento dos planos de informação**

Por meio da ferramenta “cruzamento de planos de informação” disponível no SPRING, cruzaram-se as informações espacializadas das áreas com café em produção com as orientações das vertentes, classes de solo, faixas de altitude e faixas de declividade.

As áreas com café em produção utilizadas para o cruzamento são provenientes da classe café em produção do PI “uso interpretado”.

Para o cruzamento entre as informações espacializadas das orientações das vertentes e as áreas com café em produção, realizou-se o cruzamento PI “uso interpretado” x PI “vertentes”.

Para o cruzamento entre as informações espacializadas das classes de solos e as áreas com café em produção, realizou-se o cruzamento PI “uso interpretado” x PI “solos”, o qual foi obtido do mapa de solos elaborado por Lacerda et al. (2001), como já foi mencionado anteriormente.

Para o cruzamento entre as informações espacializadas das classes de altitude e as áreas com café em produção, realizou-se o cruzamento PI “uso interpretado” x PI “altitude”.

Por fim, para o cruzamento entre as informações espacializadas das classes de declividade e as áreas com café em produção, realizou-se o cruzamento PI “uso interpretado” x PI “declividade”.

### **3.3.11 Análise de solo dos perfis estudados**

As amostras de solo coletadas dos horizontes dos perfis estudados foram levadas ao setor de recepção de amostras de solo, no Departamento de Ciência do Solo (DCS) da Universidade Federal de Lavras (UFLA), onde foram

devidamente secas ao ar, destorroadas e peneiradas em malha de 2 mm, obtendo-se assim as amostras de terra fina seca ao ar (TFSA). Estas amostras foram encaminhadas para o Laboratório de Análise de Solo do DCS, onde realizaram-se as análises físicas e químicas.

#### **3.3.11.1 Análises físicas**

Foi empregada a análise granulométrica para fornecer a distribuição quantitativa das partículas unitárias menores que 2 mm, utilizando-se o método da pipeta (Day, 1965), no qual a argila total foi extraída pela dispersão química com 10 ml de NaOH 1N em 15 min no agitador Hamilton Beach a 6.000 rpm.

#### **3.3.11.2 Análises químicas**

O complexo sortivo foi determinado segundo metodologias propostas por Vettori (1969) e EMBRAPA (1997). Cálcio, magnésio e alumínio trocáveis foram extraídos com KCl 1 N. A extração do potássio e fósforo foi realizada em solução  $\text{H}_2\text{SO}_4$  0,025 N + HCl 0,05 1 N. O hidrogênio foi extraído pelo acetato de cálcio 1N a pH 7. O pH foi determinado potenciometricamente utilizando-se a relação solo/água de 1:2,5. A matéria orgânica foi determinada por meio de sua oxidação pelo  $\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  4N +  $\text{H}_2\text{SO}_4$  10 N. Com os resultados dos dados analíticos, calculou-se a soma de bases trocáveis (S), CTC efetiva (t), CTC a pH 7 (T), saturação de bases (V) e saturação por alumínio (m), em que:

$$S = \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{K}^+ \text{ (cmol}_c\text{.dm}^{-3}\text{)},$$

$$t = \text{SB} + \text{Al}^{3+} \text{ (cmol}_c\text{.dm}^{-3}\text{)},$$

$$T = \text{SB} + (\text{H} + \text{Al}) \text{ (cmol}_c\text{.dm}^{-3}\text{)},$$

$$V = (\text{SB}/T) \times 100 \text{ (\%)} \text{ e}$$

$$m = (\text{Al}^{3+}/t) \times 100 \text{ (\%)}.$$

## **4 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **4.1 Interpretação e tratamento da imagem orbital**

#### **4.1.1 Imagem orbital da área estudada**

A imagem orbital devidamente georreferenciada permite o estudo interpretativo da superfície terrestre imageada pelo sensor ETM+ do satélite Landsat-7. Por meio da análise visual e também da análise espectral dos alvos terrestres presentes na imagem, pôde-se avaliar, quantificar e estudar parâmetros dos recursos naturais imageados. Dentre os recursos naturais, podem-se citar os corpos d'água, áreas de várzea, áreas de plantio de café, pastagem natural e plantada, matas ciliares e reservas florestais, dentre outras. Além das características de uso e cobertura terrestre, a imagem permite, de maneira satisfatória, observar as características geológicas e geomorfológicas na área de interesse.

A Figura 2 mostra a imagem da área de estudo, captada pelo sensor ETM+ do Landsat 7 em composição colorida contrastada, distribuída com filtros de cor para a banda 3 em azul (B), banda 4 em vermelho (R) e banda 5 em verde (G). Com essa composição para as bandas, faz-se com que a vegetação menos exuberante, menos densa ou ainda a vegetação intercalada com solo exposto, se revelem nas cores mais esverdeadas e a vegetação mais exuberante ou com massa verde mais adensada, se revele nas cores mais avermelhadas.

Na grande maioria dos trabalhos científicos envolvendo imagens orbitais no estudo da vegetação, usa-se o filtro vermelho para realçá-la. Isto se deve, segundo Machado (2002), ao fato do olho humano ser mais sensível às tonalidades vermelhas, ficando mais fácil destacar com mais nitidez as coberturas vegetais na área a ser estudada.

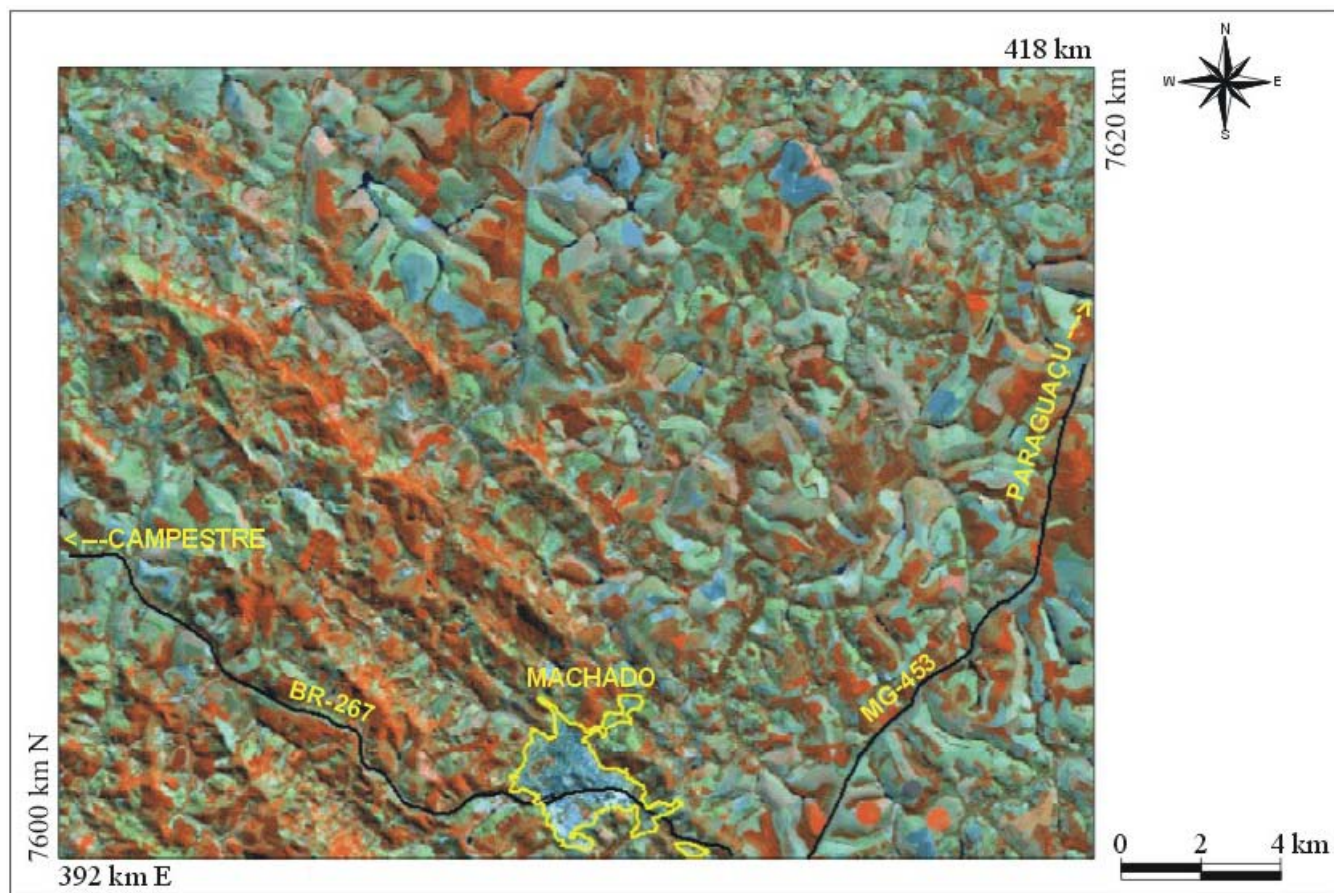


FIGURA 2 Imagem Landsat ETM+, composição colorida realçada em bandas 3(B), 4(R) e 5(G)

#### **4.1.2 Geração do mapa de uso da terra pela interpretação da imagem**

A Figura 3 mostra o resultado da interpretação realizada sobre a imagem orbital e a Tabela 5, os totais das áreas ocupadas por cada classe de uso da terra avaliada.

A interpretação realizada diretamente sobre a imagem orbital requer grande experiência do intérprete, devido à complexidade dos atributos visuais característicos de cada classe de uso a ser mapeado. Um outro fator que interfere bastante na exatidão da interpretação é a resolução espacial do sensor orbital do satélite que foi usado no trabalho. Na interpretação realizada sobre uma imagem orbital de sensores de alta resolução, como é o caso do satélite Ikonos, por exemplo, torna-se mais fácil detectar as classes de uso de interesse, em que a resolução espacial chega a  $1 \text{ m}^2$  ( $1 \times 1 \text{ m}$ ).

Neste trabalho, como foi utilizada a imagem orbital do sensor ETM+ do satélite Landsat-7, a qual apresenta uma resolução espacial de  $900 \text{ m}^2$  ( $30 \times 30 \text{ m}$ ), houve dificuldade em separar alguns limites das classes de uso da terra. Portanto, são de fundamental importância as campanhas de campo realizadas sobre a área de estudo. As dúvidas de certas áreas quanto ao uso da terra, na imagem orbital, foram checadadas no campo com o uso do GPS, para identificação e determinação do uso atual da terra.

Segundo Moreira (2001), alguns conhecimentos sobre a área a ser fotointerpretada, como clima, tipo de solo, tipo de relevo, vegetação primária e o calendário agrícola da região, ajudam de maneira considerável nas tomadas de decisão do intérprete.

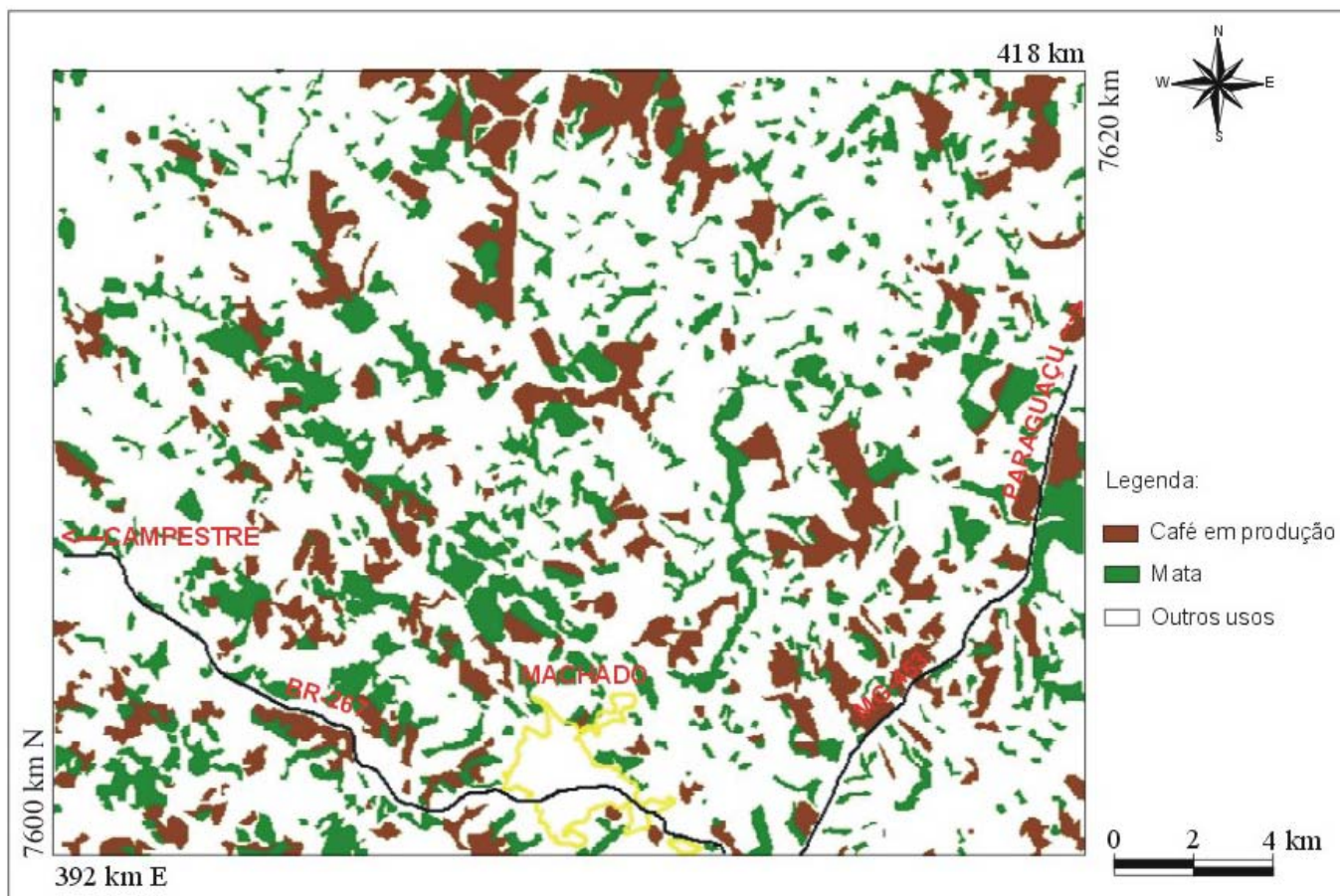


FIGURA 3 Mapa de uso da terra apresentando as classes interpretadas sobre a imagem orbital



TABELA 5 Áreas das classes de uso da terra mapeadas pela interpretação da imagem orbital

<b>Classe de uso da terra</b>	<b>Área (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Área (%)</b>
Café em produção	71,49	13,75
Mata	80,10	15,40
Outros usos	368,41	70,85
<b>Total</b>	<b>520</b>	<b>100</b>

É importante decidir sobre o nível de detalhamento e a precisão que será requerida para o trabalho de interpretação com uso de imagens orbitais. Isto porque para uma maior precisão, será necessário o uso de imagens com alta resolução, demandando assim um custo bem mais elevado do que se forem usadas imagens de baixa resolução, isto para a mesma área de trabalho.

Por meio da análise da Figura 3, observa-se uma predominância das áreas de mata na parte oeste do mapa. Isso ocorre pelo fato dessas áreas serem caracterizadas pelo relevo mais acidentado, o qual dificulta enormemente o manejo de culturas nessas áreas. Esse fator traz uma grande vantagem, que é a proteção natural dos recursos hídricos presentes nessa parte mais acidentada, ou seja, sem o desmate dessas áreas, contribui-se para o abastecimento freqüente de nascentes, córregos e riachos que, por conseguinte, irão suprir o regime hídrico dos rios nessa região.

#### **4.1.3 Geração do mapa de uso da terra pela classificação automatizada do SPRING**

Na Tabela 6, estão disponíveis dados sobre o total das áreas de cada classe de uso da terra classificada pelos algoritmos ou classificadores temáticos

Battacharya e Maxver, comparadas ao total das áreas interpretadas sobre a imagem orbital.

TABELA 6 Áreas das classes de uso classificadas pelo SPRING e mapeadas pela interpretação da imagem orbital

Classe de uso da terra	Classificador Battacharya		Classificador Maxver		Interpretado	
	Área		Área		Área	
	km <sup>2</sup>	%	km <sup>2</sup>	%	km <sup>2</sup>	%
Café em produção	64,11	12,33	117,89	22,67	71,49	13,75
Mata	148,61	28,58	133,35	25,64	80,10	15,40
Outros usos	307,28	59,09	268,76	51,69	368,41	70,85
<b>Total</b>	<b>520</b>	<b>100</b>	<b>520</b>	<b>100</b>	<b>520</b>	<b>100</b>

Notam-se, pela Tabela 6, as diferenças ocorridas nas somas das áreas para cada tipo de classificador, devido ao método e precisão de classificação de cada algoritmo.

Por meio da Tabela 6, comparando-se os resultados de cada classe de uso da terra dos classificadores com os resultados da interpretação da imagem orbital, percebe-se que o classificador Battacharya superestimou as áreas da classe mata e subestimou as áreas das classes café em produção e outros usos. O classificador Maxver superestimou as áreas das classes mata e café em produção e subestimou as áreas da classe outros usos.

O treinamento para o classificador, ou em outras palavras, a aquisição dos dados amostrais sobre a imagem orbital, influencia de forma marcante a performance do classificador. Nesse contexto, é necessário, para o usuário do software SPRING, entre outros, um bom conhecimento da região de trabalho a

ser classificada, pois, na aquisição das amostras, há de se ter o cuidado de não incluir no conjunto de amostras de certa classe de uso áreas pertencentes a outra classe diferente daquela. Existe também o fator resolução espacial da imagem orbital, ou seja, uma imagem com alta resolução espacial promoverá maior precisão na aquisição das amostras pelo intérprete e provavelmente contribuirá para uma classificação mais precisa, ao passo que uma imagem com baixa resolução espacial confundirá mais o intérprete, incorrendo assim numa classificação menos precisa da imagem orbital.

As Figuras 4 e 5 apresentam as imagens classificadas pelos algoritmos.

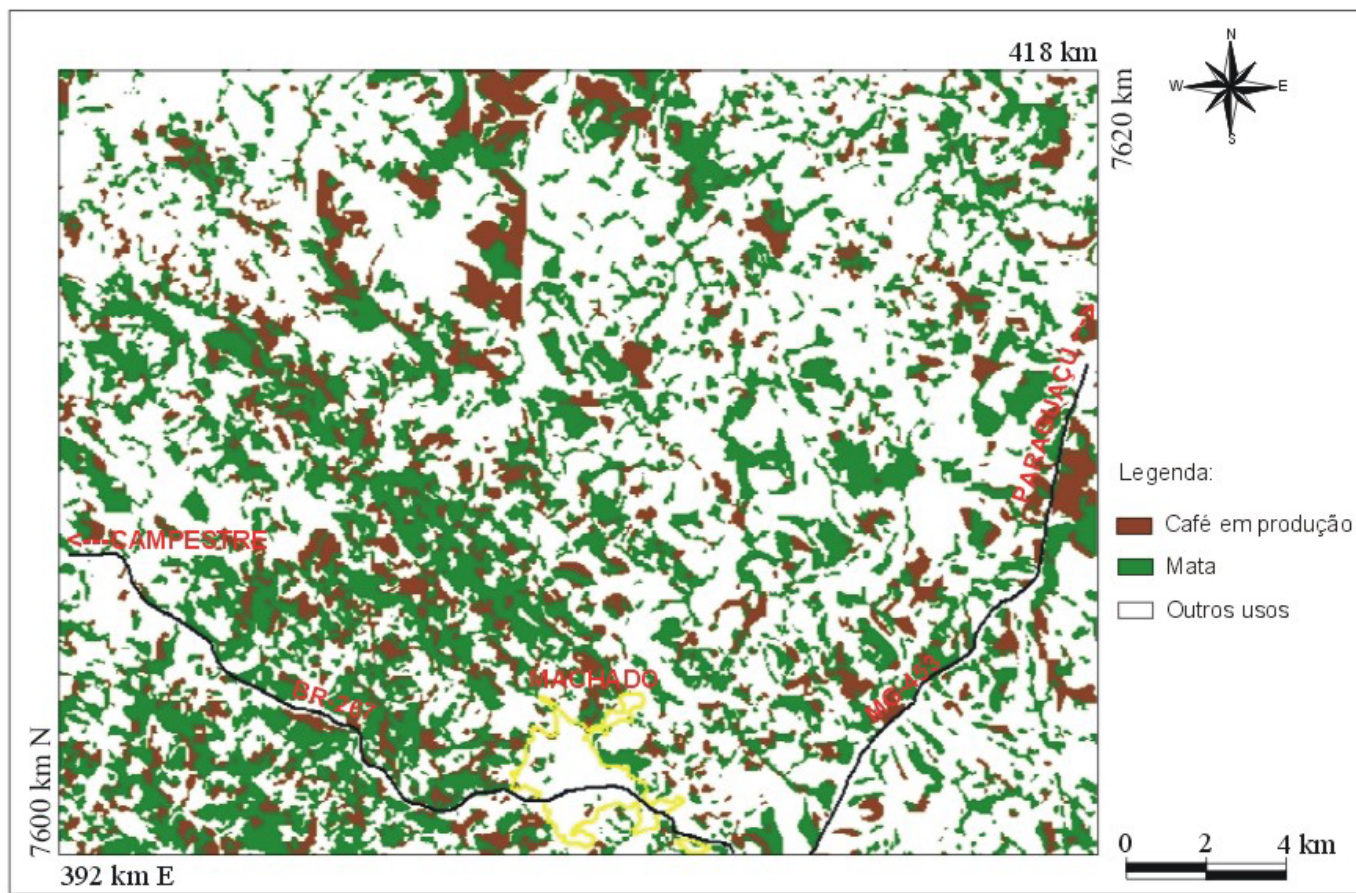


FIGURA 4 Mapa de uso da terra classificado pelo algoritmo Battacharya

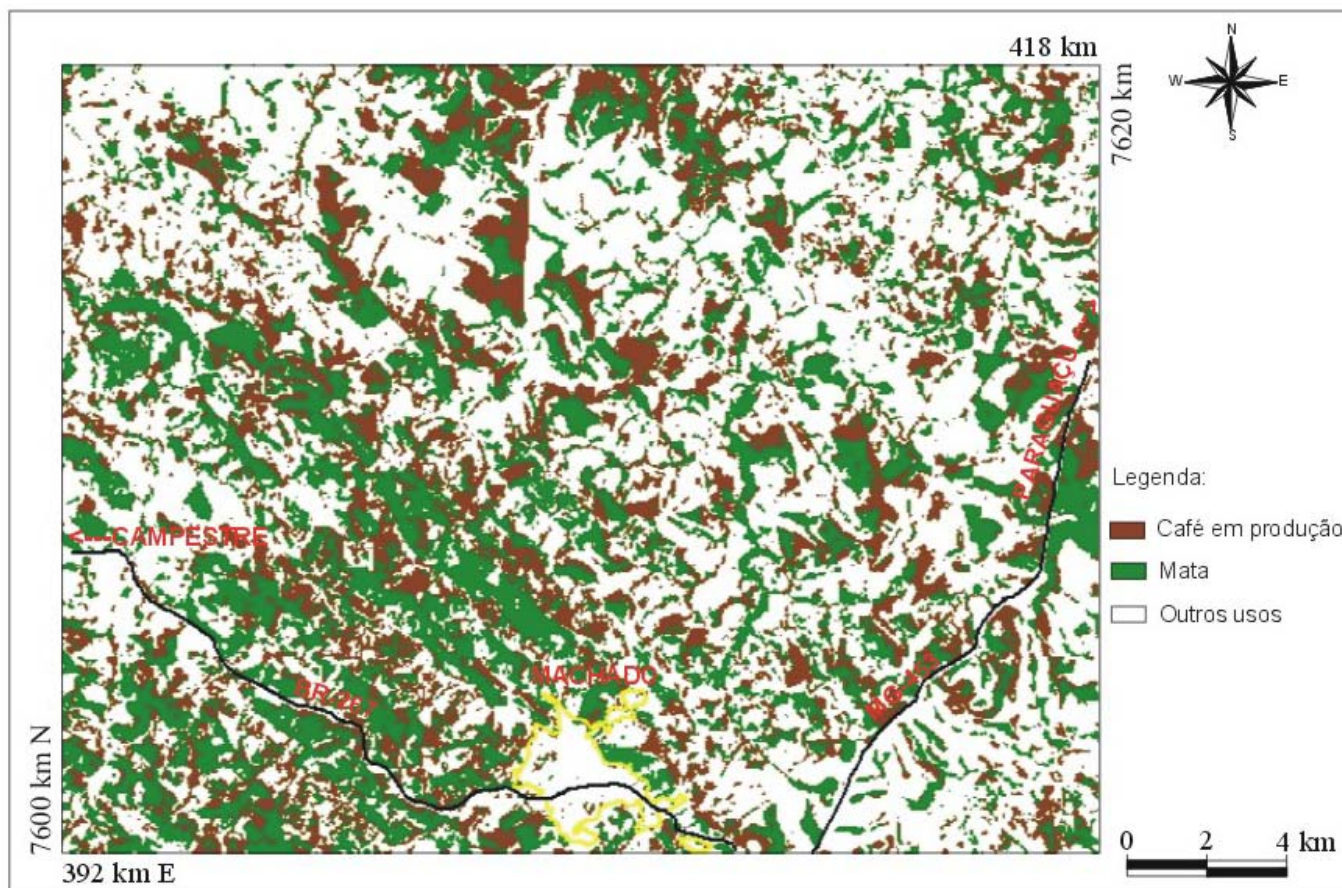


FIGURA 5 Mapa de uso da terra classificado pelo algoritmo Maxver

#### **4.1.4 Avaliação dos classificadores do SPRING**

A fim de averiguar qual foi o melhor classificador da imagem orbital, utilizaram-se os métodos estatísticos Kappa e Tau trabalhados sobre as matrizes de erro. As matrizes de erros foram obtidas pelo cruzamento das áreas espacializadas do PI classificado com o PI interpretado, ou seja, as matrizes de erros foram provenientes da tabulação cruzada entre a imagem interpretada (considerada como referência de campo) e a imagem classificada pelo algoritmo Battacharya e tabulação cruzada entre a imagem interpretada e a imagem classificada pelo algoritmo Maxver.

As Tabelas 7 e 8 apresentam as matrizes de erro provenientes da tabulação cruzada entre os PIs “uso Battacharya” e “uso interpretado” e entre os PIs “uso Maxver” e “uso interpretado”.

O valor da estatística Kappa determinado para cada classificador temático foi comparado aos intervalos de valores contidos na Tabela 9 que, segundo Moreira (2001), tem sido referência para classificar a qualidade de mapas resultantes dos algoritmos classificadores.

Para o valor da estatística Tau encontrado para cada classificador temático, optou-se por compará-lo aos intervalos de dados propostos por Machado (2002), que são apresentados na Tabela 10.

TABELA 7 Matriz de erros da tabulação cruzada entre PI “uso Battacharya” X PI “uso interpretado”

Uso interpretado		Uso Battacharya		
		Classes de uso (áreas em km <sup>2</sup> )		
Classes de uso	Outros usos	Mata	Café em produção	Total
Outros usos	<b>281,56</b>	62,63	24,23	368,41
Mata	12,44	<b>55,34</b>	12,32	80,10
Café em produção	13,28	30,64	<b>27,56</b>	71,49
Total	307,28	148,61	64,11	520,00

TABELA 8 Matriz de erros da tabulação cruzada entre PI “uso Maxver” X PI “uso interpretado”

Uso interpretado		Uso Maxver		
		Classes de uso (áreas em km <sup>2</sup> )		
Classes de uso	Outros usos	Mata	Café em produção	Total
Outros usos	<b>252,48</b>	46,89	69,04	368,41
Mata	9,21	<b>57,22</b>	13,67	80,10
Café em produção	7,07	29,24	<b>35,18</b>	71,49
Total	268,76	133,35	117,89	520,00

TABELA 9 Valores de Kappa associados à qualidade da classificação

Valor de Kappa	Qualidade do mapa temático
< 0,00	Péssima
0,00 – 0,20	Ruim
0,20 – 0,40	Razoável
0,40 – 0,60	Boa
0,60 – 0,80	Muito boa
0,80 – 1,00	Excelente

FONTE: Landis & Koch (1977), citados por Moreira (2001).

TABELA 10 Valores de Tau associados à qualidade da classificação

Valor de Tau	Qualidade do mapa temático
< 0,00	Péssima
0,00 – 0,20	Ruim
0,20 – 0,40	Razoável
0,40 – 0,60	Boa

FONTE: adaptada de Machado (2002).

A seguir é demonstrado o cálculo dos índices Kappa e Tau para a matriz de erros da tabulação cruzada entre os PIs “uso Battacharya” e “uso interpretado”.

$$P_o = (281,56 + 55,34 + 27,56) / 520 = 0,7$$

$$P_c = [(368,41 \times 307,28) + (80,10 \times 148,61) + (71,49 \times 64,11)] / 520^2 = 0,48$$

Portanto:

$$\mathbf{K} = (0,7 - 0,48) / (1 - 0,48) = \mathbf{0,42}$$

$$\mathbf{T} = (0,7 - 1/3) / (1 - 1/3) = \mathbf{0,55}$$



A seguir é demonstrado o cálculo dos índices Kappa e Tau para a matriz de erros da tabulação cruzada entre os PIs “uso Maxver” e “uso interpretado”.

$$P_o = (252,48 + 57,22 + 35,18) / 520 = 0,66$$

$$P_c = [(368,41 \times 268,76) + (80,10 \times 133,35) + (71,49 \times 117,89)] / 520^2 = 0,44$$

Portanto:

$$\mathbf{K} = (0,66 - 0,44) / (1 - 0,44) = \mathbf{0,39}$$

$$\mathbf{T} = (0,66 - 1/3) / (1 - 1/3) = \mathbf{0,49}$$

De posse dos valores dos índices Kappa e Tau para as matrizes de erros das tabulações cruzadas, pode-se compará-los às Tabelas 9 e 10 e determinar a qualidade da classificação de cada algoritmo classificador.

Nota-se que o mapa temático elaborado pelo algoritmo Battacharya, após o cruzamento com o mapa interpretado, apresentou a qualidade boa para o índice Kappa e o índice Tau. O mapa temático elaborado pelo algoritmo Maxver apresentou a qualidade razoável para o índice Kappa e boa para o índice Tau. Percebe-se, ainda, que os menores índices, tanto para Kappa como para Tau, pertencem ao mapa temático classificado pelo algoritmo Maxver.

Com base nos índices, conclui-se que o algoritmo Battacharya obteve um melhor rendimento quanto à precisão do mapeamento da imagem orbital, em relação ao algoritmo classificador Maxver.

Provavelmente em vista da baixa resolução espacial da imagem (30 x 30 m) e a grande área de trabalho (520 km<sup>2</sup>), o classificador Battacharya tenha levado vantagem em relação ao classificador Maxver pelo fato do primeiro levar em consideração, na sua classificação, a informação espectral do pixel, além da informação da posição desse pixel em relação aos seus vizinhos. Isso não ocorre com o classificador Maxver, que leva em consideração apenas a informação espectral de cada pixel. Isso acarreta uma maior confusão por parte do

classificador Maxver em relação ao classificador Battacharya na etapa de decidir a que classe pertence cada pixel da imagem orbital.

Há uma grande dificuldade para os classificadores em imagens com resolução espacial mais baixa, devido ao sensor do satélite detectar apenas um valor médio de cada pixel refletido da superfície terrestre. Ora, em um pixel de 900 m<sup>2</sup> (resolução espacial de 30 x 30 m), o sensor perderá muita informação e contribuirá para valores muito aproximados ou até mesmo iguais em alguns pixels de diferentes classes de uso, acarretando assim um maior erro de mapeamento realizado pelos algoritmos classificadores.

Cabe ressaltar que a performance dos classificadores pode eventualmente variar de região para região, ou até mesmo dentro de uma mesma área de estudo, dependendo muito da forma como o usuário do software estiver amostrando a área na imagem a ser trabalhada. Em outras palavras, influenciarão principalmente na qualidade do mapa temático classificado, o número e o tamanho de cada amostra captada pelo usuário.

#### **4.2 Comportamento espectral das áreas cafeeiras em relação aos solos e orientação das vertentes**

Para se analisar o comportamento espectral das áreas com café em produção em relação aos solos e as orientações das vertentes em que se apresentam estas lavouras, optou-se por utilizar a banda 4 (infravermelho próximo), que apresenta as melhores propriedades para se estudar a camada vegetativa na superfície terrestre.

Segundo Mausel et al. (1994) e Shimabukuro et al. (1991), citados por Machado (2002), no infravermelho próximo (banda 4) acontece o espalhamento da luz, ocasionado pela constituição estrutural das folhas, resultando em absorção mínima e alta reflectância da luz. Machado (2002), trabalhando nas

características espectrais da vegetação, concluiu que a banda espectral mais representativa estatisticamente para o café em produção foi a banda 4.

Na Tabela 11 constam os valores médios de reflectância da amostra para as áreas com café em produção sobre os diferentes solos e orientações das vertentes e a avaliação das diferenças estatísticas do desdobramento dos tratamentos, definidas pelo teste de comparação de médias de Scott-Knott.

TABELA 11 Valores médios de reflectância na banda 4, da amostra, para as áreas com café em produção, nas diferentes classes de solos e suas respectivas orientações das vertentes

Unidade de mapeamento	Orientação das vertentes							
	N – NE	NE – E	E – SE	SE – S	S – SW	SW – W	W – NW	NW – N
<b>LVA1 + LV1</b>	47,17Ab <sup>1</sup>	49,20Aa	45,27Aa	44,90Ab	46,97Ac	45,97Ad	44,33Ab	53,87Bc
<b>PVA + PV + CX</b>	40,40Ba	52,33Db	43,23Ba	38,40Aa	34,77Aa	37,57Ab	38,23Aa	47,40Cb
<b>LVA2 + LV2</b>	47,43Bb	47,50Ba	47,27Ba	44,17Ab	39,90Ab	45,93Bd	50,40Cc	51,77Cc
<b>PVA + PV</b>	48,43Bb	46,17Ba	49,47Bb	48,30Bc	39,77Ab	40,80Ac	44,50Ab	41,93Aa
<b>CX + RL A proeminente</b>	56,87Dc	58,83Dc	52,57Cb	42,63Bb	32,63Aa	30,87Aa	35,83Aa	52,93Cc
<b>PVA + PV A proeminente</b>	54,30Cc	56,53Cc	54,40Cb	48,07Bc	42,77Ab	43,37Ac	41,70Aa	48,03Bb
<b>LVA2 + LV2 A húmico</b>	50,40Bb	51,30Bb	47,30Aa	43,37Ab	45,37Ac	43,47Ac	49,17Bc	52,10Bc
<b>PVA + PV + CX A proeminente</b>	58,57Ec	58,67Ec	51,10Db	42,77Cb	31,97Aa	32,00Aa	38,20Ba	51,30Dc
<b>LVA1 + LV1 A húmico</b>	49,40Bb	51,37Bb	49,27Bb	44,97Ab	45,30Ac	47,93Bd	46,10Ab	48,10Bb

1 – Médias acompanhadas de mesma letra maiúscula na horizontal, isto é, quanto às diferentes orientações das vertentes e mesma letra minúscula na vertical, isto é, quanto às diferentes unidades de mapeamento de solos, não diferem significativamente a 5%, pelo teste de Scott-Knott.

A Figura 6 apresenta os mesmos valores médios de reflectância na banda 4, porém, representados em forma gráfica, a fim de contribuir visualmente na comparação das médias dos tratamentos estudados.

A Tabela 12 mostra de forma sintética a comparação estatística das médias de reflectância na banda 4 para as áreas com café em produção nas diferentes classes de solos.

TABELA 12 Comparação das médias de reflectância na banda 4, para as áreas com café em produção nas diferentes classes de solos

<b>Unidade de mapeamento</b>	<b>Médias</b>
<b>PVA + PV + CX</b>	41,54 a <sup>1</sup>
<b>PVA + PV</b>	44,92 b
<b>CX + RL A proeminente</b>	45,40 b
<b>PVA + PV + CX A proeminente</b>	45,57 b
<b>LVA2 + LV2</b>	46,79 c
<b>LVA1 + LV1</b>	47,21 c
<b>LVA1 + LV1 A húmico</b>	47,80 c
<b>LVA2 + LV2 A húmico</b>	47,81 c
<b>PVA + PV A proeminente</b>	48,65 c

1 – Médias acompanhadas de mesma letra não diferem significativamente a 5%, pelo teste de Scott-Knott.

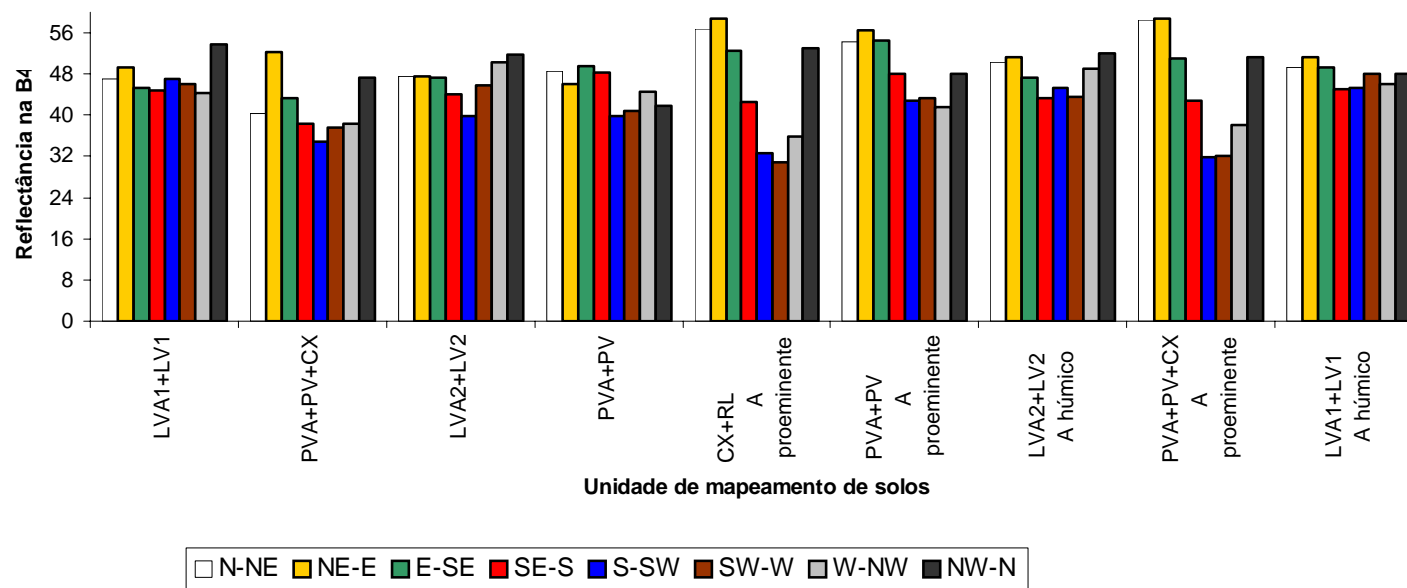


FIGURA 6 Reflectância média na banda 4, para as áreas com café em produção, nas diferentes unidades de mapeamento de solos e suas respectivas orientações das vertentes

Na Tabela 13 encontra-se a comparação estatística dos valores médios de reflectância na banda 4, para as áreas com café em produção nas diferentes orientações das vertentes em que se encontram.

TABELA 13 Comparação das médias de reflectância na banda 4, para as áreas com café em produção nas diferentes orientações das vertentes

<b>Orientação das vertentes</b>	<b>Médias</b>
<b>S-SW</b>	39,94 a <sup>1</sup>
<b>SW-W</b>	40,88 a
<b>W-NW</b>	43,16 b
<b>SE-S</b>	44,17 b
<b>E-SE</b>	48,87 c
<b>NW-N</b>	49,71 c
<b>N-NE</b>	50,33 c
<b>NE-E</b>	52,33 d

1 – Médias acompanhadas de mesma letra não diferem significativamente a 5%, pelo teste de Scott-Knott.

Com relação às áreas com café em produção cultivadas sobre as diferentes classes de solos, nota-se, por meio da Tabela 12, que a classe PVA + PV + CX obteve, em média, uma reflectância menor, diferindo estatisticamente das demais classes; as classes PVA + PV, CX + RL A proeminente e PVA + PV + CX A proeminente não diferiram estatisticamente entre si, diferindo das demais classes e as classes restantes não diferiram estatisticamente entre si, pelo teste de comparação de médias de Scott-Knott, a 5% de erro.

Dentre os fatores que podem estar influenciando a resposta espectral dessas áreas com café em produção, provavelmente podem-se destacar os fatores

como a disponibilidade de nutrientes nos solos destas áreas e o tipo de horizonte mineral superficial, influenciando nos teores de matéria orgânica.

Notam-se as maiores médias na reflectância espectral para as áreas com café em produção sobre solos com horizonte A húmico (LVA1 + LV1 A húmico e LVA2 + LV2 A húmico) e solos com horizonte A proeminente (PVA + PV A proeminente), com exceção dos solos (CX + RL A proeminente e PVA + PV + CX A proeminente), que tiveram médias intermediárias quanto à reflectância. Este fato pode ser explicado pelas características desses horizontes A, ou seja, são horizontes superficiais relativamente espessos e principalmente ricos em matéria orgânica, a qual melhora a estrutura do solo e assim sua condição física. Dessa forma, torna-o mais resistente à erosão e evita maior perda de nutrientes, além de se relacionar com a atividade de muitos organismos no solo, propiciando um ambiente favorável ao desenvolvimento das raízes e, conseqüentemente, um favorecimento do desenvolvimento e vigor das plantas. Nota-se que nas áreas com café em produção compreendidas pelos latossolos, foram altos os valores de reflectância espectral. Provavelmente, esses solos podem estar devidamente adubados e corrigidos quanto à acidez, visto serem solos que se apresentam em áreas mais planas, propícias a um manejo mais adequado, garantindo um melhor desenvolvimento das plantas e resposta espectral maior nessas áreas cafeeiras em relação às demais.

Quanto à reflectância espectral das áreas com café em produção nas diferentes orientações das vertentes, nota-se, ao analisar a Tabela 13, que não houve diferença estatística entre as orientações S-SW e SW-W. Estas áreas obtiveram a menor média, diferindo estatisticamente das demais, enquanto que as orientações W-NW e SE-S não diferiram entre si e ambas diferiram das demais. Já as orientações E-SE, NW-N e N-NE não diferiram entre si e todas diferiram das demais e, finalmente, a orientação NE-E, que obteve a maior média, diferenciando-se estatisticamente de todas as outras orientações.



Acredita-se que a reflectância tenha sido, em média, maior nas vertentes orientadas ao NE-E, pelo fato do sensor orbital ETM+ do satélite Landsat 7 ter características próprias de um sensor passivo, isto é, um sensor que não apresenta uma fonte de radiação própria, sendo dependente de uma fonte de iluminação externa, que no caso é o sol. Somando a isso, tem-se o fato do relevo ser bastante acidentado numa grande parte da área de estudo, além do horário da passagem do satélite, entre 9 e 10 horas da manhã. Nesse horário, os raios solares não estão incidindo com a mesma intensidade em toda a superfície terrestre, ou seja, nas áreas de relevo mais movimentado os raios solares incidem mais fracamente na face oeste e mais fortemente na face leste. Ora, sendo assim, na passagem do satélite nesse horário, o seu sensor detectará maiores índices de reflectância para uma mesma área de cultura na face mais ao leste do que na face mais a oeste em um relevo mais acidentado. No caso das áreas de relevo mais plano, isso não ocorre, sendo a incidência de raios solares aproximadamente uniforme para todas as orientações ou faces do relevo. Tal fato pode ser comprovado analisando-se, na Tabela 11, a interseção dos valores médios de reflectância para as classes de solos LVA1 + LV1 e LVA2 + LV2. Estas classes apresentam-se em relevo mais suavizado em relação às demais, com os valores médios da orientação da vertente NW-N. Nota-se que o valor médio de reflectância nesta orientação, para as duas classes de solos, é o maior e difere estatisticamente das demais orientações.

### **4.3 Relações da cultura cafeeira com o meio físico**

#### **4.3.1 Altimetria da área de estudo**

Por meio da digitalização dos dados altimétricos, que correspondem às isolinhas e pontos cotados, foi possível trabalhar esses dados no software

SPRING. Dessa forma, foram geradas, outras informações importantes quanto ao relevo, como elaboração de classes altimétricas, classes de declividade e as classes de orientações das vertentes.

Com esses dados agora digitalizados, arquivados e disponibilizados em meio digital, torna-se mais prático e rápido o desenvolvimento de futuros trabalhos relacionados à geografia, aos solos e à climatologia, entre outros mais variados campos da ciência, para essa área estudada, correspondente a 520 km<sup>2</sup>; ou seja, tem-se pronto um grande banco de dados referentes ao ambiente físico dessa área.

As isolinhas e os pontos cotados para a área estudada podem ser visualizados na Figura 7. As isolinhas neste mapa estão distanciadas verticalmente de 20 m e os pontos cotados representam os locais mais altos em relação à isolinha mais próxima. O nível médio do oceano Atlântico é o plano de referência para os valores de cota.

Analisando-se as isolinhas na Figura 7, nota-se o relevo mais acidentado na região oeste da área e um relevo mais suavizado na região leste. Esta diferenciação quanto ao relevo promove uma forte diferenciação quanto à gênese dos solos, além de influenciar na ocupação e o desenvolvimento das lavouras cafeeiras para esta área estudada.

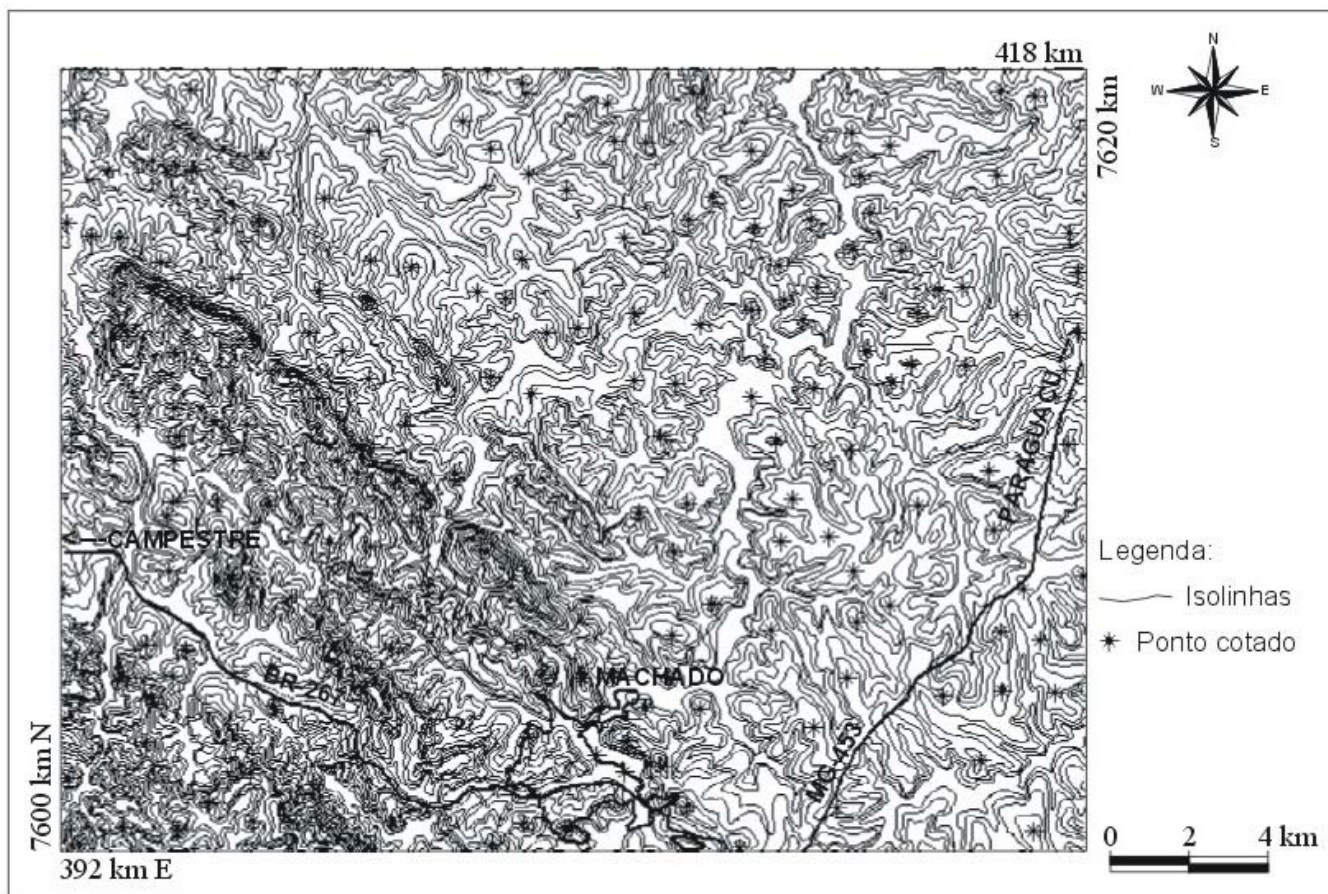


FIGURA 7 Dados altimétricos da área de estudo

#### 4.3.2 Cruzamento entre áreas de café em produção e atributos do meio físico

Foram cruzadas espacialmente as áreas com café em produção, obtidas no PI “uso interpretado”, ou seja, as áreas com café em produção interpretadas com outros PIs apresentando informações espacializadas das classes de solos, orientações das vertentes, faixas de altitude e classes de declividade. O processo de cruzamento espacializado de áreas, também denominado cruzamento de planos de informações, é essencial para o estudo das áreas com café em produção nos diferentes solos e suas respectivas orientações das vertentes, conforme foi apresentado neste trabalho.

A Tabela 14 e a Figura 8 demonstram a distribuição das áreas com café em produção nas diferentes orientações das vertentes em que se localizam.

TABELA 14 Distribuição das áreas com café em produção nas suas orientações das vertentes

Orientação	Área (km <sup>2</sup> )	Área (%)
N-NE	5,87	8,21
NE-E	5,36	7,50
E-SE	6,24	8,73
SE-S	6,13	8,57
S-SW	8,72	12,20
SW-W	10,07	14,09
W-NW	8,24	11,53
NW-N	5,96	8,34
Plano	14,90	20,83
<b>Total</b>	<b>71,49</b>	<b>100</b>

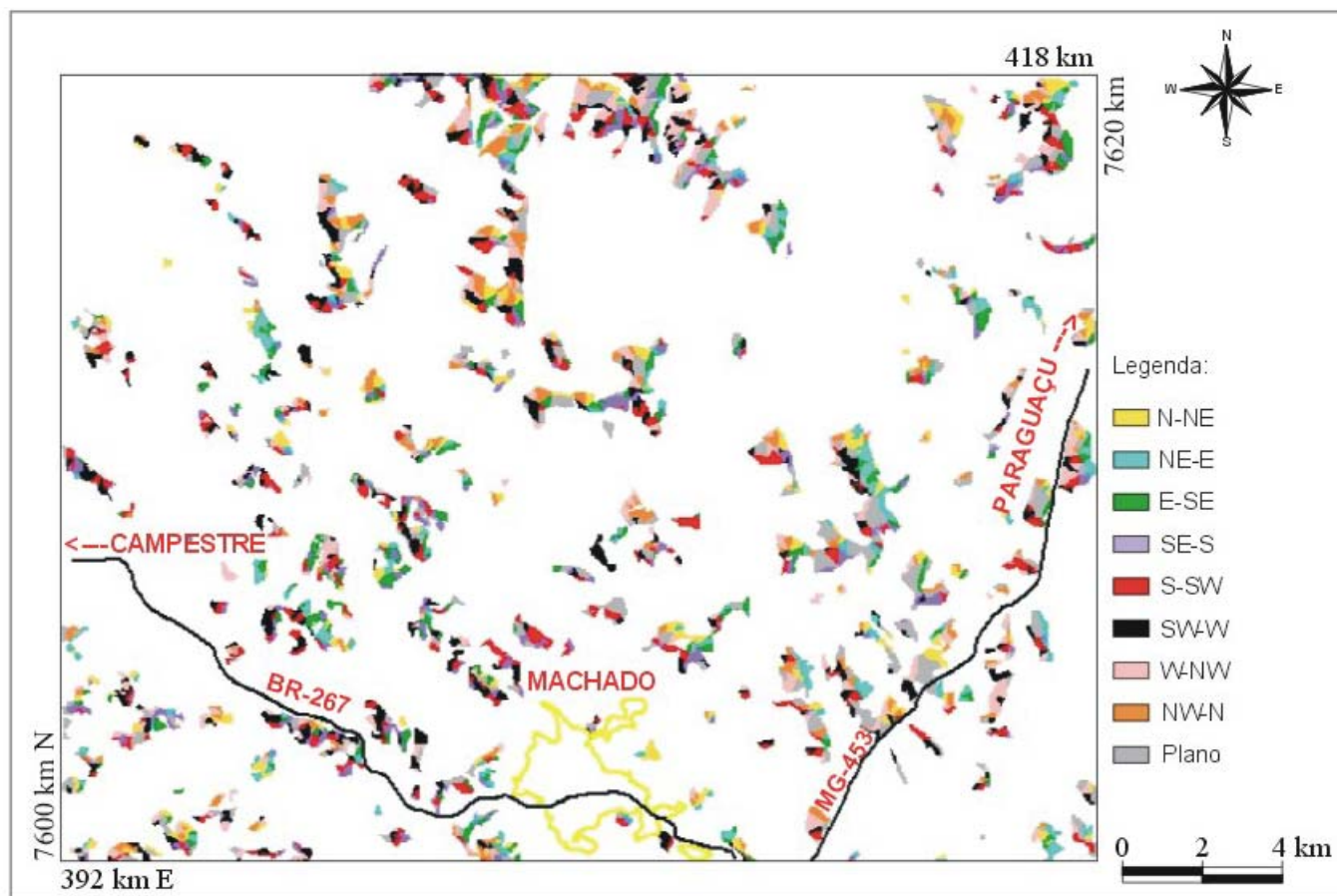


FIGURA 8 Áreas de café em produção por orientação das vertentes

Nota-se, pela Tabela 14, que ocorre uma pequena predominância nas áreas com café em produção nas vertentes orientadas para o oeste. Nota-se, ainda, que uma grande parte dessas áreas com café em produção se encontra em relevo sem orientação definida ou, em outras palavras, situa-se em áreas mais planas.

A Tabela 15 e a Figura 9 apresentam as áreas com café em produção distribuídas nas diferentes classes de solos.

TABELA 15 Distribuição das áreas com café em produção sobre as diferentes classes de solos

<b>Classe de solo</b>	<b>Área (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Área (%)</b>
LVA1 + LV1	13,74	19,22
LVA2 + LV2	20,32	28,42
PVA + PV	17,22	24,09
PVA + PV + CX	4,87	6,81
CX + RL	0,56	0,78
CX + RL A proeminente	1,02	1,43
PVA + PV A proeminente	5,32	7,44
PVA + PV + CX A proeminente	5,67	7,93
LVA1 + LV1 A húmico	1,47	2,06
LVA2 + LV2 A húmico	1,30	1,82
<b>Total</b>	<b>71,49</b>	<b>100</b>

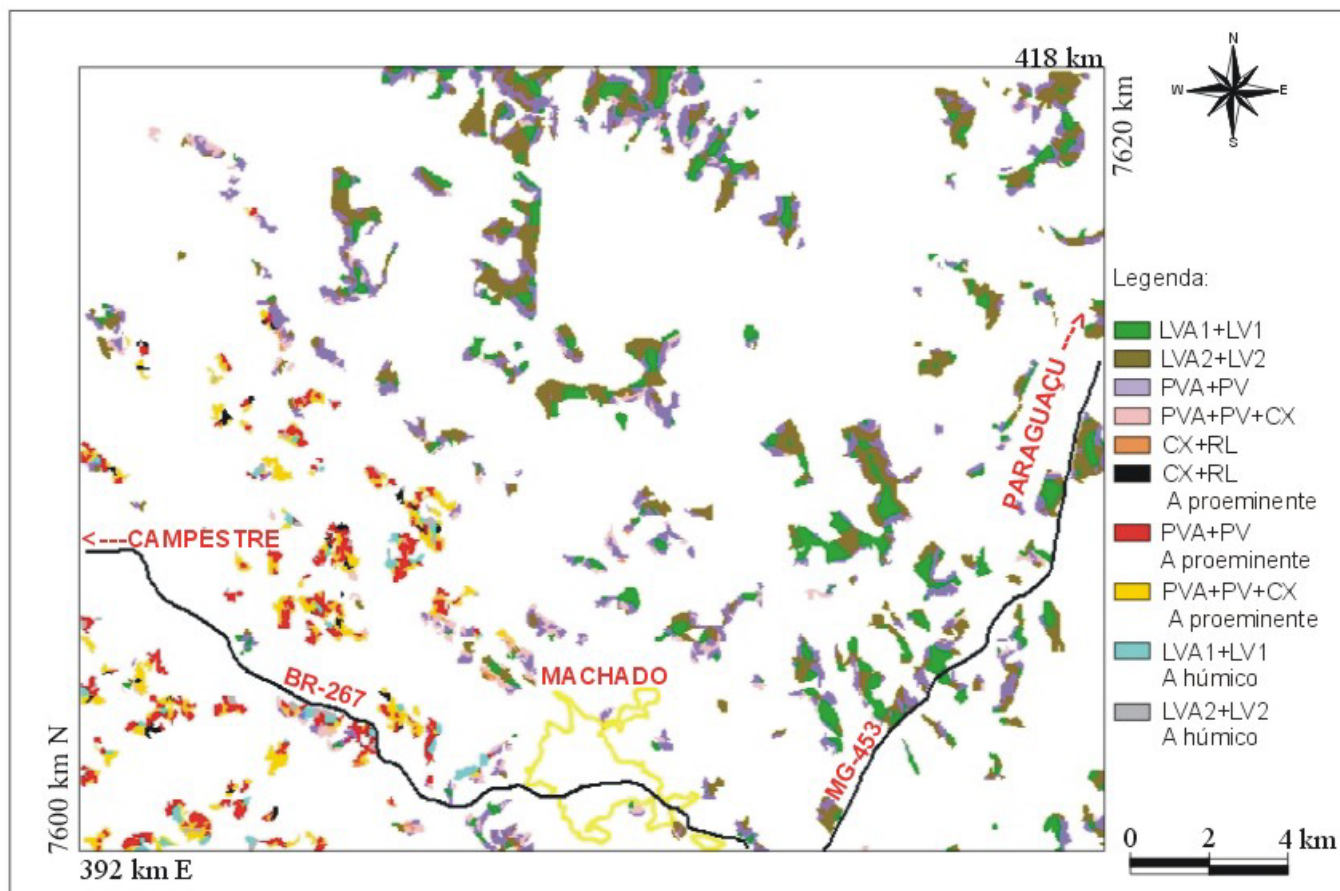


FIGURA 9 Áreas de café em produção por unidade de mapeamento de solos

As Tabelas 16 e 17 demonstram as distribuições das áreas com café em produção nas faixas de altitude e classes de declividade respectivamente.

TABELA 16 Distribuição das áreas com café em produção nas faixas de altitude

<b>Faixa de altitude (m)</b>	<b>Área (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Área (%)</b>
< 800	0,12	0,17
800 – 900	47,52	66,47
900 – 1000	14,95	20,91
1000 – 1100	8,05	11,26
1100 – 1200	0,85	1,19
> 1200	0	0
<b>Total</b>	<b>71,49</b>	<b>100</b>

TABELA 17 Distribuição das áreas com café em produção nas classes de declividade

<b>Classe de declividade (%)</b>	<b>Área (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Área (%)</b>
Plano (0 – 3)	14,64	20,48
Suave-ondulado (3 – 12)	22,16	31,00
Ondulado (12 – 24)	22,88	32,00
Forte-ondulado (24 – 45)	10,24	14,32
Montanhoso (> 45)	1,57	2,20
<b>Total</b>	<b>71,49</b>	<b>100</b>



Nota-se, com o auxílio da Tabela 15, a predominância de áreas com café em produção nas classes de solos LVA1 + LV1, LVA2 + LV2 e PVA + PV. Nesta região estes solos se apresentam, em grande parte, nas áreas com relevo mais suavizado e/ou pouco movimentado. Isto pode ser comprovado ao analisar-se a Tabela 17, a qual revela a maior distribuição dessas áreas com café em produção em relevos com declives suave-ondulado e ondulado.

Analisando-se a Tabela 16, pode-se observar que grande parte das áreas com café em produção se encontra na altitude média de 800 a 900 m, pois o relevo dessa faixa de altitude facilita o plantio e o manejo dessa cultura, além de nessas áreas ocorrer menor risco de geadas. Nos últimos anos tem ocorrido um crescente aumento do cultivo com café sobre áreas de altitudes mais elevadas e com declividades mais acentuadas, devido à falta de novas áreas com relevo mais suavizado aptas ao plantio dessa cultura.

#### **4.3.3 Caracterização dos solos estudados em campo**

A caracterização morfológica para os perfis dos solos estudados pode ser analisada no Anexo A e a seguir são apresentadas as caracterizações química e física.

##### **4.3.3.1 Caracterização química**

Ainda que insuficiente, a análise química para os três perfis representativos dos solos estudados, possibilita avaliar superficialmente a situação média da fertilidade dos solos na região de estudo.

Os resultados das análises químicas dos solos estudados são apresentados na Tabela 18.

TABELA 18 Propriedades químicas dos perfis de solo

Hor.	Prof.	pH	P	K	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Al <sup>3+</sup>	H+Al	S	(t)	(T)	V	m	MO	P-rem
	cm	H <sub>2</sub> O	mg.dm <sup>-3</sup>		cmol <sub>c</sub> .dm <sup>-3</sup>							%		dag.kg <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>
LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico húmico – LVAd															
A1	0-40	4,7	1,7	25	0,3	0,1	1,9	13,7	0,5	2,4	14,2	3,2	81	2,7	9,1
A2	40-80	4,9	1,4	14	0,3	0,1	1,8	12,3	0,4	2,2	12,7	3,5	80	2,2	6,5
A3	80-105	4,8	3,4	30	0,3	0,1	1,6	11,0	0,5	2,1	11,5	4,2	77	2,1	7,2
AB	105-135	4,8	1,2	16	0,3	0,1	1,1	7,0	0,4	1,5	7,4	5,9	71	1,2	6,3
Bw	135-230 <sup>+</sup>	5,1	1,4	16	0,4	0,1	0,2	2,6	0,5	0,7	3,1	17,2	27	0,4	2,4
ARGISSOLO VERMELHO Eutrófico típico – PVe															
A	0-35	5,4	2,3	92	2,0	1,0	0,3	4,5	3,2	3,5	7,7	41,9	8	2,9	23,0
AB	35-60	5,5	1,7	42	2,3	0,8	0,3	4,5	3,2	3,5	7,7	41,6	9	1,9	21,1
Bt	60-200 <sup>+</sup>	5,8	3,1	22	1,6	1,2	0,0	1,5	2,9	2,9	4,4	65,6	0	0,3	13,6

...continua...

TABELA 18, Cont.

Hor.	Prof.	pH	P	K	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Al <sup>3+</sup>	H+Al	S	(t)	(T)	V	m	MO	P-rem
	cm	H <sub>2</sub> O	mg.dm <sup>-3</sup>		cmol <sub>c</sub> .dm <sup>-3</sup>							%		dag.kg <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>
ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico típico – PVAd															
A	0-30	5,1	0,6	34	0,8	0,2	0,7	4,0	1,1	1,8	5,1	21,4	39	1,4	21,1
AB	30-45	5,3	0,6	16	0,5	0,2	0,7	5,0	0,7	1,4	5,7	12,9	49	1,6	14,3
Bt1	45-85	5,3	0,4	11	0,5	0,2	0,4	2,9	0,7	1,1	3,6	20,1	35	1,0	14,7
Bt2	85-140	5,4	0,4	8	0,8	0,2	0,2	1,9	1,0	1,2	2,9	34,9	16	0,5	13,6
2BC	140-200 <sup>+</sup>	5,7	0,1	8	0,8	0,2	0,2	1,7	1,0	1,2	2,7	37,5	16	0,4	16,9

A interpretação dos resultados das análises químicas dos solos estudados, apresentados na Tabela 18, foi realizada com base nos padrões de fertilidade do solo sugeridos pela Comissão... (1999).

Em relação à acidez dos solos, os resultados do pH para o horizonte superficial de cada perfil analisado demonstraram acidez elevada para o solo LVAd (4,7) e acidez média para os solos PVe (5,4) e PVAd (5,1); quanto à classificação química e quanto à classificação agronômica, os valores foram considerados baixos, tendo sido qualificados como inadequados. Quanto aos índices de saturação por bases (V), obteve-se uma classificação como muito baixo para o LVAd (3,2), baixo para o PVAd (21,4) e médio para o PVe (41,9). Estes baixos valores de V associados ao valores de pH indicam a falta de adubação e calagem nas áreas circunvizinhas aos pontos dos perfis amostrados.

O índice de saturação por alumínio (m) no horizonte superficial foi considerado muito baixo para o PVe (8), médio para o PVAd (39) e muito alto para o LVAd (81), o qual apresenta caráter álico. Isso ocorre pelo fato do latossolo ser um solo bem mais intemperizado que os demais, acarretando uma maior perda de bases e maior concentração de alumínio pelo aumento residual deste íon, devido à sua baixa mobilidade.

Com os resultados para a matéria orgânica no horizonte superficial dos solos pode-se classificar os índices como baixo para o PVAd (1,4) e médio para os solos LVAd (2,7) e PVe (2,9).

A disponibilidade do potássio e do fósforo varia de acordo com a dinâmica das fontes destes nutrientes quando adicionados ao solo. Na maioria dos solos de Minas Gerais o efeito da capacidade tampão para o potássio é desprezível e não influencia a eficiência de extração pelo método Mehlich-1, nem a absorção pelas plantas. O mesmo não ocorre para o fósforo, pois a capacidade tampão de fosfatos do solo influencia marcadamente a eficiência de extração do fósforo disponível pelo método Mehlich-1 e na absorção pelas

plantas. Por esse motivo, na interpretação da disponibilidade de fósforo para as plantas, deverão ser utilizadas medidas relacionadas com a capacidade tampão, como o teor de argila ou o valor de fósforo remanescente (P-rem) dos solos (Comissão..., 1999). Com base nesse contexto, o fósforo disponível (P) para todos os perfis dos solos foi considerado muito baixo.

O único perfil do solo que apresenta caráter eutrófico é o PVe, devido ao alto valor de V (65,6%) no horizonte Bt e alta soma de bases, ocasionado pela composição máfica ou intermediária do material de origem.

#### **4.3.3.2 Caracterização física**

Os resultados das análises granulométricas para os três perfis descritos encontram-se na Tabela 19.

No LVAd notam-se baixos valores de silte para seus horizontes, principalmente para os subsuperficiais, em relação aos solos PVe e PVAd, confirmando seu estágio de intemperismo mais avançado. Segundo Resende et al. (1997), somente os solos mais novos é que apresentam alto teor de silte. Para o mesmo autor, a fração silte serve como indicadora do grau de intemperização do solo ou do seu potencial de conter minerais primários facilmente intemperizáveis.

A relação silte por argila tem sido proposta como um índice do grau de intemperismo. Abaixo de 0,15, o solo é considerado muito intemperizado (Wambeke, 1962), citado por Resende et al. (1997). Segundo EMBRAPA (1999), a relação silte/argila para o horizonte B latossólico deve ser inferior a 0,7 nos solos de textura média e inferior a 0,6 nos de textura argilosa, na maioria dos horizontes abaixo do B, até uma profundidade de 200 cm.

TABELA 19 Características físicas dos perfis de solos

Hor.	Prof.	Areia	Silte	Argila	Silte/ argila	Classe textural
	cm	dag.kg <sup>-1</sup>				
LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico húmico – LVAd						
A1	0-40	32	9	59	0,15	Argilosa
A2	40-80	29	7	64	0,11	Muito Argilosa
A3	80-105	29	6	65	0,09	Muito Argilosa
AB	105-135	30	6	64	0,09	Muito Argilosa
Bw	135-230 <sup>+</sup>	27	7	66	0,11	Muito Argilosa
ARGISSOLO VERMELHO Eutrófico típico – PVe						
A	0-35	47	13	40	0,33	Argilosa
AB	35-60	35	15	50	0,30	Argilosa
Bt	60-200 <sup>+</sup>	30	12	58	0,21	Argilosa
ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico típico – PVAd						
A	0-30	58	8	34	0,24	Textura média
AB	30-45	52	14	34	0,41	Textura média
Bt1	45-85	46	13	41	0,32	Argilosa
Bt2	85-140	39	15	46	0,33	Argilosa
2BC	140-200 <sup>+</sup>	41	19	40	0,48	Argilosa

A relação silte/argila para o horizonte Bw do LVAd, como pode ser visto na Tabela 19, confirma o avançado estágio de intemperismo para este solo em relação aos demais.

Para os argissolos avaliados, nota-se a maior proporção de areia em relação à argila nos horizontes superficiais e, com o aumento da profundidade, a fração areia se apresenta em menor quantidade do que a fração argila. Esta

característica é ocasionada pela translocação de argila do horizonte superficial ao horizonte subsuperficial, que pode ser evidenciada pela cerosidade presente nos horizontes Bt destes solos.

O gradiente textural (B/A), além da cerosidade, é um requisito importante na definição do horizonte Bt, que é calculado pela relação direta do teor médio de argila do horizonte B pelo horizonte A (EMBRAPA, 1999). Este gradiente foi de 1,45 para o PVe e de 1,35 para o PVAd. No caso do PVe, que apresenta cerosidade forte e abundante, esse gradiente textural praticamente se adequou ao limite estabelecido pela EMBRAPA (1999), quanto ao incremento de argila. Para o PVAd, mesmo que o gradiente textural tenha sido um pouco inferior, ao confirmar a textura média desse solo aliada à estrutura forte, conjugada com cerosidade fraca, pode-se enquadrá-lo na classe dos argissolos.

## 5 CONCLUSÕES

Considerando-se os objetivos deste trabalho, as condições em que foi conduzido e os resultados obtidos e interpretados, pode-se concluir que:

- os valores médios de reflectância na banda 4 (infravermelho-próximo) para as áreas com café em produção foram estatisticamente superiores nas unidades de mapeamento de solos com associação dos argissolos com horizonte A proeminente e nas classes com associação dos latossolos, seja com horizonte A húmico ou não. Quanto à orientação das vertentes em que se encontravam estas áreas, verificou-se estatisticamente o maior valor médio da reflectância nas áreas com a vertente orientada para NE-E;
- os algoritmos classificadores obtiveram um bom rendimento na elaboração do mapa temático de uso da terra, para a área estudada, em que o mapa elaborado pelo algoritmo Battacharya obteve um rendimento classificado como bom e o mapa elaborado pelo algoritmo Maxver classificado como razoável. Portanto, o algoritmo Battacharya foi mais preciso na elaboração do mapa temático de uso da terra do que o algoritmo Maxver;
- pelo cruzamento de planos de informações (PIs), as áreas de lavouras com café em produção estão localizadas, em sua maioria, na área de estudo, em uma altitude média de 800 a 900 m, ocupando áreas com vertentes orientadas para o oeste, com declividade média de 3% a 24%, em relevo suave-ondulado a ondulado, cultivadas sobre associação de classes de solos LVA2 + LV2 (em relevo suave-ondulado) e PVA + PV;



- o SPRING é um software versátil, tendo sido muito útil na obtenção de resultados do presente estudo. Recomenda-se sua utilização em estudos e trabalhos de caracterização de recursos naturais.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, H. M. R.; LACERDA, M. P. C.; VIEIRA, T. G. C. Caracterização de agroecossistemas cafeeiros nas principais regiões produtoras do estado de Minas Gerais. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 11., 2003, Belo Horizonte. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2003. p. 11-17. 1 CD-ROM.

ALVES, L. M. **Sistemas de informação geográfica como instrumentos para o planejamento de uso da terra, em bacias hidrográficas.** 1993. 112 p. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

ANUÁRIO ESTATÍSTICO DO CAFÉ 2002/2003 ; **Coffee Business.** Rio de janeiro. 2002. 101 p.

ASSAD, E. D. **Sistema de informações geográficas:** aplicações na agricultura. 2. ed. Brasília, DF, 1998. 434 p.

BERTOLDO, M. A.; VIEIRA, T. G. C.; ALVES, H. M.R.; OLIVEIRA, M. L. R.; MARQUES, H. S. Caracterização da cultura cafeeira em relação às classes de solos e declividade utilizando técnicas de geoprocessamento na região de São Sebastião do Paraíso-MG. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 11., 2003, Belo Horizonte. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2003. p. 33-38. 1 CD-ROM.

BOLFE, É. L. **Geoprocessamento aplicado à análise de recursos florestais estudo de caso: Folha SH. 22-Y-A / DSG.** 2001. 139 p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS.

BRASIL. Ministério da Agricultura e do Abastecimento. Secretaria de produção e comercialização. Departamento do café. **Quadro 2 previsão da safra cafeeira 2002/2003:** parque e produção levantada em junho e julho de 1999. s.n.t. [2002?].

CALIJURI, M. L.; ROHM, S. A. **Sistemas de informações geográficas.** Viçosa – MG: UFV. Imprensa Universitária, 1994. 34 p.

CASTRO JÚNIOR, L. G. **Mudança tecnológica na cafeicultura mineira: um estudo no período de 1978 a 1993.** 1995. 57 p. Dissertação (Mestrado em Administração da Empresa Rural) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

COCHRAN, W. G.; COX, G. M. **Experimental designs.** 2. ed. New York: J. Wiley, 1966. 617 p.

COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação.** Viçosa, MG, 1999. 359 p.

COSTA, F. A. da. **Aplicação de geoprocessamento na análise e modelagem ambiental da microbacia Arroio Passo do Pilão: estudo de adequação de uso da terra relacionado aos sistemas agrícolas.** 2000. 90 p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS.

COUTINHO, A. C. **Segmentação e classificação de imagens LANDSAT-TM para o mapeamento dos usos da terra na região de Campinas, SP.** 1997. 112 p. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Universidade Estadual Paulista, São Paulo, SP.

CROSTA, A. P. **Processamento digital de imagens de sensoriamento remoto.** Campinas: IG/UNICAMP, 1999. 170 p.

DAY, P. R. Particle fractionation and particle size analysis. In: BLACK, C. A. (Ed.). **Methods of soil analysis physical and mineralogical properties, including statistics of measurement and sampling.** Madison: American Society of Agronomy, 1965. p. 545-566. (ASA. Monograph ; n. 9)

DEPARTAMENTO NACIONAL DA PRODUÇÃO MINERAL – DNPM. COMPANHIA DE PESQUISA E RECURSOS MINERAIS - CPRM. **Projeto Sapucaí.** São Paulo: DNPM/CPRM, 1979. n. 5, 299 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solos.** 2. ed. ver. atual. Rio de Janeiro, 1997. 212 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos.**

Brasília: EMBRAPA-Produção de Informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1999. 412 p.

EPIPHANIO J. C. N.; FORMAGGIO, A. R. Abordagens de uso do número digital e de reflectância em sensoriamento remoto. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 5., 1988, Natal. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 1988, v. 2, p. 400-405.

FIORIO, P. R. **Dados radiométricos obtidos nos níveis terrestre e orbital na avaliação de solos.** 2002. 198 p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, SP.

GARCIA, G. J. **Sensoriamento remoto:** princípios e interpretação de imagens. São Paulo: Nobel, 1982. 357 p.

HOTT, M. C. **Modelagem e análise fractal de uma imagem TM/Landsat-5 no município de Viçosa-MG.** 2000. 128 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

LACERDA, M. P. C.; ALVES, H. M. R.; VIEIRA, T. G. C.; RESENDE, R. T. T. P.; ANDRADE, H.; MACHADO, M. L.; CEREDA, G. J. Caracterização de Agroecossistemas cafeeiros de Minas Gerais por meio do SPRING. Parte II: Agroecossistema de Machado. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 2., 2001, Vitória. **Anais...** Vitória: Embrapa Café, 2001. p. 2377-2385. 1 CD-ROM.

LOCH, C. **Monitoramento global integrado de propriedades rurais a nível municipal utilizando técnicas de sensoriamento remoto.** Florianópolis: UFSC, 1990. 136 p.

LEMONS, P. C.; FERREIRA, E. Determinação das áreas de forte risco a erosão na área de influência da UHE-FUNIL In: SIMPÓSIO NACIONAL SOBRE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS: água e biodiversidade, 5., 2002, Belo Horizonte, MG. **Anais...** Belo Horizonte: SOBRADE, 2002a. p. 396-398.

LEMONS, P. C.; FERREIRA, E. Uso do geoprocessamento para o planejamento de plantio de vegetação nativa no entorno do lago da UHE-FUNIL. In: SIMPÓSIO NACIONAL SOBRE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS: água e biodiversidade, 5., 2002, Belo Horizonte, MG. **Anais...** Belo Horizonte: SOBRADE, 2002b. p. 394-395.

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

LUIZ, A. J. B.; GÜRTLER, S.; GLERIANI, J. M.; EPIPHANIO, J. C. N.; CAMPOS, R. C. Reflectância a partir do número digital de imagens ETM+. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 11., 2003, Belo Horizonte. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2003. p. 2071-2078. 1 CD-ROM.

MACHADO, M. L. **Caracterização de Agroecossistemas cafeeiros da Zona da Mata de Minas Gerais, usando sensoriamento remoto e sistemas de informações geográficas**. 2002. 137 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

MACHADO ONLINE. Disponível em:  
<<http://www.machadoonline.com.br/aspecto.html>>. Acesso em: 27 abr. 2003.

MACIEL, A. L. de R. **Embriogênese somática indireta em *Coffea arabica***. 2001. 60 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

MALAVOLTA, E. **História do café no Brasil: agronomia, agricultura e comercialização**. São Paulo: Ceres, 2000. 464 p.

MARQUES, H. S.; BERTOLDO, M. A.; ANDRADE, H.; ALVES, H. M. R.; VIEIRA, T. G. C.; OLIVEIRA, M. L. R. Mapeamento das classes de solos da região de Machado-MG, a partir da correlação entre solos e relevo, utilizando técnicas de geoprocessamento. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 11., 2003, Belo Horizonte. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2003. p. 169-172. 1 CD-ROM.

MATHER, P. M. **Computer processing of remotesensed images: an introduction**. 3. ed. Chichester: J. Wiley, 1993. 352 p.

MENDES, A. N. G. Economia cafeeira: o agrobusiness. In: MENDES, A. N. G.; GUIMARÃES, R. J. (Ed.). **Cafeicultura empresarial – produtividade e qualidade**. Lavras: UFLA/FAEPE, 1997. v. 1, p. 1-59.

MOREIRA, M. A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**. São José dos Campos: INPE, 2001. 250 p.

MOREIRA, M. A.; ADAMI, M.; RUDORFF, B. F. T. Análise do comportamento espectral de café em imagens do TM e ETM+ do Landsat-5 e 7. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 11., 2003, Belo Horizonte. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2003. p. 189-196. 1 CD-ROM.

NOVO, E. M. L. de M. **Sensoriamento remoto: princípios e aplicações**. 2. ed. São Paulo: E. Blucher, 1995. 308 p.

RAMALHO, G. G. C. **Mapeamento geotécnico de Viçosa com o uso de sistema de informações geográficas**. 1994. 110 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

RAMIREZ, G. M.; ZULLO JUNIOR, J.; ASSAD, E. D.; PINTO, H. S.; ROCHA, V. D. da; LAMPARELLI, R. C. Utilização de imagens pancromáticas do satélite Ikonos-II na identificação de plantios de café. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 11., 2003, Belo Horizonte. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2003. p. 223-229. 1 CD-ROM.

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

RESENDE, R. J.T. P. de. **Caracterização do meio físico de áreas cafeeiras do Sul de Minas Gerais por meio do SPRING**. 2000. 120 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

RIBEIRO, L. de S. **Cultura “in vitro” de embriões e segmentos nodais do cafeeiro (*Coffea arabica* L.)**. 2001. 73 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

RIBEIRO, M. T. F.; MEZZOMO, C. P. L.; DUARTE, L. H.; FENELON, A. N. Tradição e moderno se combinam na definição de uma nova trajetória em busca da competitividade: o caso da cadeia agroalimentar do café no sul de Minas Gerais. In: DESAFIOS E POTENCIALIDADES DA AGRICULTURA NO SUL DE MINAS: desafios para discussão, 1998, Lavras. **Workshop....** Lavras: UFLA/FAEPE, 1998. p. 1-17.

ROMANIELLO, M. M.; BARTHOLO, G. F.; GUIMARÃES, R. J.; VILAS BOAS, L. H. de B.; DIAS, C. A. Prospecção de demandas de pesquisa na região cafeeira do Sul de Minas Gerais. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA CAFEEIRA

DO SUL DE MINAS GERAIS, 3., 2002, Lavras. **Anais...** Lavras: [s.n.], 2002. p. 227-234.

SILVA, S. de M. **Competitividade do agronegócio do café na região sul de Minas Gerais**. 1998. 125 p. Dissertação (Mestrado em Administração Rural) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

SOUZA, J. A. A. de; MEDEIROS, S. de S.; CECÍLIO, R. A.; SOARES, A. A.; RIBEIRO, C. A. A. S. Classificação de áreas para cultivo do café arábica irrigado na Bacia do São Francisco, em Minas Gerais. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 11., 2003, Belo Horizonte. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2003. p. 239-246. 1 CD-ROM.

TRIOLA, M. F. **Introdução à estatística**. 7. ed. Rio de Janeiro: LTC, 1999. 410 p.

VALENTE, R. de. O. A. **Análise da estrutura da paisagem na bacia do Rio Corumbataí**. 2001. 144 p. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais, com opção em Conservação de Ecossistemas Florestais) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, SP.

VETTORI, L. **Métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura/Equipe de Pedologia e Fertilidade de Solos. 1969. 24 p. (Boletim técnico, 7).

VIEIRA, T. G. C.; ALVES, H. M. R.; LACERDA, M. P. C. Parâmetros culturais para avaliação do comportamento espectral da cultura do café (*coffea arábica*) em Minas Gerais. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 11., 2003, Belo Horizonte. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2003. p. 247-254. 1 CD-ROM.

## **ANEXO A**

### **Caracterização morfológica**

#### **Perfil 1**

DATA: 07/10/2002

CLASSIFICAÇÃO: LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico húmico.

UNIDADE DE MAPEAMENTO: LVAd

LOCALIZAÇÃO: estado de Minas Gerais, município de Machado, na estrada de terra Machado-Alfenas, cerca de 3,320 km do perímetro urbano de Machado, vira-se à esquerda seguindo cerca de 50m na estrada interna ao lado da sede de uma fazenda; coordenadas em projeção UTM (Datum horizontal Córrego Alegre, MG; Fuso 23): 402299 E e 7605180 N.

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL: Descrito e coletado em barranco de corte de estrada no terço médio da encosta em declividade de 10%, sob mata de reserva.

ALTITUDE: 960m

LITOLOGIA: gnaisses charnockíticos, enderbíticos, sieníticos e noríticos, com intercalações de granulitos básicos.

FORMAÇÃO GEOLÓGICA: Bloco São Paulo, Cinturão de Alto Grau Alfenas, Complexo Varginha.

GEOCRONOLOGIA: arqueano.

MATERIAL ORIGINÁRIO: gnaisses.

PEDREGOSIDADE: não pedregosa.

ROCHOSIDADE: não rochosa.

RELEVO LOCAL: ondulado.

RELEVO REGIONAL: forte ondulado a montanhoso.



EROSÃO: não aparente.

DRENAGEM: acentuadamente drenado.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA: floresta tropical subcaducifólia.

USO ATUAL: mata de reserva.

CLIMA: Cwb – tropical de altitude com chuvas de verão e verões brandos (Köppen).

DESCRITO E COLETADO POR : H. S. Marques e H. Andrade.

### **Descrição morfológica dos horizontes**

A1 0-40 cm; bruno-escuro (7,5YR 3/4, seca) e bruno-avermelhado-escuro (5YR 3/2, úmida); argilosa; forte, muito pequena a pequena, granular; ligeiramente dura, friável, ligeiramente pegajosa e ligeiramente plástica; transição plana e clara.

A2 40-80 cm; bruno (7,5YR 4/4, seca) e bruno-avermelhado-escuro (5YR 3/3, úmida); argilosa; moderada a forte, muito pequena a pequena, granular; ligeiramente dura, friável, ligeiramente pegajosa e plástica; transição ondulada e clara.

A3 80-105 cm; bruno-avermelhado (5YR 4/4, seca) e bruno-avermelhado-escuro (5YR 3/2, úmida); argilosa; forte, muito pequena a pequena, granular; dura, firme, ligeiramente pegajosa e plástica a muito plástica; transição ondulada e clara.

AB 105-135 cm; vermelho-amarelado (5YR 5/6, seca) e bruno-avermelhado-escuro (5YR 4/4, úmida); argilosa; forte, pequena a média, granular; ligeiramente dura, muito friável, ligeiramente pegajosa e plástica; transição irregular e clara.

Bw 135-230+ cm; amarelo-avermelhado (7,5YR 7/8, seca) e vermelho-amarelado (5YR 5/8, úmida); argilosa; moderada a forte, muito

pequena a pequena; macia, friável a muito friável, ligeiramente pegajosa e plástica a muito plástica.

RAÍZES: abundantes e muito firmes; médias no A1; comuns e finas nos A2, A3 e AB e raras; muito finas a finas no Bw.

OBSERVAÇÕES: existe grande atividade biológica do A1 até o Bw, no qual se destacam galerias de térmitas.

## **Perfil 2**

DATA: 07/10/2002

CLASSIFICAÇÃO: ARGISSOLO VERMELHO Eutrófico típico.

UNIDADE DE MAPEAMENTO: PVe

LOCALIZAÇÃO: estado de Minas Gerais, município de Machado, na margem esquerda da estrada de terra Machado-Alfenas, a cerca de 4,436 km do perímetro urbano de Machado; coordenadas em projeção UTM (Datum horizontal Córrego Alegre, MG; Fuso 23): 402184 E e 7606100 N.

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL: Descrito e coletado em barranco de corte de estrada entre terço médio e inferior da encosta em declividade de 22%, sob pastagem plantada.

ALTITUDE: 1025m

LITOLOGIA: gnaisses charnockíticos, enderbíticos, sieníticos e noríticos, com intercalações de granulitos básicos.

FORMAÇÃO GEOLÓGICA: Bloco São Paulo, Cinturão de Alto Grau Alfenas, Complexo Varginha.

GEOCRONOLOGIA: arqueano.

MATERIAL ORIGINÁRIO: gnaisses.

PEDREGOSIDADE: não pedregosa.

ROCHOSIDADE: não rochosa.

RELEVO LOCAL: forte ondulado.

RELEVO REGIONAL: forte ondulado a montanhoso.

EROSÃO: não aparente.

DRENAGEM: moderadamente drenado.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA: floresta tropical subcaducifólia.

USO ATUAL: pastagem plantada.

CLIMA: Cwb – tropical de altitude com chuvas de verão e verões brandos (Köppen).

DESCRITO E COLETADO POR : H. S. Marques e H. Andrade.

### **Descrição morfológica dos horizontes**

A 0-35 cm; bruno (7,5YR 4/4, seca) e bruno-avermelhado-escuro (5YR 3/3, úmida); argilosa; forte, muito pequena a pequena, blocos angulares e subangulares; dura, friável, ligeiramente pegajosa e plástica a muito plástica; transição ondulada e clara.

AB 35-60 cm; bruno-forte ou bruno-carregado (7,5YR 4/6, seca) e bruno-avermelhado-escuro (5YR 3/4, úmida); argilosa; forte, média a grande, blocos angulares e subangulares; muito dura, firme; cerosidade fraca e comum; ligeiramente pegajosa a pegajosa e plástica a muito plástica; transição plana e clara.

Bt 60-200+ cm; vermelho-escuro (2,5YR 3/6, seca) e vermelho-escuro (10R 3/6, úmida); argilosa; forte, grande, blocos angulares e subangulares; extremamente dura, muito firme; cerosidade forte e abundante; pegajosa e plástica a muito plástica.

RAÍZES: abundantes; muito finas a finas e fasciculadas no A; comuns; muito finas e fasciculadas no AB e raras e muito finas no Bt.

OBSERVAÇÕES: horizonte A proeminente.

### **Perfil 3**

DATA: 07/10/2002

CLASSIFICAÇÃO: ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico típico.

UNIDADE DE MAPEAMENTO: PVAd

LOCALIZAÇÃO: estado de Minas Gerais, município de Machado, na margem esquerda da “estrada de terra da Pedreira”, cerca de 3,607 km do perímetro urbano de Machado; coordenadas em projeção UTM (Datum horizontal Córrego Alegre, MG; Fuso 23): 401036 E e 7605111 N.

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL:

Descrito e coletado em barranco de corte de estrada em terço inferior da encosta em declividade de 14%, sob pastagem plantada.

ALTITUDE: 895m

LITOLOGIA: gnaisses charnockíticos, enderbíticos, sieníticos e noríticos, com intercalações de granulitos básicos.

FORMAÇÃO GEOLÓGICA: Bloco São Paulo, Cinturão de Alto Grau Alfenas, Complexo Varginha.

GEOCRONOLOGIA: arqueano.

MATERIAL ORIGINÁRIO: gnaisses.

PEDREGOSIDADE: não pedregosa.

ROCHOSIDADE: não rochosa.

RELEVO LOCAL: ondulado.

RELEVO REGIONAL: forte ondulado.

EROSÃO: não aparente.

DRENAGEM: moderadamente drenado.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA: floresta tropical subcaducifólia.

USO ATUAL: pastagem plantada.

CLIMA: Cwb – tropical de altitude com chuvas de verão e verões brandos (Köppen).

DESCRITO E COLETADO POR : H. S. Marques e H. Andrade.

**Descrição morfológica dos horizontes**

A1 0-30 cm; vermelho-amarelado (5YR 5/6, seca) e vermelho-amarelado (5YR 4/6, úmida); textura média; forte, pequena a média, blocos angulares; ligeiramente dura, muito friável a friável, ligeiramente pegajosa e plástica; transição plana e clara.

AB 30-45 cm; amarelo-avermelhado (5YR 6/6, seca) e vermelho (2,5YR 4/6, úmida); textura média; forte, pequeno a média, blocos angulares; ligeiramente dura, muito friável a friável; ligeiramente pegajosa e plástica; transição plana e clara.

Bt1 45-85 cm; vermelho (2,5YR 5/6, seca) e vermelho (2,5YR 4/8, úmida); argilosa; forte, média a grande, blocos angulares; ligeiramente dura, muito friável; cerosidade fraca e pouca; ligeiramente pegajosa e muito plástica; transição plana e clara.

Bt2 85-140 cm; vermelho (2,5YR 5/8, seca) e vermelho (2,5YR 4/8, úmida); argilosa; moderada a forte, média a grande, blocos angulares; ligeiramente dura a dura, friável a firme; cerosidade fraca e pouca; pegajosa e muito plástica; transição plana e clara.

2BC 140-200+ cm; vermelho-claro (10R 6/6, seca) e vermelho (10R 4/8, úmida); argilosa; fraca a moderada, grande, blocos angulares; ligeiramente dura, muito friável; pegajosa e muito plástica.

RAÍZES: abundantes; finas a médias e fasciculadas no A1, comuns; finas e fasciculadas no AB, poucas e finas a muito finas nos Bt1 e Bt2 e raras e muito finas no 2BC.

OBSERVAÇÕES: linha de pedras a 100-150 cm de profundidade no perfil, contendo cascalhos angulosos, quartzos angulosos, nódulos argilo-arenosos e concreções.

Os perfis descritos acima são apresentados nas fotos 1, 2 e 3 a seguir:



Foto 1 - LVAd



Foto 2 - PVe



Foto 3 - PVAd