

Mapeamento de Áreas Cafeeiras em imagens de Sensores Orbitais: estudo de caso em Aguanil, Boa Esperança, Campo Belo e Cristais-MG como suporte a estudos regionais

Marco Aurélio Barros
Mauricio Alves Moreira
Bernardo Friedrich Theodor Rudorff
Viviane Gomes Cardoso de Faria

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Caixa Postal 515 - 12245-970 - São José dos Campos - SP, Brasil
{aurelio, mauricio, vivian}@dsr.inpe.br

Abstract. Coffee crop, an important economic and social activity to Brazil, is an agrobusiness segment that has not updated information about the productive profile. The present work comes to add in the sense to develop and/or adequate fundamental methods in geotechnologies that may significantly contribute to the study of the coffee crop in Minas Gerais State, allowing to diagnose the geographic environment in which the coffee crop is installed and to subsidize technicians and professionals to determine limited areas to coffee crop. As a pilot study area the municipalities of Aguanil, Boa Esperança, Campo Belo and Cristais were selected. In the development of the work, images from CCD, on board of CBERS satellite, images from TM sensor, on board of Landsat-5 and Maxver classificador /visual image interpreted used. The results allowed diagnose the municipalities and area with mapping coffee crop, and necessary multisensor and multiresolution data for success in thematic works.

Palavras-chave: remote sensing, mapping coffee crop, CBERS, LANDSAT, agriculture, multitemporal, multisensor, sensoriamento remoto, mapeamento da cafeicultura, CBERS, LANDSAT, agricultura, multitemporal, multisensor.

1 - Introdução

Estima-se que a cafeicultura esteja presente em 1.700 municípios brasileiros, num total de 300 mil propriedades rurais gerando com isso empregos e renda. No Brasil, maior produtor mundial de café, a atividade cafeeira tem sua história ligada ao estado de Minas Gerais, que diferentemente das demais unidades federativas da região sudeste, foi e continua sendo destaque na produção desta cultura, responsável por 49% do café produzido no país com destaque para a região oeste e sul do estado (CONAB, 2005).

Face à importância sócio-econômica da atividade cafeeira o conhecimento da distribuição espacial da cultura é imprescindível tanto para a previsão de safras quanto para o planejamento agrícola em nível municipal, estadual e federal. Para isso a utilização de imagens de sensores orbitais com média resolução espacial como TM/LANDSAT, CCD/CBERS e HRV-SPOT tornam-se ferramentas estratégicas que permitem obter informações temáticas com menor custo quando comparado a métodos convencionais, minimizando a subjetividade de métodos indiretos. O potencial dessas imagens para monitoramento de áreas agrícolas foi demonstrado em trabalhos de mapeamento da cultura de cana-de-açúcar realizados na região centro-sul do Brasil, por pesquisadores do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Rudorff et al., 2004; Rudorff et al., 2005).

O mapeamento de áreas cafeeiras via interpretação de cenas de sensores orbitais com média resolução espacial é muito mais complexo do que em relação à cana-de-açúcar e soja, e trabalhos nessa temática normalmente não envolvem uma abordagem multisensor, somente multitemporal. A complexidade na discriminação dessa cultura está relacionada especificamente ao tipo de manejo ao longo do ciclo, cujos sistemas de cultivo diferem em cada propriedade rural explorada. Essa heterogeneidade provocada pelas variações no meio físico como também na fenologia da cultura acarretam mudanças significativas na geometria

entre alvo, iluminação e sensor, aumentando a variabilidade no comportamento espectral dessa cultura, como já foi evidenciado por Moreira et al. (2004). Por essa razão, o desenvolvimento de uma metodologia embasada na utilização de imagens de sensores orbitais com resolução espacial e temporal distintas de forma eficiente para monitorar e mapear essa cultura necessita de estudos para desenvolver métodos que possam vir a atender os objetivos de uma forma técnica sem perder o rigor científico.

Com a evolução dos sistemas sensores e a disponibilização sem custos de dados com resolução espacial mais fina como as imagens do sensor CCD a bordo do satélite CBERS pelo INPE (2005) e imagens *QUICKBIRD* pelo Google (2006), novos métodos vem sendo desenvolvidos com eficiência na identificação e mapeamento de áreas e temas de interesse. Nesse sentido, objetiva-se apresentar um método de mapeamento com a utilização de dados multitemporais e multisensor para suprir a lacuna existente na disponibilização de dados objetivos e quantitativos em relação à cafeicultura. O presente trabalho trouxe subsídios práticos ao desenvolvimento do projeto Geotecnologias no monitoramento da cafeicultura de Minas Gerais, em fase de conclusão.

2. Manejo da Lavoura Cafeeira e Impactos sobre as imagens orbitais

Segundo Rena et al. (1986) a condução dos cafezais no Brasil ocorre sob condições de livre crescimento, com diferentes tipos de condução, espécies e variedades que acabam interferindo na radiância captada por sensores em nível orbital. Além dessa variabilidade, o cafeeiro pode apresentar problemas fitossanitários que são controlados por intermédio de tratamentos culturais. Nesse contexto, uma das práticas culturais que mais altera a resposta espectral do dossel é a poda do cafeeiro.

Há três métodos de poda na cultura cafeeira que devem ser conhecidos para que as áreas cultivadas não sejam omitidas durante o processo de mapeamento (Rena et al., 1986):

- **Recepa baixa:** consiste no corte do tronco da planta a uma altura de aproximadamente 30 a 40cm do solo. Esse trato cultural ocorre geralmente entre julho e agosto, época coincidente com a disponibilidade de imagens com ausência de nebulosidade, e pode ser realizada, segundo Rena et al. (1986) em área total da lavoura ou em talhões específicos, conforme a necessidade. Com essa prática, há o predomínio da resposta espectral do solo, mascarando a existência da cultura nessas áreas.
- **Recepa alta:** difere-se da recepa baixa apenas em relação à altura de corte do tronco da planta, que nesse caso é realizada entre 60 e 100cm do nível do solo. É uma prática recomendada quando as lavouras possuem muitos ramos inferiores (plagiotrópicos). Com essa prática há uma redução na resposta espectral do dossel na faixa do infravermelho próximo, tornando o aspecto da lavoura com falhas na imagem.
- **Decote lenhoso:** esta prática consiste no corte do tronco da planta a uma altura de 1,50 a 1,80m e consiste na perda de folhas na parte superior da planta com a aparência de pescoço pelado. Esse procedimento reduz a resposta espectral do dossel da lavoura na faixa do infravermelho próximo, causando a impressão em imagens de sensores orbitais que a lavoura tenha baixo vigor semelhante à vegetação de cerrado (Barros, 2006).
- **Esqueletamento:** consiste no corte dos galhos folhosos com a permanência de pequenas partes dos ramos laterais ao redor do tronco da planta.

3. Materiais e Métodos

Para o mapeamento da cafeicultura na região de estudo foram utilizadas imagens TM/LANDSAT, CCD/CBERS e o banco de imagens de alta resolução espacial disponibilizado por Google (2006). A **Tabela 1** relaciona os materiais que foram utilizados na

pesquisa, divididos em três itens principais: 1) dados cartográficos; 2) imagens digitais e 3) aplicativos.

Tabela 1 - Materiais utilizados na execução da pesquisa.

<i>Item</i>	<i>Descrição</i>	<i>Quantidade</i>	<i>Data Base</i>	<i>Especificações (Fonte)</i>
1.0	Dados Cartográficos	-	-	-
1.1	Limite Municipal	03	1998	1:100.000 (PRODEMGE, 1998)
2.0	Imagens	-	-	-
2.1	Imagem TM	04	09/07/2005	219-74 (INPE, 2005)
2.2	Imagem TM	04	09/07/2005	219-75 (INPE, 2005)
2.3	Imagem CCD	04	07/2005	153-123 (INPE, 2005)
2.4	Imagem CCD	04	07/2005	153-124 (INPE, 2005)
2.5	Imagem CCD	04	05/2005	154-123 (INPE, 2005)
2.6	Imagem CCD	04	05/2005	154-124 (INPE, 2005)
3.0	Aplicativos	-	-	-
3.1	Spring	01	-	SIG (Câmara et al., 1996)
3.2	Minitab	01	-	Estatística (Minitab, 2005)

3.1. Área de Estudo

A área de estudo compreende quatro municípios do estado de Minas Gerais: Aguanil, Boa Esperança, Campo Belo e Cristais, localizados no sudoeste do estado de Minas Gerais ocupando uma área total de 2.253 km² ilustrados na **Figura 1**.

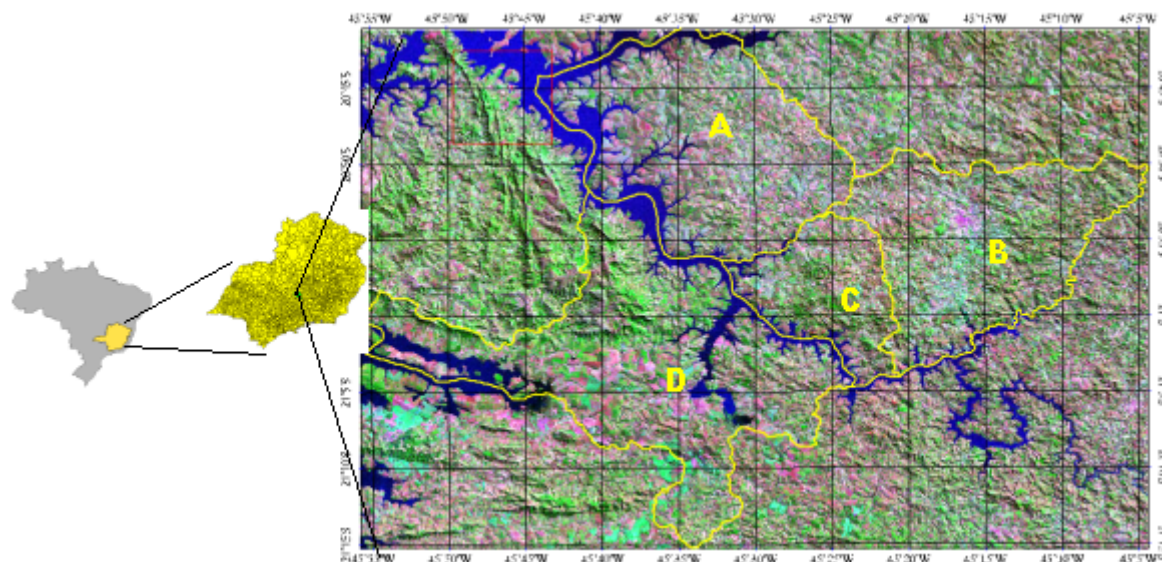


Figura 1 - A (Cristais), B (Campo Belo), C (Aguanil), D (Boa Esperança), - TM/Landsat TM7(R)TM4(G)TM3(B).

3.2. Etapas para o Mapeamento de Áreas Cafeeiras

Segundo Moreira (2003), para a obtenção de áreas com cafeicultura via interpretação de imagens orbitais faz-se necessário que os temas de interesse sejam divididos em sub-classes para o processo de mapeamento (ex. café em formação e café em produção), iniciando o processo do alvo conhecido (facilmente identificado na imagem) para o desconhecido (café após poda ou sob condições de estresse/ataque de pragas). Primeiro se realiza a individualização das classes de uso e ocupação do solo que são conhecidas (ex. mata ciliar,

cidade, etc) e a convergência de evidências, que consiste em associar ao comportamento espectral a outros elementos fotointerpretativos, tais como: sombra, textura, forma e tamanho, bem como a multitemporalidade, esse último de grande importância devido a bianualidade da cafeicultura apontada por autores como Rena et al. (1986).

Para o desenvolvimento do trabalho foram realizadas sete etapas:

- a) pré-processamento de imagens (restauração e georreferenciamento);
- b) estruturação do banco de dados com imagens TM/LANDSAT e informações estatísticas preliminares em nível municipal (IBGE, 2005);
- c) classificação da imagem base TM via algoritmo Maxver e cálculo da precisão do mapeamento;
- d) utilização do banco de imagens com alta resolução espacial disponibilizado por Google (2006) servindo de apoio na interpretação visual das áreas cafeeiras dos municípios.
- e) interpretação visual da imagem base com a verificação simultânea de outras imagens de diferente resolução espacial e data para a extração da cafeicultura plantada, utilizando o método sistemático de interpretação de imagens, descrito por Moreira (2003);
- f) agrupamento das informações em nível municipal em base cartográfica única;
- g) cálculo das áreas e representação da cafeicultura mapeada.

4. Resultados e Discussão

Para a verificação da exatidão da classificação não foram consideradas no contexto as amostras de treinamento do classificador. Foram utilizadas amostras georreferenciadas em campo, coletadas em agosto de 2005, período muito próximo da época de aquisição das imagens utilizadas no mapeamento.

No município de Aguanil o café é cultivado em áreas de pequeno a médio porte. Nesta situação o desempenho da classificação Maxver foi relativamente baixo (76,6%), com uma confusão média de 23,4%. Notou-se que a classe café foi considerada semelhante pelo classificador com a classe vegetação nativa porque ambos apresentam fenologia muito semelhante conforme constatado em campo. A estatística kappa resultou em um valor de 65,4% o que enquadrou a classificação como muito boa, conforme Fonseca (2000). Mesmo assim, o processo poderia ter um desempenho melhor com o aumento do número de amostras válidas em cada uma das classes, cuja restrição foi imposta pela limitação do tempo da atividade no campo e acesso à maioria das áreas com cafeicultura no município. Com base no desempenho do classificador, foi necessário realizar a edição manual da classe cafeicultura através de interpretação visual das imagens para melhorar os resultados da classificação e obtenção do mapa final de cafeicultura, imprescindível para dirimir erros de omissão e inclusão por parte do classificador.

Em relação ao município de Boa Esperança a classificação da cena TM resultou em um desempenho geral de 74,0%, com uma confusão média de 1,9% entre as classes temáticas mapeadas. A estatística kappa final foi de 65,1%, o que permite concluir que o desempenho do classificador foi qualificado, segundo Fonseca (2000), como muito bom. O baixo erro de confusão médio pode estar relacionado a dois fatores: as lavouras cafeeiras apresentam-se em talhões maiores e concentrados em regiões de relevo planos. A maior semelhança no comportamento espectral dos alvos ocorreu entre as classes cafeicultura e vegetação nativa ocorreu devido à similaridade fenológica entre as espécies em campo, relacionada principalmente com o porte das plantas e cobertura do solo. Devido a esse problema, houve a necessidade de edição manual das áreas com erros de omissão e inclusão.

Em Campo Belo, o desempenho da classificação do recorte da cena correspondente ao município foi de 67,0%, com uma confusão média de 33,0% entre as classes. A estatística kappa final foi de 37,3%, o que permite concluir que o desempenho do classificador segundo

Fonseca (2000) foi qualificado como razoável. Neste município, a classe cafeicultura apresentou maior semelhança espectral com as áreas ocupadas por pastagens (agropecuária), uma vez que as lavouras em Campo Belo estavam em condições de recuperação fisiológica pós-colheita e com ataque significativo de uma praga que enfraquecem as plantas, resultando na queda de folhas e predomínio da resposta espectral de galhos e solo exposto, daí a confusão com as áreas ocupadas com pastagens.

O desempenho geral da classificação do recorte da cena que representa o município de Cristais foi calculado em 89,5%, com uma confusão média de 10,5%. A estatística kappa resultou em um valor de 84,8% o que enquadrou a classificação como excelente segundo Fonseca (2000). Nesse município, como ocorreu em Boa Esperança, as lavouras cafeeiras mostraram-se mais vigorosas e com melhor manejo tecnológico. Os talhões ocupados por cafeicultura são maiores, e as condições fisiográficas permitem um bom desempenho de classificação como também na edição final das áreas cafeeiras. Observou-se que as áreas de café foram espectralmente similares com áreas sob exploração agropecuária e áreas com eucalipto plantadas mais recentemente, principalmente em lavouras mais novas e recém colhidas respectivamente.

De modo geral, notou-se nos resultados das classificações, mesmo conceituadas como razoável a excelente por Fonseca (2000), que o desempenho foi muito variável (67,0% a 84,8%) e a confusão média entre 1,9 a 31,0%, visualmente com desempenho muito longe da representação real da cafeicultura. Esses resultados assemelham-se com o trabalho realizado por Moreira et al. (2004) que enfatizaram a heterogeneidade no comportamento espectral de lavouras cafeeiras relacionadas com parâmetros agrônômicos de manejo das lavouras, como espaçamento, tratos culturais e desfolha pós-colheita. Nessa linha de pesquisa, os trabalhos de Vieira et al. (2001) e Pellerin et al. (1993) ressaltaram respectivamente a influência das condições fisiográficas no desempenho da classificação de áreas cafeeiras e a maior similaridade espectral entre áreas de mata (vegetação nativa) e cafeicultura, fato constatado também em relação às classificações realizadas no presente estudo. Para a obtenção dos mapas finais com a classe café foi necessário realizar a edição manual das áreas cafeeiras utilizando técnicas de interpretação visual, demonstrando a ineficiência do classificador supracitado na discriminação de lavouras cafeeiras.

Na **Tabela 2** são apresentadas as estimativas de área plantada de café divulgado pelo IBGE (2005) e escritórios da EMATER-MG localizados em Aguanil, Boa Esperança, Campo Belo e Cristais em paralelo aos resultados obtidos na classificação e interpretação das imagens TM e CCD.

Tabela 2 - Áreas de cafeicultura obtidas via interpretação das imagens TM e CCD comparativamente a métodos subjetivos.

<i>Municípios</i>	<i>Áreas com cafeicultura (ha)</i>		
	<i>Mapeamento Imagens TM/CCD</i>	<i>IBGE - 2004*</i>	<i>EMATER**</i>
Aguanil	1.099	1.118	1.100
Boa Esperança	13.990	16.467	18.000
Campo Belo	4.006	4.600	4.000
Cristais	5.806	7.810	7000
Total	24.901	29.995	30.100

*FONTE: IBGE (2005) **Informações obtidas nos escritórios municipais da EMATER

Constata-se na **Tabela 2** que os resultados obtidos por meio do mapeamento de imagens de satélites, são discrepantes às estimativas do IBGE e EMATER. Porém, os métodos utilizados pelo IBGE e EMATER são mais subjetivos do que a realização do mapeamento. Ressalta-se também que o período temporal disponibilizado pelo IBGE (2005) diverge da data

das imagens utilizadas para mapeamento das áreas cafeeiras. O mapa final das áreas de cafeeicultura nos quatro municípios está ilustrado na **Figura 2**. Os municípios de Aguanil, Boa Esperança, Campo Belo e Cristais totalizaram juntos 24.901 ha de áreas cultivadas com café considerando 19/07/2005 como a data de referência no mapeamento.

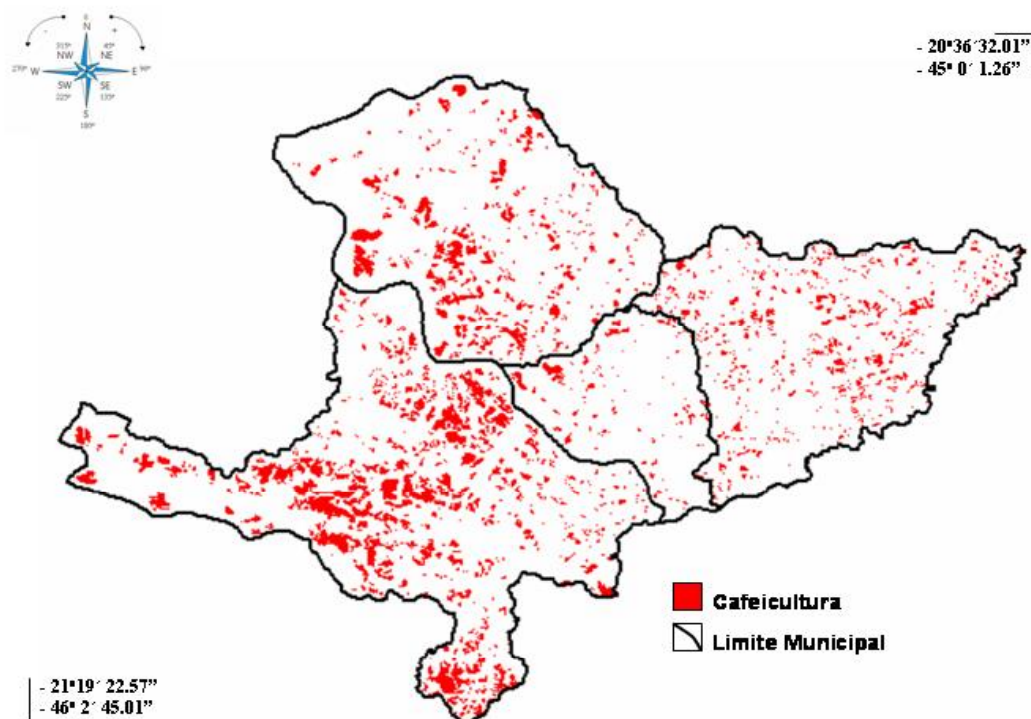


Figura 2 - Mapa das áreas cafeeiras obtidas a partir da classificação e interpretação visual de imagens TM/LANDSAT e CCD/CBERS-2 (Barros, 2006).

As imagens CCD/CBERS e TM/LANDSAT não se mostraram isoladamente as mais adequadas para a interpretação visual das áreas cafeeiras devido à grande mistura espectral entre as diferentes espécies cultivadas, como também a influência do relevo muito movimentado. Este problema foi resolvido com a consulta em imagens com maior resolução espacial para dirimir tais dúvidas, nesse caso os dados fornecidos pelo Google (2006). Notou-se durante o processo de interpretação visual que as áreas de café cercadas por áreas de cerrado só puderam ser discriminadas em imagens do sensor TM, com a composição TM3 (azul), TM4 (vermelho) e TM5 (verde). Nas imagens do sensor CCD, a saturação da faixa espectral do infravermelho próximo e a ausência de uma banda no infravermelho médio não permitiram essa separação, mesmo com uma resolução espacial de 20m contra 30m da imagem TM. Infere-se, portanto que a faixa espectral referente ao infravermelho médio associado a um filtro colorido pode melhorar a separabilidade visual das classes café e cerrado, conforme já havia sido comentado por Batista et al. (1990) e pode ser observado na **Figura 3**. No recorte de imagem à esquerda, verifica-se que é possível distinguir áreas com café muito vigorosas de outras com o predomínio de gramíneas, enquanto na imagem à direita, a discriminação da cultura em relação à vegetação torna-se mais difícil pela aparência mais homogênea e menor contraste visual.

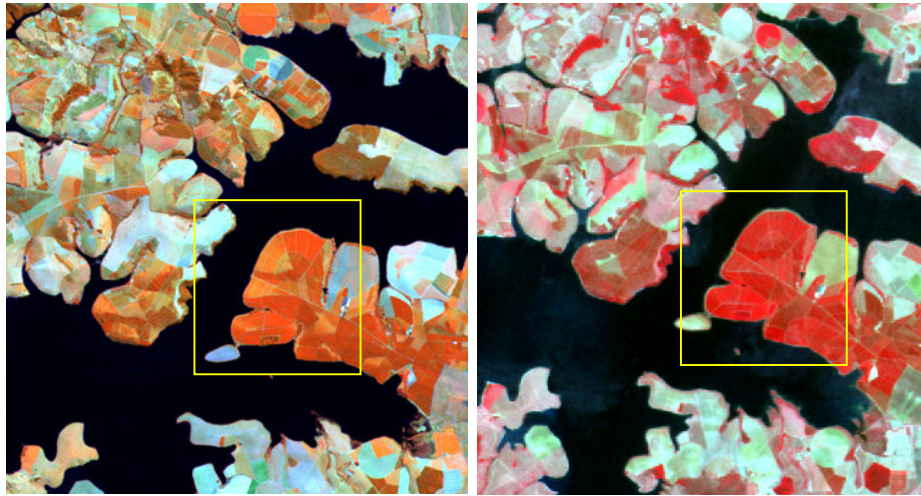
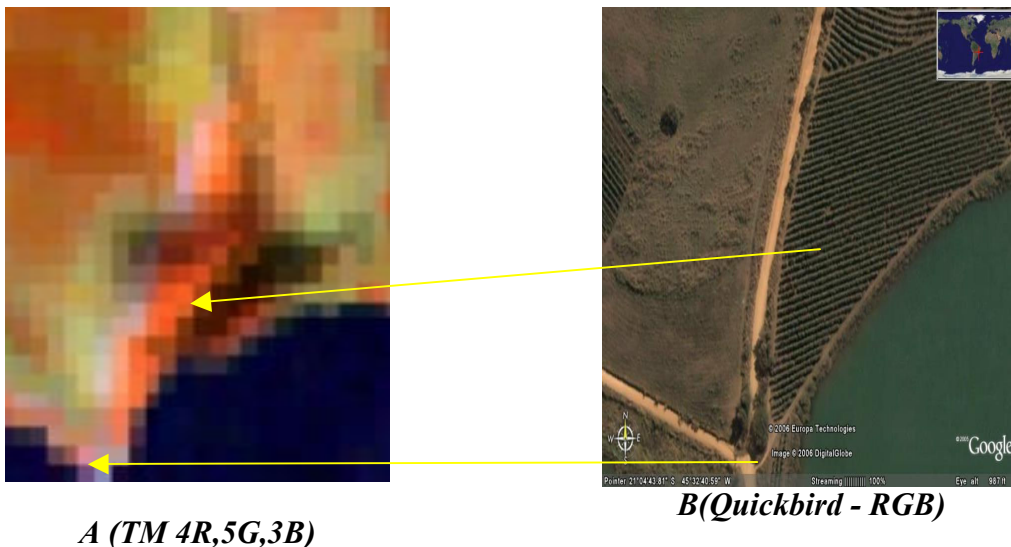


Figura 3 - Imagem TM 4(R)5(G)3(B) (esquerda) e Imagem CCD 4(R)3(G)2(B) (direita) com contraste linear 2%. Detalhe no quadrado amarelo: área com café.

A dificuldade na interpretação de imagens para a extração das áreas cafeeiras pode ser visualizada na **Figura 4** em que são apresentadas duas imagens: a primeira (A) com resolução espacial de 30m e a segunda (B), com resolução aproximada de 1m, cuja combinação pelo intérprete de imagens torna-se necessária, senão imprescindível, ao sucesso do processo de mapeamento de áreas cafeeiras.



A (TM 4R,5G,3B)

B(Quickbird - RGB)

Figura 4 – Imagens: **A**-TM 4(R)-5(G)-3(B) de 07/2005; **B**- Quickbird - visível R-G-B.

5. Conclusão e Recomendações

Com base nos resultados das classificações das imagens TM e CCD via Maxver e posterior interpretação visual constatou-se que não é possível mapear áreas com café utilizando somente cenas CCD/CBERS. Ressalta-se que a topografia influiu negativamente no resultado do classificador Maxver, associado também à quantidade e à distribuição das amostras no treinamento e avaliação do classificador. A utilização de imagens multitemporais permitiu discriminar as áreas de cafeicultura de outros tipos de exploração agropecuária.

O mapeamento de áreas cafeeiras depende diretamente da experiência e conhecimento do campo por parte do intérprete, mas a utilização de imagens de alta resolução espacial substitui

a visita em campo nas áreas com o predomínio de lavouras cafeeiras. Sugere-se a utilização de imagens com maior resolução espacial do que a TM, como HRV/SPOT4 ou HRG/SPOT5 e QUICKBIRD. Recomenda-se a utilização de imagens da época seca, conforme constatado por Moreira et al. (2004) evitando o mapeamento de espécies não desejadas semelhantes à cafeicultura. O método mostrou-se eficaz no mapeamento da cafeicultura na região em estudo conforme resultados supramencionados.

6. Bibliografia

- Barros, M.A. *Geotecnologias como contribuição ao estudo do Agroecossistema cafeeiro de Minas Gerais em nível municipal*. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2006. No prelo.
- Batista, G.T.; Tardin, A.T.; Chen, S.C.; Dallemand, J.F. Avaliação de produtos HRV/SPOT e TM/LANDSAT na discriminação de culturas. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 25, n. 3, p. 379-386, 1990.
- Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB); Acompanhamento da Safra 2005/2006. Disponível em: <www.conab.gov.br>. Acesso em 10 fevereiro 2005.
- Fonseca, L.M.; *Processamento Digital de Imagens*. São José dos Campos-SP: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2000. 105p.
- Google Earth. Google Inc. Disponível em: <earth.google.com/>. Acesso em: 03 nov. 2006.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Produção Agrícola Municipal (PAM). Brasília, 2004. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/>> Acesso em: 12 dez. 2005.
- Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). *Catálogo CBERS 2*. São José dos Campos. Disponível em <www.dgi.inpe.br>. Acesso em 15 abril 2005.
- Minitab Inc. Minitab Statistical Tab. 2000.
- Moreira, M.A.; *Fundamentos do Sensoriamento Remoto e Metodologias de Aplicação*. Viçosa-MG: Folha de Viçosa Ltda, 2003. 307p.
- Moreira, M.A.; Adami, M.; Rudorff, B.F.T. Análise Espectral e Temporal da Cultura do Café em imagens Landsat. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 39, p. 223-231, 2004.
- Pellerin, J.; Pouget, J.; Valeriano Filho, M. Metodologia de utilização de dados espaciais Landsat MSS e TM no estudo de uso do solo: região de Marília, SP. *Geosul*, v. 8, n. 16, 1993.
- Rena, A.B.; Malavolta, E.; Rocha, M.; Yamada, T. *Cultura do Cafeeiro: fatores que afetam a produtividade*. Piracicaba-SP: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1986. 440p.
- Rudorff, B.F.T.; Berka, L.M.S.; Moreira, M.; Duarte, V.; Rosa, V. Estimativa de Área Plantada com Cana-de-Açúcar em Municípios do Estado de São Paulo por Meio de Imagens de Satélites e Técnicas de Geoprocessamento: ano safra 2004/2005. *INPE-11421-RPQ/762*, 54p., 2004
- Rudorff, B.F.T.; Berka, L.M.S.; Moreira, M.A.M.; Duarte, V.; Xavier, A.C.; Rosa, V.G.C.; Shimabukuro, Y.E. Imagens de Satélite no Mapeamento e Estimativa de Área de Cana-de-Açúcar em São Paulo: ano safra 2003/04. *Revista de Economia Agrícola*, v. 52, n. 1, p. 21-39, jan. 2005.
- SPRING: Integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modelling. Camara G, Souza RCM, Freitas UM, Garrido J Computers & Graphics, 20: (3) 395-403, Jun 1996.
- Vieira, T.G.C.; Lacerda, M.P.C.; Alves, H.M.R. Imagens Orbitais Aplicadas ao Levantamento da Cultura do Café em Minas Gerais. In: II Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil. *Anais*. Vitória-ES, 2001.: Consórcio Brasileiro de Pesquisas.