

Avaliação da resposta espectral de plantios de café (*Coffea arabica*) nas imagens LANDSAT/TM E QUICKBIRD.

Gláucia Miranda Ramirez¹
Jurandir Zullo Junior²

¹ Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP/FEAGRI
CEP 13083-875 - Campinas - SP, Brasil
gláucia@cpa.unicamp.br

² Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas a Agricultura-
CEPAGRI/UNICAMP
CEP 13083-970 - Campinas - SP, Brasil
jurandir@cpa.unicamp.br

Abstract. The use of orbital remote sensing and geoprocessing techniques represents significant advance for agriculture data surveying, considering its multispectral feature and repetitiveness. Its application for crop monitoring becomes more important, mainly with the possibility of using the sensors of high spatial, spectral, temporal and radiometric resolution. This work has the objective to assess the correlations between the agronomical characteristics plantations of arabian coffee and the spectral responses given by images of the Landsat-TM and Quickbird satellites. The study area is located in the city of Ribeirão Corrente (SP), where 30 coffee areas were selected. In each area it was collected information about plant's features, like height, age, spacing and variety. The results showed that %COB (percentage of land covering by coffee plants) was the parameter that had greater correlation with the spectral response in the visible bands of the both satellites. The amount of shadows in the coffee plantations influenced significantly the response of band 4, for the two assessed images. Another type of analyses must be accomplished to assess the interactions between the agronomical characteristics of coffee and its spectral response.

Palavras-chave: coffee, Landsat/TM, Quickbird, high spatial, agriculture.

1. Introdução

O café sempre foi sinônimo de progresso e contribuiu de maneira decisiva para a industrialização do país e, ainda hoje, é um dos mais importantes produtos agrícolas do país. O Brasil é o maior produtor mundial de café, contribuindo com 28% da produção, seguido pela Colômbia, que contribui com 14%.

No estado de São Paulo, o agronegócio do café movimentava cerca de cinco bilhões de reais, anualmente, e gera 500 mil empregos. As principais áreas de cultivo de café no estado estão localizadas na região da Mogiana e Alta Paulista. A Alta Mogiana é a região mais tradicional na produção de café do estado de São Paulo. O produto exerce grande influência na economia da região, pois são mais de 1.500 cafeicultores, em 23 municípios, que produzem a média de 1.000.000 sacas/ano.

No Brasil, a obtenção de informações referentes à cultura cafeeira (tais como: área plantada, quantidade produzida e área colhida, entre outras) são realizadas, na maioria dos casos, utilizando informações municipais obtidas por meio de levantamentos baseados nas informações de técnicos relacionados ao setor (IBGE, 2005). Neste sentido a utilização de técnicas de sensoriamento remoto representa um avanço significativo no levantamento de dados, no monitoramento e planejamento da cultura cafeeira. Isso devido à facilidade de acesso aos dados de sensores remotos e à disponibilidade de equipamentos para o processamento de informações que permitem a compreensão dos diversos sistemas agrícola.

Trabalhos realizados, principalmente no Brasil, vêm mostrando a importância da aplicação de técnicas de sensoriamento remoto no estudo da cafeicultura (BERTOLDO et al., 2003; ALVES et al., 2003; MOREIRA et al., 2003). Estes trabalhos têm colaborado de maneira efetiva no levantamento, mapeamento e monitoramento de áreas cafeeiras. Mas ainda são necessárias pesquisas que visem correlacionar os fatores biofísicos da cultura com sua

resposta espectral, avaliar o uso de satélites de alta resolução espacial na obtenção e análise destes dados.

O presente trabalho teve como objetivo avaliar as correlações existentes entre os parâmetros biofísicos de plantios de café e sua resposta espectral nas imagens dos satélites Landsat-TM e Quickbird.

2. Material e Métodos

O estudo foi conduzido no município de Ribeirão Corrente, nordeste do estado de São Paulo. Este município localiza-se na região da Alta Mogiana tradicional produtora de café, possui altitude média de 860m com relevo suavemente ondulado, clima tropical de altitude (Cwa, Koeppen) e predominância de Latossolo Vermelho Escuro e Latossolo Roxo.

Dentro do município, foi escolhida uma área de aproximadamente 600ha e dentro desta área foram selecionados 30 talhões com plantios de café para o levantamento dos parâmetros biofísicos (Figura 1).



Figura 1: Imagem do satélite Quickbird (Banda 4) mostrando os talhões selecionados para o estudo.

Os parâmetros levantados em campo e os valores calculados a partir destes são: altura (m), diâmetro (m), espaçamento entre linhas (m), espaçamento entre plantas (m), IAF ($m^2 \cdot m^{-2}$), porcentagem de cobertura do terreno pelas plantas de café (%), rugosidade (m) e densidade populacional (número de plantas/ha). Os valores utilizados representam a média aritmética das medidas realizadas em 15 plantas por talhão.

O IAF foi calculado a partir da equação apresentada por FAVARIN et al. (2002) que utiliza a altura e o diâmetro da seção inferior do dossel (primeiro par de ramos). A rugosidade (Rugos.) do dossel é representada pelo desvio-padrão dos valores das alturas medidas de acordo com PONZONI e RESENDE (2004). Os valores das densidades populacionais (Dens. Pop.) foram calculados a partir dos espaçamentos (entre linhas e entre plantas) existentes em cada talhão, representando a quantidade de plantas existente em cada hectare.

A porcentagem de cobertura do terreno pelas plantas de café (% Cob.) foi calculada a partir da área ocupada pelas plantas de acordo com as Equações 1 e 2:

- Para talhões com formação em renque (espaçamento entre plantas é menor ou igual que o diâmetro médio das plantas)

$$\% Cob = (D/EL) \times 100 \quad (1)$$

onde: D é o diâmetro (m) das plantas, EL o espaçamento entre linhas de plantio (m)

- Para talhões onde o espaçamento entre plantas é maior que o diâmetro médio das plantas

$$\% Cob = (\pi \times r^2) / (EL \times EP) \times 100 \quad (2)$$

onde: EL é o espaçamento entre linhas de plantio (m), EP é espaçamento entre plantas na linha de plantio (m)

Os valores médios dos parâmetros biofísicos medidos e calculados são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1: Descrição dos valores médios dos parâmetros biofísicos nos trinta talhões amostrados em campo, onde: MN (variedade mundo novo), EL (espaçamento entre linhas de plantio), EP(espaçamento entre plantas na linha de plantio), Diâm.(diâmetro das plantas), Alt. (altura), IAF (índice de área foliar), %Cob (porcentagem de cobertura do terreno pelas plantas), Dens. Pop. (densidade populacional) e Rugs. (rugosidade).

Talhão	Variedade	EL (m)	EP (m)	Diâm. (m)	Alt. (m)	IAF (m ² .m ⁻²)	%Cob (m)	Dens. Pop pl/ha	Rugos (m)
2	MN	4,0	1,0	1,3	1,9	2,1	33,3	2500,0	0,3
3	MN	3,0	1,0	1,8	1,8	3,7	60,0	3333,3	0,1
4	MN	3,0	1,3	2,1	2,7	6,8	69,0	2564,1	0,5
6	MN	1,5	0,7	1,2	2,1	4,6	80,7	9523,8	0,2
A	MN	3,0	0,9	2,1	2,4	6,3	71,3	3921,6	0,3
Ac	Catuaí	2,0	0,7	1,9	1,7	4,1	96,0	7692,3	0,1
B	Catuaí	3,8	0,6	2,1	2,1	5,4	55,0	4386,0	0,1
D	Catuaí	4,0	0,9	1,5	2,0	3,4	38,5	2941,2	0,1
E1	MN	3,8	1,0	2,6	2,2	7,5	68,1	2631,6	0,2
E2	MN	3,8	1,0	2,6	2,2	7,5	68,1	2631,6	0,2
E3	MN	3,8	1,0	2,6	2,2	7,5	68,1	2631,6	0,2
E4	MN	3,8	1,0	2,6	2,2	7,5	68,1	2631,6	0,2
F1	MN	3,8	1,0	2,2	2,2	6,1	57,8	2631,6	0,2
F2	MN	3,8	1,0	2,2	2,2	6,1	57,8	2631,6	0,2
G1	MN+Catuaí	2,0	1,0	1,9	2,1	4,8	95,0	5000,0	0,4
G2	MN+Catuaí	2,0	1,0	1,9	2,1	4,8	95,0	5000,0	0,4
H	Catuaí	3,5	0,8	2,2	2,2	6,0	62,9	3571,4	0,1
I	MN	3,5	0,8	2,1	2,1	5,3	58,6	3571,4	0,3
J	Catuaí	3,0	0,7	2,2	2,3	6,3	72,0	4761,9	0,3
L	Catuaí	3,0	1,0	1,9	2,0	4,7	64,0	3333,3	0,2
O	Catuaí	3,2	0,7	1,9	2,1	4,8	58,1	4464,3	0,2
P	Catuaí	3,0	1,0	2,0	2,3	5,5	66,7	3333,3	0,2
Q	MN	3,5	0,8	1,7	2,2	4,2	47,5	3809,5	0,1
R	Catuaí	4,0	2,0	2,1	2,1	5,7	52,9	1250,0	0,3
S	MN	4,0	1,3	2,0	2,8	6,9	50,4	2000,0	0,2
T	MN	4,0	1,3	2,3	2,6	7,5	58,4	2000,0	0,3
U	Catuaí	4,0	1,5	2,1	2,4	6,2	52,7	1666,7	0,4
V	Catuaí	3,5	0,8	0,7	0,9	0,1	14,0	3809,5	0,1
X	MN	3,5	0,8	0,9	1,3	0,7	24,5	3809,5	0,1
Y	MN	3,5	0,9	1,8	2,6	5,5	51,6	3361,3	0,2

Foram utilizadas imagens dos satélites Landsat-TM e Quickbird com passagem em 24/01/2006 e 05/02/2006, respectivamente. A imagem do Lansat-TM utilizada possui resolução espacial de 30m, resolução radiométrica de 8 bits e foram utilizadas, no estudo, as banda TM1, TM2, TM3, TM4, TM5 e TM7. A imagem do satélite Quickbird possui resolução espacial de 2,44m, resolução radiométrica de 16 bits e resolução espectral de 4

bandas, três do visível (QUICK1, QUICK2 e QUICK3) e uma no infravermelho próximo (QUICK4).

Nas duas imagens foi feita a correção atmosférica e a transformação dos níveis de cinza em valores de refletância real com a utilização do sistema computacional SCORADIS (Sistema de Correção Radiométrica de Imagens de Satélite), desenvolvido por ZULLO JR (1994). Os parâmetros atmosféricos (espessura óptica dos aerossóis, coluna total de vapor d'água e carga total de ozônio) que são utilizados como entrada no programa Scradis foram obtidos a partir do sensor MODIS seguindo a metodologia desenvolvida por NASCIMENTO e ZULLO JR (2007). Posteriormente foi feita a correção geométrica da imagem Landsat-TM utilizando a imagem do satélite Quickbird como base.

Além das bandas espectrais (TM1, TM2, TM3, TM4, TM5, TM7 do Landsat e B1, B2, B3 e B4 do Quickbird) corrigidas foram calculados também os índices NDVI, SAVI, GVI e RVI para as duas imagens. Todos os procedimentos necessários para o tratamento dos dados nas imagens foram realizados com a utilização do programa Envi 4.3 (ENVI, 2008).

Os talhões levantados em campo foram identificados primeiramente na imagem do satélite Quickbird e, depois, transferidos de maneira automática para a imagem do Landsat-TM.

Em seguida realizou-se a extração dos valores médios de refletância e dos valores médios dos índices de vegetação para os 30 talhões amostrados. Esses valores foram exportados para o programa Excel onde foi determinado o coeficiente de correlação de Pearson entre eles e os parâmetros biofísicos dos talhões.

3. Resultados e Discussão

Na Tabela 2 encontram-se os resultados das correlações entre as bandas e os índices calculados, nas imagens dos satélites Landsat-TM e Quickbird, e os parâmetros biofísicos dos 30 talhões amostrados em campo.

Tabela 2: Valores de correlação significativos (para $\alpha=5\%$) entre as bandas e índices dos satélites Landsat-TM e Quickbird e os parâmetros biofísicos dos plantios de café.

	EL	EP	DIÂM	ALT	IAF	%COB	DENS POP	RUGOS
TM1	-	-	-0,466	-0,549	-0,505	-0,604	-	-
TM2	-	-	-0,429	-0,507	-0,436	-0,630	-	-
TM3	-	-	-	-0,475	-0,395	-0,494	-	-
TM4	-	-	-	-	-	-	-	-
TM5	-	-	-	-0,412	-	-0,461	-	-
TM7	-	-	-	-	-0,363	-	-	-
NDVI_TM	-	-	-	0,384	-	0,407	-	-
SAVI_TM	-	-	-	-	-	-	-	-
RVI_TM	-	-	-	-	-	0,421	-	-
GVI_TM	-	-	-	-	-	0,451	-	-
QUICK1	-	-	-0,491	-0,591	-0,500	-0,662	-	-
QUICK2	-	-	-0,447	-0,529	-0,439	-0,679	-	-
QUICK3	-	-	-	-	-0,382	-	-	-
QUICK4	-	-	-	-	-	-	-	-
NDVI_QUICK	-	-	-	0,516	-	0,427	-	-
SAVI_QUICK	-	-	-	0,442	-	-	-	-
RVI_QUICK	-	-	-	0,376	-	0,392	-	-
GVI_QUICK	-	-	-	-	-	0,524	-	-

De acordo com os resultados apresentados na Tabela 2 pode-se observar que nenhum dos parâmetros biofísicos levantados possui uma alta correlação significativa com as bandas ou com os índices de vegetação dos satélites.

Pode-se verificar que todas correlações significativas existentes entre as bandas do visível (tanto para o Quickbird como para o Landsat-TM) e os parâmetros biofísicos são negativas, isto é, como o aumento da quantidade de massa verde ocorre um decréscimo no valor da refletância. Este fato ocorre, pois o aumento da quantidade de massa verde nos plantios de café esta associado também ao aumento da quantidade de sombra existente nos talhões o que contribui para valores menores de refletância.

A maior correlação existente é entre a banda 2 do satélite Quickbird e a porcentagem de cobertura do terreno pelas plantas de café (%COB) que é de -0,679. Esse valor relativamente mais alto do que o encontrado entre a banda 2 do Landsat-TM (-0,630) parece estar relacionado a melhor resolução espacial da imagem do Quickbird que é de 2,44m.

Nos índices de vegetação calculados pode-se observar que o NDVI do satélite Quickbird é o que possui maior correlação com o parâmetro ALT (0,516) e o GVI possui maior correlação com o parâmetro %COB (0,524). Apesar desses índices terem sido desenvolvidos para utilização em imagens de baixa e média resolução espacial é possível observar que sua maior correlação foi com a imagem de alta resolução espacial.

É possível verificar que os valores de refletância da banda 4, para os dois satélites, não possuem correlação significativa com a %COB. Outros autores também encontram resultados semelhantes, entre eles COVRE (1989) e LEONARDI (1990) estudando, respectivamente, plantios de citrus e café.

LEONARDI (1990) correlacionou vários parâmetros biofísicos de cafezais com a banda 4 do Landsat-TM e verificou que o parâmetro vigor vegetativo foi o que obteve maior correlação positiva. Com a correlação positiva encontrada entre a banda 4 (TM) e o vigor vegetativo e a ausência de correlação da porcentagem de cobertura pelas plantas de café, indica que a densidade de massa foliar verde, intensamente relacionada com o IAF, influencia mais a resposta na banda 4 que a porcentagem de cobertura pelas plantas de café

Mas pode-se observar, pelos resultados apresentados, que apesar do IAF possuir correlações significativas com algumas das bandas analisadas, para a banda 4 isto não aconteceu, tanto na imagem do Quickbird como na do Landsat-TM.

Covre (1989), analisando a relação entre a banda 4 do Landsat-TM e as características biofísicas de citrus, encontrou correlação significativa, mas fraca e negativa (-0,216). Como justificativa o autor argumenta que ocorre um aumento da proporção de sombras no talhão à medida que o porte das árvores aumenta e essas sombras influenciam significativamente no sinal registrado pelo sensor e conseqüentemente, alteram a refletância do talhão. Portanto, nas demais porções de espectro eletromagnético, a diminuição da refletância causada pelo aumento das sombras é paralela ao decréscimo da refletância causado pelo aumento de fitomassa. Já, na banda 4 do TM, a diminuição da refletância em função do aumento de sombras se contrapõem ao aumento da refletância causado pelo aumento da fitomassa.

Para avaliar a influência do sombreamento na resposta da banda 4, para os dois satélites, o parâmetro %COB foi agrupado em classes de cobertura, os resultados podem ser observados na Tabela 3.

Tabela 3: Valores de correlação ($\alpha=5\%$) entre as bandas 4 dos satélites Landsat-TM e Quickbird.

	%COB de 0 a 47	%COB de 0 a 50	%COB 0 a 55	%COB 0 a 96
Quickbird B4	0,5288	0,6456	0,4101	-0,1335
Landsat TM4	0,2815	0,5054	0,3667	-0,0592

Pode-se verificar, na Tabela 3, que quando se utilizam valores de cobertura de até 50% ocorre correlação positiva e significativa com as bandas do infravermelho próximo, para os dois satélites.

A %COB com valores entre 0 e 50% foi a que apresentou maior correlação positiva com as imagens da banda 4, sendo que o maior valor foi encontrado utilizando a imagem do Quickbird (0,645). Esse resultado vem comprovar que, a quantidade de sombras existentes nos talhões influencia de maneira significativa na refletância da banda 4, pois quanto maior a %COB maior a quantidade de fitomassa na área e, conseqüentemente, mais sombras. VIEIRA et al. (2003), estudando a relação dos parâmetros culturais de cafezais com sua resposta espectral também encontrou valores de correlação mais altos (0,61) com a banda 4 do TM, quando a porcentagem de cobertura das plantas era inferior a 50%.

4. Conclusões

De acordo com o trabalho apresentado pode-se concluir que a porcentagem de cobertura do terreno pelas plantas de café (%COB) é o parâmetro biofísico que possui maior correlação com a resposta espectral nas bandas do visível dos satélites Quickbird e Landsat/TM.

A banda do infravermelho próximo (b4) dos dois satélites só possui correlação significativa com o parâmetro porcentagem de cobertura do terreno pelas plantas de café (%COB), quando este é de até 50%, indicando que o sombreamento da cultura influencia de maneira significativa na resposta espectral registrada nesta banda.

O índice de vegetação NDVI, normalmente utilizado na estimativa do IAF, não mostrou correlação com esse parâmetro nas áreas de café avaliadas.

O trabalho apresentado mostrou que, a cultura do café possui resposta espectral muito complexa e, há necessidade de mais estudos visando sua caracterização espectral em função de seus parâmetros agrônômicos.

Agradecimentos

Ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) pelo financiamento da pesquisa.

5. Referências Bibliográficas

ALVES, H.M.R., LACERDA, M.P.C. Caracterização de agroecossistemas cafeeiros nas principais regiões produtoras no estado de Minas Gerais. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Belo Horizonte, 2003. **Anais...**Belo Horizonte: INPE, p. 11-17, 2003.

BERTOLDO, M. A. et al. Caracterização da cultura cafeeira em relação as classes de solos e declividade utilizando técnicas de geoprocessamento na região de São Sebastião do Paraíso-MG. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Belo Horizonte, 2003. **Anais...**Belo Horizonte: INPE, p. 86-89, 2003.

COVRE, M. **Influência de parâmetros culturais de citros sobre os dados TM/Landsat**. 1989. 241 p. (INPE-4856-TDL/367). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Sao Jose dos Campos. 1989.

ENVI 4.3. Environment for visualizing images. Disponível em: < <http://www.envi.com.br>>. Acesso em 15 de outubro de 2008.

FAVARIN, J.L. et al. Equações para a estimativa do índice de área foliar do cafeeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.37, n.6, p.769-773, 2002.

IBGE. **Dados da produção agrícola**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 20 de fevereiro de 2005.

LEONARDI, L. **Influência de parâmetros culturais de cafezais sobre os dados TM/Landsat-5**. 1990. 171 p. (INPE-5209-TDL/430). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Sao Jose dos Campos. 1990.

MOREIRA, M.A., ADAMI, M., RUDORFF, B.F.T. Análise do comportamento espectral de café em imagens TM e ETM+ do Landsat 5 e 7. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Belo Horizonte, 2003. **Anais...**Belo Horizonte: INPE, p. 189-196, 2003.

NASCIMENTO, C. R.; ZULLO JUNIOR, J. Utilização de produtos atmosféricos do sensor MODIS/TERRA, na correção atmosférica de imagens do sensor AVHRR/NOAA. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 13. (SBSR), 2007, Florianópolis. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2007. p. 6367-6374. CD-ROM, On-line. ISBN 978-85-17-00031-7. Disponível em: <<http://urlib.net/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/11.09.13.27>>. Acesso em: 13 ago. 2008.

PONZONI, F. J., REZENDE, A. C. P. Caracterização espectral de estágios sucessionais de vegetação secundária arbórea em Altamira (Pa), através de dados orbitais. **Revista Árvore**, v. 28, n. 4, p. 535-545, 2004.

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 (SBSR), 11., 2003, Belo Horizonte. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2003. p. 247-254. CD-ROM, Online. ISBN 85-17-00017-X. Disponível em: <<http://urlib.net/ltid.inpe.br/sbsr/2002/11.14.17.41>>. Acesso em: 22 outubro 2006.

ZULLO JR., J. **Correção Atmosférica de Imagens de Satélite e Aplicações**. 1994. 190f.. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) – Faculdade de Engenharia Elétrica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.