

Utilização de imagem do satélite Landsat/TM na determinação de parâmetros biofísicos de plantios de café

Gláucia Miranda Ramirez¹
Jurandir Zullo Junior²

¹ Universidade Federal de Lavras - UFLA/DEG
Caixa Postal 96 - 13416-000 - Piracicaba - SP, Brasil
glaucia_ramirez@deg.ufla.br

² Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas à Agricultura -
CEPAGRI/UNICAMP
Cidade Universitária "Zeferino Vaz" - 13083-970 - Campinas/SP
jurandir@cpa.unicamp.br

Abstract. Coffee has been synonymous of progress and has strongly contributed to the industrialization of Brazil. Nowadays, the coffee is still one of the most important Brazilian agricultural products. Accurate information about area and crop yield timely and with reduced cost are precious tools for an appropriate planning of culture in the country. Within this context the use of orbital remote sensing establish a great advance of survey data about coffee planting mainly for its secular character and low cost. The objective of this study was to evaluate the use of LANDSAT / TM image satellite to estimate important biophysical parameters of the coffee culture. It was used 25 plots of coffee plantation located among municipalities of Ribeirão Corrente, Franca and Cristais Paulista (SP). The biophysical parameters used were spacing among rows and plants, height, leaf area index (LAI), crown diameter, percentage of vegetation cover, roughness, variety and biomass. We used real values of reflectance from the spectral bands of LANDSAT/TM satellite and four vegetation indexes (NDVI, GVI, SAVI and RVI). From these data linear and nonlinear regression analysis was performed to obtain estimate models. The use of regression models based on nonlinear equations were more appropriate to determine the parameters LAI and biomass percentage which are important as indicators of coffee culture productivity.

Palavras-chave: remote sensing, regression nonlinear, biophysical crop

1. Introdução

O uso de recursos de sensoriamento remoto orbital constitui um grande avanço no levantamento de dados sobre a cafeicultura, sobretudo por seu caráter temporal e baixo custo. Trabalhos realizados por BERTOLDO et al. (2003), ALVES e LACERDA (2003), MOREIRA et al. (2003) e RAMIREZ et al. (2006) ilustram esse potencial no planejamento e desenvolvimento do setor.

Apesar da importância dos trabalhos citados e de outros trabalhos realizados, principalmente no Brasil, ainda são necessárias mais pesquisas que permitam fazer com que o sensoriamento remoto seja utilizado de maneira efetiva no levantamento, mapeamento e monitoramento de áreas cafeeiras, servindo de apoio aos métodos operacionais empregados atualmente.

O conhecimento da correlação entre fatores biofísicos da cultura e sua resposta espectral pode auxiliar os métodos atuais de previsão e monitoramento de safras. Para tanto o emprego de análises de regressão pode auxiliar o entendimento das relações entre esses parâmetros e suas respostas espectrais, além de permitir a geração de modelos capazes de predizerem tais parâmetros em imagens de satélites.

O objetivo da regressão é obter uma equação para um dado experimento, associado a um fenômeno (físico, químico ou biológico, por exemplo) ou a relações entre grandezas (tais como temperatura, latitude, pressão e tempo). Em muitos casos, é possível utilizar a equação

de uma reta, dada por $y = ax + b$, sempre que os dados obtidos (em um experimento, por exemplo) estiverem relacionados de forma aproximadamente linear.

Apesar das análises de regressão linear ajustar-se bem para vários tipos de dados, há muitos casos nas áreas biológica e agrícola em que a relação não é linear e, portanto, a melhor representação para o fenômeno estudado não é uma reta (ZULLO JR e ARRUDA, 1986). Por definição, um modelo de regressão é não-linear se, pelo menos, um dos seus parâmetros aparecem de forma não-linear. Um modelo de regressão não-linear é considerado “intrinsecamente linear” se este pode ser reduzido a um modelo linear por meio de uma parametrização apropriada. Pode-se, ainda, utilizar o termo “intrinsecamente linear” para referir-se a modelos que podem ser linearizados através de alguma transformação (MAZUCHELI e ACHCAR, 2002).

O objetivo deste trabalho foi avaliar o potencial de análises de regressão (baseadas em modelos não-lineares) na obtenção de parâmetros biofísicos de cafezais a partir de imagem do satélite LANDSAT/TM.

2. Material e Métodos

A área de estudo está localizada na Região da Alta Mogiana, entre os municípios de Franca e Ribeirão Corrente, a noroeste do Estado de São Paulo, delimitada pelas coordenadas 20°26' e 20°29' de latitude sul e 47°26' e 47°34' de longitude oeste. Área possui aproximadamente 600 ha onde foram selecionados 25 talhões com plantios de café para o levantamento dos parâmetros biofísicos e extração dos valores radiométricos registrados na imagem do LANDSAT/TM.

Os parâmetros levantados em campo e os valores calculados a partir destes foram: altura de planta (m), diâmetro de copa (m), espaçamento entre linhas (m), espaçamento entre plantas (m), IAF (partir da equação apresentada por FAVARIN et al., 2002), porcentagem de cobertura do terreno pelas plantas de café (de acordo com LEONARDI, 1990), rugosidade (desvio-padrão dos valores das alturas medidas de acordo com PONZONI & RESENDE, 2004), densidade populacional (número de plantas por ha) e biomassa (calculada a partir da fórmula desenvolvida por PÁSCUA, 2002; onde se considera somente a altura da planta). Os valores utilizados representam a média aritmética das medidas realizadas em 15 plantas por talhão. Esses parâmetros foram levantados durante o mês de março de 2006.

A imagem do satélite LANDSAT/TM utilizada é do dia 24 de janeiro de 2006, pertencendo à órbita/ponto 220/74, com seis bandas espectrais, sendo três no visível (TM1-azul, 450nm a 520nm; TM2-verde, 520nm a 600nm; TM3-vermelho, 630nm a 690nm) e três na região do infravermelho (TM4-infravermelho próximo, 760nm a 900nm; TM5-infravermelho médio, 1550nm a 1750nm e TM7- infravermelho médio, 2080nm a 2350nm), com resolução radiométrica de 8 bits e resolução espacial de 30m.

Nessa imagem foram realizadas correções atmosféricas, radiométrica e o georreferenciamento. Para a correção radiométrica e atmosférica, utilizou-se o sistema computacional SCORADIS (Sistema de Correção Radiométrica de Imagens de Satélite), desenvolvido por ZULLO JR (1994). Os dados de entrada necessários para as correções foram obtidos através do sensor MODIS Terra, seguindo a metodologia descrita por NASCIMENTO (2006). O georreferenciamento foi realizado a partir de uma imagem base de alta resolução espacial.

Após a realização das correções foram calculados os seguintes índices de vegetação:

NDVI ($NDVI = ((IVP - V))/((IVP + V))$); **SAVI** ($SAVI = ((IVP - V) \cdot (1 + L))/((IVP + V + L))$), considerando $L = 0,5$; **GVI** ($GVI = IVP/G$) e **RVI** ($RVI = IVP/V$).

Visando descrever o comportamento dos parâmetros biofísicos dos plantios de café com base na imagem do LANDSAT/TM foi empregada a análise de regressão, que utiliza equações não-lineares.

Para tanto, utilizou-se o programa AJUSTE, desenvolvido por ZULLO JR e ARRUDA (1986), que reúne 17 modelos de equações bem conhecidas na literatura e com amplas aplicações nos campos da biologia e agricultura. Os modelos de equações utilizadas pelo programa AJUSTE e empregados neste trabalho foram: senoidal, exponencial, recíproca, hiperbólica, hiperbólica retangular, monomolecular, logística, logística negativa, gompertz, alométrica linear, alométrica curvilínea, quadrática, cúbica, exponencial quadrática, exponencial cúbica e o normal.

Para entrada no programa AJUSTE foi selecionadas as 6 bandas do LANDSAT (TM1, TM2, TM3, TM4, TM5 e TM7) com valores de refletância real em porcentagem mais os índices de vegetação mencionados acima.

Para avaliar os resultados obtidos nas análises de regressão, foram selecionados oito talhões-testes (escolhidos ao acaso) com plantios de café situados dentro da mesma área de estudo, mas com características e localização geográfica diferentes dos utilizados para gerar as equações. As equações geradas pelo programa AJUSTE foram utilizadas de modo a prever os resultados levantados em campo, nesses talhões-teste.

3. Resultados e Discussão

O programa AJUSTE tem como saída as equações (linearizadas) ajustadas e os seus respectivos valores de R . Para este trabalho foram consideradas regressões com valores de R maiores que 0,85 entre os parâmetros biofísicos (variável dependente) e as bandas e índices de vegetação gerados a partir dos dados do LANDSAT/TM (variável independente). Na Tabela 1 são apresentadas as equações de ajuste e seus respectivos R^2 para os parâmetros calculados a partir da imagem TM/LANDSAT.

Tabela 1: Equações geradas pelo programa AJUSTE e seus respectivos R^2 para os parâmetros Biomassa (Bio), IAF e Altura (Alt).

Equação	R^2
Bio = $4,8353805 * \text{EXP}(-217,077698 * \text{TM1} + (9403,76953) * (\text{TM1}^2) + (-133093,516) * (\text{TM1}^3))$	87,0%
Bio = $2,30608702 * \text{EXP}(-66,0669556 * \text{TM2} + (1517,65869) * (\text{TM2}^2) + (-11074,0859) * (\text{TM2}^3))$	84,5%
IAF = $2787810 * \text{EXP}(-1745,95178 * \text{TM1} + (75613,3359) * (\text{TM1}^2) + (-1068701,88) * (\text{TM1}^3))$	84,0%
IAF = $2466621,5 * \text{EXP}(-828,582214 * \text{TM2} + (17119,8262) * (\text{TM2}^2) + (-115280,789) * (\text{TM2}^3))$	80,0%
Alt = $17,4797192 * \text{EXP}(-304,789185 * \text{TM1} + (14416,4854) * (\text{TM1}^2) + (-220092,781) * (\text{TM1}^3))$	74,5%

O parâmetro Biomassa foi o mais bem correlacionado com os dados do satélite, de acordo com as equações não lineares utilizadas no programa AJUSTE. A Biomassa foi ajustada às bandas TM1 e TM2 do LANDSAT, com 87 e 84,5%, respectivamente. A equação exponencial cúbica foi a que apresentou melhor resultado em ambos os casos. BAUSCH et al. (2008), correlacionando algumas características agrônômicas de plantio de milho irrigado com imagem de satélite verificou que a banda verde (B2) foi a que apresentou maior correlação com a biomassa. Tanto no trabalho mencionado como neste estudo os índices de vegetação apresentaram pior desempenho.

Na Figura 1, são apresentados os gráficos mostrando a dispersão dos dados da biomassa e suas respectivas curvas de ajuste.

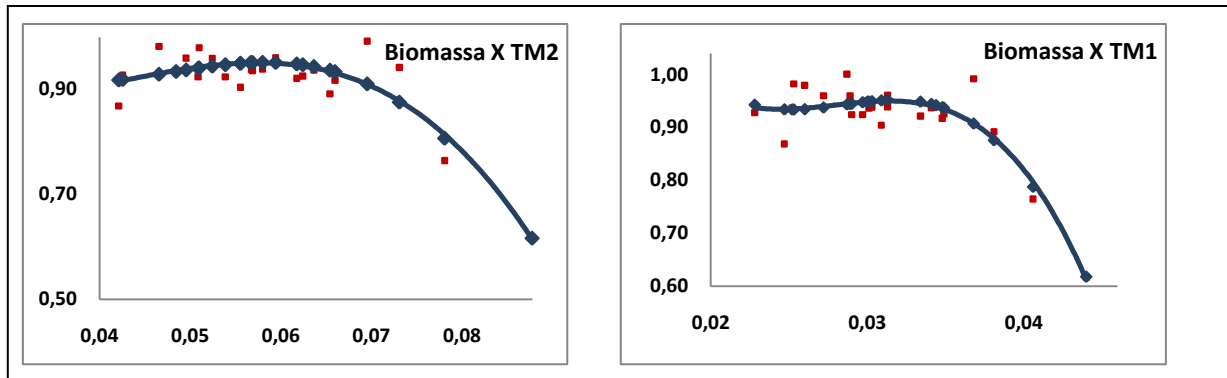


Figura 1: Dispersão dos dados de biomassa e as curvas de ajuste desses pontos para as bandas TM1 e TM2 do satélite LANDSAT.

O parâmetro IAF mostrou-se mais bem correlacionado com as bandas TM1 e TM2, sendo que a equação utilizada para o ajuste das bandas foi a exponencial cúbica. Na Figura 2, são apresentadas a dispersão dos dados e a curva de melhor ajuste para eles. Analisando-se esta Figura, pode-se concluir que a melhor dispersão de pontos foi com a curva de gerada a partir da banda TM2.

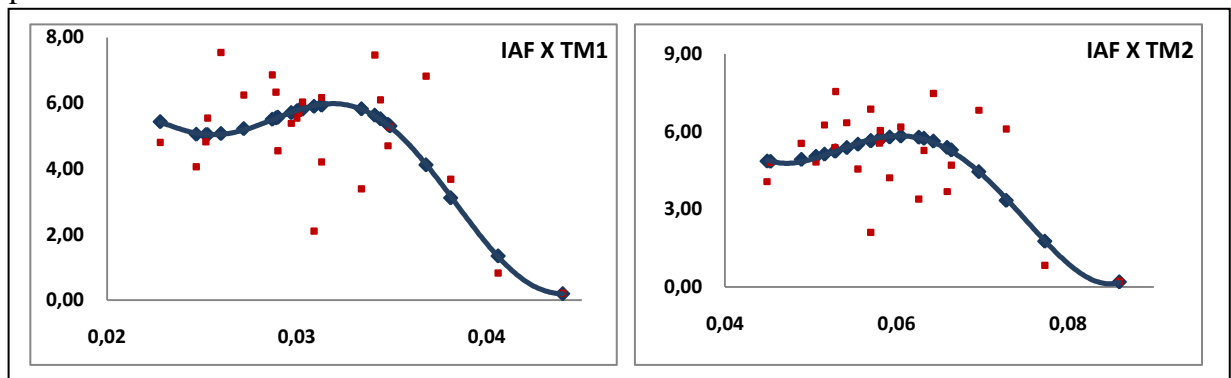


Figura 2: Gráficos mostrando a dispersão dos dados do IAF e as curvas de ajuste desses pontos para as bandas TM1 e TM2 do LANDSAT.

O parâmetro altura mostrou-se mais bem correlacionado com a banda TM1, cuja equação exponencial cúbica foi que propiciou melhor ajuste. Na Figura 3, é apresentado o gráfico mostrando a dispersão dos dados de altura e sua curva de ajuste.

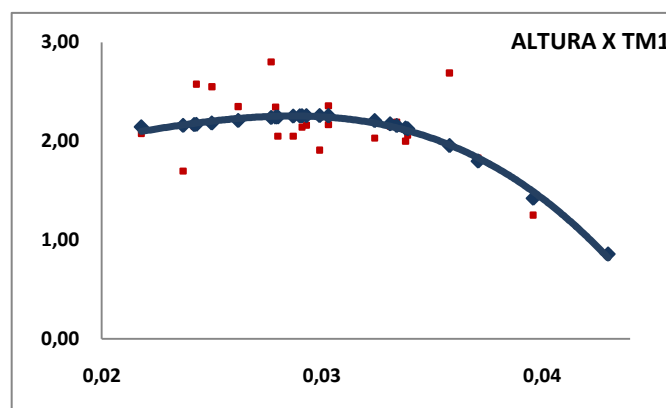


Figura3: Gráfico mostrando a dispersão dos dados de altura e a curva de ajuste desses pontos para a banda TM1 do LANDSAT.

É importante ressaltar que apesar do programa AJUSTE utilizar também a equação linear, em nenhum dos casos avaliados ela teve correlação alta, sendo que, na maioria dos casos, o R^2 ficou abaixo de 0,30. Isto vem corroborar a afirmação feita por ZULLO JR e ARRUDA (1989) que a relação existente entre dados experimentais na área agrícola normalmente não é linear.

Na Tabela 2, encontram-se os dados dos talhões selecionados para avaliar as equações resultantes dos testes de regressão.

Tabela 2: Talhões separados para avaliação das equações de regressão.

Talhão	Variedade	EL (m)	EP (m)	Diam (m)	Alt (m)	IAF1 ($m^2 \cdot m^{-2}$)	%Cob (%)	Dens (plantas/ha)	Rugos (m)	Biom (ton/ha)
T1	Catuaí	1,75	0,70	1,68	2,11	4,16	96,23	8163,27	0,29	0,93
T2	Catuaí	3,5	0,70	1,34	1,82	2,65	38,37	4081,63	0,47	0,89
T3	MN	3,5	1,00	2,05	2,13	5,42	58,57	2857,14	0,40	0,93
T4	MN	3,5	1,00	1,94	2,15	5,08	55,29	2857,14	0,50	0,94
T5	MN	3,8	1,00	2,47	2,16	7,05	65,03	2631,58	0,24	0,94
T6	MN	3,25	1,00	1,74	2,26	4,63	53,45	3076,92	0,33	0,95
T7	MN+Cat.	2,00	1,00	1,79	1,91	4,07	89,00	5000,00	0,44	0,90
T8	MN	3,8	1,00	1,93	1,99	4,71	50,82	2631,58	0,25	0,92

Legenda: MN (variedade mundo novo), EL (espaçamento entre linhas de plantio), EP (espaçamento entre plantas na linha de plantio), Diam (diâmetro das plantas), Alt (altura), IAF (índice de área foliar), %Cob (porcentagem de cobertura do terreno pelas plantas), Biom (biomassa), Dens (densidade populacional), Rugos (rugosidade) e Biom (biomassa).

Na Figura 4 é mostrado o gráfico com os valores de biomassa estimada, através dos dados de campo, e os calculados, a partir da equação de regressão obtida com a utilização das bandas TM1 e TM2 do LANDSAT.

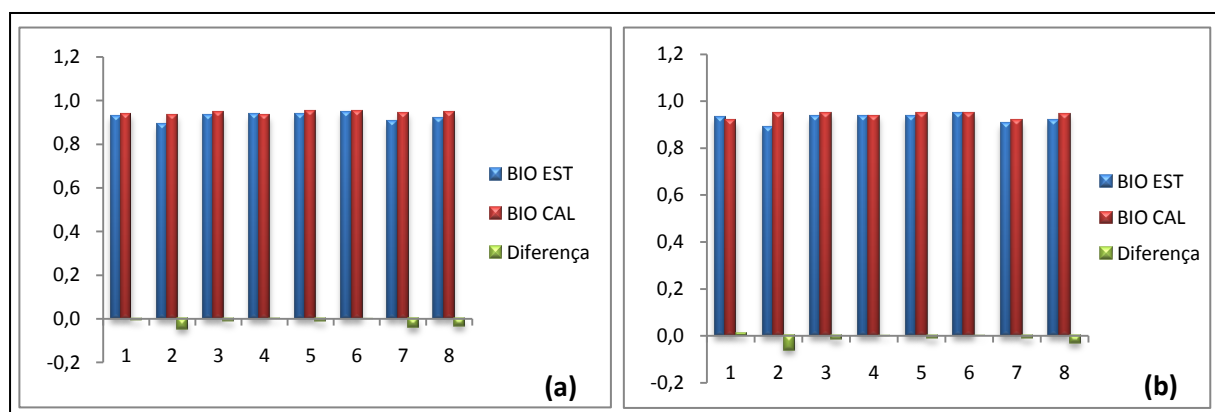


Figura4: Gráfico com os valores de biomassa estimados (BIO EST), calculados (BIO CAL) e da diferença existente entre eles, para as bandas TM1 (a) e TM2 (b) do satélite LANDSAT.

De acordo com o resultado utilizando a banda TM1 (Figura 4a) o talhão 2 foi o que apresentou o maior erro relativo (5,2%), seguido pelos talhões 7 e 8 com, respectivamente, 4,4 e 3,6%. Estes três talhões-teste foram os que possuíam os menores valores de biomassa. Todos os erros cometidos pelo modelo tenderam a superestimar os valores de biomassa

Para a banda TM2 (Figura 4b) o maior erro relativo obtido foi para o talhão T2 (6,7%), sendo que o segundo maior erro foi para o talhão T8 (3,44%). O erro relativo médio nesta análise foi de 2,1%, sendo que, os valores foram, em sua maioria, superestimados.

Na Figura 5 é mostrado o gráfico com os valores de IAF estimados, através dos dados de campo, e os calculados, a partir da equação de regressão obtida com a utilização das bandas TM1 e TM2 do LANDSAT.

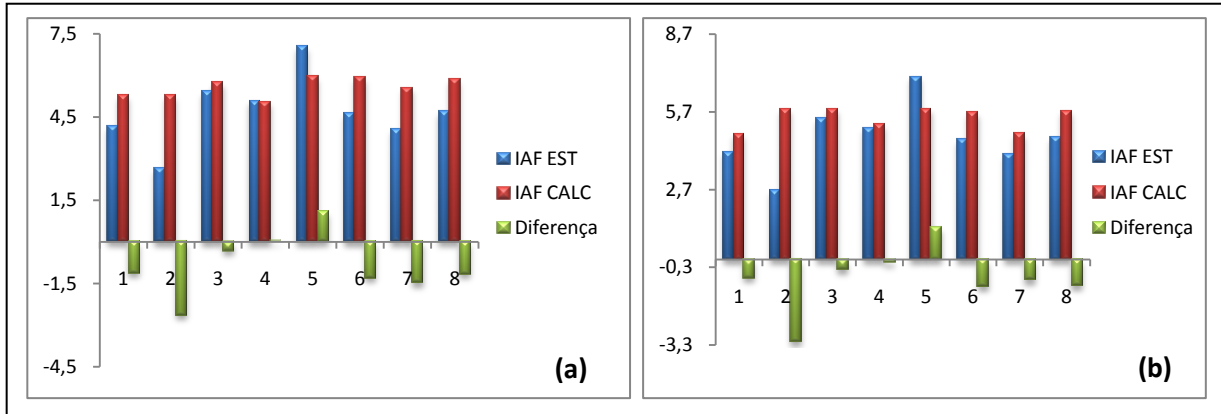


Figura5: Gráfico com os valores de índices de área foliar estimados (IAF EST), calculados (IAF CALC) e da diferença existente entre eles, para as bandas TM1 (a) e TM2 (b) do satélite LANDSAT.

Para a banda TM1 (Figura 5a) o maior erro relativo foi encontrado no talhão-teste T2 (99,3%), que foi o talhão com o menor valor de IAF estimado. O talhão T7 também apresentou um erro relativo elevado (36,6%), sendo o segundo menor IAF estimado. Na Figura 5b verifica-se que o maior erro relativo obtido foi apresentado pelo talhão T2 (119%), sendo que o segundo maior erro foi apresentado pelo talhão T6 (22,8%). O maior erro relativo foi apresentado pelo talhão que possuía o menor valor de IAF estimado, resultado igual ao apresentado na análise do IAF para a TM1.

O erro relativo médio, para a banda TM2 foi de 28,4%, menor que o apresentado utilizando a equação baseada na TM1. Na prática, o desempenho dos dois modelos foi muito semelhante, apesar das diferenças dos valores do R^2 e do erro relativo das estimativas feitas com os talhões-teste.

Os valores das alturas medidas em campo e calculadas, a partir da equação de regressão obtida com dados da banda TM1 do LANDSAT, são apresentados na Figura 6.

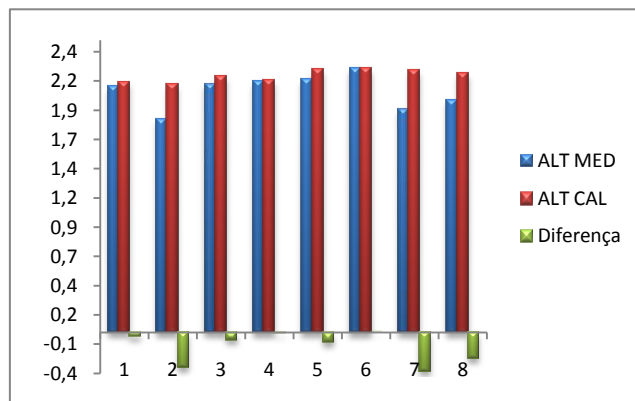


Figura 6: Gráfico com os valores das alturas estimadas (ALT CAL), medida (ALT MED) e a diferença existente entre elas, para a banda TM1 do LANDSAT.

4. Conclusões

Os parâmetros biofísicos altura, índice de área foliar e a biomassa de plantios de café podem ser estimados, utilizando-se das bandas espectrais do azul e do verde do satélite LANDSAT/TM, através da utilização de modelos de regressão baseados em equações não lineares. Os índices de vegetação NDVI, SAVI, GVI e RVI, calculados a partir da imagem LANDSAT/TM e as bandas TM3, TM4, TM5 e TM7, não se mostraram bons estimadores dos parâmetros biofísicos de cafezais.

5. Agradecimentos

Ao Cnpq e ao Consórcio Pesquisa Café

6. 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, 2003, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: INPE, 2003. p.11-17.
- BAUSCH, W.C.; HALVORSON, A.D.; CIPRA, J. Quickbird satellite and ground-based multispectral data correlations with agronomic parameters of irrigated maize grown in small plots. **Biosystems Engineering**, v.101, n.1, p. 306-315, 2008. Disponível em <<http://www.sciencedirect.com>>. Acesso em: 25 out. 2008.
- BERTOLDO, M.A.; ALVES, H.M.R.; VIEIRA, T.G.C.; OLIVEIRA, M.R.; MARQUES, H. 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. 1 CD-ROM
- FAVARIN, J.L.; NETO, D.D.; GARCÍA, A.G.; NOVA, N.A. V.; FAVARIN, M.G.G.V. Equações para a estimativa do índice de área foliar do cafeeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.37, n.6, p.769-773, 2002.
- LEONARDI, L. **Influência de parâmetros culturais de cafezais sobre o dados TM/LANDSAT-5**. 1990. 171p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos.
- MAZUCHELI, J.; ACHCAR, J.A. Algumas considerações em regressão não linear. **Acta Scientiarum**, Maringá, v.24, n.6, p.1.761-1.770, 2002.
- 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, 2003, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: INPE, 2003. p.189-196.
- NASCIMENTO, C.R. **Correção atmosférica de imagens do sensor AVHRR/NOAA utilizando produtos atmosféricos do sensor MODIS/TERRA**. 2006. 129 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2006.
- PÁSCUA, D.M.S. **Cuantificación y valoración econômica Del servicio ambiental almacenamiento de carbono em sistemas agroflorestales de café em la Comarca Yassica Sur, Matagalpa, Nicaragua**. 2002. 131 f. Tese (Magister Scientiae) - Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Turrialba, 2002.
- 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**, Viçosa - MG, v.28, n.4, p.535-545, 2004.
- RAMIREZ, G.M.; ZULLO JÚNIOR, J.; ASSAD, E.D.; PINTO, H.S. Comparação de dados dos satélites Ikonos-II e Landsat/ETM+ no estudo de áreas cafeeiras. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v.41, n.4, p.661-666, 2006.
- ZULLO JÚNIOR, J. **Correção atmosférica de imagens de satélite e aplicações**. 1994. 190 f. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) - Faculdade de Engenharia Elétrica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1994.
- ZULLO JÚNIOR, J.; ARRUDA, F.B. **Programa computacional para ajuste de equações em dados experimentais**. Campinas: Instituto Agronômico, 1986. 23 p. (Boletim Técnico, 113).