

VARIABILIDADE ESPACIAL E RELAÇÃO DO ÍNDICE DE VEGETAÇÃO DE IMAGEM QUICKBIRD® COM CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DO SOLO DE LAVOURA CAFEIEIRA

Marcelo de C. ALVES¹; Fábio M. da SILVA¹, E-mail: famsilva@ufla.br; Edson A. POZZA²; Marcelo S. de OLIVEIRA³; Júlio C. S. SILVA¹; Paulo E. de SOUZA²

¹Universidade Federal de Lavras (UFLA) - MG, Depto de Engenharia; ²UFLA -MG, Depto de Fitopatologia.; ³UFLA, Depto de Ciências Exatas.
*Trabalho financiado pelo Cnpq, Capes e FAPEMIG.

Resumo:

Objetivou-se com este trabalho, utilizar técnicas de Agricultura de Precisão (AP) para caracterizar a relação entre a variabilidade espacial de atributos físico-químicos do solo e o índice de área foliar de plantas de cafeeiro obtido a partir de imagem do satélite QuickBird®. O experimento foi conduzido na fazenda Cafua, localizada no município de Ijací, sul de Minas Gerais, em uma área de aproximadamente 6,5 ha de lavoura de cafeeiro (*Coffea arabica* L.), cultivar Catuaí Vermelho IAC 99. Foram demarcados transectos na área com distâncias de 25x25 e 50x50 metros, num total de 67 pontos amostrais, com base nos quais se realizaram amostragem de características físico-químicas do solo e do índice de vegetação da cultura com base em imagem de satélite QuickBird®. Com o uso de técnicas de Sistema de Informações Geográficas (SIG), Sensoriamento Remoto (SR), Processamento de Imagens Digitais (PID), Geoestatística e Estatística, foi possível detectar e caracterizar a variabilidade espacial da vegetação na lavoura, potencialmente influenciada pelas características físico-químicas do solo.

Palavras-chave: Geociência, Agricultura de Precisão, Café.

SPATIAL VARIABILITY AND RELATIONSHIP AMONG IMAGE QUICKBIRD®'S VEGETATION INDEX WITH SOIL COFFEE CROP PHYSICO-CHEMICAL CHARACTERISTICS

Abstract:

It was aimed at with this work, to use Precision Farming (PF) techniques to characterize the relation among the spatial variability of soil physico-chemical attributes and the coffee crop leaf area index obtained from QuickBird® satellite image. The experiment was driven in Cafua farm, located in Ijací municipal district of south region of Minas Gerais, in an area of approximately 6,5 ha of coffee crop (*Coffea arabica* L.), Catuaí Vermelho IAC 99 cultivar. Transects in distances of 25x25 and 50x50 meters were demarcated in the area, in a totality of 67 surveyed points, used to mark the soil physicochemical characteristics and the coffee plant NDVI vegetation index with based on QuickBird® satellite image. Using Geographical Information Systems (GIS) techniques, Remote Sensing (RS), Digital Image Processing (DIP), Geostatistics and Statistics, it was possible to detect and to characterize the NDVI spatial variability, potentially influenced by soil physico-chemical characteristics.

Key words: Geoscience, Precision Farming, Coffee.

Introdução

O homem depende da biosfera para obter recursos como alimentos, fibras e água para sua sobrevivência. Todavia, em função dessa necessidade vital, aproximadamente 18 milhões de km² da superfície terrestre são utilizados com lavouras, 34 milhões de km² com pastagens e 2,5 milhões de km² com áreas urbanas. Juntos, esses três ecossistemas ocupam aproximadamente um terço da superfície global da Terra (Leff et al., 2004). Para minimizar o impacto antrópico no ambiente, verifica-se a necessidade de utilizar metodologias de AP (Silva & Borges, 1998) para subsidiar o apoio à tomada de decisão nos programas de controle de qualidade de empreendimentos rurais (Matthews et al., 1999) a fim de se obterem produtos e serviços com maior eficácia, rapidez, baixo custo, melhor qualidade (Lowenberg-DeBoer, 2000) e de menor impacto ambiental (Cox, 2002). Considerando-se que há um campo vasto de pesquisa com o uso de técnicas de AP aplicadas na cultura do cafeeiro, objetivou-se com o presente estudo, caracterizar a relação entre a variabilidade espacial de atributos físico-químicos ao longo do perfil do solo e sua influência potencial no índice de área foliar de plantas de cafeeiro obtido a partir de imagem do satélite

QuickBird®.

Material e Métodos

O experimento foi conduzido na fazenda Cafua, localizada no município de Ijací, sul de Minas Gerais, em uma área de 6,5 ha de lavoura de cafeeiro (*Coffea arabica* L.) da cultivar Catuaí Vermelho IAC 99, com dezesseis anos de idade, sob espaçamento de 3,8 m entre linhas e 1m entre plantas, totalizando 2632 plantas.ha⁻¹. As coordenadas geográficas são de 21o 10' 11" de latitude sul e 44o 58' 37" de longitude oeste de Greenwich, com altitude média de 934 metros e declividade de 0,84 % no sentido norte-sul e de 12 % no sentido leste-oeste. Foi demarcada na área uma malha irregular na distância de 25x25 e 50x50 metros, num total de 67 pontos amostrais. O georreferenciamento dos pontos foi realizado com GPS TRIMBLE 4600 LS® e Estação Total Leica TC600®, com base em correção de cotas por coordenadas conhecidas no câmpus da Universidade Federal de Lavras.

A amostragem de solo foi realizada na camada de 0-20 cm, de acordo com metodologia de Cantarutti et al. (1999), na projeção da copa das plantas, em cada ponto amostral, para determinar teores de macronutrientes, micronutrientes, textura e matéria orgânica, em 04/02/2006.

Para se estimar o índice de área foliar da cultura, obteve-se uma imagem digital orbital multiespectral de altíssima resolução espacial do satélite QuickBird®, de 27/5/2003, sendo o produto constituído de 1 imagen OrtoquickPac, com 4 bandas multiespectrais (vermelho - R - 0,63 a 0,69µm, verde - G - 0,52 a 0,60µm, azul - B - 0,45 a 0,52µm e infravermelho próximo - 0,76 a 0,90µm), com resolução espacial de 2,4m, 1 banda pancromática com resolução de 0,6 m e coeficientes polinomiais que permitem a ortoretificação da imagem, na resolução radiométrica de 8 bits, referentes a 25 km² sobre a região de Ijací, MG. Optou-se por composições coloridas, pois, segundo Moreira (2005), em imagens coloridas, a separação de tipos de vegetação e de características como desenvolvimento da vegetação, infestação de pragas e epidemias de doenças é facilitada. Segundo o mesmo autor, o matiz da cor resultante está intimamente relacionado à fase de desenvolvimento, crescimento e condições fitossanitárias das plantas. O georeferenciamento da imagem foi realizado com base nas coordenadas geográfica obtida pelo GPS geodésico na fase de demarcação dos pontos amostra. O modelo digital de elevação de Minas Gerais foi utilizado para ortoretificar a imagem (Nasa, 2005). Posteriormente, Técnicas de Processamento de Imagem Digital foram utilizadas para proceder ao realce da imagem para melhorar a qualidade dos dados (Gonzalez & Woods, 2000) e combinar diferentes características espectrais e espaciais para sintetizar um novo produto com melhor resolução espacial do que a imagem multiespectral original (Jensen, 2000). Para isso, optou-se pela fusão das bandas da imagem QuickBird® pela técnica de Componentes Principais em função dos melhores resultados obtidos por esse método com relação aos de IHS e Transformada Wavelet (Leonardi et al., 2005). Para minimizar a variabilidade de fatores externos, a reflectância espectral foi combinada em índices de vegetação, de acordo com a informação contida na reflectância de dosséis referentes às regiões do vermelho e do infravermelho próximo, combinadas sob a forma de razões, pois a radiância no vermelho exibe uma relação inversa não-linear com a biomassa verde, enquanto a radiância no infravermelho próximo exibe relação não-linear direta oriunda de um processo de espalhamento intra e interfólar, dependente da quantidade de folhas existentes, sua distribuição e arranjo espacial no dossel. Dessa forma, os índices de vegetação são geralmente utilizados como indicador do crescimento e do vigor da vegetação verde, para diagnóstico de parâmetros biofísicos, biomassa, porcentagem de cobertura do solo, atividade fotossintética e produtividade (Meneses & Madeira Netto, 2001). Assim, empregou-se o índice de vegetação (NDVI) na avaliação do vigor da cobertura vegetal, de acordo com o seguinte modelo (Moreira, 2005):

$$NDVI = (IVP - Ver) / (IVP + Ver) \quad (1)$$

Em que, 'IVP' é a energia refletida na região do infravermelho próximo e 'Ver', a energia refletida na região do vermelho do espectro eletromagnético. Nesse caso, a assinatura espectral característica de uma vegetação verde e sadia apresenta-se com evidente contraste entre a região do visível, especificamente no vermelho e do infravermelho próximo. Quanto maior for esse contraste, maior vigor da vegetação ocorrerá na área imageada (Moreira, 2005).

A dependência espacial foi analisada com o uso da Geoestatística, por meio de ajustes de semivariogramas, com base na pressuposição de estacionariedade da hipótese intrínseca, de acordo com metodologia de Burrough & McDonnell (1998). O ajuste dos modelos de foi escolhido em função do quadrado médio do erro, erro padrão de predição e a autovalidação ('Jack Knife'). Após a modelagem, procedeu-se a interpolação das variáveis analisadas por krigagem ordinária em blocos, de forma a possibilitar a visualização de padrões da distribuição espacial das variáveis na lavoura sob diferentes épocas de avaliação. Os resultados da krigagem foram sobrepostos ao modelo de elevação digital da área experimental por método de sobreposição ponderada de SIG. A análise de correlação de Pearson foi utilizada para verificar a relação linear entre as variáveis analisadas.

Resultados e Discussão

Com base no uso de imagem QuickBird® de altíssima resolução espacial foi possível identificar visualmente o padrão de distribuição espacial das plantas de cafeeiro (Figura 1). Ramirez (2002) também conseguiu identificar plantios de café (*Coffea arabica* L.) com o uso de imagem pancromática do Ikonos-II de altíssima resolução espacial, de forma que o número de talhões identificados pela imagem do canal pancromático foi 1,5 vezes superior ao do Landsat/ETM+.

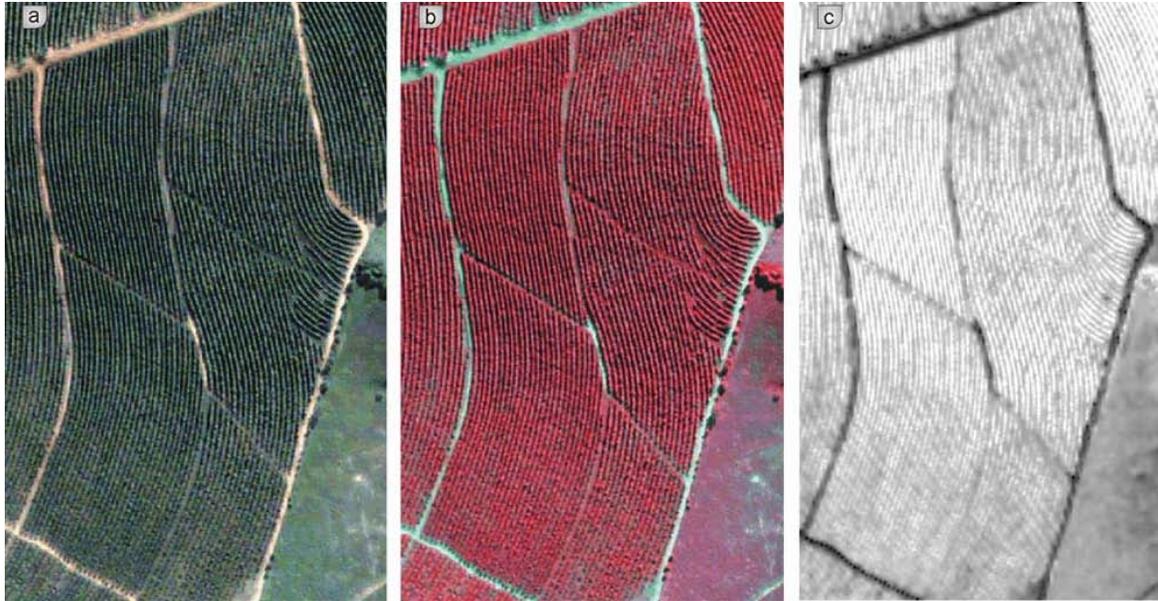


Figura 1 Composição colorida 321 (a), infravermelha falsa cor 432 (b) referentes à fusão por componentes principais das bandas multiespectrais (MS) (2,4 m) e banda pancromática (PAN) (0,6 m) de imagem QuickBird® de 27/05/2003 e índice de vegetação (NDVI) (c) calculado com base na a energia refletida na região do infravermelho próximo e na região do vermelho do espectro eletromagnético.

Posteriormente, com metodologias de análise de Processamento de Imagem Digital, por meio da técnica de Componentes Principais, realizou-se a fusão das bandas multiespectrais e pancromática para compor uma imagem colorida, uma infravermelha e possibilitar visualizar padrões espaciais na lavoura. Com o uso desse método de fusão foi possível gerar um produto com preservação das cores da imagem original e transferir as informações de detalhes da banda pancromática para o produto híbrido. De forma semelhante, Leonardi et al. (2005), em estudo comparativo de métodos de fusão de imagens por Componentes Principais, IHS e transformada de Wavelet dos sensores SPOT5 (bandas 1,2,3 e pancromática), SPOT4 (bandas 1, 2 e 3), CBERS-2 (bandas 2, 3 e 4), Landsat ETM-7 (bandas 2, 3 e 4) e QuickBird® (bandas 1, 2, 3 e pancromática), referentes a cenas do Rio de Janeiro, também observaram melhor qualidade espectral, espacial e melhor desempenho do método de fusão por Componentes Principais.

Na fusão da imagem ortorectificada colorida normal, verificou-se a vegetação mais exuberante representada por coloração verde mais intensa e a vegetação em estado de senescência pela cor verde menos intensa. Da mesma forma, na composição infravermelha, pôde-se constatar padrão espacial diferenciado da vegetação ao comprimento de onda de 900nm, que corresponde à região do infravermelho próximo, na qual a vegetação possui alta reflectância da energia incidente. Nesse caso, foi possível detectar mudanças no comportamento espectral da vegetação, pela diferença dos índices de área foliar. Para realizar a composição infravermelha, a camada sensível ao verde recebeu a coloração azul, a camada sensível à luz vermelha recebeu a cor verde e a camada sensível à radiação infravermelha recebeu a cor vermelha, compondo uma imagem colorida falsa-cor. Com isso, uma vegetação verde, a qual apresenta dois picos de maior reflectância no verde e no infravermelho próximo, foi representada pelo azul e o vermelho (cores primárias), resultando em uma cor secundária denominada magenta, já o solo exposto, o qual apresenta cor avermelhada, apresentou-se com tonalidade verde. Dessa forma, a partir da diferença no matiz do magenta, observaram-se na composição infravermelha, padrões de magenta mesclado com fundo esverdeado (sudeste da área), representado por pastagem, padrões com cor esverdeada, representada por carreadores e estrada. Nas plantas de cafeeiro, observaram-se dois padrões da cor magenta, com um padrão tendendo para o vermelho e outro tendendo para rosa-claro, nesse último caso, provavelmente em função do menor índice de área foliar das plantas (Figura 1).

Posteriormente, o índice de vegetação foi calculado para ser utilizado como indicador do crescimento e do vigor da vegetação verde (Meneses & Madeira Netto, 2001). Nesse caso, a assinatura espectral característica de uma vegetação verde e sadia apresentou-se com evidente contraste na região do visível, correspondente ao maior vigor da vegetação nas áreas com esse padrão (Figura 1) (Moreira, 2005). Com o uso de SIG, obteve-se o valor do pixel correspondente à localização de cada

ponto da malha de amostragem utilizada no levantamento de campo das demais variáveis agrônômicas estudadas a partir da imagem com valores de NDVI, para caracterizar a variabilidade espacial do NDVI com Geoestatística.

Com relação às variáveis amostradas no solo e sua relação com as demais variáveis observadas nos mapas de krigagem, verificou-se, de forma geral, padrão de correspondência direta entre a variabilidade espacial do NDVI com o teor de argila, silte, matéria orgânica, cobre (Cu), manganês (Mn) e correspondência inversa com o teor de areia e fósforo remanescente (Prem) no solo (Figura 2).

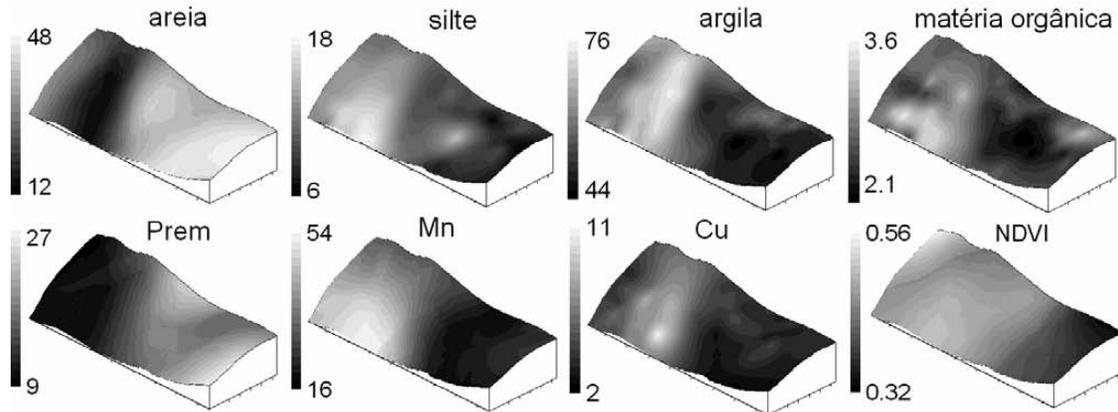


Figura 2. Mapas de krigagem das variáveis físico-químicas do solo e do NDVI sobrepostos ao modelo de elevação digital da área experimental. Obs: argila, silte, areia e matéria orgânica (dag.kg^{-1}), fósforo remanescente (Prem) (mg.L^{-1}), cobre (Cu) e manganês (Mn) (mg.dm^{-3}).

Apesar do intervalo de tempo entre as observações do NDVI e as características do solo, os padrões de variabilidade espacial observados também foram constatados pela análise de correlação negativa entre o NDVI e o teor de areia, Prem e positiva com os teores de silte, argila, Cu e Mn (Tabela 1). Essa variabilidade espacial correspondente pode ser explicada pela relação do Cu com a queda da produção de etileno nas folhas e conseqüentemente com a preservação do enfolhamento das plantas e do Mn com a liberação fotoquímica do O_2 na reação de Hill da fotossíntese (Malavolta et al., 1997). Já o teor de argila e silte podem estar relacionados com a retenção de água no solo, conforme observado no estudo de Arruda et al. (1987).

Tabela 1. Matriz de correlação de Pearson (r) das variáveis físico-químicas do solo e do NDVI.

Variáveis	Areia	Silte	Argila	Morg	Prem	Mn	Cu	NDVI
Areia	1,00	-0,79*	-0,97*	-0,51*	0,68*	-0,75*	-0,87*	-
Silte		1,00	0,62*	0,49*	-0,50*	0,79*	0,69*	0,56*
Argila			1,00	0,46*	-0,68*	0,64*	0,85*	0,43*
Morg				1,00	-0,35*	0,70*	0,49*	0,55*
Prem					1,00	-0,49*	-0,51*	0,19ns
Mn						1,00	0,73*	-0,35*
Cu							1,00	0,44*
NDVI								1,00

*Significativo ($P \leq 0,01$); ns ($P > 0,05$)

Outra possível causa da relação entre a variabilidade espacial do NDVI com as características físico-químicas do solo pode estar relacionada com a troca de cátions e a adsorção de íons com cargas opostas no solo, influenciados pela fração argila e outras frações como o silte. Esse fenômeno é considerado um dos mais importantes para a humanidade, depois da fotossíntese (Resende et al., 1997). Outra constatação foi o padrão de variabilidade espacial semelhante entre argila, silte e matéria orgânica, os quais foram inversos ao teor de areia (Figura 2), pois, de acordo com Russel (1976), um teor mais elevado de argila favorece o incremento de carbono orgânico no solo e a associação entre compostos orgânicos e a argila dificulta sua decomposição. De forma semelhante, as partículas de silte são caracterizadas como o ponto de instabilidade máxima do solo, geralmente menos resistentes, ricas em reservas de nutrientes quando comparadas à fração argila, de modo a indicar reserva de nutrientes do solo, seu grau de intemperização ou potencial de conter minerais primários facilmente intemperizáveis (Resende et al., 1997). Já as relações negativas observadas com relação os teores de Prem e argila podem ter ocorrido pela fixação de fosfatos nessa fração

do solo, conforme relatado por Lopes (1983). Nesse caso, a variabilidade espacial dos teores de argila, silte, areia e matéria orgânica podem ter influenciado nas reações de trocas de cargas negativas e positivas no solo (Resende et al., 1997) e na formação de complexos, de forma a influenciar na disponibilidade dos elementos químicos no solo.

Conclusões

Com o uso de técnicas de SIG, SR, PID, Geoestatística e Estatística foi possível detectar e caracterizar a variabilidade espacial da vegetação na lavoura, potencialmente influenciada pelas características físico-químicas do solo.

Com os mapas de krigagem foi possível observar a correspondência direta e inversa da variabilidade espacial das características físico-químicas do solo e do NDVI, bem como a relação linear simples entre essas variáveis, detectada pela análise de correlação de Pearson.

Referências bibliográficas

- Alves, M. C. **Geoestatística e Sistemas ‘Fuzzy’ na Proteção de Plantas**. 2006. 186 p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.
- Arruda, F. B.; Zullo Jr., J.; Oliveira, J. B. (1987). Parâmetros de solo para o cálculo da água disponível com base na textura do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, 11:11-15.
- Burrough, P. A.; McDonnell, R. A. (1998). **Principles of geographical information systems**. 2. ed. Oxford: Oxford University Press. 333 p.
- Cantarutti, R. B.; Alvarez V., V. H.; Ribeiro, A. C. (1999). Amostragem do solo. In: Ribeiro, A. C.; Guimarães, P. T. G.; Alvarez V., V. H. (eds.). **Recomendação para uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5^a aproximação**. Viçosa: CFSEMG. Pp. 13-20.
- Cox, S. Information technology: the global key to precision agriculture and sustainability (2002). **Computers and Electronics in Agriculture**, Oxford, 36:93-111.
- Gonzalez, R. C.; Woods, R. E. (2000). **Processamento de imagens digitais**. São Paulo: Edgard Blücher, 2000. 509 p.
- Jensen, J. R. (2000). **Remote sensing of the environment: an Earth resource perspective**. New Jersey: Upper Saddle River. 544 p. (Prentice Hall Series in Geographic Information Science).
- Leff, B.; Ramankutty, N.; Foley, J. A. (2004). Geographic distribution of major crops across the world. **Global Biogeochemical Cycles**, Washington, 18: GB-1009.
- Leonardi, S. S.; Ortiz, J. O.; Fonseca, L. M. G. (2005). Comparação de técnicas de fusão de imagens para diferentes sensores orbitais. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12., 2005, Goiânia, Brasil. **Anais...** Goiânia: INPE. pp. 4111-4113.
- Lopes, A. S (1983). **Solos sob cerrado: características, propriedades e manejo**. Piracicaba: POTAFOS. 162 p.
- Lowenberg-DeBoer, J (2000). Economic analysis of precision farming. In: Borém, A.; Giúdice, M. P.; Queiroz, D. M.; Mantovani, E. C.; Ferreira, L. R.; Valle, F. X. R.; Gomide, R. L. **Agricultura de Precisão**. pp. 147-180. Malavolta, E.; Vitti, G. C.; Oliveira, S. A. (1997). **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba: Potafós, 319p.
- Matthews, K. B.; Sibbald, A. R.; Craw, S. (1999). Implementation of a spatial decision support system for rural land use planning: integrating geographic information system and environmental models with search and optimisation algorithms. **Computers and Electronics in Agriculture**, Oxford, 23:9-26.
- Meneses, P. R.; Madeira Netto, J. S. (2001) **Sensoriamento remoto: reflectância dos alvos naturais**. Brasília, DF: UnB; Planaltina: Embrapa Cerrados. 262 p.
- Moreira, M. A. (2005). **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**. 3. ed. Viçosa: Ed. UFV. 320 p.
- Nasa (2005). **Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) 2000**. Land Information Worldwide Mapping, LLC. Raster, 1:50000.
- Ramirez, G. M. (2002). **Comparação entre imagens pancromáticas do satélite Ikonos-II e Landsat/ETM+ na identificação de plantios de café (Coffea arabica L.)**. 63 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas.
- Resende, M.; Curi, N.; Rezende, S. B.; Corrêa, G. F. (1997). **Pedologia: base para distinção de ambientes**. Viçosa. 367 p.
- Russell, E. W. (1973). **Soil conditions and plant growth**. London: Longman. 849 p.
- Silva, F. M.; Borges, P. H. (1998). **Mecanização e Agricultura de Precisão**. Lavras: UFLA/SBEA. 244 p.