

## Influência de distintos tipos espectrais de solos sobre as respostas de diferentes porcentagens de cobertura vegetal

Bruno Schultz<sup>1</sup>  
Guilherme Augusto Verola Mataveli<sup>1</sup>  
Bruno Silva Oliveira<sup>1</sup>  
Renato Martins Passos Ferreira<sup>1</sup>  
Thiago Frank<sup>1</sup>  
Antônio Roberto Formaggio<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE  
Caixa Postal 515 - 12227-010 - São José dos Campos - SP, Brasil  
{schultz, mataveli, bruno.so, rmpf, frank, formag}@dsr.inpe.br

**Abstract.** Traditional approaches to multispectral classifications (eg, when images are used Landsat TM and ETM+ and Landsat-like) show significant performance decrease when agricultural crops in the early stages and intermediaries (so, while still not completely overlying the soil surface) should be classified. Therefore, the present work aims to analyze the influence caused by different percentages of vegetation cover (0%, 25%, 50%, 75% e 100%) in the spectral response of three soil types: Humic, Latosol and Sand in spectral regions of visible and near infrared, and to analyze the influence of different amounts of layers of vegetation cover over reflectance in a simulation of canopy. When dealing with satellite data, linear mixture of information contained in one pixel can mask the distinctive features of the study object, especially when it comes to soil, where the absorption bands that characterize them are difficult to detect. In laboratory, where conditions of data acquisition are controlled, spectroradiometry helps the classification of soil types, simulating the effect of soil on the spectral response of vegetation. During the work execution, it was possible to realize the difficulty in characterizing the spectral response of different soil types according to the variation in vegetation cover on the same conditions of data acquisition.

**Palavras-chave:** remote sensing, soil, canopy, sensoriamento remoto, solo, dossel.

### 1. Introdução

As análises de imagens de sensoriamento remoto esbarram, muitas vezes, em sérias dificuldades quando se tenta conseguir separar a contribuição devida à vegetação vs. a devida aos solos de fundo, em cenas em que a cobertura vegetal é esparsa ou parcial e em que diferentes tipos espectrais de solos manifestam-se em intensidades diferentes e distintas nos vários comprimentos de onda observados.

Abordagens tradicionais de classificações multiespectrais (p.ex., quando são utilizadas imagens TM e ETM+ Landsat ou Landsat-like) apresentam significativa diminuição de desempenho quando culturas agrícolas em estágios iniciais e intermediários (portanto, quando ainda não recobrem completamente a superfície do solo) devem ser classificadas (Maxwell et al., 2004).

O sinal gravado em nível de imagens satelitais adquiridas sobre áreas agrícolas depende de muitos fatores, alguns deles que caracterizam os dosséis vegetais em termos de sua estrutura e propriedades ópticas de seus elementos componentes, p.ex., o índice de área foliar (IAF) ou a fração de superfície recoberta com fitomassa (Daughtry et al., 1983; Best e Harlam, 1985).

Por outro lado, muitos índices de vegetação são fortemente sensíveis ao plano de fundo dos solos, especialmente em condições de baixos IAFs (Huete, 1989; Asner and Lobell, 2000). Solos podem ter diferentes comportamentos espectrais, desde aqueles espectralmente muito escuros (como os solos húmicos ou aqueles ricos em óxidos de ferro), passando por comportamentos espectralmente intermediários (como determinados tipos de oxissolos de texturas médias e com conteúdos médios de óxidos de ferro) e indo até os solos

espectralmente muito refletivos (como os solos muito arenosos e provenientes de materiais de origens arenosos) (Formaggio et al., 1996).

Dadas as lacunas ainda existentes, estudos são requeridos no sentido de buscar um crescente conhecimento sobre como solos espectralmente diferentes afetam as respostas espectrais de cenas compostas por vegetações que não recobrem completamente a superfície (Broge e Leblanc, 2000), seja para o aprimoramento de modelos de simulação da reflectância de dosséis (Goel, 1988), seja para a estimação de variáveis de interesse agrônomo (Daughtry et al., 1983; Carlson e Ripley, 1997)), ou para aplicações em modelos geofísicos (Asner e Lobell, 2000).

Desta forma, o presente trabalho teve por objetivo analisar espectros de reflectância de diferentes porcentagens de cobertura de vegetação (0%, 25%, 50%, 75% e 100%) associados a diferentes tipos de solos (claro, médio, escuro) nas regiões espectrais do visível e infravermelho próximo, assim como analisar a reflectância de diferentes quantidades de camadas foliares em uma simulação de dossel e, desta forma, entender as mudanças na resposta espectral do dossel em função de diferentes porcentagens de cobertura verde e o efeito dos substratos (solos) sobre a resposta espectral do dossel.

## 2. Metodologia

Para atingir os objetivos da presente pesquisa, foi necessário montar um experimento em condições de laboratório, no qual dosséis vegetais com diferentes porcentagens de cobertura vegetal recobriam os diferentes tipos de solos, conforme detalhado a seguir.

### 2.1 Descrição do Experimento

O experimento foi realizado no Laboratório de Radiometria (LARAD) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), localizado em São José dos Campos, SP, sob condições de iluminação e medição controladas.

Foi utilizado o espectroradiômetro FieldSpec ProFR, com um IFOV de 25°, uma fonte de iluminação halógena, placa de referência Spectralon, amostras de três tipos espectralmente distintos de solos (claro, médio e escuro) e folhas de cana-de-açúcar como cobertura verde simulando diferentes condições de dossel vegetal. O ângulo zenital de visada foi de 30° em relação à normal.

O FieldSpec ProFR mede a radiância, que pode ser expressa em Fator de Reflectância Bidirecional (FRB). As curvas do fator de reflectância bidirecional (FRB) abrangeram a região do espectro eletromagnético entre 400 e 1850 nm.

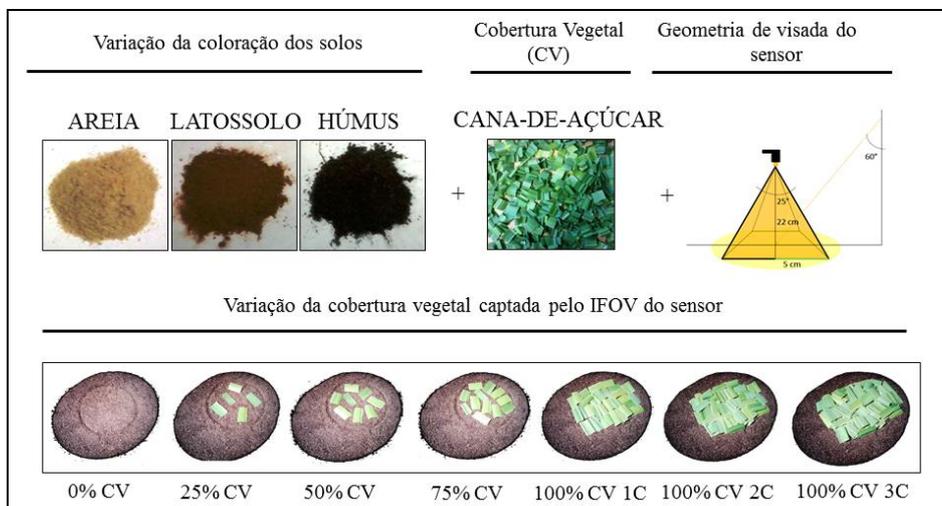


Figura 1. Ilustração dos materiais utilizados no experimento realizado no LARAD/INPE.

A cobertura vegetal na simulação foi representada por pedaços de folhas verdes de cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*, L.) cortadas em forma de retângulo com dimensões entre 3 e 4 cm. Foi feita uma fina linha nos solos para demarcar a área de captação do IFOV do sensor, onde as folhas iriam permanecer abrangendo 0, 25, 50, 75 e 100 % de cobertura verde. No caso da cobertura verde de 100 %, a mesma foi medida com uma, duas e três camadas de folhas de cana-de-açúcar a fim de simular o comportamento de um dossel. A Figura 1 ilustra os procedimentos descritos acima e os tipos de solos que foram utilizados no experimento.

## 2.2 Medições Espectroradiométricas

O Fator de Reflectância (FR) é a razão entre a radiância espectral de uma amostra (alvo) e a radiância espectral de uma superfície lambertiana ideal, sob as mesmas condições de iluminação e observação (Milton, 1987).

Foram obtidos três valores de FR para cada tipo de solo com as diferentes quantidades de cobertura vegetal, obtendo-se em seguida as médias e os desvios-padrões amostrais. Quando o desvio padrão amostral era muito diferente das outras medidas, optou-se por retirar umas das três medições da média final.

## 3. Resultados e Discussão

Os espectros de reflectância obtidos podem ser observados na Figura 2. Ao analisar a resposta espectral para 0% de cobertura vegetal (CV), o resultado é referente apenas às características físicas, químicas e biológicas de cada tipo de solo utilizado.

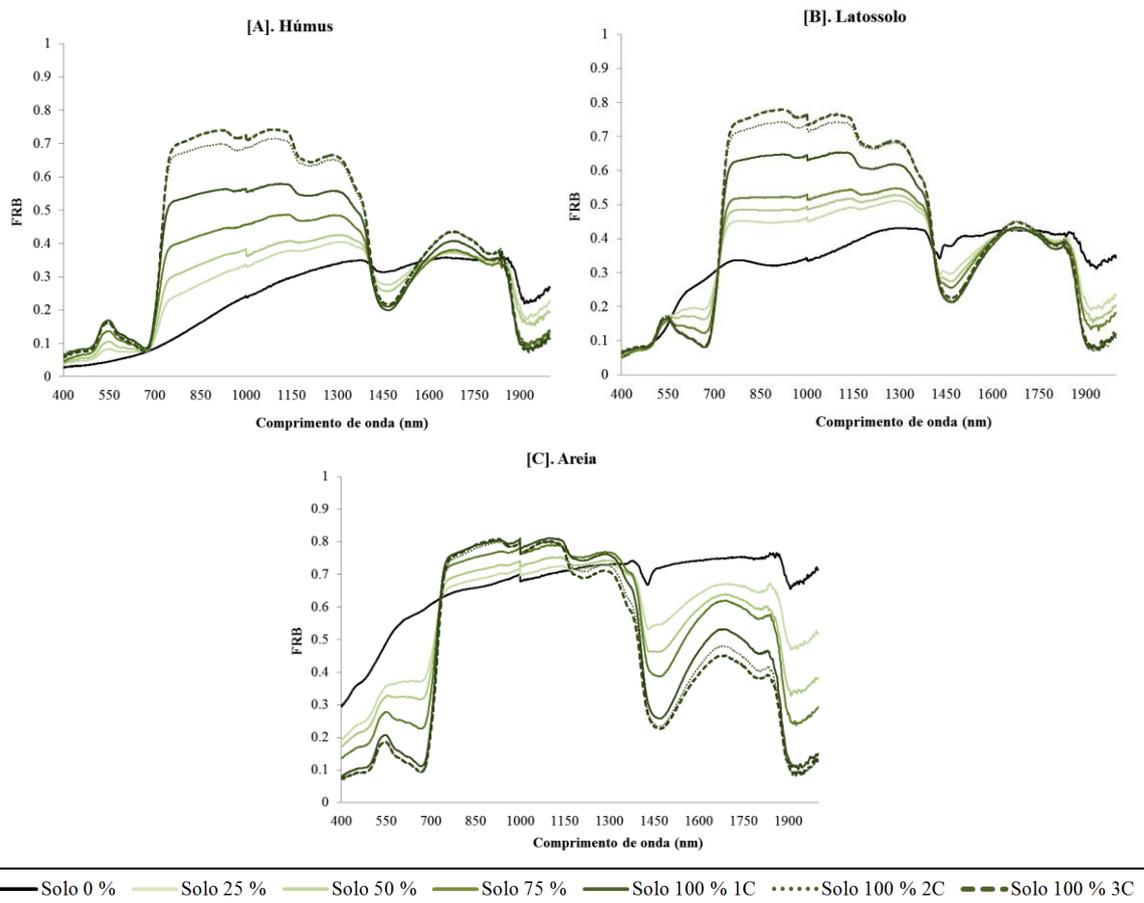


Figura 2. Fator de Reflectância Bidirecional de três solos de acordo com a mudança na cobertura foliar em 0, 25, 50, 75, 100, 100 e 1C, 100 e 2C e 100 % e 3C. Onde C é o número de camadas de cana-de-açúcar utilizadas.

Geralmente o solo apresentou curva de reflectância espectral relativamente menos complexa do que as curvas de vegetação. O Latossolo (solo médio) e a Areia (solo claro) apresentam um aumento da reflectância com o aumento dos comprimentos de onda, especialmente no visível e no infravermelho próximo (Figuras 2 [A] e 2 [C]), confirmando o que é encontrado na literatura (Stoner e Baumgardner, 1981). Já o solo Húmico (solo escuro), embora apresente comportamento semelhante, demonstra um aconcavamento na região do visível, relacionado com a alta concentração de matéria orgânica (Figura 2 [B]) (Viscarra et al., 200; Rossel et al., 2006). De fato, de acordo com Dalmolin et al. (2005), a assinatura espectral do solo depende de forma direta da sua composição química, física, biológica e mineralógica, sendo que os óxidos de ferro e matéria orgânica são os constituintes que mais afetam a resposta espectral.

Para os solos orgânicos, representados pelas curvas da Figura 2 [A], é possível analisar o aconcavamento da curva do intervalo de 600 a 110 nm. De acordo com Montgomery (1976), a melhor correlação entre os constituintes orgânicos e a reflectância de solos húmicos encontra-se neste intervalo.

O gráfico da areia mantém o valor do FRB acima de 0,3 para todas as frações do espectro eletromagnético. Solos com alta concentração de silicatos aumentam o valor da reflectância da REM incidente, além disso, o alto conteúdo de partículas inferiores a 0,074 mm aumenta a reflectância e diminuem o contraste nas feições espectrais bem definidas (Hunt, 1980).

Os óxidos de ferro distinguem facilmente os Latossolos (Figura 2 [B]) com alto conteúdo de argila em sua constituição. Esta diferença pode ser notada na inflexão característica dada pelo  $Fe_2O_3$  no comprimento de onda de 900 nm (Obukhov e Orlov, 1964).

### 3.1 Curvas espectrais para diferentes quantidades de cobertura foliar

Em 25% de cobertura verde, o espectro representado pela linha verde mais clara na Figura 2 apresenta-se como uma resposta composta da vegetação e do solo, que, embora já apresente feições específicas da vegetação, corresponde, em maior proporção, ao solo que está exposto ao sensor em maior área. A introdução de folhas causou, na região do infravermelho próximo, o aumento nos valores de reflectância, isso pode ser percebido nos três tipos de solo, porém no caso da areia (solo mais claro) isso é menos destacado que para os demais solos.

Quanto às feições típicas da vegetação na região do visível, é possível considerar que, tanto para o latossolo quanto para a areia, ocorreu a absorção da REM na região do azul, seguida de reflectância no verde. Esta reflectância manteve-se praticamente constante na região do vermelho, apesar da característica feição de absorção causada pela clorofila em aproximadamente 676 nm; provavelmente isso se deve à pequena quantidade de folhas ali presente. O espectro de reflectância do solo húmico, na região do vermelho, apresentou feição de absorção mais acentuada que nos casos dos demais solos, talvez devido à presença de matéria orgânica somada à concentração de clorofila a.

Em 50% de cobertura verde, o espectro representado pela linha verde claro continua na Figura 2 sofre menor influência do solo e definem-se ainda mais as bandas de absorção e reflectância da vegetação. A vegetação apresenta valores de reflectância relativamente baixos na região do visível, devido à ação dos pigmentos fotossintetizantes que absorvem a REM. Na região do infravermelho próximo (720 a 1100nm), verifica-se que estes valores apresentam-se elevados e isso deve-se ao espalhamento interno sofrido pela REM em função da disposição da estrutura morfológica da folha, aliado ainda ao espalhamento múltiplo entre as diferentes camadas de folhas. Na folha verde, a camada que corresponde ao mesófilo esponjoso controla a quantidade de energia do infravermelho próximo que será refletida. Nesta região, a vegetação verde sadia é geralmente caracterizada por uma alta reflectância, alta transmitância e relativamente baixa absorptância (Ponzoni e Shimabukuro, 2010).

Ao preencher 75% do campo de visada do espectrorradiômetro com vegetação, as folhas verdes manifestaram-se com maior intensidade e, desta forma, produziram uma curva espectral mais típica de vegetação verde sadia. Isso significa maior acentuação das bandas de absorção (azul e vermelho) e da reflectância (verde e infravermelho próximo) quando comparada as demais porcentagens de CV.

Quanto maior a quantidade de folhas, maior é a reflectância no infravermelho próximo devido ao espalhamento múltiplo entre as camadas de folhas que compõem o dossel (Belward, 1991). Há um maior espalhamento do fluxo ocasionando a diminuição da reflectância no visível e um aumento no infravermelho próximo (Ponzoni e Shimabukuro, 2010).

### 3.2 Reflectância de acordo com a adição de camadas de material vegetal

A Figura 3 mostra a resposta espectral obtida com a variação de uma a três camadas de folhas de cana-de-açúcar recobrimo 100 % dos três solos espectralmente distintos.

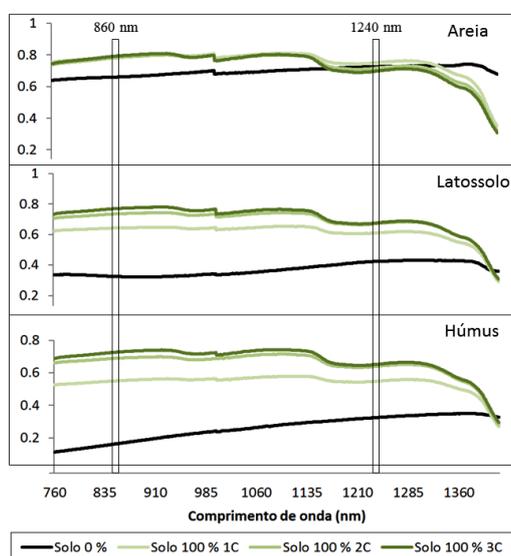


Figura 3. Comportamento espectral da areia, latossolo e húmus, de acordo com a variação do número camadas foliares, sendo 1C (uma camada), 2C (duas camadas) e 3C (três camadas).

É possível observar que para a areia [A] a variação de uma, duas e três camadas de folha não surtiu muito efeito na diferença da curva espectral do intervalo de 760 a 1390 nm. A reflectância, que já era alta para o solo arenoso, não se elevou como seria de se esperar, à medida em que foram aumentadas as camadas foliares. No entanto, para os dois outros tipos de solos, isto não foi observado (Figuras 3 [B] e [C]), ocorrendo variação no FRB de acordo com o aumento no número de camadas utilizadas, em função de que a reflectância no infravermelho próximo aumenta com o aumento de camadas foliares, pelo conhecido efeito da reflectância múltipla (Ponzoni e Shimabukuro, 2010).

### 3.3 Comportamento das isolinhas de vegetação com a mudança da cobertura foliar

O conceito de “linha do solo” expressa a relação entre os valores de reflectância na região do vermelho e na região do infravermelho próximo (IVP), sendo utilizado como base para a proposição de diversos índices de vegetação (Jensen, 2000). Portanto, esse conceito é bastante útil na determinação de alguns parâmetros biofísicos, como o Índice de Área Foliar (IAF) ou a porcentagem de cobertura vegetal em uma dada área (Tucker, 1979).

Segundo Huete et al. (1985), os efeitos de fundo do solo em medidas de dosséis vegetais são bastante significativos e podem variar de acordo com as diferentes propriedades espectrais

dos solos, bem como com o tipo e a quantidade de vegetação existente. A linha do solo representa áreas dentro do campo de visada sem a presença de vegetação (sejam solos úmidos ou secos) e qualquer variação positiva a partir dessa linha é considerada como contribuição da vegetação verde (Huete, 1989). Essas linhas são conhecidas como “isolinhas de vegetação”.

Esse comportamento pode ser observado na **Figura 4**, que foi obtida a partir da integração dos valores de reflectância medidos em laboratório de acordo com as bandas do sensor *Thematic Mapper* (TM) do Landsat, na qual está representada a resposta espectral das medidas realizadas para os três distintos tipos espectrais de solos utilizados e as quatro porcentagens de cobertura vegetal utilizadas no presente estudo.

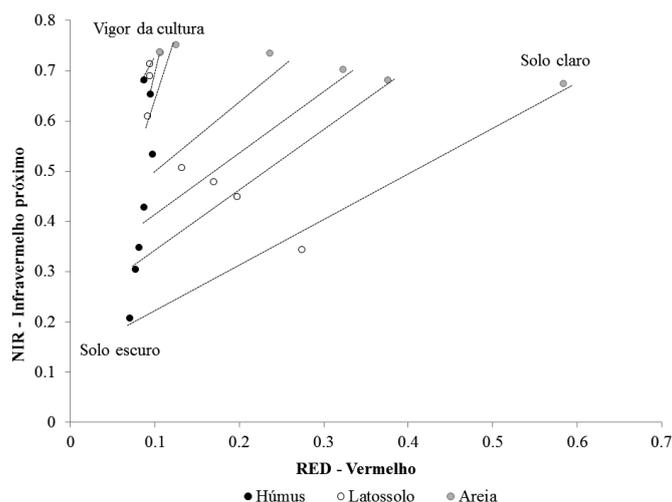


Figura 4. Relação entre reflectância para as bandas 3 e 4 do sensor TM (Landsat-5) dos diferentes tipos de solos e variadas porcentagens de cobertura vegetal.

A linha preta representa a linha do solo, na qual há zero por cento de cobertura vegetal. O solo escuro apresenta o menor valor de reflectância tanto na banda do vermelho quanto na banda do infravermelho, o que pode ser associado à maior quantidade de matéria orgânica e de água (Figura 4 [A]). O solo claro, por sua vez, apresenta alta reflectância nessas duas bandas, enquanto que o solo médio possui um comportamento intermediário em relação aos dois primeiros (Figura 4 [A]). Esses mesmos padrões de comportamentos dos tipos de solos podem ser observados para 25, 50 e 75% de coberturas vegetais, porém, com alteração dos valores de reflectância no infravermelho próximo e no vermelho (Figura 4 [B]). No IVP, há um leve aumento da reflectância, associado à elevada reflectância da vegetação nessa região, enquanto que no vermelho há redução da reflectância, já que o aumento da cobertura vegetal implica aumento da quantidade de pigmentos fotossintetizantes capazes de absorver a REM nessa faixa espectral. Para 100% de cobertura, a diferença entre a reflectância nas duas bandas é máxima, já que os valores assumem características tipicamente de vegetação.

A transição brusca percebida, especialmente entre 75 e 100% de cobertura, é função da pequena quantidade de pontos utilizados, que refletem apenas quatro situações diferentes de cobertura do solo. Estas demonstram a participação dos principais tipos de alvos (solo, vegetação e água) na composição de um dado elemento no campo de visada do sensor utilizado para a coleta dos dados (Ponzoni e Shimabukuro, 2010).

#### 4. Conclusões

O trabalho em questão possibilitou a análise da influência causada por diferentes porcentagens de cobertura vegetal na resposta espectral de três tipos de solos: Húmico,

Latossolo e Areia. Pôde-se perceber que a partir de 50% de CV o alvo adquiriu uma resposta espectral mais próxima à típica resposta de vegetação verde sadia, distanciando-se, assim, da resposta espectral dos solos. Porém, os espectros se apresentaram para todas as porcentagens de CV como uma resposta composta da vegetação e do solo e, mesmo com 100% de CV, ainda foi possível perceber a influência do substrato na resposta espectral do alvo.

Quanto aos tipos de solos, foi possível perceber as diferenças nos espectros de reflectância de cada um deles. Essas diferenças influenciaram também na resposta espectral da vegetação que cobria cada tipo de substrato, ou seja, a forma característica da curva de reflectância da vegetação foi mantida, porém, os valores de reflectância variaram de acordo com o tipo de solo. Também pode-se concluir que o FRB avaliado com a mudança de camadas vegetais, é menos influenciado na areia que para os demais solos.

Este experimento demonstra de forma didática a influência do solo sobre a resposta espectral da vegetação, e como este efeito de fundo pode ser influenciado por diferentes tipos de solos.

### **Agradecimentos**

Ao Laboratório de Radiometria da DSR/INPE, por fornecer os equipamentos necessários para a execução do trabalho.

### **Referências Bibliográficas**

Asner, G.P., Lobell, D.B. A biogeophysical approach for automated SWIR unmixing of soils and vegetation. **Remote Sensing of Environment**, n. 74, p. 99–112, 2000.

Belward, A. S. Spectral characteristics of vegetation, soil and water in the visible, near-infrared and middle-infrared. In: Belward, A.S.; Valenzuela, C.R. (Org.). **Remote sensing and geographical information systems for resource management in developing countries**. Netherlands: Kluwer, p.31-54, 1991.

Best, R. G.; Harlan, J. C. Spectral estimation of green leaf area index of oats. **Remote Sensing of Environment**, n. 17, p. 27- 36, 1985.

Bowers, S. A.; Hanks, R. J. Reflection of radiant energy from soils. **Soil Science**, v.100, p. 130-138, 1965.

Broge, N. H., E. Leblanc. Comparing prediction power and stability of broadband and hyperspectral vegetation indices for estimation of green leaf area index and canopy chlorophyll density. **Remote Sensing of Environment**, v. 76, p. 156-172, 2000.

Carlson, T. N.; Ripley, D. A. On the relation between intertween NDVI, fractional vegetation cover, and leaf area index. **Remote Sensing of Environment**, n. 62 p. 241–255, 1997.

Daughtry, C.S.T., K.P. Gallo, M.E. Bauer. Spectral estimates of solar radiation intercepted by corn canopies. **Agronomy Journal**, n. 75, p.527-531, 1983.

Dalmolin, R. S. D.; Gonçalves, C. N.; Klamt, E.; Dick, D. P. Relação entre os constituintes do solo e seu comportamento espectral. **Ciência Rural**, v.35, n.2, p.481-489, 2005.

Esau, K. **Anatomia das plantas com sementes**. São Paulo: Edgar Blucher, 1974. 312p.

Formaggio, A. R.; Epiphanyo, J. C. N.; Valeriano, M. M.; Oliveira, J. B. Comportamento espectral (450-2.450nm) de solos tropicais de São Paulo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 20, p 467-474, 1996.

Formaggio, A. R. **Comportamento espectral de quatro solos do Estado de São Paulo nos níveis orbitais, de campo e de laboratório**, 1983. 140 p. (INPE-2878-TDL/144). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São Jose dos Campos. 1983.

Galvão, L. S.; Pizarro, M. A.; Epiphanyo, J. C. N. Variations in reflectance of tropical soils: Spectral-chemical composition relationships from AVIRIS data. **Remote Sensing of Environment**, v. 75, p. 245-255, 2001.

Gates, D. M.; Keegan, H. J.; Schleter, V. R.; Weidner, V. R. Spectral properties of plants. **Applied Optics**, v. 4, n.1, p. 11-20, 1965.

Goel, N. S. Models of vegetation canopy reflectance and their use in the estimation of biophysical parameters from reflectance data. **Remote Sensing Reviews**, n. 4, p. 1-212, 1988.

Huete, A. R.; Jackson, R. D.; Post, D. F. Spectral response of a plant canopy with different soil backgrounds. **Remote Sensing of Environment**, n. 17, p.37-53, 1985.

Huete, A. R. Soil influences in remotely sensed vegetation-canopy spectra. In: Asrar, G. ed. **Theory and applications of optical remote sensing**. New York: J. Wiley, 1989. Cap. 4, p. 107-141.

Hunt, G. R. Electromagnetic radiation: the communication link in remote sensing. **Remote sensing in geology**. New York : J. Wiley & Sons, p.5-45 , 1980.

Jensen, J. **Remote sensing of the environment: An Earth Resource Perspective**. New Jersey: Prentice Hall, 2000. 544 p.

Maxwell, S. K.; Nuckols, J. R.; Ward, M. H.; Hoffer, R. M. An automated approach to mapping corn from Landsat imagery. **Computers and Electronics in Agriculture**, vol.43, p.43-54, 2004.

Milton, E. J. Principles of field spectroscopy. **International Journal of Remote Sensing**. v.8, n.12, p. 1807-1927, 1987.

Montgomery, O. L. An investigation of the relationship between spectral reflectance and chemical, physical and genetic characteristics of soil, 1976. 148p. Thesis (PhD in Soil Science) - Purdue University, 1976.

Obukhov, A. I.; Orlov, D. S. Spectral reflectivity of the major soil groups and possibility of using diffuse reflection in soil investigation. **Soviet Soil Scienc**, v.1, p.174-184, 1964.

Ponzoni, F. J.; Shimabukuro, Y. E. **Sensoriamento Remoto no Estudo da Vegetação**, São José dos Campos: Parêntese, 2010. 127p.

Rossel, R.; Walvoort, D.; Mcbratney, A.; Janik, L.; Skjemstad, J. Visible, near infrared, mid infrared or combined diffuse reflectance spectroscopy for simultaneous assessment of various soil properties. **Geoderma**, n. 131, p. 59-75, 2006.

Sheperd, K. D.; Walsh, M. G. Development os reflectance spectral libraries for characterization of soils properties. **Soli Science Society of America Journal**, v.66, p.988-998, 2002.

Stoner, R. R.; Baumgardner, M. F. Characteristic variations in reflectance os surface soils. *Soil Science Society of America Journal*. v.45, n.6, p. 1161-1165, 1981.

Strahler, A. H.; Boschetti, B.; Foody, G. M.; Friedl, M. A.; Hansen, M. C.; Herold, M.; Mayaux, P.; Morisette, J. T.; Stehman, S. V.; Woodcock, C. E. **Global Land Cover Validation – Best Practices**. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities, 2006. 51 p.

Tucker, C. J. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. **Remote Sensing of Environment**, n. 8, p.127-150, 1979.

Valeriano, M. M. Reflectância espectral de culturas agrícolas anuais: espectrorradiometria. **Espaço e Geografia**, v.6, n.1, p.7-27, 2003.

Viscarra, R. A.; Walvoort, D. J. J.; McBratney, A. B.; Janik, L. J.; Skjemstad, J. O. Visible, near infrared, mid infrared or combined diffuse reflectance spectroscopy for simultaneous assessment of various soil properties. **Geoderma**, v. 131, p. 59-75, 2000.