

Comparação das características espectrais das espécies *Ligustrum japonicum* Thunb. e *Cassia macranthera* DC.

Samuel Martins da Costa Coura¹
Rodrigo Alexandre Sbravatti Piromal¹
Vanessa Canavesi¹
Murilo Novaes Gomes¹
Valquiria Ferraz Quirino¹
Flávio Jorge Ponzoni¹

¹ Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Caixa Postal 515 - 12201-970 - São José dos Campos - SP, Brasil.
{ samuel, sbravatt, vanessa, quirino, flavio }@ltid.inpe.br; murilong@dpi.inpe.br

Abstract. The goal of this study is to compare the spectral characteristics of *Ligustrum japonicum* Thunb. and *Cassia macranthera* DC. For this, the directional-hemispheric reflectance and transmittance factors of 20 leaves of each specie was measured using Spectron SE 590 and an integrating sphere. The results showed that the reflectance factors of both species were the same in the green and in the red regions of the spectrum. However, they differed in the blue and in the near infrared regions. On these regions *L. japonicum* had larger values than *Cassia macranthera*. In relation to the transmittance factor, *C. macranthera* always presented larger values. Although no morphological or physiological studies were done, there are strong evidences that *C. macranthera* has a higher photosynthetic activity in comparison to *L. japonicum*, and that *L. japonicum* has more intercellular space (spongy parenchyma).

Palavras-chave: remote sensing, spectral characteristics, radiometry, sensoriamento remoto, características espectrais, radiometria.

1. Introdução

Diferentes feições da superfície terrestre podem ser mapeadas utilizando sistemas sensores multiespectrais. Alguns sensores possibilitam a medição da radiância do alvo em inúmeras faixas do espectro eletromagnético óptico e em bandas estreitas. Esse processo permite identificar pequenas variações no comportamento espectral dos alvos.

Vários fatores afetam a resposta espectral da vegetação sejam eles inerentes à estrutura da folha ou externos, como ângulo de visada e ângulo de inclinação solar. Experimentos têm sido realizados em laboratório para que os fatores externos afetem minimamente a medição da radiância, permitindo que dados tomados em momentos distintos possam ser comparados.

Após o lançamento de satélites com sensores hiperspectrais a bordo, tem-se como objetivo construir uma biblioteca espectral para identificação de espécies vegetais. Para tanto, curvas espectrais são tomadas de diferentes espécies utilizando espectrorradiômetros não imageadores em condições de laboratório as quais são comparadas com as curvas obtidas pelos sensores imageadores. Portanto, experimentos conduzidos para demonstrar diferenças espectrais entre espécies vegetais em laboratório se tornam necessários.

Esse trabalho tem como objetivo caracterizar espectralmente amostras de folhas de *Ligustrum japonicum* Thunb. (Ligustro) e de folíolos de *Cassia macranthera* DC. (Fedegoso) explicando o comportamento das curvas de reflectância e transmitância obtidas em laboratório tendo como base as características ecológicas, morfológicas e bioquímicas dos indivíduos.

2. Interação da vegetação com a radiação eletromagnética

As diferentes formas de vegetação têm comportamento diferente na absorção, transmissão e reflexão das ondas do espectro eletromagnético. Para se entender porque a vegetação reflete

mais em certos comprimentos de onda é necessário primeiro considerar as propriedades de reflectância de uma folha individual. A folha é constituída de uma estrutura fibrosa de matéria orgânica, dentro da qual há pigmentos, células contendo água e ar. Cada um destes três elementos: pigmentos, estrutura fisiológica e conteúdo de água possuem efeito nas propriedades de reflectância, absorvância e transmitância da folha verde (Curran, 1986).

A cobertura vegetal sadia tem uma alta interação com energia na região de comprimento de ondas no visível e infravermelho próximo (IVP). A região do visível (0,4 a 0,7µm) é a parte do espectro eletromagnético utilizada pelas plantas para a fotossíntese, isto explica a forte absorção de energia nestes comprimentos de onda, e por conseqüência baixa reflectância e baixa transmitância. Esta alta absorção está mais concentrada na região do azul e do vermelho. A luz na região do verde é absorvida pelas plantas em menor quantidade do que nas regiões do azul e do vermelho, fazendo com que as folhas reflitam um pouco mais do que estas últimas, o que dá a aparência verde às folhas (Thiam e Eastman, 1999; Verbyla, 1995).

Nos comprimentos de onda do visível, a maioria da energia que chega na folha verde é absorvida e muito pouca é transmitida através da mesma. Conseqüentemente, a equação de balanço de energia indica que na porção visível do espectro a energia incidente que não foi absorvida será largamente refletida. A alta absorção nestes comprimentos de onda é devido as duas bandas de absorção da clorofila (azul e vermelha) e o pico de reflectância nesta região ocorre aproximadamente em 0,54 µm, que é a região do verde.

Além da clorofila, as plantas possuem outros pigmentos como o caroteno e a xantofila (ambos amarelos) e a antocianina (pigmentos vermelhos). Os carotenos e as xantofilas estão presentes freqüentemente nas folhas verdes, mas absorvem energia apenas na banda azul do espectro (aproximadamente 0,45µm). Como a clorofila está presente nas folhas verdes e também absorve a luz azul, ela normalmente mascara estes pigmentos amarelos (Hoffer, 1978).

Hoffer (1978) relata que as folhas das plantas refletem, absorvem e transmitem a radiação incidente. Estas relações são em função do comprimento de onda (λ) e são mostradas na equação de balanço de energia:

$$I_{\lambda} = R_{\lambda} + A_{\lambda} + T_{\lambda},$$

onde I é a energia incidente, R, a energia refletida, A, a energia absorvida e T, a energia transmitida..

No infravermelho há um aumento significativo da reflectância quando comparamos com a região visível do espectro eletromagnético (**Figura 1**). Nesta região a vegetação verde é caracterizada pela alta reflectância, alta transmitância e baixa absorvância. Estas quantidades podem variar com o tipo de vegetação (Hoffer, 1978).

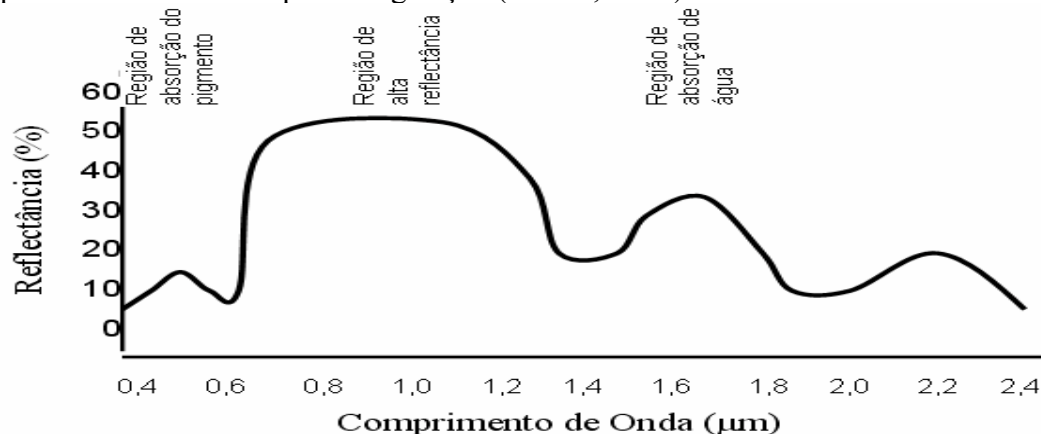


Figura 1. A refletância da folha no espectro eletromagnético Fonte: Adaptado de Curran (1986)

A energia na região do IVP não é utilizada pela fotossíntese, sendo a estrutura interna das folhas a responsável pela alta reflectância nesta região (Thiam e Eastman, 1999). A curva de transmitância para uma folha é similar e com a mesma magnitude apresentada pela curva de reflectância. Isso ocorre porque a reflectância e a transmitância são devidas ao espalhamento da luz pelas estruturas internas da folha (Kumar, 1972).

A reflectância no infravermelho próximo poderá ser influenciada pelas variações na forma e na orientação das folhas das plantas e pela quantidade de ar existente dentro da célula de cada folha. As variações dos valores de reflectância no infravermelho próximo são mais úteis do que os valores de reflectância no visível para distinguir tipos florestais como coníferas e folhosas (Verbyla, 1995).

Gausman (1974) citado por Curran (1986), afirma que a estrutura interna da face superior das folhas é a principal responsável pela resposta espectral das plantas nestes comprimentos de onda. As membranas e citoplasmas presentes no interior das folhas são mais importantes do que células individuais e os espaços de ar contidos no mesófilo esponjosos da face inferior das folhas, também interferem na reflectância nesta região.

As reflectâncias das folhas nas faces dorsal e ventral podem ser diferentes dependendo do comprimento de onda. Para a região do visível a face dorsal é mais refletiva pela presença do mesófilo esponjoso. A face ventral aparece mais “escura” pela alta absorção da luz visível pelos pigmentos fotossintetizantes presentes em maior quantidade nessa face. Na região do infravermelho próximo não há muita diferença na reflectância das duas faces (Ponzoni, 2001).

Moreira (2001) relata que além dos fatores morfológicos (densidade da cobertura vegetal, distribuição horizontal e vertical das folhas e ângulo de inserção foliar), fatores fisiológicos influenciam na resposta espectral das plantas. Dentre os fisiológicos temos idade da planta, déficit hídrico, tipo e espessura das folhas e nutrientes. Quanto mais velha for a planta, menos pigmento (especialmente clorofila) possuirá em suas folhas, o que resulta em maior reflectância nas regiões do visível e infravermelho médio. Quando a planta se encontra em situação de estresse hídrico ela fecha os seus estômatos o que reduz também a taxa fotossintética, conseqüentemente há uma queda na absorção de CO₂ atmosférico. Isto indica que plantas saudáveis refletem mais energia do que plantas em condições desfavoráveis

3. Assinatura espectral da vegetação

Diferentes materiais como a vegetação, água e solo exposto refletem proporções diferentes de energia nas regiões do azul, verde, vermelho e infravermelho próximo. Pode-se plotar a quantidade de energia refletida para cada um desses materiais em comprimentos de onda específicos e criar uma curva de reflectância espectral, também chamada de *assinatura espectral*. As curvas de reflectância espectral para um material selecionado são em função das tonalidades de cinza em que o objeto aparece em cada banda. A graduação de cinza é em função da quantidade de energia refletida para a cena dentro de um intervalo de comprimento de onda específico (Jensen, 2000).

Diferenças na reflectividade podem ser utilizadas para discriminação de espécies vegetais e condições em que a planta se encontra. Características das folhas e do dossel e propriedades ópticas geram padrões de reflectância distintos (assinaturas espectrais) os quais são influenciados pelas condições ambientais. Mudanças espectrais nas folhas devido ao estresse fisiológico alteram a resposta espectral tanto no visível, quanto no infravermelho próximo. Distúrbios metabólicos afetam a habilidade da clorofila absorver luz visível e a reflectância no visível aumenta com o aumento da situação de estresse. (Hamid Muhammed e Larsolle, 2003).

Atualmente poucos dados sistemáticos sobre assinaturas espectrais estão disponíveis. A falta de informação tem causado problemas na modelagem da reflectância de florestas bem como na interpretação de dados de reflectância espectral (Kuusky et al., 2004).

A idéia de se registrar assinaturas espectrais com a finalidade de se montar uma biblioteca espectral para a identificação de espécies vegetais se torna utópica, visto os diferentes fatores que pode estar influenciando a resposta espectral de uma mesma espécie. No entanto, a caracterização espectral de alvos vegetais em laboratório pode ser utilizada em conjunto com imagens orbitais a fim de se obter parâmetros de campo para auxiliar na interpretação dos alvos de um determinado local em um determinado período.

4. Materiais e Métodos

Para a realização do experimento foram coletadas 20 amostras de folhas de *Ligustrum japonicum* Thunb. (Ligustro) e folíolos de *Cassia macranthera* DC. (Fedegoso), no estacionamento do prédio SERE II, do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, no dia 30 de julho de 2004, por volta das 14h. As amostras foram coletadas de ramos intermediários saudáveis, mas o indivíduo de *Cassia* sp já apresentava sinais de início de deciduidade (perda de folhas devido ao estresse hídrico).

A espécie *Cassia macranthera* DC. (**Figura 2**) pode ser caracterizada como uma espécie pioneira, amplamente distribuída pelo território brasileiro, colonizadora de áreas abertas (campos) e áreas antropizadas, possuindo dispersão anemocórica e ponto de compensação luminoso alto.

Já a espécie *Ligustrum japonicum* Thunb. (**Figura 3**) é uma espécie que ocorre naturalmente no Japão e nas Coreias (Sul e Norte), tendo sido introduzida no país por imigrantes japoneses para arborização urbana e rural, não sendo encontrada em formações naturais no Brasil. Possui dispersão autocórica ou zoocórica, e ponto de compensação luminoso baixo, características que, se fossem utilizadas para sua classificação, segundo Budowski (1965), a classificariam como uma espécie climáceas.



Figura 2 – Folhas de *Cassia macranthera*



Figura 3 – Folhas de *Ligustrum japonicum*

As amostras foram posicionadas em uma esfera integradora acoplada ao espectrorradiômetro Spectron SE-590 (que mede 252 faixas espectrais estreitas, entre 368,4 a 1113,7 nm) e iluminadas por uma fonte de luz halógena, de modo com que fossem medidas as radiâncias refletidas e transmitidas pelas amostras, que posteriormente foram convertidas,

pelo Programa SPECTRO, para Fatores de Reflectância e Transmitância direcionais hemisféricos.

Optou-se então por realizar a análise por faixas espectrais abrangendo as regiões do azul (400 a 499 nm), do verde (500 a 599 nm), do vermelho (600 a 699 nm) e Infravermelho Próximo (700 a 1113,7 nm). Para isso foram calculadas as médias dos fatores de reflectância e transmitância direcionais hemisféricos para cada amostra por faixas espectrais.

Para cada espécie foram testadas a normalidade dos fatores de reflectância e transmitância por faixas espectrais, constatando-se a não normalidade dos dados. Sendo assim optou-se por realizar um teste não paramétrico (Mann-Whitney) das amostras.

Foram calculadas as médias e os desvios padrão dos Fatores de Reflectância e Transmitância por faixas espectrais para cada uma das espécies e a suficiência amostral (n), considerando a população infinita e nível de confiança de 95%, foi determinada utilizando a seguinte fórmula:

$$n = \frac{t^2 * s^2}{((1 - nc) * \bar{x})^2},$$

onde t é o valor da Tabela t de Student, s² é a variância das amostras, nc é o nível de confiança (ex.: 95%, 1-nc = 1-0,95 = 0,05), e \bar{x} é a média aritmética simples das amostras.

Os resultados destas análises podem ser vistos a seguir.

5. Resultados e Discussões

A **Tabela 1** mostra a média, o desvio padrão e a suficiência amostral (n) para os valores do fator de reflectância direcional hemisférico e fator de transmitância direcional hemisférico para as regiões do azul, do verde, do vermelho e do infravermelho próximo do espectro eletromagnético.

Tabela 1: Valores de média, de desvio padrão e Suficiência Amostral para o fator de reflectância direcional hemisférico e o fator de transmitância direcional hemisférico

Faixa Espectral/ Espécie		Fator de Reflectância Direcional Hemisférico			Fator de Transmitância Direcional Hemisférico		
		Média	Desvio Padrão	Suficiência Amostral**	Média	Desvio Padrão	Suficiência Amostral**
Azul	Cassia	0,0525	0,0021	2	0,0169	0,0020	17
	Ligustrum	0,0602	0,0040	6	0,0088	0,0005	5
Verde	Cassia	0,0842	0,0089	14	0,0806	0,0102	20
	Ligustrum	0,0786	0,0083	14	0,0351	0,0069	47
Vermelho	Cassia	0,0640	0,0056	9	0,0485	0,0087	39
	Ligustrum	0,0628	0,0046	7	0,0165	0,0036	57
IVP*	Cassia	0,3355	0,0104	2	0,3231	0,0116	2
	Ligustrum	0,4149	0,0327	8	0,2850	0,0079	1

* - Infravermelho Próximo, ** a 95%

Conforme se pôde observar para o fator de reflectância direcional hemisférico, o número de amostras utilizadas no estudo (n=20) foi superior aquele necessário. Já para o fator de transmitância direcional hemisférico, o número de amostras utilizado foi suficiente na maioria dos casos, sendo, no entanto, insuficiente para a região do verde e do vermelho, no caso do

L. japonicum, e para o vermelho, no caso de *C. macranthera*, onde seria conveniente amostrar 47, 57 e 39 folhas, respectivamente.

A **Figura 4** apresenta as curvas de reflectância e de transmitância de *L. japonicum* e *C. macranthera* na faixa compreendida entre 386 nm e 1.113 nm, plotadas em um mesmo eixo, onde pôde-se observar que a razão reflexão/transmissão, na região do IVP foi muito maior para o *L. japonicum* do que para a *C. macranthera*.

Reflectância e de Transmitância Direcional Hemisférico de *L. japonicum* e *C. macranthera*

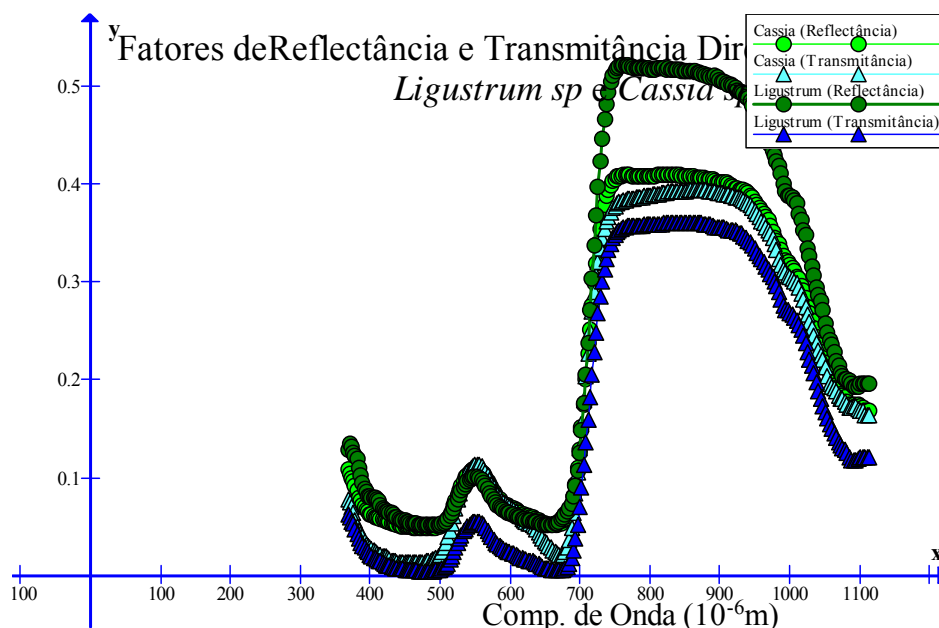


Figura 4 - Reflectância e de Transmitância Direcional Hemisférico de *L. japonicum* e *C. macranthera*

Utilizando o teste não paramétrico de Man-Whitney foram observadas as diferenças dos Fatores de Reflectância e Transmitância para as espécies *L. japonicum* e *C. macranthera*, em quatro faixas espectrais, sendo os resultados descritos na **Tabela 2**.

Tabela 2 – Teste não paramétrico de Man-Whitney para os Fatores de Reflectância e Transmitância por faixas espectrais para as espécies *L. japonicum* e *C. macranthera*.

Teste não paramétrico de Man-Whitney a 95%		
Faixa Espectral	Fator de Reflectância Direcional Hemisférico	Fator de Transmitância Direcional Hemisférico
Azul	<i>L. japonicum</i> > <i>C. macranthera</i>	<i>L. japonicum</i> < <i>C. macranthera</i>
Verde	<i>L. japonicum</i> = <i>C. macranthera</i>	<i>L. japonicum</i> < <i>C. macranthera</i>
Vermelho	<i>L. japonicum</i> = <i>C. macranthera</i>	<i>L. japonicum</i> < <i>C. macranthera</i>
IVP*	<i>L. japonicum</i> > <i>C. macranthera</i>	<i>L. japonicum</i> < <i>C. macranthera</i>

- Infravermelho Próximo

Pela análise dos resultados do teste de Mann-Whitney e dos gráficos observou-se que os valores dos Fatores de Reflectância das espécies *L. japonicum* e *C. macranthera* foram estatisticamente iguais para as regiões do verde e do vermelho, e que *L. japonicum* apresentou valores do Fator de Reflectância maior para as regiões do azul e IVP.

Quanto aos valores dos Fatores de Transmitância, a espécie *C. macranthera* apresentou valores estatisticamente maiores, em todas as faixas espectrais, do que a espécie *L. japonicum*.

6. Conclusão

Pela análise dos resultados pôde-se concluir que para o Fator de Transmitância, a espessura das folhas teve grande influência, observando-se que para folhas mais espessas (*L. japonicum*) apresentaram valores de Fator de Transmitância menores do que as folhas menos espessas (*C. macranthera*).

Analisando agora os dados do Fator de Reflectância, observou-se que a estrutura interna mais elaborada, apresentando parênquima lacunoso mais espesso das folhas de *L. japonicum*, resultaram em valores mais altos para a região do IVP, e que na região do visível, as espécies possuíram comportamento espectral semelhante, havendo uma pequena diferença na região do azul.

Em relação à absorção, observou-se que para a região do azul as espécies atuaram de forma semelhante, nas regiões do verde e vermelho a espécie *L. japonicum* apresentou valores mais elevados e na região do IVP a espécie *L. japonicum* apresentou valores menores do que a espécie *C. macranthera*.

Quanto à diferenciação das espécies utilizando dados radiométricos, para as espécies *C. macranthera* e *L. japonicum* o melhor método encontrado neste estudo foi o dimensionamento do Fator de Transmitância, o qual apresentou valores estatisticamente diferentes para todas as regiões espectrais estudadas, enquanto que os valores de Fator de Reflectância, nas regiões espectrais do verde e do vermelho, apresentaram comportamento estatisticamente iguais para as duas espécies.

Comparando-se com os resultados obtidos por Carriello et al. (2003), pôde-se observar que, apesar de se tratar das mesmas espécies, ocorreram variações nas curvas, o que nos fez acreditar que ocorreram diferenças intraespecíficas, podendo ser acentuadas com variações temporais de estresse ou estado vegetativo. Com isso, a instituição de padrões de reflectância ou de transmitância para classificação de alvos de vegetação não se apresentou como uma opção primordial. No entanto, para trabalhos que utilizam as características espectrais conjuntamente com outros dados sobre o alvo, como composição química e estrutural, a radiometria apresenta-se como uma técnica de grande validade.

O que se pode concluir ainda, é que para a diferenciação de espécies, deve-se utilizar a maior quantidade de dados disponíveis possível, uma vez que a análise de apenas o Fator de Reflectância ou o Fator de Transmitância pode induzir a erros de interpretação.

7. Referências Bibliográficas

- Assunção, G.V., Formaggio, A.R. **O sensoriamento remoto na agricultura: conceitos Básicos, metodologias e aplicações**. São José dos Campos, INPE: 1989. 217 p.
- Budowski, G. Distribution of tropical American rain forest species in the light of successional processes. **Turrialba** n. 15, p. 40–42, 1965.
- Carrielo, F., Miranda, F. G., Ponzoni, F. J., Cardoso, P. A., Martins, S. P. Uso da Transmitância na caracterização espectral de folhas verdes, **Anais do XI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Belo Horizonte, INPE, p. 2451-2457, 2003.
- Curran, P.J. **Principles of remote sensing**. New York, USA 282 p. 1986.
- Hoffer, R.M. Biological and physical considerations in applying computer-aided analysis techniques to remote sensor data. In: SWAIN, P.H.; DAVIS, S.M., Ed. **Remote Sensing the Quantitative Approach**, New York: McGraw Hill, 1978. cap. 5, p. 89-228.
- Jensen, J.R. **Remote sensing of the environment: an earth resource perspective**. USA. 544 p. 2000.
- Kumar, R. **Radiation from plants-reflection and emission: a review**. Lafayette: Purdue Research Foundation, 1972. 88 p.
- Kuusky, A.; Lang, M.; Nilson, T. Simulation of the reflectance of ground vegetation in sub-boreal forests. **Agricultural and Forest Meteorology**. Article in Press. 2004.
- Moreira, M.A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), 63-91, 157-166. 250 p. 2001.
- Hamid Muhammed, H.; Larsolle, A. Feature vector based analysis of hyperspectral crop reflectance data for discrimination and quantification of fungal disease severity in wheat. **Biosystems Engineering**. v. 86, p 125-134, 2003.
- Ponzoni, F.J. Comportamento spectral da vegetação. In: Meneses, P.R. e Madeira Neto, JS **Sensoriamento Remoto: reflectância de alvos naturais**. Brasília, DF: UNB Planaltina Embrapa Cerrados, 2001. 262 p.
- Thiam, A. e Eastman, R. Vegetation Indices. In: **Guide To and Image Processing**. v. 2. IDRISI 32. 170p. 1999.
- Verbyla, D. **Satellite remote sensing of natural resources**. New York. USA. 198 p. 1995.