

Relação entre o Fator de Reflectância Hemisférica e o Fator de Reflectância Hemisférica Bidirecional de Folhas Isoladas da *Tibouchina granulosa cogn.*

MAURÍCIO EDUARDO SALGADO RANGEL¹

HELEN DA COSTA GURGEL¹

CLOTILDE FERRI¹

LUCIANA MIURA SUGAWARA¹

MARCOS LUIZ DE ANDRADE PINTO¹

¹INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
Caixa Postal 515 - 12227-010 - São José dos Campos - SP, Brasil,
Tel.: ++55 12 3456427, Fax: ++55 12 3456441
mrangel@tid.inpe.br

Abstract This paper describes the Leaf hemispheric bidirectional reflectance factors (HBRFs) and the hemispheric reflectance factors (HRFs) of the *Tibouchina granular cogn.* (Quaresmeira) isolated leaves of were measured using a spectroradiometer that measures in the spectral range from 0.40 to 0.90 μm coupled with a LICOR integrating sphere. The purpose was to identify significant differences between HBRFs and HRFs of 10 isolated leaves from different portions. The results showed that were no significant differences between the hemispherical and bidirectional factors. However, the HBRFs varied between samples as a function os leaf portions wich offerts the shadows in the canopy and the leaf structure.

Keywords: hemispheric bidirectional reflectance, hemispheric reflectance factors, isolated leaves

1 Introdução

O estudo da vegetação, através de técnicas de sensoriamento remoto, envolve duas abordagens principais, sendo uma relacionada ao estudo de dosséis e outra ao estudo de folhas isoladas. Nos dosséis são observados seus parâmetros biofísicos, relacionados às geometrias de iluminação e visada, e os parâmetros espectrais dos constituintes da vegetação. Quanto às folhas isoladas, realizam-se coletas de dados nos níveis de laboratório e de campo, como forma de se buscar a caracterização espectral de fenômenos relacionados à fisiologia e à morfologia da planta (Sousa et al., 1996). Segundo Guyot et al. (1989) existem três regiões espectrais distintas, nas quais as propriedades óticas da folha são afetadas por diferentes fatores:

- Visível (0.400 – 0.700 μm), nesta região espectral as folhas têm uma baixa reflectância (menos de 10%). A maior parte da radiação incidente é absorvida por pigmentos como clorofila, xantofilas e carotenos. O principal pigmento responsável pela absorção é a clorofila, a qual provoca duas bandas de absorção, uma no azul e outra no vermelho. Com isso, as folhas têm uma reflectância máxima em 0,550 μm , na região do amarelo-verde;
- Infravermelho-Próximo (0.700 – 1.300 μm), nesta região espectral os pigmentos e as células das paredes das folhas são transparentes. Assim, a absorção da folha é muito baixa,

(menos de 10%), e a reflectância no “platô do infravermelho” fica ao redor dos 50%. Este nível depende da estrutura interna da folha. O aumento deste nível está relacionado com o número de camadas de células, com o tamanho das células e a orientação das paredes da folha;

- Infravermelho-Médio (1.300 – 2.500 μm), nesta região espectral as propriedades óticas das folhas são afetadas principalmente pelo seu conteúdo de água. Após 1.300 μm ocorrem fortes bandas de absorção pela água (1.450, 1.950, e 2.500 μm), originando reflectâncias mínimas na folha. Mas, entre estas bandas a absorção pela água ainda existe e afeta as propriedades óticas das folhas. Desta forma, o nível de dois máximos, relativos no 1.650 e 2.200 μm , varia de acordo com o conteúdo de água da folha.

As propriedades óticas da folha podem ser afetadas por fatores como idade, deficiência de nutrientes e doenças. O comportamento desses fatores pode variar devido aos tipos de folhas. Na região do visível a reflectância de uma folha decresce com a idade, isto ocorre devido ao rápido aumento da quantidade de clorofila nos estágios iniciais de desenvolvimento da folha, aumentando mais lentamente nos estágios subsequentes até atingir a coloração verde característica de uma espécie. Enquanto que a reflectância na região do infravermelho próximo em folhas mais velhas, após 12 dias, aumenta, pois os espaços intracelulares no mesófilo e a porcentagem de água aumentam com a idade. As doenças podem modificar o conteúdo dos pigmentos, induzindo a necrose, modificando a estrutura das folhas, ou ocorrendo um novo tipo de pigmento. A deficiência de minerais atinge principalmente o conteúdo de clorofila e possivelmente, a estrutura da anatomia da folha. A diminuição da clorofila pode induzir a clorose, afetando a reflectância no visível. No infravermelho próximo e médio a reflectância é somente afetada em caso de clorose extrema (Guyot et al., 1989 e Steffen et al., 1996).

Algumas pesquisas têm sido feitas com o intuito de observar variações no comportamento espectral da vegetação, provocadas por mudanças nas medidas de reflectância. Silva e Ponzoni (1995) compararam a reflectância hemisférica de folhas isoladas, cujos fatores de reflectância foram determinados mediante o uso de um radiômetro dotado de esfera integradora, com a reflectância bidirecional de um dossel, que foi estimada por intermédio de dados orbitais TM/Landsat, e concluíram que ocorre uma diferença significativa entre o fator de reflectância bidirecional de um dossel e o fator de reflectância hemisférica de folhas isoladas. Ponzoni et al. (1997) observaram a ocorrência de alterações na reflectância espectral de folhas isoladas em função do horário diurno, utilizando o fator de reflectância hemisférica, e puderam constatar que não há variação na reflectância hemisférica em função do horário diurno.

2 Material e Métodos

Foram utilizadas 10 folhas de *Tibouchina granulosa* cogn. (quaresmeira), medindo aproximadamente 15 cm, extraídas de um mesmo ramo da porção mediana da copa.

Para a realização do experimento, considerou-se como tratamentos o fator de reflectância hemisférica (FRH), onde se determinou a radiância hemisférica da face ventral de cada folha isoladamente, e o fator de reflectância hemisférica bidirecional (FRHB), obtendo-se a radiância, a partir de 10 variações da posição do conjunto de folhas coletadas.

2.1 Medições Radiométricas

As medições radiométricas para a obtenção do FRHB e FRH, foram realizadas no Laboratório de Radiometria (LARAD) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) através da utilização do espectrorradiômetro SPECTRON SE-590, operando na faixa espectral compreendida entre 0.400 a 0.900 μm , onde foi adaptado uma esfera integradora LICOR, modelo LI 1.800-12, permitindo a determinação do FRH da face ventral das folhas. Além disso, foram utilizados uma fonte de luz halógena, uma placa de referência de Sulfato de Bário (BaSO_4) e um microcomputador com software para processamento dos dados obtidos.

As folhas foram colhidas e levadas ao laboratório alguns instantes antes da realização das medições radiométricas. Para o registro do FRH, coletou-se duas medições dos dados da placa de referência padrão da esfera integradora, sendo uma no início e outra no final da coleta de dados das 10 folhas. Cada folha foi posicionada no orifício da esfera, com sua face ventral voltada para o interior desta. Os espectros gerados foram transferidos para o microcomputador e gravados em arquivo, para que fossem processados posteriormente.

Em seguida, foram realizadas as medições do FRHB, onde um conjunto de 10 folhas foi posicionado 58 cm abaixo do espectrorradiômetro, o qual apresentava uma abertura de 6° . A fonte de luz formava um ângulo de 40° com a vertical local, posicionada a uma distância de 68 cm do alvo, como ilustra a **Figura 1**. Em cada coleta de dados, o conjunto de folhas era disposto de maneira diferente, e, entre uma coleta e outra, media-se o FRHB da placa de referência, gravando-se e transferido-se os dados para o microcomputador.

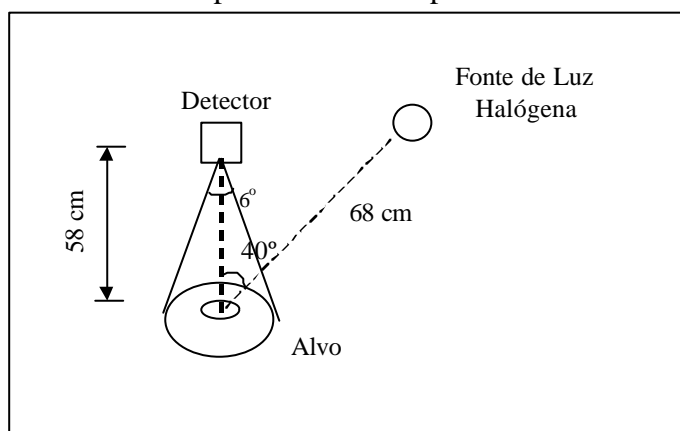


Figura 1 - Geometria de visada para coleta de dados do FRHB

Após a transferência dos dados para o microcomputador, os arquivos contendo os espectros foram submetidos ao programa ESPECTRO, desenvolvido no LARAD/INPE, onde os dados de reflectância das amostras foram calibrados em relação àqueles obtidos para a placa de referência. Os espectros foram transferidos para o programa EXCEL, da Microsoft, para que fossem aplicada a técnica estatística de Análise de Variância (ANOVA).

2.2 Análise de Variância (ANOVA)

Os espectros dos FRH e FRHB foram divididos nas seguintes bandas, correspondentes às TM1, TM2, TM3 e TM4 do Landsat/TM-5, para facilitar a análise dos resultados e o delineamento estatístico:

- Banda 1: 0,450 a 0,520 μm
- Banda 2: 0,520 a 0,600 μm
- Banda 3: 0,630 a 0,690 μm
- Banda 4: 0,760 a 0,900 μm

Cada um dos FRH e FRHB de cada banda foi considerado como variável de um delineamento estatístico inteiramente casualizado, com dois tratamentos e dez repetições. Onde se buscou identificar a existência de diferença significativa entre eles, em cada banda espectral descrita, através do teste estatístico F, a 95% de coeficiente de confiança. Para cada um dos espectros dos FRH e FRHB, foram determinados os valores médios dos FRH e FRHB nas quatro bandas espectrais mencionadas acima.

3 Resultados e Discussão

Através do Quadro de ANOVA foi possível constatar que não há diferença significativa entre o FRH e o FRB, pois o valor apresentado pelo teste estatístico F, a 95% de coeficiente de confiança (Pimentel-Gomes, 1987), não foi significativo em todas as bandas espectrais, como pode ser observado nas **Tabelas 1, 2, 3 e 4**.

Tabela 1 - Quadros de Análise de Variância para a Banda 1

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Tratamento	1	0,0003	0,0003	1,514 NS*
Resíduo	18	0,0036	0,0002	
Total	19	0,0039	-	

* NS - não significativo a 95% de coeficiente de confiança

Tabela 2 - Quadros de Análise de Variância para a Banda 2

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Tratamento	1	0,0004	0,0004	1,069 NS*
Resíduo	18	0,0059	0,0003	
Total	19	0,0062	-	

* NS - não significativo a 95% de coeficiente de confiança

Tabela 3 - Quadro de Análise de Variância para a Banda 3

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Tratamento	1	0,0003	0,0003	1,067 NS*
Resíduo	18	0,0049	0,0003	
Total	19	0,0051	-	

* NS - não significativo a 95% de coeficiente de confiança

Tabela 4 - Quadros de Análise de Variância para a Banda 4

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Tratamento	1	0,0016	0,0016	0,031 NS*
Resíduo	18	0,0919	0,0051	
Total	19	0,0935	-	

* NS - não significativo a 95% de coeficiente de confiança

Entretanto, analisando-se a **Figura 2** pode-se constatar que, para todas as bandas espectrais, os valores do FRH das amostras foram muito semelhantes. Pois, as folhas foram medidas uma a uma na esfera integradora, não sofrendo, portanto, influência do sombreamento e acúmulo de estrutura foliar, enquanto que para os do FRB as diferenças entre estes valores foram maiores.

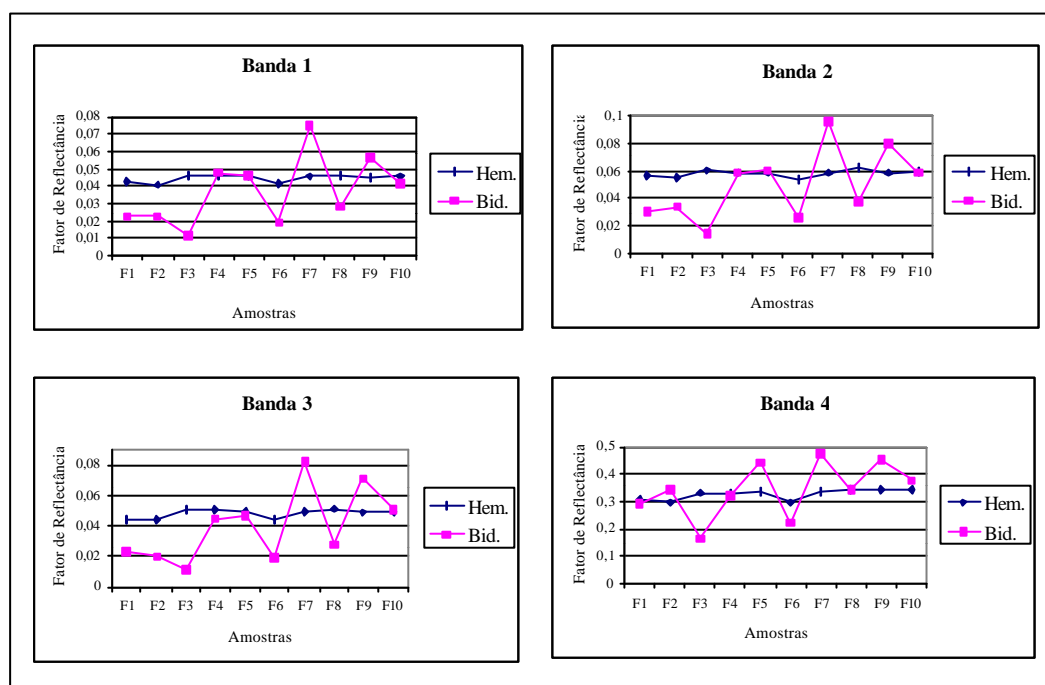


Figura 2 – FRH e FRHB das 4 bandas espectrais

As diferenças encontradas entre as amostras do FRHB foram ocasionadas devido ao posicionamento das folhas, o que propiciou diversas formas de sombreamento. Estudos realizados com coníferas, desenvolvidos por Cavayas e Teillet (1985), também demonstraram claramente a confusão atribuída ao efeito de sombreamento, o que pode ocasionar diferentes valores de reflectância para várias combinações de ângulos solares, cobertura vegetal e topografia.

Observando-se os valores do coeficiente de variação (C.V.) das quatro bandas (**Tabela 5**), pôde-se verificar que o valor do coeficiente do FRHB da banda 4 (infravermelho-próximo) apresentou um valor bem menor que às demais bandas, ocasionado, provavelmente, devido a sobreposição das folhas. Pois, de acordo com Guyot (1989) a variação do valor da reflectância, na região espectral do infravermelho-próximo, é proporcional ao número de camadas e tamanho das células, bem como a orientação das paredes da folha. Desta forma, a absorvância da folha

nesta região espectral é baixa, e a reflectância está relacionada com a sua estrutura interna. Além disso, conforme Ponzoni e Disperati (1995) a reflectância espectral na referida região apresenta-se de forma quase constante.

Tabela 5 - Coeficiente de Variação do FRH e FRHB das Bandas Espectrais

Bandas Espectrais	Coeficiente de Variação	
Banda 1	FRH	4,6 %
	FRHB	50,8 %
Banda 2	FRH	4,1 %
	FRHB	48,4 %
Banda 3	FRH	5,5 %
	FRHB	56,5 %
Banda 4	FRH	5,0 %
	FRHB	27,4 %

4 Conclusões

De acordo com os resultados obtidos pelas condições utilizadas neste trabalho, verificou-se que em folhas isoladas não ocorre diferenças significativas entre os fatores de reflectância hemisférica e hemisférica bidirecional.

O FRH apresentou-se constante, pois como este é medido folha por folha, não sofre influência de sombreamento e acúmulo de estrutura foliar. Enquanto que o FRHB apresentou uma maior diferença entre os valores médios obtidos, o que ocorre devido aos fatores de sombreamento e sobreposição das folhas.

Referências

- Cavayas, F.; Teillet, P. M. Geometric modal simulations of conifer canopy reflectance. In: **International Colloquium on Spectral Signatures of Objects in Remote Sensing 1985**. Les Ares, France. Proceedings. Mortgavet. INRA, 1985, p. 183-190.
- Guyot, G.; Guyon, D.; Riom, J. Factors affecting the spectral response of forest canopies: a review. **Geocarto International**, v. 4, n. 3, p. 3-18, Sep. 1989.
- Pimentel-Gomes, F. **Curso de estatística experimental**. Piracicaba: ESALQ-USP/ Nobel, 1987. 466 p.
- Ponzoni, F. J.; Disperati, A. A. **Comportamento espectral da vegetação**. São José dos Campos: INPE, 1995. 37 p. (INPE-5619-PUD/065).
- Ponzoni, F. J.; Sousa C. L.; Cardoso P. C. S. **Alterações na reflectância espectral de folhas isoladas em função do horário diurno**. São José dos Campos: INPE, 1997. 10p (INPE-6135-NTC/329).
- Silva E. L. S.; Ponzoni, F. J. Comparação entre a reflectância hemisférica de folhas e a reflectância bidirecional de um dossel. **Revista Árvore**, v. 19, n. 4, p. 466-478, 1995.

- Steffen, C. A.; Moraes, E. C.; Gama, F. F. Radiometria óptica espectral. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 8., Salvador, 1996. **Tutorial**. São José dos Campos: INPE, 1996. p. 1.1-2.23
- Sousa, C. L. de; Ribeiro, M. C.; Ponzoni, F. J. Influência do tempo e do tipo de armazenamento na reflectância espectral de folhas de *Eucalyptus grandis* "EX-SITU". **Revista Árvore**, v. 20, n. 2, p. 255-265, 1996.