

INVESTIGAÇÃO DA FUNÇÃO DE REFLETÂNCIA BIDIRECIONAL (FRBD) EM SEIS TIPOS DE SUPERFÍCIES ENCONTRADAS NA AMÉRICA DO SUL

André Luiz Farias de Souza¹, Luiz Augusto Toledo Machado¹

RESUMO: As análises dos dados POLDER para a América do Sul e as simulações de FRBD com o modelo de Roujean, indicaram que o sinal direcional é menos isotrópico na região do visível que no infravermelho próximo. A visualização de um mesmo objeto na superfície em ângulos distintos pode modificar a componente de espalhamento da radiação.

ABSTRACT: The analyses of POLDER dataset for the South America and the simulations of BRDF with the model of Roujean, had indicated that the directional signal is less isotropic in the visible region than near infrared. Multiangles observations from surface can change the radiative scattering component of radiation.

PALAVRAS-CHAVE: Cobertura vegetal, refletância bidirecional, POLDER

1. INTRODUÇÃO

Superfícies naturais, como as vegetadas e os solos, geralmente não refletem a radiação solar incidente de forma isotrópica. Esta refletância é dita anisotrópica, e formalmente é definida como função de refletância bidirecional (FRBD) sendo controlada pela estrutura física da superfície (densidade, arquitetura da vegetação, rugosidade) e propriedades óticas dos seus componentes (refletância e transmitância dos caules, folhas, etc) (Deschamps *et al.*, 1994; Roujean & Lacaze, 2002).

Alguns esforços têm sido feitos para correção dos efeitos bidirecionais (Qi *et al.*, 1994; Huete *et al.*, 1994; Chehbouni *et al.*, 1994) através de índices de vegetação, e muito mais tem sido investido na modelagem das funções de distribuição de refletância bidirecional (FRBD) (Verhoef, 1984; Verstraete *et al.*, 1990; Deering *et al.*, 1992; Strahler, 1996). Entretanto, simulações teóricas podem não apresentar condições que verdadeiramente existam, devido à própria diversidade dos tipos de superfícies e topografias (Wu *et al.*, 1995).

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Seis modelos de FRBD foram testados: Ross-Li, Ross-li-HS, Roujean, Roujean-HS, Engelsen e RPV. Os melhores resultados foram apresentados pelo modelo Roujean. O modelo de Roujean *et al.*, (1992a) pode ser descrito de forma sucinta como: $R(\theta_s, \theta_v, \phi) = k_0 + k_1 f_1(\theta_s, \theta_v, \phi) + k_2 f_2(\theta_s, \theta_v, \phi)$ (1), onde R é a refletância bidirecional em um dado canal para um determinado conjunto de ângulos solares zenitais, de visada e azimute relativo $(\theta_s, \theta_v, \phi)$, respectivamente. Os termos $f_1(\theta_s, \theta_v, \phi)$ e

¹ Divisão de Satélites e Sistemas Ambientais, DSA, CPTEC/INPE, 12630-000, Cachoeira Paulista, SP, Brazil. (andrelfs.machado@cptec.inpe.br).

$f_2(\theta_s, \theta_v, \phi)$ são funções analíticas dos ângulos solares e de visada. O termo $f_1(\theta_s, \theta_v, \phi)$ quantifica a geometria de espalhamento e a componente de sombreamento. É expresso como:

$$f_1(\theta_s, \theta_v, \phi) = \frac{1}{2\pi} [(\pi - \phi) \cos \phi + \sin \phi] \operatorname{tg} \theta_s \operatorname{tg} \theta_v - \frac{1}{\pi} [\operatorname{tg} \theta_s + \operatorname{tg} \theta_v] + \sqrt{\operatorname{tg} \theta_s^2 \operatorname{tg} \theta_v^2 - 2 \operatorname{tg} \theta_s \operatorname{tg} \theta_v \cos \phi}$$

(2). O termo $f_2(\theta_s, \theta_v, \phi)$ quantifica a componente do volume de espalhamento de um meio discreto finito facetas aleatoriamente localizadas assumindo uma aproximação para o espalhamento simples e as facetas são distribuídas isotropicamente. É expresso como:

$$f_2(\theta_s, \theta_v, \phi) = \frac{4}{3\pi} * \frac{1}{\cos \theta_s + \cos \theta_v} \left[\left(\frac{\pi}{2} - \zeta \right) \cos \zeta + \sin \zeta \right] - \frac{1}{3} \quad (3), \text{ onde } \zeta \text{ é o ângulo de fase ou de}$$

espalhamento, expresso como: $\cos \zeta = \cos \theta_s \cos \theta_v + \sin \theta_s \sin \theta_v \cos \phi$ (4).

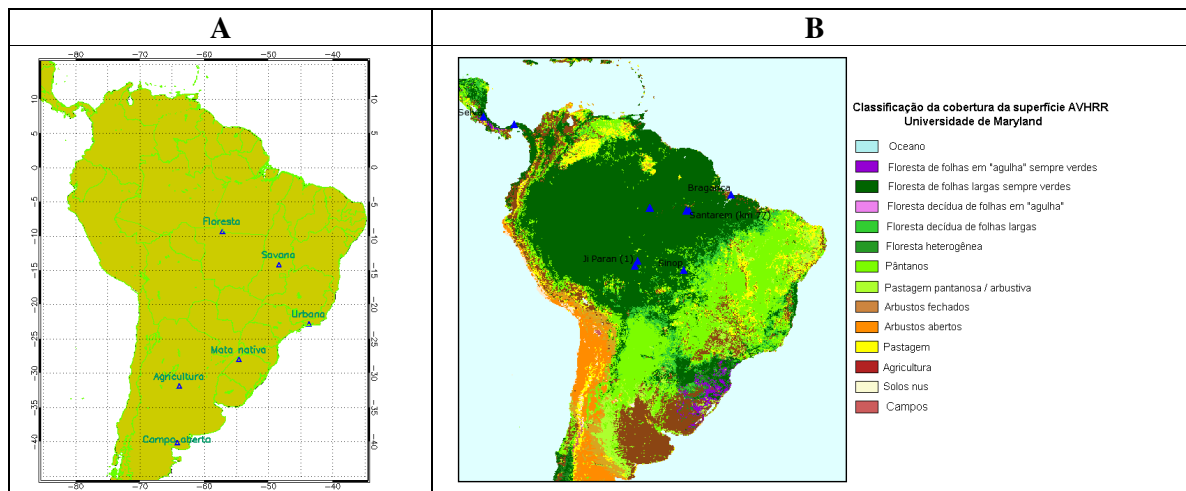


Figura 1: (A) Localidades para onde foram simuladas as FRBD com dados do sensor POLDER. (B) Classificação do tipo de cobertura da superfície da América do Sul (FONTE: FLUXNET University Maryland AVHRR Landcover classification).

Os tipos de cobertura da superfície sulamericanos para os quais foram testados os modelos de FRBD com os dados do POLDER foram: floresta (-23.5; -46.6), savana (cerrado) (-22.2; -51.1), mata nativa (-20.2; -56.4), campos abertos (-5.18; -68.5), agricultura (-8.6; -40.8) e urbano (-13.1; -46.8).

Gao *et al.* (2003) e Konda *et al.* (2001), apresentaram duas formas de avaliar o impacto da refletância bidirecional na estrutura da vegetação através de dados de AVHRR. A alta transmitância observada na região do infravermelho próximo para a vegetação, é o resultado de um grande espalhamento múltiplo dentro do dossel e redução da anisotropia da refletância. A pequena transmitância no visível, devido à absorvância da clorofila provoca alta anisotropia. Neste caso, o kernel geométrico é quem melhor a descreve e a estrutura vegetal pode ser descrita pela sensibilidade destas funções de kernel (Gao *et al.*, 2003). A estrutura de espalhamento pode apresentar uma relação linear com o IVDN obtido no nadir. Altos valores de IVDN correspondem a altos valores de espalhamento, significando que dosséis mais densos apresentam mais espalhamento

volumétrico e menos geométrico. Esta variabilidade é útil na investigação das condições de crescimento da vegetação, mais especificamente, no estudo dos ciclos fenológicos das culturas, através de uma melhor estratificação dos diferentes padrões que podem ser captados pelos sensores orbitais.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Em valores absolutos, a variabilidade direcional da refletância é maior no infravermelho próximo (IVP) do que na parte visível do espectro. De outra forma, em termos de valores relativos, a assinatura direcional é maior no visível. Pode ser observado em todas as superfícies escolhidas que as refletâncias no verde e o vermelho variam por um fator maior que quatro, na maioria dos casos, e que a refletância no infravermelho próximo varia por um fator entre 2 e 3. Valores maiores de refletância são observados próximos da direção de retroespalhamento, com exceção de alvos como a neve, identificados por uma grande refletância em todas as três faixas, mostrando um pico na direção de pró-espalhamento.

O modelo de Roujean reproduziu aproximadamente a assinatura medida (Figura 2: A, B, C, D, E e F) e isto fica aparente nas figuras do espalhamento (coluna direita), que é baseado também na escala da diferença entre a medida e modelo (coluna central) com relação à escala das medidas (coluna esquerda). Os dados medidos e modelados são da mesma ordem de grandeza ou menores em porcentagem. Na região do IVP, os EMQ são ligeiramente maiores, embora, o erro relativo seja muito menor neste canal. Claramente, as medidas e os erros modelo contribuem para a diferença mostrada na coluna central das Figuras 2 (A, B, C, D, E e F). O erro mais óbvio do modelo é a sua falta de habilidade em reproduzir o grande aumento da refletância próximo da região de retroespalhamento.

Outras deficiências são aparentes onde as diferenças positivas ou negativas entre a medida e o resultado do modelo são observadas em uma parcela direcional da FRBD. De outra forma, há também alguns erros de medida que podem ser significativos. Algumas linhas das medidas, correspondendo a uma única passagem do POLDER, mostram uma refletância maior do que sua vizinhança (coluna central). Isto pode ser decorrente de uma contaminação não detectada, da presença de nuvens ou de aerossol. Esta interpretação implica que o erro é maior no visível que no IVP, porque a espessura ótica do aerossol diminui com um aumento do comprimento de onda, mas principalmente em relação ao sinal da superfície, que é muito mais atenuado.

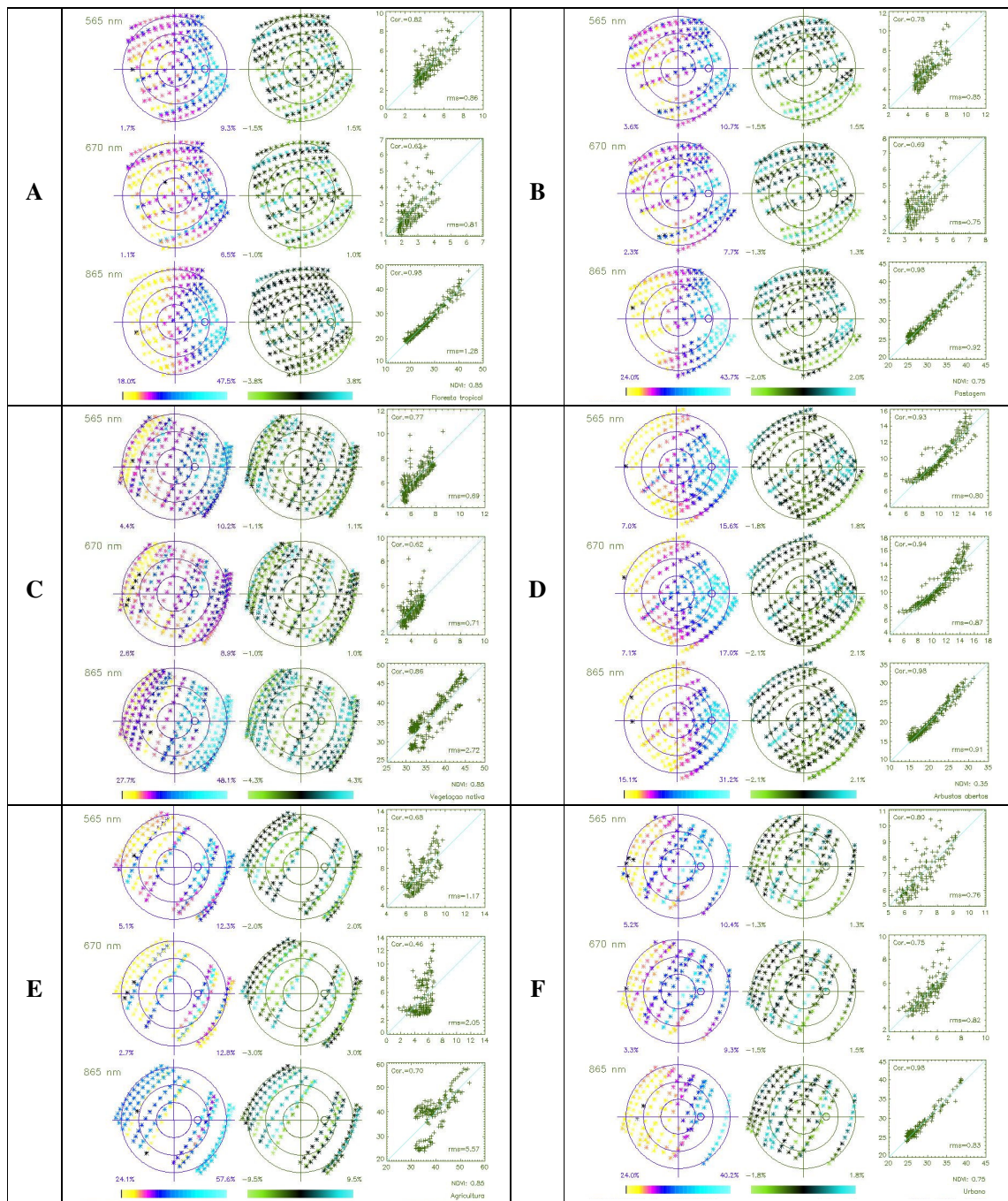


Figura 2: Representação gráfica da FRBD das amostras “floresta tropical (A)”, “savana (B)”, “vegetação nativa (C)” e “campos abertos nativa (D)”, “agricultura (E)” e “urbano (F)” com o ajuste pelo modelo de Roujean-HS, com dados do POLDER. Cada linha representa um canal do sensor POLDER: 565, 670 e 865 nm. O pequeno círculo central corresponde ao ângulo médio solar durante o período de coleta dos dados, na direção do meio-dia solar. A primeira representa o resultado modelado, a coluna central é diferença entre os valores observados e modelados. A terceira coluna representa a correlação entre os valores modelados e observados. No canto inferior direito, pode ser observado valor do índice de vegetação da amostra colhida.

A Tabela 1 apresenta os valores do kernel obtidos com o modelo de Roujean para as superfícies escolhidas, o número de observações utilizadas para gerá-los, o erro médio quadrático (EMQ) e o coeficiente de correlação (R) entre os dados do POLDER e modelados.

Tabela 1: Valores do kernel baseados no modelo de Roujean para a “floresta tropical”, “savana”, “vegetação nativa”, “campos abertos”, “agricultura” e “urbano” com dados do POLDER.

Comprimento de onda (nm)	k_0	k_1	k_2	N_{obs}	E.M.Q (%)	R
Floresta tropical						
443	0,024	0,007	-0,003	193	1,382	0,175
565	0,052	0,014	0,110	194	1,192	0,676
670	0,030	0,008	0,050	195	1,061	0,454
865	0,308	0,074	0,676	195	1,399	0,977
Savana						
443	0,014	0,000	-0,021	115	0,617	0,207
565	0,058	0,011	0,092	115	0,543	0,813
670	0,038	0,010	0,040	116	0,446	0,707
865	0,301	0,036	0,595	116	0,934	0,977
Vegetação Nativa						
443	0,024	0,005	-0,026	218	0,989	0,151
565	0,069	0,010	0,095	221	0,686	0,770
670	0,049	0,013	0,041	223	0,712	0,624
865	0,377	0,039	0,574	224	2,718	0,858
Campos abertos						
443	0,070	0,027	-0,019	212	0,951	0,693
565	0,123	0,037	0,089	210	0,805	0,930
670	0,141	0,049	0,075	213	0,873	0,938
865	0,205	0,034	0,355	213	0,907	0,978
Agricultura						
443	0,036	0,004	-0,008	155	1,282	0,091
565	0,085	0,017	0,097	155	1,174	0,682
670	0,079	0,037	-0,021	155	2,048	0,464
865	0,299	-0,090	0,887	155	5,573	0,702
Urbano						
443	0,036	0,013	-0,038	133	0,862	0,360
565	0,083	0,018	0,111	135	0,756	0,797
670	0,071	0,026	0,042	135	0,817	0,746
865	0,278	-0,003	0,728	135	0,828	0,977

* Nobs é o número de observações e EMQ é o erro médio quadrático.

4. CONCLUSÕES

A análise da Figura 2 indica que o maior espalhamento no sinal da medida direcional é maior no visível que na região do IVP. A escala de amplitude do efeito direcional com a refletância da superfície é geralmente maior no infravermelho próximo. Adicionalmente, a menor isotropia é decorrente do espalhamento atmosférico (aerossóis não detectados, aerossóis e moléculas), que tende a ser maior no visível. Ambos os efeitos contribuem para uma melhor qualidade de medida no IVP.

O EMQ contém a distribuição das medidas dos erros e os erros dos modelos. É esperado que, quando comparamos dois modelos, a contribuição do EMQ seja muito próxima para ambos. Desta forma, em geral, baixos valores de EMQ indicam que o desempenho do modelo é o melhor ajuste para a FRBD da superfície analisada. Há exceções a esta regra, quando medidas de erros são melhor

ajustadas pelo modelo do que uma performance fraca que reproduza a superfície real da FRBD. Entretanto, tais casos não podem ser escondidos da tendência geral. Estas informações são úteis na melhoria das estimativas de produtos derivados dos canais localizados na região do visível e infravermelho próximo.

AGRADECIMENTOS

A Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo Processo FAPESP: 04/15692-6.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CHEHBOUNI, A., Y.H. KERR, J. QI, A.R. HUETE & S. SOROOSHIAN, 1994. Toward the development of a multidirectional vegetation index, *Water Resources Research*, 30(5), 1281-1286.

DEERING, D.W., E.M. MIDDELTON, J.R. IRONS, B.L. BLAD, E.A. WALTER-SHEA, C.J. HAYS, C.L. WALTHALLI, T.F. ECK, S.P. AHMAD, & B.P. BANERJEE. Prairie grassland bidirectional reflectances measured by different instruments at the FIFE site. *Journal of Geophysical Research*, 97, 18887-18903, 1992.

DESCHAMPS, P.Y., F.M. BRÉON, A. Leroy, A. PODAIRE, A. BRICAUD, J. C. BURIEZ, & G. SÈZE. The POLDER mission: Instrument characteristics and scientific objectives. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, 32, 598-615, 1994.

GAO, F., C.B. SCHAAF, A.H. STRAHLER, Y. JIN, & X. LI. Detecting Vegetation Structure Using a Kernel-based FRBD model. *Rem. Sens. Environ.*, 86, 198-205, 2003.

HUETE, A.R., H.Y. LIU, & H.Q. LIU. Directional vegetation index interactions in ASAS imagery, IGARSS'94 Digest, 3, 1813-1814, 1994.

KONDA, A., D. HONGO, H. ICHIKAWA, H. YAMAMOTO, K. KAJIWARA, & Y. HONDA. The Study on Vegetation Index Using BRDF Property with Satellite Sensors. 22nd Asian Conference on Remote Sensing, 5 - 9 November, Singapore, 2001.

QI, J., A. CHEHBOUNI, A.R. HUETE, Y.H. KERR, & S. SOROOSHIAN. A Modified Soil Adjusted Vegetation Index, *Rem. Sens. Environ.*, 48, 119-126, 1994.

ROUJEAN, J.L., & R. LACAZE. Global mapping of vegetation parameters from POLDER multiangular measurements for studies of surface-atmosphere interactions: A pragmatic method and its validation. *Journal of Geophysical Research*, 107(D12), 4150, doi:10.1029/2001JD000751, 2002.

STRAHLER, A. H. Vegetation canopy reflectance modeling: Recent developments and remote sensing perspectives. *Rem. Sens. Rev.*, 15, 179-194, 1996.

VERHOEF, W. Light scattering by leaf layers with applications to canopy reflectance modeling: the SAIL model. *Rem. Sens. Environ.*, 16, 125-141, 1984.

VERSTRAETE, M.M., B. PINTY, & R.E. DICKINSON. A physical model of the bidirectional reflectance of vegetation canopies 1. Theory. *Journal of Geophysical Research*, 95, 11.755-11.765, 1990.

WU, A., Z. LI, & P. CIHLAR. Effects of land cover types and greenness on advance very high resolution radiometer bidirectional reflectance: Analysis and removal. *Journal of Geophysical Research*, 100(D5), 9179-9192, 1995.