

INFLUÊNCIA DA GEOMETRIA DE VISADA NA RESPOSTA ESPECTRAL DE CLASSES DE COBERTURA DA REGIÃO AMAZÔNICA A PARTIR DE DADOS MISR

ALEXANDRE DA SILVA XAVIER¹

LÊNIO SOARES GALVÃO¹

¹INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
Caixa Postal 515 - 12201-970 - São José dos Campos - SP, Brasil
{alexsx, lenio}@ltid.inpe.br

Abstract. Preliminary results on the use of the MISR (*Multi-angle Imaging Spectroradiometer*) sensor to study the viewing geometry influence on the spectral and vegetation index responses of some Amazonian land cover types are presented. The MISR instrument, on board the Terra satellite, has the unique capability of acquiring images in four spectral bands and in nine cameras or nine view angles, in a short interval of time. Results illustrate the spectral and target dependence of the view angle effects and of the coupled atmospheric influence on the studied land covers.

Keywords: MISR, viewing geometry, Amazon, NDVI, angular profile.

1. Introdução

Estudos de sensoriamento remoto na faixa óptica na região Amazônica são freqüentemente dificultados pela cobertura de nuvens. Sensores de campo de visada amplo, quando comparados com instrumentos que operam com visada ao nadir, têm a vantagem de aumentar a cobertura espacial do imageamento e melhorar o tempo de revisita de cena. Entretanto, devido a não-Lambertianidade dos alvos, a visada *fora do nadir* introduz mudanças na resposta espectral detectada pelo sensor, produzindo efeitos direcionais que são dependentes dos alvos e do comprimento de onda analisado e que ocorrem em forte associação com efeitos atmosféricos.

Para uma melhor compreensão da magnitude destes efeitos e de como minimizá-los, o sensor MISR (*Multi-angle Imaging Spectroradiometer*), a bordo do satélite Terra, lançado em dezembro de 1999, foi construído para operar com nove câmeras com ângulos de visada que variam de 70,5° para frente até 70,5° para trás, em relação ao nadir. Este trabalho apresenta resultados preliminares obtidos com imagens MISR da região Amazônica, discutindo perfis angulares de classes de cobertura da região amazônica em função das bandas espectrais e do índice de vegetação NDVI (Normalized Difference Vegetation Index).

2. Sensor MISR

O satélite Terra voa em uma órbita igual ao do Landsat 7, apenas defasado alguns minutos em relação à hora de sua passagem. Ambas as plataformas fazem parte de um grande empreendimento, o ESE (*Earth Science Enterprise*), que engloba vários outros satélites e um extenso programa de pesquisas, com o objetivo de conhecer melhor o planeta Terra.

Um dos cinco sensores instalados a bordo do satélite Terra é o MISR. Este sensor é capaz de observar a Terra com nove câmeras diferentes, que variam de 70,5° à frente até 70,5° para trás, em relação ao nadir (**Tabela 1** e **Figura 1**). Cada câmera é capaz de gerar imagens em quatro bandas espectrais (**Tabela 2**), de forma que cada ponto imageado na superfície da Terra é visto 36 vezes. A resolução espacial é de 250 metros para a câmera ao nadir e de 275 metros para as câmeras *fora do nadir*, sendo possível programar o computador de bordo para aglomerar os pixels em arranjos de 2 x 2, 4 x 4, 1 x 4 e 1 x 1 linhas por colunas.

TABELA 1 – GEOMETRIA DAS CÂMERAS DO SENSOR MISR

Câmera	Sentido	Ângulo de visada especificado (graus)	Ângulo de visada produzido (graus)	Distância focal (mm)
Df	Frente	70,5	70,3	123,67
Cf	Frente	60	60,2	95,34
Bf	Frente	45,6	45,7	73,03
Af	Frente	26,1	26,2	58,90
An	Nadir	0	0,1	58,94
Aa	Trás	26,1	26,2	59,03
Ba	Trás	45,6	45,7	73,00
Ca	Trás	60	60,2	95,33
Da	Trás	70,5	70,6	123,66

FONTE: Adaptada de Diner et al. (1998, p. 1076).

TABELA 2 – BANDAS ESPECTRAIS DO SENSOR MISR

Número da banda	Comprimento de onda central (nm)	Largura de banda (nm)
1 – azul	446,4	41,9
2 – verde	557,5	28,6
3 – vermelho	671,7	21,9
4 – infravermelho próximo	866,4	39,7

FONTE: Adaptada de Diner et al. (1998, p. 1076).

Os detectores utilizados são matrizes lineares de CCD (*Charge-Coupled Device*), cada uma com 1520 elementos, sendo que apenas 1504 são efetivamente utilizados para gerar imagens. Cada detector na matriz mede 21µm (*cross-track*) por 18 µm (*along-track*). A distância entre as matrizes dentro de uma câmera é de 160 µm (Diner et al., 1998), fazendo com que as bandas de uma mesma câmera estejam defasadas espacialmente, como pode ser visto na **Figura 1**. O registro entre bandas e entre visadas é feito durante os processamentos em solo. A radiação capturada pelo sensor é quantizada em 14 níveis digitais, sendo codificada através da raiz quadrada do sinal em 12 bits através de uma *look-up table*.

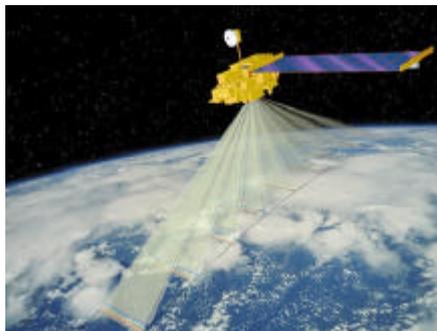


Figura 1 – Aquisição de imagens pelo sensor MISR em nove ângulos de visada.

FONTE: Jet Propulsion Laboratory – JPL (2001b - JPL image P-49081).

3. Área de estudo

A área de estudo selecionada está localizada na porção leste do Estado do Acre, a nordeste da cidade de Rio Branco, sendo coberta pelo bloco 098 da órbita 001 do satélite Terra para o sensor MISR (**Figura 2**). Foi selecionada a imagem gerada na revolução de número 3251 do

satélite em 28 de julho de 2000, devido ao fato desta imagem apresentar menor cobertura de nuvens, quando comparada a outras imagens da mesma região. Nesta área estão presentes duas das mais significativas classes de cobertura da Amazônia, as Florestas Ombrófilas Densa Terras Baixas (Db) e Aberta Submontana (As), que correspondem a aproximadamente 26% da área total da Amazônia legal brasileira (Sestini et al., 2002).

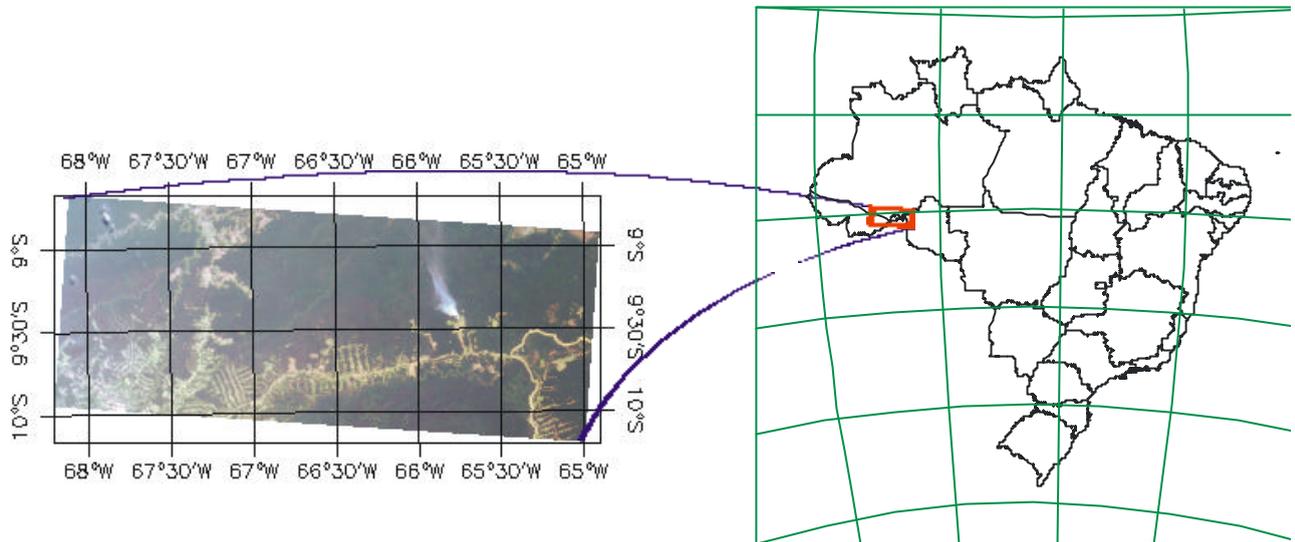


Figura 2 – Área de estudo e composição colorida normal do sensor MISR.

4. Resposta espectral das classes de cobertura e do NDVI em função da geometria de visada

As classes de cobertura estudadas foram selecionadas a partir do processamento dos dados MISR de radiância de topo de atmosfera (câmara nadir), com resolução de 275 metros, e da obtenção de um modelo de mistura espectral simples (vegetação verde, sombra e solo). A melhor resolução justificou a utilização inicial de um produto de radiância e não de um de reflectância. Inicialmente, foi realizada uma transformação MNF (*Minimum Noise Fraction*), que organizou as imagens processadas por sua qualidade, expressa pela fração de ruído (Green et al, 1988). Em seguida aplicou-se a técnica Índice de Pureza de Pixel (PPI - *Pixel Purity Index*) para identificar pixels candidatos a membros de referência, que foram então interativamente analisados e rotacionados através do emprego de um visualizador *n*-dimensional. Este processo possibilitou a seleção dos membros de referência para o emprego do modelo de mistura espectral. A partir do fatiamento da imagem-fração sombra foi possível separar dois tipos principais de floresta, identificados, de acordo com o mapa de vegetação de Sestini et al (2002), como Floresta Ombrófila Densa Terras Baixas (Db) e Floresta Ombrófila Aberta Submontana (As). O fatiamento da imagem-fração sombra permitiu selecionar grupos de pixels representativos desses dois tipos de floresta, bem como de uma área de solo exposto.

O estudo da resposta espectral das classes de cobertura em função da geometria de visada foi conduzido a partir das imagens de radiância e do fator de reflectância bidirecional (*bidirectional reflectance factor* - *BRF*), esta última imagem com tamanho de pixel de 1,1 km. A **Figura 3** ilustra as imagens radiância geradas pelas nove câmeras do MISR. A primeira coluna representa as câmeras direcionadas para trás (Aa até Da), enquanto a segunda coluna representa as câmeras voltadas para frente (Af até Df). A imagem de baixo é a do nadir. A partir daí, têm-se em seqüência as câmeras que se afastam do nadir em direção às visadas extremas com as imagens de baixo para cima.

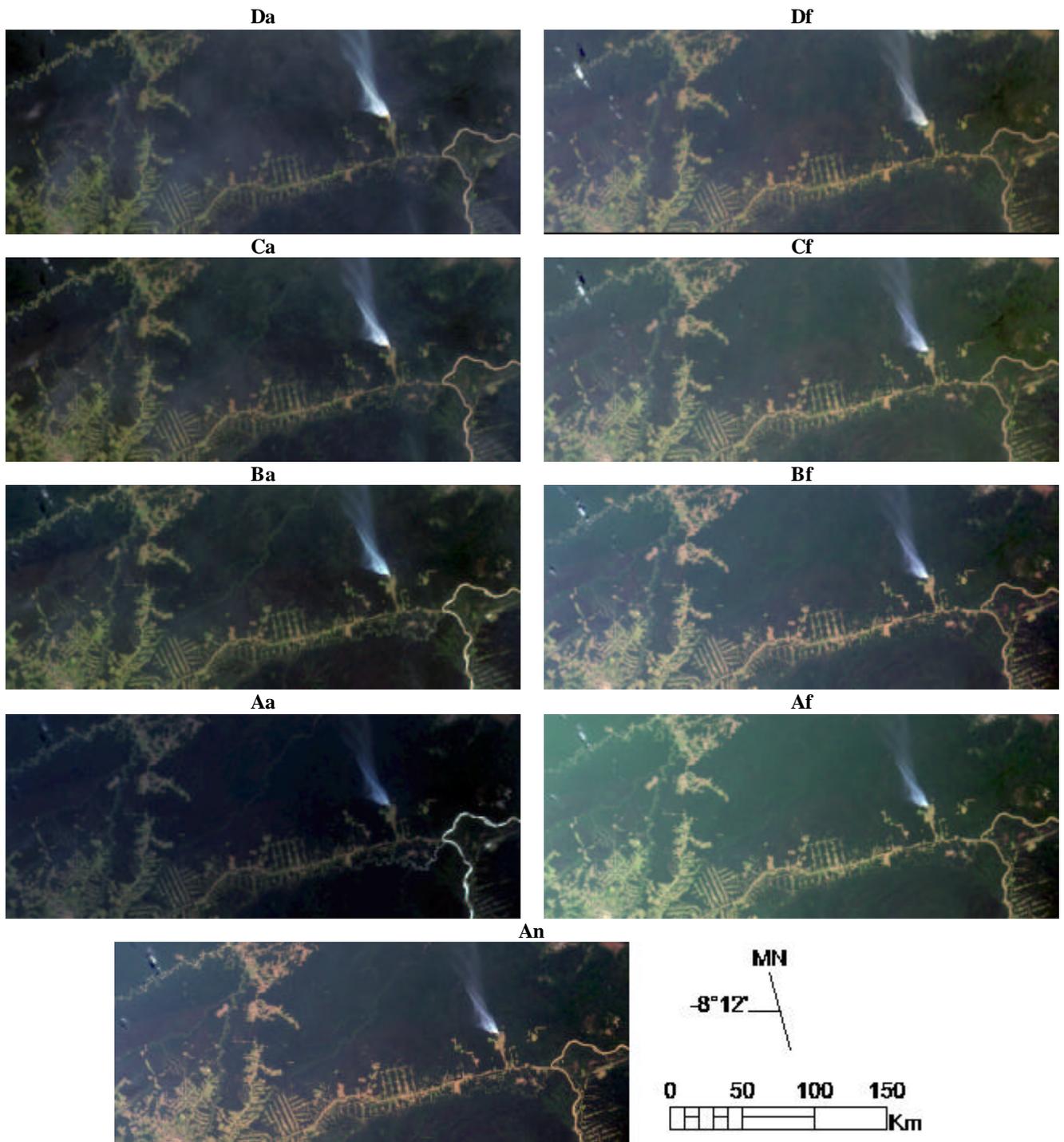


Figura 3 – Composições coloridas normais obtidas pelas nove câmeras do MISR.

Pode-se observar nestas imagens que a resposta espectral dos componentes de cena é, de maneira geral, assimétrica. Em todas as composições foi aplicado o mesmo ajuste de realce, mas ainda assim é possível observar que existe uma tendência das imagens das câmeras voltadas para trás, de Da a Aa, apresentarem menor resposta que as das câmeras à frente, de Df a Af. Pode ser observado também que a intensidade da radiação capturada em toda a cena aumenta da câmera Da para a Df, com exceção da imagem da câmera Aa, que é bem mais escura que as outras.

A partir das nove câmeras do MISR, foram gerados os perfis angulares para cada uma das classes e banda espectral. A **Figura 4** mostra perfis BRF, normalizados em relação ao nadir, para cada uma das classes selecionadas e para as quatro bandas espectrais do MISR. Este tipo de gráfico permite avaliar a variabilidade relativa ao nadir de cada banda, em função da geometria de visada e da classe de cobertura. É possível observar, por exemplo, que o valor de BRF apresenta variação mais intensa na banda do azul, em relação às outras bandas. Podem ser observados valores mínimos ao nadir ou próximos a ele, na direção do espalhamento à frente, e maiores valores de reflectância na direção da visada extrema no mesmo sentido (Da), para todas as classes de cobertura. No sentido do retroespalhamento, o comportamento na banda do azul foi semelhante ao das outras bandas, apenas com maior intensidade para algumas classes.

Cada classe de cobertura apresenta pequenas diferenças no comportamento espectral em função da variação do ângulo zenital de visada para as outras bandas. O solo, por exemplo (**Figura 4**), apresenta contínua redução da reflectância na direção do espalhamento frontal para o vermelho, enquanto nas outras duas bandas (verde e IVP) ocorre um pequeno aumento na reflectância. Este mesmo comportamento foi observado nas bandas do verde, vermelho e do infravermelho próximo, para as duas classes de floresta. Apesar das curvas da **Figura 4** apresentarem um aspecto semelhante, pode-se observar que os gráficos estão em escalas diferentes. Desta forma, os dois tipos de floresta ombrófila apresentam variabilidade angular diferente, com a floresta aberta sofrendo muito mais variação nos valores de BRF que a floresta fechada. A diferença é ainda maior no sentido do retroespalhamento para todas as bandas, exceto para o azul, onde os valores no sentido do espalhamento frontal para a floresta As chegam a ser mais que 50% maiores que os da floresta Db.

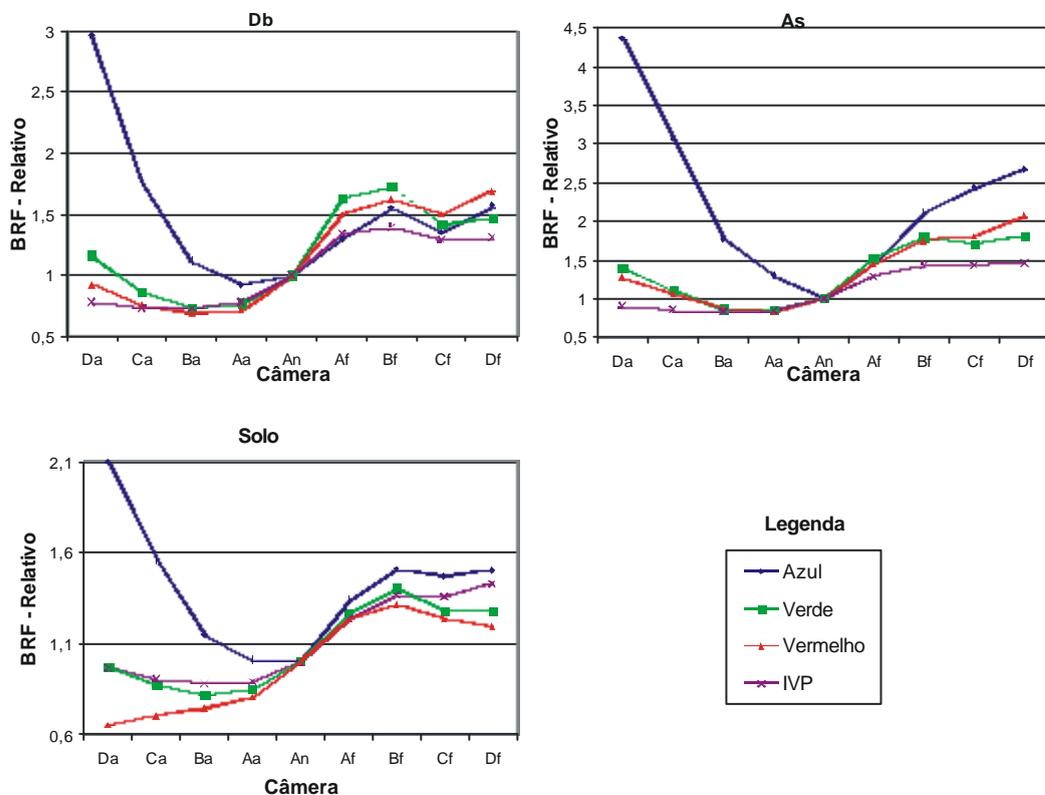


Figura 4 – Perfis angulares em quatro bandas espectrais, normalizados em relação ao nadir, para as classes de cobertura Florestas Ombrófilas Densa Terras Baixas (Db) e Aberta Submontana (As), e solo exposto.

Essa variabilidade angular pode ser uma informação potencialmente útil na distinção de diferentes classes de cobertura vegetal na Amazônia. Por exemplo, os dois tipos de floresta são pouco distinguíveis quando se utilizam somente os espectros BRF da imagem ao nadir (**Figura 5**), mas existe uma boa separabilidade entre eles quando se agrega a informação das outras câmeras. Na **Figura 6** é possível observar, por exemplo, que para a banda do azul a floresta As apresenta sempre mais sensibilidade ao imageamento *fora do nadir* que a floresta Db. Para as outras bandas, o comportamento se mantém o mesmo, exceto para a câmera Af, onde a resposta da floresta As é menor que a da floresta Db, em relação ao nadir.

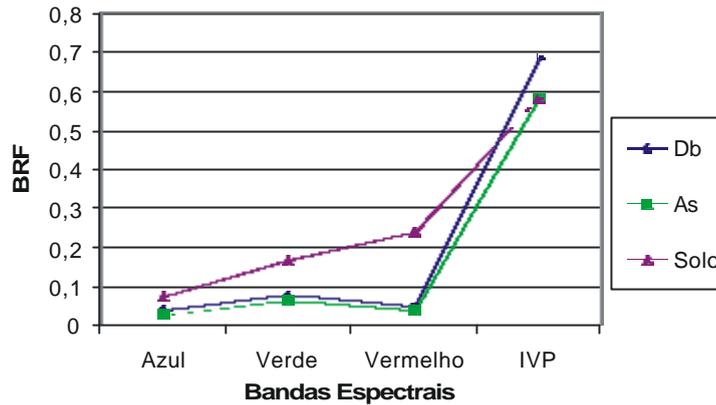


Figura 5 – Espectros de reflectância bidirecional (BRF) das classes de cobertura Floresta Ombrófila Densa Terras Baixas (Db), Floresta Ombrófila Aberta Submontana (As) e solo exposto, correspondentes à visada ao nadir do MISR.

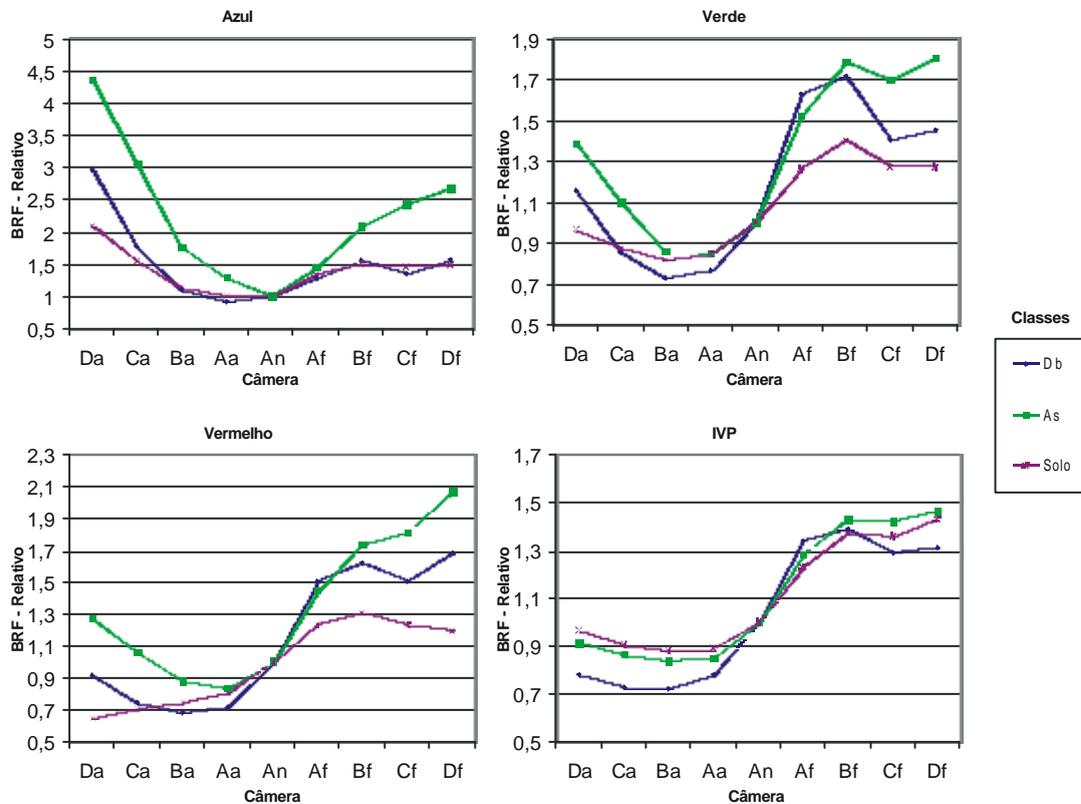


Figura 6 – Perfis angulares para as quatro bandas espectrais do MISR, em função das diferentes visadas e das classes de cobertura Floresta Ombrófila Densa Terras Baixas (Db), Floresta Ombrófila Aberta Submontana (As) e solo exposto.

Valores de NDVI, calculados a partir dos dados MISR de radiância de topo de atmosfera e dos valores de reflectância bidirecional, são mostrados nas **Figuras 7a e 7b**, respectivamente, em função das nove câmeras. Conforme esperado, o solo apresentou valores de NDVI muito mais baixos que os da floresta, mas apresentou também um perfil angular distinto, especialmente para os dados derivados do BRF.

Na **Figura 7a**, os valores máximos de NDVI para as florestas Db e As foram obtidos nas câmaras MISR ao nadir (câmera An) ou com pequenos ângulos de visada (câmeras Ab e Af). Nas visadas extremas (p.ex., câmeras Da e Df), em função do aumento da trajetória óptica da radiação detectada pelo sensor, os fortes efeitos do espalhamento atmosférico sobre a banda do vermelho e da absorção atmosférica sobre a banda do infravermelho próximo, produzem uma diminuição substancial dos valores de NDVI das florestas. A magnitude destes efeitos para as florestas foi maior na direção da câmara Da. O impacto destes efeitos sobre os valores de NDVI do solo foram menores do que os observados para os dois tipos de floresta.

Na **Figura 7b**, os perfis angulares dos dois tipos de floresta apresentaram um valor máximo de NDVI para a câmera Aa, que diminuiu principalmente na direção do espalhamento frontal. Apesar da diferença entre os dois perfis das florestas Db e As ser mínima, é perceptível o fato de que para todas as câmeras, exceto as câmeras An e Aa, o valor de NDVI para a floresta Db é maior que o da floresta As. O solo, por outro lado, apresentou um valor mínimo de NDVI para a câmera Af, que aumentou na direção do espalhamento frontal.

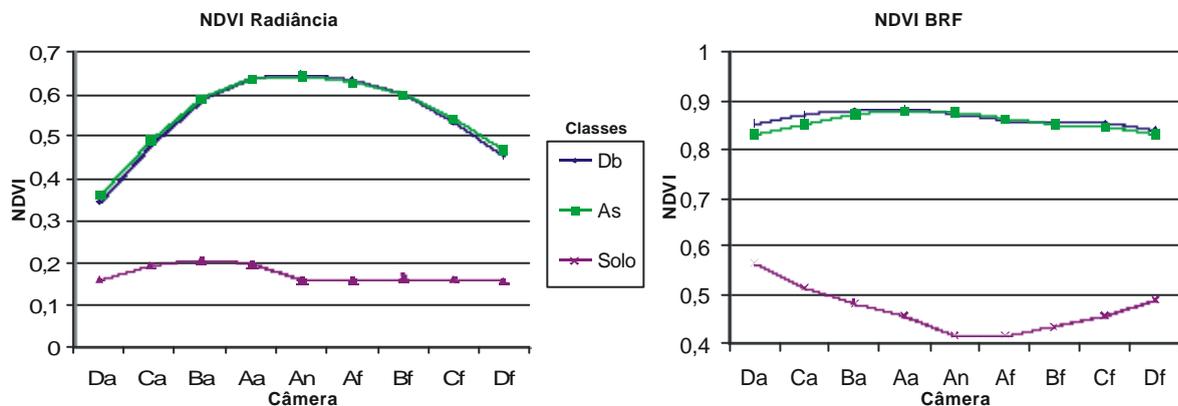


Figura 7 – Perfis angulares dos valores de NDVI das classes de cobertura Floresta Ombrófila Densa Terras Baixas (Db), Floresta Ombrófila Aberta Submontana (As) e solo exposto, calculados a partir da radiância de topo da atmosfera (a) e do fator de reflectância bidirecional (BRF) (b).

5. Conclusão

Os resultados preliminares desta investigação mostraram que os dois tipos de floresta ombrófila apresentaram variação angular diferente. A Floresta Ombrófila Aberta mostrou uma maior variação nos valores de BRF do que a Floresta Ombrófila Densa. A diferença foi maior no sentido do retroespalhamento para todas as bandas, exceto a do azul. Os efeitos de espalhamento e absorção atmosférica sobre as bandas do vermelho e do infravermelho próximo, respectivamente, produziram diferenças de 0,30 nos valores de NDVI da vegetação obtidos a partir de dados de radiância de topo da atmosfera, entre as câmaras An (nadir) e Da (70° para trás). Por sua vez, os valores de NDVI obtidos de dados BRF produziram uma maior

separabilidade dos dois tipos de florestas da câmera An para a câmera Da, embora tal diferença seja pequena e da ordem de 0,02. Maiores variações nos valores de NDVI obtidos de dados BRF foram observados para o solo nas diferentes câmeras MISR.

Os passos seguintes desta investigação envolverão a extração de perfis angulares para outras classes de cobertura, especialmente as de floresta secundária e de pastagens, para uma melhor compreensão dos fatores responsáveis pela variabilidade espectral dos dados em função do ângulo de visada.

Referências

- Diner, D. J.; Beckert, J. C.; Reilly, T. H.; Bruegge, C. J.; Conel, J. E.; Kahn, R. A.; Martonchik, J. V.; Ackerman, T. P.; Davies, R.; Gerstl, S. A. W.; Gordon, H. R.; Muller, J. P.; Myneni, R. B.; Sellers, P. J.; Pinty, B.; Verstraete, M. M. **Multi-angle Imaging Spectroradiometer (MISR) Instrument Description and Experiment Overview**. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, Vol. 36, n° 4, p. 1072-1086. Jul. 1998.
- Sestini, M. F., Alvala, R. C. S., Mello, E. M. K., Valeriano, D. M., Reimer, E. S., Chan, C. S., Nobre, C. A. **Integração e Atualização de Dados de Uso/Cobertura do Terreno da Amazônia Legal para Utilização em Modelos de Superfície (SSiB)**. São José dos Campos: INPE, 2002. 8 p. (INPE-8972-RPQ/730)
- Green, A. A., Berman, M., Switzer, P., e Craig, M. D. **A Transformation for ordering multispectral data in terms of image quality with implications for noise removal**. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, v. 26, n. 1, p. 65-74, 1988.