

Taxa de correlação entre diferentes polarizações das bandas L e X de imagens SAR adquiridas pelo R99-B do SIPAM visando mapeamento de corte seletivo

Gonzalo Álvaro Vázquez Fernandez¹

¹ Agência Nacional de Águas
(À época da redação Centro Gestor do Sistema de Proteção da Amazônia)
Setor Policial Sul, Área 5, Setor 3, Bloco K, Brasília- DF, Brasil
gonzalo.fernandez@ana.gov.br

Abstract. This paper discusses the use of Synthetic Aperture Radar on board of R-99B aircraft as to the possibility of its use to map selective logging. The discussion is focused on general radar imagery characteristics and the correlation coefficient between different polarization of band L and on polarization of band X. The results show that band X enriches a set of images with information not carried in the bulk of the four polarizations of band L. This is that efforts shall be taken in order to improve the acquisition of data in band X, in spite of its operational problems. It is also shown that the use of three bands, either LHH, LVH and X or LHH, LVH and LVV is enough, being that the distribution of four or five bands is unnecessary and uneconomic in terms of storage usage, communication rates and processing efforts.

Palavras-chave: SAR, SIPAM, polarimetry, band correlation, selective logging, SAR, SIPAM, polarimetria, correlação entre bandas, corte seletivo.

1. Introdução

As técnicas de mapeamento de corte raso de florestas ombrófilas estão consagradas na literatura e na prática. A título de exemplo, o Prodes usa técnicas consagradas de fracionamento de imagens (Shimambukuro e Smith, 1991) para mapear corte raso (Câmara et alli, 2006). Este programa é o maior esforço de mapeamento sistemático do desmatamento em uma região contígua de que se tem notícia, tanto na extensão quanto na sua perenidade. Contudo, a longo das oito edições do Prodes, o cenário legal, econômico e técnico mudou e taxas anuais não mais atendem em plenitude as demandas por informações necessárias ao controle do desmatamento.

Sob o ponto de vista legal, a mais recente mudança diz respeito à Lei 11.284, de 2 de março de 2006. Sob o ponto de vista econômico, há um favorecimento geral para o fornecimento de madeiras certificadas (ver, por exemplo, Freris e Laschefski, 2003). A certificação exige, entre outras coisas, práticas de corte seletivo. Como o corte seletivo pode trazer danos irreversíveis ao ecossistema (Asner et alli, 2002), a identificação de práticas maquiadoras de manejo sustentável têm de ser identificadas o mais pronto possível.

2. Objetivos

O objetivo deste trabalho é discutir alguns aspectos teóricos do uso de imagens de Radar de Abertura Sintética do SIPAM no modo polarimétrico para mapeamento de corte seletivo. Essa discussão se baseia em conceitos relacionados ao imageamento por Radar, ao mapeamento de corte seletivo e à correlação matemática entre as diferentes polarizações e bandas de uma imagem SAR aerotransportado.

3. Mapeamento de corte seletivo

As técnicas de mapeamento de corte seletivo são baseadas em imagens óticas. Souza Jr. et alli. (2005) estudaram o uso de um índice baseado em imagens fração, o NDFI (Normalized Difference Fraction Index) para mapeamento de áreas de corte seletivo. Contudo, este índice é baseado em dados do ETM+ e TM, cujo uso é limitado pelos seguintes fatores: Cobertura sazonal de nuvens nas áreas de interesse; Cobertura temporal limitada a uma frequência pré-determinada; Degradação e eventual descontinuidade do Landsat. Por outro lado, os dados CCD do CBERS não tem a riqueza de informações da série Landsat necessários para gerar o NDFI, devido à alta correlação entre bandas do visível e aspectos radiométricos de baixo controle (Valeriano, 2006). Alguns autores derivaram as imagens fração a partir de dados IR-MSS do CBERS (Diverio et al., 2003). Este sensor está atualmente desativado (Epiphanyo, 2006).

Uma alternativa é o uso de dados SAR. Contudo, o uso operacional destes dados ainda carece de melhor compreensão por parte da comunidade de sensoriamento remoto nacional. Poucos trabalhos usam dados de SAR aerotransportado (ver por exemplo, Máximo e Fernandes, 2005). Dados de JERS-1, ou SIR-C são de amplo estudo. O uso de dados orbitais é mais difundido (dados mais bem discutidos) e exige menos correções radiométricas e geométricas que os dados aerotransportados, pois em um sensor aerotransportado a diferença de ângulo de incidência entre o *near range* (NR) e o *far range* (FR) é maior que em dados orbitais.

Outro aspecto a ser considerado – e este mais importante - é que, de forma geral, os trabalhos que tratam do mapeamento do desmatamento consideram o corte raso apenas. Nesses casos os dados SAR têm resposta inquestionável na detecção dos alvos. Alguns trabalhos tratam do corte seletivo (ver Dobson et alli, 201, por exemplo), mas novamente com base em dados orbitais, neste caso JERS-s. Ainda, em uma aproximação à sensibilidade exigida por este tipo de mapeamento, Araújo et alli, (2001) fazem uso da polarimetria cruzada e bandas múltiplas para mapeamento de fases de transição entre Cerrado-Floresta. Estes autores usam a banda L-HV em razão com a banda C-HV para esse mapeamento. Esta situação não está presente nos dados SAR aerotransportado no R99-B. Santos (2006) parece ser, além dos esforços internos, um dos poucos, senão único, trabalhos no Brasil no momento a avaliar os dados SAR-Sipam para corte seletivo.

4. Descrição sumária do radar do Sipam

O Sistema de Proteção da Amazônia possui um Radar de Abertura Sintética aerotransportado na aeronave R-99B. Segundo Andrade e Santa Rosa (2005), este sensor, para fins de imageamento, trabalha nas bandas L e X, com resoluções que variam de 3 a 18m. Adquire dados em altitudes que variam entre 30.000 pés e 37.000 pés. Os ângulos de incidência variam, em uma mesma faixa de imageamento, entre 36,3° e 83,5°. A banda X é monopolarimétrica (HH) e a banda L adquire dados em quatro padrões de polarimetria (HH, VV, HV e VH).

A banda X sofre forte interferência de pacotes de chuva e nuvens mais densas (Censipam, 2006, entre outros). Esta banda ainda é afetada por outros problemas, como multicaminhamento, duplicação de feições e arraste. Por essa razão há poucas séries completas de imagens com dados na banda X. Esses problemas não são tão presentes na banda L e todas as missões até agora imageadas pelo Sipam têm dados consistentes na banda L, seja em duas ou quatro polarizações. Conseqüentemente, no momento o uso regular do SAR-Sipam pode ser realizado apenas com base na variação polarimétrica e de resolução espacial da banda L.

5. Aspectos do padrão espacial do corte seletivo para interpretação de imagens SAR

O corte seletivo se caracteriza por diminuição da biomassa e alteração das relações geométricas dentro do dossel. A diminuição da biomassa no dossel pode ser direta ou indireta. A diminuição direta se dá por extração do material explorado e a indireta por mudança de posição nos estratos verticais de porções de material vegetal que cai devido à derrubada das árvores maiores. Em uma imagem ótica as formas de alteração do volume de biomassa do dossel podem expor e esconder frações de outros elementos componentes da radiação final de um pixel. É nessa alteração das relações entre as frações que se baseia o método do NDFI desenvolvido por Sousa et alli (2005).

Nas imagens SAR o nível de cinza de um píxel está relacionado com aspectos estruturais do alvo, com suas constantes dielétricas, com a frequência da onda e com a geometria de imageamento (Paradella e Bignelli, 1996; Palme et alli, 1996). A estrutura física de um dossel florestal é composta de diversos elementos vegetais: o tronco, as folhas, os galhos, lianas, frutos e outros componentes da biomassa vegetal, seja seca ou úmida. É com esse emaranhado de material vegetal que uma onda na banda L interage ao imagear um dossel de floresta tropical ombrófila. Estes fatores são também alterados pela variação na constante dielétrica do alvo, função direta do teor de umidade. Essa massa altera, principalmente, a forma e a intensidade (atenuação da onda) como a onda é devolvida ao meio, gerando padrões mais ou menos rugosos.

A onda é tanto mais penetrante no dossel quanto maior seu comprimento. Contudo, esta não é uma relação linear ou univariada. Ao interagir com o dossel, a onda sofre atenuação no seu retroespalhamento. Para uma mesma onda, a intensidade da atenuação depende da densidade do dossel e do ângulo de incidência da radiação eletromagnética (Paradella e Bignelli, 1996). A densidade de dossel é a medida que o intérprete deseja obter, quando busca identificar padrões de corte seletivo.

O SAR aerotransportado no R-99B, como citado anteriormente, tem grande variação entre ângulo de incidência *NR* e *FR*. A título de comparação, enquanto no R-99B a diferença entre ângulo de incidência máxima e mínima é de aproximadamente 48° (Andrade e Santa Rosa, 2005), na banda L do ERS/JERS1 é de 6° (JPL, 1992). Essa característica dificulta o estabelecimento de padrões de interpretação e de medidas estatísticas que definam classes para uso de classificadores. Um mesmo alvo pode apresentar padrões bem diferentes no *NR* e no *FR*, tanto em termos de posicionamento como em termos de variabilidade. A média de um alvo em dois extremos da imagem pode ser diferente por causa de intensidade de atenuação. Sua variância pode ser diferente por haver menos “oportunidade” de variação em um conjunto de dados adquiridos com menor intensidade que em um conjunto adquirido com maior intensidade média.

Uma discussão final falta na questão da polarimetria e da banda usada. Nepomuceno (2003) concluiu que o uso de imagens co-polarizadas e de polarização cruzada ajuda na melhora dos resultados de uma classificação e que a banda P só é viável para classes amplamente definidas. Freitas et alli, (2001) citam Ulaby e Elachi (1991), os quais afirmam que em satélites monoantenados, a banda VH pode ser considerada igual à HV, diminuindo o conjunto de dados de 4 para 3 bandas, indicando haver correlação intensa entre essas duas polarizações. Já citados anteriormente, Araújo et alli. (2001) usam razão entre bandas em detrimento de estudos polarimétricos.

Ao avaliar o material em mãos, com essa riqueza de características, optou-se, inicialmente, por processos de interpretação visual de imagens SAR e exploração dos aspectos polarimétricos da banda L e da banda X. O conjunto peculiar de aspectos dos dados de microondas acima descritos depõem a favor de seu uso, vista a riqueza de informações e o leque de possibilidades em pauta, tanto na pesquisa como na obtenção direta de informações.

Contudo, a disponibilidade de frequências diferentes limita o uso dos dados à exploração da polarimetria.

Neste trabalho optou-se pela descrição da relação entre a informação contida nas diversas polarizações e bandas, através da análise da correlação entre polarizações e bandas L e X.

6. Material de métodos

Foram selecionadas seis imagens SAR de uma única missão. Em março de 2006 o R-99B sobrevoou a região da chamada Terra do Meio, sudoeste do Estado do Pará. Foram gerados em torno de 100 segmentos de aproximadamente 20 km de largura cada um. Adquiriram-se dados para as bandas L e X, mas após o processamento das imagens, poucas preservaram a banda X.

Foram selecionadas cinco segmentos desse conjunto: duas com apenas bandas L em quatro polarizações e uma com as quatro polarizações L e a banda X, daqui em diante, por simplificação, todas chamadas bandas simplesmente. Para cada uma foi determinada uma matriz de correlação (MC) entre as bandas. Para uma das imagens foi determinada a MC para a cena inteira e para um quadrado da cena. As cenas inteira tinham aproximadamente 3500 colunas e 11000 linhas. As cenas seccionadas eram quadrados de 3500 linhas por 3500 píxeis, aproximadamente.

Os cálculos foram feitos usando o ENVI 4.2, no módulo de Principais Componentes. Nesse módulo geram-se uma matriz de estatística descritiva, uma matriz de covariância, uma matriz de correlação e uma de autovalores. Apenas a MC foi usada. A partir dessa matriz foram geradas as matrizes de correlação média, correlação máxima e correlação mínima para cada par de bandas.

7. Resultados e discussão

As **Tabela 1**, **Tabela 2** e **Tabela 3** apresentam os valores médios, mínimo e máximo das correlações par-a-par das cinco (ou quatro) bandas dos segmentos usados. Em primeiro lugar, fica claro que as bandas são extremamente correlacionadas entre si. Contudo, dois grupos podem ser caracterizados nesta análise simplista: as multipolarizações e a banda X monopolarizadas.

As multipolarizações da banda L apresentam em geral correlação maiores que 90%, apesar de valores mínimos de 85%. As bandas 2 e 3, correspondentes às L-VH e L-HV são correlacionadas quase à unidade, corroborando a observação de Freitas et alii (1998). O valor mínimo que se observa do r^2 é de 0,98 e a média de 0,99. Uma dessas bandas pode ser eliminada sem prejuízo algum do conteúdo informacional. Isso se torna muito interessante quando da distribuição de dados na internete.

A banda X se destaca das multipolarizações. Seus coeficientes de determinação estão consistentemente abaixo de 0,78 em relação a qualquer polarização. Uma composição falsa cor ou classificação automática tem que levar em conta esta banda. Pode-se argumentar que essa correlação menor pode ser resultado da presença de nuvens não registradas na banda L. Mas observações visuais eliminaram essa possibilidade. Só preservaram a banda X as imagens que não tivessem problemas significativos como os relatados anteriormente.

A elevada correlação entre bandas mostra que as imagens podem se restringir a três bandas: L-HH, uma polarização cruzada e banda X. Essa composição serve para composições coloridas ou classificação digital dos dados.

Tabela 1 – matriz de correlação média

	Banda 1	Banda 2	Banda 3	Banda 4	Banda 5
Banda 1	1.00	0.90	0.90	0.90	0.79
Banda 2	0.90	1.00	0.99	0.91	0.77
Banda 3	0.90	0.99	1.00	0.90	0.77
Banda 4	0.90	0.91	0.90	1.00	0.78
Banda 5	0.79	0.77	0.77	0.78	1.00

Tabela 2 – matriz de correlação máxima

	Banda 1	Banda 2	Banda 3	Banda 4	Banda 5
Banda 1	1.00	0.91	0.92	0.92	0.81
Banda 2	0.91	1.00	1.00	0.93	0.79
Banda 3	0.92	1.00	1.00	0.93	0.79
Banda 4	0.92	0.93	0.93	1.00	0.79
Banda 5	0.81	0.79	0.79	0.79	1.00

Tabela 3 – Matriz de correlação mínima

	Banda 1	Banda 2	Banda 3	Banda 4	Banda 5
Banda 1	1.00	0.85	0.85	0.86	0.77
Banda 2	0.85	1.00	0.98	0.86	0.75
Banda 3	0.85	0.98	1.00	0.86	0.74
Banda 4	0.86	0.86	0.86	1.00	0.77
Banda 5	0.77	0.75	0.74	0.77	1.00

8. Conclusões

Frente às demandas de classificação de corte seletivo, na prática, diminuições sutís de dossel, os dados polarimétricos puros são pouco informativos. A redundância de dados é elevada e a composição de imagens multipolarizadas da banda L deste sensor não traz informação suficiente para mapear corte seletivo.

A distribuição de imagens pela internet e o processamento digital podem ser otimizados pelo uso de três bandas apenas. Existindo a banda X, distribuem-se a LHH, LVH e a X. Na ausência desta última, usam-se a LHH, LVH e a LVV.

A banda X se destaca pela correlação baixa em relação às polarizações. Apesar dos problemas técnicos apresentados por essa banda, sua presença enriquece sobremaneira os dados SAR do R-99B. Esforços devem ser feitos para melhorar a qualidade das imagens na banda X, seja do ponto de vista de procedimentos de aquisição e processamento como do ponto de vista operacional.

9. Agradecimentos

O autor agradece o Centro Gestor do Sistema de Proteção da Amazônia pela disponibilização de material e software e pelo tempo disponibilizado para a realização deste trabalho.

Referências

Andrade, N. S de O.; Santa Rosa, A. N. O novo sistema SAR multipolarimétrico aerotransportado brasileiro. In: **1ª Reunião de Coordenação das Atividades de Planejamento, Execução e Produção de Imagens de Missões de Sensoriamento Remoto realizadas pelas aeronaves R-99B e R-95**. Censipam: Brasília, DF. 2005. Apostila.

- Araújo, L. S. et alli. Razão entre bandas do SIR-C/ X SAR para estimativa de biomassa em áreas de contato floresta e cerrado. **Anais**. X Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Foz do Iguaçu, Paraná, 21-26 de abril 2001. São José dos Campos: INPE, 2001. Disponível em: <<http://marte.dpi.inpe.br/col/dpi.inpe.br/lise/2001/09.24.09.00/doc/1513.1520.098.pdf>>
- Asner, G. P. et alli. Remote sensing of selective logging in Amazonia: assessing limitations based on detailed field observations, Landsat ETM+, and textural analysis. **Remote Sensing of Environment**. V. 80, p. 483-496, 2002.
- Câmara, G.; Valeriano, D. de M.; Soares, J.V. Metodologia para o Cálculo da Taxa Anual de Desmatamento na Amazônia Legal. São José dos Campos: INPE, 2006. Disponível em: <<http://www.obt.inpe.br/prodes/metodologia.pdf>>. Acesso em 14 nov. 2006.
- Centro Gestor do Sistema de Proteção da Amazônia. **Missão ALAP – BR319**: Nota técnica 001/2006 – Dimag. SIPAM: Manaus, 2006.
- Diverio, V. T.; Formaggio, A. R.; Shimabukuro, Y. E. Identificação de áreas desflorestadas na Amazônia através de uma rede neural artificial utilizando imagens fração derivadas dos dados do IR-MSS/CBERS. **Anais**. XI SBSR, Belo Horizonte, Brasil, 05 - 10 abril 2003, INPE, 2003.
- Dobson, C. M. et alli. Detection of selective logging and regrowth by SAR and Landsat. **Anais**. X Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Foz do Iguaçu, Paraná, 21-26 de abril 2001. São José dos Campos: INPE, 2001. Disponível em: <<http://marte.dpi.inpe.br/col/dpi.inpe.br/lise/2001/09.24.09.00/doc/1583.330.pdf>>
- Epiphany, J. C. N. **CBERS: Estado Atual e Futuro**. Palestra apresentada no Encontro de Usuários de Sensoriamento Remotos das Forças Armadas, São José dos Campos, 3 a 6 de outubro de 2006. São José dos Campos: SERFA, 2006.
- Freitas, C. C. et alli. **A System For Multilook Polarimetric Sar Image Statistical Classification**. Anais. IX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Brasil, 11-18 de setembro 1998. São José dos Campos: INPE, 1998. Disponível em: <http://marte.dpi.inpe.br/col/sid.inpe.br/deise/1999/02.11.14.23/doc/10_224o.pdf>
- Freris N.; Laschewski K. **A fachada verde da exploração madeireira**. Ministério do Meio Ambiente. <<http://www.mma.gov.br>>. Acesso em 20 de dezembro de 2003.
- Jet Propulsion Laboratory. **Alaska SAR Facility (ASF): System Interface Specification**. Jet Propulsion Laboratory Document D-5267 Revision A, Jet Propulsion Laboratory, Pasadena, California, May 1992.
- Palme et alli. **Sensoriamento remoto por radares**. (Apostila de curso). VIII Simposio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Salvador, abril de 1996. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1996.
- Paradella, W. R.; Bignelli, P. **Radar em Geociências: princípios e aplicações**. (Apostila de curso). E prel. Curso Radar e a Interpretação Digital com dados auxiliares aplicada à Geologia. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais, Rio de Janeiro, 1996.
- Santos, J.R. Evaluation of SAR/SIPAM data for characterization for deforestation and selective logging activities in the tropical forest. **Palestra**. VII Seminário de Atualização em Sensoriamento Remoto e Sistemas de Informações Geográficas Aplicados à Engenharia Florestal, 17 a 19 de outubro de 2006, Curitiba, PR. 2006.
- Shimabukuro, Y. E.; Smith, J. A. The least-squares mixing models do generate fraction images derived from remote sensing multispectral data. *IEEE Transactions on geoscience and remote sensing*, v. 29, n. 1, p.16-20, 1991.
- Souza Junior, C. M.; Roberts, D. A.; Cochrane, M.A. Combining spectral and spatial information to map canopy damage from selective logging and forest fires. **Remote Sensing of Environment**. V. 98, p. 329-343, 2005.
- Ulaby, F. T.; Elachi, C. **Radar polarimetric for geoscience applications**. Norwood, Artech House, 1990. 364p.
- Valeriano, D. de M. Metodologia para monitoramento do corte seletivo em florestas públicas. MMA: Brasília. **Workshop de avaliação de metodologia para o DETEX**. Censipam, Brasília, setembro de 2006.