

## Delimitação e Caracterização do Ambiente de Vereda: I. O potencial das imagens RADARSAT-1

Thiago Alencar-Silva

Philippe Maillard

Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG,  
Av. Antônio Carlos, 6627, Belo Horizonte - MG 31270-901  
thiago-alencar@uol.com.br, philippe@cart.igc.ufmg.br

**Abstract.** Palm swamps represent an important and fragile ecosystem that develop under very specific conditions, always associated with a river system and a mostly flat topography. Palm swamps are in fact vegetation complexes composed of a succession of vegetation forms that range from gramineous to sclerophyllous. Being very sensitive to humidity, synthetic aperture radar data from RADARSAT offers good potential for delineating veredas, however it does not make possible the distinction of the various physiognomies. In this article, a methodology is described using radar imagery for the delineation of veredas. The methodology seeks a simplified approach that uses a buffer zone based on the hydrographic network and that does not require training data. Results show that although the automatic segmentation of RADARSAT data yielded relatively poor results with only 50%-62% of overall success, it is reliable enough for delineating large and very humid palm swamps.

**Palavras-chaves:** palm swamp, segmentation, buffer zone, RADARSAT, veredas, segmentação, zona tampão.

### 1. Introdução

A vereda é um importante ecossistema ribeirinho do bioma cerrado (Eiten, 1994). Localizadas principalmente no Brasil central, nas formações areníticas do Chapadão das Gerais. Este ecossistema reveste-se de grande importância para a população local, devido a disponibilidade perene de água em uma região de grande carência deste recurso (Boaventura, 1988). Ele possui também um papel fundamental para a biodiversidade, sendo área de localização específica de diversas espécies da flora e da fauna do cerrado (Biodiversitas, 2005). As veredas desempenham a função de verdadeiros corredores ecológicos, interligando os fragmentos do cerrado, permitindo assim o fluxo de matéria e genes (Castro, 1980). Deve-se ressaltar que uma vereda tem um papel desproporcional à área que ocupa: devastar uma vereda de alguns  $km^2$  pode equivaler a destruição do equilíbrio de centenas de  $km^2$  de cerrado.

O ano de 2006 marcou o quinquagésimo aniversário de publicação do livro “Grande Sertão: Veredas” de Guimarães Rosa (1956). Esta comemoração cultural incentivou o Instituto Estadual de Florestas (IEF) e a Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável (Semad), ambos de Minas Gerais, a realizarem em Pirapora (4 a 5 de outubro) um seminário chamado “Veredas: oásis do sertão. Até quando?”. Sua finalidade foi de sensibilizar a população do Cerrado e, especialmente os produtores rurais, para a importância da preservação das veredas. Destacou-se deste encontro que 1) as veredas de MG estão seriamente ameaçadas, 2) com elas, é também ameaçado um modo de vida de toda uma população rural e 3) muito pouco se sabe sobre a extensão e o estado atual de conservação das veredas.

Existe uma rica literatura de sensoriamento remoto aplicado às terras úmidas mas relativamente poucas pesquisas concentraram-se no estudo das veredas. Produtos óticos são largamente

utilizados na identificação de classes de vegetação através de métodos de classificação, mas foi apenas nos últimos anos que as resoluções espaciais das imagens orbitais permitiram a cartografia de formações de relativa pequena extensão ou muito estreitas como muitas formações ribeirinhas. Contudo a distinção entre as veredas e outras formações ribeirinhas continua uma tarefa árdua. Portanto, faz-se necessário desenvolver um método simples para a detecção e a delimitação das veredas que não necessite de áreas de treinamento ou de dados de campo.

Imagens de radares de abertura sintética (SAR) como o RADARSAT-1, por serem muito sensível ao conteúdo em água, oferecem um reconhecido potencial para aplicações em terras úmidas (Townsend, 2002). Métodos tradicionais de classificação (como o de máxima verossimilhança), são de utilidade limitada em produtos de radar sendo necessário um outro tipo de processamento. Isto se deve principalmente pelo fato de que, geralmente, uma única banda é adquirida (exceto em cenas de multi-polarização) e devido ao ruído “speckle”. Com os campos aleatórios de Markov (CAM), resultados promissores em segmentação e restauração de imagens foram obtidos em várias áreas de estudo (Tso e Mather, 2001) incluindo a classificação da cobertura/uso do solo e a classificação de imagens de textura. Em específico Deng e Clausi (2005) desenvolveram um segmentador a partir da adaptação dos CAM que teve grande êxito na segmentação de gelo de mar em imagens SAR (Maillard *et al.*, 2005). Este mesmo algoritmo foi escolhido para a aplicação na segmentação do ambiente de vereda em relação ao seu entorno.

## **2. Objetivos e Organização do Artigo**

O objetivo deste artigo consiste em apresentar e avaliar uma abordagem metodológica simples para a identificação do ambiente de vereda em relação ao seu entorno. O método utiliza uma imagem RADARSAT-1, o conhecimento do comportamento espacial das veredas e um algoritmo de segmentação baseado na teoria dos CAM para delimitar as veredas de forma semi-automática.

O artigo está estruturado de forma a introduzir uma breve fundamentação teórica, seguida pela descrição da área de estudo. Posteriormente a metodologia é apresentada, considerando-se as três etapas de pré-processamento, trabalho de campo e segmentação das imagens. Na seqüência os resultados foram organizados e avaliados em forma de gráficos e de tabelas. Finaliza-se o artigo ressaltando-se suas principais conclusões.

## **3. Sensores Radar em Ambientes Úmidos**

Tratando-se de ambientes florestais úmidos, o inventário das veredas é dificultado pela presença de um dossel muitas vezes fechado (Johansen e Phinn, 2006). Sensores óticos não possibilitam informações sobre os estratos inferiores da vegetação, exceto em condições nas quais eles encontram-se relativamente abertos e com pouca cobertura de nuvens. No entanto, sabe-se que o retorno do sinal radar é influenciado pelas propriedades físicas dos alvos (constante dielétrica, rugosidade da superfície e topografia), pelos parâmetros do SAR (banda e polarização) e pelo ângulo de incidência entre o instrumento e o alvo. Uma vantagem do radar sobre os sensores óticos, quando aplicado às terras úmidas, está na sua capacidade, dependendo da banda espectral escolhida, de penetrar (até um certo ponto) no dossel da vegetação. Tal fenômeno é produzido devido ao comprimento de onda do radar, muito maior do que o da faixa do visível e infravermelho. Assim é possível extrair informações sobre galhos, troncos e até da superfície do solo, como no caso de coberturas vegetais inundadas, além de distinguir os alvos pela diferença

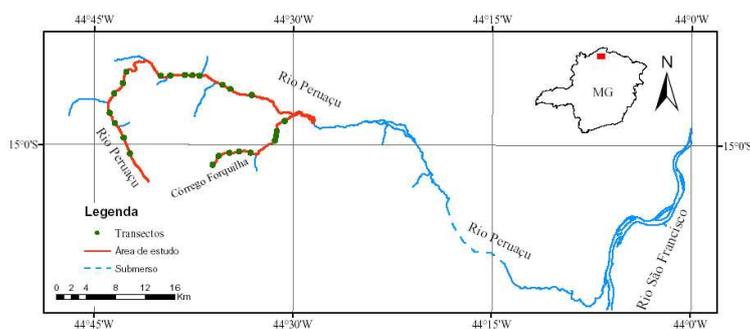
na constante dielétrica, que em casos de ambientes úmidos está relacionada com a disponibilidade hídrica do solo (Kasischke *et al.*, 1997).

Um estudo realizado no delta do Peace-Athabasca - Canadá, Adam *et al.* (1998) demonstrou evidências da eficiente utilização de dados de banda C com a polarização HH para delimitar áreas de fluxo hídrico mesmo sob o dossel florestal. Um outro estudo conduzido por Parmuchi *et al.* (2002) também indicou que as imagens RADARSAT-1 possuem um excelente potencial para a delimitação de terras úmidas, nas ilhas do delta do rio Paraná, na Argentina.

#### 4. Área de Estudo

A área de estudo está situada no Parque Estadual Veredas do Peruaçu e seu entorno ao longo do curso do rio Peruaçu, afluente da margem esquerda do rio São Francisco, na região norte de Minas Gerais em uma área denominada *Chapadão das Gerais* (**Figura 1**). A área foi escolhida por ser uma das poucas bem preservadas no contexto do cerrado brasileiro, abarcando condições ideais para a pesquisa (ser uma área protegida por lei) e possuir grandes áreas contínuas de veredas. A geologia da região é composta por camadas de arenitos (bastantes alterados) sobre carbonatos do Proterozóico superior, criando a condição ideal de permeabilidade (camada permeável sobre camada impermeável), para o desenvolvimento das veredas.

A topografia é bastante plana (tabular) e a diferença de elevação entre o cerrado e a vereda é quase imperceptível. O clima é considerado semiárido, com temperaturas médias superiores a 25°C, com duas estações bem definidas: um período de excedente hídrico (úmido) e outro de déficit (seco). As precipitações médias variam de 124mm de chuva por mês, entre outubro e abril e de menos de 2mm entre setembro e maio para um total entre 800 e 900mm por ano (Nimer e Brandão, 1989). Tais condições climáticas correspondem bem às condições de desenvolvimento do ambiente de veredas.



**Figura 1.** Localização da área de estudo. Os pontos verdes indicam os 24 transectos efetuados.

Na região de estudo, a variação do cerrado está associada à disponibilidade hídrica dos solos, um dos fatores determinantes para a presença de vereda. De forma resumida, quanto mais próximos dos leitos dos rios, mais água estará disponível no solo, devido a proximidade do lençol freático, gerando como consequência um maior desenvolvimento da vegetação do cerrado. As veredas são caracterizadas por diferentes estratos variando entre campos gramíneos e estratos arbóreos onde se destaca a palmeira arbórea Buriti (*Mauritia vinifera*) (**Figura 2**).



**Figura 2.** Fotografias ilustrando os diversos estratos das veredas (a) vista aérea (b) vista de baixa altitude (note as palmeiras Buritis em destaque).

## 5. Materiais e Métodos

### 5.1. Aquisição de imagem e pré-processamento

Quatro imagens RADARSAT-1 foram adquiridas para esta pesquisa, provenientes do convênio com o programa “*Data for Research Use - DRU*”, desenvolvido pela agência espacial canadense (CSA). O RADARSAT-1 é um SAR (*Synthetic Aperture Radar*) orbital que opera na banda C com uma frequência de 5.3 GHz (comprimento de onda de  $\lambda = 5.6\text{cm}$ ). Seu sensor é co-polarizado horizontalmente (HH) com uma variação no ângulo de incidência entre  $10^\circ$  e  $60^\circ$ , e pode produzir imagens com resolução espacial entre 8 e 100m. As imagens foram adquiridas no modo “*standard beam*” para dois períodos distintos de 2004, os quais correspondem às duas estações climáticas: abril - ou o fim da estação úmida, quando os solos estão saturados; e setembro - ou o fim da estação seca, quando o balanço hídrico está no seu déficit máximo. Para cada período, duas imagens de diferentes ângulos de incidência foram obtidas: S2 ( $24^\circ$  a  $31^\circ$ ) e S6 ( $41^\circ$  a  $46^\circ$ ). As imagens possuem resolução espacial de 12.5m e radiométrica de 16 bits.

Imagens SAR com estes parâmetros foram solicitadas na intenção de se determinar o melhor período/ângulo de incidência para caracterizar a estrutura da vegetação de cerrado, incluindo as veredas. As imagens foram corrigidas geometricamente, através do registro imagem-imagem, utilizando-se uma imagem pancromática Landsat-7 de 2001, com resolução espacial de 15m. Como o segmentador baseado nos campos de Markov tem a capacidade de funcionar bem com dados possuindo muito ruído, não se tentou reduzir o ruído “speckle” através de filtros. Da mesma forma, por ser essencialmente uma pesquisa empírica e indutiva, os dados radar não tiveram correção de ângulo de incidência ( $\sigma_0$ ) e nem foram transformados em decibels (*db*).

### 5.2. Campanha de Campo

Duas campanhas de campo foram realizadas, a primeira ocorrida em setembro de 2005 e a segunda em julho de 2006. Utilizando-se um receptor GPS, 24 transectos (ver **Figura 1**) foram medidos e caracterizados partindo-se da região de cerrado, atravessando as veredas do rio Peruaçu, e alguns de seus tributários, e terminando novamente no cerrado na outra margem. Para cada transecto, todos os diferentes estratos de vegetação foram descritos e suas extensões ao longo dos transectos mensuradas.

Os transectos foram digitalizados em gabinete, em software do tipo CAD, e para cada fisionomia de vereda foi atribuído um determinado código (cor). Para esta parte da pesquisa, os

transectos possuíam a finalidade de serem sobrepostos às imagens de radar segmentadas para verificar o sucesso obtido pelo segmentador proposto (validação).

### 5.3. Processamento das imagens radar

A segmentação foi realizada utilizando-se o algoritmo MAMSEG (Modified Adaptive Markov random fields SEGmentation), desenvolvido por Deng e Clausi (2005) e baseado na teoria dos Campos Aleatórios de Markov (CAM). A vantagem do modelo CAM reside na sua capacidade inerente em descrever simultaneamente o contexto espacial local (a interação espacial local entre os pixels vizinhos) e a distribuição global de cada segmento (a partir de parâmetros de distribuição dos valores espectrais por exemplo). Tal característica é apropriada desde que os pixels vizinhos não sejam estatisticamente independentes mais espacialmente correlacionados.

O CAM assume que a probabilidade condicional de um pixel estar para seu vizinho é igual a probabilidade condicional deste pixel estar para o restante da imagem. Isto faz com que cada pixel seja considerado dentro do seu contexto local de vizinhança como um processo independente, tornando mais fácil a modelagem matemática (Tso e Mather, 2001). Utilizando o quadro da regra de Bayes, a probabilidade condicional de um pixel pertencer à classe (ou segmento no caso não supervisionado)  $G_i$  é igual a:

$$P(G_i|x) = \frac{p(x|G_i)P(G_i)}{\sum_i [p(x|G_i)P(G_i)]} \quad (1)$$

onde  $p(x|G_i)$  é a distribuição condicional do vetor  $x$  dado a classe/segmento  $G_i$  e  $P(G_i)$  é a probabilidade *a priori* para a classe/segmento  $G_i$ . Suponha-se que a energia associada à probabilidade *a priori* é  $E_r$  e que  $E_f$  representa a energia do contexto espacial  $p(x|G_i)$ , então a formulação geral da energia para  $P(G_i|x)$  é dada por Geman *et al.* (1990):

$$E = E_r + \alpha E_f \quad (2)$$

onde  $E_f$  é a formulação em termo de energia da distribuição *gaussiana* dos  $k$  vetores de feições  $f$ :

$$E_f = \sum_{s,m=Y_s} \left\{ \sum_{k=1}^K \left[ \frac{(f_s^k - \mu_m^k)^2}{2(\sigma_m^k)^2} + \log(\sqrt{2\pi}\sigma_m^k) \right] \right\} \quad (3)$$

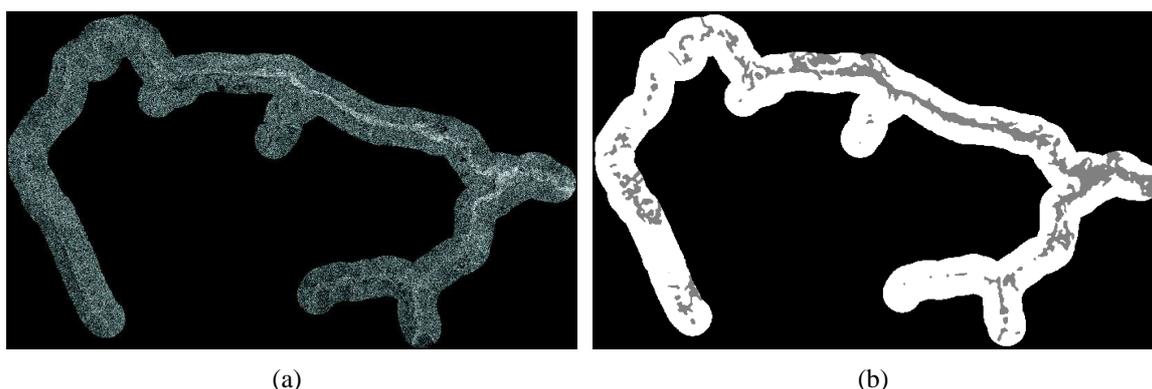
onde  $\mu_m$  e  $\sigma_m$  são respectivamente, a média e o desvio padrão do vetor  $m$ .  $E_r$  representa a energia das etiquetas (classes) na vizinhança do pixel analisado baseado em um sistema de *cliques* (geralmente pares de pixels vizinhos):

$$E_r = \sum_s \left[ \beta \sum_{t \in N_s} \delta(y_s, y_t) \right] \quad (4)$$

onde  $y_s$  e  $y_t$  são a classe<sup>1</sup> do pixel  $s$  e  $t$  (dentro da *clique*), e  $\delta(y_s, y_t) = -1$  se  $y_s = y_t$  e  $\delta(y_s, y_t) = 1$  se  $y_s \neq y_t$ .  $\beta$  é uma constante.

Na equação 2,  $\alpha$  é um parâmetro que determina as proporções das contribuições relativas de  $E_r$  e  $E_f$ 's para  $E$ . A adaptação de Deng e Clausi (2005) faz variar essa relação  $\alpha$  entre os parâmetros espectrais (globais) e espaciais (locais): no início da segmentação o peso é principalmente global e gradualmente diminui para favorecer o parâmetro espacial local.

<sup>1</sup>Na ausência de áreas de treinamento para determinar a classe dos pixels da *clique*, esses são inicialmente determinados aleatoriamente e estabilizam a medida que progredem as iterações.



**Figura 3.** Segmentação da imagem RADARSAT-1 de abril (S2) através do MAMSEG: (a) imagem RADARSAT-1 com a área tampão sobreposta e (b) resultado da segmentação com MAMSEG (as áreas em cinza representam as veredas).

Três parâmetros devem ser especificados para a realização da segmentação: 1) o número de classes, 2) o número de iterações e 3) a máscara limitando a segmentação. A classificação foi binária com as classes “vereda” e “não-vereda” e o número de iterações variou entre 50 e 120, com incrementos de 10. Chegou-se a conclusão de que o resultado tornava-se estável após 70 iterações, portanto todos os resultados apresentados na seção a seguir empregaram 80 iterações. A máscara da área a ser segmentada foi construída a partir da rede hidrográfica disponível em formato vetorial digital (<http://www.ibge.gov.br>). Sabendo-se que a vereda é um ambiente úmido que segue a linha drenagem na região tabular do cerrado, utilizou-se de tal conhecimento espacial para a construção das zonas tampão de 1000m para cada margem da rede hidrográfica, totalizando um polígono de 2000m de extensão transversal. Tal extensão foi escolhida por garantir a totalidade das fisionomias das veredas e porções do cerrado.

## 6. Resultados e Discussão

### 6.1. Segmentação das Imagens de Radar

Os resultados das segmentações podem ser observados na **Tabela 1** e na **Figura 3**. A média geral de sucesso da segmentação, tendo como base as áreas segmentadas como vereda na imagem e os transectos de validação de veredas obtidos em campo varia entre 26% e 50%. A primeira observação que pode ser feita é que excluindo os transectos das nascentes tanto do rio Peruaçu, quanto do córrego Forquilha, ou seja, os 5 primeiros e os 5 últimos transectos na sequência da **Tabela 1**, as médias sobem para 42% a 62%. Esse fator foi observado na segmentação que tem uma grande correspondência com a interpretação visual das imagens de radar. O MAMSEG apresentou um resultado melhor em áreas que possuem um maior contraste visual entre vereda e não-vereda, que corresponde às regiões de alto retorno do sinal radar. Este aumento deve-se ao fato da grande concentração de umidade do solo o que eleva a constante dielétrica do alvo.

Por este motivo, as cenas de abril (período úmido) tendem a manter um padrão homogêneo que segue melhor as veredas, o que não se verifica nas cenas de setembro. O melhor resultado foi obtido na cena de abril S2 (50,23%). Esta cena corresponde ao período úmido com um ângulo de incidência menor, o que possibilita uma melhor penetração do sinal, tanto no dossel

**Tabela 1.** Resultado comparativo entre a segmentação realizada pelo MAMSEG e os transectos obtidos em campo. As porcentagens representam a proporção de cada transecto em correspondência com as segmentações. Nota: as classes “veredas” e “cerrado” foram consideradas.

Transecto	Extensão(m)	AbrS2(%)	AbrS6(%)	SetS2(%)	SetS6(%)	$\bar{x}$ Transecto(%)
T1	232	0.00	0.00	4.32	0.00	1.08
T2	173	0.00	80.43	0.00	0.00	20.11
T3	193	0.00	0.00	89.24	0.00	22.31
T4	107	0.00	100.00	100.00	0.00	50.00
T5	94	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
T6	119	83.76	100.00	98.08	85.67	91.88
T7	123	0.00	59.50	51.20	0.00	27.68
T8	291	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
T9	454	100.00	91.55	85.53	82.52	89.90
T10	218	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
T11	510	54.19	91.07	49.23	41.71	59.05
T12	598	63.22	30.55	71.81	56.79	55.59
T13	270	74.22	72.55	67.24	61.88	68.97
T14	238	100.00	86.96	76.10	55.06	79.53
T15	194	76.42	100.00	47.89	8.50	58.20
T16	220	100.00	100.00	100.00	97.13	99.28
T17	187	28.06	0.00	39.46	0.00	16.88
T18	463	66.16	61.32	82.79	44.64	63.73
T19	338	39.66	73.71	73.88	47.98	58.81
T20	143	0.00	0.00	100.00	0.00	25.00
T21	170	0.00	88.04	0.00	46.50	33.64
T22	247	0.00	69.84	37.61	0.00	26.86
T23	181	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
T24	220	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
$\bar{x}$ Imagem(%)		<b>32.74</b>	<b>50.23</b>	<b>48.93</b>	<b>26.18</b>	

quanto nos solos. Se novamente retirarmos os 10 referidos transectos, a segmentação das cenas de abril passa a ter um resultado de 60%.

O fato das cenas de setembro apresentarem os piores resultados explica-se pela baixa umidade do solo quando comparada ao período de abril. A umidade do solo equivale também ao fator predominante para os maiores valores de retorno no sinal do radar.

Mesmo sem poder determinar a influência proporcional do *double bounce*, este corresponde ao segundo principal processo de incremento do sinal radar, provocado pela existência de extensas áreas onde as superfícies mais abertas (gramíneas) e a estrutura lateral dos estratos arbustivos-arbóreos das veredas causam o duplo ricoteio do sinal.

Usando métodos de modelagem cartográfica, o conhecimento espacial prévio, permitiu eliminar do resultado da segmentação, todas as manchas isoladas que não eram contíguas à rede hidrográfica. Tais manchas foram provavelmente criadas em função da presença de algumas regiões de maior umidade, como pequenos lagos e alagados que estão afastados do leito principal do rio Peruaçu.

## 7. Conclusão

As veredas constituem-se em um importante ecossistema ameaçado pelas atividades agropecuárias e poucos estudos referentes a sua extensão e estado de conservação existem. As imagens RADARSAT-1 permitem uma boa delimitação de ambientes úmidos desde que o terreno esteja bastante úmido e sua extensão (especialmente na largura) seja suficiente para ter uma influência nas imagens. Com o RADARSAT-1 em modo “standard” (12.5 m de resolução) esta largura parece ser superior a 300m, mas esta conclusão é ainda preliminar.

O algoritmo MAMSEG, junto com a restrição da segmentação a uma zona tampão de

2000m, permitiu separar a maior parte das veredas do seu entorno. Apesar de apresentar resultados estatisticamente fracos (50% a 62%), a segmentação teve uma correspondência fiel à interpretação visual. Imagens adquiridas no final do período úmido, quando o solo é encharcado, apresentam um potencial superior às imagens do período seco.

Está previsto, para futuras pesquisas, o uso de outras imagens radar (e.g. PALSAR em banda L) a fim de melhor entender os fatores que afetam o retroespalhamento radar no ambiente de veredas. Imagens óticas (ASTER e IKONOS) também estão sendo adquiridas para caracterizar as diferentes fitofisionomias das veredas e as relacionar com os resultados obtidos neste artigo.

## 8. Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer a Agência Espacial Canadense (CSA) pelo fornecimento das imagens RADARSAT-1 e o Instituto Estadual de Florestas (IEF-MG) pelo apoio logístico.

## Referências

- Adam, S., J. Wiebe, M. Collins, e A. Pietroniro (1998). Radarsat flood mapping in the peace-athabasca delta. *Canadian Journal of Remote Sensing* 24(1), 69–79.
- Biodiversitas (2005). *Biodiversidade em Minas Gerais: um atlas para sua conservação*. Fundação Biodiversitas.
- Boaventura, R. S. (1988). *Anais do 2º encontro latino-americano: relação ser humano-ambiente*, Chapter Preservação da veredas - síntese, pp. 109–122. Belo Horizonte.
- Castro, J. P. C. (1980). As veredas e sua proteção jurídica. *Fundação João Pinheiro - Análise e Conjuntura*. 10(5-6), 321–333.
- Deng, H. e D. A. Clausi (2005). Unsupervised segmentation of synthetic aperture radar sea ice imagery using a novel Markov random field models. *IEEE Trans. on Geoscience and Remote Sensing* 43(3), 528–538.
- Eiten, G. (1994). *Cerrado: caracterização, ocupação e perspectivas* (2ed. ed.), Chapter Vegetação do Cerrado, pp. 17–73. Brasília (DF).
- Geman, D., S. Geman, C. Graffigne, e P. Dong (1990). Boundary detection by constrained optimization. *IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell.* 12(7), 609–628.
- Guimarães Rosa, J. (1956). *Grande Sertão: Veredas*. Editora José Olympio. 594 p.
- Johansen, K. e S. Phinn (2006). Mapping structural parameters and species composition of riparian using ikonos and landsat etm+ data in australian tropical savannahs. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 72(1), 71–80.
- Kasischke, E. S., J. M. Melack, e M. G. Dobson (1997). The use of imaging radars for ecological applications - a review. *Remote Sensing of Environment* 59(2), 141–156.
- Maillard, P., D. A. Clausi, e H. Deng (2005). Operational map-guided classification of sar sea ice imagery. *IEEE Trans. on Geoscience and Remote Sensing* 43(12), 2940–2951.
- Nimer, E. e A. M. P. M. Brandão (1989). *Balanço Hídrico e Clima da Região dos Cerrados*. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE.
- Parmuchi, M. G., H. Karszenbaum, e P. Kandus (2002). Mapping wetlands using multi-temporal radarsat-1 data and a decision-based classifier. *Canadian Journal of Remote Sensing* 28(2), 175–186.
- Townsend, P. A. (2002). Estimating forest structure in wetlands using multitemporal sar. *Remote Sensing of Environment* 79, 288–304.
- Tso, B. e P. Mather (2001). *Classification Methods for Remotely Sensed Data*. London: Taylor and Francis.