



Capítulo 2

Fundamentos e Aplicações de Radar no Estudo de Mapeamento de Uso do Solo e de Áreas Alagadas

DOI: <http://dx.doi.org/10.18616/geop02>

Clóvis Cechim Júnior

Gabriel Henrique de Almeida Pereira

Flávio Deppe

Giovani Fronza

VOLTAR AO SUMÁRIO

INTRODUÇÃO

As áreas alagadas são ecossistemas específicos caracterizados por elevada biodiversidade, ampla variedade de plantas e animais. São regiões de importância, como fonte, sumidouro e processador de uma grande variedade de materiais químicos, biológicos e genéticos (MITSCH; GOSELINK; WETLANDS, 2015).

O mapeamento e o monitoramento dessas áreas são importantes para estudos de processos hidrológicos, ecológicos, geomorfológicos, biogeoquímicos, avaliação de danos resultantes de desastres naturais e provocados, manejo de recursos hídricos e definição de uso sustentável dessas áreas (NOVO; COSTA, 2009). Também, informações sobre cobertura e uso de solo são essenciais para o planejamento urbano e a quantificação de informações sobre a folhagem e a biomassa. Uma vez que os levantamentos de campo são, normalmente, demorados e custosos, o sensoriamento remoto pode oferecer uma alternativa rápida e eficiente (SURESH *et al.*, 2016).

A presença de água pode ser detectada por meio do sensoriamento remoto, devido ao comportamento espectral característico das áreas inundadas, com alta absorção da radiação em quase todas as faixas do espectro eletromagnético (ANTUNES; ESQUERDO, 2007).

Os dados de radar têm sido utilizados com sucesso para estudo de áreas alagadas e em mapeamentos de uso e cobertura do solo em várias regiões geográficas do planeta. Alguns exemplos são os trabalhos de Novo *et al.* (2002) no Brasil; Rosenqvist *et al.* (2002) na Amazônia; Suresh *et al.* (2016) na Alemanha; Zhou *et al.* (2017) na China; e Abdikan *et al.* (2016) na Turquia.

A partir do uso de imagens de radar é possível obter informações adicionais e características exclusivas da interação com os alvos da superfície terrestre em relação aos sensores ópticos. Em regiões inundáveis e em período chuvoso, é muito comum a presença de nuvens, apresentando assim grandes influências nas imagens óticas devido às condições atmosféricas. O uso de dados de radar se destaca em mapeamentos de cobertura vegetal, na deter-

minação de biomassa vegetal, no monitoramento de desastres naturais, nas mudanças de cobertura terrestre. Porém, seu uso eficiente depende das características do sistema, da vegetação, da amplitude e da extensão da inundação.

Os sistemas de aquisição de dados de radar são sistemas ativos de micro-ondas cujos sensores transmitem pulsos de micro-ondas em direção à superfície terrestre e registram a energia retroespalhada que retorna ao sensor (NOVO; COSTA, 2009).

Além disso, as imagens SAR podem ser utilizadas com diversas finalidades, como, por exemplo, para observar alterações dinâmicas das condições de neve e de gelo (ZHOU; ZHENG, 2017); para o mapeamento e geração de estimativas de área de classes de usos do solo (ZHOU *et al.*, 2017); para o monitoramento da deformação do solo (DEVANTHÉRY *et al.*, 2016); e para mapeamento de inundações usando imagens multitemporais (CLEMENT *et al.*, 2017). Entretanto, pouco desses temas, ou mesmo outros, utilizando imagens SAR têm sido amplamente tratados, principalmente no Brasil.

Com isso, este capítulo tem como objetivo principal introduzir alguns fundamentos e algumas aplicações de SAR no estudo de mapeamento de uso do solo e de áreas alagadas de maneira a demonstrar as potencialidades de tal sensor no monitoramento ambiental.

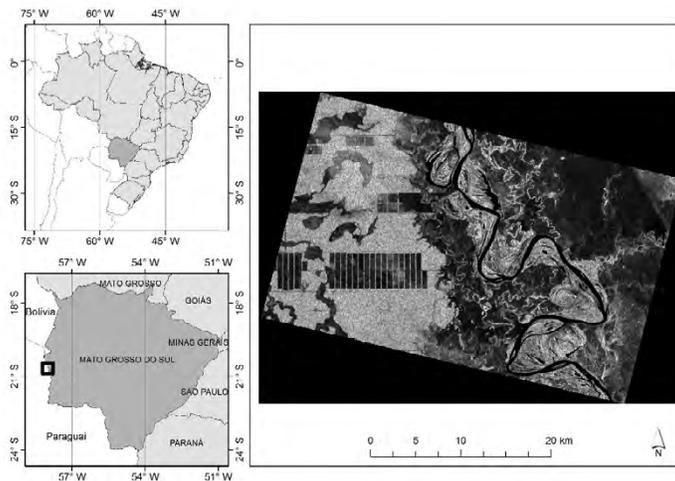
Material e Métodos

O estudo foi realizado adquirindo-se a imagem SAR em um trecho do rio Paraguai, na divisa entre Brasil e Paraguai, contendo parte do Pantanal e da Bacia Hidrográfica do Alto Paraguai (BAP). A porção brasileira do Pantanal é uma planície aluvial e 65% do seu território se localizam no estado de Mato Grosso do Sul, enquanto 35% estão no estado de Mato Grosso (SILVA; ABDON, 1998).

O Pantanal é alagado pelo rio Paraguai e seus afluentes todos os anos, na época das chuvas, devido à sua baixa altitude (variando de 80 m a 150 m) e também às baixas declividades (ANTUNES; ESQUERDO, 2014). O clima é quente, com estação de seca de maio a setembro e chuvosa de outubro a abril (JUNK *et al.*, 2006).

A Figura 1 evidencia a imagem SAR da área de estudo utilizada neste capítulo. Trata-se da imagem SAR Sentinel 1 do rio Paraguai, ao norte do Distrito de Forte Olimpo, divisa da Bacia do Alto Paraguai, no Pantanal, Brasil, na data de 20 de agosto de 2017.

Figura 1 - Imagem SAR Sentinel 1 do rio Paraguai, ao norte do Distrito de Forte Olimpo, divisa da BAP, Brasil



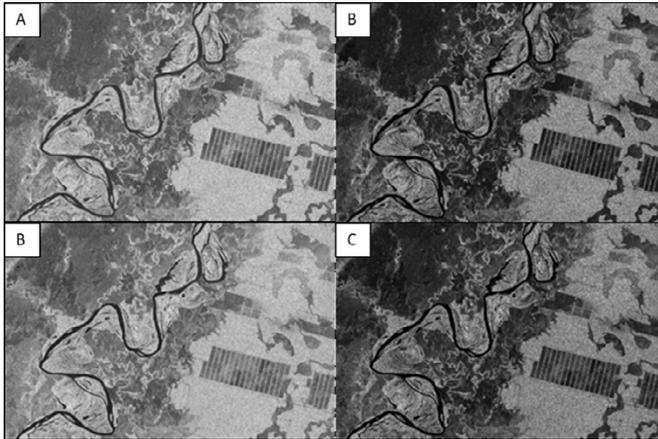
Fonte: Elaborada pelos autores (2019).

A grandeza radiométrica que representa a medida quantitativa da interação entre a radiação de micro-ondas e a superfície terrestre é o coeficiente de retroespalhamento (σ°), uma grandeza adimensional que ocupa uma ampla gama de valores, o que fez com que esse coeficiente passasse a ser expresso em decibéis (NOVO; COSTA, 2009).

As imagens SAR provenientes do satélite Sentinel-1 possuem resolução espacial de 10 metros e temporal de 12 dias (se considerada a revista de cada satélite independentemente, ou pode-se obter uma resolução temporal de seis dias caso utilizadas as passagens dos satélites Sentinel-1A e Sentinel-1B. Ainda, esse sensor SAR do Sentinel-1 apresenta duas polarizações: Horizontal (H) e Vertical (V) (Figura 2).

É possível gerar algumas combinações de RGB, alternando as polarizações H e V em cada um dos canais e alternando a razão entre elas. A combinação utilizada neste trabalho foi a polarização sigma R-VV, G-VH e B-VV/VH, permitindo assim identificar áreas inundadas em diferentes períodos.

Figura 2 - Imagem SAR banda-C com polarizações H e V: (A) Amplitude-VH; (B) Intensidade-VH; (C) Amplitude-VV; (D) Intensidade-VV



Fonte: Elaborada pelos autores (2019).

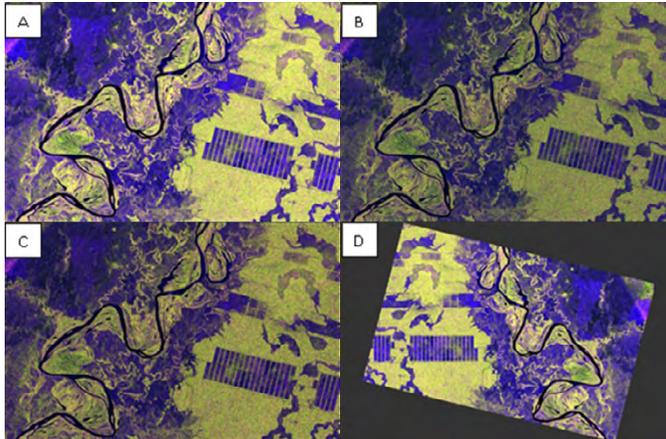
O primeiro procedimento de Processamento Digital de Imagens (PDI) de radar é a correção ou calibração radiométrica. Esse processo se faz necessário devido às distorções radiométricas provenientes da perda do sinal de propagação, do padrão uniforme de radiação da antena, da saturação e do ruído. Qualitativamente, é possível utilizar a imagem sem esse tipo de correção (Figura 3A), porém, para análises quantitativas e/ou comparação de diferentes datas de aquisição de imagens, ou mesmo de diferentes sensores, esse processo de correção geométrica se faz necessário. Isso para que os valores de *pixels* após a correção radiométrica estejam diretamente relacionados com a retrodispersão da imagem (Figura 3B).

O segundo procedimento consiste na remoção de ruído, também conhecido como *Speckle*. Esse procedimento se faz necessário para corrigir

– ou apenas reduzir – esse efeito que corrompe a informação e os valores de *pixels* do terreno. Ele pode ser realizado utilizando-se filtros, porém, toda vez que se fizer uso de um filtro, dependendo de sua dimensão, a resolução espacial também poderá ser reduzida (Figura 3C).

O terceiro procedimento é a correção geométrica, utilizada para corrigir distorções provenientes do intervalo de inclinação, deslocamento contra nadir, relevo e sombra. Nessa etapa, a orientação do satélite é invertida para a orientação correta em função do modelo de elevação digital (Figura 3D).

Figura 3 - Processamento de imagem SAR banda-C: (A) RGB imagem bruta; (B) Correção radiométrica; (C) Remoção de ruído *Speckle*; (D) Correção geométrica



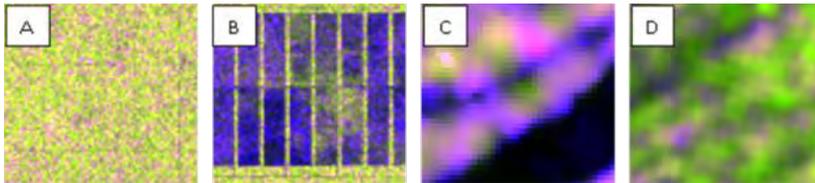
Fonte: Elaborada pelos autores (2019).

Para se analisar um mapeamento de uso do solo ou determinar sua quantificação, faz-se necessário converter os valores de retro dispersão dos *pixels* para que sejam representados em decibéis (dB).

A partir do efeito do dossel sobre o coeficiente de retroespalhamento, é possível identificar diferentes tipos de uso do solo. Amostras de treinamento então podem ser coletadas para uma classificação de uso e cobertura do solo. Neste estudo, fez-se uso da classificação supervisionada como o classificador *Random Forest*.

Mesmo em períodos de seca, cheia ou vazante, é possível visualizar diferentes tipos de textura, como a de uma floresta alta e densa (Figura 4A), a de uma floresta de porte baixo de baixa densidade associada à pastagem e à vegetação rasteira (Figura 4B), a de áreas inundadas de vegetação alagada (Figura 4C) e a de áreas de floresta e vegetação de porte baixo (Figura 4D).

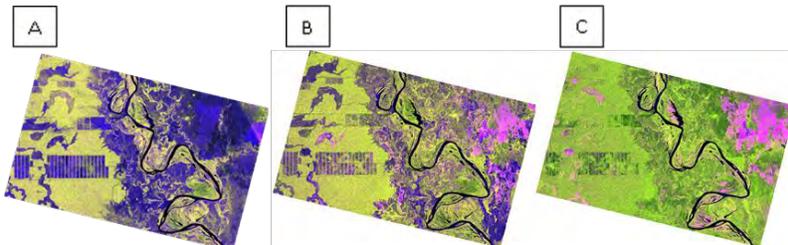
Figura 4 - Efeito do dossel sobre o coeficiente de retroespalhamento. Imagem adquirida em 20 de agosto de 2017: (A) Floresta; (B) Vegetação baixa e rasteira; (C) Vegetação inundada; (D) Vegetação baixa



Fonte: Elaborada pelos autores (2019).

Do processamento digital das imagens SAR pode ser gerada uma classificação de áreas inundadas a partir da aquisição de amostras de treinamento. Três períodos distintos (período de seca, de enchente e de cheia, conforme a Figura 5, respectivamente) foram utilizados na classificação supervisionada a *pixel* de uso do solo.

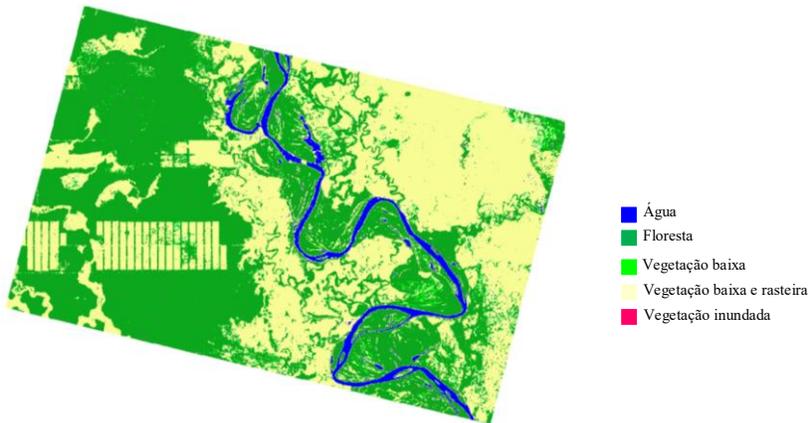
Figura 5 - Composição RGB das imagens SAR para identificação de áreas inundadas, adquiridas em 20 de agosto de 2017, período de seca (A), 16 de novembro de 2017, período de enchente (B); e 03 de janeiro de 2018, período de cheia (C)



Fonte: Elaborada pelos autores (2019).

A primeira imagem classificada apresentada na Figura 6 não evidenciou grandes áreas inundadas na área de estudo, pois se trata de uma imagem adquirida em um período de seca, embora se tenha muita variação no regime pluviométrico na região, mesmo nesse período. A taxa de acerto global da classificação dessa imagem foi de 99,5%.

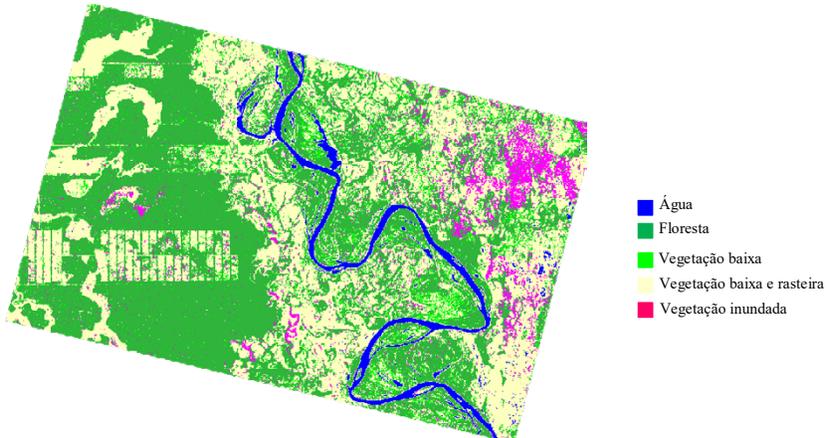
Figura 6 - Classificação de uso e cobertura terrestre de imagem SAR para identificação de áreas inundadas, adquirida em 20 de agosto de 2017 (período de seca)



Fonte: Elaborada pelos autores (2019).

A segunda imagem evidenciou áreas inundadas na área de estudo, pois se trata de uma imagem adquirida em um período de enchente (Figura 7). É possível observar que há presença de áreas de preservação permanente no entorno das margens do rio Paraguai. A taxa de acerto global dessa classificação foi de 99,6%, comparando com amostras de *pixels* aleatórias obtidas na imagem e usadas para gerar a matriz de confusão.

Figura 7 - Classificação de uso e cobertura terrestre de imagem SAR para identificação de áreas inundadas, adquirida em 16 de novembro de 2017 (período de enchente)

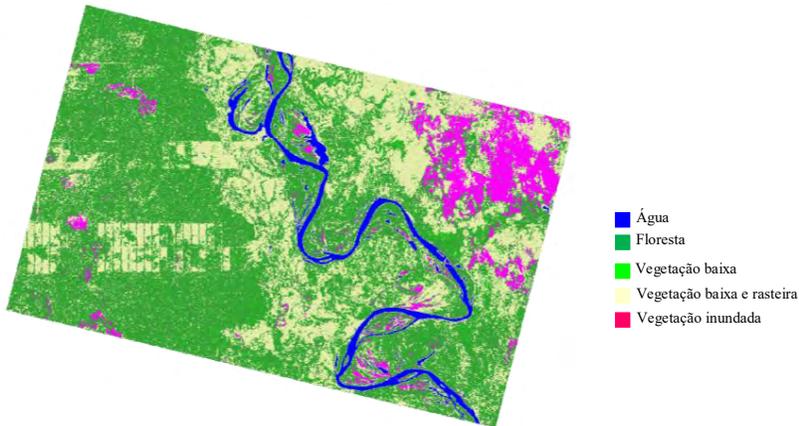


Fonte: Elaborada pelos autores (2019).

A terceira imagem evidenciou grandes áreas inundadas na área de estudo, pois se trata de uma imagem com data de aquisição em um período de cheia (Figura 8). Nessa classificação, pode ser observado – em relação à imagem anterior do período de enchente – que algumas áreas da classe de vegetação baixa e rasteira passaram por uma transição de sucessão, migrando para a classe de floresta de alta densidade e de porte alto.

Com o uso de amostras de treinamento para avaliar a precisão da classificação, foram obtidos 97,13% de acertos. A taxa de acerto médio nos três períodos de classificação foi de 98,74%. Tais resultados são semelhantes aos obtidos em mapeamento de uso do solo por Abdikan *et al.* (2016), que obtiveram 93,28%, combinando os dois dados de polarização do Sentinel-1 SAR.

Figura 8 - Classificação de uso e cobertura terrestre de imagem SAR para identificação de áreas inundadas, adquirida em 01 de março de 2018 (período de cheia)



Fonte: Elaborada pelos autores (2019).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O uso de técnicas de processamento digital de imagens SAR – interpretação, análise visual e classificação supervisionada das imagens – permitiu o mapeamento de áreas inundadas em três períodos distintos para a área de estudo, a qual abrange a região do Pantanal e a Bacia do rio Paraguai.

Por mais que a utilização de imagens SAR ainda seja pouco disseminada, sobretudo no Brasil, esse processo pode ser de grande utilidade, uma vez que tal sensor pode suprir a escassez de dados em áreas de vazio cartográfico, de constante cobertura de nuvens, como em áreas da Amazônia, ou mesmo durante épocas com grande cobertura de nuvens devido ao período de chuvas e cheias, como no caso do Pantanal.

Ressalta-se, ainda, que o conhecimento e o acompanhamento constante da dinâmica temporal, principalmente de áreas alagáveis, são imprescindíveis para o monitoramento de desastres ambientais em bacias hidrográficas, uma vez que servem de subsídios para a tomada de decisão quanto à gestão ambiental.

REFERÊNCIAS

ABDIKAN, S.; SANLI, F. B.; USTUNER, M.; CALÒ, F. Land cover mapping using Sentinel-1 SAR data. **Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, Prague, v. XLI-B7, p. 757-761, 2016.

ANTUNES, J. F. G.; ESQUERDO, J. C. D. M. Classificação subpixel de séries temporais de dados MODIS para a quantificação de áreas inundadas do Pantanal. *In*: SIMPÓSIO DE GEOTECNOLOGIAS NO PANTANAL, 5., 2014, Campo Grande. **Anais...** Campo Grande, MG: EMBRAPA, 2014, p. 325-335.

ANTUNES, J. F. G.; ESQUERDO, J. C. D. M. Geração automática de produtos derivados de imagens AVHRR-NOAA para monitoramento de áreas inundáveis do Pantanal. **Revista Brasileira de Cartografia**, [S.l.], v. 59, n. 1, p. 115-122, 2007.

CLEMENT, M. A.; KILSBY, C. G.; MOORE, P. Multi-temporal synthetic aperture radar mapping using change detection. **Journal of Flood Risk Management**, [S.l.], p. 2-17, 2017.

DEVANTHÉRY, N.; CROSETTO, M.; CUEVAS-GONZÁLES, M.; MONSERRAT, O.; BARRA, A.; CRIPPA, B. Deformation monitoring using persistent scatterer interferometry and Sentinel-1 SAR data. **Science Direct**, [S.l.], v. 100, p. 1121-1126, 2016.

JUNK, W. J.; CUNHA, C. N.; WANTZEN, K. M.; PETERMANN, P.; STRUSSMANN, C.; MARQUES, M. I.; ADIS, J. Biodiversity and its conservation in the Pantanal of Mato Grosso, Brazil. **Aquatic Sciences**, [S.l.], v. 68, n. 3, p. 278-309, 2006.

MITSCH, W. J.; GOSELINK, J. G. **Wetlands**. 5. ed. New Jersey: John Wiley and Sons, 2015. 721 p.

NOVO, E. L. M; COSTA, M. P. F. Fundamentos e aplicações de radar no estudo de áreas alagáveis. *In*: SOUZA, R. B. **Oceanografia por Satélites**. 2. ed. São Paulo, SP: Oficina de Textos, 2009. 382 p.

NOVO, E. L. M.; COSTA, M. P. F.; MANTOVANI, J. E.; LIMA, I. B. T. Relationship between macrophyte stand variables and Radar backscatter at L and C band – Tucuruí reservoir – Brazil. **International Journal of Remote Sensing**, [S.l.], v. 23, n. 7, p. 1241-1260, 2002.

ROSENQVIST, A.; FORSBERG, B. R.; PIMENTEL, T.; RAUSTE, Y. A.; RICHEY, J. E. The use of spaceborne radar data to model inundation patterns and trace gas emissions in the central Amazon floodplain. **International Journal of Remote Sensing**, [S.l.], v. 23, n. 7, p. 1303-1328, 2002.

SILVA, J. S. V.; ABDON, M. M. Delimitação do Pantanal brasileiro e suas sub-regiões. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 33, Num. Esp., p. 1703-1711, 1998.

SURESH, G.; GEHRKE, R.; WIATR, T.; HOVENBITZER, M. Synthetic aperture radar (SAR) based classifiers for land applications in Germany. Remote Sensing and Spatial Information Sciences. *In*: Congress of the International Society for Photogrammetry and Remote Sensing, 23., 2016, Prague. **Anais...** Prague, Czech Republic: ISPRS, p. 12-19, 2016.

ZHOU, C.; ZHENG, L. Mapping radar glacier zones and dry snow line in the Antarctic Peninsula Using Sentinel-1 Images. **Remote Sensing**, [S.l.], v. 9, p. 2-19, 2017.

ZHOU, T.; PAN, J.; ZHANG, P.; WEI, S.; HAN, T. Mapping winter wheat with multi-temporal SAR and optical images in an urban agricultural region. **Sensors**, [S.l.], v. 17, p. 1-16, 2017.