

Processamento digital de imagens de dupla-polarização ALOS/PALSAR para a detecção de áreas desmatadas na floresta Amazônica

Gildardo Arango Sánchez¹
Yosio Edemir Shimabukuro¹
Dalton de Morisson Valeriano¹
Silvana Amaral²

^{1,2}Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Caixa Postal 515 - 12201-970 - São José dos Campos - SP, Brasil
¹{gildardo, yosio, dalton}@dsr.inpe.br, ²silvana@dpi.inpe.br

Abstract. This paper presents a computational framework for radar image processing based on open software for deforestation classification in Brazilian Amazonia. Using the GIS library TerraLib, a system was developed, using C++ language, to classify radar dual polarization image. Amplitude images are speckle filtered, using either Lee or Kuan filters, and then classified based on decision rules for the spectral signatures of interested features. Apart from the number of filter iteration, the filter window size, and the interested features that have to be set by the user, the procedure is mainly automatic. As an example of application, an ALOS/PALSAR FDB image (HH/HV polarization) was used to classify deforestation. The study site refers to an area of about 14,750km², located at the southwest part of Lábrea municipality in the state of Amazonas, Brazil. For the example of application, the classification maps generated from the proposed system showed to be compatible to PRODES deforestation mapping. The system is already working and available, however, it still demands improvements and exhaustive tests to bring forth a final version. This system can be useful to generate data for Amazonian Deforestation Program, providing deforestation maps derived from radar images, which are not as sensible to cloud cover as optical images.

Palavras-chave: Digital Image Processing, TerraLib, ALOS/PALSAR, deforestation, Amazonia.
Processamento Digital de Imagens, TerraLib, ALOS/PALSAR, desmatamento, Amazônia.

1. Introdução

Com o avanço das técnicas computacionais, a área de processamento de imagens vem apresentando um crescimento expressivo e suas aplicações permeiam quase todos os ramos da atividade humana, tais como medicina, biologia, geografia, meteorologia dentre outras áreas. Os mesmos princípios de processamento e técnicas de classificação podem ser estendidos para várias aplicações, como para a detecção de áreas desmatadas na Amazônia Brasileira a partir de dados de sensores remotos.

Considerando a importância da floresta amazônica para manutenção dos processos biológicos e climáticos em diferentes escalas, faz-se necessário o estudo para aprimoramento de técnicas que permitam o monitoramento constante destas áreas.

Um dos principais problemas associados aos programas de monitoramento existentes é o uso de sistemas passivos que são limitados pela dificuldade de imageamento associada a nuvens e sombras de nuvens que ocorrem no período de chuvas (Asner, 2001).

O Brasil é signatário da Iniciativa Kyoto & Carbon, na qual o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais INPE tem o objetivo de aprimorar o Programa de Monitoramento da Amazônia utilizando imagens ALOS/PALSAR.

Neste contexto, este trabalho apresenta um aplicativo desenvolvido em linguagem C++, fazendo uso das bibliotecas TerraLib, e das técnicas de tratamento digital de imagens para classificar as áreas de desmatamento da Amazônia brasileira, utilizando imagens ALOS/PALSAR/FDB (*fine resolution mode*). Para exemplificar esta proposta, foi realizado um experimento com o auxílio de ferramentas de Sistemas de Informação Geográfica (SIG), na região sudoeste do município de Lábrea, localizado no estado do Amazonas.

2. Metodologia

O desenvolvimento de técnicas automatizadas de processamento de imagens SAR pode ser realizado heurísticamente ou através da modelagem dos dados. Muitas pesquisas têm sido realizadas na tentativa de se modelar os dados SAR, entre elas podem-se citar, Jakeman e Pursey (1973, 1976), Lopes et al. (1990), Lee e Grunes (1994), Lee et al. (1994a, c), Frery et al. (1995 a, b), Lee et al. (1995), Sant'Anna (1995), Du e Lee (1996) e Frery et al. (1997 a, b), entre outros. Essas técnicas podem ser utilizadas para o desenvolvimento de ferramentas específicas para as imagens SAR (filtros, classificadores, entre outros), assim como, para a discriminação de classes temáticas de uso e ocupação da terra, que é o tema abordado no presente trabalho.

O algoritmo proposto neste trabalho parte de imagens amplitude, de polarização HH e HV, em formato GeoTIFF, de 16 bits. Para redução de ruído speckle, aplicam-se filtros de Lee e Kuan, e então as imagens são convertidas para 8 bits e em imagens de sigma zero. Finalmente essas imagens são processadas para gerar os mapas de desmatamento a partir de classificações.

O sistema foi desenvolvido em linguagem C++, por ser a mesma utilizada na biblioteca TerraLib, uma biblioteca de classes e funções para sistemas de informação geográfica. Esta biblioteca provê um ambiente cooperativo para desenvolvimento de software livre, em diferentes versões de C++, ambiente multiplataforma (Windows e Linux), em um modelo de arquitetura em camadas (Davis e Câmara, 2001; Vinhas e Cartaxo, 2005). Ainda dentre as características da TerraLib, há funcionalidades para processamento de imagens, ou dados raster, através de três classes principais, utilizadas neste trabalho, a saber:

- **TeRaster:** uma interface genérica de acesso aos elementos de um dado matricial. Seus dois métodos básicos são: `setElement` e `getElement`, que inserem e recuperam, respectivamente, valores de cada elemento.
- **TeRasterParams:** classe que manipula todos os parâmetros de um dado matricial.
- **TeDecoder:** classe genérica responsável pela decodificação de formatos e acesso a dispositivos de armazenamento.

Dentre os diferentes formatos das imagens matriciais existentes, optou-se por trabalhar com matrizes no formato GeoTiff, que é uma extensão do Tiff. Este formato é um dos padrões para intercâmbio de dados matriciais do consórcio OpenGIS (OPENGIS, 2008) e que permite especificar informações como projeção, retângulo envolvente, entre outras.

O software Microsoft Visual Studio 2003 foi utilizado em sua versão 7.1.3088, Framework 1.1.4322 SP1, produto Microsoft Visual C++.NET 69462.

Neste trabalho, os seguintes procedimentos e funções foram codificados em TerraLib:

´**Mostra**´ - lê o cabeçalho (header) e apresenta as características de cada imagem.

´**LeituraPixel**´ - realiza a leitura de cada pixel nas imagens processadas.

´**ConversaoRadiometrica**´ - executa a conversão radiométrica (de 16 para 8 bits) para cada imagem processada.

´**Mapatematico**´ - gera o mapa temático, contendo as áreas desmatadas, rotulando as classes definidas de acordo com as assinaturas dos alvos. Gera como produto final uma imagem colorida (RGB) com as mesmas características de projeção e resolução espacial das imagens de origem.

´**ConversaoSigmaZero**´ - converte as imagens de 16bits para sigma zero (fator *standard* de comparação com outros sensores SAR).

´**LeeFixed_test, e Kuan_test**´ - responsável pelo filtro de suavização de *speckle* na imagem, produzido pela resposta variada dos alvos no sensor SAR.

A **Figura 1** resume as etapas do algoritmo desenvolvido. Inicialmente, as imagens que estão no formato comercializado pela JAXA são descompactadas e convertidas para o formato GeoTIFF com auxílio do software ENVI 4.5.

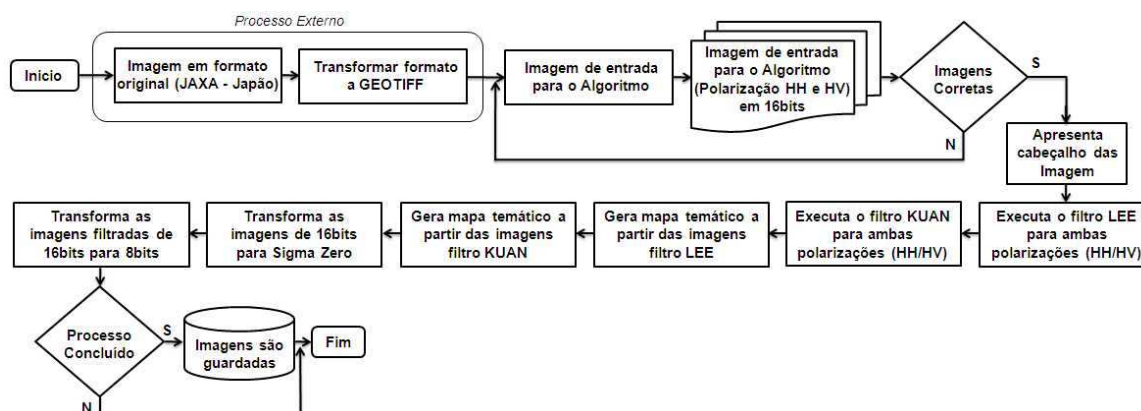


Figura 1. Fluxograma do algoritmo desenvolvido para o processamento das imagens SAR.

A imagem contendo duas bandas referentes às polarizações HH e HV, no formato GeoTiff (16 bits), são alocadas em um diretório padrão de onde será acessada pelo algoritmo. Durante a inicialização, o algoritmo irá confirmar a presença das mesmas e listará um relatório para conferência, onde se apresentam as características principais da imagem como número de bandas, modo de acesso, número de linhas e colunas, resolução espacial.

O primeiro procedimento é a eliminação de ruído *speckle*, executando o filtro Lee para cada polarização, iniciando por HH, pode-se decidir o número de iteração e a dimensão da máscara (3x3 ou 5x5). Em seguida, executa-se o filtro Kuan, com as mesmas características do anterior sobre as imagens originais. Os filtros propostos por Kuan et al. (1987) e Lee (1987) possuem desenvolvimento análogos, baseado no modelo multiplicativo de ruído, definido por:

$$Y = X * N \quad (\text{eq-1})$$

Onde: $Y = \text{Sinal observado}$, $X = \text{Sinal intensidade}$ $N = \text{é o ruído}$.

Uma das diferenças básicas entre estes algoritmos consiste numa aproximação nos resultados gerados através da aplicação de uma série de Taylor de primeira ordem em torno das médias de X e N , onde o Kuan utiliza menor número de decimais da expressão e o Lee já toma em consideração todos os decimais resultantes da aplicação da **eq-1**.

Para efeito de comparação, as duas possibilidades de filtro foram implementadas, permitindo a escolha do procedimento que melhor se aplique à cena em questão.

Após a filtragem, segue-se a classificação, para gerar mapas temáticos para cada uma das imagens resultantes da aplicação dos filtros, iniciando pelo Lee. Para a obtenção deste mapa, faz-se uso da classificação pixel a pixel, percorrendo paralelamente as imagens filtradas HH e HV.

Para a classificação, adota-se uma regra de decisão pré-definida que permite identificar as áreas de desmatamento, assim como as áreas de floresta e corpos de água. Esta regra de decisão baseia-se na assinatura espectral dos alvos que se quer classificar, em cada uma das polarizações a serem utilizadas. Portanto, deve-se reconhecer as assinaturas dos alvos de interesse, para as polarizações consideradas, antes de definir as regras de decisão. Ao término da classificação, obtém-se uma imagem rotulada que atribui a cada pixel, a classe temática correspondente, com uma cor específica. No exemplo apresentado a seguir apenas duas classes foram identificadas: floresta e desmatamento.

O mapa temático resultante terá as mesmas características da imagem de origem, tais como georreferenciamento e resolução espacial, contendo porém apenas a informação das áreas desflorestadas. Concluído o mapa classificado para o filtro Lee, gera-se a classificação para o filtro Kuan, através de processamento análogo.

Como procedimento adicional, há a possibilidade de se obter as imagens para as duas polarizações, com os valores convertidos para sigma zero, obtendo-se o coeficiente de retroespalhamento, aplicando-se o fator de correção definido pela JAXA (Rosenqvist et al., 2007) para as imagens ALOS, dado pela equação:

$$Z = (10 * \log_{(10)} * (ND - 83)) \quad (\text{eq-2})$$

Onde: **Z** é o valor de sigma zero; **ND** é o número digital da imagem (valor em amplitude); e **-83** é o fator de calibração.

Finalmente, se aplica a conversão da imagem para 8bits através da equação:

$$Y = (ND - V_{\min} / V_{\max} - V_{\min}) * 255 \quad (\text{eq-3})$$

Onde: **Y** é o valor do pixel na imagem de saída; **ND** é o número digital da imagem, **V_{min}** é o valor mínimo de toda a imagem; **V_{max}** é o valor máximo de toda a imagem.

É importante destacar que como a filtragem exige memória RAM, os dados são processados e armazenados no HD (harddisk). Após armazenar as imagens filtradas, o processamento então passa a ser realizado em memória RAM, armazenando temporariamente as imagens, até a conclusão, momento em que se registram as imagens resultantes no HD, e a tela do console do programa se fecha.

3. Exemplo de Aplicação

Para testar a proposta do sistema desenvolvido e implementado, apresenta-se como exemplo, o mapeamento das áreas desflorestadas a partir de imagens ALOS/PALSAR para uma região no estado do Amazonas.

A área de estudo corresponde aproximadamente 14.750km², a sudoeste do município de Lábrea no Estado do Amazonas, localizada entre as coordenadas geográficas de latitude 08° 36' 28,62'' e 08° 42' 34,82'' Sul, e longitude 66° 46' 34,37'' e 66° 38' 06,77'' Oeste, (Figura 2).

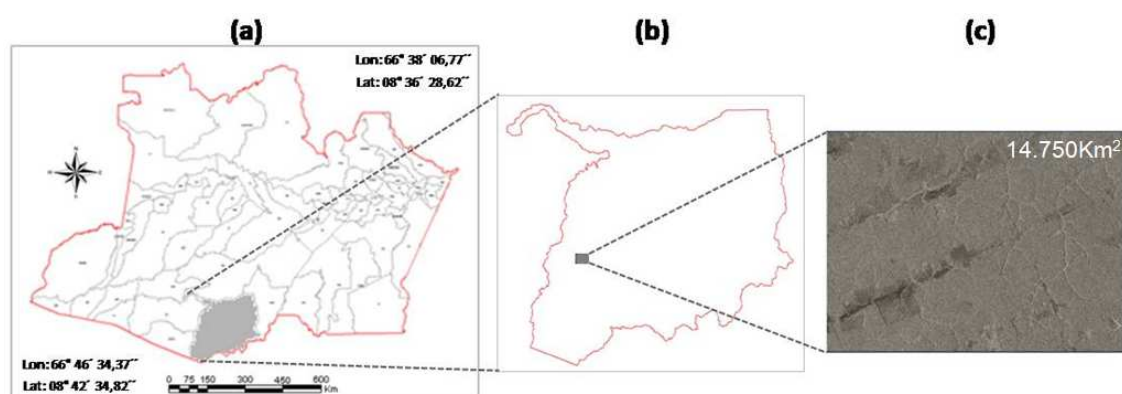


Figura 2. Área de estudo: (a) estado do Amazonas; (b) limite municipal de Lábrea; e (c) imagem ALOS-PALSAR polarização HH.

Através da Iniciativa Kyoto & Carbon, este trabalho utilizou uma imagem da plataforma japonesa ALOS (*Advanced Land Observing Satellite*), do sensor PALSAR (*Phased Array L-band Synthetic Aperture Radar*) modo FDB (*fine resolution mode*), do dia 24 de junho de 2007. A imagem contém valores de amplitude, com resolução espacial de 12,5 metros na polarização HH e HV, de resolução radiométrica de 16 bits, em formato CEOS nível de processamento 1.5 (geocodificada e ortorretificada). A escolha desta imagem levou em consideração a época do ano (Asner, 2001), assim como a importância de outros trabalhos realizados nesta área (Almeida-Filho et al., 2009).

Para se avaliar os resultados obtidos a partir da classificação da imagem de radar, dados do sistema PRODES - Programa de Monitoramento do Desmatamento da Amazônia por Satélite (INPE, 2010), referentes ao período de 1997 a agosto 2007, foram utilizados. Os dados se encontram disponíveis no site da OBT – INPE (<http://www.obt.inpe.br/prodes/>), em formato shapefile, referente à área de estudo. O PRODES baseia-se em imagens ópticas do sensor TM/Landsat, de resolução espacial original de 30 m, reamostrada para 60 m, mapeia áreas de desmatamento maiores do que 5,7 hectares (Shimabukuro et al., 2000).

A avaliação foi realizada a partir da análise visual das imagens de radar e classificações resultantes em relação aos dados de desmatamento do PRODES, em ambiente de banco de dados geográficos (SPRING v4.3.1), na projeção UTM/SAD69.

4. Resultados

A aplicação desenvolvida apresentou-se estável e com desempenho adequado devido à administração dos recursos de hardware na sua execução considerando o grande volume de dados processados. Os resultados são comparáveis aos obtidos por outros softwares comerciais.

A figura 3 apresenta os resultados da execução dos filtros Lee e Kuan sobre as imagens de polarização HH e HV originais.

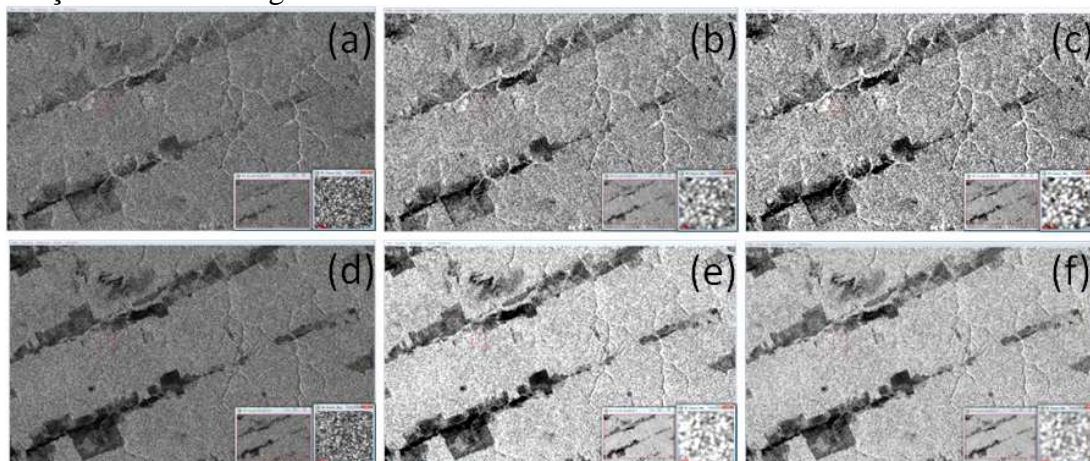


Figura 3. Imagens ALOS PALSAR FDB: (a) Imagem original HH; (b) HH com filtro Lee; (c) HH com filtro Kuan; (d) Imagem original HV; (e) HV com filtro Lee; e (f) HV com filtro Kuan.

Baseado na análise visual, observam-se pequenas diferenças entre as imagens filtradas com o método de Lee e Kuan para cada polarização, cujo resultado foi confirmado ao se realizar as classificações (ver figura 4).

Como mencionado por Wangenheim (2007), não existe na atualidade um algoritmo perfeito para a classificação automática de imagens, sendo indispensável o intérprete para tomar as decisões pertinentes à classificação final. Contudo, os algoritmos automáticos são ferramentas fundamentais para auxiliar o mapeamento de grandes áreas de forma preliminar. Os filtros Lee e Kuan apresentaram classificações muito semelhantes (figura 4 a e b). Desta forma, apenas os resultados do filtro Lee considerando diferentes números de iterações e tamanho de filtro são apresentados (Figura 4 c, d, e, f).

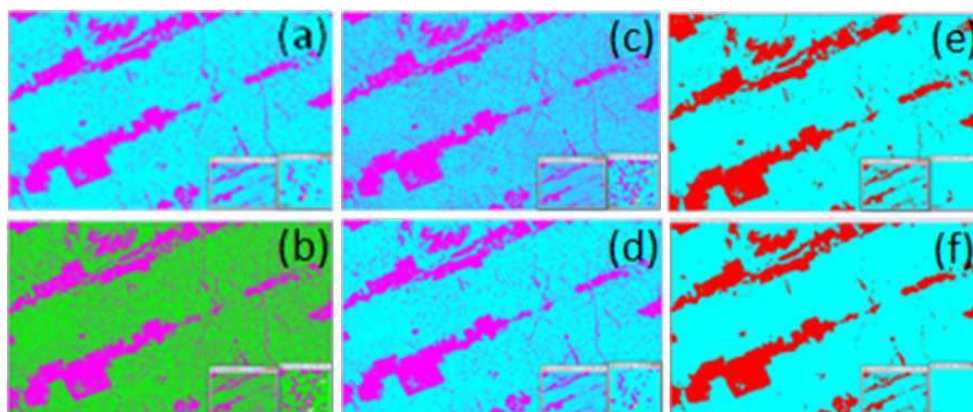


Figura 4. Resultados da classificação a partir de diferentes filtros para redução de *speckle*: Mapas temáticos classificados comparando a aplicação de filtro *speckle* Lee e Kuan com iteração de 1 e máscara de 3: (a) Lee 3x3 com 1 iteração; (b) Kuan 3x3 com 1 iteração; (c) Lee 5x5, 1 iteração; (d) Lee 3x3, 1 iteração; (e) Lee 5x5, 1 iteração; e (f) Lee 5x5, 5 iteração.

Os resultados indicam que quanto maior o tamanho da janela de processamento para aplicação da filtragem, mais homogênea a classificação resultante. Contudo, perde-se resolução espacial, com o aumento do número de iterações (**Figura 4**). Baseado em análise visual dos mapas temáticos resultantes, o pior resultado foi obtido com uma iteração e máscara de dimensão 5x5 (**Figura 4c**), ou seja, pouca iteração e maior abrangência. Ao aumentar o número de iterações (3) e reduzir a dimensão da máscara (3x3), aprimora-se o resultado (**Figura 4d**), identificando melhor as áreas desmatadas de forma geral, diminuindo significativamente a falha de borda.

A detecção das bordas poderia ser melhorada como sugere a literatura (Davis (1975), Abdou (1978), Canny (1983), Frost et al. (1982), entre outros), para correção de falha de borda em imagens de radar. Contudo, este procedimento encontra-se fora do escopo desta versão do aplicativo.

A **Figura 5a** apresenta a imagem (HH) convertida para valores de sigma zero com seu respectivo histograma. As imagens com valores de sigma zero resultantes do algoritmo implementado são idênticas às obtidas automaticamente por outro software comercial (PCI 9.1 ou pelo software livre TerraPixel 1.03) o que indica a confiabilidade da conversão aplicada.

Após a conversão para 8bits (**Figura 5b**), observa-se que a redução de resolução radiométrica gerou uma imagem mais escura, mantendo o contraste da cena, dado pela variância observada nos respectivos histogramas.

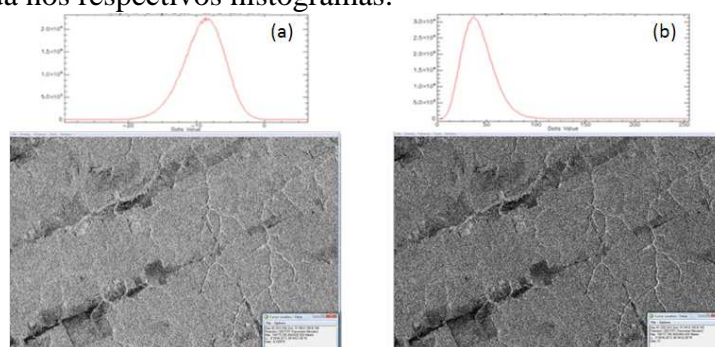


Figura 5. Imagem HH: (a) valores em sigma zero e (b) Imagem em 8 bits.

As imagens convertidas para 8 bits foram importadas corretamente no Sistema de Informação Geográfico, permitindo a comparação com os dados de desmatamento do PRODES.

Comparando o resultado obtido pelo sistema proposto com os dados de desmatamento do PRODES, para o mesmo período, houve uma diferença visual (**Figura 6**). O sistema mapeia maior número de áreas desmatadas do que o PRODES. Isto pode ser atribuído ao fato de que o resultado do sistema foi obtido a partir de imagens SAR com resolução espacial de 12,5m, enquanto que os dados do PRODES são gerados a partir de imagens TM reamostradas para 60m de resolução espacial. Além disso, os dados do radar apresentam áreas com características de desmatamento devido ao aspecto topográfico da cobertura florestal. Isto também pode ser explicado pelas diferenças metodológicas, ou seja, o PRODES mapeia somente áreas maiores do que 5,76 ha, enquanto que no sistema proposto não existe nenhuma restrição com relação a área mínima mapeada.

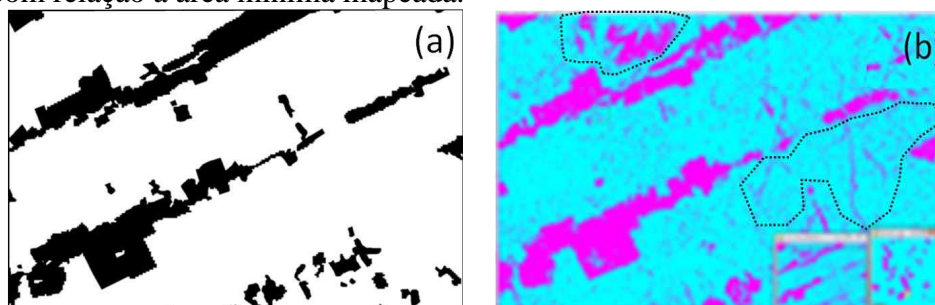


Figura 6. Classificação de desmatamento: (a) gerada pelo PRODES e (b) obtida pelo aplicativo deste trabalho sobre a imagem ALOS/PALSAR FDB.

5. Conclusões

Este trabalho mostra que a biblioteca TerraLib fornece um conjunto de ferramentas úteis, de grande potencial para o tratamento digital de imagens, como demonstram os resultados da aplicação desenvolvida para a área teste.

A aplicação de filtragem para redução de *speckle* é fundamental para a classificação de desmatamentos baseada em imagens de radar. Os filtros Lee e Kuan apresentaram resultados semelhantes, sendo contudo condicionado a escolha do tamanho da máscara e do número de iterações.

Os resultados preliminares indicam que o aplicativo desenvolvido pode ser útil na classificação de áreas desmatadas a partir de imagens de radar de forma automatizada. Desta forma, o sistema PRODES poderia contar com imagens de radar como fonte complementar de dados, superando as dificuldades da frequente cobertura de nuvens na região Amazônica. O sistema desenvolvido neste trabalho em plataforma TerraLIB está disponível e operante. Contudo, ainda requer aprimoramentos e testes, que incluam, por exemplo um maior volume de dados, outros padrões de desmatamento, para consolidar uma versão final.

Agradecimentos

Os autores agradecem à **JAXA** (*Japan Aerospace Exploration Agency*), por meio do protocolo *Kyoto & Carbon Initiative*, por ceder as imagens para a elaboração deste trabalho.

Referências

- Abdou, I.E. Quantitative methods of edge detection. Los Angeles, University of Southern California, July 1978.
- Almeida-Filho, R.; Shimabukuro, Y. E.; Rosenqvist, A.; Sanchez, G. A. "Using dual-polarized ALOS PALSAR data for detecting new fronts of deforestation in the Brazilian Amazonia". **International Journal of Remote Sensing**, v30, p. 3735-3743, 2009.

ALOS – PALSAR. Especificações técnicas da plataforma Disponível em: <http://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/en/about/about_index.htm>. Acesso em: novembro 2008.

Asner, G.P. Cloud cover in Landsat observations of the Brazilian Amazon. **International Journal of Remote Sensing**, v22, p. 3855-3862, June 2001.

Brooks, Jr., F.P. The Mythical Man-Month: **Essays on Software Engineering**, 20th Anniversary Edition. Reading, MA: Addison-Wesley, 1995, 322 pages.

Davis, L.S. A survey of edge detection techniques. *Computer Vision, Graphics and Image Processing*, September 1975.

Davis, C.; Câmara, G. Arquitetura de Sistemas de Informação Geográfica. In: Câmara, G.; Davis, C.; Monteiro, A. M. v. (Org.) **Introdução à ciência da geoinformação**. São José dos Campos: INPE, outubro 2001. Cap 3.

Freitas C.C.; Soler, L.S.; Sant'Anna, Sidnei J.S.; Dutra, L.V.; Santos, J.R.; Mura, J.C.; Correia, A.H. <[CDATA[Land Use and Land Cover Mapping in the Brazilian Amazon Using Polarimetric Airborne P-Band SAR Data]]>. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 46, p. 2956-2970, 2008.

Kuan, D. T.; Sawchuk, A. A.; Strand, T. C.; Chavel, P. Adaptive restoration of images with speckle. **IEEE Transactions on Acoustics, Speech and Signal Processing**, March 1987.

INPE, 2010. PRODES - Programa de Monitoramento do Desmatamento da Amazônia por Satélite. <<http://www.obt.inpe.br/prodes/>> Acesso em: janeiro 2009.

INPE-DPI. O aplicativo TerraView. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/terraview>>. Acesso em: março 2009.

Jakeman, E.; Pusey, P.N. A model for non-Rayleigh sea echo. **IEEE Transactions on Antennas and Propagation**, AP-24(6):806-814, November 1976.

Lee, J.S. Statistical modeling and suppression of speckle in synthetic aperture radar images. In: 1987 **International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS '87)**. May 1987. Proceedings. p. 1331-1339.

Lopes, A.; Nezry, E.; Touzi, R.; et al. Maximum a posteriori speckle filtering and first order texture models in SAR images. In: 1990 **International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS '90)**. Washington, DC, may 1990. Proceedings. p. 2409-2412.

Open GIS Consortium. OpenGIS Implementation Especification: Grid Coverages. Revision 1.0. Disponível em <<http://www.opengeospatial.org>>. Acesso em: dezembro 2008.

Pressman R. Engenharia de Software - 6a edição - McGraw-Hill Interamericana do Brasil.

Sant'Anna, S.J.S. Avaliação do desempenho de filtros redutores de "speckle" em imagens de radar de abertura sintética, São José dos Campos: INPE, novembro. 1995. 181p.

Shimabukuro, Y.E.; Duarte, V.; Moreira, M.A.; Arai, E.; Valeriano, D.M.; Anderson, L.O.; Espírito-Santo, F.D.B. Desflorestamento na Amazônia - Sistema DETER. In: Bernardo Friedrich Theodor Rudorff.; Yosio Edemir Shimabukuro.; Juan Carlos Ceballos. (Org.). **Sensor MODIS e suas aplicações ambientais no Brasil**. São José dos Campos: Editora Parêntese, 2007, v. 1, p. 389-401.

Pfleeger, S.L. Engenharia de Software: Teoria e Prática, São Paulo: Prentice Hall, 2ª edição, 2004. Capítulo 1. Sommerville, Ian. Engenharia de Software - 8a edição - Versão em Português editada pela Addison Wesley.

Rosenqvist, A.; Shimada, M.; Ito, N.; Watanabe, M. "ALOS PALSAR: A Pathfinder mission for global-scale monitoring of the environment." **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, 45, pp. 3307-3316, 2007.

Ulaby, F.T.; Moore, R.K.; Fung, A.K. Microwave remote sensing active and passive. Washington, DC, Addison-Wesley, 1989. v.2.

Vinhas, L.; Cartaxo R. Banco de Dados Geográficos. Capítulo 13, 2005, p. 506.