

Detecção de bosques de mangue em imagens de Radar de Abertura Sintética (SAR) utilizando classificador contextual baseado na frequência

Francisca Rocha de Souza Pereira¹

Milton Kampel¹

Marília Cunha-Lignon¹

¹Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Caixa Postal 515 - 12227-010 - São José dos Campos - SP, Brasil
{fran,milton,marilia }@dsr.inpe.br

Abstract: Mangrove is a typical ecosystem in tropical coastal zone and is considered important to maintain the life in these areas. To provide the sustainable use and management of mangrove it is necessary to understand the direct and indirect human impacts. The remote sensing technique is an excellent tool to use in tropical coastal zone and to provide this sustainable development. SAR image is a good alternative in the (sub) - tropical regions where cloud free conditions can be rare, because this data can be acquired day and night irrespective of weather conditions. In this article was tested the frequency- based contextual classification focusing in to detect mangrove forest in a conserved mangrove area located in the coast of São Paulo state, Brazil. For this study it was used intensity components (HH, HV, VH, VV) of PALSAR image. This classification is done in two steps. Firstly, the data were transformed in grey level vector reduced image and then it was classified. The best image was the intensity image of HH polarization and the total power intensity of all polarization. Four classes were used: mangrove, no-mangrove, urban, water. Good results were obtained in the classification and the mangrove was detected. Some misunderstanding occurred with urban class and mangrove class, because of the high backscatter in the HH polarization of these targets.

Palavras chave: zona costeira; manguezal; ALOS-PALSAR, classificação contextual baseada na frequência. Coastal zone; mangrove; ALOS-PALSAR; frequency-based contextual classification.

1. Introdução

A zona costeira tem sido muito afetada devido à ação antrópica. Esta tem degradado muitos ecossistemas naturais importantes para a manutenção da vida. O ecossistema manguezal, típico das regiões costeiras tropicais e sub-tropicais, é um ambiente dinâmico onde interagem a fauna, flora e microorganismos. Abriga um grupo florístico adaptado às condições típicas (alta salinidade, variações da maré, estrato inconsolidado e de baixa oxigenação) e sua forma e estrutura são modelados por fatores externos (Schaeffer-Novelli et al., 2000). O manejo e uso sustentável dos manguezais são possíveis com o entendimento dos impactos diretos e indiretos causados pela ação do homem, considerando o nível de organização ecológica e escala espaço-temporal do ecossistema (Schaeffer-Novelli et al., 2000). Segundo Dahdouh-Guebas (2002), uma das ferramentas importantes que auxiliam na detecção, descrição, quantificação e monitoramento das mudanças na zona costeira são as técnicas de sensoriamento remoto.

O uso de imagens de radar de abertura sintética (SAR) pode ser vantajoso em regiões tropicais, que ficam constantemente cobertas por nuvens, pois o mesmo não é atenuado pelos efeitos atmosféricos como ocorre com o sistema ótico. Algumas características do sistema SAR como ângulo de incidência, polarização e frequência influenciam o sinal que retorna para o radar. Este retroespalhamento também é influenciado pela rugosidade, constante

dielétrica e geometria do alvo. Diferentes alvos, como floresta, área urbana e corpos d'água, podem ser distinguidos nas imagens SAR devido às interações do sinal com os elementos espalhadores do alvo. Para a floresta, o sinal interage com os múltiplos elementos estruturais do dossel florestal, como folhas, galhos, troncos, etc (Townsend, 2001). Áreas alagadas quase sempre apresentam-se cobertas por vegetação, desta forma a radiação de microondas interage com a vegetação antes de interagir com o substrato. Características da cobertura vegetal como a constante dielétrica, altura, densidade e biomassa do dossel, tamanho, forma e orientação dos componentes individuais afetam o comportamento do retroespalhamento (Novo, 2006). Desta forma, a variação do retroespalhamento pode ser utilizada para a distinção da cobertura vegetal. Segundo Wang e Imhoff (1993), os principais mecanismos de espalhamento de florestas são: espalhamento superficial, espalhamento volumétrico do dossel, interação múltipla do dossel com o solo e *double bounce* referente à interação tronco e solo.

Lim et al. (2009) testaram o potencial das imagens ALOS-PALSAR para classificar a cobertura do solo no Norte da Península da Malásia, utilizando o classificador contextual baseado na frequência e classificador de rede neural, comprovando a eficácia do uso deste tipo de dado para monitoramento em regiões tropicais. Gong e Howarth (1992) testaram o classificador utilizando imagens multiespectrais do SPOT HRV, obtendo quatorze classes distintas para uma região rural limítrofe da área urbana de Toronto, Canadá, comparado com a classificação de máxima verossimilhança, o classificador contextual baseado na frequência apresentou boa eficiência principalmente em termos computacionais. O objetivo deste trabalho é investigar o potencial do uso de imagens SAR na distinção de bosques de mangue de outros alvos utilizando classificador contextual baseado na frequência, desenvolvido por Gong e Howarth (1992).

2. Metodologia de Trabalho

A área de estudo está inserida no Sistema Costeiro Cananéia-Iguape, que se localiza no extremo sul do litoral do Estado de São Paulo (Figura 1), entre as coordenadas 25°54'S e 47°56'W.

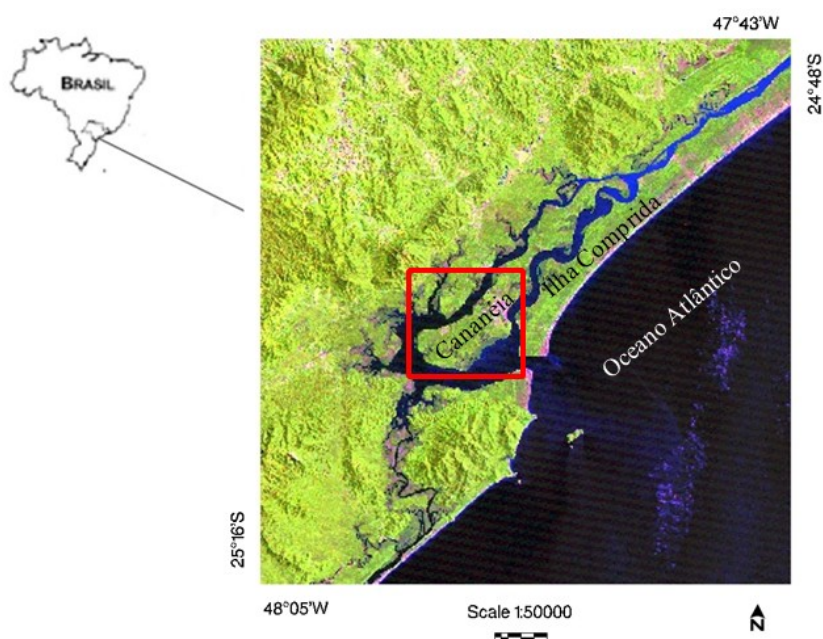


Figura 1. Localização da área de estudo (destacada em vermelho), inserida no Sistema Costeiro Cananéia-Iguape (SP). Imagem Landsat TM5 composição colorida (5R, 4G, 3B) de 05/03/2009 (Fonte: INPE).

Para Cunha-Lignon et al. (2009), que estudaram os manguezais do litoral do Estado de São Paulo, na região sul encontram-se os manguezais mais conservados do estado. São encontradas as espécies vegetais típicas de mangue *Rhizophora mangle* L., *Avicennia schaueriana* Stapf. & Leechman e *Laguncularia racemosa* (L.) Gaertn. F., assim como floresta ombrófila e vegetação de restinga.

O método de classificação contextual baseada na frequência, proposto por Gong e Howarth (1992), foi testado utilizando imagens SAR com a finalidade de destacar o manguezal de outras classes.

Foram utilizadas as componentes reais de uma cena da imagem SAR polarimétrica do *Land Observing Satellite - Phased-Array L-band Synthetic Aperture* (ALOS-PALSAR) (adquiridas pela Proposta de avaliação de dados ALOS RA# 219: “*Geoscience Applications with L-Band PALSAR data in the Tropical Environments of Brazil*”), com as seguintes características: modo ascendente, banda L (comprimento de onda ~23,5cm), ângulo de incidência ~26,5°, resolução (*ground range*) ~21m, 32bit, datada de 8/6/2009 adquirida durante a maré alta (marégrafo IO-USP base de Cananéia). Todos os processamentos foram efetuados no programa PCI-Geomatics 10.3.

Inicialmente, na etapa de pré-processamento, a imagem polarimétrica complexa no formato de matriz de espalhamento, foi filtrada, utilizando filtro específico para imagens polarimétricas (PSPOLFIL), janela 5x5, que reduz o ruído speckle da imagem enquanto preserva as informações polarimétricas e espaciais desta. A partir da imagem complexa filtrada e transformada para o formato de matriz de covariância, foram extraídas as partes reais das imagens HH, HV, VH, VV (H indica a polarização na horizontal e V a polarização na vertical; a primeira letra significa a polarização do pulso enviado pelo sensor e a segunda a polarização do pulso recebido pelo sensor). Estas foram transformadas do formato original *slant range* para o formato *grand range* utilizando algoritmo específico, dados do imageamento e do sensor obtidos por Shimada et al. (2009). As imagens foram ortorretificadas no programa OrthoEngine-PCI-Geomatics 10.3, utilizando como base planimétrica cartas do IBGE, do sistema hidrográfico e sistema viário e cartas DEM-10m como fonte altimétrica. O modelo matemático utilizado foi o *Rational Function*, proposto por Toutin (2004), utilizando 14 pontos, com erro de menos de dois *pixels*. As imagens foram reprojadas para o sistema UTM datum SAD69 zona 23, tamanho do pixel de 12,5m. Estas imagens foram recortadas para a área de interesse da classificação, englobando 844 colunas e 874 linhas. Após o pré-processamento, as imagens polarizadas HH, HV, VH, VV em intensidade (Figura 2), estavam devidamente ajustadas para serem utilizadas como entrada na classificação.

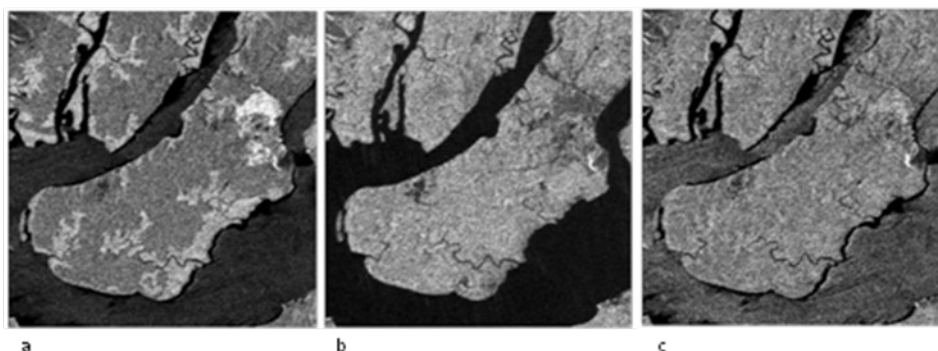


Figura 2. Imagem (ALOS-PALSAR) em intensidade referente à polarização HH (a), VH (b), VV (c). Cada polarização destaca diferentes alvos, como manguezais e área urbana mais claros na polarização HH (a).

A classificação contextual baseada na frequência proposta por Gong e Howarth (1992), é uma classificação supervisionada que utiliza a frequência de ocorrência que o valor do *pixel* ocorre dentro de uma janela de *pixels* e necessita ser efetuada em duas etapas. Primeiramente, utilizando imagens em 8bits, é necessário obter a imagem do vetor de redução do nível de cinza (*grey level vector reduction image*). Para isto é utilizado o algoritmo REDUCE. Basicamente, este procedimento permite gerar a matriz de covariância e vetor da média dos níveis de cinza das imagens originais de entrada; após isto os auto-valores e seus correspondentes auto-vetores são derivados da matriz de covariância; na seqüência, o auto-espaço é repartido em “n” partes e finalmente os valores dos números de cinza de todo *pixel* da imagem são transformados no auto-espaço e cada *pixel* é designado para um novo número de nível de cinza vetorial. Detalhes sobre a metodologia do classificador foram descritas por Gong e Howarth (1992).

No processamento foi criada a imagem com a intensidade total das quatro polarizações. Juntamente com as imagens polarizadas HH, HV, VH, VV, foram testadas e geradas várias combinações e escolhida a imagem reduzida (*grey level vector reduction image*) que melhor destacou o manguezal dos outros alvos.

A partir da imagem reduzida final foi gerada a classificação contextual baseada na frequência, utilizando o método de reamostragem do vizinho mais próximo, janela 13x13 e amostras de teste, como entrada para o classificador, previamente conhecidas em campo. Para cada classe foram obtidos *pixels* representativos. Foram escolhidas quatro classes, adaptadas de Giri et al. 2010, a saber: mangue (1.002 *pixels*), não-mangue (restinga e floresta ombrófila, com 2.010 *pixels*), água (4.432 *pixels*) e urbano (354 *pixels*). A classificação foi validada utilizando o coeficiente *Kappa* (COHEN, 1960) com um intervalo de confiança de 95% utilizando o método, gerado pelo programa, de amostras aleatórias contendo 200 pontos sobre a imagem R(HH) G(VH) B(VV) e indicadas às classes corretas pelo interprete utilizando conhecimento de campo.

3. Resultados e Discussão

A energia eletromagnética referente ao comprimento de onda da banda L (~23,5cm) possibilita a penetração no dossel florestal, proporcionando a interação com componentes da vegetação como galhos, folhas e troncos. Segundo Wang e Imhoff (1993), os mecanismos de espalhamento considerados em seu modelo que contribuem para o retroespalhamento numa floresta de mangue foram o espalhamento superficial, espalhamento volumétrico do dossel, *double bounce* da interação solo e tronco, *double bounce* da interação raízes aéreas e solo, e a interação do dossel e solo. Utilizando imagens SAR banda L-HH, Wang e Imhoff (1993) obtiveram alguns resultados em sua modelagem, constataram que o espalhamento volumétrico do dossel dominou para regiões de floresta de mangue cujo solo não estava coberto por água, diferentemente, para áreas cujo solo apresentava-se coberto por água, foi dominado pelo espalhamento *double bounce* devido a interação tronco e solo (alagado). Para este trabalho não foi analisado o mecanismo de espalhamento dominante.

Pode-se observar que na imagem em intensidade HH (Figura 2a) é possível destacar os bosques de mangue das florestas de restinga adjacentes. As outras imagens polarizadas, VH ou HV e VV, o mangue e a restinga são menos distinguíveis. Devido a confusão entre os alvos restinga e mangue optou-se por escolher o produto reduzido que melhor destaque o mangue dos outros alvos ao seu entorno. A imagem reduzida que apresentou melhor resultado para a classificação foi obtida pela combinação da imagem HH e da imagem intensidade total das quatro polarizações. No entanto, pode-se observar que para a polarização HH ocorreu forte retroespalhamento referente à área urbana, o que pode gerar confusão com o mangue. A Figura 3 mostra a composição colorida das imagens em intensidades R(HH) G(HV) B(VV) destacando em magenta, os bosques de mangue apresentando-se em formato irregular fazendo

contorno com as gamboas (canais de maré). Pode-se observar a área urbana destacada em cor rosa, demonstrando o forte retroespalhamento deste alvo na imagem HH (Figura 3). Os alvos como os corpos d'água são dominados pelo espalhamento especular, devido a alta constante dielétrica da água e sua superfície ser praticamente lisa o que proporciona este tipo de comportamento. Como pode-se observar na Figura 3 os corpos d'água aparecem escuros na imagem, indicando que pouca energia retorna para o radar. A polarização VV apresentou maior retroespalhamento para este alvo comparado com as outras polarizações (Figura 2c).

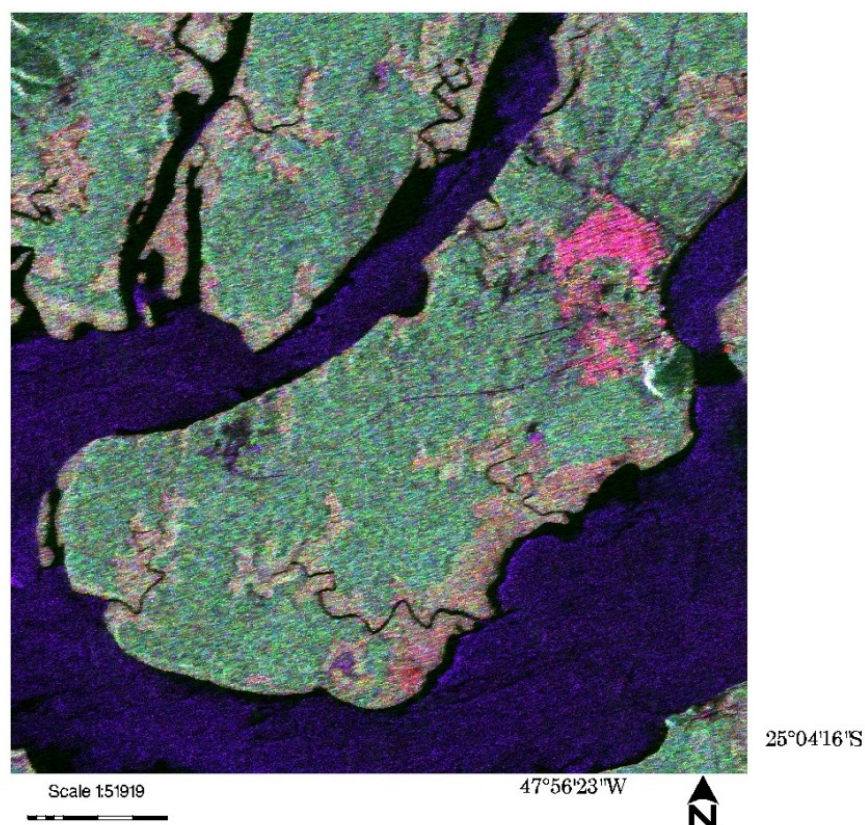


Figura 3. Composição colorida R(HH) G(HV) B(VV) da imagem em intensidade referente ao recorte da imagem ALOS-PALSAR de 08/06/2009.

A Figura 4 mostra o resultado da classificação contextual baseada na frequência. A Figura 5 destaca a classe mangue sobre uma combinação colorida da imagem em intensidade R(HH) G(HV) B(VV). Como resultado da classificação contextual baseada na frequência utilizando as quatro classes, mangue, não-mangue, água e urbano foram classificados 105.502 *pixels* para a classe mangue, 328.436 *pixels* para a classe não-mangue, 276.697 para a classe água e 6.549 *pixels* para a classe urbano (20.472 perdidos devido a não classificação da borda na imagem).

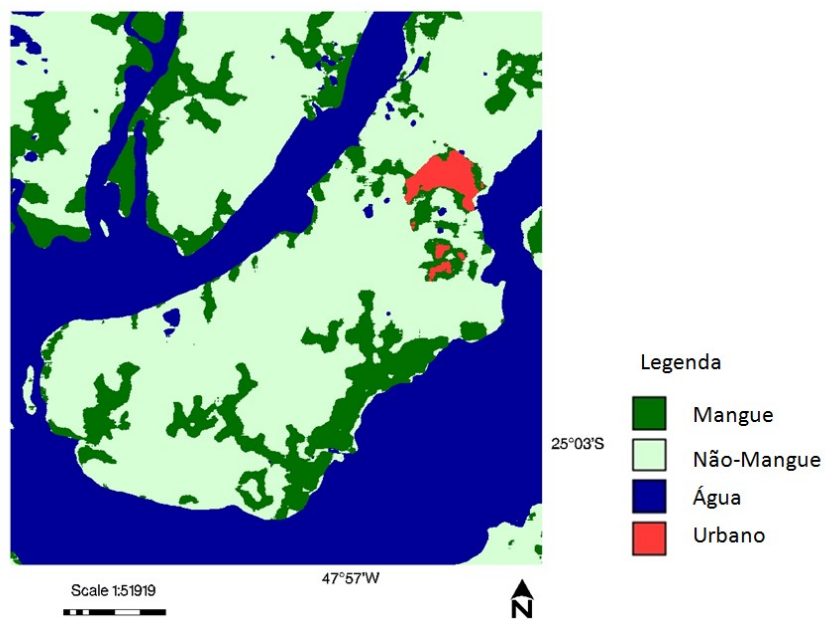


Figura 4. Resultado da classificação contextual baseada na frequência, identificação de quatro classes, mangue, não-mangue, água e área urbana.

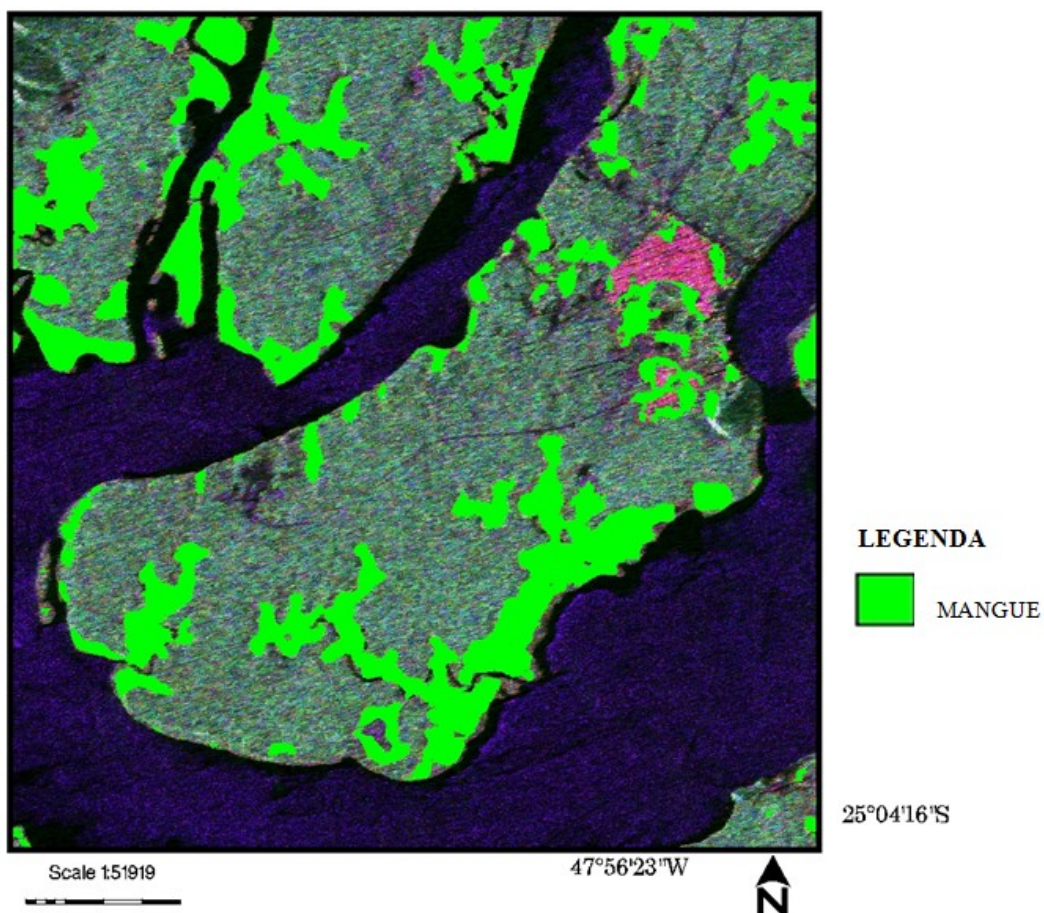


Figura 5. Destaque para a classe mangue (verde) sobre uma combinação R(HH) G(HV) B(VV) da área de estudo. Classe obtida por meio da classificação contextual baseada na frequência.

Na etapa de pós-classificação foi verificada a acurácia da classificação por meio de 200 pontos aleatórios, método do programa PCI, obtendo valor de 87% para a acurácia total e *Kappa* de 0,8%. Analisando a matriz de confusão pode-se verificar que a classe mangue apresentou pouca confusão com as outras classes, porém estes erros devem ser considerados. Na Figura 6 são destacadas algumas das regiões que foram erroneamente classificadas. Regiões que foram classificadas como não-mangue e na realidade são pertencentes a classe mangue (Figura 6a e b). Na região de não-mangue classificada como água (Figura 6c e d), também pode-se observar que ocorreu confusão na classificação de parte das gamboas que foram englobadas na classe mangue (Figura 5). O retroespalhamento alto na imagem em intensidade HH para os alvos como o mangue (floresta alagada) e área urbana, possibilitou ocorrer confusão entre estas classes, como pode ser observada na Figura 6e a região classificada como mangue pertencendo à classe urbano.

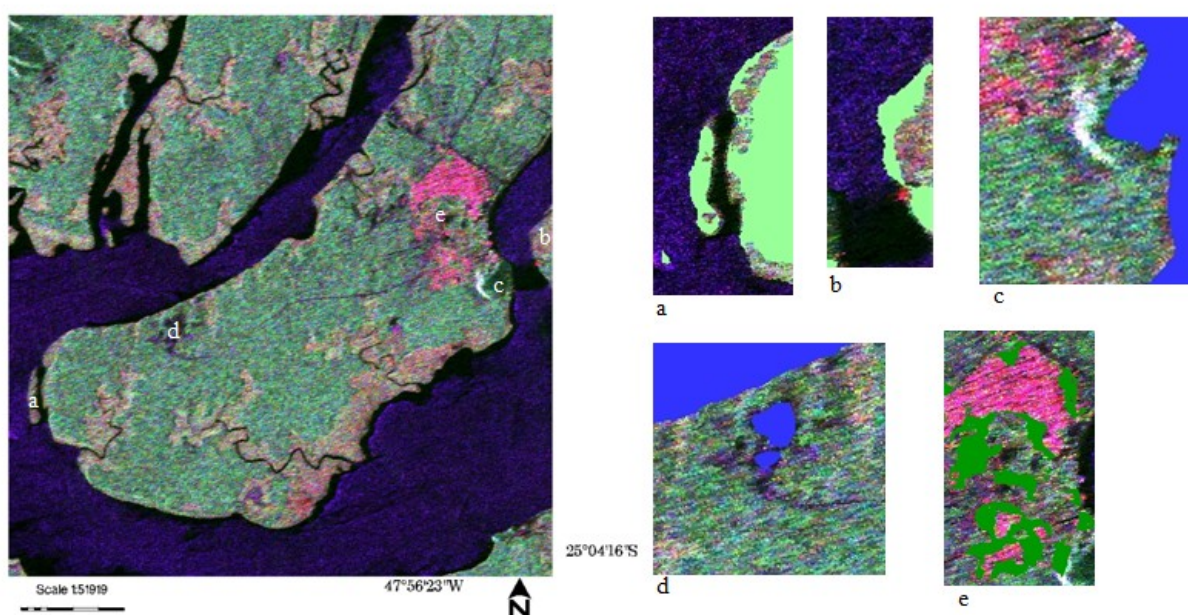


Figura 6. Destaque para as regiões classificadas erroneamente pelo classificador contextual baseada na frequência: (a) ilha de manguezal e (b) ponta coberta por bosque de mangue, ambas classificadas como não-mangue; (c) morro e (d) área desmatada com presença de construção, ambas classificadas como água; (e) área urbana classificada como mangue. Imagem maior: composição colorida R(HH) G(HV) B(VV) (imagem em intensidade).

4. Conclusões

No presente estudo foi testada a classificação contextual baseada na frequência em imagens SAR do sensor PALSAR, objetivando destacar bosques de mangue em uma região que apresenta extensa e importante área conservada do ecossistema.

Foi observado que imagens SAR banda L, principalmente para a polarização HH, apresentam potencial para destacar bosques de mangue de outros alvos, ocorrendo mais equivoco com o alvo urbano.

5. Agradecimentos

Ao Prof. Dr. Waldir Paradela, do INPE, pelas imagens adquiridas através do projeto ALOS RA# 219 “*Geoscience Applications with L-Band PALSAR data in the Tropical Environments of Brazil*”. Pereira, F.R.S. é bolsista CAPES. Ao Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE) pela disponibilidade das cartas planimétricas digitalizadas.

6. Referências Bibliográficas

Cunha-Lignon, M.; Menghini, P.R.; Santos, L.C.M.; Niemeyer-Dinóla, C.; Shaeffer-Novelli, Y. Estudo de caso nos manguezais do Estado de São Pulo (Brasil): Aplicação de ferramentas com diferentes escalas espaço-temporais. **Revista da Gestão Costeira Integrada** v.9, p.79-91, 2009.

Cohen, J. A Coefficient of agreement for nominal scales. **Educational and Measurement**. v. 20, n. 1, p. 37-46, 1960.

Dahdouh-Guebas, F. The use of remote sensing and gis in the sustainable management of tropical coastal ecosystems. **Environment, Development and Sustainability**. v.4 p.93-112. 2002.

Giri, C.; Oching, E.; Tieszen, L.L.; Zhu, Z.; Singh, A.; Loveland, T.; Masek, J.; Duke, N. Status and distribution of mangrove forest of the world using earth observation satellite data. **Global Ecology and Biogeography**. doi: 10.1111/j.1466-8238.2010.00584.x , p. 1-6, 2010.

Gong, P.; Howarth, P. J.; Frequency-based contextual classification and gray-level vector reduction for land-use identification. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, v. 58, p. 423-437, 1992.

Novo, E. M. L. M. Bases teóricas para o uso de imagens SAR no estudo de áreas alagadas. In: SIMPÓSIO DE GEOTECNOLOGIAS NO PANTANAL, 1. (GEOPANTANAL), 2006, Campo Grande. **Anais...** Campinas: Embrapa Informática Agropecuária; São José dos Campos: INPE, 2006. p. 883-894. CD-ROM. ISBN 85-17-00029-3. Disponível em: <<http://urlib.net/sid.inpe.br/mtc-m17@80/2006/12.08.13.45>>. Acesso em: 26 fev. 2010.

Toutin, T. Review article: Geometric processing of remote sensing images: models, algorithms and methods. **International Journal of Remote Sensing**, v.25, n.10, p.1893-1924, 2004.

Townsend, P.A. Estimating forest structure in wetlands using multitemporal SAR. **Remote Sensing of Environment**. v.79, p. 288-304, 2002.

Shaeffer-Novelli, Y.; Cintrónomolero, G.; Soares, M.L.G.; De-Rosa, T. Brazilian mangroves. **Aquatic Ecosystem Health and Management**, v.3, p. 561-570, 2000.

Shimada, M.; Isoguchi, O.; Tadono, T.; Isono, K. Palsar Radiometric and geometric Calibration. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, p.1-18, 2009.

Wang, Y.; Imhoff, M. L. Simulated and observed L-HH radar backscatter from tropical mangrove forest. **International Journal of Remote Sensing**, v.14, n.15, p.2819-2828, 1993.

Lim, H. S.; Mat Jafri, M.Z.; Abdullah, K.; Mohd.Saleh, N. Analysis of land covers over northern peninsular Malaysia by using ALOS-PALSAR data based on frequency-based contextual and neural network classification technique. In: Simpósio ALOS PI Symposium, Greece, 2008. **Anais...** ESA SP-664, Island of Rhodes, Grecia, 2009.

Tábua de maré- IO USP base de Cananéia- disponível no sítio eletrônico <<http://www.mares.io.usp.br/tabua/2009>> acesso em 04/05/2010.