

# AVALIAÇÃO DE FUSÃO DE IMAGENS ÓPTICAS E MICROONDAS NO MAPEAMENTO DE MORFOLOGIAS LACUSTRES

*Evaluation of merged optical and microwave images used in morphological lake mapping*

**Andreia Maria da Silva França<sup>1</sup>**  
**Teresa Galloti Florenzano<sup>2</sup>**  
**Evlyn Márcia Leão de Moraes Novo<sup>2</sup>**

**<sup>1</sup>UnB – Universidade de Brasília**  
**Instituto de Geociências**  
Campus Universitário Darcy Ribeiro  
CEP: 70910-900 Brasília-DF  
geo\_andrass@yahoo.com.br

**<sup>2</sup>INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais**  
**Divisão de Sensoriamento Remoto**  
Av. dos Astronautas, 1758 – Jardim da Granja  
CEP: 12227-010 São José dos Campos-SP  
[teresa, evlyn]@ltd.inpe.br

## RESUMO

Diferentes tipos de informação sobre os lagos da planície amazônica podem ser extraídas de imagens obtidas de sistemas sensores ópticos e de microondas. Enquanto imagens ópticas fornecem informações sobre as características físico-químicas dos alvos, as imagens de radar geram informações sobre as características dielétricas, a textura e a geometria dos alvos. A técnica de fusão dessas imagens pode então aumentar a separabilidade entre alvos em classificações numéricas e facilitar a interpretação visual das feições geomorfológicas. Este trabalho tem como objetivo avaliar o uso desta técnica no mapeamento das feições lacustres como contribuição à caracterização morfológica e genética dos lagos fluviais. Para isto, foram processadas, analisadas e avaliadas as imagens do TM-LANDSAT e do mosaico JERS-1/GRFM – Global Rainforest Mapping Project. Os resultados indicaram que a fusão dessas imagens é tecnicamente viável para a caracterização das morfologias lacustres.

**Palavras chaves:** Caracterização morfológica de lagos, Planície Amazônica, Fusão de imagens, Radar, Imagens Ópticas.

## ABSTRACT

Different kinds of information about the lakes can be extracted from these images. Whereas optical images provide information about physical and chemical characteristics of the targets, the radar images provide information about dielectric, textural and geometric characteristics of the targets. The image merging technique facilitates the visual interpretation of geomorphology patterns and optimizes discrimination between targets in numerical classifications. The objective of this paper is to evaluate the potential of this technique to map Amazon lakes. To do this, LANDSAT-TM and JERS-1 data were processed, analysed and evaluated. The results indicated the fusion of these images is technically viable in the characterization of lake morphology.

**Keywords:** Morphologic characterization, Amazon floodplain, image merging, Radar, Optical images.

## 1. INTRODUÇÃO

A bacia Amazônica é um dos sistemas fluviais mais importantes do mundo. Vários aspectos fazem

desta bacia uma área de particular interesse para as pesquisas de ambientes fluviais, principalmente porque sua área de drenagem, com aproximadamente 6,5 milhões de km<sup>2</sup> (SILVA *et al.*, 1976), comporta uma das mais espetaculares regiões fitogeográficas, a Floresta Amazônica, a qual concentra grande parte da biodiversidade do planeta.

Estima-se que a superfície ocupada por apenas um dos tipos de ecossistemas alagáveis da Amazônia, a planície de inundação dos grandes rios da Amazônia central, possui uma área de aproximadamente 300.000 km<sup>2</sup> (JUNK & WEBER, 1996; MELACK, 1984). Este ecossistema comporta um complexo sistema de lagos de distintos tipos, os quais formam um intrincado mosaico que sustenta uma grande biodiversidade, assim como possui um papel fundamental no comportamento morfo/hidráulico do sistema fluvial principal, o Rio Solimões/Amazonas.

Vários pesquisadores destacam a importância dos sistemas lacustres na questão do manejo dos recursos hídricos na Amazônia (MELACK, 1984; SIEPPEL *et al.* 1992). Estes ambientes, de acordo com SIEPPEL *et al.* (1992) ocupam cerca de 11% da calha do Rio Amazonas que inclui 62.000 Km<sup>2</sup> de várzea.

O estudo destes sistemas lacustres é de fundamental importância na compreensão dos processos da dinâmica fluvial do rio Amazonas, pois se comportam como um grande sistema físico aberto, recebendo e transferindo energia simultaneamente. Os lagos armazenam a água e os sedimentos transportados pelo rio durante as cheias, possibilitando o equilíbrio do sistema como um todo e atuando como berço para uma grande biodiversidade aquática.

Suas grandes dimensões, sua dinâmica sazonal e principalmente a dificuldade de acesso limitam o conhecimento sobre tais áreas, o que faz do Sensoriamento Remoto uma forma viável para sua caracterização e monitoramento (NOVO *et al.*, 1998; BARBOSA *et al.*, 2000).

As imagens de sistemas ópticos e de radar possibilitam identificar formas de lagos, a partir das quais pode-se deduzir seus processos de origem. As imagens ópticas fornecem informações sobre as características físico-químicas dos alvos, enquanto as imagens de radar geram informações sobre as características dielétricas, a textura e a geometria dos alvos (ROSOT, 2001). A fusão destas imagens auxilia na identificação e mapeamento de certas feições hidrogeomorfológicas tais como: canais, lagos e extensão de área inundada, pois permite explorar os diferentes conteúdos de informação sobre os alvos imageados, facilitando a interpretação visual das feições e melhorando a separabilidade entre classes a partir do uso de classificações numéricas.

É nesse contexto que se insere esta pesquisa que teve como objetivo a caracterização da morfologia lacustre a partir de fusão de imagens ópticas e de radar visando contribuir para o conhecimento da origem dos lagos e seu papel nos ciclos biogeoquímicos dos ecossistemas alagáveis da Amazônia.

A fim de atingir tal objetivo, foram analisadas duas imagens: (1) uma sub-cena do TM-LANDSAT-5 com resolução espacial de 30 m, correspondente a época de vazante; (2) uma sub-cena do mosaico GRFM – Mapeamento Global de Florestas Alagáveis – JERS -1, da Amazônia, adquirida durante a vazante do Rio Amazonas. Esse mosaico de imagens da banda L foi gerado na resolução espacial de aproximadamente 100 m. As duas imagens foram processadas no software SPRING (Sistema de Processamento de Informações Georeferenciadas).

## 2. OBJETIVOS

Os objetivos desta pesquisa foram: (1) avaliar o desempenho das imagens GRFM/JERS-1 e fusão óptico-radar (IHS) na discriminação de alvos identificados em campo e (2) avaliar a técnica de classificação ISOSEG na definição das feições lacustres nas imagens TM-LANDSAT-5 (4, 5 e 7); GRFM/JERS - 1 (banda L); multisensor (L, TM5 e 4) e fusão RGB - IHS (5R4G3B - L14H3S).

## 3. ÁREA DE ESTUDO

A área selecionada para o desenvolvimento desta pesquisa é denominada de Lago Grande de Curuaí e está localizada ao longo do baixo Amazonas, a Sul da cidade de Óbidos, no estado do Pará. Ela situa-se entre os paralelos 01° 57' e 02° 22' de latitude sul e os meridianos 55° 56' e 55° 03' a oeste de Greenwich (Figura 1).

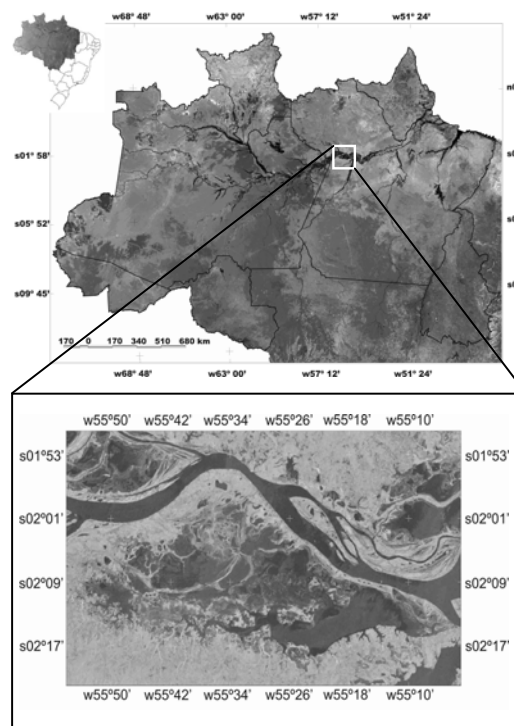


Fig. 1: Carta imagem da área de estudo – Lago Grande de Curuaí. Imagem do mosaico GRFM/JERS1 datado de Agosto/Setembro de 1995.

Segundo BARBOSA *et al.*, (2003) esta área é caracterizada como uma planície fluvial inundável sujeita ao regime sazonal de águas do rio Amazonas. Durante o período de nível máximo das águas do Amazonas (Maio/Julho), elas extravasam para a várzea aumentando o volume do lago e alterando sua composição. Com isso, o lago aumenta gradualmente sua profundidade e sua superfície, coalescendo com lagos adjacentes. Já durante o período de nível mínimo das águas (Outubro/Dezembro) os canais de conexão entre o rio Amazonas e o lago são praticamente interrompidos, baixando drasticamente o nível d'água do lago.

#### 4. MATERIAIS E MÉTODOS

Os procedimentos metodológicos desta pesquisa compreendem as seguintes etapas: (1) trabalho de campo; (2) registro e fusão das imagens TM-LANDSAT-5 e GRFM/JERS-1; (3) segmentação e classificação das imagens – GRFM/JERS-1, TM (3, 4, 5 e 7) e imagens fusão; e (4) análise dos resultados.

Para a realização desta pesquisa foram utilizadas duas imagens:

- Uma sub-cena do sensor TM-LANDSAT-5 correspondente à época de vazante, cujas características são apresentadas na Tabela 1:

TABELA 1: CARACTERÍSTICAS DA IMAGEM TM/LANDSAT-5.

Data	Sensor	Órbita/ Ponto	Bandas	Res. Espacial
10/95	TM	228/61	3,4,5 e 7	30 m

- Uma sub-cena do mosaico GRFM – Mapeamento Global de Florestas Alagáveis da Amazônia, adquirida durante a vazante do Rio Amazonas, sendo suas características apresentadas na Tabela 2:

TABELA 2: CARACTERÍSTICAS DA IMAGEM DO MOSAICO GRFM/JERS-1.

Data	Banda/ Polarização	Âng. Incidên.	Res. Espacial Reamostrada
09- 11/95	L/HH	34 – 43°	100 m

Utilizou-se o software SPRING na construção do banco de dados geográfico e na integração de todas as informações disponíveis da área de estudo. O sistema SPRING possui um módulo de processamento de

imagens, que inclui algoritmos de segmentação, e integra formato raster e vetorial em um mesmo ambiente (Câmara et al. 1996). Descreve-se a seguir os procedimentos metodológicos utilizados:

#### 4.1 Trabalho de campo

Realizado no período de 03 a 12 de Fevereiro de 2004 o trabalho de campo teve como finalidades principais o reconhecimento da área de estudo (Lago Grande de Curuaí) e verificação das informações obtidas através da interpretação de imagens em gabinete.

Em campo os pontos onde observou-se alvos que poderiam influenciar na definição das margens dos lagos amazônicos foram registrados – fotografados e localizados por GPS (Global Positioning System) - e posteriormente em gabinete foram inseridos num banco de dados no ambiente do sistema SPRING para dar suporte à definição dos padrões de interpretação.

#### 4.2 Registro, fusão IHS e composição colorida multisensor das imagens TM/Landsat-5 e GRFM/JERS-1

As imagens do mosaico GRFM/JERS-1 já estavam georreferenciadas com projeção cartográfica UTM/SAD69 (BARBOSA *et al.*, 2000) e serviram como base para o registro das imagens TM-LANDSAT-5.

Na geração da composição colorida multisensor (RGB) a imagem SAR, banda L, foi associada à cor vermelha (R), enquanto as imagens das bandas TM5 e TM4 do satélite TM-LANDSAT-5 foram associadas, respectivamente, às cores verde (G) e azul (B).

Além dessa composição multisensor foi gerada a fusão das imagens (óptica e microondas) a partir da técnica de transformação IHS. As imagens TM, bandas 3, 4 e 5 foram transferidas do espaço RGB para o espaço IHS. Na transformação inversa, o canal (I) *intensidade* foi substituído pela imagem GRFM/JERS-1.

#### 4.3 Segmentação e classificação das imagens

A segmentação de imagens é uma tarefa básica no processo de análise de imagens: a imagem é particionada em regiões que devem corresponder às áreas de interesse da aplicação. Entende-se por regiões um conjunto de pixel contíguos, que apresentam uniformidade em relação a um dado atributo, tais como nível de cinza, parâmetros estatísticos e textura (BINS et al., 1996).

Para iniciar este processo, o usuário deve fornecer dois limiares: similaridade e área mínima. A similaridade define a diferença mínima entre o valor de um pixel e o valor médio da região contígua a ele, para que este pixel possa ser agrupado a esta região. Se a diferença entre o valor de pixel e a média da região vizinha for maior que o valor de similaridade definida pelo usuário, o pixel não será agrupado a aquela região.

A área mínima define o menor tamanho de região permitida pelo usuário, ou seja, não haverá regiões com área em pixel menor do que o valor definido pelo usuário (BARBOSA et al., 2000). A técnica de segmentação de imagem utilizada é a de “crescimento de regiões”. Esta técnica é um processo interativo pelo qual os pixels vão sendo agrupados segundo algum critério de similaridade, formando regiões (BINS et al., 1996).

Após a segmentação, foram classificadas as imagens JERS-1 (banda L), as imagens TM-LANDSAT-5 (4, 5 e 7); as imagens multiesensor (banda L e bandas TM 4 e 5) e as imagens resultantes da fusão RGB - IHS (5R4G3B – LI4H3S).

Na classificação das regiões da imagem segmentada utilizou-se a técnica de classificação não-supervisionada ISOSEG (BARBOSA et al., 2000). Em uma classificação não-supervisionada, o usuário deve fazer uma identificação à posterior das classes resultantes. Uma análise visual das imagens originais, do resultado de classificação e de informações adicionais disponíveis para algumas áreas, permite esta identificação (BARBOSA et al., 2000).

Este tipo de classificação, na qual o algoritmo de classificação avalia em que classe alocar cada região em função de seus atributos estatísticos, mostrou-se mais adequada neste experimento, devido: (1) à grande variabilidade de ambientes; (2) tipos de cobertura dentro da área de estudo e (3) insuficiência de dados de campo.

#### 4.4 Análise dos resultados

Nesta etapa uma análise qualitativa foi realizada do resultado obtido da técnica de classificação. Após a classificação foi elaborado o mapeamento de classes o qual permitiu transformar a imagem classificada (categoria imagem) em um mapa temático raster (categoria temático). Este mapa temático raster foi convertido para uma representação vetorial a fim de extrair o contorno das margens dos lagos e otimizar a análise qualitativa.

### 5. RESULTADOS

Os dados coletados em campo foram posteriormente inseridos no banco de dados geográfico para dar suporte à definição dos padrões de interpretação e avaliar qualitativamente o desempenho das imagens GRFM/JERS-1 e fusão óptico-radar (IHS) na discriminação dos principais alvos identificados – banco de macrófitas, vegetação inundável de menor porte e margens emersas - e que poderiam influenciar na definição das margens dos lagos amazônicos (Figura 2).

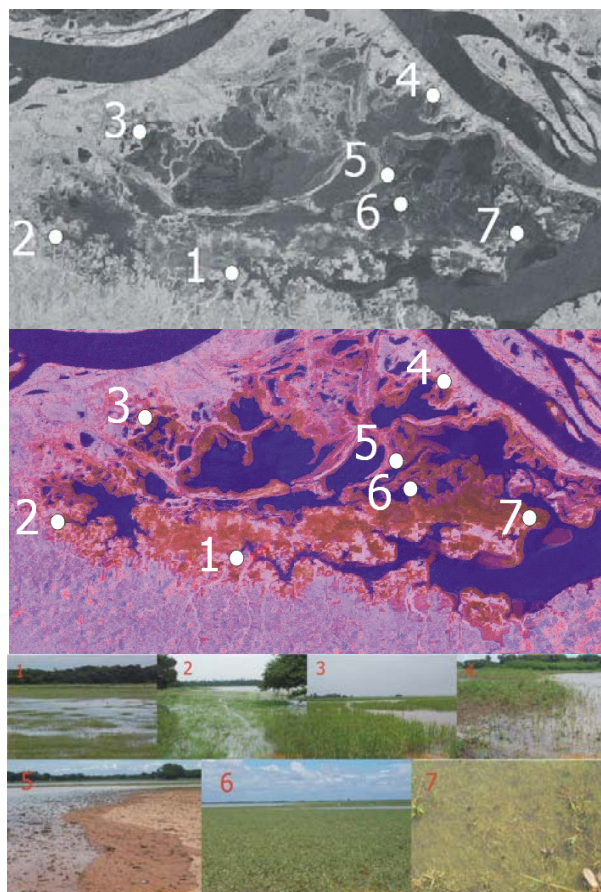


Fig. 2: Imagem GRFM/JERS-1, Fusão RGB - IHS (5R4G3B – LI4H3S) e respectivos alvos identificados em campo (Fotos 1, 2, 3 e 7 – vegetação de menor porte inundável; 4 e 5 – margens emersas e 6 – banco de macrófitas).

Na imagem fusão a água aberta apresenta-se em azul, banco de macrófitas e vegetação inundável em marrom. A interpretação destes dados permitiu observar que as classes vegetação inundável/banco de macrófitas e terra firme são bem diferenciadas na imagem fusão o que não ocorre na imagem de radar em que os níveis digitais desses alvos são semelhantes o que poderá influenciar os algoritmos de classificação, não produzindo, portanto, um bom resultado em mapeamentos de feições lacustres.

Estes resultados insatisfatórios obtidos na classificação aplicada a estas imagens podem ser explicados devido: (1) à restrição oferecida pelos dados SAR de frequência única do JERS-1 (Hess et al, 1990); (2) reamostragem da resolução espacial aplicadas as imagens originais (SAR/JERS-1) de 12,5 m x 12,5 m para aproximadamente 100 m x 100 m; (3) conversão de 16 para 8 bits e; (4) profundidade de penetração da radiação de microondas na banda L, permitindo que a radiação atinja a superfície da água abaixo das macrófitas e da vegetação inundável.

Após o registro da sub-cena do TM/Landsat-5 a partir do mosaico GRFM/JERS-1 realizaram-se vários testes de segmentação por “Crescimento de regiões”, a

fim de extrair as feições de interesse, ou seja, as morfologias lacustres.

A escolha dos melhores limiares é realizada de maneira empírica. Assim, vários testes realizados indicaram a necessidade do uso de limiares diferentes nas imagens avaliadas nesse trabalho. A individualização das feições, durante o processo de segmentação, é influenciada por: (1) características dos dados de sensores; (2) data da coleta dos dados; (3) características da área de estudo e (4) parâmetros de processamento de imagens definidos. Por isso a definição dos melhores limiares é realizada de maneira iterativa.

A tabela 3 apresenta os melhores resultados de limiares aplicados na segmentação das imagens.

TABELA 3: Resultados de limiares aplicados na segmentação das imagens

Imagem	Limiar de similaridade	Limiar de área
SAR – Banda L	8	10
TM – Bandas 475	20	80
Fusão SAR/TM – Bandas L54	20	80
Fusão SAR/TM – IHS	30	200

Após a segmentação, realizou-se a classificação das imagens avaliadas. O classificador ISOSEG é um dos algoritmos disponíveis no SPRING para classificar regiões de uma imagem segmentada. É um algoritmo que procura agrupar regiões, a partir de uma medida de similaridade entre elas e utiliza os atributos estatísticos das regiões, a matriz de covariância e o vetor de média, para estimar o valor central de cada classe (Bins et al., 1996).

A Tabela 4 apresenta os melhores resultados de limiares aplicados na classificação “ISOSEG”.

TABELA 4: Limiares aplicados na classificação das imagens

Imagem	Limiar de classificação
SAR – Banda L	75%
TM – Bandas 475	99.9%
Fusão SAR/TM – Bandas L54	95%
Fusão SAR/TM – IHS	95%

O mapeamento das classes realizado após as classificações permitiu a conversão das imagens classificadas (categoria imagem) em seus respectivos mapas temáticos raster (categoria temático). Estes

mapas temáticos raster foram convertidos para representações vetoriais a fim de extrair o contorno das margens dos lagos e otimizar a análise qualitativa através de uma simples inspeção visual. Os resultados dessa conversão, para um trecho representativo da área de estudo, estão apresentados nas Figuras 3, 4, 5 e 6.

O melhor resultado na caracterização das morfologias lacustres foi obtido classificando-se apenas a imagem TM-LANDSAT-5 (Figura 3), porém a cobertura de nuvens, uma constante na região, poderá interferir no desempenho do algoritmo de classificação e conseqüentemente na perda da informação digital não sendo possível, portanto, individualizar alguns alvos que sem cobertura de nuvens seriam facilmente identificados pelo classificador como, água aberta e vegetação inundável.

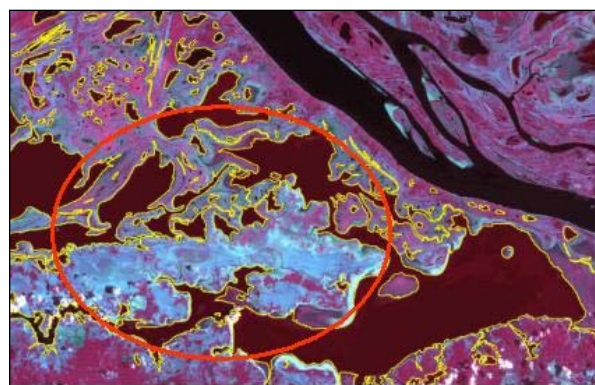


Fig. 3: Representação vetorial (linha amarela) dos contornos das margens lacustres para a imagem TM/Landsat composição colorida RGB-475.

Esse desempenho deve-se em parte à maior resolução espacial (30 metros) dos dados TM, em relação à resolução reamostrada para 100 m da sub-cena do mosaico GRFM – Mapeamento Global de Florestas Alagáveis – JERS-1, interferindo no resultado deste experimento.

Os resultados provavelmente seriam melhores se fosse preservada a resolução espacial original (18 m) da imagem SAR/JERS-1, utilizada no produto de fusão e composição multisensor. O mosaico GRFM foi utilizado devido principalmente à sua fácil disponibilidade.

É necessário, portanto, avaliar nas imagens JERS-1 a perda de informação, no mapeamento e conseqüentemente na análise quantitativa das morfologias lacustres, em decorrência da degradação da resolução espacial aplicada às imagens JERS-1 na montagem do mosaico GRFM.

Como o uso de sensores ópticos em regiões tropicais é limitado, devido à alta taxa de cobertura de nuvens, sistemas utilizando radares de abertura sintética (SAR) tem sido a solução alternativa para o mapeamento de áreas alagáveis nestas regiões (BARBOSA et al., 2000). Entretanto, a imagem GRFM/JERS-1 banda L, não proporcionou um bom resultado durante a classificação da caracterização das morfologias lacustres (Figura 4). Os níveis digitais dos



lagos de água aberta são similares aos das margens emersas, onde a vegetação inundável encontra-se em estado senescente, em transição para a vegetação terrestre (Figura 2). O uso de uma única data, portanto limita a aplicabilidade das imagens JERS-1 para estudos dessa natureza.

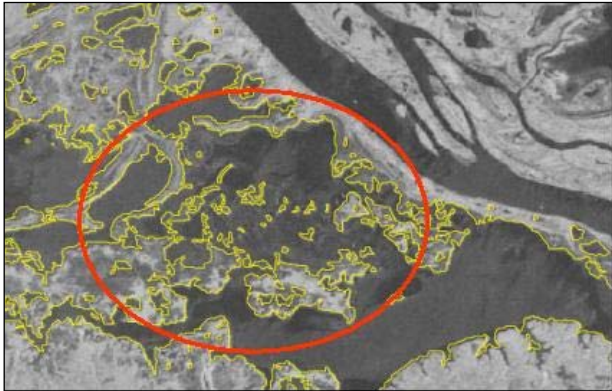


Fig. 4: Representação vetorial (linha amarela) dos contornos das margens lacustres para a imagem GRFM/JERS-1, SAR banda L.

As técnicas de fusão de imagens ajudaram na identificação e mapeamento das classes de interesse (água, vegetação de menor porte inundável e terra firme) (Figura 2, 5), pois permitiram explorar os diferentes conteúdos de informação sobre os alvos imageados, facilitando a interpretação visual das feições e melhorando a separabilidade entre classes.

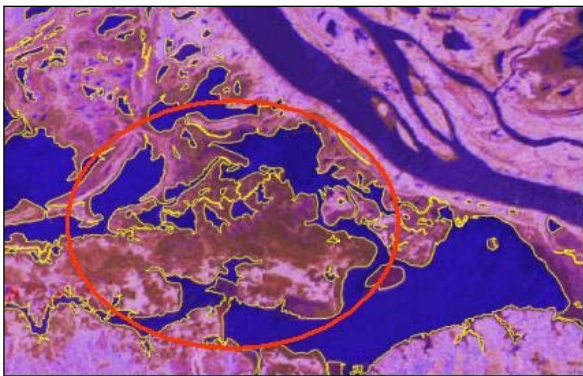


Fig. 5: Representação vetorial (linha amarela) dos contornos das margens lacustres para a imagem Fusão IHS (5R4G3B - LI4H3S).

A fusão composição multisensor, banda L SAR (R), banda TM5 (G) e banda TM4 (B), permitiu uma boa definição das margens emersas em que a vegetação inundável encontra-se em estado senescente, entretanto poderá haver perda da informação digital devido a cobertura de nuvens (Figura 6).

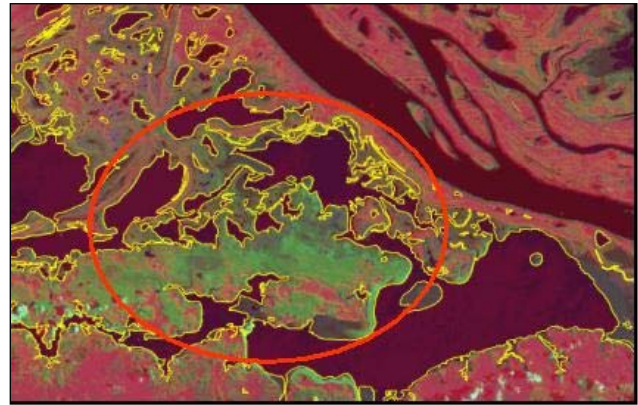


Fig. 6: Representação vetorial (linha amarela) dos contornos das margens lacustres para a imagem composição multisensor SAR banda L, TM5 e TM4.

O produto híbrido “GRFM/JERS-1 – TM/Landsat-5” obtido pela transformação IHS possibilitou, em geral, uma boa separabilidade entre as classes estudadas, bem como pode evitar a perda de informação conseguinte da cobertura de nuvens.

## 6. CONCLUSÃO

Com base nos resultados obtidos e discutidos nesta pesquisa pode-se afirmar que a integração de imagens de sensores de microondas e óptico é tecnicamente viável para o mapeamento das feições de interesse, ou seja, as morfologias lacustres.

A fusão das imagens GRFM/JERS-1 e TM-LANDSAT-5 permitiu um aumento na discriminação de alvos identificados em campo em relação àquela obtida para a imagem GRFM/JERS-1 referente a uma única data.

Embora o desempenho da classificação “ISOSEG” nas imagens fusão, ter sido inferior em relação à imagem do TM isoladamente, algumas classes puderam ser melhor discriminadas nesses produtos híbridos. É o caso, por exemplo, da discriminação entre a classe de água aberta e vegetação inundável senescente.

Na falta de dados SAR de multi-polarização e multi data, a integração de dados SAR com ópticos favorece a identificação e mapeamento das morfologias lacustres, pois explora os diferentes conteúdos de informação sobre os alvos imageados, facilitando sua interpretação visual.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BARBOSA, C; HESS, L.; NOVO, E. M. L. M. Mapping amazon basin wetlands through region growing segmentation and segmented-based classification JERS-1 data. IX Simpósio Latino Americano de Percepção Remota y Sistemas de Informacion Espacial. P. 1165-1176, 2000. **Anais**.

BINS, L. S.; FONSECA, L. M. G.; ERTHAL, G. J.; Mitsuo II, F. Satellite Imagery Segmentatio: A region Growing Approach. VII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Salvador, Brasil, 1996. **Anais**.

CÂMARA, G., SOUZA, R.C.M., FREITAS U.M., GARRIDO. SPRING: Integrating remote sensing and GIS by object oriented data modelling. J. Computers & Graphics, 20: (3) 395, May Jun 1996.

JUNK, W. S.; WEBER, G. E. Amazonian Floodplains: a limnological perspective. **Verth int. Ver Limnol.** n. 26: 149-157, 1996.

MELACK, J. M. Amazon floodplain lakes: Shape, fetch, and stratification. **Verth int. Ver Limnol.** v. 22, p. 1278-1282, Oct. 1984.

NOVO, E. M. L. M.; SHIMABUKURO, Y. E.; MERTES, L. O rio Amazonas em mozaico. **Ciência hoje.** v. 24, n. 144, p. 59-61, Nov. 1998.

ROSOT, N. C. Integração de imagens de sensores de microondas e ópticos para fins de mapeamento e classificação de reflorestamentos no sul do Brasil. SC. 207p. **Tese** (Doutorado em Engenharia de Produção) – UFSC, 2001.

SIEPPEL, S. J.; HAMILTON, S. K.; MELACK, J. M. Inundation area and morphometry of lakes on the Amazon River floodplain. **Arch. Hydrobiol.** v. 123, p. 385-400, 1992.

SILVA, G. G. et al. **Folha SA-21 Santarém. Projeto RADAM.** Rio de Janeiro. DNPM. Recursos Naturais. V. 10, 1976.