

Classificação digital de imagem JERS-1 para identificação de lagoas na baixa Nhecolândia-MS

Alessandra Rodrigues Gomes¹

Luciana de Souza Soler²

Adriana Gomes Affonso²

Mário Luis Assine¹

¹ Universidade Estadual Paulista - UNESP

Av. 24-A, 1515 – Bela vista

13506-900 – Rio Claro, SP, Brasil

agomes, assine { @rc.unesp.br }

² Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE

Av. dos Astronautas, 1758 - Caixa Postal 515

12201-970 - São José dos Campos, SP, Brasil

lsoler@dpi.inpe.br - affonso@dsr.inpe.br

Resumo. Este trabalho visa avaliar as potencialidades de imagens JERS-1 para o mapeamento de lagoas na região da baixa Nhecolândia-MS. Foram utilizados primeiramente classificadores não supervisionados para avaliar a separabilidade das classes e definir quantas seriam adotadas. Em seguida, foram aplicados classificadores supervisionados com 4 classes, os quais apresentaram resultados estatisticamente e visualmente significativos. Porém, análises e classificações baseadas em atributos como textura, área e complexidade das feições, bem como fusão de imagens de radar e óticas, estão sendo testadas. Estas técnicas serão avaliadas no sentido de sua possível contribuição em trabalhos futuros que visem a discriminação de lagoas com melhor acurácia.

Palavras-chave: SAR, JERS, classificação de imagens, Pantanal, Nhecolândia, lagoas.

Abstract. This work aims to evaluate the potentialities of JERS-1/SAR images for mapping the ponds in the region known as low Nhecolândia-MS. It was used unsupervised classifiers in order to evaluate the number and distinction of classes. Supervised classifiers were then applied with 4 classes, and they showed significant visual and statistical results. However, further analyses and classifications based on texture, area and complexity of features as well as radar and optical image fusion are being tested. Possible contribution of these techniques in ponds discrimination will be evaluated and compared to previous techniques.

Key-words: SAR, JERS, image classification, Pantanal, Nhecolândia, ponds.

1. Introdução

O Pantanal é uma imensa planície aluvial localizada no sudoeste do Estado de Mato Grosso e no noroeste do Estado de Mato Grosso do Sul, que se estende pela Bolívia e Paraguai. Na paisagem pantaneira, a fisionomia se altera de acordo com as duas estações do ano (seca e chuvosa) e a diversidade de condições ambientais determina uma grande variedade de paisagens. Por conta disso, costuma ser dividido nas seguintes sub-regiões: Cáceres, Poconé, Barão de Melgaço, Paraguai, Paiaguás, Nhecolândia, Abobral, Aquidauana, Miranda, Nabileque (Magalhães, 1992) e também Porto Murtinho (Embrapa, 1997).

A região da Nhecolândia, onde foi definida a área de estudo deste trabalho, apresenta um grande número de lagoas com características peculiares, pois muitas são salinas, sem vegetação aquática e outras de água doce, com vegetação de aguapé. (Magalhães, 1992). Almeida e Lima (1959) separam as baías das salinas, considerando as primeiras como corpos d'água sazonais de baixa salinidade, abastecidos nos períodos de cheia pela água de chuva e pelo lençol freático. Já as salinas são lagoas de alta salinidade e que permanecem cheias por muito mais tempo que os demais corpos d'água.

Na época das cheias, na Nhecolândia, costuma ocorrer o escoamento de uma baía a outra, formando cursos d'água que chegam a ter vários quilômetros, conhecidos como “vazantes” circundadas por “cordilheiras”, representadas por pequenas elevações de até 4 metros de altura cobertas por florestas ou arbustos. A discriminação das salinas, encontradas nas áreas mais altas, é facilitada durante a estação chuvosa, uma vez que elas permanecem com características de lagoas, e os produtos de sensoriamento remoto podem contribuir para sua identificação e mapeamento.

Almeida et al. (2003) utilizaram imagens orbitais óticas para auxiliar na diferenciação e caracterização da composição química das salinas da Nhecolândia. Porém, as imagens de radar também têm sido utilizadas, com resultados promissores, para a delimitação de áreas alagadas no Pantanal (Sippel et al., 1995; Palme et al., 1995; Hamilton et al., 2002; Costa & Telmer, 2006) devido à faixa espectral que atuam, onde a separação de solo/água é bastante eficiente.

O diferencial, no entanto, está relacionado aos processamentos digitais aplicados às imagens o que pode produzir diferentes resultados e possibilitar a definição de diferentes métodos de análise, dependendo do objetivo do trabalho desenvolvido.

2. Objetivo

O intuito deste trabalho é avaliar as potencialidades de imagem JERS-1 com base em processamentos digitais, especificamente classificação de imagens, aplicados para o mapeamento das lagoas, tendo como área de estudo piloto a Fazenda Nhumirim, no Pantanal da baixa Nhecolândia-MS.

3. Área de estudo

A área estudada (Figura 1) foi baseada em Almeida et al. (2003), selecionada por se tratar de uma região bastante utilizada para mapeamento de lagoas, conhecida como Fazenda Nhumirim da EMBRAPA. Localizada entre as coordenadas 18°54'00" e 19°02'00" de latitude sul e 56°46'00" e 56°34'00" de longitude oeste, a região está inserida no Pantanal da baixa Nhecolândia, entre os rios Taquari e Negro, destacada no conjunto do megaleque aluvial do rio Taquari.

Trata-se de uma região onde atuam processos de sedimentação, que têm sido acelerados pela ocupação humana, aumentando assim a erosão e o aporte de sedimentos (Assine e Soares, 2004).

Observando a Figura 1, percebe-se a grande quantidade de lagoas e as áreas onde as vazantes são formadas na época das cheias. As lagoas possuem formas circulares, elípticas, em crescente, periformes ou irregulares e se distribuem ao longo da área de estudo (Almeida e Lima, 1959).

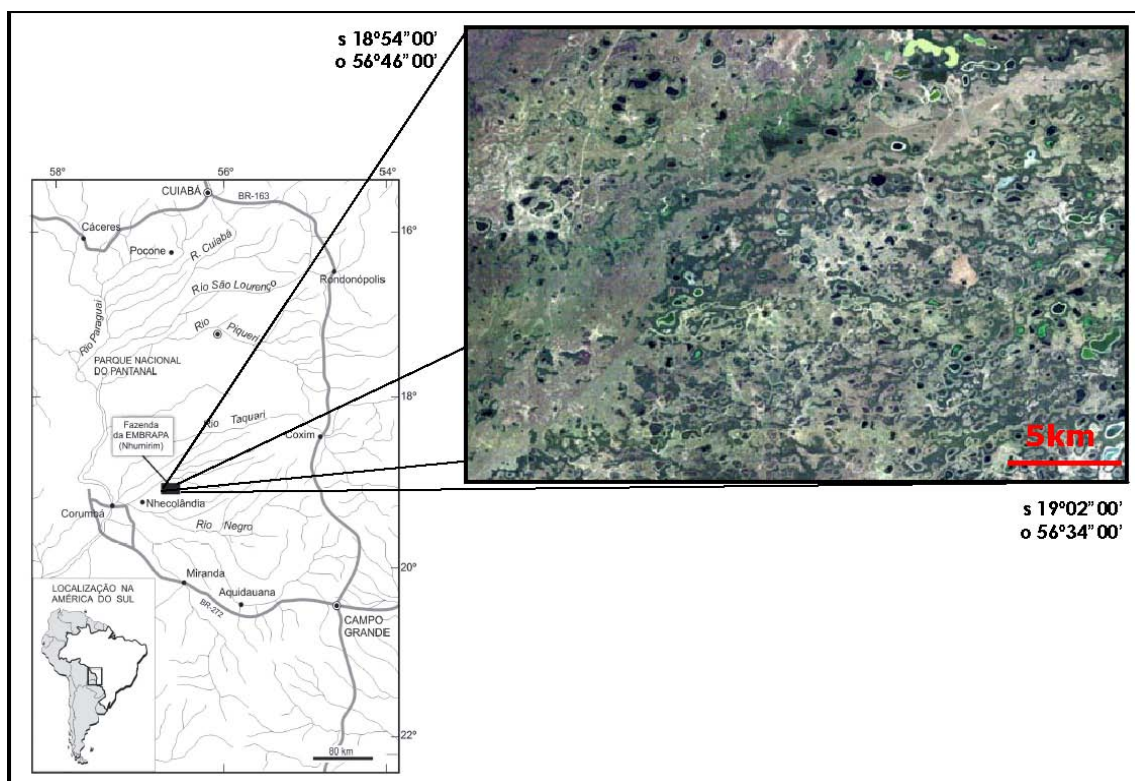


Figura 1 – Localização da área de estudo (em detalhe: imagem TM 3R2G1B)

Fonte: Adaptado de Almeida et al. (2003)

4. Material e Métodos

O satélite JERS-1 (*Japanese Earth Resources Satellite*) em órbita durante o período de fevereiro de 1992 a outubro de 1998, possuía órbita quasi-polar e operava a uma altitude de 568 km e com ciclo de revisita de 44 dias. O radar de abertura sintética (SAR) a bordo operava em banda L (23.5 cm / 1.275 Ghz), com polarização HH, ângulo *off-nadir* de 35° e resolução espacial de 18m. Grandes missões de imageamentos sistemáticos foram realizadas com o JERS-1/SAR sendo que durante os meses de fevereiro e março de 1997 toda a extensão do ecossistema conhecido como Pantanal foi imageada e distribuída sob a forma de um mosaico. O recorte do mosaico JERS-1 para a área de estudo está ilustrado na Figura 3a. A utilização de uma data da estação chuvosa foi conveniente, pois ela permite a diferenciação

visual das áreas de vazantes, onde as lagoas se intercomunicam, e das lagoas, geralmente as salinas, que se situam entre cordilheiras de vegetação.

A resolução espacial do mosaico é de aproximadamente 100 m, e as imagens fornecidas foram ajustadas de forma que a resposta média do retroespalhamento da vegetação fosse de -7.4 db, o que corresponde a um valor de nível de cinza de 114 (Chapman et al., 2002). A projeção cartográfica do mosaico é equiangular geográfica padrão com *datum* WGS84, com um erro relativo de poucos pixels (~ 200 m) (veja maiores detalhes em Siqueira et al., 2000).

Os aplicativos utilizados no processamento da imagem de radar foram ENVI 4.0® e SPRING 4.2 e a Figura 2 apresenta, de forma esquemática, os classificadores utilizados neste trabalho.

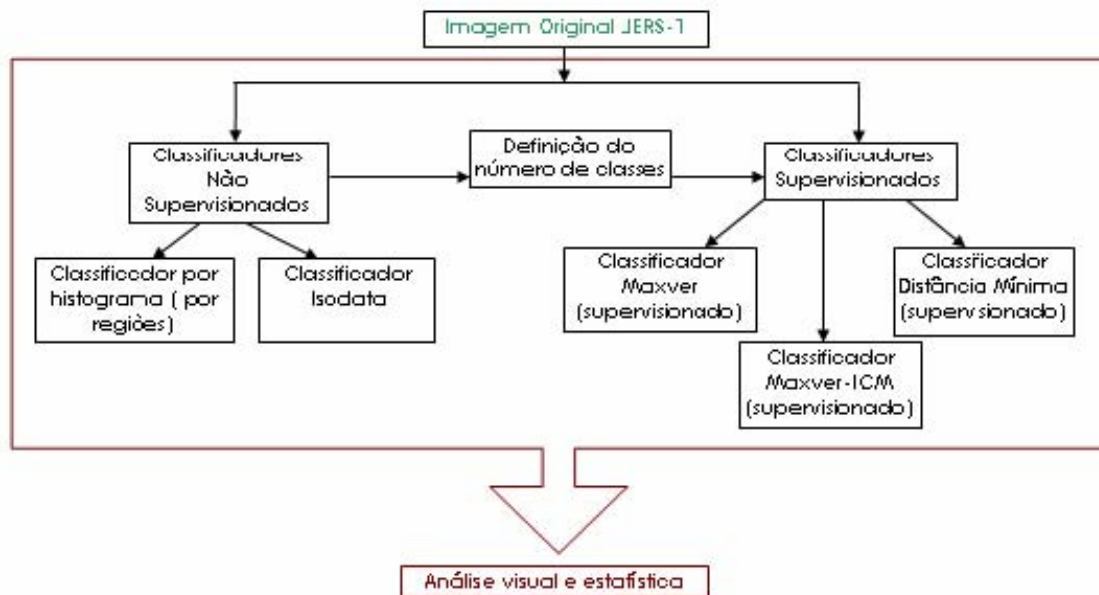


Figura 2 – Etapas realizadas para o processamento da imagem

O primeiro classificador, *Isodata*, possui um algoritmo de agrupamento de dados não-supervisionado que cria grupos por seus atributos estatísticos de média para estimar o valor central de cada classe. Para realizar a classificação, o algoritmo utiliza a matriz de covariância e área de regiões agrupadas com médias similares com base na distância de Mahalanobis. Para o segundo classificador – não-supervisionado por *Histograma*, foram geradas imagens segmentadas. Trata-se de um algoritmo de agrupamento de regiões que, ao invés de usar a distância euclidiana entre as médias das regiões, computa a diferença entre os histogramas das regiões.

A partir da avaliação dos classificadores não-supervisionados definiu-se o número de classes que seriam amostradas para os classificadores supervisionados. As mesmas amostras de treinamento e de teste foram utilizadas para todos os algoritmos supervisionados e o número de pontos amostrados foi da mesma ordem para todas as classes definidas. Foram definidas 4 classes para todas as classificações: *campos* (verde), *cordilheiras* (marrom e amarelo), *vazantes* (azul) e *lagoas* (vermelho), sendo que nas classificações não-supervisionadas as classes *vazantes* e *lagoas* formam uma única classe de cor azul. A amostragem seguiu padrões de interpretação visual de imagens (forma, tonalidade, textura, contexto) e foi baseado nos resultados obtidos por Almeida et al., (2003).

O primeiro algoritmo supervisionado aplicado foi o de *Distância Mínima* que considera o centróide das classes a partir da média definida nas amostras de treinamento e classifica cada pixel não contido nas amostras para a classe cuja distância ao centróide for a menor. Em seguida foram aplicados os classificadores de máxima verossimilhança (*Maxver*) e *Maxver-*

ICM. O classificador de máxima verossimilhança utiliza a média e a variância das amostras de treinamento para estimar a probabilidade que um pixel pertença a um dada classe, o qual é alocado naquela com maior probabilidade (Schowengerdt, 1997). Em geral esse algoritmo fornece melhores resultados que o de Distância Mínima à média para classificar área alagadas, uma vez que a covariância é considerada (Ozesmi e Bauer, 2002). O Maxver-ICM é o algoritmo de máxima verossimilhança seguido do chamado ICM (*Iterative Conditional Mode*), procedimento contextual que classifica cada pixel da imagem já classificada utilizando tanto o valor do pixel quanto de sua vizinhança (Besag 1986). Este algoritmo utiliza um modelo Markoviano, conhecido na literatura como Potts-Strauss (Vieira, 1996; Vieira et al., 1997; Frery et al., 1997) para avaliar as classes.

5. Resultados e Discussão

As classificações digitais realizadas com a imagem JERS-1 estão apresentadas na **Figura 3**.

A classificação Isodata da imagem JERS-1 (**Figura 3b**) resultou em 7 classes, as quais puderam ser reagrupadas em 4 classes segundo os domínios da região descritos por Almeida et al., (2003). Após o reagrupamento observou-se uma boa discriminação das áreas de vegetação sobre as cordilheiras, aqui chamadas apenas de *cordilheiras* (definidas por 2 classes: amarelo e marrom escuro, na **Figura 3b**). As áreas em preto representam pixels não-classificados. A classe *campos* apresentou confusão com a classe *vazantes*. Apesar da esperada confusão entre as áreas de vazantes e as lagoas, o algoritmo foi capaz de separá-las das demais classes.

A segunda classificação realizada com a utilização de uma imagem segmentada utilizou o método não-supervisionado por histograma. A segmentação que melhor captou os limites das lagoas foi a que considerou similaridade 5 das regiões com área mínima de 5 pixels. Esta segmentação foi utilizada para aplicação do algoritmo não-supervisionado por histograma. Foram definidas 6 classes de histograma, as quais puderam ser reagrupadas também para 4 classes (**Figura 3c**). Após o reagrupamento, observou-se que houve uma subestimação das áreas das lagoas as quais foram classificadas dentro da mesma classe de vazantes, o que era de se esperar, uma vez que espectralmente elas possuem comportamento semelhante.

Conforme descrito anteriormente, após a avaliação das classificações não-supervisionadas, adotou-se 4 classes para iniciar o processo de classificação supervisionado *campos* (verde), *cordilheiras* (marrom), *vazantes* (azul) e *lagoas* (vermelho). Assim, a terceira classificação da JERS-1 foi feita utilizando o algoritmo supervisionado de Distância Mínima (**Figura 3d**). As classes *campos* e *cordilheiras* tiveram boa separabilidade, porém a classe *lagoas* se confundiu em parte com a classe *vazante*, como esperado. Este algoritmo, apesar de superestimar a classe *lagoas*, conseguiu distingui-la em grande parte da área de vazantes.

Na classificação Maxver (**Figura 3e**), a classe *lagoas* sofreu superestimativa em detrimento da classe *campos*. A classe *vazantes* foi pobremente estimada se comparada à classificação pela distância mínima. Por fim, realizou-se uma classificação Maxver-ICM (**Figura 3f**) e o resultado alcançado mostra que há uma suavização geral das classes, sendo que a classe de *lagoas* foi ainda mais superestimada por ter sua área aumentada pelo ICM.

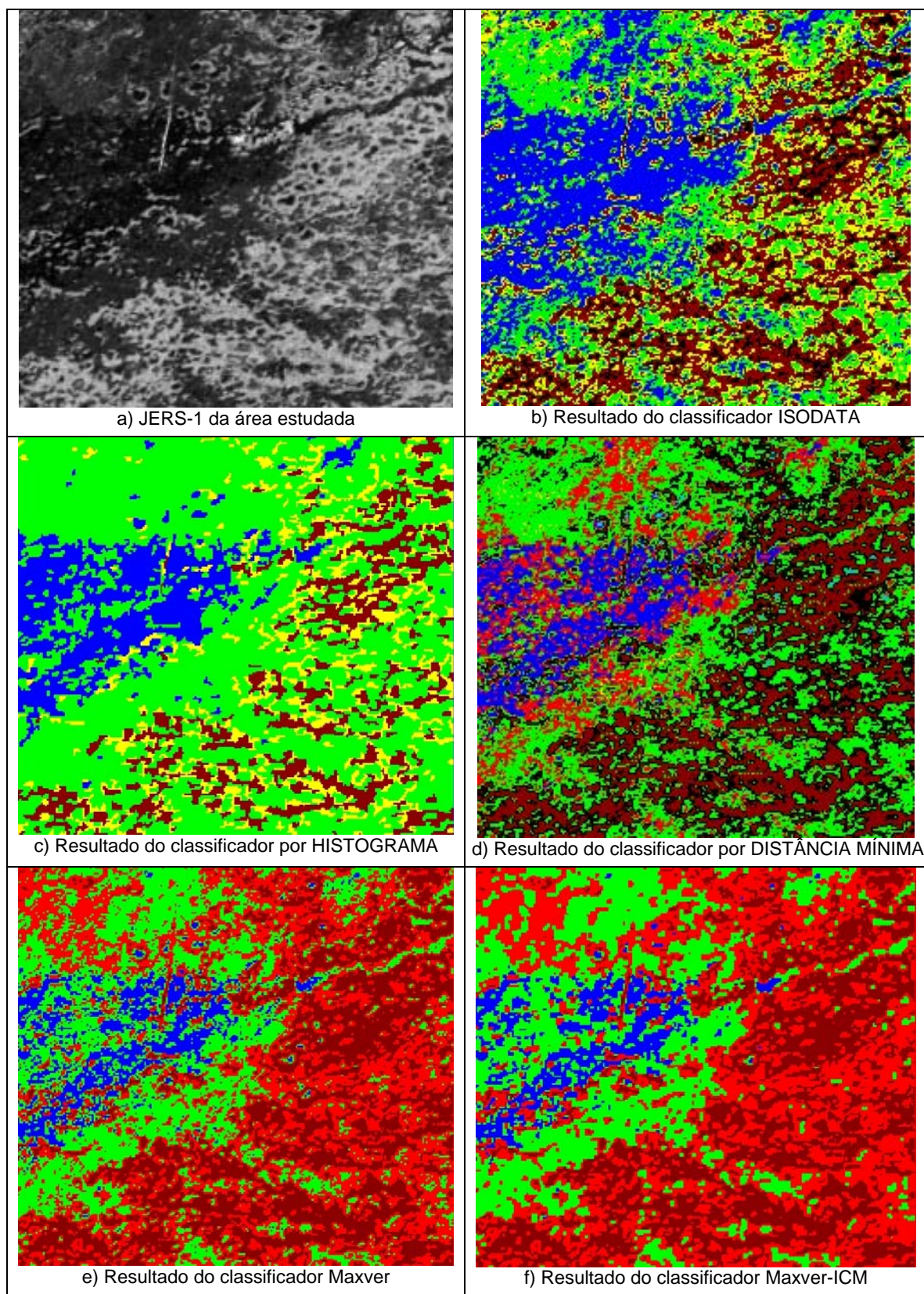


Figura 3 – Resultados de classificações realizadas.

Visualmente o classificador de Distância Mínima mostrou-se mais coerente com a verdade considerada em campo (Almeida et al., 2003) do que as outras classificações.

Entretanto, quando comparados em termos estatísticos, os coeficientes de concordância kappa, apresentados na **Tabela 1**, calculado somente para as classificações supervisionadas, mostra que a Maxver-ICM foi a mais significativa estatisticamente a 5%. Este resultado corrobora estudos prévios de comparação de classificadores para separar área alagadas e não-alagadas (Ozesmi e Bauer, 2002).

Tabela 1 – Coeficientes de concordância Kappa para as classificações com 4 classes iniciais

Classificação	\hat{K}	$\sigma_{\hat{K}}^2(\mathbf{x} \ 10^{-4})$
Supervisionada por Distância Mínima	0.575035	6.839
Maxver	0.707632	2.162
Maxver-Icm	0.746349	1.963

Ambos os métodos, visuais e estatísticos, devem ser considerados no momento da escolha da classificação para cada objetivo. Neste trabalho constatou-se que a utilização do algoritmo de Distância Mínima seria mais adequada em termos visuais. É importante salientar que o processo de amostragem por regiões segmentadas pode ter influenciado negativamente o resultado do classificador Maxver e Maxver-ICM. Dessa forma, um processo aleatório de extração de pixels poderia melhorar o resultado visual e estatístico.

Por fim, observa-se que os métodos de classificação Maxver-ICM e Distância Mínima apesar de terem apresentado respectivamente os melhores resultados em termos estatísticos e visuais, não poderiam ser utilizados para um mapeamento detalhado das lagoas a partir da imagem JERS-1 utilizada. Lembramos que a imagem JERS-1 utilizada se encontrava reamostrada para 100m de resolução espacial, o que pode ter afetado em grande parte a eficiência dos classificadores em discriminar as lagoas. Isto pode ser explicado pelo fato de que durante o processo de reamostragem os pixels que delimitam as regiões com alto e baixo retroespalhamento possuem valores finais diferentes dos iniciais. Dessa forma, a utilização da imagem JERS-1 com resolução original ou ainda, a utilização de outras imagens SAR com melhor resolução (como o modo Fine do satélite RADARSAT-1 com 8 metros de resolução), pode permitir melhores resultados dos classificadores acima citados.

6. Conclusões e Sugestões

As imagens de radar permitem, como observado em estudos anteriores, uma boa diferenciação entre áreas alagadas e não alagadas. Contudo, o mosaico utilizado neste trabalho pode ter dificultado a identificação das lagoas devido à sua baixa resolução espacial. As imagens JERS-1, não reamostradas, com melhor resolução, poderiam melhorar os resultados.

Estatisticamente, o melhor algoritmo utilizado para o mapeamento de lagoas na época de cheia foi o Maxver-ICM. Porém, em termos visuais o melhor resultado foi o de Distância Mínima pela média. Dessa forma, para um novo estudo de caso, sugere-se utilizar inicialmente as classificações por Maxver-ICM e Distância Mínima.

A utilização de classificadores baseados em atributos de textura, área e complexidade das feições também poderão fornecer melhor separabilidade entre as áreas de vazante e as lagoas, porém composições coloridas de imagens SAR devem ser utilizadas integrando imagens JERS-1 com outros radares (ALOS, RADARSAT-1 ou 2, PALSAR, SIVAM etc). E, mais importante, a utilização de imagens destas plataformas com melhor resolução espacial pode permitir melhor caracterização das lagoas e demais feições.

Além disso, com a continuidade do trabalho espera-se que a fusão de imagens óticas com imagens de radar possa fornecer subsídios aos classificadores, possibilitando a identificação das lagoas com melhor acurácia.

8. Referências

- Almeida, T.I.R.; Sígolo, J.B.; Fernandes, E.; Queiroz Neto, J.P.; Barbiero, L.; Sakamoto, A.Y. Proposta de classificação e gênese das lagoas da baixa Nhecolândia-MS com base em sensoriamento Remoto e dados de campo. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 33, n. 2 (suplemento), p. 83-90, 2003.
- Almeida, F.F.M.; Lima, M.A. Planalto Centro-Ocidental e Pantanal Mato-grossense. In: **União Geográfica Internacional**. Congresso Internacional de Geografia, 28, Rio de Janeiro, 169p. (1959).
- Assine, M.L.; Soares, P.C. Quaternary of the Pantanal, west-central Brazil. **Quaternary International**, v.114, p.23-34, 2004.
- Besag, J., 1986, On the statistical analysis of dirty pictures (with discussion). **Journal of the Royal Statistical Society B**, 48 (3), 259-302.
- Costa, M.P.F.; Telmer, K.H. Utilizing SAR imagery and aquatic vegetation to map fresh and brackish lakes in the Brazilian Pantanal wetland. **Remote Sensing of Environment**, RSE-06634, 2006.
- Chapman, B.; Siqueira, P.; Freeman, A. The JERS-1 Amazon Multi-season Mapping Study (JAMMS) : Observation strategy and data characteristics. **International Journal of Remote Sensing**, Special GRFM issue, v. 23, pp.1427 - 1446 , 2002.
- Embrapa. Centro de Pesquisa Agropecuária do Pantanal (Corumbá, MS). **Publicações geradas pela Embrapa Pantanal**: resumos informativos. Corumbá, 1997. (EMBRAPA-CPAP. Resumos Informativos, 01).
- Frery, A.C., Yanasse, C.C.F., Vieira, P.R., Sant'anna, S.J.S., Rennó, C.D., A user-friendly system for synthetic aperture radar image classification based on grayscale distributional properties and context. **Simpósio Brasileiro de Computação Gráfica e Processamento de Imagens**, 14-17 Outubro, 1997 (Campos de Jordão: IEEE), pp.211-218, 1997.
- Hamilton, S. K., S. J. Sippel, and J. M. Melack. Comparison of inundation patterns among major South American floodplains, **Journal of Geophysical Research**, v. 107, n. D20, 2002.
- Magalhães, N.W. **Conheça o Pantanal**. Terragraph, 1992, 390 p.
- Ozesmi, S.L.; Bauer, M.E. Satellite remote sensing of wetlands **Wetlands Ecology and Management**, v.10, pp. 381-402, 2002.
- Palme, U.W.; Abdon, M.M.; Silva, J.S.V.; Bignelli, P. Avaliação preliminar de dados radar (ERS-1) para estudos no Pantanal. **Anais**. 1º Encontro sobre sensoriamento remoto aplicado a estudos no Pantanal. Corumbá-MS, 9 a 12 de outubro, 1995.
- Sippel, S. J.; Hamilton, S.K.; Silva, J.S.V.; Melack, J.M. Passive microwave sensing of flooding in the Pantanal. . **Anais**. 1º Encontro sobre sensoriamento remoto aplicado a estudos no Pantanal. Corumbá-MS, 9 a 12 de outubro, 1995.
- Siqueira, P., Hensley, S., Shaffer, S., Hess, L., McGarragh, G., Chapman, B., and Freeman, A. A continental-scale mosaic of the Amazon basin using JERS-1 SAR imagery. **IEEE Geoscience Remote Sensing**, v. 38, n. 6, pp 2638-2644, 2000.
- Schowengerdt, R.A. **Remote Sensing, models and methods for image processing**. Academic Press, 2a edição, San Diego, 1997 (pp. 389-472).
- Vieira, P.R. Desenvolvimento de classificadores de máxima verossimilhança e ICM para imagens SAR. **Dissertação de Mestrado**. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, INPE-6124-TDI/585, São José dos Campos, 1996.
- Vieira, P.R., Yanasse, C.C.F., Frery, A.C., Sant'anna, S.J.S. Um sistema de análise e classificação estatísticas para imagens SAR. **Primeras Jornadas Latinoamericanas de Percepción Remota por Radar: Técnicas de Procesamiento de Imágenes**, December, 1996 (Paris: ESA SP 407), 1997, pp. 170-185, 1997.