

## Identificação de paliteiros e macrófitas do Reservatório da UHE Luiz Eduardo Magalhães (TO) utilizando imagens R99SAR

Claudio de Almeida Carvalho<sup>1</sup>

Tati de Almeida<sup>1</sup>

Henrique Llacer Roig<sup>1</sup>

Paulo Henrique Bretanha Junker Menezes<sup>1</sup>

Paulo Roberto Meneses<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidade de Brasília

Caixa Postal 04465, Campus Universitário Darcy Ribeiro ICC - Ala Central

CEP 70.910-900 - Brasília DF

claudio.carvalho@brturbo.com.br {tati\_almeida, pmeneses, roig}@unb.br;

phjunker@hotmail.com;

**Abstract.** The increasing demand for power generation in Brazil and the need for construction of artificial reservoirs in our country has caused the flooding of large areas covered by forests, altering the environment in a few years. With the use of airborne radar sensors of the Amazon Protection System R99SAR, the decade of 2000 was marked by the development of studies and researches in the field of environmental monitoring using the flexibility of temporal resolution and the ability of these sensors to obtain images in adverse weather conditions. This study aims to identify aquatic macrophytes and a typical vegetation named of toothpick holders of the reservoir of the Hydroelectric Luis Eduardo Magalhães in order to support its management, using multipolarized R99SAR from the 3-meter spatial resolution. Planning the flight flown to the area of study is designed totaling four lanes from North to South and the imaging mode selected LX Quad (four polarizations at LHH band, HV, VH, and VV at a band XHH). The raw data acquired by the sensor were processed at the Ground SAR SAR Process (GSP) the resulting image had five "bands" (XHH, LHH, LHV, LVH, LVV). The identification of the species found in the reservoir was performed using the set of data obtained in the field and image data R99SAR. The processing accomplished with the image were mainly the decorrelation and classification based on geometric and biological characteristics of the species.

**Palavras-chave:** R99SAR, Reservoir Monitoring, Multipolarimetric.

### 1. Introdução

Com a utilização de sensores aerotransportados radar do Sistema de Proteção da Amazônia R99SAR, a década de 2000 ficou marcada pelo desenvolvimento de estudos e pesquisas no âmbito do monitoramento ambiental utilizando a flexibilidade da resolução temporal e a capacidade destes sensores de obterem imagens em condições climáticas adversas. Aliado a isto, a crescente demanda pela geração de energia no Brasil e a necessidade de construção de reservatórios artificiais em nosso país tem ocasionado a inundação de grandes áreas cobertas por florestas, modificando o meio físico em poucos anos.

Segundo Noernberg *et al.*(1999) o monitoramento de processos dinâmicos em reservatórios artificiais é uma necessidade para a manutenção da estabilidade da cadeia trófica e da qualidade da água nos reservatórios. O uso de técnicas de sensoriamento remoto tem-se apresentado como uma ferramenta importante para tal, devido à sua capacidade de proporcionar visão sinóptica do estado do reservatório (Costa *et al.* 1996; Vasconcellos & Novo 2003; Graciani & Novo 2003). Um dos principais problemas encontrados no monitoramento são as macrófitas aquáticas pois apesar de importantes componentes dos recursos hídricos, a presença excessiva dessas plantas pode diminuir o potencial de usos múltiplos de reservatórios.

Nesse estudo visou-se identificar macrófitas aquáticas e paliteiros do reservatório da Usina Hidrelétrica (UHE) Luís Eduardo Magalhães (UHE Lajeado), tendo em vista subsidiar o seu gerenciamento, utilizando imagens multipolarizadas provenientes do R99SAR obtidas em 02/07/2009 com 3 metros de resolução espacial. Os braços deste reservatório apresentam excesso de macrófitas aquáticas sendo as espécies de maior distribuição são a *Salvinia auriculata* e a *Oxycaryum cubense*.

A UHE Luis Eduardo Magalhães está localizada na região central do estado do Tocantins, na bacia homônima, formando um lago de 630 Km<sup>2</sup> (figura 1).

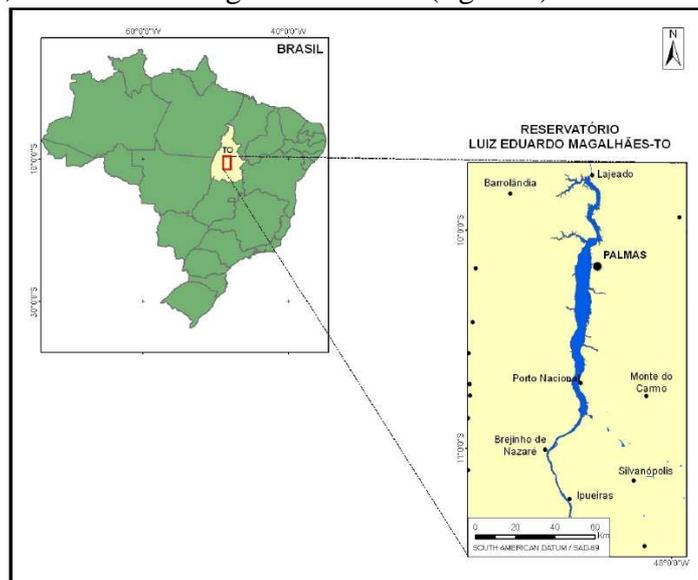


Figura 1: Área da Usina Hidrelétrica (UHE) de Luís Eduardo Magalhães, estado de Tocantins

## 2. Metodologia de Trabalho

O planejamento do voo aerotransportado para a área de estudo foi concebido totalizando quatro faixas no sentido Norte/Sul sendo o modo de imageamento Quad L+X escolhido (quatro polarizações na banda L<sub>HH</sub>, HV, VH, VV e uma na banda X<sub>HH</sub>). O voo foi realizado e em conjunto dos dados radar foram adquiridas fotografias aéreas oblíquas dos principais alvos para a utilização como referência.

Os dados brutos adquiridos pelo sensor SAR foram processados no Ground SAR Processos (GSP) e as quatro faixas foram georreferenciadas e mosaicadas usando o software ENVI 4.5. Assim, a imagem resultante tinha 5 “bandas” (X<sub>HH</sub>, L<sub>HH</sub>, L<sub>HV</sub>, L<sub>VH</sub>, L<sub>VV</sub>). Os processamentos realizados com a imagem foram principalmente o de decorrelação e o de classificação com base nas características geométricas e biológicas dos paliteiros e das macrófitas.

### 2.1. Características Geométricas e Biológicas dos alvos

Para melhor compreensão dos resultados obtidos com as técnicas de processamento de imagens utilizadas nos dados da área de trabalho, onde pretende-se separar quatro tipos de superfícies: (1) Água, (2) Macrófita da espécie *Salvinia Auriculata*, (3) Macrófita da espécie *Oxycaryum cubense* e (4) Paliteiro. Para tanto, foram realizadas duas pesquisas de campo na área de estudo, onde foi possível obter fotografias dos alvos em questão e ter uma melhor percepção da interação entre o sinal radar e o ambiente aquático. Dentre as observações de campo, uma foi realizada no momento em que estava sendo feito o imageamento e uma 1 mês após o mesmo.

Das superfícies em análise, a água possui tendência especular, com baixo retorno de sinal para o sensor. A superfície aquática pode ser alterada por ação do vento, e quando essa perturbação ondulatória da água entra em sintonia com o sinal radar de determinada polarização, poderá haver interação com esse meio.

Os Paliteiros, outro componente do estudo, são árvores mortas oriundas das áreas de florestas inundadas pelo reservatório, com altura variando entre 1m a 15m. Estas estruturas formam com a superfície aquática um ótimo refletor de canto diédrico, garantindo um alto retroespalhamento.

As macrófitas da espécie *Oxycaryum cubense*, popularmente conhecida com Capim-de-capivara (figura 2B) são gramíneas aquáticas, com porte em torno de 80 cm, que possibilita

uma interação com as bandas L e X. Já a espécie *Salvinia auriculata* (figura 2C) são plantas aquáticas com folhas flutuantes de forma oval com aproximadamente 3 cm, cobertas por fios protetores finos que contêm em sua superfície uma cera que confere a esses vegetais um comportamento hidrofóbico (Rubio *et al.*, 2004). Esse comportamento hidrofóbico observado na superfície foliar dessa macrófita é extremamente importante na interação com o sinal radar, pois propicia, teoricamente, uma superfície sem umidade, o que é bastante relevante quando se utiliza sensores de microondas.



Figura 2: Paliteiros (A), macrófitas da espécie *Oxycaryum cubense* (B) e *Salvinia auriculata* (C)

## 2.2 Classificação da imagem

O processo de classificação visa a extração de informação em imagens por meio de reconhecimento de padrões e objetos homogêneos e são utilizados em Sensoriamento Remoto para mapear áreas da superfície terrestre que correspondem aos temas de interesse.

Neste trabalho optou-se pelo uso dos métodos de classificação Massimoverossemelhança (MAXVER) e por Mínima Distância. O MAXVER é o método de classificação, que considera a ponderação das distâncias entre médias dos níveis digitais das classes, utilizando parâmetros estatísticos.

Este método possui uma área de treinamento, onde selecionamos na imagem com o cursor áreas modelos dos pixels que sejam representativos para cada alvo do uso do solo. Depois de selecionar todas as classes pré-estabelecidas, o aplicativo computacional, por meio de cálculos específicos de equi-probabilidade, adequa os demais pixels desconhecidos ou não classificados às classes. Este método se adequa a elipses, de forma que a localização, a forma e tamanho da elipse, refletem a média variância e covariância de duas variáveis.

Neste classificador a distribuição dos valores de reflectância é descrita por uma função de probabilidade que avalia a possibilidade de um determinado pixel pertencer a uma categoria e classifica o pixel para uma categoria à qual ele tem maior probabilidade de associação.

No método de mínima distância, toma-se como referência, para cada classe, um ponto no espaço multidimensional definido pela média estatística de cada banda espectral considerada. O algoritmo associa cada pixel desconhecido à classe cuja média está mais próxima. Cada pixel dentro e fora das áreas de treinamento é avaliado e assinalado à classe a qual ele tem a maior probabilidade de pertencer.

A partir de levantamentos de campo, foram coletadas amostras utilizadas no treinamento dos classificadores, as quais foram coletadas por pixels e por regiões. As amostras por regiões foram coletadas digitalizando-se polígonos sobre as classes de interesse na imagem.

## 3. Resultados e Discussão

A identificação das espécies encontradas no reservatório da UHE Luís Eduardo Magalhães foi realizada utilizando em conjunto os dados obtidos no campo e os dados das imagens R99SAR. A espécie *Salvinia auriculata* foi detectada pela polarização HH da banda X devido ao tamanho da onda e ao tamanho do alvo (figura 3).

Os paliteiros em virtude da sua forma vertical são bem evidenciados nas imagens da polarização HH, da banda X, pois a sua geometria favorece a interação com a onda eletromagnética nessa polarização.

A banda L demonstrou pouca eficácia no controle e monitoramento das macrófitas *Salvinia auriculata* devido ao tamanho da onda incidente. A polarização VV da banda L também prejudicada pelo espalhamento Bragg, onde as ondas da superfície aquática entra em ressonância com o comprimento de onda do sinal emitido (figura 4).

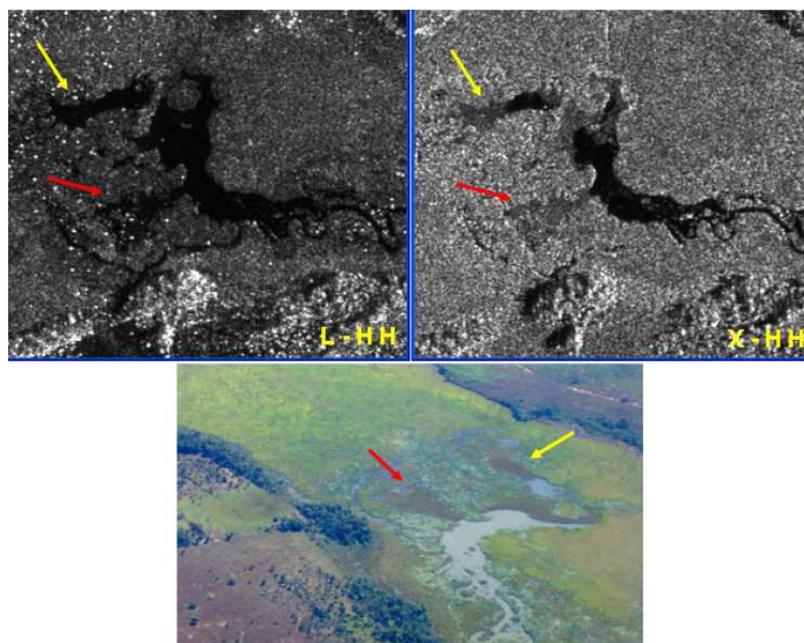


Figura 3: Detecção da Macrófita espécie *Salvinia auriculata* na Banda X do sensor R99SAR. As setas indicam o posicionamento da espécie na imagem banda L<sub>HH</sub>, X<sub>HH</sub> e fotografia aérea oblíqua.



Figura 4: Fotografia aérea oblíqua e imagem L<sub>VV</sub> adquiridas no mesmo instante quando a velocidade do vento de superfície variava de 9 Km/h a 18 Km/h, com direção de proa verdadeira entre 135° a 160°

Devido ao espalhamento Bragg e a alta correlação entre as polarizações HV e VH (princípio de reciprocidade), os processamento para classificação supervisionada das informações foram baseadas somente em 3 informações X<sub>HH</sub>, L<sub>HH</sub> e L<sub>HV</sub>.

A escolha de classes para a classificação supervisionada seguiu as 4 classes pré-estabelecidas: (i) paliteiros, macrófitas da espécie (ii) *Oxycaryum cubense* e (iii) *Salvinia auriculata* e (iv) água. Para cada classe foram selecionadas quantidade distintas, tanto de pixels quanto de amostras. Os classificadores testados foram o Máximo Verossimilhança e o da Mínima Distância.

### 3.1. Classificação por máxima verossimilhança

Os resultados obtidos com a classificação MAXVER (figura 5), segundo os dados estatísticos foram bastante expressivos, alcançando índice de acurácia de 98,95% de acerto nas amostras selecionadas e um coeficiente Kappa de 0,93, sendo considerado um índice excelente pela tabela de níveis do coeficiente Kappa. Matriz de Confusão da classificação MAXVER, apresentou os seguintes resultados estatísticos da separação das amostras: a classe paliteiro obteve uma separação muito boa, tendo omitido para a classe da *Macrófita Oxycaryum cubense* somente 2,17% dos pixels de um total de 600 das amostras. Quanto ao erro de inclusão, a classe paliteiro obteve 10 pixels da classe da *Macrófita Oxycaryum cubense* e 28 da classe *Macrófita Salvinia auriculata*. A classe Paliteiro obteve um percentual de 1,89% de pixels do total de 33100 pixels das amostras das classes selecionadas.

A classe *Macrófita Oxycaryum cubense* obteve, também, um bom resultado alcançando 99% de acerto nas amostras, sendo o restante 1% omitido para a classe Paliteiro. A classe *Macrófita Salvinia auriculata* por erro de inclusão, omitiu 0,96% do total de suas amostras para a classe *Macrófita Oxycaryum cubense*. Essas inclusões de outras classes contribuíram para um percentual de 3,92% do total de 33100 pixels selecionados para todas as classes.

A água não apresentou erros de omissão e inclusão com as outras classes, mantendo seu percentual de 3,02% de pixels do total geral das amostras das classes. A classe *Macrófita Salvinia auriculata*, a exemplo da classe Água, não apresentou erro de inclusão com as outras classes. Quanto aos erros de omissão, de um total de 30500 pixels selecionados nas suas amostras, foi observada a perda de 0,09% para a classe Paliteiro e 0,96% para a classe da *Macrófita Oxycaryum cubense*. Em virtude da grande quantidade de pixels selecionados nas amostras, a classe *Macrófita Salvinia auriculata* obteve 91,17% do total geral dos pixels de todas as amostras das classes.

A comparação visual dos resultados da classificação MAXVER com as imagens SAR e fotografias obtida com a pesquisa de campo (figura 6), demonstrou que para algumas classes selecionadas ele não correspondeu com a coerência observada em campo. As classes Água e *Macrófita Salvinia auriculata* apresentaram uma confusão espacial, onde o classificador superestimou a classe *Macrófita Salvinia auriculata* apresentando um padrão de localização espacial descontextualizado sobrepondo-se às áreas sabidamente ocupadas pela classe Água, que por sua vez foi bastante reduzida espacialmente.

### 3.2. Classificação por Mínima Distância

A Matriz de Confusão resultante da classificação por Mínima Distância demonstrou que as amostras selecionadas alcançaram um índice de acurácia de 94,11% de acerto, contribuindo para um coeficiente do índice Kappa de 0,695. O total de pixels envolvidos na seleção das amostras foi de 33.100 unidades, divididos em quatro classes, em quantidades distintas.

Os resultados alcançados pelo classificador de Mínima Distância (figura 5), demonstraram que estatisticamente o classificador obteve bons resultados. A classe Paliteiro, com 600 pixels de amostras selecionadas, 79,33% realmente pertenciam a esta classe, esse percentual equivale a 1,44% do total geral das amostras de todas as classes. O restante, 20,50% e 0,17%, atribuídos a erro de omissão foram para as classes *Macrófita Oxycaryum cubense* e Água, respectivamente. Não houve inclusão de pixels de outras classes.

A classe da *Macrófita Oxycaryum cubense*, dos 1000 pixels selecionados para essa classe, 8,80% foi omitido para a classe *Salvinia auriculata*, os 91,20% restantes, realmente pertenciam a esta classe. Por erros de inclusão de outras classes, houve um acréscimo de 183 pixels no total de pixels selecionados para esta classe, o que equivaleu a um percentual de 3,57% do total geral de todos os pixels das classes.

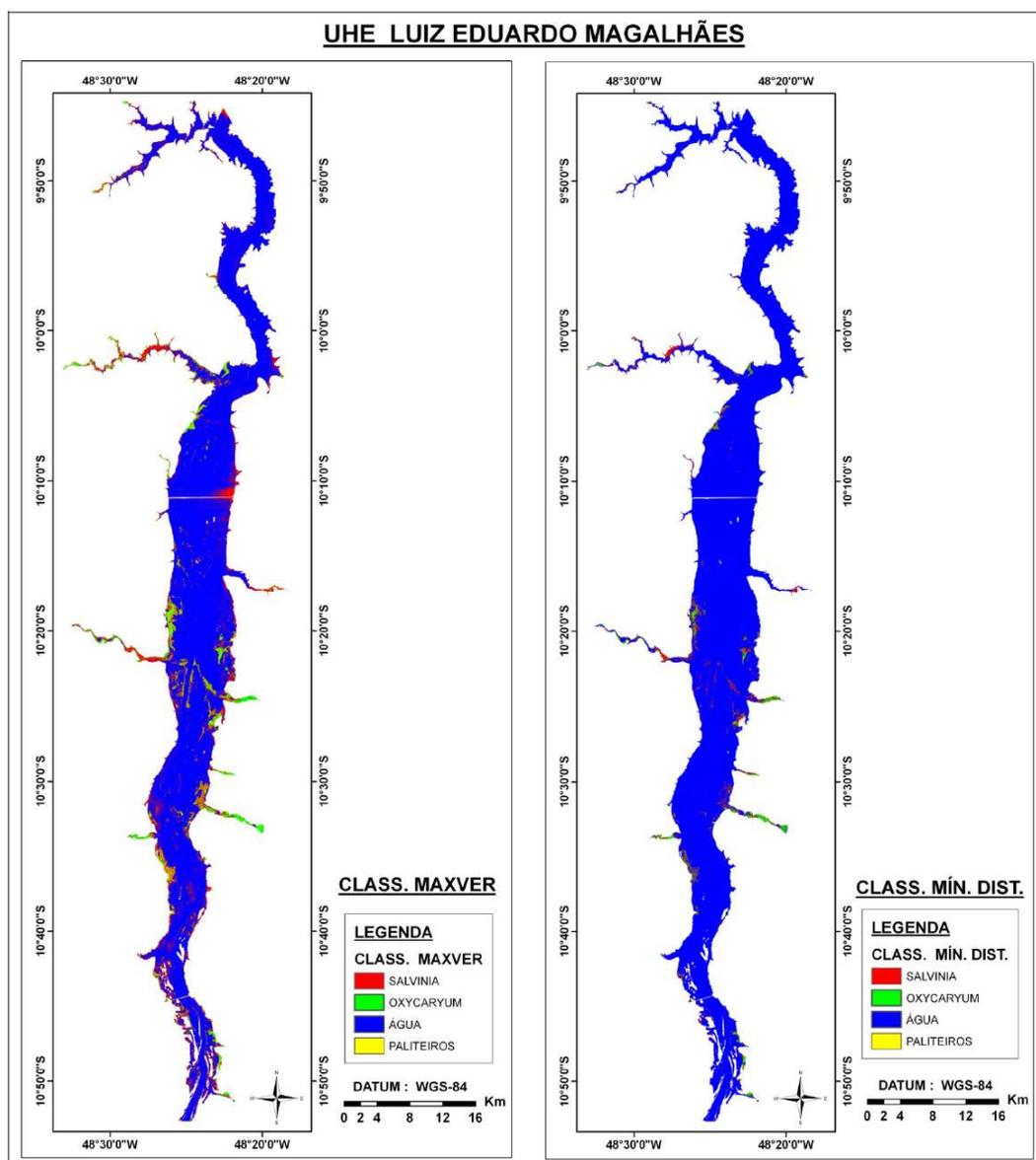


Figura 5: Resultado das classificações por maxverossimilhança e mínima distância do reservatório da UHE Luís Eduardo Magalhães (TO)

A classe Água obteve um percentual de 100% das amostras selecionadas para sua classe, não havendo erro de omissão. No entanto, houve um acréscimo de 1590 pixels (7,82%), destes, um pertencia a classe Paliteiro e o restante, a classe Macrófita *Salvinia auriculata*. A classe Macrófita *Salvinia auriculata*, por interagir somente com a polarização HH, da banda X, contribuiu positivamente para obtenção dos resultados. Dos 30500 pixels selecionados, 94,30% foram considerados realmente pertencentes a esta classe, os 5,7% restantes foram omitidos para as classes Macrófita *Oxycaryum cubense* e Água, respectivamente, com 0,49% e 5,21%. Quanto ao erro de inclusão houve um acréscimo de 88 pixels proveniente da classe Macrófita *Oxycaryum cubense*. A classe Macrófita *Salvinia auriculata* foi a que obteve o maior numero de amostras e pixels entre as classes, com 87,16% do total das amostras. Esse fato se deve aos resultados de diversos testes que precederam a classificação, onde se observou que esse aumento melhorou o desempenho do classificador para essa classe, diminuindo os conflitos com a classe Água. Melhora essa observada quando se compara a imagem classificada com a fotografia da pesquisa de campo. Essa alteração provavelmente tenha ocorrido por elevação da média dos níveis de cinza da classe *Salvinia auriculata* que foi excluída do limiar de aceitação da classe Água.

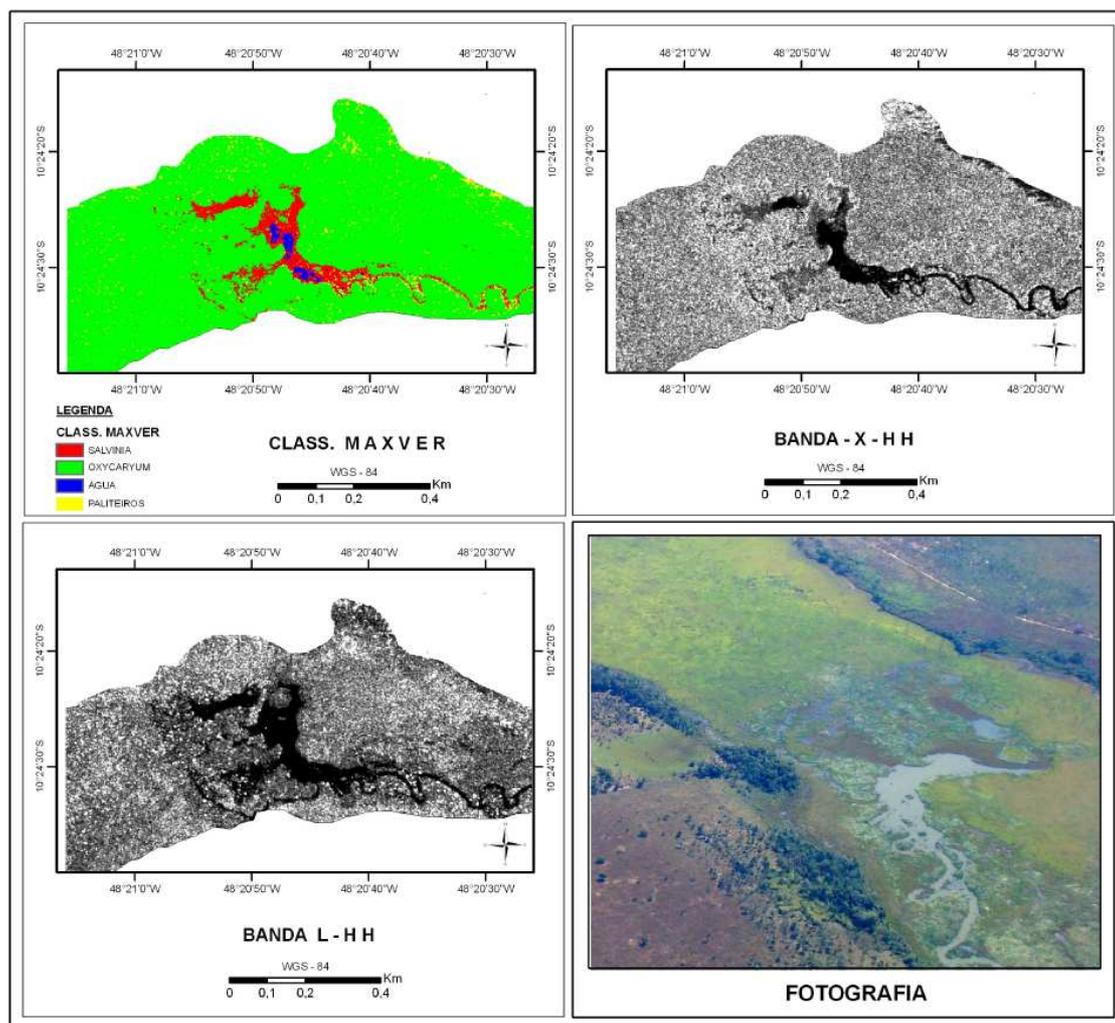


Figura 6: Comparação visual dos resultados da classificação MAXVER com as imagens SAR e fotografias obtida com a pesquisa de campo.

Comparando, também, os resultados apresentados da classificação de Mínima Distância com a imagem SAR e dados de pesquisa de campo, podemos observar que o classificador de Mínima Distância apresentou resultados bem satisfatórios. Fazendo uma análise individual das classes é possível perceber que a classe Paliteiro não foi muito bem classificada, ocupando uma área bem abaixo do observado na pesquisa de campo e imagem SAR. A classe Água foi muito bem classificada espacialmente, condizendo com a realidade. A classe Macrófita *Oxycaryum cubense*, a exemplo da água, foi bem separada pelo classificador.

A classe Macrófita *Salvinia auriculata*, apresentou resultados bem satisfatório em relação à classe Água, não sendo observadas áreas de conflito significativo na imagem. Os limites entre as duas classes foram bem preservados condizendo com a realidade observada na imagem SAR. Com relação à classe paliteiro, também, não foi observado conflitos, assim, como a classe Macrófita *Oxycaryum cubense*.

#### 4. Conclusão

O imageamento do reservatório da UHE Luiz Eduardo Magalhães, no Tocantins, possibilitou a comprovação da eficácia da utilização do sensor SAR da Aeronave R-99 na detecção de Paliteiros, Macrófitas da espécie *Salvinia Auriculata* e *Oxycaryum cubense*. Em função das diversas características e vantagens do imageamento com sensores de microondas, vê-se claramente a possibilidade de utilização desse sensor na detecção, controle e monitoramento de reservatórios artificiais, tendo em vista o alto nível de potencialidade de produção de energia hídrica do Brasil.

A utilização de imagens Radar como auxílio no monitoramento desses ecossistemas é bastante vantajoso, tendo em vista que a transparência atmosférica é sem dúvida uma vantagem bastante significativa em relação aos sensores ópticos, principalmente quando se trata de regiões tropicais como as encontradas no Brasil.

O monitoramento de ambientes aquáticos com imagens SAR no Brasil ainda é bastante pequeno, tendo em vista as dificuldades e altos custos de aquisição dessas imagens por parte dos órgãos de pesquisas.

Para futuros estudos utilizando imagens do sensor SAR do R-99, para esse tipo de ambiente, recomenda-se a utilização de outros métodos de classificação para que se possa testar e obter uma eficácia ainda melhor, na separação dessas superfícies estudadas. Imagens de sensores ópticos, principalmente na faixa espectral do infravermelho próximo, poderão proporcionar bons resultados se utilizadas em processo de fusão com as imagens SAR.

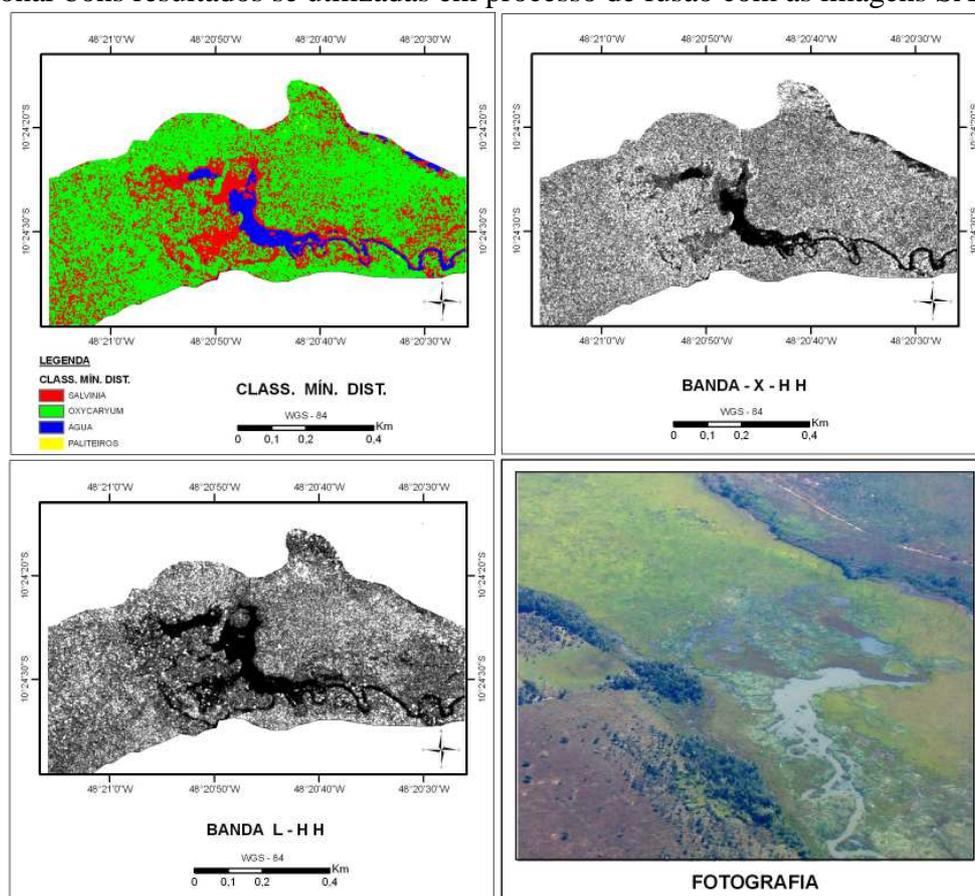


Figura 7: Comparação visual dos resultados da classificação MAXVER com as imagens SAR e fotografias obtida com a pesquisa de campo.

## BIBLIOGRAFIA

- COSTA, M. P. F.; AHERN, F. J.; NOVO, E. M. L. M.; PIETSCH, R. W.; NOERNBERG, M. A.- *Efeito dos dados de multipolarização SAR-C aero-transportado na separabilidade do retroespalhamento de plantas aquáticas do reservatório de Tucuruí - Amazônia*. - Anais VIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Salvador, Brasil, 14-19 abril 1996, INPE, p. 107-113.
- GRACIANI, S. D.; NOVO, E. M. L. M. - *Determinação da cobertura de macrófitas aquáticas em reservatórios tropicais*. Anais XI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Belo Horizonte, Brasil, 05-10 abril 2003, INPE, p. 2509-2516.
- NOERNBERG, M. A. - *Discriminação de plantas aquáticas utilizando dados SAR multipolarimétricos na banda C*. São José dos Campos, 1996. (Dissertação de Mestrado em Sensoriamento Remoto e Aplicações) Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. (INPE- 6619-TDI/580)
- VASCONCELOS, C. H.; NOVO, E. M. L. M. - *Mapeamento de Macrófitas e Paliteiros do Reservatório de Tucuruí (PA), Utilizando Imagens RADASAT*. Anais XI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Belo Horizonte, Brasil, 05-10 abril 2003, INPE, p. 2633-2638.