

**ANÁLISE DA EFICIÊNCIA DE CLASSIFICADORES SUPERVISIONADOS NO
MAPEAMENTO DE USO DA TERRA E COBERTURA VEGETAL**

**ANALYSIS CLASSIFIERS SUPERVISED EFFICIENCY IN LAND USE MAPPING
AND COVERAGE VEGETABLE**

Leandro Félix da Silva¹
Edwaldo Henrique Bazana Barbosa²
Elias Rodrigues da Cunha³
Vitor Matheus Bacani⁴

Resumo: O objetivo deste trabalho foi analisar o desempenho de dois classificadores supervisionados, o primeiro por *pixel* utilizando o algoritmo de Máxima Verossimilhança (MAXVER) e o segundo, o algoritmo Bhattacharrya por regiões para análise do desempenho em imagens do satélite LANDSAT-5/TM no mapeamento do uso da terra e cobertura vegetal da bacia hidrográfica do córrego Mangueirão, no município de Aquidauana-MS. Os procedimentos metodológicos fundamentaram-se nas técnicas de processamento digital de imagens descritas por Florenzano (2011), Novo (2008), e Jensen (2009), tendo a matriz *Kappa* e a Acurácia Global como referência para validação e qualificação do mapeamento. Os resultados destacaram a eficiência do classificador Bhattacharrya como um importante instrumento de análises multitemporais entre os anos de 1988 e 2011, na bacia hidrográfica do córrego Mangueirão.

Palavras Chave: Geotecnologia, Bhattacharrya, Maxver.

Abstract: The objective of this work was to analyze the performance of two supervised classifiers, the first by pixel by using the maximum likelihood algorithm (MAXVER) and the second, the algorithm Bhattacharrya by regions for performance analysis in satellite images in mapping Landsat-5/TM land use and vegetation cover in the catchment area of the stream Mangueirão, in the city of Aquidauana-MS. The methodological procedures were based on techniques of digital image processing described by Florenzano (2011), Novo (2008), and Jensen (2009), and the Global Accuracy and *Kappa* matrix as reference for validation and mapping qualification. The results showed the efficiency of the Bhattacharrya classifier as an important instrument of analyzes multitemporal between the years 1988 and 2011, in the watershed of the stream Mangueirão.

¹ Discente do Programa de Pós-Graduação em Geografia. Universidade Federal do Mato Grosso do Sul – UFMS, Campus de Aquidauana. E-mail: felixhc.le@hotmail.com.

² Professor Convocado da Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul – UEMS, Unidade Universitária de Campo Grande. E-mail: bazana@uems.br.

³ Técnico de Laboratório de Geoprocessamento da Universidade Federal do Mato Grosso do Sul – UFMS, Campus de Aquidauana. E-mail: eliasrodriguesdacunha@hotmail.com cunha@hotmail.com.

⁴ Professor Adjunto da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul – UFMS, campus de Três Lagoas. E-mail: vitor.bacani@ufms.br.

Keywords: Geotecnology, Bhattacharrya, Maxver.

Introdução

As primeiras classificações de uso da terra baseavam-se em trabalhos de campo. Posteriormente, a partir de década de 50, um grande número de pesquisadores em várias partes do mundo passaram a se dedicar à identificação detalhada de culturas agrícolas em fotografias aéreas (STEINER, 1970 apud BORGES *et al.*, 1993).

As imagens orbitais na década de 70, tornaram-se um importante produto para auxiliar o mapeamento do uso e ocupação do solo em uma dada região (BORGES *et al.*, 1993). Segundo o autor, esse tipo de trabalho tornou-se importante para a compreensão dos padrões de organização do espaço agrícola, cada vez mais alterados pela ação do homem e pelo desenvolvimento tecnológico.

A extração de informações de imagens de satélites pode ser realizada através do processo de classificação. Este processo fundamenta-se no reconhecimento de padrões e objetos homogêneos e é utilizado para mapear áreas que possuem comportamentos espectrais diferenciados na superfície terrestre (MACEDÔNIO, 2007).

Esta distinção e identificação se tornam possível, em função destes materiais apresentarem comportamentos específicos ao longo do espectro eletromagnético (CROSTA, 2002).

Existem essencialmente duas abordagens na classificação de imagens multiespectrais de sensoriamento remoto: a classificação supervisionada e a não supervisionada (CROSTA, 1992). Na classificação supervisionada, o analista deve fornecer amostras (áreas de treinamento) das classes espectralmente representativas, mas não necessariamente homogêneas (FLORENZANO, 2011). Nesse tipo de classificação o analista identifica *pixels* (amostras) pertencentes às classes de interesse e deixa para o algoritmo utilizado, a tarefa de localizar as demais amostras pertencentes a essas classes, baseado em uma regra estatística pré-estabelecida (FLORENZANO, 2011). Para expressar de maneira correta e com precisão os resultados da classificação automática de um determinado mapeamento, utiliza-se a porcentagem de acertos das áreas que foram corretamente classificadas em relação aos dados coletados no campo, validado com o uso da Exatidão Global e do Índice *Kappa*.

<https://periodicosonline.uems.br/index.php/GEOF/index>

O presente trabalho tem por objetivo analisar o desempenho de classificadores supervisionados por *pixel* e regiões utilizando técnicas para mapeamento de uso da terra e cobertura vegetal na bacia hidrográfica do córrego Mangueirão, no município de Aquidauana-MS, comparando os anos de 1988 e 2011.

Materiais e métodos

Área de estudo

Área de estudo é a bacia hidrográfica do córrego Mangueirão, tributário do córrego João Dias, afluente do rio Aquidauana. Localiza-se entre os paralelos de 20°28'26''S e 20°26'05''S, e os meridianos de 55°48'13''W e 55°48'24''W, abrangendo uma área de aproximadamente 1.366,57ha, compreendendo a zona rural e urbana do município de Aquidauana, na porção Centro-Oeste do Estado de Mato Grosso do Sul, conforme a Figura 1.

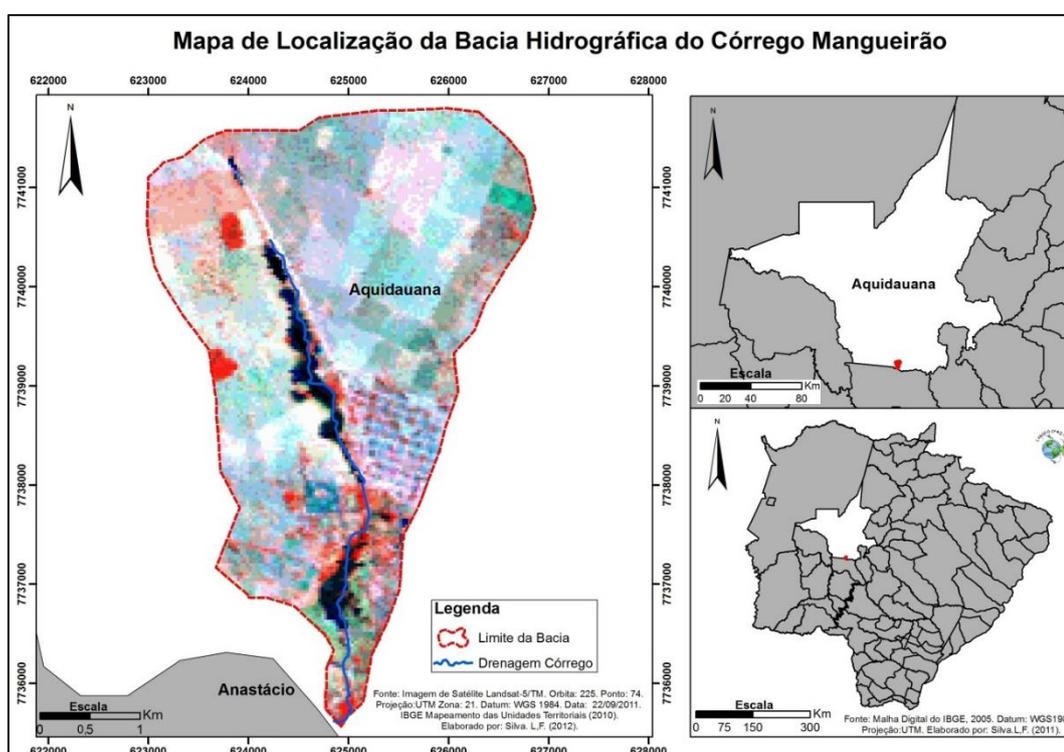


Figura 1. Localização do córrego Mangueirão no município de Aquidauana-MS.

Materiais

Para o desenvolvimento desse estudo foram utilizados os seguintes materiais iconográficos:

- Imagem de satélite LANDSAT-5, sensor TM (*Thematic Mapper*), órbita 225, ponto 74, bandas 3, 4 e 5, de 11/09/1988;
- Imagem de satélite LANDSAT-5, sensor TM (*Thematic Mapper*), órbita 225, ponto 74, bandas 3, 4 e 5, de 22/09/2011;

<https://periodicosonline.uems.br/index.php/GEOF/index>

- Imagem de radar SRTM (*Shuttle Radar Topographic Mission*), contendo uma grade numérica interpolada por krigagem para 30m por Valeriano (2008).

Métodos

A metodologia desenvolvida baseou-se na aplicação de técnicas de tratamento digital de imagens descritas por Florenzano (2011), Novo (2008), e Jensen (2009), e são caracterizadas por quatro etapas principais: a) Pré-processamento, b) Realce, c) Classificação e d) Exatidão da Classificação, conforme segue:

- a) Pré-processamento: baseou-se na correção geométrica da imagem com o intuito de reorganizá-la geometricamente, corrigindo possíveis distorções provenientes da aquisição da cena pelo sensor. Para o registro da imagem de satélite LANDSAT-5/TM, do ano de 2011, adquirida gratuitamente no site do INPE (www.dgi.inpe.br/CDSR), foram utilizados pontos de controle baseados na imagem georreferenciada do satélite LANDSAT-5/TM do ano de 1988, obtida gratuitamente no site da NASA (National Aeronautics and Space Administration), (www.glcf.umd.edu), georreferenciada, em formato digital. O software utilizado para tratamento digital das imagens foi o SPRING 5.1.8, disponível gratuitamente para download na página do INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais).
- b) Técnicas de Realce: o objetivo é melhorar a qualidade visual da imagem, realçando as classes de interesse na área recortada. Efetuou-se o contraste linear com base no histograma da imagem utilizando o cursor para ajustar os níveis de cinza, apresentados no software SPRING 5.1.8.
- c) Classificação: foram utilizados dois tipos de algoritmos, por regiões e por pixel para classificação das imagens de 1988 e 2011. A primeira etapa para classificação por regiões partiu da segmentação da imagem, nesse procedimento, a imagem é dividida em regiões espectralmente homogêneas, em que algumas dessas áreas são utilizadas como treinamento do classificador (MOREIRA, 2011). Após vários testes definiu-se os limiares de similaridade 14 e área 12 para a imagem do ano de 1988 e utilização de 40 para similaridade e 38 para área, onde a cena apresenta mais variações entre as tonalidades cores dos pixels no ano de 2011. Na sequência a imagem segmentada foi submetida à etapa de treinamento na qual se apontou cinco classes de interesse a serem

mapeadas: Água, Área Urbana, Mata, Pecuária, e Solo Exposto. O algoritmo utilizado foi o Bhattacharrya que usa as amostras de treinamento para estimar a função densidade de probabilidade para as classes apontadas no treinamento, em seguida, avalia, para cada região, e a distância de Bhattacharrya entre as classes (MOREIRA 2011, 246p.). Em seguida, foi realizada a classificação supervisionada por pixel, que leva em consideração a resolução espectral de cada pixel para formação de áreas homogêneas. E o algoritmo utilizado foi o de Máxima Verossimilhança (Maxver) no qual o método de classificação "pixel a pixel", considera a ponderação das distâncias entre médias dos níveis digitais das classes, utilizando parâmetros estatísticos, conjuntos de treinamento definem o diagrama de dispersão das classes e suas distribuições de probabilidade, considerando a distribuição de probabilidade normal para cada classe do treinamento (INPE, 2011).

d) Exatidão da Classificação: Para a avaliação estatística do desempenho do classificador, empregou-se o índice de concordância *Kappa* (Equação 1) e Acurácia Global (Equação 2) nos resultados obtidos. Para auxiliar na validação dos mapas gerados, os valores do Índice *Kappa* foram analisados e comparados aos limiares estabelecidos por Landis e Koch (1977).

$$\hat{K} = \frac{N \sum_{i=1}^k x_{ii} - \sum_{i=1}^k (x_{i+} \cdot x_{+i})}{N^2 - \sum_{i=1}^k (x_{i+} \cdot x_{+i})} \quad (1)$$

$$Acurácia_{global} = \left(\frac{\sum_{i=1}^k x_{ii}}{N} \right) \quad (2)$$

Onde:

\hat{K} : valor estimado *Kappa*;

k : número de linhas;

x_{ii} : número de observações na linha i e coluna i ;

$\sum_{i=1}^k x_{ii}$: soma dos elementos da matriz em sua diagonal principal;

x_{i+} : soma total das observações para as linhas;

x_{+i} : soma total das observações para as colunas;

N : número de observações total.

A validação do mapeamento foi realizada de acordo com a tabela da matriz *Kappa* (Tabela 1).

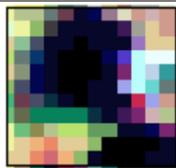
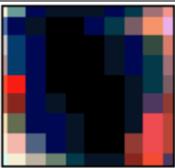
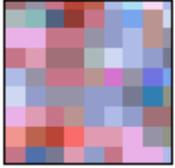
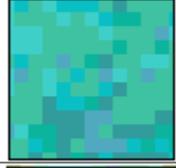
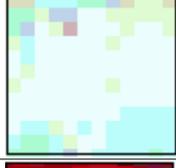
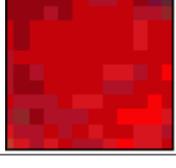
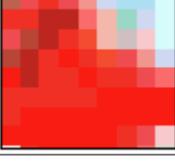
Tabela 1 - Qualificação de acordo com o Índice *Kappa*.

Índice <i>Kappa</i>	Concordância
0,00	Péssima
0,01 a 0,20	Ruim
0,21 a 0,40	Razoável
0,41 a 0,60	Bom
0,61 a 0,80	Muito Bom
0,81 a 1,00	Excelente

Fonte: Landis e Koch (1997, p. 165).

A partir dos procedimentos metodológicos de rotina de tratamento digital de imagens obteve-se uma chave de interpretação (Quadro 1), para auxiliar na interpretação dos elementos contidos na imagem.

Quadro 1- Chave de interpretação para o mapeamento de uso da terra e cobertura vegetal.

Classes Temáticas	Tonalidade		Cor	Textura /Forma
	1988	2011		
Água			Azul Escuro	Lisa Irregular/Retilínea Curvilínea
Área Urbana			Mistura de Cores	Rugosa/ Irregular
Pecuária			Verde/Amarelo Claro	Média-Rugosa/ Regular-Irregular
Solo Exposto			Branco	Lisa/ Regular
Mata			Vermelho Escuro	Rugosa/ Irregular

Através dos elementos interpretativos: cor, textura, padrão e forma foi elaborada a composição colorida B3, R4, G5 da imagem do satélite Landsat-5/TM, com a determinação das seguintes classes temáticas: a) Água: definida pela cor azul escuro quase se assemelhando ao preto caracterizado pela alta absorção de energia eletromagnética e concentração de matéria em suspensão textura lisa, de formas irregulares, retilínea e curvilínea; b) Área Urbana: caracterizada pela mistura de cores e tons que podem variar entre Ciano-azul, vermelho e verde, de textura rugosa e de forma irregular; c) Pecuária: identificada pela cor amarelo claro e verde claro, textura média rugosa de formas irregulares e regulares na maioria dos casos são indícios de espécies de capins introduzidos; d) Solo Exposto: caracterizado pela alta refletância de radiação eletromagnética no infravermelho médio devido à retirada da cobertura vegetal, apresenta a cor branca e de textura lisa e formas Irregulares e, f) Mata: apresenta uma alta absorção de energia eletromagnética possível de observar na região do infravermelho próximo pode ser definida pela coloração vermelho escuro e sua textura é rugosa devida alta densidade arbórea, suas formas são irregulares.

Resultados e discussão

O mapeamento temático de uso da terra e cobertura vegetal do córrego Mangueirão apresentou importantes diferenças tanto no uso da terra, quanto ao desempenho dos classificadores por *pixel* e regiões utilizados.

A classificação dos mapas temáticos dos anos de 1988 e 2011, utilizando o classificador de Máxima Verossimilhança (MAXVER), não mostrou um resultado significativo para a área mapeada, confundindo as classes: área urbana, pecuária e solo exposto. De acordo com o a matriz *Kappa* constatou-se o valor de 0,35, qualificado como RAZOÁVEL e uma Exatidão Global de 0,7 avaliado como RUIM não atingindo um resultado satisfatório.

No momento da aquisição de amostras na etapa de treinamento criando polígonos para área urbana observou-se a dificuldade em agrupar os *pixels* devido a não homogeneidade entre eles, e ao utilizar o método de calcular *pixel a pixel*, para este caso os parâmetros matemáticos do algoritmo Máxima Verossimilhança (MAXVER), não foi capaz de separar de modo significativo às classes confundindo-as para ambos os anos.

As classes não mapeadas pelo referido classificador totalizaram uma área de: 13,197 ha (em 1988) e 49,646 ha (em 2011), respectivamente.

A Figura 2 apresenta resultados do uso da terra e cobertura vegetal do córrego Mangueirão, nos anos de 1988 e 2010, utilizando o classificador MAXVER.

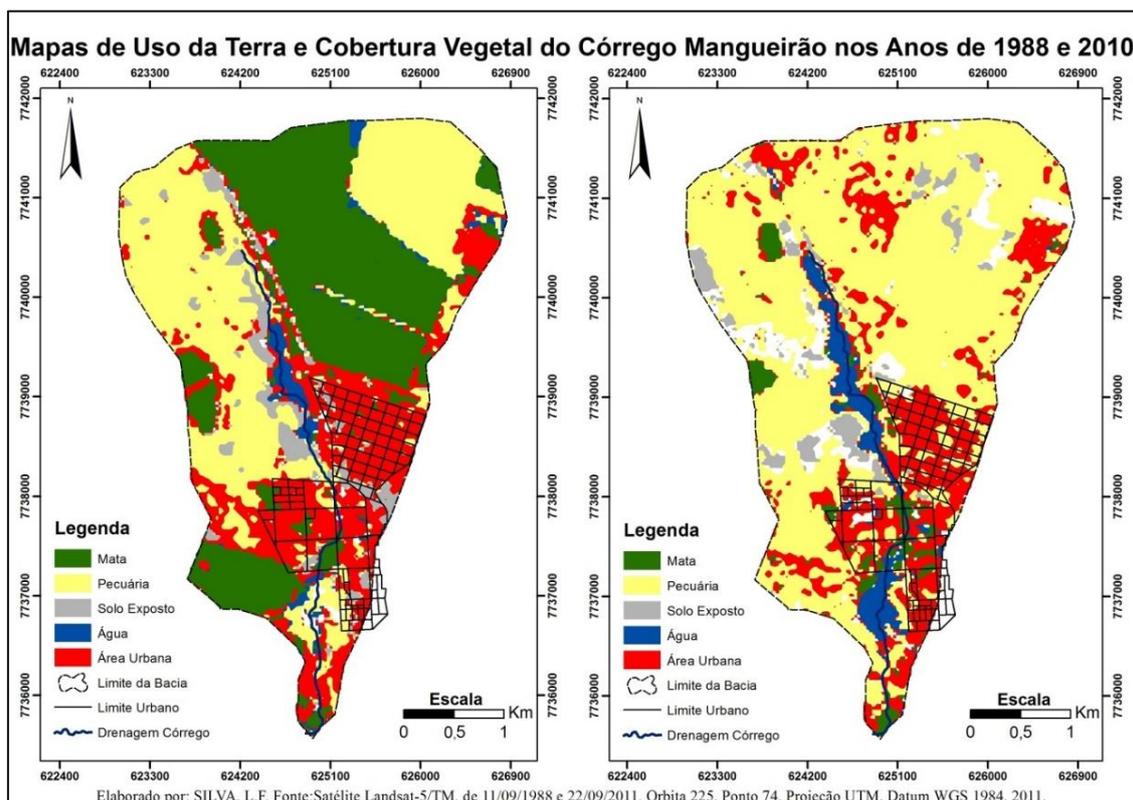


Figura 2. Mapas temáticos dos anos de 1988 e 2011, utilizando o Classificador Maxver.

O Classificador por Regiões gerou regiões homogêneas, na etapa de segmentação. A etapa de treinamento tornou-se mais simples a aquisição das amostras, para a definição de cada classe temática. As amostras são processadas pelo algoritmo matemático que mede a distância de Bhattacharyya entre os *pixels*. Este algoritmo apresentou, para este estudo, um melhor resultado, reconhecendo com clareza as classes temáticas indicadas referentes ao mapeamento temático.

O classificador Bhattacharyya apresentou um índice *Kappa* de 0,67 e Exatidão Global de 0,74, ambos qualificados como MUITO BOM.

O mapeamento do uso da terra e cobertura vegetal, utilizando o classificador Bhattacharyya é representado na Figura 3.

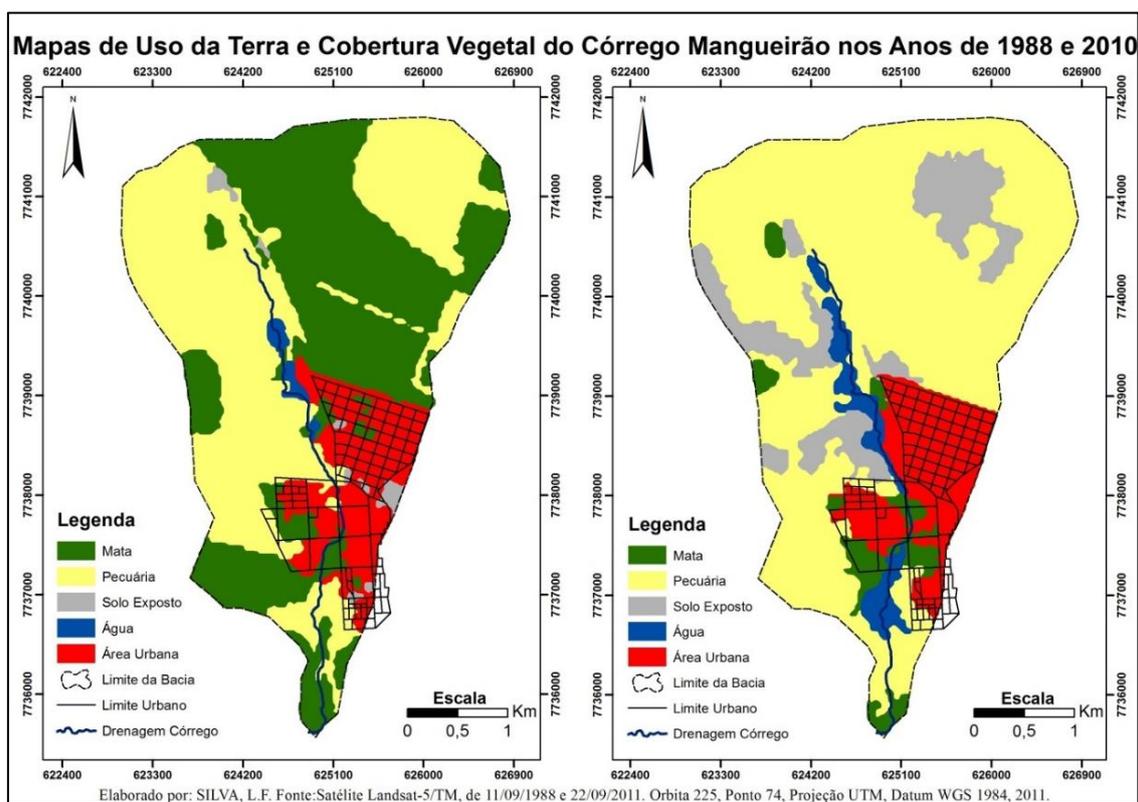


Figura 3. Mapas temáticos dos anos de 1988 e 2011, utilizando o Classificador Battacharya.

Após a análise do desempenho dos classificadores supervisionados, optou-se por utilizar o produto originado pelo algoritmo Bhattacharya para a quantificação das classes temáticas utilizadas na identificação dos elementos naturais e antrópicos do mapeamento do uso da terra e cobertura vegetal.

O resultado da interpretação das imagens de satélite possibilitou o mapeamento de 5 (cinco) classes de uso da terra e cobertura vegetal para bacia hidrográfica do córrego Mangueirão. A Figura 4 representa as classes temáticas para o ano de 2011.

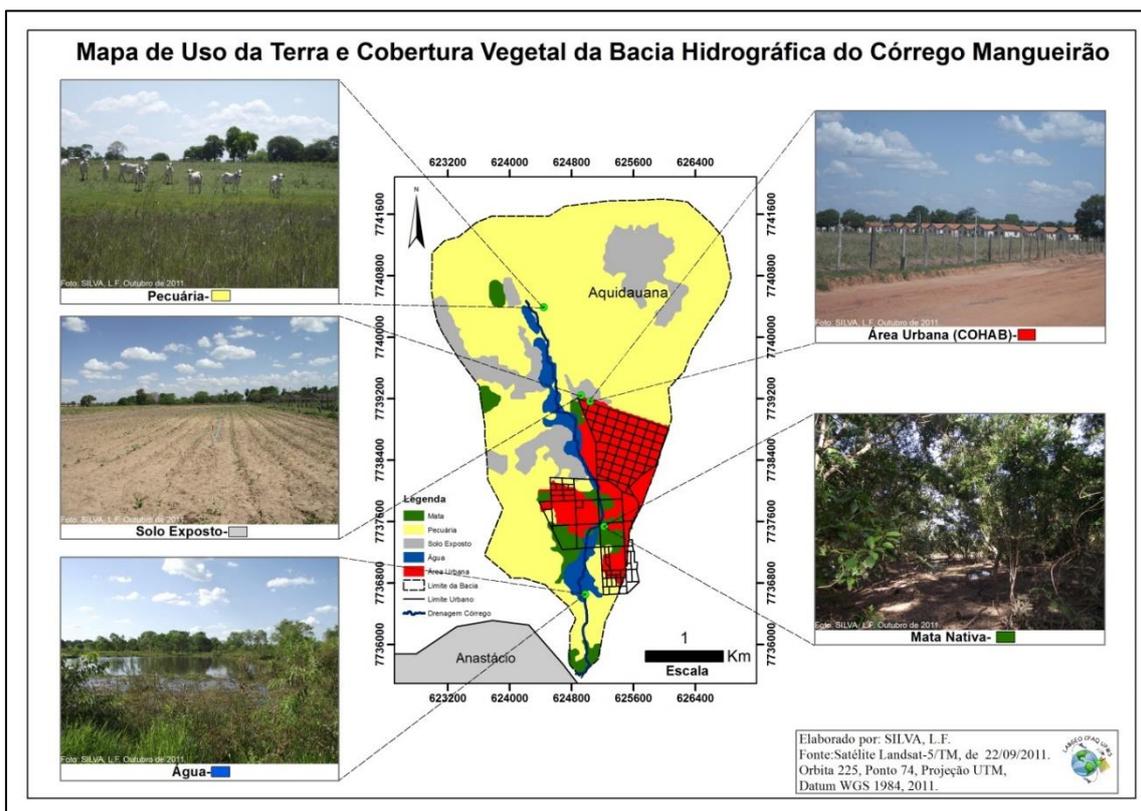


Figura 4. Classes temáticas mapeadas para a bacia hidrográfica do córrego Mangueirão.

A Tabela 2 contém os cálculos aproximados das classes temáticas, com valores em hectares (ha) e em porcentagem (%). Representa uma comparação pareada das transformações ocorridas entre as classes durante os anos de 1988 e 2011.

Tabela 2 - Quantificação das classes temáticas entre os anos 1988 e 2011.

Classe Temática	1988		2011	
	Área (ha)	Área (%)	Área (ha)	Área (%)
Água	13,85	1,01	57,84	4,20
Área Urbana	162,62	11,83	164,91	11,98
Pastagem	615,82	44,79	907,09	65,90
Solo Exposto	17,36	1,26	181,77	13,21
Mata	565,17	41,11	64,88	4,71
Total	1.374,82	100	1.376,49	100

Há uma diferença de 8,25ha, para o ano de 1988 e 9,92ha, para o ano de 2011, quando comparado ao valor de área total da bacia hidrográfica. Essa diferença é devido a confusões no momento da classificação das imagens, onde o classificador não atribuiu classes e pela quantificação realizada em um dado do tipo *raster*.

A análise mostrou alterações significativas nos modos de uso da terra e em relação à cobertura vegetal no intervalo de 22 anos. As principais mudanças ocorreram com as classes: Solo Exposto, Pecuária e Mata (Figura 5).

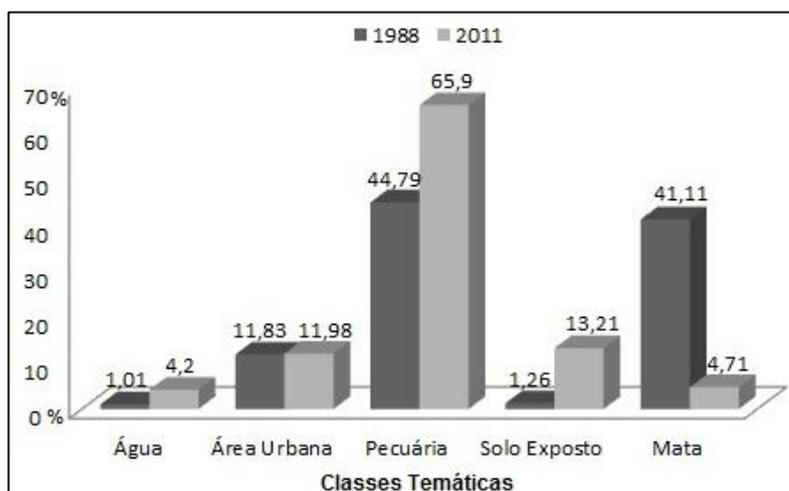


Figura 5. Gráfico de áreas ocupadas pelas classes temáticas no uso da terra e cobertura vegetal em 1988 e 2011, em porcentagem.

A Água teve um aumento expressivo entre os anos comparados de 3,19% que equivale a 43,993ha da área, este volume nos corpos d'água destaca-se na maior parte da bacia associado ao aumento de extração de argila para fabricação de tijolos e telhas já que na área da bacia situa-se olarias que fazem escavações para retirada de matéria-prima, formando lagoas artificiais.

A Área Urbana apresentou um leve aumento ao longo destes 22 anos de 0,16% que representa 2,284ha da área da bacia, este pequeno aumento decorre da expansão de infraestrutura urbana que o município apresentou. Na área próxima a nascente, vem sendo criados conjuntos habitacionais (COHAB), que aos poucos estão avançando, expandindo a malha urbana como o constatado através de campo, já que a mesma está situada entre a zona rural e urbana do município de Aquidauana.

O solo exposto em 2011 apresentou um aumento considerável de 11,95%, o que equivale a uma área de 164,412ha maior quando comparada com o ano de 1988. Este aumento está associado à retirada da vegetação natural para agricultura de subsistência e introdução de pastagem para atividade agropecuária, na qual há grandes extensões onde a pastagem encontra-se degradada.

Em 1988, 41,11% da área analisada constituía-se de Mata, o equivalente a uma área de 565,174ha, enquanto que a Pecuária correspondia a 44,79%, com área de 615,819ha. Após 22 anos, observa-se que a área classificada como Mata diminuiu para apenas 4,71% da área, com apenas 64,881ha e a Pecuária aumentou para 65,90%, com 907,095ha.

A principal atividade de transformação e produção no espaço da bacia do córrego Mangueirão é a pecuária, com destaque para a pecuária de corte. Essa atividade é a base econômica do município de Aquidauana e a segunda maior fonte de arrecadação de Imposto sobre o Comércio e os Meios de Subsistência (ICMS), do Estado de Mato Grosso do Sul (SEMAC, 2010).

Observa-se que houve uma grande redução da vegetação natural para áreas destinadas à pecuária. Desse modo, o uso antrópico predomina, em consequência o desmatamento é impulsionado pelo aumento das áreas de pastagem.

Considerações finais

Ao comparar a eficiência dos classificadores supervisionados para o mapeamento de uso da terra e cobertura vegetal constatou-se que o algoritmo por regiões Bhattacharyya é o mais eficiente comprovado através de parâmetros estatísticos do Índice *Kappa* e Acurácia Global que classificou o mapeamento como Muito Bom, os quais foram observados e quantificados os diferentes tipos de usos da terra onde as ações de caráter antrópico são mais expressivas culminado na retirada da cobertura vegetal na área da bacia. Estas informações podem auxiliar no planejamento e ordenamento territorial na bacia hidrográfica do córrego Mangueirão, de maneira relativamente rápida, prática e eficiente.

Referências

BORGES, M. H; PFEIFER, R. M; DEMATTÊ, J.A.M. Evolução e Mapeamento do Uso da Terra, através de Imagens Aerofotogramétricas e Orbitais em Santa Bárbara D'oeste (SP). In: **Sci. agric.**, Piracicaba, 50(3): 365-371, out./dez., 1993.

CROSTA, A. P. **Processamento Digital de Imagens de Sensoriamento Remoto**. Campinas, SP: Instituto de Geociências/UNICAMP, 1992.

<https://periodicosonline.uems.br/index.php/GEOF/index>

CROSTRA, A. P. **Processamento digital de imagens de sensoriamento remoto**. 4 ed. rev. Campinas: Instituto de Geografia – UNICAMP. p.164. 2002.

FLORENZANO, T. G. **Iniciação em sensoriamento remoto** /Tereza Gallotti Florenzano.3 ed.ampl. e atual. São Paulo: Oficina de Textos, p, 71-79, 2011.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE), Tutorial Spring 5.1.8. Disponível:<file:///C:/Program%20Files%20%28x86%29/Spring518_Portugues_x86/helpport/c_clapix.htm#maxver. Acesso em 07 de novembro de 2011.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. Tradução da 2ed. por: EPIPHANIO, J. C. N. (coord.); FORMAGGIO, A. R; SANTOS, A. R; RUDORFF, B. F. T; ALMEIDA, C. M; GALVÃO, L. S. São José dos Campos: Parêntese. 672p. 2009.

LANDIS, J.R.; KOCH, G.G. The measurement of observer agreement for categorical data. **Biometrics**, v.33, n. 1. p. 159-174, 1977.

MACEDÔNIO, R.S. **Introdução ao Geoprocessamento, conceitos, técnicas e aplicações**, Novo Hamburgo: Feevale. p.103, 2007.

MOREIRA, M. A. **Fundamentos do sensoriamento e metodologias de aplicação**. 4.ed. atual.e ampl. Ed. UFV, 422p. Viçosa-MG: 2011.

NOVO, E. M. L. M. **Sensoriamento remoto: princípios e aplicações**. São Paulo: Blucher, 363p. 2008.

SEMAC. ESTADO DE MATO GROSSO DO SUL. Disponível:<<http://www.semac.ms.gov.br/control/Showfile.php?id=69460>. Acesso em: 31 de outubro de 2011.

STEINER, D. Time dimension for crop surveys from space. **Photogrammetric Engineering**. Falls Church, v.36, n.2, p.187-194. 1970.

VALERIANO, M. de M. **TOPODATA: guia de utilização de dados geomorfométricos locais**. São José dos Campos: INPE, 2008.

Recebido em 03 de julho de 2016.

Aceito em 03 de agosto de 2016.