

COMPARAÇÃO ENTRE MÉTODOS DE CLASSIFICAÇÃO PARA MAPEAMENTO DE ÁREAS QUEIMADAS NO PARQUE ESTADUAL DO JALAPÃO, TOCANTINS

COMPARISON OF CLASSIFICATION METHODS FOR BURNT AREA MAPPING IN THE JALAPÃO PARK, TOCANTINS, BRAZIL

Alfredo da Costa Pereira Júnior ¹, Virginia Antonioli ², Ana Luisa Kalantzopoulos Bretos ³

^{1,2,3} Divisão de Sensoriamento Remoto – DSR / Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Av. dos Astronautas, 1758, 12.227-010, São José dos Campos - SP, Brasil

^{2,3} Gestão Ambiental / Escola de Artes, Ciências e Humanidades - EACH / Universidade São Paulo - USP
Av. Arlindo Bértio, 1000, Ermelino Matarazzo, 03828-000, São Paulo- SP, Brasil

¹ alfredo@dsr.inpe.br, ² virginia.antonioli@usp.br, ³ ana.bretos@usp.br

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi de comparar e analisar três métodos de classificação de imagens TM/Landsat-5 – interpretação visual, classificação supervisionada com o método de máxima verossimilhança e classificação supervisionada com o método Battacharya aplicado sobre segmentação –, usados para mapear as áreas queimadas no Parque Estadual do Jalapão localizado no leste do estado de Tocantins, no bioma Cerrado. O ano escolhido foi 2010 porque houve a ocorrência de um forte El Niño, que causou grande influência no clima brasileiro e causou um aumento na frequência e área das queimadas na região. Os resultados quantitativos, em termos estatísticos, mostraram que: a) todos os métodos tiveram boa classificação, b) não houve diferença entre os métodos. Em termos qualitativos por análise visual os resultados mostraram que: a) a interpretação visual depende da acurácia visual e experiência do intérprete e pode levar a erros de omissão e inclusão e demanda mais tempo em relação aos outros métodos, não sendo indicada para extensas áreas e/ou grandes séries temporais; b) o método de máxima verossimilhança é um processo relativamente rápido, mas no mapeamento de áreas queimadas ocorreu moderada confusão com solo exposto; c) o método Battacharya aplicado sobre segmentação foi mais laborioso e houve confusão com rios e sombras.

Palavras-chave: Cerrado, savana, fogo, mapeamento, sensoriamento remoto.

ABSTRACT

The objective of this work was to analyze and compare three different methods to classify TM/Landsat-5 imagery – visual interpretation, classification supervised by the maximum likelihood method and classification supervised by the method Battacharya applied over segmentation – used to map burnt areas in the Jalapão Park, protected area in the east of Tocantins state, in the Brazilian savanna. The images were from 2010 because in this year a strong El Niño, which influenced the Brazilian climate and caused an increase in frequency and area of fires in the region. The quantitative results in statistics terms showed that: a) all methods have a good classification; b) there was no difference between the methods. The qualitative results by visual analysis showed that: a) the visual interpretation depends on the accuracy and visual experience of the interpreter and it can cause errors of omission and inclusion; it also takes more time compared to other methods, so it may not be suitable for big areas and large temporal series; b) the maximum likelihood method was a relatively quick process, but in the burnt area mapping occurs moderate confusion with bare soil; c) the method Battacharya applied over segmentation was more laborious and there was confusion with rivers and shadows.

Keywords: Brazilian savanna, fire, burnt area, mapping, remote sensing.

INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, a partir do uso do sensoriamento remoto orbital, tornou-se possível o monitoramento da evolução espacial e temporal das mudanças na cobertura da superfície terrestre. Valendo-se de sensores multiespectrais, fenômenos como queimadas, desmatamentos, expansão urbana e mudanças na cobertura vegetal, passaram a ser estudados de forma objetiva (REYNALDO *et al.*, 2009).

Segundo NOVO (1989) as principais vantagens que justificam os programas de sensoriamento remoto orbital são: estímulo às pesquisas multidisciplinares; informações de áreas de difíceis acessos; universalização dos dados e das técnicas de tratamento e análise de dados digitais; facilidade do recobrimento de grandes áreas (visão sinóptica); cobertura repetitiva com mesma hora local; grande quantidade de dados pontuais, sobre uma mesma área; transferência de dados satélite/Terra em tempo real; e o aspecto multiespectral, isto é, a capacidade dos sistemas sensores gerarem produtos em diferentes faixas espectrais, tornando possível o estudo e análise de diferentes objetos, os quais são identificados em determinadas faixas do espectro.

Através de softwares dedicados exclusivamente ao tratamento de imagens podem-se gerar diferentes composições de cores de imagens orbitais, ampliações de partes das imagens e classificações de objetos nelas identificados, obtendo-se assim, produtos como mapas temáticos utilizados em estudos de vegetação, agricultura, uso do solo, geologia, relevo, rede de drenagem, inundações, entre outros (REYNALDO *et al.*, 2009). A utilização de técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto, para identificar as modificações promovidas pelo homem no ambiente, são cada vez mais frequentes, destacando-se os estudos, identificação, quantificação e o monitoramento dos desmatamentos e das queimadas em locais protegidos, já que em grandes extensões de terras e florestas, existe a falta de recursos humanos e financeiros que dificulta e promove a subeficiência da atuação dos órgãos de fiscalização ambiental (REYNALDO *et al.*, 2009).

O conhecimento dos incêndios em vegetação é de extrema importância, principalmente levando-se em consideração que o ponto de partida para a elaboração dos planos de prevenção é tentar inferir uma padronização de incêndio nas regiões estudadas (SANTOS 2004). Diante disso, objetivou-se comparar e analisar três métodos de classificação diferentes – interpretação visual, classificação supervisionada com o método de máxima verossimilhança (doravante denominada maxver) e classificação supervisionada com o método Battacharya aplicado sobre segmentação (doravante denominada Battacharya) –, usados para mapear as áreas queimadas no ano de 2010 no Parque Estadual do Jalapão e sua zona de amortecimento, localizado a leste do estado de Tocantins, hoje uma conhecida região por seu potencial turístico que em seu interior tem moradores de comunidades que exercem a agropecuária de subsistência e a atividade extrativista.

MATERIAL E MÉTODO

Área de Estudo

O Parque Estadual do Jalapão, criado pela Lei Estadual nº 1203, de 12 de janeiro de 2001, objetiva proteger a fauna, a flora e os recursos naturais de forma a garantir o aproveitamento sustentado do potencial turístico na região, fato que restringe suas formas de exploração, admitindo-se apenas o aproveitamento indireto de seus benefícios (BENVINDO, 2009). O Parque com 158.886 ha insere-se na porção nuclear da região do Jalapão e encontra-se nas coordenadas geográficas corresponde ao retângulo envolvente entre os paralelos 10°08'52" e 10°37'01"S e entre os meridianos 46°24'04" e 46°56'10"W (Figura 1). O limite ao norte da área é feito pelo município de São Felix do Tocantins e nas outras direções pertence ao município de Mateiros. Seus contornos territoriais são feitos pelos rios Sono e Soninho, ribeirão Brejão e o córrego Formiga (Benvindo, 2009). O município-sede do Parque Estadual do Jalapão, Mateiros, é o segundo maior do Tocantins, com 9.591,5 km²; e junto com os municípios de Ponta Alta do Tocantins, São Félix do Tocantins, Lagoa do Tocantins, Lizarda, Santa Tereza, Rio Sono e Novo Acordo representa a microrregião do Jalapão, esta abrangendo porções do sul dos estados do Maranhão e Piauí, do leste do Tocantins e oeste da Bahia (Figura 1) (BENVINDO, 2009).

O Parque possui vários tipos de vegetação: campo limpo, campo limpo úmido, campo sujo, cerrado sentido restrito, cerrado ralo, denso, rupestre, cerrado parque, vegetação esparsa sobre dunas, vereda, cerradão, mata de galeria não inundável e inundável, mata ciliar, mata seca semidecidual e vegetação lacustre (UNIDADES

DE CONSERVAÇÃO NA AMAZÔNIA BRASILEIRA, 2012). A geomorfologia é caracterizada por apresentar planaltos e chapadões aplainados, observando-se serras tipo "mesa" e morros "testemunhos" com bordas ruíniformes. Nos taludes das serras, ação erosiva pluvial e eólica é de forma destrutiva, esta denudação contínua provocará alterações no modelado da região. Predominam na região os solos formados por areias quartzosas e litólicos, ambos distróficos e álicos. Com relação aos recursos hídricos, a região do Jalapão está inserida na Bacia Hidrográfica Araguaia - Tocantins. Entre os principais rios destacam-se: Sono, Balsas, Novo, Galhão, Prata, Soninho, Vermelho, Ponte Alta, Come Assado, Frito Gordo, Caracol; e sua inquestionável importância ecológica é principalmente que ali estão algumas das nascentes de afluentes de rios como o Tocantins e o São Francisco (UNIDADES DE CONSERVAÇÃO NA AMAZÔNIA BRASILEIRA, 2012).

O fogo é usado na região como forma de manejo da terra, no extrativismo, pecuária e agricultura de subsistência (FIGUEIREDO, 2007; SCHMIDT, 2007). Existem várias populações residentes nas comunidades dentro dos limites do Parque que estão cada vez mais envolvidas com o capim dourado e buriti, atividade que interfere na dinâmica natural local, já que a renda conseguida com a venda das peças é muitas vezes maior quando comparada com outras atividades disponíveis. Estas espécies ocorrem nos campos úmidos e nas veredas, respectivamente, e sua rentabilidade no local passou a afetar o regime de queimadas na região, já que os extrativistas afirmam que populações de capim dourado devem ser queimadas a cada dois anos para florescerem na estação reprodutiva seguinte. Neste caso, tal mudança se mostra especialmente problemática pois já que a área é de difícil acesso, de baixa densidade populacional e com extensos campos, uma frente de fogo pode persistir na paisagem por dias, atingindo extensas áreas (FIGUEIREDO, 2007; SCHMIDT, 2007).

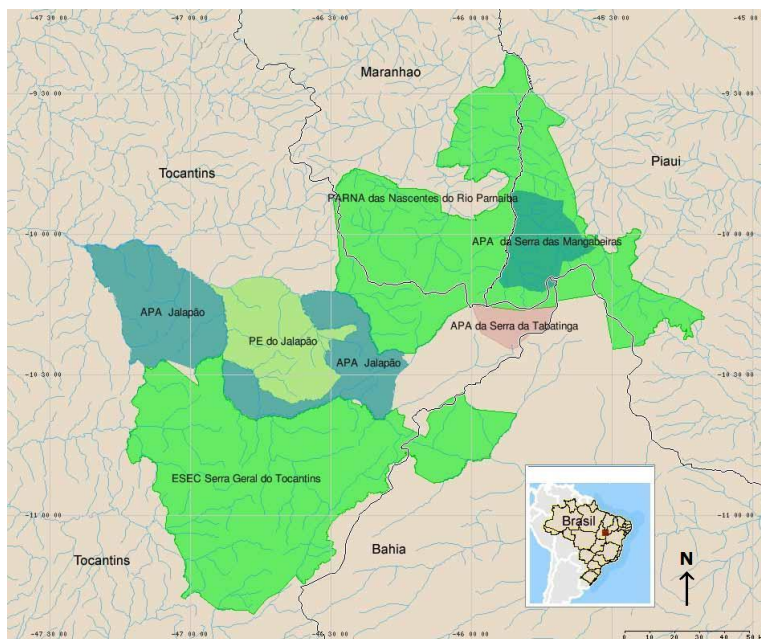


Figura 1. Parque Estadual do Jalapão no leste do estado do Tocantins e as unidades de conservação contíguas.

Figure 1. The Jalapão Park in the east of Tocantins state, Brazil, and the neighbor protected areas.

Materiais

Os materiais utilizados foram:

- Imagens do sensor orbital TM/Landsat-5, órbita/ponto 221/67, de 19/junho/2010 e 23/setembro/2010, bandas 3 (0,63-0,69µm), 4 (0,76-0,9µm), 5 (1,55-1,75µm) e 7 (2,08-2,35µm), acessíveis de forma gratuita em <http://www.dgi.inpe.br/CDSR> e <http://www.glovis.usgs.us>.
- Software livre SPRING 4.3.3 para processamento de imagens e geoprocessamento, desenvolvidos pelo INPE, acessível em www.dpi.inpe.br.

Neste trabalho foram utilizadas duas imagens digitais do sensor orbital TM/Landsat 5: uma do início da estação seca (19/junho /2010; Figura 2), período com menor risco de grandes incêndios; e outra do período final da estação seca (23/setembro/2010), período com maior risco de grandes incêndios de difícil controle. O ano de 2010 foi de ocorrências máximas de áreas queimadas no Parque Estadual do Jalapão provavelmente relacionada à ocorrência de um forte El Niño neste período (PIVELLO, 2011). As imagens TM/Landsat-5 possuem resolução espacial de 30 metros com exceção da banda 6 (banda termal), com 120 m e uma frequência temporal de 16 dias. As aplicações das imagens dos satélites Landsat são bastante amplas sendo utilizadas na avaliação das mudanças ambientais, na detecção de desmatamentos e queimadas e acompanhamento de uso do solo para um possível monitoramento de áreas de preservação. Todos estes fatores, mais a sua disponibilidade gratuita, possibilitaram as condições ideais na utilização das imagens provindas desse satélite para este estudo.

Foram utilizadas as bandas 3, 4, 5 e 7 para melhor discriminação das queimadas a partir das resoluções espectrais e refletância das condições da fenologia da vegetação e da identificação da área atingida pelo fogo, esta caracterizada por tonalidade escura pela maior absorção da radiação e pouca refletância nessas bandas para as queimadas recentes, e tonalidades magentas para as antigas pelo aumento da refletância nas bandas 5 e 7 devido à influência do componente do solo (Figura 2) (SHIMABUKURO *et al.*, 1991).

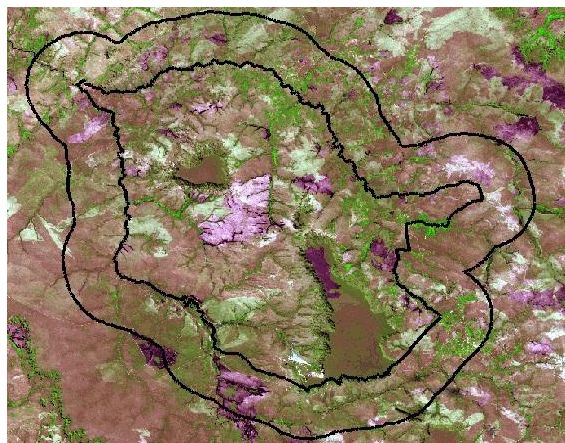


Figura 2. Parque Estadual do Jalapão e sua zona de amortecimento sobre imagem TM/ Landsat-5 de 19/junho/2010. As áreas queimadas são visíveis em tonalidades da cor magenta.

Figure 2. The Jalapão Park and their buffer zone over TM/ Landsat-5 image from 19/June/2010. The burnt areas are in magenta color.

Método

Classificação das áreas queimadas

Três métodos de classificação presentes no SPRING foram utilizados neste trabalho: 1) interpretação visual; 2) classificação supervisionada com o método de máxima verossimilhança (maxver); 3) classificação supervisionada com o método Battacharya sobre segmentação. As classificações ditas supervisionadas são semiautomáticas porque demandam uma interação com o analista quando da etapa de amostragem das classes (SCHOWENGERDT, 2007).

Dois analistas realizaram os processos de classificação das imagens TM/Landsat-5, um em cada data da imagem. Ambos possuíam conhecimentos em sensoriamento remoto da vegetação e suas queimadas, mas não eram conhecedores em campo da área de estudo. Um terceiro analista, com este conhecimento de campo, foi encarregado da análise da acurácia da classificação. A intenção foi verificar, além das diferenças dos métodos de classificação para áreas queimadas, uma possível diferença entre os analistas. Em nenhum dos métodos supervisionados foi realizada qualquer edição posterior à classificação.

Interpretação visual

Primeiramente definiu-se a escala de 1:50.000 para o mapeamento das áreas queimadas e área mínima ao redor de 5 ha. O segundo passo foi a aplicação de contraste à imagem utilizando as bandas 3 (azul), 4 (verde) e 5 (vermelha) e a partir dele as imagens foram fixadas para que não houvessem divergências em seus aspectos ao longo do trabalho. O terceiro passo foi a identificação e a digitalização das áreas queimadas, em modo temático e edição matricial baseando-se nas propriedades de tonalidade, cor, textura, forma, sombra e padrão dos objetos terrestres. As áreas queimadas apresentaram-se com formas irregulares, tamanhos variáveis e coloração principalmente cinza escura, destacando-as do restante da imagem.

Classificação supervisionada pelo método de Máxima Verossimilhança

É um método de classificação pixel a pixel na qual foram utilizadas as bandas 3, 4, 5 e 7. A primeira etapa é o treinamento na qual o analista faz a coleta de amostras das classes para utilização na etapa seguinte da classificação propriamente dita. Nesta, o analista define um limiar de aceitação em termos percentuais dos valores espectrais das amostras. No processo de treinamento foram geradas em média sete classes para as diferentes tonalidades de queimadas, que posteriormente foram reunidos em uma só classe denominada 'queimada'. Além disso, para melhor distinção entre a esta e outras classes foram criadas três classes de vegetação, duas de solo exposto e uma de areia (existe um conjunto de dunas na região do Parque). Para diminuir a confusão com as áreas sombreadas foi criada a classe 'sombra' já que podem ser confundidas com queimadas recentes, que também se mostram com baixa refletância nas bandas utilizadas. Diversos limiares de aceitação foram testados na classificação e o que apresentou melhores resultados foi o de 99%. Isso significa que as amostras analisadas treinaram o algoritmo de classificação maxver para que 99% dos valores espectrais em níveis de cinza em torno da média das amostras de pixels de uma dada classe fossem classificados como pertencentes a esta classe.

Classificação supervisionada com o método Battacharya aplicado sobre segmentação

É um método de classificação por regiões na qual também foram usadas as bandas 3, 4, 5 e 7. A primeira etapa do método é a segmentação, seguida pelo treinamento e por último é realizada a classificação propriamente dita. O processo de segmentação segmenta a imagem em regiões em função da semelhança dos pixels. O algoritmo de segmentação foi o de crescimento de regiões no qual, inicialmente, cada pixel é uma região distinta. A seguir, em um processo iterativo, pares de regiões espacialmente adjacentes são unidas segundo um critério de similaridade. O critério é função de um teste entre a média das regiões e de um limiar definido pelo analista. No processo de segmentação, os valores de similaridade e área que obtiveram melhores resultados foram de 15 a 20. Não houve suavização de arcos nem exclusão de bandas.

Na etapa seguinte de treinamento, o analista faz a coleta de amostras das classes sobre as regiões resultantes da segmentação. E por fim realiza a classificação pelo algoritmo Battacharya. Este é um método supervisionado de agrupamento aplicado sobre as regiões da segmentação, as quais são caracterizadas por atributos estatísticos. As regiões são agrupadas a partir de um parâmetro de similaridade que consiste na distância de Battacharya que é uma medida entre as regiões amostrais de uma dada classe e as regiões candidatas a relação de pertinência com esta classe. Para a classificação, o analista define um limiar de aceitação em termos percentuais dos valores espectrais das regiões amostrais para as classes. Entre os diversos limiares de aceitação testados na classificação o que apresentou melhores resultados também foi o de 99%. Isso significa que as regiões amostrais analisadas treinaram o algoritmo de classificação Battacharya para que 99% dos valores espectrais em torno da distância de Battacharya das regiões amostrais de uma dada classe fossem classificados como pertencentes a esta classe.

Acurácia do mapeamento das áreas queimadas

Para comparar os diferentes tipos de classificação para mapeamento das áreas queimadas, foram realizadas as análises da exatidão global e de estatística Kappa, referentes a uma amostragem com 200 pontos definida em função do tamanho da área estudada (CONGALTON, 2001). A exatidão global é um índice porcentual de concordância das classes, com o número de acertos divididos pelo número total de amostras. A estatística Kappa é uma medida de concordância interobservador e mede o grau de concordância além do que seria esperado tão somente pelo acaso. Esta medida tem como valor máximo o 1, onde este valor 1 representa total

concordância e os valores próximos e abaixo de 0 indicam nenhuma concordância. A qualidade da classificação associada aos valores da estatística Kappa é: entre 0,0 e 0,2 uma concordância ruim; entre 0,2 e 0,4 uma concordância razoável; entre 0,4 e 0,6 sugerem uma boa concordância; os valores entre 0,6 e 0,8 uma concordância muito boa; e entre 0,8 e 1,0 sugerem uma excelente concordância (LANDIS & KOCH, 1977).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados estatísticos estão na Tabela 1. Observa-se que para as duas datas de imagens, os três métodos de classificação obtiveram altos índices de exatidão global, com valores próximos em cada data das imagens TM/Landsat-5 de 2010. Considerando o índice Kappa, todos os valores obtidos estão na faixa de 0,6 a 0,8, portanto com concordância considerada boa. Pode-se afirmar então, que em termos estatísticos, todos os métodos avaliados são bons. Além disso, na comparação dois a dois entre os métodos, não houve nenhuma diferença significativa.

Tabela 1. Acurácia de mapeamentos de áreas queimadas em duas imagens TM/Landsat-5 de 2010 do Parque Estadual do Jalapão, Tocantins. As classificações foram realizadas com os métodos de interpretação visual, classificação supervisionada com o método de máxima verossimilhança (maxver) e classificação supervisionada com o método Battacharya sobre segmentação.

Table 1. Accuracy of the burnt area mapping in two TM/Landsat-5 from 2010 in the Jalapão Park, Tocantins state, Brazil. Classification are performed with visual interpretation, classification supervised with maximum likelihood method (maxver) and classification supervised with Battacharya method applied over segmentation.

Data	Método de classificação	Exatidão Global	Índice Kappa	Estatística Z	Significância
19/junho/2010	visual	0,935	0,633	6,82	S ^b
	maxver	0,935	0,687	8,43	S
	Bhattacharya	0,930	0,613	6,54	S
	visual X maxver			-0,44	NS ^c
	visual X Bhattacharya			0,15	NS
	maxver X Bhattacharya			-0,59	NS
23/setembro/2010	visual	0,865	0,699	13,05	S
	maxver	0,885	0,736	14,50	S
	Bhattacharya	0,860	0,682	12,44	S
	visual X maxver			-0,51	NS
	visual X Bhattacharya			0,21	NS
	maxver X Bhattacharya			-0,72	NS

^a ao nível de confiança de 95%; ^b S = significativo; ^c NS = não significativo.

Por outro lado, a análise visual das classificações (Figura 3) e das áreas queimadas (Tabela 2) pelo analista independente mostrou: 1) a interpretação visual em ambas as datas mostraram uma fraca omissão das áreas queimadas; 2) a classificação Bhattacharya fez uma fraca inclusão de algumas áreas de rios profundos e sombras como queimadas e uma fraca omissão áreas queimadas, mas neste caso diferente da interpretação visual; 3) a classificação maxver fez uma moderada inclusão de áreas de vegetação com componentes de solo exposto na imagem de junho/2010 e uma moderada omissão na de setembro/2010.

A interpretação visual é processo que o analista guia-se principalmente pela tonalidade para de distinção dos objetos de interesse, o que pode levar a erros tanto de omissão como de inclusão pela tênue separação de tons em alguns casos (como citado, no presente estudo ocorreram omissões), pois as queimadas podem sofrer alteração de tonalidades em poucas semanas pela incorporação ao solo e deslocamento pelo vento das cinzas e carvões. Este fenômeno é somado à limitada capacidade de diferenciação tonalidades do ser humano. Além disso, como a interpretação depende da habilidade manual e visual assim como da experiência do interprete, esse método acaba por demandar um tempo maior relativo aos métodos semiautomáticos. Assim,

dependendo do número de analistas disponíveis, pode não ser indicado para grandes séries temporais ou grandes extensões de área.

O método maxver é um processo relativamente rápido, mas no caso do foco da classificação ser as queimadas, apresenta uma moderada de confusão, principalmente com solo exposto, o que pode demandar tempo numa posterior correção manual dos possíveis erros. Uma possibilidade a ser explorada são processos semiautomáticos de pós-classificação e algoritmos aperfeiçoados do maxver que usam informações contextuais. O algoritmo de segmentação no método Battacharya pode se tornar um processo lento dependendo do limite de similaridade e do tamanho de área de estudo e da área mínima mapeada. Isto pode ser um fator limitante dependendo do equipamento utilizado. De um ponto de vista lógico, a classificação baseada em segmentação deveria apresentar maior precisão com relação aos métodos sem segmentação prévia por ser uma combinação de dois processos de identificação de regiões na imagem. Entretanto, esse método se apresentou mais laborioso que o maxver com praticamente a mesma acurácia.

Tabela 2. Áreas queimadas em duas imagens TM/Landsat-5 de 2010 do Parque Estadual do Jalapão, Tocantins. As classificações foram realizadas com interpretação visual, classificação supervisionada com o método de máxima verossimilhança (maxver) e classificação supervisionada com o método Battacharya sobre segmentação.

Table 2. Burnt area mapping in two TM/Landsat-5 from 2010 in the Jalapão Park, Tocantins state, Brazil. Classification are performed with visual interpretation, classification supervised with maximum likelihood (maxver) method and classification supervised with Battacharya method applied over segmentation.

Data	Método de Classificação	Área Queimada					
		Parque		ZA ^a		Parque + ZA	
		ha	% ^b	ha	% ^c	ha	% ^d
19/06/2010	visual	16.638,30	10,5	12.891,15	8,1	29.546,01	9,3
	maxver	20.209,95	12,7	17.307,00	10,9	37.538,19	11,8
	Bhattacharya	16.426,62	10,3	12.511,35	7,9	28.956,87	9,1
23/09/2010	visual	38.093,31	24,0	53.889,30	33,9	92.064,69	28,9
	maxver	35.888,04	22,6	52.046,55	32,7	88.005,51	27,7
	Bhattacharya	40.383,09	25,4	53.576,64	33,7	94.037,85	29,6

^a zona de amortecimento; ^b relativa à área do Parque; ^c relativa à área da zona de amortecimento; ^d relativa à soma da área do Parque com a da zona de amortecimento.

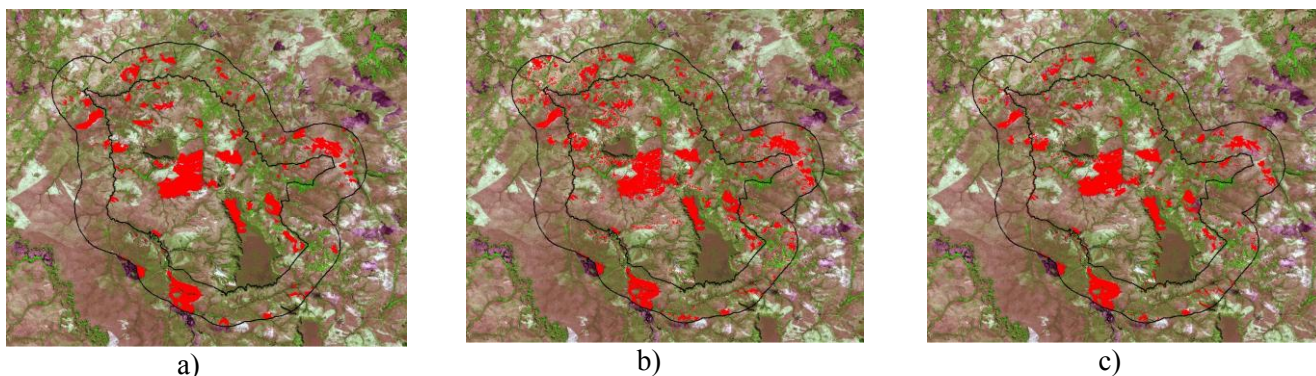


Figura 3. Parque Estadual do Jalapão e da zona de amortecimento sobre imagem TM/ Landsat-5 de 19/junho/2010 com áreas queimadas classificadas em vermelho: a) interpretação visual; b) classificação supervisionada por máxima verossimilhança c) classificação supervisionada por Battacharya sobre segmentação.

Figure 3. The Jalapão Park and their buffer zone over TM/ Landsat-5 image from 19/June/2010 with classification of burnt areas in red: a) visual interpretation; b) classification supervised by the maximum likelihood method; c) classification supervised by the method Battacharya applied over segmentation.

CONCLUSÃO

As três classificações utilizadas foram eficazes para mapear as áreas queimadas no ano de 2010 no Parque Estadual do Jalapão. Como os três métodos se mostraram similares em acurácia em termos estatísticos, o fator determinante para escolha do método classificatório pelo usuário é dado através dos diferenciais apresentados por alguns termos qualitativos, como a análise visual de um especialista, a dependência do analista no caso da interpretação visual e o tempo reduzido do processo classificatório no caso das classificações semiautomáticas. No presente estudo, o processo mais adequado foram a interpretação visual e a classificação supervisionada Batthacharya sobre segmentação, pois a classificação supervisionada por máxima verossimilhança apresentou maior confusão na análise visual. E um possível estudo em uma extensa área e/ou grande série temporal, não seria aconselhável a classificação visual por demandar maior tempo relativo, sendo que a classificação semiautomática pode apresentar resultados semelhantes em um tempo muito menor. Novas análises devem ser realizadas com outros classificadores como o método de máxima verossimilhança contextual e análise com base em objeto.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos: 1) Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica (PIBIC) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa de iniciação científica.

REFERÊNCIAS

- BENVINDO, R.A.F. *Análise comparativa dos instrumentos de regulamentação das políticas de proteção ambiental e de promoção do ecoturismo: o caso do Parque Estadual do Jalapão – TO*. Brasília: Universidade de Brasília – UnB / Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, 2009.
- CONGALTON, R.G. Accuracy assessment and validation of remotely sensed and other spatial information. *International Journal of Wildland Fire*, v. 10, n. 4, p. 321-328, 2001.
- FIGUEIREDO, I.B. *Efeito do fogo em populações de capim dourado (Syngonanthus nitens euriocaulaceae) no Jalapão, TO*. Universidade de Brasília / Instituto de Ciências Biológicas. Brasília. 2007.
- LANDIS, J.R.; KOCH, G.G. The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics*, v. 33, n. 1, p. 159-174, 1977.
- NOVO, E.M. *Sensoriamento remoto: princípios e aplicações*. São Paulo: Edgard Blucher, 1989.
- PIVELLO, V.R. The Use of Fire in the Cerrado and Amazonian Rainforests of Brazil: Past and Present. *Fire Ecology*, v. 7, p. 24-39, 2011.
- REYNALDO, E.F. *et al.* Uso de classificadores para o mapeamento da vegetação nativa de cerrado. Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, XIV, 2009. *Anais do XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, Natal: INPE, 2009. p. 4279-4286.
- SANTOS, J.F. *Estatística de incêndios florestais em áreas protegidas no período de 1998 a 2002*. Dissertação de Mestrado. Curitiba: Universidade Federal do Paraná - UFPR, 2004.
- SCHMIDT, I. B. *et al.* Ethnobotany and effects of harvesting on the population ecology of *Syngonanthus nitens* (Bong.) Ruhland (Eriocaulaceae), a NTFP from Jalapão Region, Central Brazil. *Economic Botany*, v. 61, n. 1, p. 73-85, 2007.
- SHIMABUKURO, Y.E. *et al.* Dados sensoriais no monitoramento e avaliação de áreas queimadas: o caso do Parque Nacional das Emas (GO). *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 26, p. 1589-1598, 1991.

SCHOWENGERDT, R.A. *Remote Sensing: Models And Methods for Image Processing*. Academic Press, 3rd Edition. 2007.

UNIDADES DE CONSERVAÇÃO NA AMAZÔNIA BRASILEIRA. *PES do Jalapão*. Disponível em: <http://uc.socioambiental.org/pt-br/uc/3235>. Acesso em: 09 Fev., 2012.