

Análise de algoritmos para classificação digital de imagem TM/Landsat, utilizando dados de videografia aérea, para identificação da cobertura do solo em uma região do interflúvio Madeira-Purus – AM .

Luiz Rogério Mantelli
Arimatéia de Carvalho Ximenes
Silvana Amaral
Leila Fonseca

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Caixa Postal 515 - 12245-970 - São José dos Campos - SP, Brasil
{arimatea, silvana,leila}@dpi.inpe.br , mantelli@dsr.inpe.br

Abstrat. This work evaluates digital classification algorithms over TM/Landsat5 imagery to identify land coverage and vegetation types. Bands TM3, TM4 and TM5 from Landsat5 were used to classify a region between the Madeira and Purus River in the state of Amazon, Brazil. Airborne videography images were used as ground truth for validation and statistical analysis of the classification. Four algorithms were tested, two of them based on classification by pixel, Maximum Likelihood – Maxver and Kmedia, respectively, and two of them based on regions, Bhattacharya and Iseog, respectively. The classification algorithms based on regions, Bhattacharya and Iseog, presented the best results with Kappa coefficient values of 0,75 and 0,67, respectively. The classification algorithms based on pixel (Maxver and Kmedia) presented low classification performance.

Palavras-chave – Airborne videography, land cover, Bhattacharya, Maxver, Iseog, Kmedia, Videografia aérea, Bhattacharya, Maxver, Iseog, K-médias.

1. Introdução

As florestas tropicais ocupam apenas 7% da superfície terrestre (Whitmore, 1997). Porém, dados de estimativas indicam que mais da metade das espécies da biota mundial se concentram nesse ecossistema (Wilson, 1997). Atualmente, a biodiversidade é considerada a maior riqueza dos ecossistemas tropicais, principalmente em função dos grandes avanços da biotecnologia (Nagendra e Gadgil, 1999). Neste contexto, a necessidade de prever e detectar mudanças no ambiente natural tem se tornado de interesse primário nas conferências internacionais sobre meio ambiente (Kerr e Ostrovsky, 2003).

A Amazônica brasileira compreende uma parte significativa da área total de florestas tropicais do mundo, abrangendo uma área de mais de 5 milhões de km². Entretanto, a mudança do uso e cobertura da terra está ocorrendo em passos acelerados, principalmente nos trópicos. Estas mudanças nos ecossistemas terrestres estão fortemente associadas aos processos de desenvolvimento dos países subdesenvolvidos, onde não há planejamentos para a ocupação do território (Anderson et al., 2005).

Contudo, ainda existem regiões relativamente conservadas e pouco conhecidas na Amazônia, como é o caso da região do interflúvio Madeira-Purus. Este interflúvio determina uma ecorregião distinta e tem se mostrado como uma área de endemismo para animais, como observado por Cohn-Haft (comunicação pessoal), que descreveu duas novas espécies de aves na região.

Ao longo do interflúvio Madeira-Purus, ligando Porto Velho a Manaus, há a rodovia BR-319, onde os planos de pavimentação constituem uma ameaça para a preservação ambiental. Através de decreto presidencial, no dia 02 de janeiro de 2006 foi criada a ALAP (Área sob Limitação Administrativa Provisória) para a região do entorno da BR-319. Uma proposta de mosaico de unidades de conservação no entorno da rodovia encontra-se em estudo, incluindo a criação de Distrito Florestal Sustentável (Ministério do Meio Ambiente, 2006). Desta forma,

estudos sobre as diferentes formações vegetais e cobertura da terra na região são de grande valia para subsidiar as estratégias de conservação que estão sendo discutidas.

Os produtos do sensoriamento remoto, ao permitirem a observação de áreas inacessíveis por terra, são ferramentas úteis na caracterização das formações vegetais. Seja através dos dados obtidos por plataformas orbitais (Anderson et al., 2005), ou obtidos por plataformas aéreas, como as videografias que são geralmente utilizadas como verdade terrestre (Affonso, 2003; Powel et al., 2004; Espírito-Santo e Shimabukuro, 2005).

Além dos dados de sensoriamento remoto, há técnicas de processamento digital de imagens, como o modelo linear de mistura espectral (Shimabukuro e Smith, 1991), que melhoram a identificação dos alvos de interesse, facilitando a classificação das imagens.

Para que o mapeamento obtido por sensoriamento remoto possa ser utilizado como base para planejar e discutir conservação, é necessário indicar o processamento que melhor diferencie os objetos de estudo, assim como avaliar a precisão do mapeamento realizado.

Este trabalho tem como objetivo comparar diferentes métodos de classificação de imagem para o mapeamento da cobertura da terra em uma área do interflúvio Madeira-Purus. Para tanto, técnicas de classificação por pixel e por regiões foram aplicadas às imagens de fração do modelo linear de mistura espectral. Para validação dos mapas, videografias aéreas foram utilizadas como verdade terrestre.

2. Materiais e Métodos

2.1. Área de estudo

A área de estudo localiza-se na região norte do interflúvio Madeira-Purus no estado do Amazonas, próximo à sede do município de Manicoré (entre as coordenadas $061^{\circ}55''$ e $060^{\circ}52'$ de longitude e $s6^{\circ}02'$ - $s5^{\circ}20'$ de latitude). Esta é uma das áreas de estudo da Rede GEOMA (Rede Temática de Pesquisa em Modelagem Ambiental da Amazônia), no qual se insere este trabalho. Caracteriza-se por diferentes fitofisionomias como a floresta tropical densa, florestas de várzea e entraves de campina.

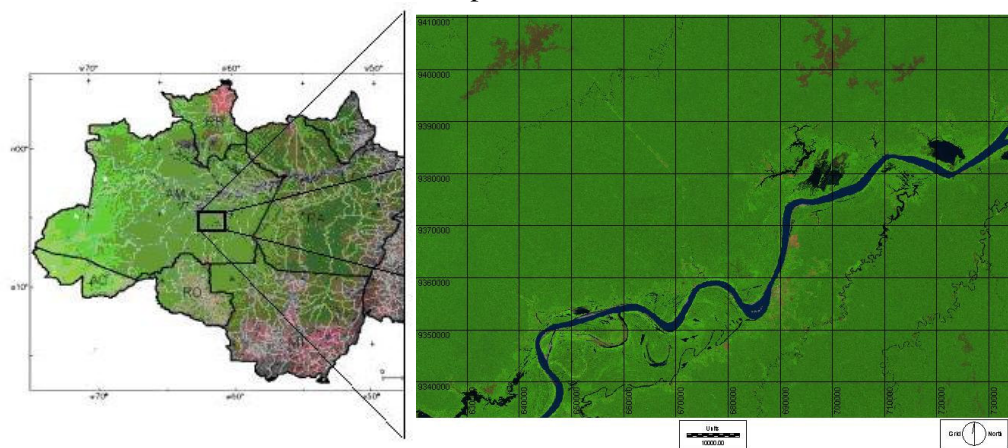


Figura 1: Localização da área de estudo.

2.2. Metodologia

Foram utilizadas as bandas 3, 4 e 5 do satélite Landsat-5 sensor TM, obtida em 16 de agosto de 2006. A imagem não possui cobertura de nuvens e a data de obtenção é a que mais se aproxima da data da realização da videografia. O sobrevôo realizado pelo projeto Geoma adquiriu dados de videografia percorrendo diversos estados da Amazônia Legal, e entre os dias 9 e 10 de junho de 2006 as imagens utilizadas neste trabalho foram adquiridas. Para

observar detalhes da Videografia Aérea da Amazônia do projeto GEOMA e para acessar os dados consultar o sítio (<http://www.dpi.inpe.br/geoma/videografia/>).

O processo de registro foi realizado tomando-se como referência o mosaico de imagens ETM+/Landsat7 ortorretificadas GeoCoverTM, (<https://zulu.ssc.nasa.gov/mrsid/>). A correção radiométrica e a conversão dos valores de nível digital da imagem registrada para valores reflectância da superfície foram realizadas na seqüência. Para estes procedimentos utilizou-se o software ENVI 4.2.

Os demais processamentos foram realizados através do software SPRING 4.3. Inicialmente foi criado o banco de dados e delimitada a área do projeto. Em seguida foi aplicado o modelo de mistura espectral, originando três novas imagens (fração solo, sombra e vegetação), de acordo com a metodologia descrita por Shimabukuro e Smith (1991). O estimador aplicado foi o Mínimo Quadrado Ponderado (MQP).

O procedimento de segmentação foi aplicado às imagens geradas pelo modelo de mistura, utilizando o método de “crescimento de regiões”, um valor de limiar 18 e área de pixel 23, sem a suavização de arcos. Os valores de limiar e área foram definidos após testes para determinar a distribuição ideal das regiões para o processo de classificação das imagens. As imagens foram classificadas em duas etapas, sendo utilizadas para ambas, as imagens fração solo, sombra e vegetação (Vasconcelos e Novo, 2004). Primeiramente foram executados os métodos de classificação por região Bhattacharya (supervisionado) e Ioseg (não-supervisionado) e, em seguida foram aplicados os métodos de classificação por pixel, Máxima Verossimilhança (Maxver) (supervisionado) e K-médias (não-supervisionado). Para todos os classificadores adotou-se o limiar máximo de aceitação.

2.3. Análise de exatidão da classificação

Para classificar a imagem, as seguintes classes de cobertura da terra foram definidas: Floresta densa (Fden), floresta de várzea (Fvar), campina (Cam), solo exposto (Se) e água (Ag). Estas classes foram validadas através das imagens de videografia aérea. Dentro das regiões de interesse, as amostras de videografia (verdade terrestre) foram pré-selecionadas de modo a contemplar todas as diferentes classes. A partir desta estratificação, uma amostragem aleatória das imagens de videografia foi realizada. Deste procedimento, 178 pontos amostrais (imagens de videografia) foram selecionados como verdade terrestre.

A partir dos pontos amostrais, as matrizes de confusão foram construídas e para cada mapeamento foram calculadas a exatidão global e o índice Kappa (Cogalton e Green, 1991). Para comparação entre os classificadores utilizou-se o teste Z com intervalo de confiança de 95%.

3. Resultados e discussão

Os classificadores por região e por pixel apresentaram diferenças evidentes na classificação, como pode ser visto nas **Figuras 1, 2, 3 e 4**. Observa-se que as classificações por pixel geraram imagens com aspecto granuloso (**Figuras 3 e 4**), e também a floresta densa e a floresta de várzea se confundiram. O classificador K-médias também confundiu floresta densa com solo exposto.

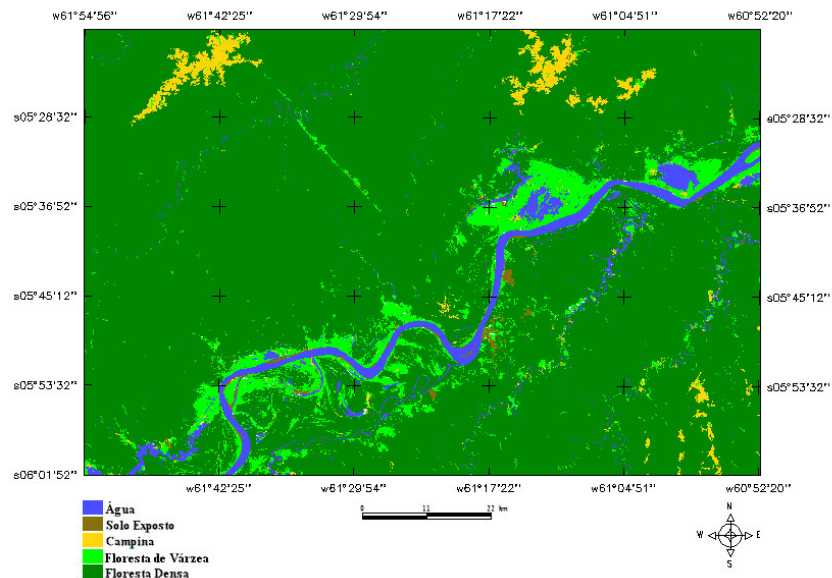


Figura 1: Classificador por região: Bhattacharya (supervisionado)

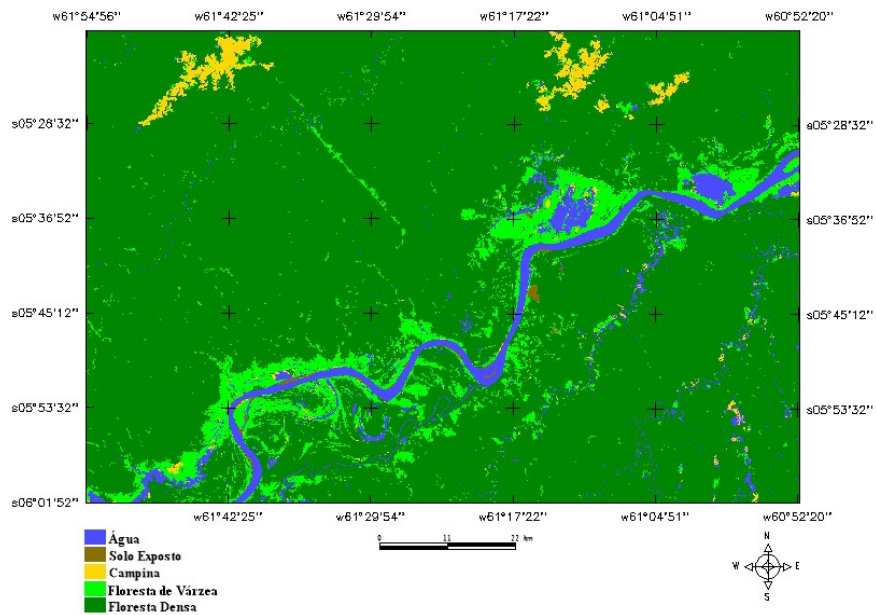


Figura 2: Classificador por região: Ioseg (não- supervisionado).

As florestas de várzea tiveram maior erro por omissão nos classificadores por região (**Tabelas 1 e 2**), porque houve bastante confusão com a floresta densa, principalmente nas áreas de transição com a campina. Já os erros por comissão foram maiores nos classificadores por pixel, onde foram classificadas áreas como floresta de várzea quando na verdade esta pertencia à classe floresta densa (**Tabelas 3 e 4**).

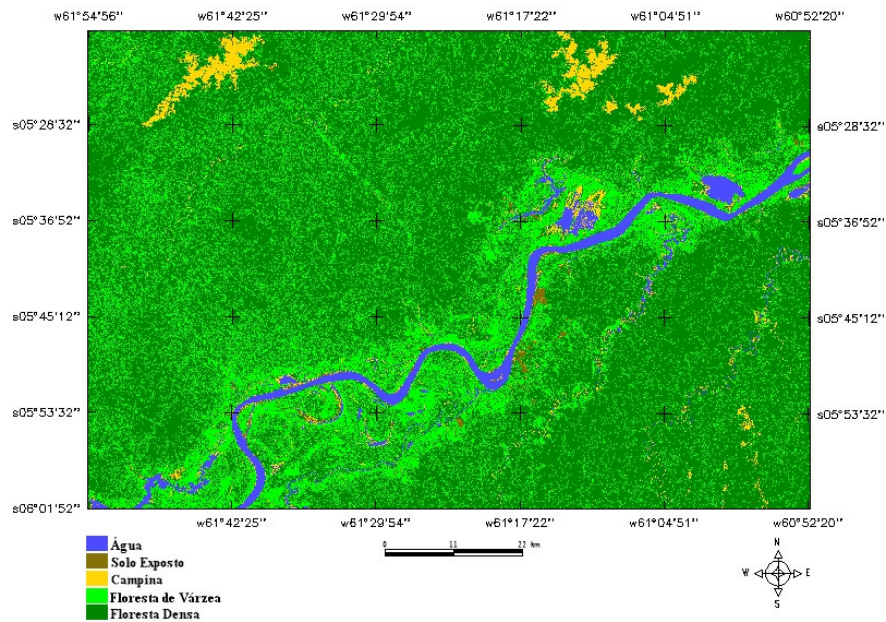


Figura 3: Classificador por pixel: Maxver (supervisionado)

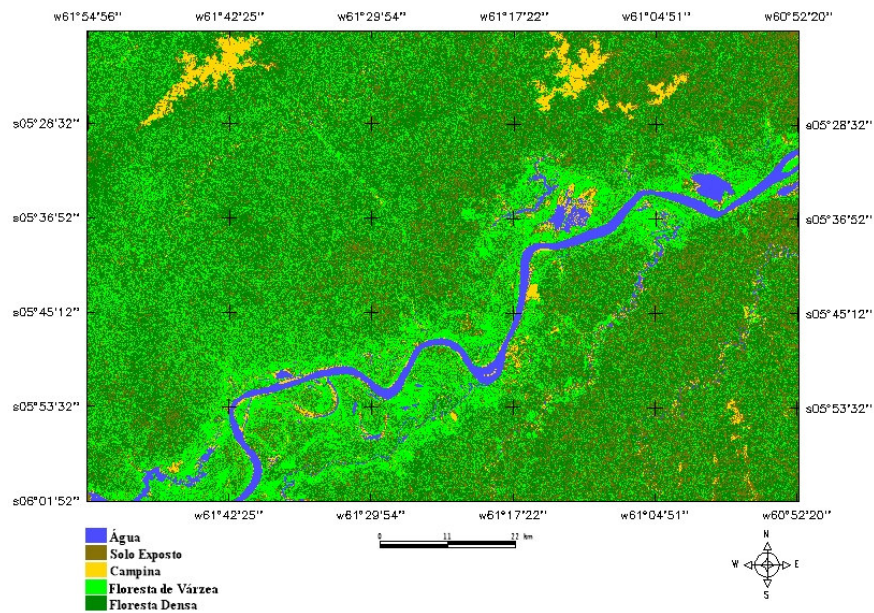


Figura 4: Classificador por pixel: K-médias (não-supervisionado).

Para as florestas densas, os classificadores por região não apresentaram erros por omissão (**Tabelas 1 e 2**). No entanto, os classificadores por pixel confundiram as florestas densas com as florestas de várzea. Além disso, o classificador K-médias confundiu também as florestas densas com solo exposto (**Tabelas 3 e 4**). Para os erros por comissão, todos os classificadores obtiveram, praticamente, os mesmos resultados (**Tabelas 1, 2, 3 e 4**).

Tabela 1: Matriz de confusão da classificação Bhattacharya (Cogalton e Green, 1991).

		Classificação					Total	Erro omissão
Classes		Fden	Fvar	Cam	Se	Ag		
Verdade terrestre	Fden	103					103	0%
	Fvar	15	11	2			28	60%
	Cam	4		24	1		29	17%
	Se		1		9		10	1%
	Ag	1					7	8
Total		123	12	26	10	7	178	
Erro comissão		16%	8%	8%	1%	0%		

Onde: Fden = Floresta Densa; Fvar = Floresta de várzea; Cam = Campina; Se = Solo exposto; Ag = água.

Tabela 2: Matriz de confusão da classificação Ioseg (Cogalton e Green, 1991).

		Classificação					Total	Erro omissão
Classes		Fden	Fvar	Cam	Se	Ag		
Verdade terrestre	Fden	103					103	0%
	Fvar	14	11			3	28	61%
	Cam	4	5	19		1	29	34%
	Se		4		5	1	10	50%
	Ag	1					7	8
Total		122	20	19	5	12	178	
Erro comissão		16%	45%	0%	0%	42%		

Onde: Fden = Floresta Densa; Fvar = Floresta de várzea; Cam = Campina; Se = Solo exposto; Ag = água.

As áreas de campina foram bem discriminadas pelo classificador Bhattacharya (**Figura 1**), com baixa porcentagem de erros (**Tabela 1**). O classificador Ioseg não obteve erros de comissão, porém omitiu 34% do total confundindo com floresta densa e de várzea (**Tabela 2**). Os classificadores por pixel, principalmente o K-médias (**Figura 4**), confundiram as campinas com o solo exposto devido à semelhança na resposta espectral destes alvos.

Tabela 3: Matriz de confusão da classificação Maxver (Cogalton e Green, 1991).

		Classificação					Total	Erro omissão
Classes		Fden	Fvar	Cam	Se	Ag		
Verdade terrestre	Fden	76	27				103	26%
	Fvar	8	19			1	28	32%
	Cam	7		20	2		29	31%
	Se			3	7		10	30%
	Ag	1					7	8
Total		92	46	23	10	7	178	
Erro comissão		17%	59%	13%	30%	0%		

Onde: Fden = Floresta Densa; Fvar = Floresta de várzea; Cam = Campina; Se = Solo exposto; Ag = água.

Na análise de exatidão de classificação, os classificadores por região Bhattacharya e Ioseg apresentaram os índices Kappa considerados muito bons, segundo descrição feita por Landis e Koch (1977), possuindo os valores de 0,75 e 0,67 e exatidão global de 86% e 81%, respectivamente (**Tabela 5**).

Tabela 4: Matriz de confusão da classificação K-médias (Cogalton e Green, 1991).

		Classificação							
		Classes	Fden	Fvar	Cam	Se	Ag	Total	Erro omissão
Verdade terrestre	Fden		56	30		17		103	46%
	Fvar		4	19	1	4		28	32%
	Cam		2	1	20	6		29	31%
	Se				8	1	1	10	90%
	Ag		1				7	8	13%
Total			63	50	29	28	8	178	
Erro comissão			11%	62%	31%	96%	13%		

Onde: Fden = Floresta Densa; Fvar = Floresta de várzea; Cam = Campina; Se = Solo exposto; Ag = água.

Os dois classificadores por região não apresentaram diferenças significativas a 5% quando aplicado o teste Z. Entretanto, podemos observar nas imagens classificadas e nas matrizes de confusão (**Figura 1 e 2; Tabela 1 e 2**) que algumas formações não foram bem discriminadas pelo Isege, enquanto que o Bhattacharya conseguiu diferenciar. Contudo, não existiam pontos de verdade terrestre para essas áreas, pois estavam fora da rota de vôo. Este fato também prejudicou as análises estatísticas e principalmente a aplicação do teste Z para comparação entre os classificadores.

Tabela 5: Índice Kappa, variância Kappa e exatidão global de cada classificação.

Classificador	Algoritmo	Índice Kappa	Var (Kappa)	Exatidão Global
Região/supervisionado	Bhattacharya	0,75	0,00198	86%
Região/não-supervisionado	Isege	0,67	0,00226	81%
Píxel/supervisionado	Maxver	0,56	0,00285	72%
Pixel/não-supervisionado	K-médias	0,40	0,00232	57%

Mesmo considerando os problemas de amostragem, os classificadores por pixel apresentaram diferenças significativas quando comparados com o classificador Bhattacharya que obteve o melhor resultado na classificação (**Tabela 6**).

Estes resultados corroboram com a literatura no sentido que os métodos de classificação automática baseada em regiões produzem resultados mais precisos (Vasconcelos e Novo, 2004). Esta evidência deve-se ao fato de que os classificadores por regiões não se baseiam apenas no valor de nível de cinza do pixel, como é o caso dos classificadores por pixel. Os classificadores por região, usados neste trabalho, utilizam o valor médio dos níveis de cinza de cada região e a matriz de covariância como critério de decisão para a classificação (Pereira et al., 2003).

Tabela 6: Normalização dos classificadores para comparar com Bhattacharya e com os classificadores por pixel.

Comparação entre classificadores	Z calculado
Bhattacharya e Isege	1,35
Bhattacharya e K-médias	5,33*
Bhattacharya e Maxver	2,78*
Maxver e K-médias	2,17*

* Foram rejeitados a 5% de significância.

Pelo fato dos classificadores por pixel terem apresentado resultados significativamente diferentes em relação aos classificadores por região, estes também foram comparados estatisticamente. O resultado na **Tabela 6**, mostra que os métodos Maxver e K-médias apresentaram diferenças significativas a 5%. Isto confirma o melhor resultado obtido pelo Maxver (Kappa= 0,56) em relação ao K-médias (Kappa=0,40) (**Tabelas 5 e 6**).

4. Considerações finais

A complexidade da paisagem dificultou a classificação dos diferentes tipos de uso e cobertura da terra. Entretanto, os resultados dos classificadores por região foram satisfatórios segundo uma análise visual e estatística. Os classificadores por pixel obtiveram resultados aceitáveis embora tenham sido estatisticamente inferiores aos métodos baseados em regiões.

As principais vantagens dos classificadores por pixel são a rapidez e facilidade no processamento. Já os classificadores por região que se mostraram mais eficientes, exigiram maior tempo de processamento, principalmente na fase de segmentação das imagens. O uso do modelo de mistura espectral contribuiu para a identificação das classes facilitando, assim, o processo de segmentação das imagens.

Com o uso das técnicas de processamento digital de imagens tais como o modelo linear de mistura e os diferentes métodos de classificação, pode-se gerar produtos com maior acurácia. Além disso, as imagens de videografia aérea usadas como verdade terrestre, podem fornecer importantes informações a respeito das unidades da paisagem, diferenciando os tipos de cobertura em áreas de difícil acesso.

5. Referências

- Anderson, L. O.; Shimabukuro, Y. E.; DeFries, R.; Morton, D.; Espírito-Santo, F.; Jasinsky, E.; Hansen, M.; Lima, A.; Duarte, V. Utilização de dados multitemporais do sensor MODIS para o mapeamento da cobertura e uso da terra. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 12., 2005, Goiânia. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2005. Artigos, p. 3443-3450.
- Congalton, R. G.; Green, K. **Assessing the accuracy of remotely sensed data: principles and practices**. New York: Lewis Publishers, 1999. 137 p.
- Espírito-Santo, F. D. B.; Shimabukuro, Y. E. Validação do mapeamento de uma área de floresta tropical com o uso de imagens de videografia aérea e dados de levantamento de campo. **Revista Árvore**, v. 29, n. 2, p. 227-239, 2005.
- Landis, J. R. and Koch, G. G. The measurement of observer agreement for categorical data. **Biometrics**, v. 33, p. 159-174, 1977.
- Ministério do Meio Ambiente 2006 Consultas públicas para criação de unidades de conservação na região de entorno da BR-319 (Manaus-Porto Velho), Área sob Limitação Administrativa Provisória – ALAP. Brasília, 12p.
- Nagendra, H.; Gadgil, M. Satellite imagery as a tool for monitoring species diversity: an assessment. **Journal of Applied Ecology**, v. 36, p. 388-397, 1999.
- Nascimento, P.S.R. 1997. **Avaliação de técnicas de segmentação e classificação em imagens Landsat-TM visando o mapeamento de unidades de paisagem na Amazônia**. São José dos Campos. Dissertação (Mestrado) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, INPE. 120p.
- Pereira, J. L. G.; Silva, M. F. F.; Thales, M. C.; Valente, A. M.; Oliveira, R. Classificação da cobertura da terra na área do entorno do parque estadual de monte alegre – PA. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR) 11, 2003, Belo Horizonte. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2003. Artigos, p. 2861 - 2867.
- Shimabukuro, Y.E.; Smith, J.A. The least-squares mixing models to generate fraction images derived from remote sensing multispectral data. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 29, n. 1, p. 16-20, 1991.
- Vasconcelos, C. H.; Novo, E. M. L. M. Mapeamento do uso e cobertura da terra a partir da segmentação e classificação de imagens – fração solo, sombra e vegetação derivadas do modelo linear de mistura aplicado a dados do sensor TM/Landsat5, na região do reservatório de Tucuruí - PA. **Acta Amazônica**, v. 34, n. 3, p. 487 – 493, 2004.
- Kerr, J. T.; Ostrovsky, M. From space to species: ecological applications for remote sensing. **Trends in Ecology and Evolution**, v. 18, n. 6, p. 299-305, 2003.
- Whitmore, T. C. Tropical forest disturbance, disappearance, and species loss. In: Laurance, W. F.; Bierregaard, R. O. Jr. (ed.). **Tropical Forest Remnants: ecology, management, and conservation of fragmented communities**. Chicago: University of Chicago, 1997. p. 3-12.
- Wilson, E. O. A atual situação da diversidade biológica. In: _____. (ed.). **Biodiversidade**. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1997. p. 3-24.