

Detecção de mudanças a partir de imagens TM/Landsat na Amazônia Sul Ocidental

Nara Vidal Pantoja¹
Érika Akemi Saito¹
Leila Fonseca¹
Liana O. Anderson²
João Viane Soares¹
Dalton de M. Valeriano¹

¹Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE
Caixa Postal 515 - 12245-970 - São José dos Campos - SP, Brasil
{nara, viane, dalton}@dsr.inpe.br, {erika, leila}@dpi.inpe.br

²Environmental Change Institute, School of Geography and the Environment,
Oxford University – ECI/SoGE
South Parks Road, Oxford, OX1 3QY, United Kingdom
liana.anderson@ouce.ox.ac.uk

Abstract. Brazil has the largest moist forest biome of the world, the Amazon, known for its ecological diversity and richness. However, the growing threat caused by the deforestation may cause extinction of species besides playing a role on global warming. The degradation in the Amazon forest is a result of logging and fires. The tracking of such impacts is accomplished by means of techniques using satellite images that have been tested for change detection and area quantification. Image processing techniques have been developed to detect and map the changes in the landscape. This paper focus on the detection of changes occurred during the 2000-2008' time frame in Acre State. We used Landsat TM images for change detection, based on the image-difference and Normalized Difference Vegetation Index (NDVI). The survey was validated with in situ data. The Isoseg classification applied on difference-images produced the best results with a kappa value equal to 0,96, while NDVI showed kappa of 0,87.

Palavras-chave: remote sensing, change detection, image processing, sensoriamento remoto, detecção de mudanças, processamento de imagens.

1. Introdução

Detecção de mudanças pode ser definida como o reconhecimento de alterações nos padrões característicos de determinado alvo nas imagens em certo período de tempo (Santos et al., 2005). No monitoramento ambiental, alguns critérios devem ser considerados relevantes como a origem da alteração da paisagem, a detecção de mudanças, a intensidade, a direção e a extensão da transformação de uso e cobertura da terra (Macleod e Congalton, 1998). Sensores remotos são muito utilizados no monitoramento de mudanças na superfície terrestre, fornecendo informações consistentes e medições repetidas em escala apropriada para muitos processos que provocam mudanças que incluem agentes naturais, antrópicos e mudanças climáticas (Kennedy et al., 2007).

Existem muitos estudos sobre detecção de mudança que se fundamentam em técnicas de Sensoriamento Remoto aplicados no monitoramento da cobertura da superfície terrestre. Os avanços nos procedimentos de processamento digital de imagens possibilitaram detectar e delimitar as alterações no meio ambiente. Singh (1989) cita a diferença e razão de imagens, análise por componentes principais e análise de vetor de mudanças como técnicas mais empregadas para mapear mudanças na paisagem. Más (1998) utilizou técnicas como diferenciação de imagens, diferenciação de índices de vegetação (NDVI) e análise de componentes principais.

A mudança na cobertura vegetal da Amazônia pode ser resultante de atividades de grande impacto sobre a vegetação, tais como desmatamento, queimadas e exploração madeireira. O

monitoramento desses impactos pode ser realizado por meio de técnicas utilizando imagens de satélite e já foram testadas para a detecção e quantificação de áreas em processo de conversão. Muitos autores têm empregado diversas técnicas de mapeamento de detecção de mudanças em áreas florestais da Amazônia (Santos et al. 2001, Aragão et al. 2001, Araújo et al. 2001, Espírito-Santo e Silva 2002, Graça et al. 2005).

Desta forma, este estudo pretende avaliar as mudanças ocorridas em uma região da Amazônia Sul Ocidental utilizando técnicas de subtração de imagens NDVI e diferença de bandas em imagens TM/Landsat para detectar mudanças na cobertura do solo no período de 2000 a 2008.

2. Metodologia de Trabalho

2.1. Área de Estudo

A área de estudo abrange o município de Capixaba, sudeste do Estado do Acre, situado em torno de 10°11'52'' latitude sul 68°04'30'' de longitude oeste (Figura 1) e possui uma superfície territorial de 1.713 km², que corresponde a 1,1% da área total do Estado (IBGE, 2004). O clima é do tipo equatorial quente e úmido, caracterizado por altas temperaturas, alta umidade relativa do ar e altos índices de precipitação pluviométrica. Os solos predominantes são argissolos e a vegetação predominante é floresta ombrófila aberta com palmeiras e floresta ombrófila densa (ACRE, 2007).

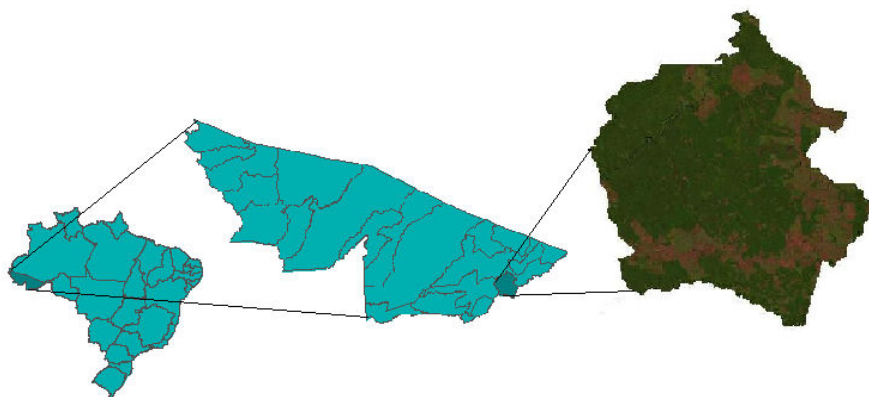


Figura 1. Localização da área de estudo. Município de Capixaba-AC.

2.2. Materiais utilizados

Para detectar a mudança no período de 2000 a 2008 na área que abrange o município de Capixaba-AC, foram selecionadas duas cenas do sensor TM/Landsat, órbita/ponto 002/67 do dia 27 de julho de 2000 e do dia 18 de agosto de 2008. Tais cenas foram obtidas no catálogo de imagens do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) disponível gratuitamente em < <http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>>. A Figura 2 esquematiza os procedimentos realizados neste trabalho.

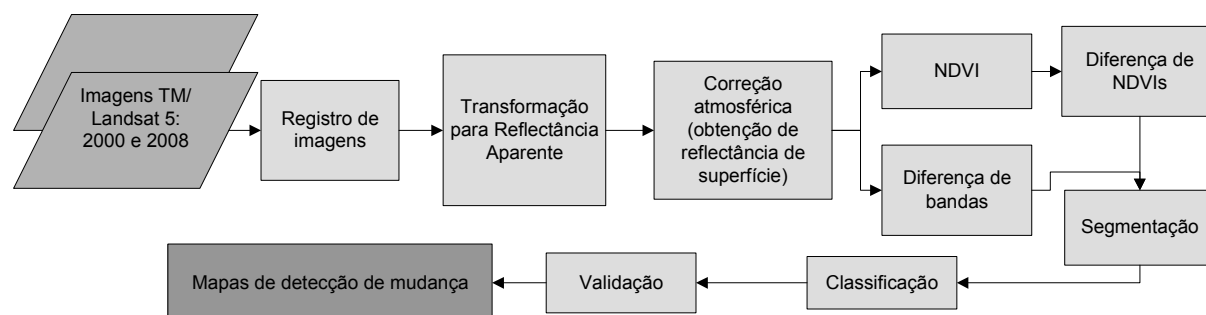


Figura 2: Fluxograma de procedimentos para detecção e mapeamento das mudanças.

Para a detecção de mudanças adotou-se o pressuposto de que não houve degradação do sensor e assim foram consideradas somente as variações de grandes amplitudes como característica das alterações de mudança na cobertura da terra.

2.3. Processamento dos dados

Os processamentos envolvidos neste trabalho foram realizados no software SPRING desenvolvido pelo INPE (Câmara, 1996), onde foi criado um banco de dados geográficos com sistema de projeção *Universal Transverse Mercator* (UTM) e Datum de referência *South American Datum* (SAD69) na zona 19 Sul.

A etapa de pré-processamento consistiu no registro das cenas utilizando como referência uma imagem georreferenciada da área de estudo. O registro de imagens trata-se de um ajuste geométrico de diferentes imagens ou sensores de maneira que compatibilize imagens de uma mesma área, considerando uma imagem como referência. O registro multitemporal é uma condição básica na análise simultânea de cenas tomadas em épocas distintas, e assegura que os pixels que compõem o conjunto de imagens analisadas pertençam a uma mesma região da superfície terrestre.

Posteriormente, as imagens das duas datas tiveram seus valores de nível digital convertidos para valores de reflectância aparente seguida da correção atmosférica utilizando o modelo de transferência radiativa *Second Simulation the Satellite Signal in the Solar Spectrum* (6S) (Vermote et al., 1997), a partir do qual foram obtidos os valores de reflectância de superfície.

Tomando como entrada as imagens corrigidas, calculou-se o índice de vegetação (Rouse et al., 1973):

$$NDVI = (IV - VIS) / (IV + VIS) \quad (2)$$

onde:

IV = valor de reflectância na banda do infravermelho próximo (banda 4);

VIS = valor de reflectância na banda do visível (banda 3).

Graça (2004) mostra que as técnicas de subtração de imagens, razão entre bandas e componentes principais são as mais utilizadas para a detecção de mudança, podendo identificar alterações no padrão de resposta espectral da vegetação em função do tempo, resultante de alterações fenológicas das espécies vegetais ou por intervenções antrópicas.

A imagem diferença que representa a mudança ocorrida é uma simples operação de subtração em que duas imagens são comparadas pixel a pixel para gerar uma imagem resultante da diferença numérica entre os pixels pareados das duas imagens (Graça, 2004):

$$\Delta_{ij} = (A_{ij}(t2) - A_{ij}(t1)) + b \quad (3)$$

onde:

Δ_{ij} = valor da diferença dos níveis de cinza (NC) dos pixels na linha i e coluna j;

$A_{ij}(t2)$ = valor do NC do pixel ij na data 2;

$A_{ij}(t1)$ = valor do NC do pixel ij na data 1;

b = constante igual a 127 para evitar números negativos, supondo uma amplitude de variação de 128 níveis de cinza.

Duas imagens diferença, denominadas imagens detecção, foram geradas: (1) diferença entre as imagens NDVI para as duas datas, 2000 e 2008, e (2) diferença entre as imagens originais (banda a banda). As imagens detecção obtidas a partir das imagens NDVI e das imagens originais foram classificadas utilizando os algoritmos Bhattacharya e Isoseg, respectivamente.

Os pixels de mudança foram rotulados de acordo com a intensidade e tipo de mudança, conforme as seguintes classes: i) regeneração: foram consideradas regiões em que no ano 2000 eram solo exposto ou pastagem e que na imagem de 2008 possuem alguma cobertura vegetal; ii) solo: áreas de mata ou pastagem, que por algum processo, tornaram-se solo exposto; iii) cultura: áreas de pastagem, mata ou solo exposto que foram convertidas para cultura; iv) sem mudança, trata-se de áreas que não passaram por processo de transformação possível de ser detectado nas imagens. Essa definição foi feita a partir de observações de campo e de acordo com a alteração sofrida na área nos últimos anos.

Para verificar a confiabilidade dos mapas gerados utilizaram-se dados de levantamento de campo coletados na área de estudo, verificando-se a acurácia da classificação a partir de matriz de confusão e estatística kappa.

Em razão de limitações dos dados disponíveis foi possível fazer a validação somente em uma porção da área de estudo, onde foram distribuídos 39 pontos verificados em campo durante campanha de campo realizada mês de agosto de 2008. A figura 3 apresenta a distribuição dos pontos usada na validação.



Figura 3. Distribuição dos pontos da validação na área de estudo. Sistema de projeção UTM/SAD 69, zona 19 Sul.

3. Resultados e Discussão

3.1. Detecção de mudanças nas imagens NDVI e diferença de bandas

As figuras 4 a e b apresentam as imagens de NDVI obtidas a partir das imagens TM/Landsat de 2000 e 2008, respectivamente. Pode-se observar que, as imagens de NDVI ressaltaram as áreas que sofreram alteração em virtude de novos desmatamentos no período.

A imagem NDVI de 2000 (Figura 4a) apresentou valores de níveis de cinza mais altos do que a de 2008 (Figura 4b) conforme a comparação do histograma das imagens, conseqüentemente no ano 2000 houve mais áreas com valores de NDVI altos do que em 2008.

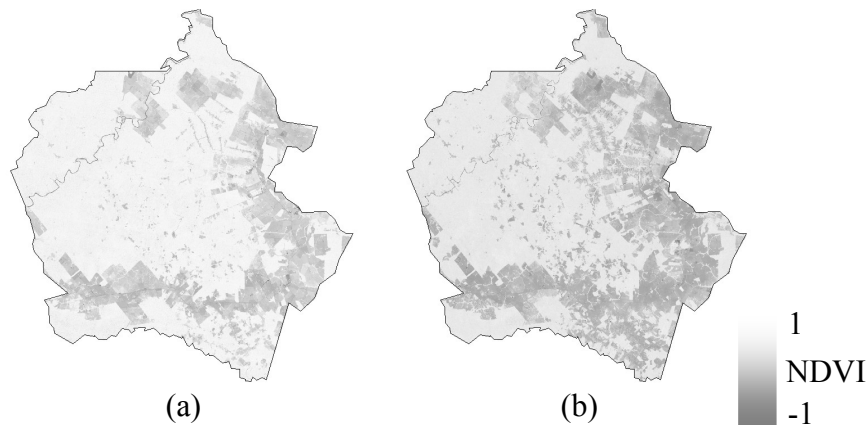


Figura 4. Imagens NDVI. (a) NDVI de 2000 e (b) NDVI de 2008.

As mudanças ocorridas entre 2000 e 2008 observadas nas imagens detecção, geradas a partir da imagem NDVI e das bandas originais são apresentadas nas Figuras 5 a e b, respectivamente. A imagem detecção, obtida a partir das imagens NDVI, permitiu ressaltar as áreas com redução da cobertura florestal em decorrência da mudança no uso da terra nos anos analisados.

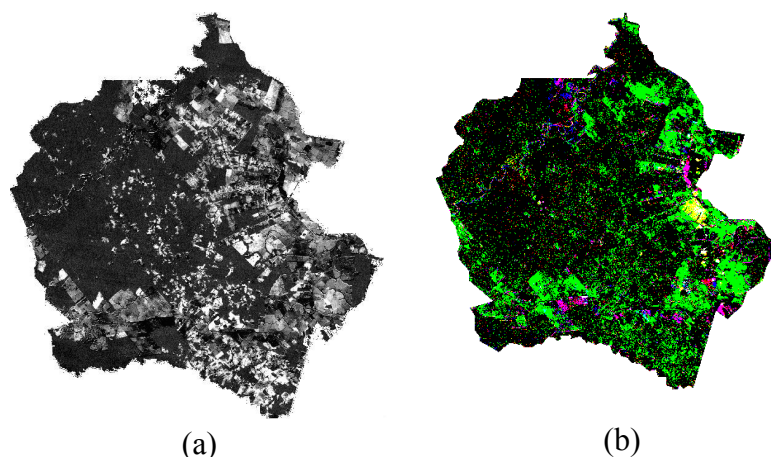


Figura 5. Subtração de imagens. (a) NDVI e (b) subtração de bandas - composição RGB/543. Verde escuro: sem mudança; vermelho: solo exposto; azul: cultura e verde claro: regeneração.

Os mapas de mudança, mostrados nas Figuras 6 e 7, permitiram analisar as alterações ocorridas no período estudado. O mapa de mudança NDVI (Figuras 6 a e b) apresenta o mapeamento das alterações de modo que a classe sem mudança foi a que apresentou maior área, ou seja, de acordo com esse mapeamento não houve mudanças em 1432 km² (84%) da área do município. Entretanto, o restante apresentou grandes alterações, principalmente, devido à perda da cobertura vegetal ocasionada por abertura de pastos, agricultura e exploração madeireira.

Somente 4 km² de regeneração, decorrente do processo de crescimento natural da floresta ao longo do período estudado, foram mapeados. Provavelmente, estas áreas foram convertidas no passado e se encontram em processo de sucessão secundária por espécies florestais pioneiras, uma vez que já estão em processo de crescimento. As mudanças na classe solo ocorreram pela redução da cobertura florestal, que nestes oito anos se converteram, primeiro em áreas de pasto e agricultura e depois em solo exposto.

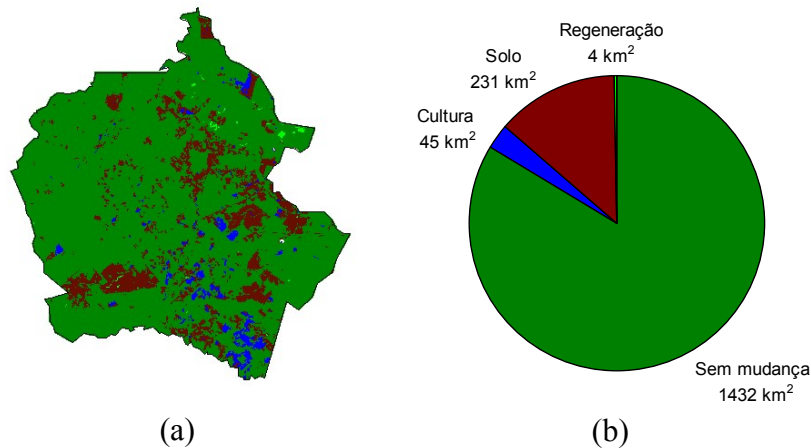


Figura 6. Mapeamento de mudança pela técnica de subtração de imagens NDVI. (a) Mapa de mudança e (b) Áreas mapeadas pela classe de mudança (verde escuro: sem mudança; vermelho: solo; azul: cultura e verde claro: regeneração).

O mapa gerado a partir da diferença entre as imagens originais, apresentado na Figura 7a, também mapeou uma grande área sem mudança, similar ao mapa de NDVI, como mostra a Figura 7b. Foram mapeadas 262 km² de áreas que antes eram mata ou pastagem e que, por algum processo natural ou antrópico, tornaram-se solo exposto no período entre 2000 e 2008. A diferença de bandas foi capaz de detectar uma área maior de regeneração do que o NDVI (31 km²). As áreas de regeneração eram solo exposto ou pastagem rala em 2000 e agora possuem maior cobertura florestal. Algumas manchas pequenas de solo exposto podem ser indício de extração seletiva de madeira (Asner et al. 2005). As regiões de cultura agrícola, em locais onde antes eram pastagem, solo exposto ou vegetação de baixa densidade, também foram mapeadas (10 km²), como mostra a Figura 7b, mas em uma área inferior do que a que o mapa NDVI apresentou.

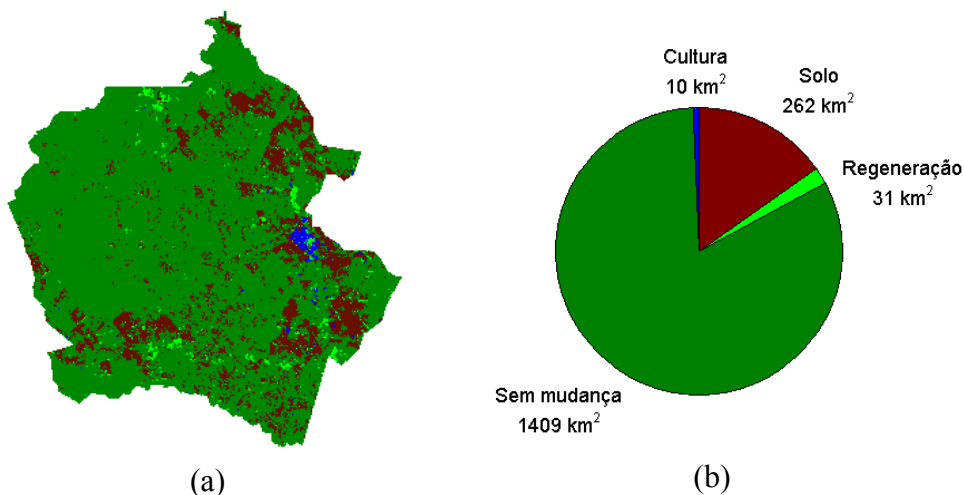


Figura 7. Mapeamento de mudança pela técnica de subtração de bandas. (a) Mapa de mudança e (b) Áreas mapeadas pela classe de mudança (verde escuro: sem mudança; vermelho: solo; azul: cultura e verde claro: regeneração).

A validação dos mapas de mudanças gerados pela imagem diferença de NDVI e diferença de bandas, realizada a partir da verdade de campo, permitiu analisar a exatidão da classificação. Os resultados são apresentados nas Tabelas 1 e 2.

Tabela 1. Matriz de confusão para o mapa de detecção de mudanças a partir da subtração de imagens NDVI, com 39 pontos avaliados.

Classificação	Referência terrestre					Total
	Classes	Solo	Regeneração	Sem mudança	Cultura	
Solo	16	0	0	1	16	
Regeneração	0	2	0	0	2	
Sem mudança	0	0	17	2	19	
Cultura	1	0	0	1	2	
Total	17	2	17	4	39	

Tabela 2. Matriz de confusão para o mapa de detecção de mudanças a partir da subtração de bandas, com 39 pontos avaliados.

Classificação	Referência terrestre					Total
	Classes	Solo	Regeneração	Sem mudança	Cultura	
Solo	11	0	0	0	11	
Regeneração	0	5	0	0	5	
Sem mudança	0	0	19	1	20	
Cultura	0	0	0	3	3	
Total	11	5	19	4	39	

Na avaliação da matriz de confusão do mapeamento de mudanças, a partir da subtração de imagens NDVI, observou-se que dos 39 pontos verificados, houve concordância de 36 pontos ($\kappa = 0,87$), ou seja, boa concordância de acordo com Landis e Koch (1977). O mapeamento pela diferença de bandas mostrou concordância de 38 pontos ($\kappa = 0,96$), sendo considerado como excelente. Por meio das matrizes de confusão, pode-se observar que no mapa NDVI houve confusão entre as classes solo, cultura e sem mudança, o que justifica o fato de ter sido mapeado uma área de cultura maior do que no mapa obtido a partir da subtração de imagens.

4. Conclusões

A partir das metodologias testadas, foi possível mapear as mudanças ocorridas no período estudado, usando imagens Landsat-TM-5 e técnicas de subtração de imagens NDVI e diferença entre bandas. Os métodos foram adequados para mapear as mudanças no uso da terra e também para identificar as pequenas alterações que ocorreram na paisagem. Entretanto, a classificação da imagem diferença apresentou um desempenho ($\kappa = 0,96$), com relação à discriminação das classes, melhor do que a classificação da diferença NDVI ($\kappa = 0,87$).

Para uma avaliação mais criteriosa dos mapas de detecção de mudança sugere-se que em futuros trabalhos seja realizada uma melhor distribuição de amostras na validação.

Agradecimentos

Nara Pantoja e Érika Saito agradecem à CAPES e ao INPE pelo apoio financeiro. Liana Anderson agradece a CAPES pela bolsa de doutorado e passagens aéreas para pesquisa de campo (processo BEX-4018052) e a BECA/IEB (processo B/2006/01/BDE/04) pela bolsa para trabalho de campo. Ao Projeto LBA pelo apoio logístico.

Referências Bibliográficas

Acre. Governo do Estado do Acre. Programa Estadual de Zoneamento Ecológico-Econômico do Estado do Acre. **In:** Zoneamento Ecológico-Econômico: recursos naturais e meio ambiente: documento final. Rio Branco: SECTMA, 2000. v.1, 116.p.

Aragão, L.E.; Graça, P.M.L.A.; Rivera-Lombardi, R.J.; Krug, T. Utilização de técnicas de classificação digital de imagens Landsat TM-5 na identificação de áreas florestais afetadas pela extração seletiva de madeira: parte baixa do Rio Capim, PA. In: X Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Foz do Iguaçu, PR, 21-26 abr, 2001. **Anais...**São José dos Campos: INPE, 2001, p. 1509-1512. [INPE-8244-PRE/4033].

Asner, G. P., Knapp, D. E., Broadbent, E. N., Oliveira, P. J. C., Keller, M., Silva, J. N. Selective Logging in the Brazilian Amazon. **Science**. Vol. 310. no. 5747, p. 480 – 482. DOI: 10.1126/science.1118051. 2005.

Câmara, G.; Souza, R.C.M.; Freitas, U.M.; Garrido, J. SPRING: Integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modeling. **Computers & Graphics**, v.20, n. 3, p. 395-403, 1996.

Espírito Santo, F.D.B.; Silva, P.G. Correlação entre áreas de corte seletivo de madeira e proximidade das estradas em uma porção da Amazônia Central. **In:** V Seminário de Atualização em Sensoriamento Remoto e Sistemas de Informações Geográficas Aplicados à Engenharia Florestal. Curitiba, PR. 15-17 out, 2002. **Anais**, pp 219-221. [INPE-9476-PRE/5131].

Graça, P.M.L.A.; Santos, J.R.; Soares, J.V.; Souza, P.E.U. Desenvolvimento metodológico para detecção e mapeamento de áreas florestais sob exploração madeireira: estudo de caso, região norte do Mato Grosso. In: XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Goiânia, GO, 16-21 abr, 2005. **Anais...**São José dos Campos: INPE, 2005, p.1555-1562. [INPE-12649-PRE/7941].

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Cidades@**. Rio de Janeiro, 2004. Disponível em <<http://www.ibge.gov.br/cidadesats>>. Acesso em: 18 ago 2008.

Kennedy, R. E.; Cohen, W. B.; Schroeder, T. A. Trajectory-based change detection for automated characterization of forest disturbance dynamics. **Remote Sensing of Environment**, v. 110, n. 3, pp. 370-386, 2007.

Landis, J.; Koch, G. G. The measurements of agreement for categorical data. **Biometrics**, Washington, v. 33, n. 3, p. 159-179, Mar. 1977.

Macleod, D. R.; Congalton, R. G. A quantitative comparison of change detection algorithms for monitoring eelgrass from remotely sensed data. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, v. 64, n. 3, p. 207-216, 1998.

Más, J.F. Monitoring land-cover changes: a comparison of change detection techniques. **International Journal of Remote Sensing**. v. 20, n. 1, p. 139 - 152, 1998.

Rouse, J.W; Haas, R.H.; Chell, J.A.; Defering, D.W. Monitoring vegetation system in the Great Plains with ERTS. **In:** Earth Resources Technology Satellite Symposium, 3. Proceedings... Washington: NASA, 1973. vol. 1, p.300-317.

Santos, J.R.; Krug, T.; Araujo, L.S.; Meira Filho, L.G.; Almeida, C.A. Dados multitemporais TM/Landsat aplicados ao estudo da dinâmica de exploração madeireira na Amazônia In: X Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Foz do Iguaçu, PR, 21-26 abr, 2001. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2001, p. 1751-1755. [INPE-8219-PRE/4008].

Singh, A. Digital change detection techniques using remotely-sensed data. **International Journal of Remote Sensing**, v. 10, n. 6, p. 989-1003, 1989.

Vermote, E.F. et al. Second Simulation of the Satellite Signal in the Solar Spectrum, 6S: An overview. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v.35, n.3, p.675– 686. 1997.