



# Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: [www.ufpe.br/rbgfe](http://www.ufpe.br/rbgfe)



## Classificação Digital do Uso e Cobertura da Terra na Amazônia com Base em Dados Orbitais ASTER

Gabriel de Oliveira\*<sup>1</sup>, Elisabete Caria Moraes<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Doutorando em Sensoriamento Remoto - Divisão de Sensoriamento Remoto (DSR), Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Av. dos Astronautas, 1.758, São José dos Campos, SP, Brasil. CEP: 12227-010. E-mail: [gdo@dsr.inpe.br](mailto:gdo@dsr.inpe.br), <sup>2</sup>Tecnologista Senior III - Divisão de Sensoriamento Remoto (DSR), Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Av. dos Astronautas, 1.758, São José dos Campos, SP, Brasil. CEP: 12227-010. E-mail: [bete@dsr.inpe.br](mailto:bete@dsr.inpe.br)

Artigo recebido em 20/03/2013 e aceite em 09/08/2013

### RESUMO

O sensoriamento remoto tem um papel fundamental no monitoramento do uso e cobertura da terra da Amazônia, pois permite obter informações históricas e atuais para um ambiente vasto e de difícil acesso. Projetos e estudos vêm sendo desenvolvidos a fim de mapear o uso e cobertura da terra na região, utilizando para tanto distintos sensores orbitais e métodos. O objetivo deste estudo foi analisar a dinâmica temporal do uso e cobertura da terra para uma área localizada no centro-leste do estado de Rondônia, com o uso de imagens do sensor ASTER/Terra e classificação supervisionada pelo algoritmo de Bhattacharya. Para tanto foram utilizadas duas imagens ASTER dos dias 29/07/2002 e 01/08/2003 referentes ao produto de reflectância da superfície (AST07XT). A classificação foi elaborada no programa SPRING 5.0.6 e envolveu etapas de segmentação e coleta de amostras de treinamento e teste. Os resultados evidenciaram a intensa degradação da região no que diz respeito ao desflorestamento. Verificou-se que as áreas de floresta primária e pastagem representam, respectivamente,  $\approx 9\%$  e  $\approx 70\%$  da área de estudo. Ainda, no período estudado houve uma supressão de 501,0 ha ( $\approx 6\%$ ) de áreas de floresta ombrófila aberta. As imagens do sensor ASTER apresentam potencial para estudos de uso e cobertura da terra na Amazônia em virtude, especialmente, de possuírem uma resolução espacial mínima mais refinada (15 m) que a dos sensores comumente usados na região.

Palavras-chave: desflorestamento, floresta amazônica, análise temporal, sensoriamento remoto, satélite Terra.

## Digital Classification of Land Use and Land Cover in Amazonia Based on ASTER Orbital Data

### ABSTRACT

Remote sensing plays a key role in monitoring land use and land cover in the Amazon region, since it allows obtaining current and historical information about a large environment and of difficult access. Studies and projects have been developed to map land use and land cover in the region, using different methods and orbital sensors. The aim of this study was to analyse the temporal dynamics of land use and land cover for an area located in the central-eastern part of Rondônia state, using ASTER/Terra images and supervised digital classification using Bhattacharya algorithm. For that, two ASTER images of the days 07/29/2002 and 08/01/2003 referring to the product of surface reflectance (AST07XT) were used. The classification was processed in the software SPRING 5.0.6 and involved steps of image segmentation and collection of test and training samples. The results showed intense degradation due to deforestation in the region. It was verified that in the study area primary rainforest and pasture land represent 9% and 70%, respectively. Moreover, during the study period, there was suppression of 501.0 ha ( $\approx 6\%$ ) of the primary rainforest areas. The ASTER images have potential for land use and land cover studies in the Amazon region due especially to its finer minimum spatial resolution (15 m) than those sensors commonly used in the region.

Keywords: deforestation, Amazon rainforest, temporal analysis, remote sensing, Terra satellite.

### Introdução

O desflorestamento na Amazônia brasileira desde a década de 70 ocasionou a

conversão de uma vasta área de floresta prístina em campos de pastagens, cultivos agrícolas e diferentes estádios sucessionais de vegetação (Moran et al., 1994; Fearnside,

\* E-mail para correspondência: [gdo@dsr.inpe.br](mailto:gdo@dsr.inpe.br) (Oliveira, G.).

2009). Diversas pesquisas têm apontado que as práticas e processos de uso da terra na região amazônica, com destaque para a degradação das florestas, podem afetar o clima regional, ecossistemas, e o clima global (Cardoso et al., 2009; Davidson et al., 2012). Nesse sentido, torna-se cada vez mais necessário compreender e monitorar tais processos, avaliando as consequências e os impactos causados na paisagem e na biodiversidade do maior ecossistema de floresta tropical do planeta (Carreiras & Pereira, 2005; Almeida et al., 2010).

O sensoriamento remoto tem um papel fundamental no monitoramento do uso e cobertura da terra da Amazônia, pois permite obter informações históricas e atuais para um ambiente vasto e de difícil acesso (Lucas et al., 2000; Shimabukuro et al., 2005). Projetos e estudos foram e vêm sendo desenvolvidos a fim de mapear o uso e cobertura da terra na região, utilizando para tanto distintos sensores orbitais e métodos. No estado de Rondônia, Kimes et al. (1999) utilizaram dados do sensor *High Resolution Visible* (HRV/SPOT) e redes neurais para o mapeamento de áreas de desflorestamento, florestas primárias e diversas classes de regeneração florestal. Por sua vez, Vieira et al. (2003) realizaram o mapeamento de diferentes estágios de regeneração em áreas desflorestadas abandonadas no estado do Pará com dados obtidos pelo sensor *Enhanced Thematic Mapper Plus* (ETM<sup>+</sup>/Landsat 7). O sensor *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS), a bordo do satélite Terra, foi usado por Morton et al. (2006) para o mapeamento de distintas classes de uso e cobertura da terra no estado do Mato Grosso. Mais recentemente, Li et al. (2011) utilizaram dados *Thematic Mapper* (TM/Landsat 5) e distintos algoritmos supervisionados com vistas ao mapeamento de tipos fisionômicos de vegetação na Amazônia.

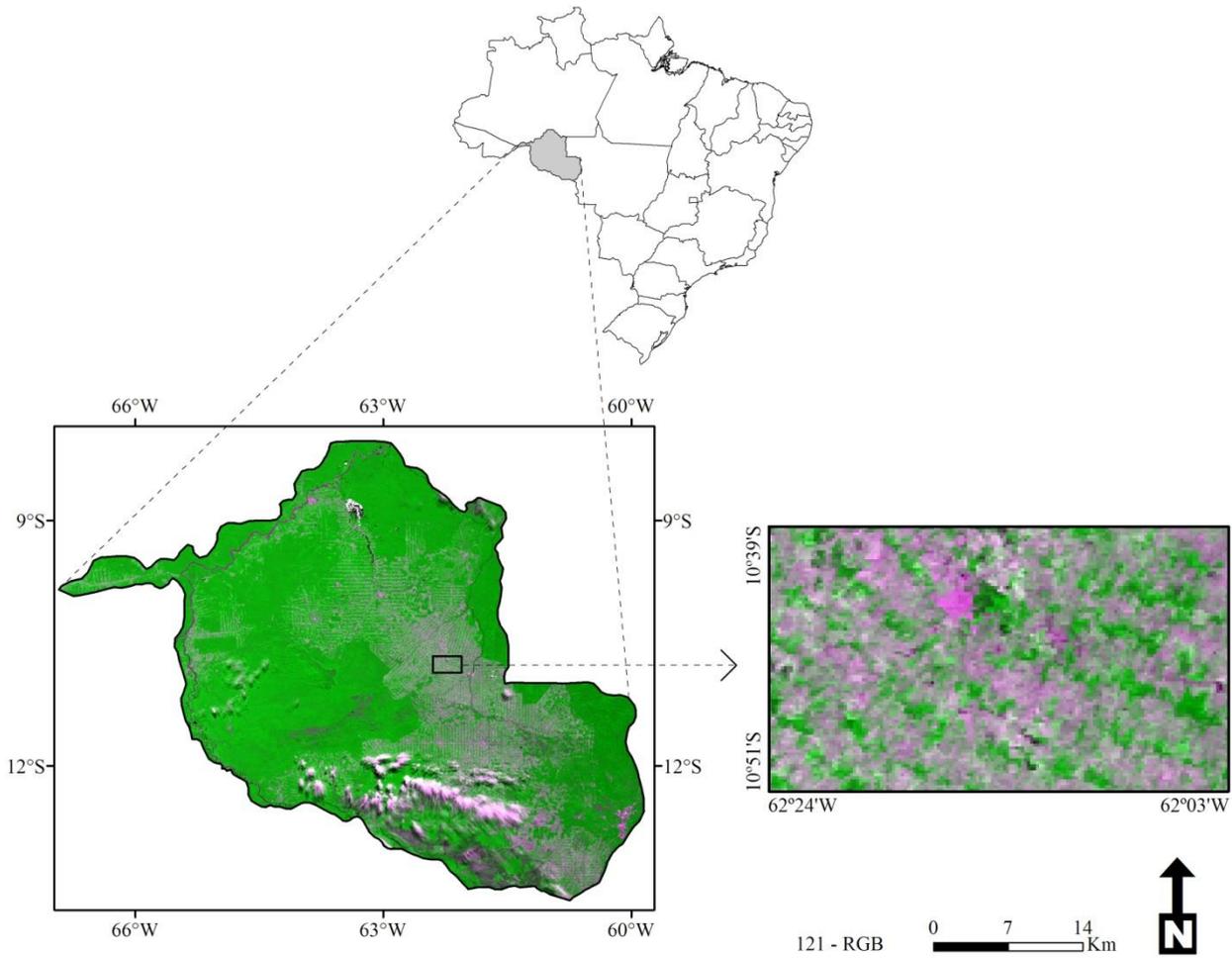
A extração de informações referentes ao uso e cobertura da terra a partir de dados de sensoriamento remoto se dá, de um modo geral, a partir de classificação digital (Jensen, 2007). A classificação é um processo de

extração de informações que abrange um conjunto de técnicas, que podem ser matemáticas ou estatísticas, e a principal finalidade é automatizar a categorização de todos os *pixels* de uma imagem dentro de temas ou classes de uso e cobertura da terra (Lillesand et al., 2004). Diversos algoritmos computacionais vêm sendo desenvolvidos com o intuito de aprimorar o processo de classificação digital de imagens orbitais (DeFries et al., 1998). Um algoritmo de classificação que merece destaque é o algoritmo de Bhattacharya, implementado no programa SPRING (Câmara et al., 1996). Este algoritmo, que opera em nível de regiões, tem por vantagem, em relação aos classificadores *pixel-a-pixel*, a geração de imagens temáticas com qualidade visual superior por considerar a textura da imagem quando se compara o valor nominal de um *pixel* com a estatística de um grupo pré-selecionado.

Frente ao exposto, este estudo teve como objetivo avaliar a dinâmica temporal do uso e cobertura da terra para uma área localizada no centro-leste do estado de Rondônia, com o uso de imagens do sensor *Advanced Spaceborn Thermal Emission and Reflection Radiometer* (ASTER/Terra) e classificação supervisionada pelo algoritmo de Bhattacharya.

## Material e Métodos

Área de estudo - A área de estudo está situada na porção centro-leste do estado de Rondônia, entre as latitudes 10° 39' 38'' S e 10° 51' 42'' S e longitudes 62° 24' 04'' W e 62° 03' 04'' W, conforme ilustrado na Figura 1. Especificamente, possui 85087,1 hectares (ha) e engloba parte dos municípios de Ji-Paraná, Nova União, Ouro Preto do Oeste e Teixeiraópolis. A área está localizada em uma região intensamente desflorestada, a qual se apresenta, nas imagens de satélite, num padrão comumente denominado de “espinha de peixe”. O tamanho das propriedades rurais da região, em sua maioria, está entre 40 e 100 ha, embora possam ser encontradas algumas fazendas com área superior a 10000,0 ha.



**Figura 1.** Localização da área de estudo no estado de Rondônia. A composição colorida foi obtida a partir de dados do sensor MODIS/Terra (MOD09GQ) de 25/07/2003.

Pré-processamento das imagens ASTER - Foram utilizadas duas imagens ASTER, obtidas junto ao *United States Geological Survey* (USGS) (<https://lpdaac.usgs.gov/>), da órbita/ponto 231/067 dos dias 29/07/2002 e 01/08/2003 referentes ao produto AST07XT. O produto AST07XT corresponde à reflectância da superfície para as bandas 1 a 3 e 5 a 10, com resolução espacial de 15 m para as bandas do visível e infravermelho próximo (VNIR) (1 a 3) e de 30 m para as bandas do infravermelho de ondas curtas (SWIR) (5 a 10).

Primeiramente foi realizada a reamostragem dos *pixels* das bandas 5 a 10 de modo que todos os dados passassem a ter 15 m de resolução espacial. Em seguida, as imagens ASTER foram corrigidas geometricamente a partir de uma imagem Geocover/Landsat 2000 (quadrícula: S-20 10\_2000), disponibilizada pela *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) no sítio eletrônico

<http://zulu.ssc.nasa.gov/mrsid/>. Para tanto, no programa ENVI 4.5, foram coletados, em média, 25 pontos de controle para cada imagem ASTER a ser corrigida geometricamente, considerando-se que o erro médio quadrático não ultrapassasse de 1 *pixel*, ou seja, 15 m. O algoritmo de interpolação utilizado foi o polinomial linear de primeira ordem e o método foi o do vizinho mais próximo. Para todo o conjunto de imagens foram estabelecidos como padrão os seguintes parâmetros de projeção: coordenadas geográficas (lat/long) e datum WGS 84. Por fim, foram efetuadas operações de recorte da área de estudo e mascaramento de nuvens. Esta última etapa consistiu na identificação visual de áreas afetadas por nebulosidade e sua delimitação através da digitalização ponto a ponto no programa ENVI 4.5.

Mapeamento do uso e cobertura da terra - Para a elaboração do mapeamento foi realizado um trabalho de campo na região

centro-leste do estado de Rondônia, entre os dias 05 e 08 de julho de 2011. As coletas de dados foram efetuadas com objetivos de: reconhecer as fisionomias vegetais existentes; identificar classes de ocorrência; e obter pontos de *Global Positioning System* (GPS) de áreas para estabelecer padrões característicos de algumas classes e identificar áreas de possível confusão espectral. Cabe salientar que apesar da defasagem temporal entre o trabalho de campo e as datas das imagens utilizadas a coleta de informações foi importante para a demarcação de determinadas classes de uso e cobertura e o contexto a que estão associadas.

Assim sendo, a definição das classes temáticas adotadas para o mapeamento teve por base alguns estudos realizados na Amazônia (PRODES e Projeto RADAMBRASIL), a interpretação das

imagens, e as observações e constatações decorrentes do trabalho de campo. A partir da inter-relação dos dados extraídos destas etapas definiu-se um total de sete classes, quais sejam: Floresta Ombrófila Aberta, Vegetação Secundária, Pastagem, Campo Sujo, Solo Exposto, Corpo de Água e Queimada. Na Figura 2 são exemplificadas as classes de uso e cobertura, com amostras obtidas das imagens de satélite, de fotografias oblíquas e o contexto a que estão associadas.

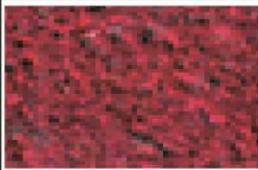
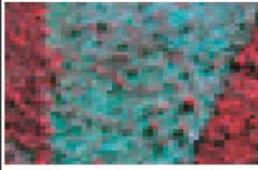
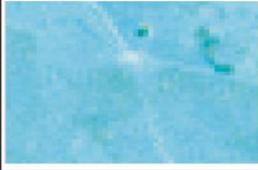
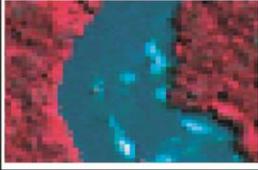
O mapeamento foi elaborado no programa SPRING 5.0.6 a partir de classificação digital fundamentada no algoritmo de Bhattacharya. A medida de distância usada para medir a separabilidade estatística entre um par de classes espectrais é a Distância de Bhattacharya, expressa de acordo com a Equação 1 (Moreira, 2005):

$$B(pi, pj) = \frac{1}{2}(m1 - m2)^T \sum (mi - mj) + \frac{1}{2} \ln \frac{|\sum (mi - mj)|}{|\sum i|^{1/2} |\sum j|^{1/2}} \quad (1)$$

em que  $B$  é a Distância de Bhattacharya,  $pi$  e  $pj$  são os *pixels* nas classes  $i$  e  $j$ ,  $mi$  e  $mj$  são as médias das classes  $i$  e  $j$ ,  $T$  é a matriz transposta,  $\ln$  é o logaritmo neperiano,  $i$  e  $j$  são as classes dentro do contexto.

Esse algoritmo é baseado no contexto de regiões, sendo necessária, primeiramente, a segmentação da imagem. No programa SPRING 5.0.6 se definiu que a segmentação se daria pelo método Crescimento de Regiões. Neste método é preciso definir critérios de Similaridade (valor mínimo de diferença entre níveis de cinza abaixo do qual duas classes são consideradas similares e agrupadas numa mesma região) e Área (número mínimo de *pixels* necessários para individualização de uma área). De maneira a separar da melhor forma a maior quantidade de feições nas imagens testou-se uma série de limiares, definindo-se, por fim, os valores 10 para Similaridade e 24 para Área. A coleta das amostras de treinamento e teste para a classificação se deu diretamente sobre os polígonos gerados pela segmentação, sendo

escolhidos os que melhor correspondiam à determinada classe. Coletaram-se uma média de 16 amostras de treinamento e 12 de teste para cada classe. Posteriormente, geraram-se as matrizes de confusão para cada classificação, assim como os índices de Exatidão do Usuário (probabilidade de um *pixel* classificado no mapa representar a categoria no campo), Desempenho Geral (soma do total dos *pixels* corretamente classificados, dividida pelo número total de *pixels* da matriz de confusão), Confusão Média (associada ao Desempenho Geral) e Abstenção Média (quanto não foi classificado). Por fim, as classificações passaram por um processo de edição matricial, com escala de visualização de 1:50000.

Classe temática	Amostra		Contexto
	ASTER (R3G2B1)	Foto	
<b>Floresta Ombrófila Aberta</b>			Áreas de floresta primária, constituídas de árvores com alturas entre 20 e 30 m com troncos retos e bem copados.
<b>Vegetação Secundária</b>			Áreas em processo natural de regeneração da vegetação, com altura das árvores variando em média de 2 a 12 m.
<b>Pastagem</b>			Áreas de grande extensão caracterizadas por um tapete gramíneo ralo em mistura com pequenos arbustos.
<b>Campo Sujo</b>			Áreas de fisionomia geralmente herbácea ou arbustiva, com ocorrência de afloramentos de rochas graníticas.
<b>Solo Exposto</b>			Áreas caracterizadas por não apresentarem praticamente nenhum tipo de cobertura, ou seja, apresentam-se desnudas.
<b>Corpo de Água</b>			Englobam rios, açudes e barragens caracterizadas por grande concentração de sedimentos.
<b>Queimada</b>			Áreas onde o estrato herbáceo, arbustivo ou arboreo foram queimados, seja de forma natural ou antrópica.

**Figura 2.** Ilustração das classes temáticas utilizadas no mapeamento do uso e cobertura da terra na área de estudo.

### Resultados e Discussão

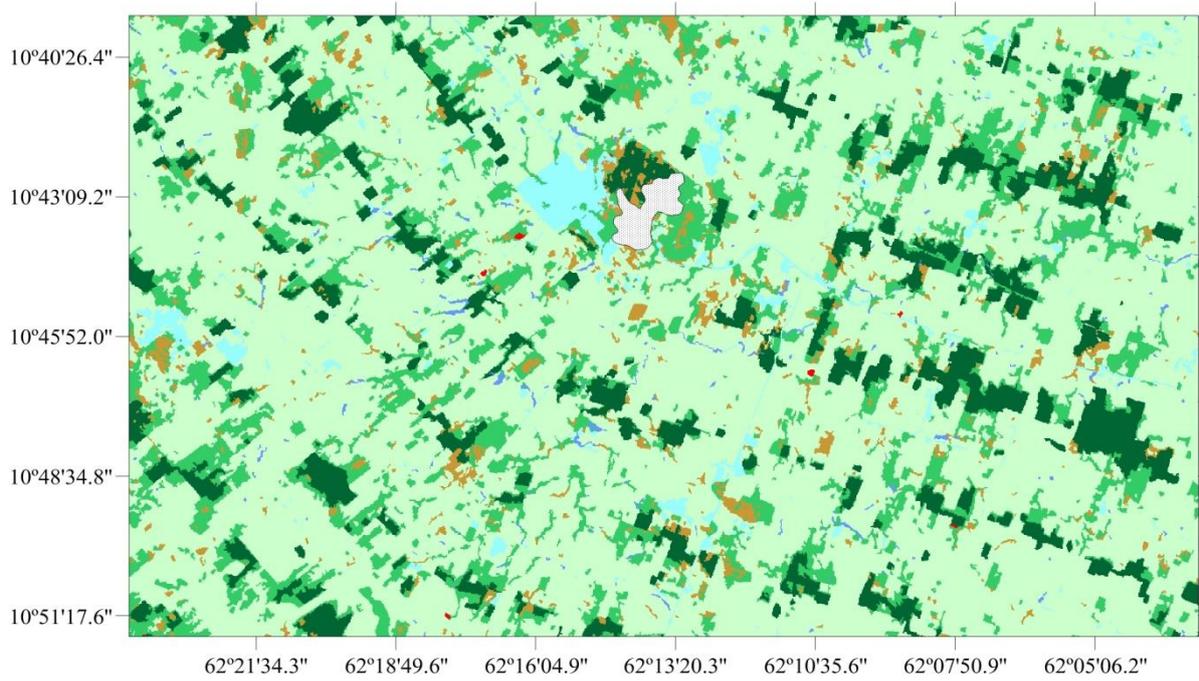
A Figura 3 corresponde aos mapas de uso e cobertura da terra para a área de estudo nos dias 29/07/2002 e 01/08/2003 obtidos com os dados do sensor ASTER, e a Tabela 1 ilustra a área ocupada e percentual de ocupação de cada classe de uso e cobertura da terra para ambas as datas.

Ao se visualizar os mapas verifica-se que a maior parte da região de estudo é formada por áreas de pastagem, que correspondem em média a 59135,7 ha, ou

≈70% da região. Essas áreas estão situadas geralmente em regiões planas e servem essencialmente para o pastoreio do gado. Batistella e Moran (2005) verificaram no vale do Anari (RO), região próxima à do presente estudo, uma predominância absoluta de áreas de pastagem em comparação a outras classes de uso e cobertura da terra. Adicionalmente, os autores observaram que a maior parte dessas áreas era utilizada para pecuária, apresentando tendência de extensificação no período estudado.

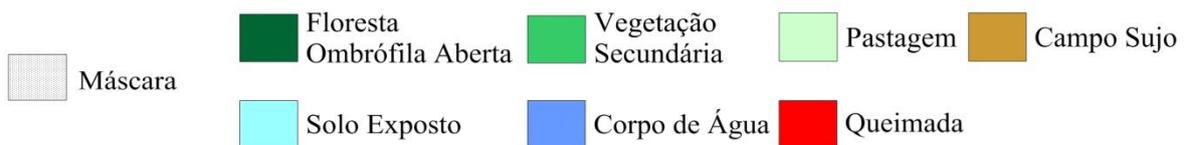
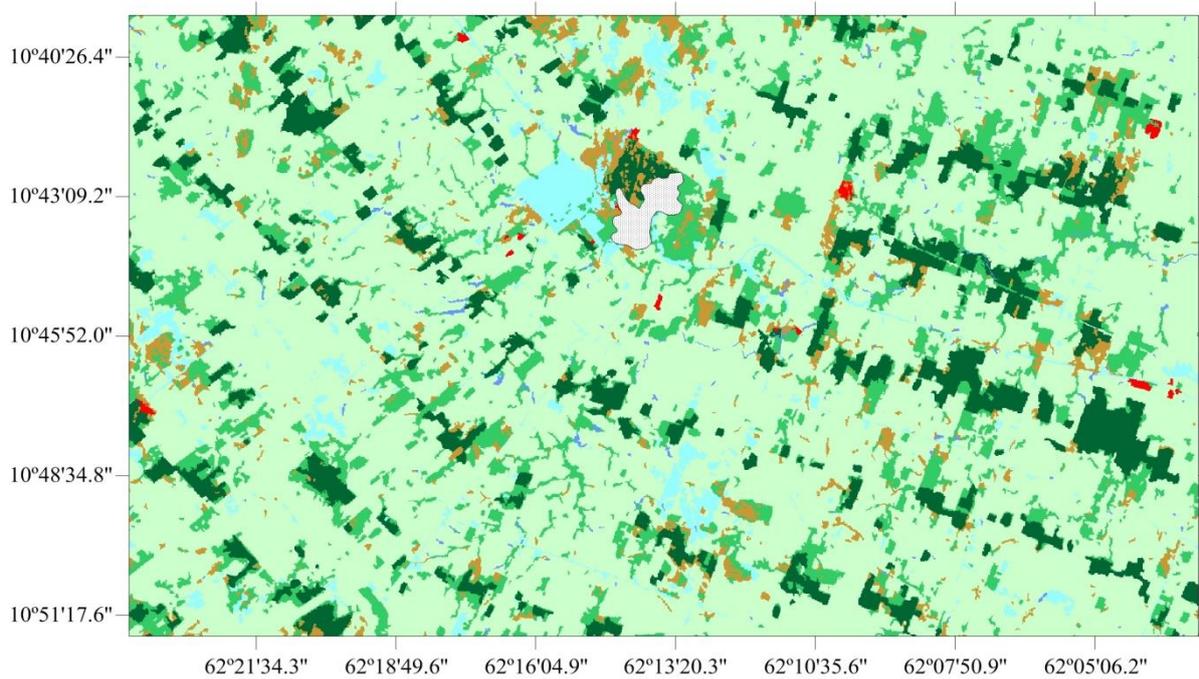
a)

Uso e cobertura da terra - 29/07/2002



b)

Uso e cobertura da terra - 01/08/2003



**Figura 3.** Mapas de uso e cobertura da terra para a área de estudo, localizada no centro-leste do estado de Rondônia. a) Dia 29/07/2002 e b) Dia 01/08/2003. A elipse tracejada corresponde à mancha urbana do município de Ouro Preto do Oeste.

**Tabela 1.** Área ocupada e percentual de ocupação de cada classe de uso e cobertura da terra na área de estudo para os dias 29/07/2002 e 01/08/2003.

Classe temática	29/07/2002		01/08/2003		Diferença (ha)	Diferença (%)
	Área (ha)	%	Área (ha)	%		
<b>Floresta O. Aberta</b>	8131,4	9,6	7630,5	9,0	-501,0	-6,2
<b>Vegetação Secundária</b>	12595,2	14,8	10823,0	12,7	-1772,2	-14,1
<b>Pastagem</b>	58796,9	69,1	59474,5	69,9	677,6	1,2
<b>Campo Sujo</b>	2677,2	3,1	3381,6	4,0	704,4	26,3
<b>Solo Exposto</b>	2068,3	2,4	2901,1	3,4	832,7	40,3
<b>Corpo de Água</b>	420,6	0,5	360,7	0,4	-60,0	-14,3
<b>Queimada</b>	23,7	0,0	142,1	0,2	118,4	499,1
<b>Máscara</b>	373,7	0,4	373,7	0,4	0,0	0,0
<b>Total</b>	85087,1	100,0	85087,1	100,0		

A segunda classe de maior expressão se refere à vegetação secundária, que está associada às áreas de pastagem e talhões de floresta primária. A vegetação secundária na Amazônia se desenvolve em locais desflorestados que, após a utilização na agropecuária, perdem sua produtividade e são abandonados (Stouffer et al., 2006). Nesse contexto, salienta-se que a vegetação secundária possui funções relevantes para os ecossistemas, tais como a fixação de carbono atmosférico, a manutenção da biodiversidade, o estabelecimento da conectividade entre remanescentes florestais, manutenção do regime hidrológico e a recuperação da fertilidade do solo (Martins, 2005; Almeida et al., 2010). Na região de estudo a vegetação secundária possui uma área, em média,  $\approx 49\%$  superior a da floresta primária. Tal fato denota a necessidade de se mapear e monitorar cada vez mais esse tipo de vegetação na Amazônia. Algumas pesquisas vêm sendo desenvolvidas nesse sentido, tanto sob o ponto de vista local (Gehring et al., 2005) quanto regional (Neff et al., 2006).

As áreas de floresta ombrófila aberta representam a terceira maior expressão em termos de área ocupando em média 7881,0 ha, e estão localizadas de forma esparsa ao longo da região. Verifica-se que nestas áreas há uma relação com a classe campo sujo, pois em alguns talhões de floresta situados em locais mais elevados é possível encontrar afloramentos rochosos. O fato de as florestas primárias representarem, em média, apenas  $\approx 9\%$  da área de estudo evidencia o elevado índice de desflorestamento no estado de

Rondônia (em especial na região central), onde o modelo predominante de ocupação tinha como finalidade a exploração madeireira, seguida pela instalação de áreas de pastagens ou de áreas destinadas ao plantio de culturas temporárias (Alves et al., 1999). Sob o ponto de vista atual, estudos têm demonstrado um aumento da fração desflorestada nesse estado, assim como a existência de processos de expansão do desflorestamento para regiões consideradas 'mais preservadas' (Lu et al., 2011; Lu et al., 2012).

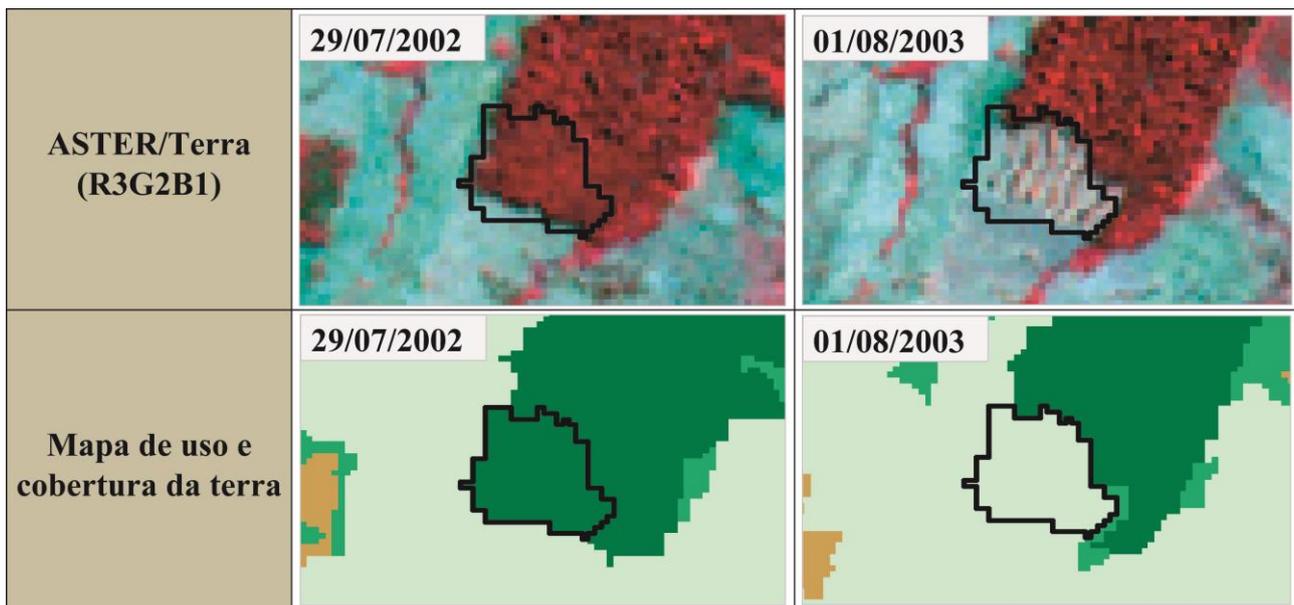
A classe solo exposto é encontrada em praticamente toda a região, sendo representada por pequenas manchas, quase sempre associadas às áreas de pastagem. Também estão incluídas nesta classe a mancha urbana do município de Ouro Preto do Oeste (elipse tracejada na Figura 3a), pequenos povoados e estradas. Esta classe pode conter tanto áreas completamente desnudas, quanto áreas com vegetação rala, sendo por vezes, difícil a discriminação, por exemplo, com áreas de pastagem, que possuem distintos estádios fenológicos ao longo do ano, e podem em determinada época estar com vegetação baixa, ou muito desenvolvida (Roberts et al., 1996; Zanchi et al., 2009).

As queimadas constituem um dos principais agentes de mudanças do uso e cobertura da terra na Amazônia (Morton et al., 2008; Lima et al., 2012). Nesse sentido, salienta-se que a queima de biomassa pode ocorrer tanto a partir de causas naturais, quanto de processos naturais, pois diversos

ecossistemas convivem com a dinâmica do fogo. Na região de estudo, o total de áreas queimadas mapeadas nas duas datas foi de 165,8 ha, cuja distribuição se deu principalmente ao longo de estradas e próximas a mancha urbana de Ouro Preto do Oeste. De acordo com Nepstad et al. (2001) e Soares-Filho et al. (2010) áreas próximas a estradas na Amazônia são extremamente susceptíveis aos processos de desflorestamento e possuem um alto risco para ocorrência de incêndios. Os corpos de água representam em média 390,7 ha, e são constituídos quase que principalmente por barragens caracterizadas pela presença de grande quantidade de sedimentos. Essas barragens são importantes no armazenamento e consequente fornecimento de água para o gado, sendo geralmente construídas em médias e grandes propriedades rurais.

Com relação às mudanças de uso e cobertura da terra ocorridas na região entre as duas datas, verifica-se que houve uma

supressão de 501,0 ha de floresta ombrófila aberta, cuja conversão se deu principalmente para áreas de pastagem. A mudança de áreas de floresta para pastagem na Amazônia é bastante documentada na literatura, sendo, de acordo com alguns autores o principal modo de uso da terra após o corte raso da vegetação prístina (Fujisaka et al., 1996; Davidson et al., 2012). Na Figura 4 é apresentado um exemplo de conversão da floresta primária (29/07/2002) para pastagem (01/08/2003), observado na porção sul da área de estudo (10° 46' 39" S e 62° 10' 37" W). Verifica-se que a classificação digital foi adequada, permitindo a identificação do talhão desmatado. Ainda, destaca-se que a área de floresta convertida para pastagem foi de aproximadamente 12,4 ha, o que denota o potencial do uso de sensores com resolução mais refinada, como o ASTER, na identificação de desmatamentos de pequenas proporções na Amazônia.



**Figura 4.** Exemplo de conversão da floresta primária para pastagem na porção sul da área de estudo. O polígono preto destaca a área mapeada como floresta em 29/07/2002 e identificada como pastagem em 01/08/2003.

As áreas de vegetação secundária diminuíram  $\approx 14\%$ , passando de 12595,2 para 10823,0 ha. Nestas áreas, as principais mudanças ocorreram para as classes de pastagem, solo exposto e campo sujo. Esse resultado evidencia uma pressão sobre as áreas de vegetação secundária na região de estudo. Roberts et al. (2002), em um estudo

sobre a variação espaço-temporal do uso e cobertura da terra nos municípios de Ariquemes, Ji-Paraná e Luiza (RO), verificaram que a vegetação secundária na região geralmente é suprimida com o passar dos anos. Ainda, Alves et al. (2003), também no estado de Rondônia, identificaram uma diminuição da vegetação secundária ao longo

do tempo, fato que, segundo esses autores, está associado à intensificação do uso da terra para práticas agropecuárias.

No que diz respeito às áreas de pastagem, não houve grandes variações em termos absolutos e relativos de área. Em 29/07/2002 essas áreas representavam 58796,9 e passaram para 59474,5 ha em 01/08/2003, ou seja, um acréscimo de 677,6 ha, ou 1,2%. Esse aumento, ainda que pequeno, está de acordo com estudos que sugerem uma intensificação do uso de pastagens na região (Alves et al., 1999; Alves et al., 2002). As áreas de solo exposto e campo sujo tiveram maiores incrementos em valores absolutos e relativos do que as áreas de pastagem. A classe solo exposto variou de 2068,3 para 2901,1 ha, ou seja, teve um acréscimo de 832,7 ha, ou 40,3%; e as áreas de campo sujo tiveram um incremento de 704,4 ha, ou 26,3%, variando de 2677,2 para 3381,6 ha. Cabe destacar que ocorre um padrão de alternância principalmente entre as classes pastagem, solo exposto e campo sujo, devido às peculiaridades destas classes

(Batistella e Moran, 2005). Por exemplo, uma área de pastagem pode ter sido abandonada e com o tempo se configura em uma área de campo sujo, pois crescem pequenos arbustos e, conseqüentemente, a altura da vegetação aumenta.

As áreas de queimada tiveram um incremento de 118,4 ha, ou 499,1%. Este aumento pode estar relacionado às condições meteorológicas (temperatura, umidade relativa do ar, e velocidade e direção do vento) da região no ano de 2003, o que fez com que ficasse mais suscetível a eventos de queimada. A área ocupada por corpos de água diminuiu  $\approx 14\%$  no período, o que também pode estar relacionado às características meteorológicas da região, denotando um padrão mais seco que do ano de 2002.

Para fins de avaliação do desempenho das classificações digitais, a Tabela 2 apresenta os valores de Exatidão do Usuário para cada classe de uso e cobertura da terra na área de estudo nos dias 29/07/2002 e 01/08/2003.

**Tabela 2.** Exatidão do usuário para cada classe de uso e cobertura da terra nos dias 29/07/2002 e 01/08/2003.

Classe temática	Exatidão do Usuário	
	29/07/2002	01/08/2003
<b>Floresta Ombrófila Aberta</b>	100,0%	100,0%
<b>Vegetação Secundária</b>	98,9%	77,1%
<b>Pastagem</b>	100,0%	98,3%
<b>Campo Sujo</b>	72,3%	100,0%
<b>Solo Exposto</b>	94,4%	100,0%
<b>Corpo de Água</b>	100,0%	100,0%
<b>Queimada</b>	100,0%	100,0%

Com relação à imagem do dia 29/07/2002, os valores de Exatidão do Usuário variaram entre 72,3% e 100,0%. O menor valor de Exatidão do Usuário foi encontrado para a classe campo sujo, o que na prática significa que o usuário do mapa teria uma chance de 72,3% de encontrar, *in situ*, uma área de campo sujo. O Desempenho Geral da classificação para o dia 29/07/2002 foi de 99,9%, apresentando uma Confusão Média de 0,1% e Abstenção Média de 0,0%. Para a imagem do dia 01/08/2003, os menores valores de Exatidão do Usuário

corresponderam às classes vegetação secundária (77,1%) e pastagem (98,3%). O Desempenho Geral da classificação para o dia 01/08/2003 foi de 98,3% e apresentou valores de Confusão Média e Abstenção Média de 1,7% e 0,0% respectivamente.

A título de comparação, Prado et al. (2007), em um estudo utilizando imagens Landsat, obtiveram valores de Desempenho geral da ordem de 88,7% e 90,7%. Ainda, é válido salientar que os valores de Desempenho Geral das duas classificações no presente estudo foram superiores a 98%, bem

acima dos 85% que Anderson et al. (1979) sugeriram como índice mínimo para mapeamentos de uso e cobertura da terra.

### Conclusões

1) A metodologia proposta, com base em imagens ASTER e classificação digital pelo algoritmo de Battacharya, permitiu o mapeamento de sete diferentes classes de uso e cobertura da terra e a identificação de mudanças ocorridas na área de estudo no período de aproximadamente um ano.

2) Os resultados evidenciaram a intensa degradação da região no que diz respeito ao desflorestamento. Verificou-se que as áreas de floresta primária e pastagem representam, respectivamente,  $\approx 9\%$  e  $\approx 70\%$  da área de estudo. Ainda, no período estudado houve uma supressão de 501,0 ha ( $\approx 6\%$ ) de áreas de floresta ombrófila aberta.

3) Os mapas gerados se mostraram confiáveis segundo os índices utilizados para medir a exatidão, apresentando valores de Exatidão do Usuário e Desempenho Geral superiores a 72% e 98%, respectivamente.

4) As imagens do sensor ASTER apresentam potencial para estudos de uso e cobertura da terra na Amazônia em virtude, especialmente, de possuírem uma resolução espacial mínima mais refinada (15 m) que a dos sensores comumente usados na região.

### Agradecimentos

Ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). À Coordenação de Aperfeiçoamento Pessoal de Nível Superior (CAPES) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelas bolsas, respectivamente, de mestrado e doutorado do primeiro autor.

### Referências

Almeida, C.A.; Valeriano, D.M.; Escada, M.I.S.; Rennó, C.D. (2010). Estimativa de área de vegetação secundária na Amazônia Legal Brasileira. *Acta Amazonica*, v. 40, p. 289-302.

Alves, D.S. Space-times dynamics of deforestation in Brazilian Amazon. (2002). *International Journal of Remote Sensing*, v. 23, p. 2903-2908.

Alves, D.S.; Escada, M.I.S.; Pereira, J.L.G.; Linhares, C.A. (2003). Land use intensification and abandonment in Rondônia, Brazilian Amazônia. *International Journal of Remote Sensing*, v. 24, p. 899-903.

Alves, D.S.; Pereira, J.L.G.; Sousa, C.L.; Soares, J.V.; Yamaguchi, F. (1999). Characterizing landscape changes in central Rondônia using Landsat TM imagery. *International Journal of Remote Sensing*, v. 20, p. 2877-2882.

Anderson, J.R.; Hardy, E.E.; Roach, J.T.; Witmer, R.E. (1979). Sistema de classificação do uso da terra e do revestimento do solo para utilização com dados de sensores remotos. Rio de Janeiro, IBGE, 79p.

Batistella, M.; Moran, E. (2005). Dimensões humanas do uso e cobertura das terras na Amazônia: uma contribuição do LBA. *Acta Amazonica*, v. 35, p. 239-247.

Câmara, G.; Souza, R.C.M.; Freitas, U.M.; Garrido, J. (1996). SPRING: Integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modelling. *Computer and Graphics*, v. 20, p. 395-403.

Cardoso, M.; Nobre, C.A.; Sampaio, G.; Hirota, M.; Valeriano, D.M.; Câmara, G. (2009). Long-term potential for tropical-forest degradation due to deforestation and fires in the Brazilian Amazon. *Biologia*, v. 64, p. 433-437.

Carreiras, J.M.B.; Pereira, J.M.C. (2005). SPOT-4 VEGETATION multi-temporal compositing for land cover change studies over tropical regions. *International Journal of Remote Sensing*, v. 26, p. 1323-1346.

Davidson, E.A.; Araújo, A.C.; Artaxo, P.E.; Balch, J.K.; Brown, I.F.; Bustamante, M.M.; Coe, M.T.; DeFries, R.S.; Keller, M.; Longo, M.; Munger, J.W.; Schroeder, W.; Soares-Filho, B.S.; Souza, C.M.; Wofsy, S.C. (2012). The Amazon basin in transition. *Nature*, v. 481, p. 321-328.

DeFries, R.S.; Hansen, M.; Townshend, J.R.G.; Sohlberg, R. (1998). Global land cover classifications at 8 km spatial

resolution: the use of training data derived from Landsat imagery in decision tree classifiers. *International Journal of Remote Sensing*, v. 19, p. 3141-3168.

Fearnside, P.M. Global warming in Amazonia: impacts and mitigation. (2009). *Acta Amazonica*, v. 39, p. 1003-1012.

Fujisaka, S.; Bell, W.; Thomas, N.; Hurtado, L.; Crawford, E. (1996). Slash-and-burn agriculture, conversion to pasture, and deforestation in two Brazilian Amazon Colonies. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, v. 59, p. 115-130.

Gehring, C.; Denich, M.; Vlek, P.L.G. (2005). Resilience of secondary forest regrowth after slash-and-burn agriculture in central Amazonia. *Journal of Tropical Ecology*, v. 21, p. 519-527.

Jensen, J.R. (2007). Remote sensing of the environment: an earth resource perspective. 2<sup>a</sup> Ed. Upper Saddle River, Prentice Hall, 592p.

Kimes, D.S.; Nelson, R.F.; Salas, W.A.; Skole, D.L. (1999). Mapping secondary tropical forest and forest age from SPOT HRV data. *International Journal of Remote Sensing*, v. 20, p. 3625-3640.

Li, G.; Lu, D.; Moran, E.; Hetrick, S. (2011). Land-cover classification in a moist tropical region of Brazil with Landsat Thematic Mapper imagery. *International Journal of Remote Sensing*, v. 32, p. 8207-8230.

Lillesand, T.M.; Kiefer, R.W.; Chipman, J.W. (2004). Remote sensing and image interpretation. 5<sup>a</sup> Ed. New York, John Wiley & Sons, 763p.

Lima, A.; Silva, T.S.F.; Aragão, L.E.O.C.; Freitas, R.M.; Adami, M.; Formaggio, A.R.; Shimabukuro, Y.E. (2012). Land use and land cover changes determine the spatial relationship between fire and deforestation in the Brazilian Amazon. *Applied Geography*, v. 34, p. 239-246.

Lu, D.; Batistella, M.; Li, G.; Moran, E.; Hetrick, S.; Freitas, C.C.; Dutra, L.V.; Sant'Anna, S.J.S. (2012). Land use/cover

classification in the Brazilian Amazon using satellite images, *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 47, p. 1185-1208.

Lu, D.; Batistella, M.; Moran, E.; Hetrick, S.; Alves, D.S.; Brondizio, E. (2011). Fractional forest cover mapping in the Brazilian Amazon with a combination of MODIS and TM images. *International Journal of Remote Sensing*, v. 32, p. 7131-7149.

Lucas, R.M.; Honzák, M.; Curran, P.J.; Foody, G.M.; Milne, R.; Brown, T. (2000). Mapping the regional extent of tropical forest regeneration stages in the Brazilian legal Amazon using NOAA AVHRR data. *International Journal of Remote Sensing*, v. 21, p. 2855-2881.

Martins, P.S. (2005). Dinâmica evolutiva em roças de caboclos amazônicos. *Estudos Avançados*, v. 19, p. 209-220.

Moran, E.F.; Brondizio, E.; Mausel, P.; Wu, Y. (1994). Integrating Amazonian vegetation, land-use, and satellite data. *BioScience*, v. 44, p. 329-338.

Moreira, M.A. (2005). Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação. 3<sup>a</sup> Ed. Viçosa, UFV, 320p.

Morton, D.C.; Defries, R.S.; Randerson, J.T.; Giglio, L.; Schroeder, W.; van Der Werf, G.R.; Building, S.S. (2008). Agricultural intensification increases deforestation fire activity in Amazonia. *Global Change Biology*, v. 14, p. 2262-2275.

Morton, D.C.; DeFries, R.S.; Shimabukuro, Y.E.; Anderson, L.O.; Arai, E.; Espírito-Santo, F.D.B.; Freitas, R.M.; Morisette, J. (2006) Cropland expansion changes deforestation dynamics in the southern Brazilian Amazon. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, v. 103, p. 14637-14641.

Neeff, T.; Lucas, R.M.; Santos, J.R.; Brondizio, E.S.; Freitas, C.C. (2006). Area and age of secondary forests in Brazilian Amazonia 1978-2002: An empirical estimate. *Ecosystems*, v. 9, p. 609-623.

Nepstad, D.C.; Carvalho, G.; Barros, A.C.; Alencar, A.; Capobianco, J.P.; Bishop, J.; Moutinho, O.; Lefebvre, P.; Silva, U.L.; Prins, E. (2001). Road paving, fire regime feedbacks, and the future of Amazon forests. *Forest Ecology and Management*, v. 154, p. 395-407.

Prado, R.B.; Novo, E.M.L.M.; Pereira, M.N. (2007). Avaliação da dinâmica do uso e cobertura da terra na bacia hidrográfica de contribuição para o reservatório de Barra Bonita-SP. *Revista Brasileira de Cartografia*, v. 2, p. 127-135.

Roberts, D.A.; Numata, I.; Holmes, K.; Batista, G.; Krug, T.; Monteiro, A.; Powell, B.; Chadwick, O.A. (2002). Large area mapping of land-cover change in Rondônia using multitemporal spectral mixture analysis and decision tree classifiers. *Journal of Geophysical Research*, v. 107, p. 1-18.

Roberts, J.M.; Cabral, O.M.R.; Costa, J.P.; McWilliam, A.L.; Sá, L.D.A. (196). An overview of the leaf area index and physiological measurements during ABRACOS. In: Gash, J.H.C.; Nobre, C.A.; Roberts, J.M.; Victoria, R.L. (Ed.). *Amazonian deforestation and climate*. Chichester, John Wiley & Sons, pp. 287-306.

Shimabukuro, Y.E.; Duarte, V.; Moreira, M.A.; Arai, E.; Rudorff, B.F.T.; Anderson, L.O.; Espírito-Santo, F.D.B.; Freitas, R.M.; Aulicino, L.C.M.; Maurano, L.E.; Aragão,

J.R.L. (2005). Detecção de áreas desflorestadas em tempo real: conceitos básicos, desenvolvimento e aplicação do projeto DETER. São José dos Campos, INPE, 63p.

Soares-Filho, B.S.; Moutinho, P.; Nepstad, D.; Anderson, A.; Rodrigues, H.; Garcia, R.; Dietzsch, L.; Merry, F.; Bowman, M.; Hissa, L.; Silvestrini, R.; Maretti, C. (2010). Role of the Brazilian Amazon protected areas in climate change mitigation. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, v. 107, p. 10821-10826.

Stouffer, P.C.; Bierregaard, R.O.; Strong, C.; Lovejoy, T.E. (2006). Long-term landscape change and bird abundance in Amazonian rainforest fragments. *Conservation Biology*, v. 20, p. 1212-1223.

Vieira, I.C.G.; Almeida, A.S.; Davidson, E.A.; Stone, T.A.; Carvalho, C.J.R.; Guerrero, J.B. (2003). Classifying successional forests using Landsat spectral properties and ecological characteristics in eastern Amazon. *Remote Sensing of Environment*, v. 87, p. 470-481.

Zanchi, F.B.; Waterloo, M.J.; Aguiar, L.J.G.; Von Randow, C.; Kruijt, B.; Cardoso, F.L.; Manzi, A.O. (2009). Estimativa do Índice de Área Foliar (IAF) e Biomassa em pastagem no estado de Rondônia, Brasil. *Acta Amazonica*, v. 39, p. 335-348.