

# CLASSIFICAÇÃO ORIENTADA A OBJETO PARA DETECÇÃO DA EXPLORAÇÃO SELETIVA DE MADEIRA NA AMAZÔNIA

*Object-based classification to detection of selective logging in the Brazilian Amazon*

**André Monteiro<sup>1,2</sup>**  
**Christel Lingnau<sup>2</sup>**  
**Carlos Souza Jr<sup>1</sup>**

**<sup>1</sup>Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia – Imazon**

Rua Domingos Marreiros, 2020 – Altos, Bairro: Umarizal  
Belém, Pará, 66060-160, Brasil  
{andreluiz, souzajr}@amazon.org.br

**<sup>2</sup>Universidade Federal do Paraná - UFPR**

Av. Lothário Meissner, 3400, Jardim Botânico  
Curitiba, Paraná, 80210-170, Brasil  
lingnau@floresta.ufpr.br

## RESUMO

A detecção remota da exploração seletiva de madeira na Amazônia vem sendo realizada através de métodos tradicionais de processamento de imagem de satélite baseados no pixel e em análises na escala de subpixel. Entretanto, métodos avançados que consideram além das informações espectrais, as espaciais e contextuais do pixel, podem ser úteis para suprir as deficiências dos métodos tradicionais de classificação. Neste estudo avaliamos o desempenho da classificação orientada a objeto aplicada às imagens de média (LANDSAT e ASTER) e alta (IKONOS) resolução espacial para detectar e mapear feições de florestas exploradas pela atividade madeireira na Amazônia meridional. A classificação orientada a objeto aplicada à imagem IKONOS possibilitou detectar pátios de estocagem e estradas da exploração madeireira e estimar a dimensão dos pátios, a distância entre eles e entre estradas secundárias e a largura das estradas principal e secundárias. As imagens LANDSAT e ASTER apresentaram limitações para algumas estimativas. Esta metodologia pode ser usada para avaliar planos de manejo florestal na Amazônia.

**Palavras chave:** classificação orientada a objeto, imagens de satélite, exploração seletiva de madeira, Amazônia.

## ABSTRACT

The remote detection of the selective logging in the Brazilian Amazon has been done through traditional methods of satellite image processing based in the whole pixel and sub-pixel analysis. However, advanced methods that use, besides the spectral information, the spatial and context information of the pixel can be useful to overcome the limitations of traditional image classification methods. In this study we evaluate the performance of object-based classification applied to images ranging from medium (LANDSAT and ASTER) to high spatial resolution (IKONOS) to detect and map features of selective logged forests in the southern Brazilian Amazon. The object-based classification applied to IKONOS images showed that it is possible to detect log landing and logging roads and estimate distance of log landing, distance between logging roads, and the width of primary and secondary logging roads. The LANDSAT and ASTER images did not performed as well as the IKONOS ones to estimate some of the logging parameters. This methodology can be used for monitoring forest management plans in the Amazon.

**Keywords:** object based classification, satellite images, selective logging, Amazon.

## 1. INTRODUÇÃO

A exploração seletiva de madeira é uma das principais atividades econômicas na Amazônia.

Entretanto, sua prática tem sido insustentável. A forma de exploração predominante na região é predatória e ilegal (MMA, 2004), causando severos impactos

ambientais (MARTINI *et al.*, 1994; HOLDSWORTH & UHL, 1997; GERWING, 2002).

Técnicas de sensoriamento remoto vêm sendo aplicadas com eficiência na detecção da extensão e da intensidade desses impactos. Vários estudos já foram conduzidos utilizando diferentes imagens de satélite e métodos de processamento (KRUG, 2000; SOUZA Jr. & BARRETO, 2000; MATRICARDI *et al.*, 2001; ASNER *et al.*, 2002; READ *et al.*, 2003; SOUZA Jr. & ROBERTS, 2005; GRAÇA *et al.*, 2005).

Ao considerar a resolução espacial das imagens, diferentes feições da exploração madeireira podem ser extraídas. Imagens LANDSAT (30 metros) e SPOT (20 metros) são úteis para detectar estradas madeiras maiores (principais e secundárias) e pátios de estocagem ou esplanadas (áreas abertas na floresta para estocar madeira). As imagens IKONOS (1 e 4 metros) são úteis para detectar além de pátios e estradas maiores, feições mais finas da exploração – estradas menores (ramais de arraste) e clareiras simples e múltiplas (READ *et al.*, 2003). A presença de estradas e pátios de estocagem nas imagens é o principal indicador da ocorrência de exploração madeireira. A detecção dessas feições pode ser útil não só para localizar a atividade nas imagens, mas também a forma como ela foi conduzida (MONTEIRO, 2005).

Os métodos utilizados para detecção da exploração madeireira incluem interpretação visual de imagens LANDSAT (KRUG, 2000; MATRICARDI *et al.*, 2001) e IKONOS (READ *et al.*, 2003; SOUZA Jr. & ROBERTS, 2005) e métodos automáticos (SOUZA Jr. & BARRETO, 2000; ASNER *et al.*, 2002; GRAÇA *et al.*, 2005). A interpretação visual utiliza o conhecimento humano para detectar a exploração madeireira. Entretanto, é um processo lento de extração de informações e limitado pela capacidade de interpretação humana (SOUZA Jr *et al.*, 2003). Quanto aos métodos automáticos tradicionais de classificação, estes são baseados na informação espectral do pixel da imagem (SOUZA Jr. & BARRETO, 2000; ASNER *et al.*, 2002; GRAÇA *et al.*, 2005). A classificação baseada somente no valor do pixel está sujeita aos efeitos “sal e pimenta” (ruídos), os quais são removidos através da aplicação de filtros, provocando a perda de informação original dos resultados (BLASCHKE *et al.*, 2000).

Técnicas de processamento de imagens que consideram além da informação espectral, as

informações espacial e contextual do pixel, que são determinadas através de padrões locais na imagem por agrupamento de pixels vizinhos, têm sido utilizadas com sucesso no mapeamento do uso do solo (WALTER, 2004) e na detecção de estradas urbanas (HOFMANN, 2001). Entretanto, ainda não foram avaliadas na detecção da atividade madeireira. O objetivo deste estudo é avaliar a classificação orientada a objeto em imagens LANDSAT, ASTER e IKONOS para detectar e estimar parâmetros da exploração seletiva de madeira na Amazônia.

## 2. METODOLOGIA

### 2.1. Área de Estudo

O estudo foi conduzido na região de Sinop, norte do Estado de Mato Grosso (Figura 1). A área é coberta por floresta de transição (entre cerrado e floresta ombrófila aberta) sobre relevo plano a suavemente ondulado. O clima é tropical quente úmido com quatro meses de estação seca (maio a agosto), a temperatura anual varia de 15<sup>o</sup> a 35<sup>o</sup>, e a pluviosidade média anual fica em torno de 2.000 mm (RADAMBRASIL, 1981). A atividade madeireira nessa área é predominantemente não planejada, com intensidade de exploração em torno de 34 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>, na qual são exploradas apenas as espécies de alto valor madeireiro (MONTEIRO, 2005).

### 2.2. Base de dados

Foram utilizadas imagens de média (LANDSAT e ASTER) e alta resolução espacial (IKONOS). A imagem LANDSAT ETM<sup>+</sup> foi adquirida através da Intersat - Imagens de Satélite; a imagem ASTER, do USGS (Serviço de Levantamento Geológico Americano); e a IKONOS, da *Space Imaging*<sup>TM/SM</sup> através da base de dados do LBA (Experimento de Larga Escala de Biosfera e Atmosfera da Amazônia). As condições de precipitação nas áreas estudadas não afetaram as análises multisensores e multitemporal das imagens LANDSAT pelo fato de as mesmas terem sido adquiridas durante a estação seca na região de Sinop (maio a agosto). As especificações técnicas das imagens encontram-se na Tabela 1.

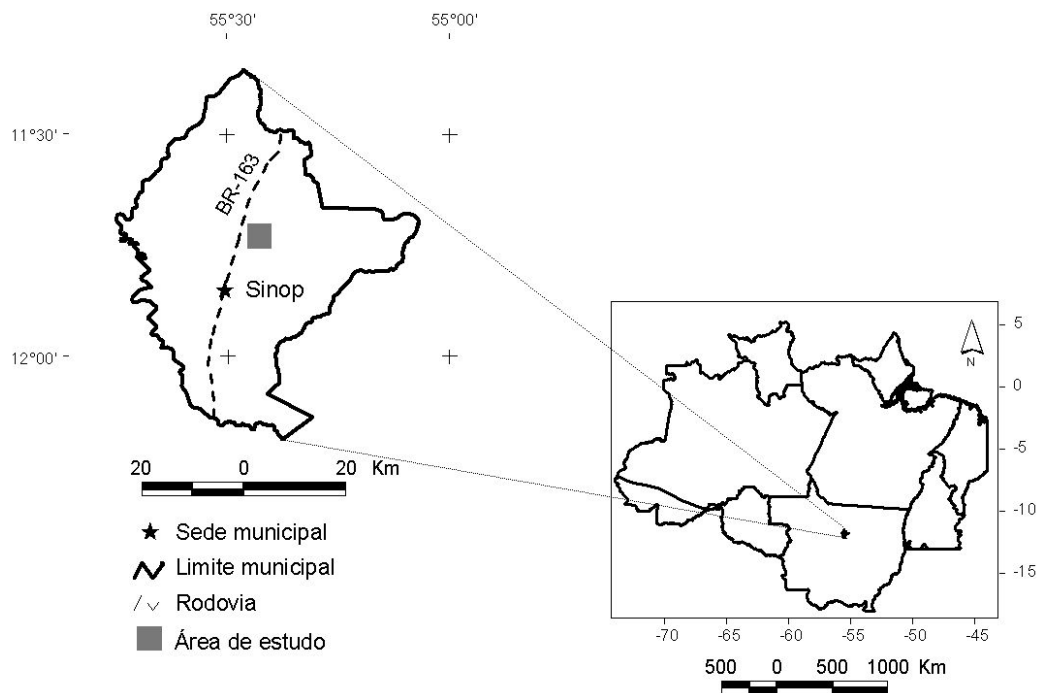


Fig. 1 - Localização da área de estudo

TABELA 1. BASE DE DADOS DAS IMAGENS DE SATÉLITE

IMAGENS	DATA DE AQUISIÇÃO (DIA/MÊS/ANO)		RESOLUÇÃO ESPECTRAL	RESOLUÇÃO ESPACIAL
LANDSAT*	226/68	10/07/2002	Verde (0,52-0,60 $\mu$ m) Vermelho (0,63-0,69 $\mu$ m) Infravermelho próximo (0,76-0,90 $\mu$ m)	30 metros
ASTER	23/05/2002		Verde (0,52-0,60 $\mu$ m) Vermelho (0,63-0,69 $\mu$ m) Infravermelho próximo (0,76-0,90 $\mu$ m)	15 metros
IKONOS	05/07/2002		Verde (0,52-0,60 $\mu$ m)	4 metros (MS) 1 metro (PAN)
			Vermelho (0,63-0,69 $\mu$ m)	
			Infravermelho próximo (0,76-0,90 $\mu$ m)	
			Pancromática (0,45-0,90 $\mu$ m)	

\*ETM<sup>+</sup> (Enhanced Thematic Mapper Plus)

### 2.3. Processamento das Imagens de Satélites

#### 2.3.1. Pré-Processamento

A imagem LANDSAT foi georreferenciada pelo método de reamostragem do vizinho mais próximo, utilizando o programa ENVI<sup>®</sup> (Environment for Visualizing Images) 4.0, com pontos de controle disponíveis em mapa e pontos adquiridos por GPS no campo. O algoritmo de correção atmosférica (*haze correction*), desenvolvido em IDL<sup>®</sup> (Interactive Data Language), foi aplicado na imagem LANDSAT para minimizar os efeitos ocasionados por neblina e fumaça (CARLOTTO, 1999).

As imagens ASTER e IKONOS foram adquiridas ortoretificadas pelo método do interpolador bicúbico e calibradas radiométricamente. Foram geradas subamostras (*subsets*) das imagens ASTER e IKONOS,

cobrindo a área de estudo. Esses *subsets* foram retificados com pontos derivados da imagem LANDSAT utilizando o método de reamostragem do vizinho mais próximo. Um erro RMS (*Root Mean Square*) menor que um pixel foi assumido no registro.

Foi gerada a fusão da imagem IKONOS das bandas multiespectrais (vermelho, verde e infravermelho próximo) de 4 metros de resolução espacial com a banda pancromática de 1 metro, a fim de obter uma imagem multiespectral de 1 metro de resolução espacial. O processo de fusão foi feito utilizando a técnica de transformação de cores RGB (*red, green, blue*) e de reamostragem do vizinho mais próximo utilizando o algoritmo EnviMerge 2.04 disponibilizado gratuitamente pela SulSoft (<http://www.sulsoft.com.br>).

### 2.3.2. Segmentação e Classificação Orientada a Objeto

Foram aplicados os algoritmos de segmentação multiresolução e classificação orientada a objeto, disponíveis no programa eCognition<sup>®</sup> 2.1, nas imagens LANDSAT, ASTER e IKONOS MS (4m) e IKONOS PSM (1m). A segmentação multiresolução da imagem é baseada nos parâmetros de escala, cor (valores espectrais) e forma (suavização e compactação). O peso desses parâmetros variam de 0 a 1. Na Tabela 1 são apresentadas as bandas espectrais utilizadas na segmentação multiresolução das imagens.

O parâmetro de escala é o fator mais importante por controlar o tamanho dos objetos (segmentos). Os critérios de homogeneidade (cor e forma) definem a uniformidade dos objetos. No critério da cor, define-se a porcentagem dos valores espectrais da imagem que contribui para o critério de homogeneidade total. Enquanto que o critério da forma aumenta a qualidade da extração dos objetos através da uniformidade dos mesmos, utilizando os parâmetros de suavização e compactação (BAATZ & SCHÄPE, 2000).

Para a definição da melhor segmentação foram avaliados vários parâmetros de escala e critérios de homogeneidade, compostos pela combinação da cor e propriedades de forma (suavização e compactação). Primeiramente, foi aplicada uma segmentação fina para extração de objetos menores (Tabela 2). Os parâmetros aplicados foram aqueles que melhor separaram os alvos de interesse (pátios e estradas). O parâmetro de escala variou de acordo com a resolução espacial das imagens, onde a imagem de maior resolução espacial foi segmentada com valor maior de escala. Os critérios de cor e forma foram os mesmos para todas as imagens (Tabela 2).

Os objetos criados na segmentação possuem relações hierárquicas entre si, onde os mesmos podem ser definidos não somente pela característica espectral e de forma (textura), mas também pelas relações de vizinhança com sub e super objetos (BENZ *et al.*,

2004). Essa dependência mútua entre objetos é definida como rede semântica espacial.

Previamente à aplicação da classificação orientada a objeto foram avaliados vários descritores (parâmetros) do objeto, utilizando o “visualizador de descritores” (*Feature View*), para definir aqueles que melhor separassem floresta de não-floresta (pátios e estradas). Em seguida, as imagens LANDSAT, ASTER e IKONOS foram classificadas através da lógica *fuzzy*, usando as funções de pertinência (*Membership function*), onde foram atribuídos limiares baseados em parâmetros específicos (Tabela 3). A lógica *fuzzy* possibilita quantificar incertezas de afirmação, ou seja, permite determinar a transição de todos os valores entre 0 (falso) e 1 (verdadeiro) definidos pela lógica booleana (BENZ *et al.*, 2004).

Foi utilizado o descritor espectral *diferença do valor médio da banda para a cena* para definir a classe “floresta”. Esse descritor representa a diferença entre o valor médio do objeto em uma determinada banda e o valor médio desta banda para toda a cena da imagem. Neste caso, foram utilizadas a banda 3 (0,63-0,69 $\mu$ m) da imagem LANDSAT, a banda 2 (0,66-0,7 $\mu$ m) da ASTER e a banda 3 (0,63-0,69 $\mu$ m) da IKONOS. As bandas da região do vermelho foram escolhidas pela sensibilidade desta em distinguir a classe “floresta” de “não-floresta”. Os comprimentos de ondas da região do vermelho são mais sensíveis à área de solo exposto do que outras como a do infravermelho próximo (READ, 2003). A classe “não-floresta” foi definida utilizando a função inversa da classe floresta: *não-floresta*.

Os descritores de forma *área* e *assimetria* foram utilizados para definir a classe “pátio”, a qual herdou característica da classe “não-floresta”. A *área* do objeto corresponde ao número de pixels que forma este objeto multiplicado pelo tamanho do pixel da imagem. Enquanto que a *assimetria* é determinada pela razão do menor eixo pelo maior eixo da elipse. Os valores dos descritores *área* e *assimetria*, usados para definir a classe “pátio”, variaram de acordo com a resolução espacial da imagem (Tabela 3).

TABELA 2. PARÂMETROS DE SEGMENTAÇÃO PARA AS IMAGENS LANDSAT, ASTER e IKONOS

IMAGEM	ESCALA	COR	FORMA	PARÂMETROS DE FORMA	
				SUAVIZAÇÃO	COMPACTAÇÃO
LANDSAT	1	0,8	0,2	0,9	0,1
ASTER	2				
IKONOS MS	6				
IKONOS PSM	20				

Com conhecimento *a priori* da dimensão média dos pátios foi possível definir a área do objeto que definiu a classe “pátio”. A classe “estrada” foi definida através da função inversa da classe “pátio”: *não-pátio*. Quando necessário foi utilizado o descritor *assimetria* para separar as classes “estrada” de “pátio”,

pois a assimetria do pátio foi menor comparada a da estrada. (Tabela 3).

Finalizando, foi aplicada uma fusão dos objetos, utilizando a “fusão baseada na classificação”, para refinar a forma dos objetos da segmentação fina. A “fusão baseada na classificação” é um processo que utiliza as informações de um nível da segmentação para

agrupar ou fundir os objetos (USERGUIDE ECOGNITION, 2004).

#### 2.4. Extração de informações em SIG

Foi utilizado SIG (Sistema de Informações Geográficas), através do *software* ArcGIS™ 8.2, para analisar parâmetros obtidos de pátios e estradas, tais como a distância entre pátios e entre estradas. Primeiramente, a partir dos resultados da classificação foram gerados e plotados para análise os centróides referentes a pátios e estradas. Em seguida, as coordenadas de cada centróide foram extraídas para determinação da distância entre pátios e entre estradas, utilizando a Distância Euclidiana, dada por:

$$d(1,2) = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2}$$

(1)  
onde:

TABELA 3. DESCRITORES UTILIZADOS NA CLASSIFICAÇÃO ORIENTADA A OBJETO DAS IMAGENS LANDSAT, ASTER E IKONOS

CLASSES	DESCRITOR	LANDSAT (30 m)	ASTER (15 m)	IKONOS MS (4 m)	IKONOS PSM (1 m)	
Floresta	<i>Espectral</i>	Diferença do valor médio da B3 (0,63-0,69µm) para cena	Diferença do valor médio da B2 (0,66-0,7µm) para cena	Diferença do valor médio da B3 (0,63-0,69µm) para cena		
Não-Floresta	<i>Função inversa</i>	Não-floresta				
Pátio	<i>Forma</i>	<i>Área</i>	900-7.200 m <sup>2</sup>	220-8.775 m <sup>2</sup>	2.304-4.496 m <sup>2</sup>	1.697-4.300 m <sup>2</sup>
		<i>Assimetria</i>	< 0,61	< 0,67	< 0,86	
Estrada	<i>Função inversa</i>	Não-pátio				

A análise estatística foi feita com base na diferença entre as informações obtidas nas imagens e as obtidas no campo. Foi aplicada a análise de variância (ANOVA) e avaliado o *p* valor para testar diferenças entre os resultados obtidos na imagem e no campo. Em seguida, foi aplicado o teste de comparação múltipla de Duncan com uma taxa de erro de 0,05% para testar diferenças entre as imagens. A diferença entre as informações obtidas nas imagens e as obtidas no campo foi assumida como sendo erro associado aos resultados de classificação das imagens.

$x_1$  e  $x_2$  refere-se à localização  $x_1$  e  $x_2$ ;  
 $y_1$  e  $y_2$  refere-se à localização  $y_1$  e  $y_2$ ;

#### 2.5. Validação e Análise Estatística

O trabalho de campo foi conduzido em agosto de 2004 para validar os resultados obtidos das imagens. No campo foram coletadas as coordenadas cartográficas, através de GPS (Garmin® 2 Plus), no centro geométrico dos pátios de estocagem e ao longo das estradas. Dessa forma, foi possível determinar as distâncias entre pátios (n=15) e entre estradas (n=10). Finalizando, foi medida com uma trena (de 100 metros) a dimensão (comprimento e largura) dos pátios (n=6) e, a cada 500 metros, a largura das estradas principais (n=6) e secundárias (n=11).

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1. Classificação orientada a objeto

A Figura 2 mostra os resultados da classificação orientada a objeto das imagens LANDSAT, ASTER, IKONOS MS e IKONOS PSM. O método permitiu detectar pátios de estocagem e estradas madeireiras. O efeito da escala na detecção de pátios e estradas é evidente nessas imagens. Também é notório um ganho de informação sobre essas feições à medida que a resolução espacial das imagens torna-se

mais fina. Nas imagens LANDSAT e ASTER foram detectados os pátios e as estradas secundárias (em trechos mais largos), sendo que nesta última imagem foi possível detectar a estrada principal (em trechos mais largos). Nas imagens IKONOS (MS e PSM) também foi possível detectar os pátios e as estradas secundárias e a principal, sendo que estas imagens permitiram quantificar a dimensão e a largura dessas feições.

A imagem IKONOS foi mais sensível à detecção automática do maior número de feições da exploração madeireira (pátios, estradas maiores e menores), o que foi comprovado por interpretação visual dessa imagem em áreas de exploração manejada (READ *et al.*, 2003) e exploração convencional (SOUZA Jr. & ROBERTS, 2005).

A imagem LANDSAT conseguiu detectar apenas pátios e estradas secundárias. A estrada principal não foi detectada por essa imagem em função do sombreamento proporcionado pelo dossel que se fechou ao longo de quatro anos entre a primeira extração e a segunda. Quando foi construída, na época da primeira extração – aproximadamente quatro anos antes da aquisição da imagem pelo satélite – a estrada principal foi revestida de picarra. Por essa razão, na época da segunda extração não foi necessário fazer manutenção para a reentrada (extração detectada neste estudo), permanecendo então o dossel fechado. Com as estradas secundárias ocorreu o contrário. Para a reentrada na floresta foram abertas novas estradas, além da manutenção das já existentes (observação no campo).

No Quadro 1 é apresentada uma comparação da imagem de textura IKONOS PSM (composição falsa cor, R=2; G=3; B=1) com o resultado da classificação orientada a objeto para floresta, pátio e estrada, e suas respectivas representações no campo. O sombreamento das estradas pelo dossel induziu os erros na estimativa da dimensão dos pátios e da largura das estradas a partir das imagens classificadas.

### 3.2. Estimativas de parâmetros de pátios e estradas

As estimativas de parâmetros de pátios e estradas são representadas pela diferença entre as medições na imagem e no campo (Tabela 4). A melhor estimativa da dimensão média dos pátios foi feita pela imagem IKONOS PSM (19,97 metros quadrados), a qual não apresentou diferença significativa em relação ao campo (Tabela 4). A estimativa da dimensão dos pátios (283,37 metros quadrados) pela imagem IKONOS MS, porém, foi significativamente diferente em relação à estimativa no campo. Não houve diferença significativa das estimativas da dimensão dos pátios entre as imagens IKONOS PSM e IKONOS MS.

A estimativa da dimensão de pátios de exploração madeireira por processamento automático de imagens de satélite é uma abordagem nova em sensoriamento remoto. Há registro desse tipo de estimativa, utilizando imagens de satélite, apenas por métodos manuais. READ *et al.* (2003), através de interpretação visual de imagens IKONOS PSM, detectaram pátios de estocagem de 1.000 a 3.000 metros quadrados de dimensão em área de exploração manejada na região de Itacoatiara no Estado do Amazonas.

Na avaliação da distância entre pátios, as melhores estimativas foram feitas pelas imagens IKONOS MS (-4,94 metros) e ASTER (-5,4 metros), as quais não apresentaram diferenças significativas em relação ao campo (Tabela 4). Entretanto, as estimativas das imagens IKONOS PSM (-5,7 metros) e LANDSAT (-7,18 metros) foram significativamente diferentes em relação ao campo. Entre as imagens não houve diferença significativa da distância entre pátios. As subestimativas da distância entre pátios podem ter ocorrido devido à variação na determinação dos centróides que representaram a localização cartográfica desses pátios. Considerando as dimensões elevadas dos pátios deste estudo, a localização dos centróides pode ter sido influenciada pela forma dos pátios classificados na imagem.

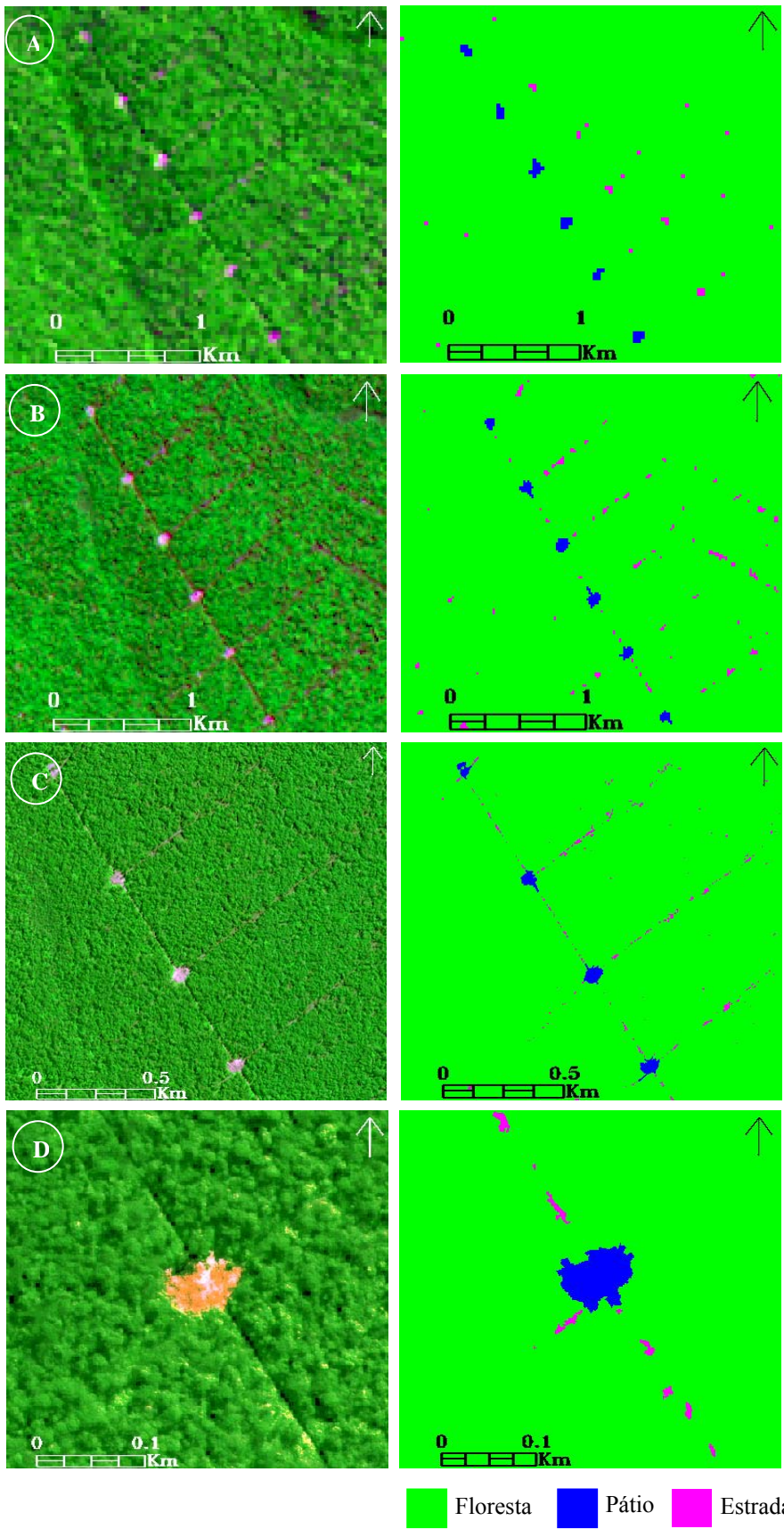
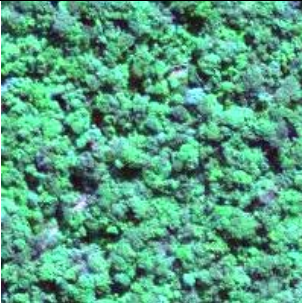
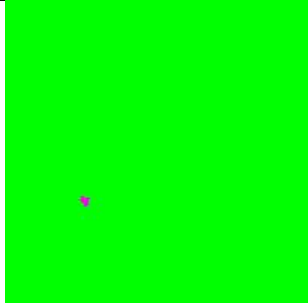


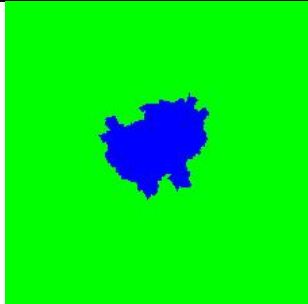

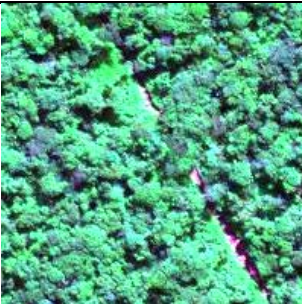
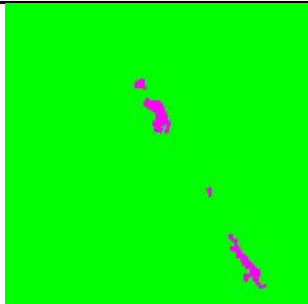



Fig. 2 - Classificação orientada a objeto da imagem LANDSAT (A), ASTER (B), IKONOS MS – 4m (C) E IKONOS PSM – 1m (D) para extração das classes floresta, pátios e estradas

QUADRO 1. COMPARAÇÃO DA IMAGEM DE TEXTURA (IKONOS PSM) COM A CLASSIFICAÇÃO ORIENTADA A OBJETO DE FLORESTA, PÁTIO E ESTRADA E SUAS REPRESENTAÇÕES NO CAMPO

CLASSE	IMAGEM COMPOSIÇÃO RGB (2,3,1)	CLASSIFICAÇÃO	CAMPO
Floresta			
Pátio			
Estrada			

As distâncias entre estradas secundárias foram estimadas pelas imagens IKONOS MS (-0,11 metros), IKONOS PSM (1,45 metros), ASTER (-2,86 metros) e LANDSAT (-3,07 metros), as quais não apresentaram diferenças significativas em relação ao campo (Tabela 4). As imagens de alta resolução espacial (IKONOS PSM e IKONOS MS) conseguiram detectar mais informações das estradas secundárias, o que possibilitou estimar com maior acurácia as distâncias entre as mesmas (Figura 2).

Quanto à largura da estrada principal, foram observadas superestimativas pelas imagens IKONOS MS (1,3 metros) e IKONOS PSM (1,4 metros), apresentando diferença significativa em relação ao campo (Tabela 4). A estimativa direta da largura de estradas madeireiras por processamento automático de imagens de satélite também é uma abordagem nova em sensoriamento remoto. Estudos realizados se basearam apenas na extração linear manual e automática dessas

estradas. READ *et al.* (2003), interpretando visualmente imagem IKONOS PSM (1 metro), detectaram estradas principais com largura entre 20 e 25 metros (cheçadas no campo) em exploração manejada na região de Itacoatiara - AM. BRANDÃO Jr. & SOUZA Jr. (2005), utilizando interpretação visual e automática de imagem LANDSAT, detectaram estradas madeireiras principais de 5 a 6 metros de largura (cheçadas no campo) em explorações convencional e manejada na região de Paragominas - PA.

A largura das estradas secundárias também foi superestimada pelas imagens IKONOS PSM (1,03 metros) e IKONOS MS (3,12 metros), com diferença significativa em relação ao campo (Tabela 4). BRANDÃO Jr. & SOUZA Jr. (2005), utilizando interpretação visual e automática de imagem LANDSAT, detectaram estradas madeireiras secundárias de 4 a 5 metros de largura na região de Paragominas. READ *et al.* (2003), interpretando



visualmente imagem IKONOS PSM (1 metro) detectaram estradas secundárias de 10 a 20 metros de largura na região de Itacoatiara.

As superestimativas da largura das estradas principal e secundárias podem estar associadas à defasagem do ano de aquisição das imagens pelo satélite em relação à checagem de campo, ou mesmo pelo fato de termos medido em campo apenas a largura do leito

das estradas, não considerando as margens (onde encontramos solo e resíduos raspados do leito). JOHNS *et al.* (1996) encontraram largura média da margem da estrada de 1,7 metros para exploração manejada e de 2 metros para exploração convencional na região de Paragominas.

TABELA 4 - DIFERENÇA ENTRE AS MEDIÇÕES DOS PARÂMETROS OBTIDOS NAS IMAGENS E NO CAMPO

PARÂMETRO	LANDSAT	ASTER	IKONOS MS	IKONOS PSM
Dimensão dos pátios (metros quadrados) n=6			283,4a (392,5)	<b>20,0a</b> (477,8)
Distância entre pátios (metros) n=15	-7,9a (10,2)	<b>-5,4a</b> (12,3)	<b>-4,9a</b> (6,2)	-5,7a (6,3)
Distância entre estradas secundárias (metros) n=10	<b>-3,1a</b> (5,3)	<b>-2,9a</b> (4,1)	<b>-0,1a</b> (4,4)	<b>1,4a</b> (5,7)
Largura das estradas principais (metros) n=6			1,4a (0,6)	1,3a (1,1)
Largura das estradas secundárias (metros) n=11			3,1a (0,9)	1,0b (1,7)

Médias apresentadas com desvio padrão entre parênteses. Os números em negrito indicam nenhuma diferença significativa entre imagem e campo. As letras diferentes indicam diferença significativa entre as imagens com  $p < 0,05$  utilizando o teste de Duncan. n= número de amostras (medições).

#### 4. CONCLUSÕES

Este estudo mostrou que a segmentação e classificação orientada a objeto é uma ferramenta eficiente na detecção de pátios e estradas da exploração madeireira. Além disso, essas feições da exploração madeireira podem ser usadas na estimativa de parâmetros capazes de revelar o nível de planejamento dessas infra-estruturas nos planos de manejo florestal.

Esse método tem a vantagem de utilizar não somente a informação espectral dos alvos da imagem, mas também as informações espacial e contextual dos mesmos. Adicionado a isto, o método permitiu classificar e extrair informações automaticamente de imagens IKONOS, o que não seria possível pelos métodos tradicionais de classificação baseados em pixel.

Finalizando, este método poderia ser utilizado no monitoramento de planos de manejo florestal com e sem certificação florestal e em áreas sob concessão florestal na região amazônica.

#### AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao proprietário da área por ceder a para este estudo; ao apoio financeiro da Fundação Gordon & Betty Moore para o trabalho de campo; a Fundação FORD e a CAPES pelo apoio financeiro à pesquisa; a Agência Americana para o Desenvolvimento (USAID) e ao Experimento de Larga Escala da Biosfera e Atmosfera da Amazônia (LBA) pela aquisição das imagens ASTER e IKONOS.

#### REFERÊNCIAS

ASNER, G. P., KELLER, M., PEREIRA, R., ZWEEDE, J. C. Remote sensing of selective logging in Amazonia Assessing limitations based on detailed field observations, LANDSAT ETM<sup>+</sup>, and textural analysis. **Remote Sensing of Environment**, 80, p. 483-496, 2002.

BAATZ, M. & A. SCHÄPE. Multiresolution Segmentation – an optimization approach for high quality multi-scale image segmentation. In: STROBL, J. *et al.* (Hrsg.): **Angewandte Geographische Informationverarbeitung XII**. Beiträge zum AGIT-Symposium Salzburg 2000, Karlsruhe, Herbert Wichmann Verlag: 12-23. Disponível em: [www.definiens-imaging.com/documents](http://www.definiens-imaging.com/documents). Acesso em: 28 de mar. 2005.

BLASCHKE, T., LANG, S., LORUP, E., STROBL, J., ZEIL, P. Object-oriented image processing in an integrated GIS/remote sensing environment and perspectives for environmental applications. In: **Cremers, Politics and the Public**, vol. II. Metropolis-Verlag, Marburg, pp. 555-570, 2000.

BENZ, U. C., HOFMANN, P., WILLHAUCK, G., LINGENFELDER, I., HEYNEN, M. Multi-resolution, object-oriented fuzzy analysis of remote sensing data for GIS-ready information. **Journal of Photogrammetry & Remote Sensing** 58, p. 239-258, 2004.

- BRANDÃO Jr., A. O. & SOUZA Jr., C. M. Avaliação de imagens LANDSAT para identificação e extração de estradas madeiras. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12. (SBSR), 16-21 abr. 2005, Goiânia. **Anais**, São José dos Campos: INPE, 2005. Artigos, p. 3503-3509. CD-ROM. ISBN 85-17-00018-8.
- CARLOTTO, M. J. Reducing the effects of space varyin, wavelength dependent scattering in multispectral imagery. **International Journal of Remote Sensing**, 20(17), p. 3333-3344, 1999.
- GERWING, J. J. Degradation of forests through logging and fire in the eastern Brazilian Amazon. **Forest Ecology and Management**, 157, p. 131-141, 2002.
- 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 madeira: estudo de caso, região norte de Mato Grosso. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12 (SBSR), 16-21 abr. 2005, Goiânia. **Anais**, São José dos Campos: INPE, 2005. Artigos, p. 1555-1562. CD-ROM. ISBN 85-17-00018-8.
- HOFMANN, P. **Detecting building and roads from IKONOS and DEM data with eCognition**. eCognition Application Note. Vol. 2, No. 5, August 2001. Disponível em: <<http://www.definiens-imaging.com>> Acesso em: mar. 2004.
- HOLDSWORTH, A. R. & UHL, C. Fire in Amazonian selective logged rain forest and the potential for fire reduction. **Ecological Applications** 7(2): p. 713-725, 1997.
- JOHNS, J. S., BARRETO, P., UHL, C. Logging damage during planned and unplanned logging operations in the eastern Amazon. **Forest Ecology Management**, 89(1-3):59-77, 1996.
- KRUG, T. Deforestation and Fire in the Brazilian Amazonia: a historical perspective. In. LBA FIRST SCIENTIFIC CONFERENCE. **Book of Abstracts**. Belém. Pará, 2000.
- MARTINI, A., ROSA, N., UHL, C. An attempt to predict which Amazonian tree species may be threatened by logging activities. **Environmental Conservation** 21(2): p. 152-162, 1994.
- MATRICARDI, E. A. T., SKOLE, D. L., CHOMENTOWSKI, M. A., COCHRANE, M. A. **Multi-temporal detection of selective logging in the Amazon using remote sensing**. Special Report BRSRI Research Advances – Tropical Forest Information Center, Michigan State University N°. RA03-01/w, 2001, 27p.
- MMA – Ministério do Meio Ambiente. **Plano de ação para a prevenção e controle do desmatamento na Amazônia Legal**. Brasília: MMA/SBF, 2004, 156p.
- MONTEIRO, A. **Monitoramento de indicadores de manejo florestal na Amazônia Legal utilizando sensoriamento remoto**. Curitiba, 2005b. 105p. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Paraná.
- RADAMBRASIL. Departamento de Produção Mineral. Projeto RADAMBRASIL. **Levantamento de Recursos Naturais. Folha SC.21 Juruena**. Rio de Janeiro, 20, p. 39-40, 1981.
- READ, J. M. Spatial Analyses of Logging Impacts in Amazonia Using Remotely Sensed Data. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing** 69 (3), pp. 275-282, 2003.
- READ, J., CLARK, D. B., VENTICINQUE, E. M., MOREIRA, M. P. Application of merged 1-m and 4-m resolution satellite data to research and management in tropical forests. **Journal of Applied Ecology**, 40, p. 592-600, 2003.
- SOUZA Jr., C. & BARRETO, P. An alternative approach for detecting and monitoring selectively logged forests in the Amazon. **International Journal of Remote Sensing**, 21, p. 173-179, 2000.
- SOUZA Jr. & ROBERTS, D. Mapping forest degradation in the Amazon region with IKONOS images. **International Journal of Remote Sensing**, 26, p. 425-229, 2005.
- SOUZA Jr., C., MONTEIRO, A., BARRETO, P. Exploração madeira na Amazônia: é possível monitorar por satélite? **Ciência Hoje**, 197, p. 62-65, 2003.
- USERGUIDE 4 ECOGNITION, 2004. Disponível em: [www.definiens\\_imaging.com](http://www.definiens_imaging.com). Acesso em: 30 nov. 2004).
- WALTER, V. Object-based classification of remote sensing data for change detection. **Journal of Photogrammetry & Remote Sensing**, 58, p. 225-238, 2004.