Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, Brasil, 21-26 abril 2007, INPE, p. 5691-5698.

Classificação orientada a objetos no mapeamento dos remanescentes da cobertura vegetal do bioma Mata Atlântica, na escala 1:250.000

Carla Bernadete Madureira Cruz[1], Raúl Sánchez Vicens[2], Vinícius da Silva Seabra[1], Rafael Balbi Reis[1], Otto Alvarenga Faber[1], Monika Richter [1] , Pedro Kopke Eis Arnaut[1], Marcelo Araújo[3]

[1] Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ
Depto. de Geografia – Grupo de Sensoriamento Remoto ESPAÇO
Campus da Ilha do Fundão, prédio CCMN, bl. I , s/ 012 – CEP 21941-590 – Rio de Janeiro, RJ.
cmad@ufrj.br; vinigeobr@uol.com.br; macrbr@hotmail.com; ottoaf@yahoo.com.br; mrichter84@hotmail.com

[2] Universidade Federal Fluminense - UFF
Instituto de Geociências, Depto. de Geografia
Campus da Praia Vermelha, Boa Viagem, sala 524 - CEP 24210-310 – Niterói, RJ.
rcuba@vm.uff.br

[3] Instituto de Estudos Socioambientais do Sul da Bahia – IESB
Rua Major Homem Del Rey, 147 – CEP: 45652-180 – Cidade Nova, Ilhéus.
marajujo@iesb.org.br

Abstract. This study is the result of an initiative by the PROBIO Project, for Preservation and Sustainable Use of the Brazilian Biological Diversity, sponsored by the Ministry of the Environment - MMA with the main objective to map, in meso-scale detail (1:250,000), of the remnants of the vegetation land cover of the biome "Mata Atlântica" (Coastal Rainforest). The present work proposes to present the experiences obtained in the mapping of an area of vast spatial distribution that required processing of 96 images. The supervised classification was performed using a fuzzy model based on the spectral analysis of the target behavior. A top-down approach was used. The classes at the same hierarchical level were analyzed and characterized by different object features (descriptors), part of which were personalized through a construction mode available by eCognition. That approximation practically responded for the first division between natural covers and their different uses, with exception of some types of cultures and pastures.

Palavras-chave: remote sensing, object-based image analysis, landcover mapping, sensoriamento remoto, análise orientada a objeto, uso e cobertura do solo.

1. Introdução

A Mata Atlântica é considerada atualmente como um dos mais ricos conjuntos de ecossistemas em termos de diversidade biológica do planeta. Distribuído ao longo de mais de 23º de latitude (abrangendo estados das regiões sul, sudeste, centro-oeste e nordeste), esse bioma é composto de uma série de fitofisionomias, que propiciaram uma significativa diversidade ambiental e, como conseqüência, a evolução de um complexo biótico de natureza vegetal e animal altamente rico (MMA, 1998).

O trabalho aqui apresentado é resultado de uma iniciativa do Projeto de Conservação e Utilização Sustentável da Diversidade Biológica Brasileira - PROBIO, do Ministério de Meio Ambiente - MMA, que tem como objetivo elaborar o mapeamento, em meso escala de detalhamento (1:250.000), dos remanescentes da cobertura vegetal do bioma Mata Atlântica[1].

[1] As parcerias estabelecidas neste projeto envolvem o Instituto de Estudos Socioambientais do Sul da Bahia (IESB) como instituição proponente, à qual se atribui a Coordenação Geral e responsabilidades técnico-administrativas; o Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), através do Grupo de Sensoriamento Remoto ESPAÇO do Departamento de Geografia, responsável pela coordenação e execução técnica das atividades

Esta iniciativa está inserida em um contexto maior, cujo objetivo é o mapeamento articulado de todo território nacional, onde os limites dos 6 biomas (Amazônia, Cerrado, Mata Atlântica, Caatinga, Pampas e Pantanal) foram estabelecidos de acordo com o IBGE, o que amplia sua importância e visibilidade.

Embora existam várias experiências em análise orientada a objetos, a maioria delas tem sido realizada com imagens de alta resolução, a maior parte em aplicações urbanas (Antunes & Lingnau, 2005; De Pinho *et. al*., 2005; Frauman & Wolf, 2005) e outras recentes voltadas para levantamentos florestais (Chubey *et. al*., 2006; Kim & Madden, 2006, Carleer & Wolff, 2006). Em escalas regionais são encontradas algumas experiências utilizando imagens de baixa resolução (Durieux *et. al*., 2006) ou média resolução (Fisette *et. al*., 2006). No presente trabalho buscou-se a adaptação desta metodologia, em uma iniciativa de mapeamento da cobertura vegetal através de imagens ETM+ Landsat. O sistema eCognition® possibilita o manuseio de múltiplas resoluções de imagens, além de dados temáticos, tais como, hipsometria, geomorfologia, solos e vegetação, o que favorece a caracterização e identificação de diferentes classes da cobertura vegetal.

A classificação orientada a objetos busca simular técnicas de interpretação visual através da modelagem do conhecimento para a identificação de feições, baseada na descrição de padrões identificadores, tais como, cor, textura, métrica, contexto. O sistema possibilita o uso convencional da técnica vizinho mais próximo a partir da assinatura espectral (definida por amostras) além da aplicação de modelos booleanos ou fuzzy que podem ser livremente traçados em um ambiente interativo.

A maior referência de mapeamento dos remanescentes florestais e ecossistemas associados do bioma é o Atlas dos Remanescentes elaborados pela Fundação SOS Mata Atlântica em parceria com o INPE. Esses dados vêm sendo produzidos desde 1990, aprimorando cada vez mais sua escala de estudo, culminando atualmente com informações fornecidas na escala 1:50.000 por município abrangido pelo bioma.

A inovação com relação ao presente mapeamento (edital do PROBIO/MMA n° 03/2004) é a identificação dos remanescentes de formações não florestais além das áreas antrópicas, em toda a área de abrangência do bioma. Essa informação adicional permitirá, dentre outras aplicações, avaliar o grau de ameaça aos remanescentes em função da ocupação predominante no seu entorno.

2. Objetivo

Este trabalho tem por objetivo apresentar as principais diretrizes metodológicas para mapeamento da cobertura vegetal, em uma escala de meso-detalhe (1:250.000), através da adoção de classificação orientada a objetos e modelagem fuzzy.

3. Estratégia para o Mapeamento

Esta proposta metodológica é justificada pelas dimensões da área, com 1.110.182 km^2 (IBGE, 2006), refletida num elevado número de imagens (90 cenas LANDSAT ETM+, 5 CCD/CBERS e

---

previstas; o Departamento de Geografia da Universidade Federal Fluminense (UFF), que divide parte da responsabilidade da coordenação técnica.

1 SPOT-4), e pela complexidade da legenda final[2] do mapeamento, que será trabalhada através do estabelecimento de uma hierarquia e agrupamento de classes. A necessidade de inclusão das imagens provenientes de outros sensores e da maior amplitude de datas (inicialmente de 2001 a 2003, com ano base em 2002 e, posteriormente, de 1999 a 2005) é explicada pela séria dificuldade de obtenção de cobertura com pouca influência de nuvens no litoral do Nordeste, mais especificamente, na porção acima de Salvador. Tal resolução permitiu a minimização, mas não a solução, do percentual de áreas não classificadas.

Para otimizar o processo de mapeamento, as cenas foram agrupadas e equalizadas em mosaicos seguindo o recorte da Carta Internacional ao Milionésimo (em um total de 13), diminuindo desta forma os esforços direcionados para a edição entre folhas (**figura 1**).

A legenda final diferencia, mais detalhadamente, as coberturas naturais e seminaturais das classes de formações, incluindo as florestas, principal fisionomia do bioma, e os encraves de savana, savana estépica e estepe. São detalhados também as formações pioneiras (manguezais, restingas e comunidades aluviais) e os refúgios vegetacionais (afloramentos rochosos e campos de altitude). Já o antropismo é representado de forma simplificada nas classes: áreas urbanas, reflorestamento, pastagem, agricultura, vegetação secundária e outros usos indiscriminados – como solo exposto, mineração e queimadas. Algumas classes foram distinguidas espectralmente, enquanto as mais complexas receberam o auxílio de descritores temáticos. O detalhamento das formações florestais foi obtido com o auxílio complementar do mapeamento do RADAM (predominantemente na escala 1:1.000.000) e dos modelos digitais de elevação (MDE) do SRTM (com resolução de 90m, compatível com a escala 1:250.000) através de operações de análise espacial em ambiente SIG.

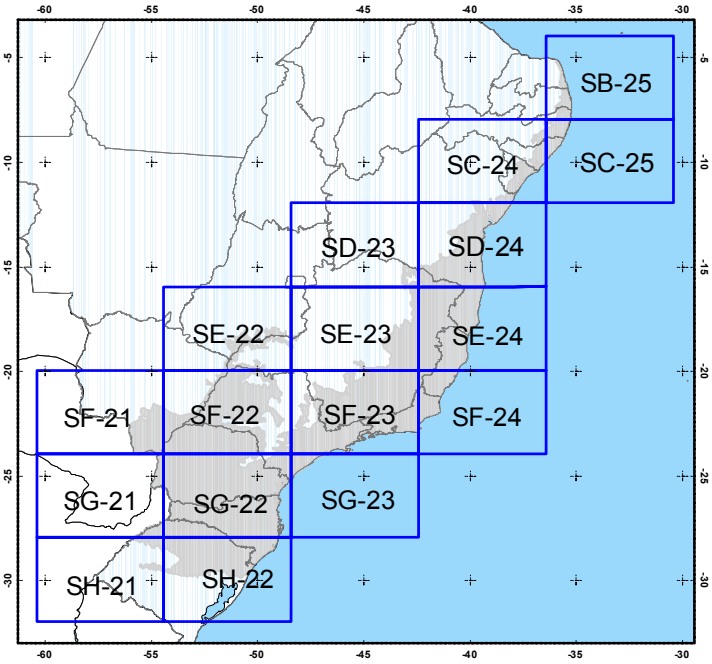

Figura 1: Sub-sets de imagens ETM/Landsat segundo o recorte da CIM.

Os levantamentos de campo foram realizados por amostragem aleatória estratificada, considerando-se principalmente critérios de logística e acessibilidade (proximidade com sistema viário), dado os fatores limitantes relacionados a tempo e recursos financeiros disponíveis. Seus objetivos foram o reconhecimento da classificação que subsidiou a identificação de áreas de treinamento e a avaliação final do produto gerado. O bioma foi dividido em 12 áreas de forma a viabilizar o levantamento de dados por equipes compostas por 4 pessoas em um prazo de 7 a 8 dias. Para cada área obteve-se em média 1000 pontos de observação.

[2] Segundo o Sistema Fisionômico-Ecológico proposto no Manual Técnico de Vegetação do IBGE, 1992 (em fase de atualização).

A classificação supervisionada foi realizada utilizando, preferencialmente, modelagem *fuzzy* com o auxílio da análise do comportamento espectral de alvos (áreas de treinamento obtidas em campo) de forma a agrupar objetos similares. A abordagem utilizada foi a *top-down*, em dois níveis de segmentação. O primeiro, restrito às bandas do infravermelho próximo e médio, objetivando a identificação de áreas de sombra e corpos d'água; enquanto o segundo, incluindo todas as bandas espectrais exceto a do Azul, embasou o detalhamento das demais classes através de uma estrutura hierárquica que garantisse a herança entre os diferentes níveis. As classes que se encontravam em um mesmo nível hierárquico foram analisadas e caracterizadas por diferentes descritores (*object features*), parte dos quais personalizada através do modo de construção disponibilizado pelo eCognition® (média e desvio padrão das bandas, razão entre bandas, brilho,...).

A classificação digital obtida nesta etapa passou por um processo de edição visual, ainda significativo, sendo então manipulada através de funções de integração de análise espacial sobre dados matriciais, objetivando:

- A identificação do domínio de vegetação predominante por fragmento florestal, com auxílio do mapeamento do RADAM;
- Suavização de contornos e agrupamento por proximidade através da aplicação de um filtro de moda 9x9 de modo a minimizar a influência da estrutura de base matricial, muito criticada nos produtos finais temáticos;
- Quantificação, em valores absolutos e percentuais, das classes de uso e cobertura por Unidade de Federação no bioma Mata Atlântica;
- Detalhamento final da legenda, ao nível de formações, através da integração com o mapeamento hipsométrico obtido pelo MDE do SRTM;
- Eliminação de áreas inferiores ao limiar de 40ha, estabelecido em edital, com conseqüente geração de legenda composta, em atendimento ao nível de generalização esperado para um mapeamento na escala 1:250.000. Como o estado da fragmentação da Mata Atlântica é grave, é importante que fragmentos menores, no caso, de 10 a 40ha, possam ser resgatados, para posterior quantificação através do banco de dados.

Este segundo produto foi validado pelos pontos de observação obtidos em campo, separados inicialmente para tal fim, que não foram, portanto, utilizados no processo de reconhecimento de classes. O limiar de aceitação do mapeamento é de 85%.

Foram adotados como sistemas computacionais os softwares PCI Orthoengine®, eCognition®, ERDAS®, ArcGIS® e SPRING/INPE no processamento digital de imagens nas operações relativas à correção geométrica, equalização radiométrica, geração de mosaico, segmentação, classificação, edição, manipulação, quantificação dos mapas temáticos e preparo do layout.

O layout final das cartas imagem e temática seguiu orientação das especificações técnicas do IBGE, sendo comum para todos os biomas.

4. Discussão Metodológica relativa ao Processo de Classificação Orientada a Objetos

A decisão da adoção da hierarquia e agrupamento de classes foi embasada na dificuldade de se obter diretamente, por processamento digital de imagens, a legenda proposta, ora muito detalhada (cobertura vegetal), ora bastante simplificada (antropismo). Para o caso das formações florestais, cujo detalhamento não era possível de se alcançar com as imagens disponíveis e com os dados obtidos por levantamentos expeditos em campo, optou-se pelo uso de operações de análise

espacial em ambiente SIG. Por outro lado, para atendimento da legenda final das classes de uso (mais generalizadas), foi necessário observar a diversidade de respostas espectrais das classes mais complexas, como foi o caso da agricultura e da pastagem, ambas sobre influência de inúmeros fatores. Nesse caso, a estrutura hierárquica inicial de classes foi submetida a um processo de agrupamento.

A segmentação considerou apenas os parâmetros detalhe e heterogeneidade espectral, uma vez que, na escala de mapeamento utilizada a intenção era separar os objetos pela sua resposta, sem considerar a sua forma, que recebeu peso zero. Para os dois níveis da estrutura optou-se pelo parâmetro 30, que se apresentou adequado ao nível de detalhamento desejado. Vários testes foram realizados para sua determinação. A única diferença foi a espectral, dado que o conjunto de bandas utilizado em cada nível foi diferente. Para o primeiro nível, segmentado a partir das bandas 4 e 5 (nas quais os corpos d'água são bastante homogêneos), na maioria dos projetos (ou sub-sets) adotou-se como melhor descritor o valor médio de NDVI para a separação dos corpos d'água, além da restrição a valores espectrais baixos (em todas as bandas) para a separação das sombras (**figura 2**).

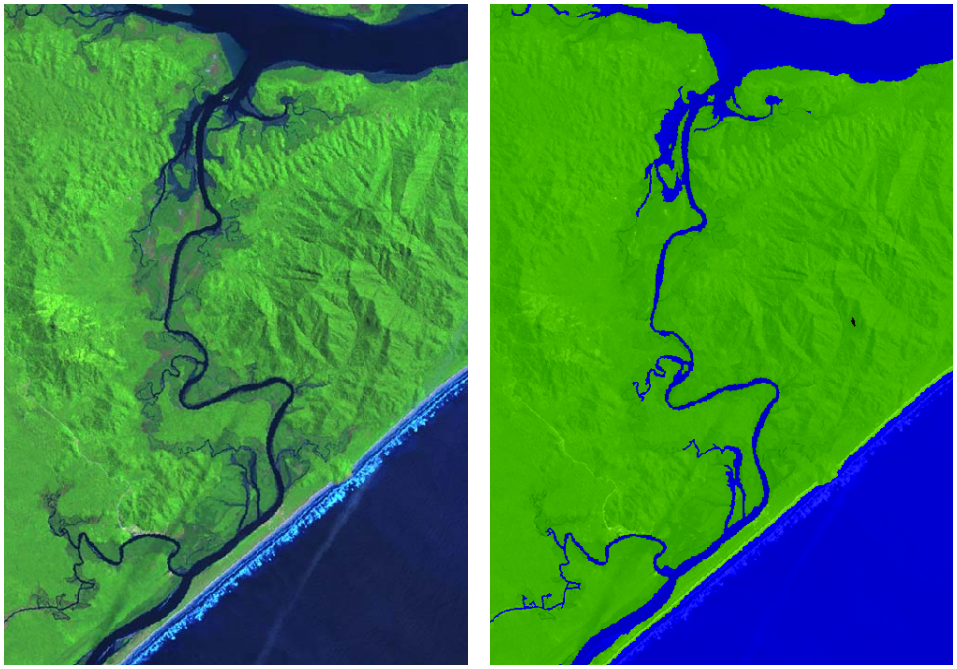

Figura 2: Primeiro nível de classificação separando água e sombra.

No segundo nível, gerado abaixo do primeiro (abordagem *top-down*), criou-se toda uma estrutura hierárquica de classes, partindo-se inicialmente da separação em 3 cores básicas predominantes (roxos, brancos e verdes), que foram depois detalhadas através da opção de hereditariedade. As classes no nível acima (água e sombra) são trazidas através da modelagem super objetos. A opção pela divisão em cores baseou-se na densidade da cobertura vegetal e na intensidade da resposta espectral (foi o caso dos depósitos de areia e nuvens que apresentaram alto valor espectral em todas as bandas). Neste caso, foram considerados principalmente a média dos valores espectrais (*layer values*) e brilho (*brightness*). A estrutura em cores respondeu pela primeira divisão entre coberturas naturais e os diferentes usos, excetuando-se alguns tipos de cultivos e pastagens, que por sua variedade podiam se encontrar tanto nos "roxos" quanto nos

"verdes". Nesta divisão foram utilizados, além de alguns valores espectrais, algumas razões (*ratios*) entre bandas, principalmente o NDVI e o MVI5 (**figura 3**).

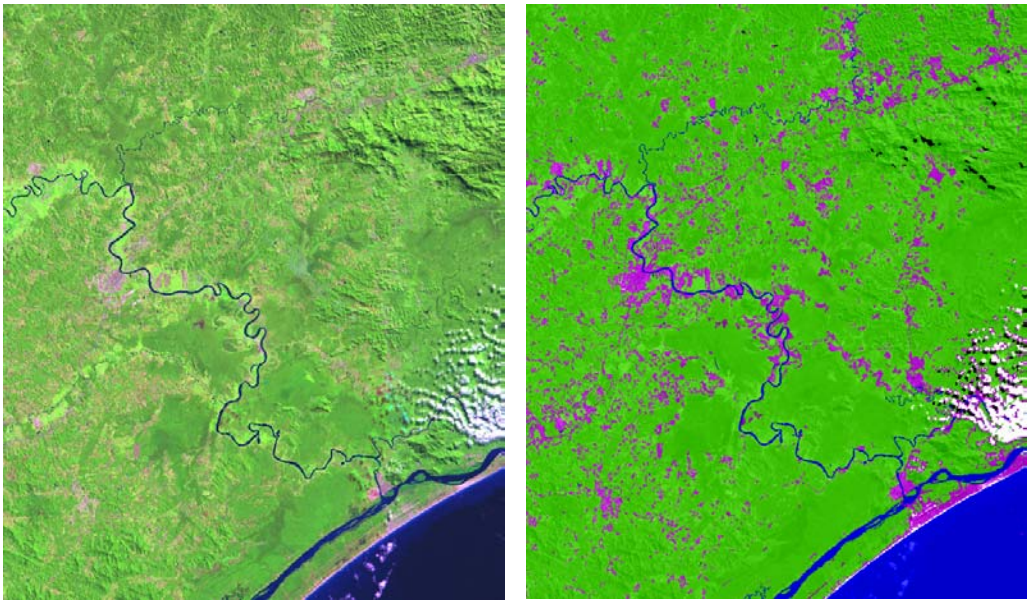

Figura 3: Segundo nível de classificação – separação em cores.

Finalmente, a classificação foi detalhada mantendo a ligação hierárquica entre as classes, garantindo assim a hereditariedade de critérios. Nesta etapa foram discriminados os diferentes tipos de uso e algumas das principais fisionomias da vegetação (floresta, mangue, restinga, refúgios vegetacionais, comunidades aluviais). Devido às diferenças não equalizadas entre as cenas mosaicadas por sub-set de imagens, foi necessária a utilização de um maior número de descritores, dada a variabilidade interna encontrada, o que dificultou a replicação dos modelos para diferentes projetos. No entanto, a identificação de algumas classes em particular ficou bem associada à utilização de alguns descritores. Destaca-se a utilização do desvio padrão dos valores espectrais, principalmente do verde, na discriminação das áreas urbanas, cuja heterogeneidade interna é marcante. Na classificação das fisionomias de florestas, além dos valores espectrais, foram utilizados razões entre bandas e brilhos visível e infravermelho.

Na identificação de classes de distribuição restrita, como as formações pioneiras (manguezais, restingas e comunidades aluviais) e refúgios vegetacionais, foram utilizados mapas temáticos, principalmente de geomorfologia e solos. Assim, os manguezais e comunidades aluviais, foram restringidos aos solos hidromórficos ou às planícies fluviais ou costeiras. Igualmente, os refúgios vegetacionais e afloramentos rochosos foram associados às regiões geomorfológicas de relevo dobrado ou reativado, com litologias cristalinas.

É importante destacar, que em todos os níveis de classificação foi utilizado um critério inverso de similaridade entre classes (*not*) para aqueles tipos de coberturas de maior distribuição e heterogeneidade. Desta forma, as classes de melhor identificação foram sendo extraídas a priori, evitando-se ainda a ocorrência de áreas não classificadas.

Diferentemente dos demais sistemas de processamento digital de imagens, o ecognition permite o consórcio de diferentes técnicas de classificação que possuem, por sua vez, uma hierarquia no processo decisório. A interpretação visual é a técnica de maior peso e não pode,

portanto, ser alterada pelas demais; em segundo plano tem-se a manutenção das áreas de treinamento previamente selecionadas, caso se opte pela função vizinho mais próximo baseada na assinatura espectral; em terceiro plano vem a modelagem fuzzy, cuja decisão é pelo grau de pertinência que o objeto apresenta em relação a todas as classes (o sistema reserva os 3 melhores resultados, identificados no banco de dados pelos termos *best, second e third class*).

Assim, para cada nível hierárquico optou-se pela realização de operações de edição visual que puderam ser herdadas pelos níveis subseqüentes.

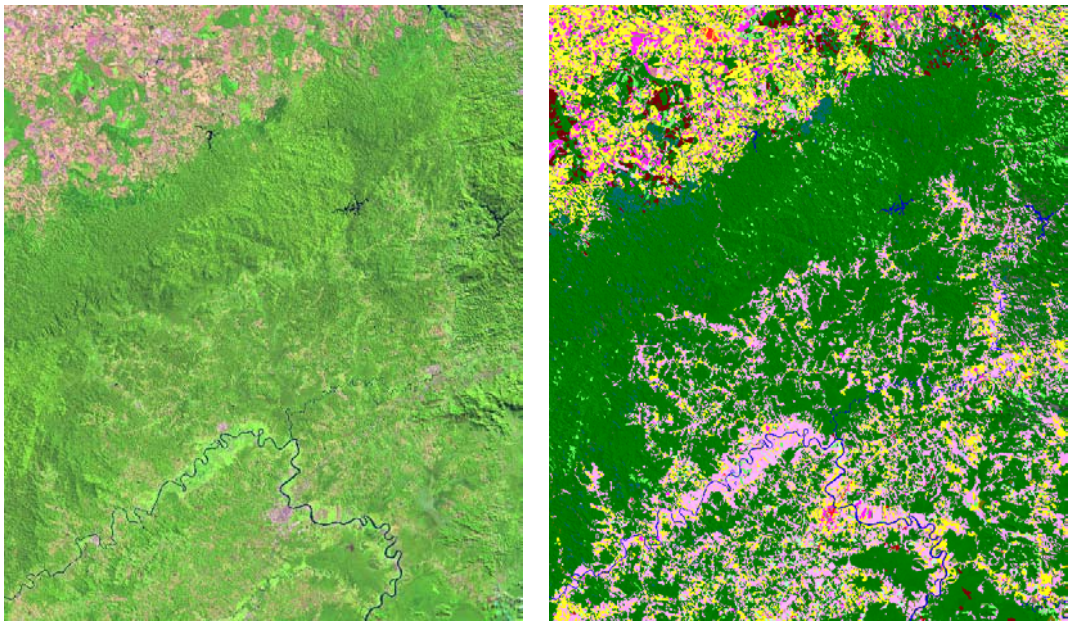

Figura 4: Classificação final no eCognition.

O produto final, editado e agrupado no sistema ecognition, foi exportado em formato *shape file* (recomenda-se a reconstrução da topologia no ArcInfo antes do manuseio no ArcGIS).

Todas as operações posteriores foram executadas no ArcGIS e ERDAS e objetivaram o detalhamento da legenda final, a generalização do produto, a estruturação do banco de dados e a confecção do layout para impressão.

5. Considerações Finais

Este processo apresentou vantagens em relação às formas convencionais de classificação por automatizar alguns padrões de reconhecimento adotados somente na interpretação visual.

É necessária uma maior investigação no que diz respeito aos descritores de forma e de textura para este tipo de alvo e escala.

A prioridade de ações na classificação no eCognition® (identificação visual, vizinho mais próximo baseado em áreas de treinamento e modelagem de descritores através de funções booleanas ou fuzzy) permite o consórcio dos diferentes tipos de classificação de forma interativa e iterativa, aproveitando as vantagens de cada um, devendo, portanto, ser bastante explorada.

Uma linha de pesquisa está sendo iniciada para que os recursos de multiresolução e a inclusão de outros tipos de descritores possam ser avaliados criteriosamente, de modo a que se consiga estabelecer uma biblioteca preliminar de conhecimento sobre as formações vegetacionais

da Mata Atlântica, o que virá a contribuir para futuros mapeamentos, incluindo aí operações de monitoramento.

6. Referências Bibliográficas

ANTUNES, F. and C. LINGNAU (2005): **Determinação da acurácia temática de dados oriundos da classificação digital de objetos por meio de lógica fuzzy**. Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, INPE, Goiânia, Brasil.

CARLEER, A.P. and WOLFF E. (2006): **Region-based classification potential for land-cover classification with very high spatial resolution satellite data.** In: Proceedings of the 1st International Conference on Object-based Image Analysis, Salzburg University, Austria.

CHUBEY, M., S. FRANKLIN and M. WULDER (2006): **Object-based Analysis of Ikonos-2 Imagery for Extraction of Forest Inventory Parameters**. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing Vol. 72, No. 4, pp. 383–39.

DE PINHO, C. M., FEITOSA, F. and H. J. KUX (2005): **Classificação automática de cobertura do solo urbano em imagem IKONOS: Comparação entre a abordagem pixel-a-pixel e orientada a objetos**. Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, INPE, Goiânia, Brasil.

DURIEUX, L., KROPACEK, J., DE GRANDI, G.D. and ACHARD, F.(2006): **Object-oriented wavelet multi-resolution image analysis of the Siberian GBFM radar mosaic combined with MERIS imagery for continental scale land cover mapping**. In: Proceedings of the 1st International Conference on Object-based Image Analysis, Salzburg University, Austria.

FISETTE, T., CHENIER, R., MALOLEY, M., GASSER, PY., HUFFMAN, T., WHITE, L., OGSTON, R. and ELGARAWANY, A.(2006): **Methodology for a Canadian agricultural land cover classification**. In: Proceedings of the 1st International Conference on Object-based Image Analysis, Salzburg University, Austria.

FRAUMAN, E. and E. WOLFF (2005): **Segmentation of very high spatial resolution satellite images in urban areas for segments-based classification**. In: Proceedings of the ISPRS WG VII/1 "Human Settlements and Impact Analysis" 3rd International Symposium Remote Sensing and Data Fusion Over Urban Areas (URBAN 2005) and 5th International Symposium Remote Sensing of Urban Areas (URS 2005). Tempe, AZ, USA.

IBGE (1991) Manual Técnico de Vegetação. **Manuais Técnicos em Geociências**. 92p.

KIM, M. and MADDEN M.(2006): **Determination of optimal scale parameters for alliance-level forest classification of multispectral Ikonos images**. In: Proceedings of the 1st International Conference on Object-based Image Analysis, Salzburg University, Austria.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (1998). **Diretrizes Para A Política de Conservação e Desenvolvimento Sustentável da Mata Atlântica**. Brasília – DF, 26p.