

Mapeamento do Uso da Terra em Rondônia

Utilizando Técnicas de Segmentação e Classificação de Imagens TM

DIÓGENES S. ALVES¹, JOSÉ C. MOREIRA, ELIANA M. KALIL, JOÃO VIANEI SOARES,
OSMAN FERNANDEZ, SÉRGIO ALMEIDA, JUSSARA D. ORTIZ, SILVANA AMARAL

¹INPE-Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
Caixa Postal 515, 12201-970, São José dos Campos, SP, Brasil, dalves@dpi.inpe.br

Abstract. A technique for mapping land use/land cover changes based on segmentation and classification of TM imagery is presented and its use in areas of the State of Rondônia is discussed. The results from the segmentation and classification methods are compared to the conventional pixel-by-pixel classification.

Keywords: Image Segmentation, Image Classification, Land Use/Land Cover Dynamics, Deforestation

1 INTRODUÇÃO

Levantamentos baseados em imagens de satélites Landsat permitiram estimar o aumento das áreas desflorestadas na Amazônia Legal nas últimas décadas [Tardin et al (1980), INPE (1992), Alves et al (1992), Skole e Tucker (1993)]. O uso de imagens de satélite também tem possibilitado o estudo do desflorestamento em outras áreas do planeta, particularmente nas regiões tropicais [Martini (1992), Chomentowski et al 1993], onde extensões significativas de florestas não poderiam ser monitoradas facilmente sem o recurso aos satélites de sensoriamento remoto.

Dados multitemporais de sensoriamento remoto também tem sido usados em estudos sobre a formação da vegetação secundária em áreas abandonadas [Bronzizio et al (1994), Lucas et al (1993), Alves e Skole (no prelo)]. O interesse pelo estudo da vegetação secundária deve-se principalmente a que essa vegetação é *habitat* de um número importante de espécies, acumula quantidades significativas de biomassa logo nos primeiros 15 anos de sua formação e contribui para minimizar alguns dos efeitos do desflorestamento, como a perda da vegetação e de nutrientes no solo [Brown and Lugo (1990)]. A vegetação secundária é relativamente pouco estudada, em particular, no tocante à sua contribuição para a retirada de carbono da atmosfera [Schimel et al (1995)], e seu estudo deve contribuir para minimizar as incertezas associadas às emissões líquidas de CO₂ devidas ao desflorestamento.

O uso de imagens de satélites tem-se baseado mais frequentemente em técnicas de interpretação visual, em particular para a execução de projetos de mapeamento de grandes áreas [Alves et al (1992), Skole e Tucker

(1993)]. Essas técnicas requerem a geração de produtos fotográficos em papel ou filme (a partir de dados originalmente digitais), e não permitem utilizar técnicas de tratamento digital de imagens, das mais simples, como o realce de feições, às mais sofisticadas, como a classificação automática. Além disso, a elaboração de mapas digitais a partir dos resultados da interpretação (*digitalização*) é, tipicamente, uma operação complexa e cara, e fonte adicional de erros.

Técnicas de classificação digital tem sido relativamente pouco usadas, no Brasil, para levantamentos de grandes áreas. Tal fato deve-se a diversas razões, como os requisitos de capacidade de processamento e armazenamento de grandes volumes de dados, a necessidade de treinamento de equipes e o desempenho geral dessas técnicas, que sempre requerem a organização de rotinas de correção dos erros de classificação.

Uma técnica de segmentação de imagens foi desenvolvida para o sistema SPRING [Câmara et al, 1992], baseada no crescimento de regiões e no uso de um classificador não supervisionado [Bins et al (1992), Bins et al (submetido)]. Essa técnica busca delimitar áreas utilizando combinações de bandas de imagens, e permite ao usuário controlar o tamanho mínimo das áreas formadas e a diferença mínima entre os níveis de cinza para a definição de uma borda entre áreas. Ela mostra um bom potencial para uso em tarefas de elaboração de mapas de uso da terra, graças à delimitação de áreas, que propicia uma redução do volume de edições.

Batista et al (1994) utilizaram essa técnica de segmentação para a caracterização de áreas

desflorestadas nas regiões de Manaus (Amazonas) e Alta Floresta (Mato Grosso). Os resultados foram comparados com dados do acervo digital do INPE [Alves et al (1992)], produzidos por interpretação visual e digitalização. Foi verificada uma diferença de menos de 3% dos totais das áreas contabilizadas por cada técnica. O trabalho também concluiu, que a técnica permite identificar áreas de vegetação secundária.

Este trabalho apresenta o uso da mesma técnica de segmentação numa área de Rondônia. Essa região tem um padrão de ocupação bastante típico, com um número razoável de pequenas propriedades distribuídas ao longo de estradas, e é das mais difíceis para a elaboração de mapas, devido ao número e ao tamanho das propriedades. A análise do uso da terra dessa região de Rondônia faz parte do esforço de um grupo de pesquisadores do INPE que vem analisando a dinâmica de uso da terra em regiões como Rondônia (entre Ariquemes e Ji-Paraná), Pará (Marabá e Floresta Nacional do Tapajós) e Amazonas (Manaus).

O primeiro objetivo do trabalho é o de apresentar uma metodologia para a segmentação e classificação de áreas de mudança de cobertura da terra. São discriminadas três classes: (i) floresta primária, (ii) desmatamento (área da qual foi retirada a cobertura vegetal) e (iii) vegetação secundária (área desmatada na qual desenvolveu-se vegetação secundária depois do abandono), as principais classes para os estudos de dinâmica de uso da terra. O trabalho discute resultados obtidos para uma área-teste e os compara com os obtidos pela classificação pixel-a-pixel com o algoritmo de máxima verosimilhança.

2 Área de Trabalho

A área de trabalho para as análises da dinâmica de uso da terra em Rondônia tem como limites aproximados (S 61° 50' O 11° 10') e (S 61° 50' O 9° 10') e é coberta pela cena WRS-TM 231/67, estendendo-se desde a parte sudeste de Ariquemes, até Ji-Paraná. A cobertura vegetal nativa da região é na sua maioria de florestas tropicais densas ou abertas, com relevo frequentemente ondulado (RADAMBRASIL, 1978). A rodovia BR-364 corta a imagem na diagonal, e as linhas e travessões (estradas secundárias) nas quais as propriedades tem sido desenvolvidas partem da rodovia federal em toda sua extensão. A região é caracterizada por uma maioria significativa de pequenas propriedades (40 a 100 ha), ainda que algumas fazendas de 10.000 ha ou mais tenham sido implantadas na região. Trabalhos de campo levam a avaliar que a maioria das propriedades é usada como pasto; um número de plantações de cacau e seringueira, implantadas com apoio de programas de incentivos na década de 70, também são comuns na

área, em muitos casos em estado "encapoeirado". As áreas são derrubadas por duas "técnicas" principais: "aparado", em que a área é completamente limpa, e "quebradão", em que o proprietário deixa muitas árvores de porte grande em pé; quebradão e vegetação secundária podem ser confundidos nas imagens Landsat/TM. O babaçú (*Orbignia spp.*) é muito comum e parece ocupar os pastos antes da formação de vegetação secundária de maior diversidade.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Imagens de satélite

O estudo utiliza seis passagens da cena WRS/TM 231/67, para os anos de 1985, 1986, 1988, 1990, 1992 e 1994. As imagens digitais foram geradas pela unidade do INPE em Cachoeira Paulista com nível de correção geométrica 5, projeção UTM, em discos compactos (CD).

Sistema de Processamento

O sistema de processamento digital utilizado é o SPRING, versão 1.0 (a leitura dos CDs foi realizada na versão 2 do sistema). A maioria dos trabalhos é realizada em estações de trabalho IBM, utilizando SPRING em *Motif*. Episodicamente é utilizada uma estação de trabalho com processador gráfico de 24 bits (SPRING/*Openwindows*, Sun), para análise de certas áreas em composições coloridas de maior qualidade ("*true color*").

Processamento

O processamento dos dados compreende as seguintes operações:

- Leitura das imagens

Os dados digitais nos CDs foram lidos com o utilitário de importação de imagens *impima* da versão 2 do SPRING. Como resultado foram gerados, para cada passagem, um arquivo GRIB contendo as bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7 (os estudos em andamento utilizam somente as bandas 3, 4 e 5; no entanto, optou-se por reunir todas as bandas e realizar as operações de registro uma única vez).

- Registro das Imagens

As imagens foram co-registradas utilizando o utilitário *geocod* da versão 1 do SPRING. Para isso, a passagem de 1994 foi georeferenciada com a ajuda de pontos de controle tomados com GPS (*Global Positioning System*) em campo. Em seguida esta imagem foi utilizada como referência para o registro imagem-imagem com as outras passagens. As operações de registro utilizaram as bandas 3 e 5 alternadamente, para a identificação de alvos diferentes.

- **Particionamento das áreas de trabalho**
Projetos individuais de 15' por 15' são criados (correspondendo a área de cartas 1:50.000) e, então, os arquivos GRIB obtidos após o registro das imagens, são importados para esses projetos (bandas 3, 4 e 5, que concentram a maior parte da informação necessária para discriminar floresta, desmatamento e vegetação secundária). O particionamento da área em projetos pequenos permite, de um lado, agilizar o processamento e, de outro, evitar que os programas "travem" durante a execução com volumes de dados maiores. Para processar mais de uma área ou imagem ao mesmo tempo, também tem-se optado por criar bancos de dados separados para cada área.
- **Preprocessamento**
Para evitar que a diferença das variâncias entre as bandas influencie a separação das áreas (ver figuras 1 e 2), os dados são transformados através da função *Operações Aritméticas* de modo que todas as bandas tenham a maior variância do conjunto de bandas (nestes estudos a banda de maior variância é a TM5). Depois da transformação, as variâncias das bandas transformadas são estimadas novamente para verificar se não foi perdida informação (opção *Parâmetros* da função *Componentes Principais*).
- **Segmentação**
A segmentação é realizada com as bandas 4 e 5, depois da transformação descrita na etapa anterior. Tipicamente, as áreas desmatadas tem uma resposta mais elevada que áreas de floresta na banda 5 e bordas identificadas nessa banda podem ser associadas aos limites entre áreas desmatadas e de floresta; áreas de vegetação secundária, por sua vez, tem uma resposta mais elevada na banda 4. O tamanho mínimo das áreas foi fixado em 10 pixels e dois limiares de similaridade foram avaliados: 8 e 13 (as figuras 1 e 2 mostram os resultados da segmentação para o valor de limiar 13, sem e com preprocessamento).
- **Classificação das regiões e Mapeamento**
A imagem é classificada utilizando o opção *Isoseg* da função *Classificação* do SPRING. Este classificador utiliza a média e a variância das regiões segmentadas (calculados separadamente pela opção *Extração de Regiões* da função *Classificação*) para definir *clusters* segundo os valores desses parâmetros [Bins et al (1992)]. O limiar de aceitação utilizado é 75%. O resultado da classificação é interpretado com a criação de um novo PI e a opção *Mapeamento* da função *Classificação*. Cada tema gerado pelo classificador

é interpretado como floresta, vegetação secundária ou desmatamento, e associado à geoclasse correspondente (as figuras 3 e 4 mostram os resultados da classificação e do mapeamento para a segmentação da figura 2).

- **Edição**
Para corrigir os erros de segmentação e classificação, é necessário realizar a edição da imagem classificada, através de três operações principais:
 - (a) Edição de geo-objetos: esta opção da função de *Editar* permite redefinir a geoclasse de cada polígono, corrigindo erros de classificação (transformação para o formato vetorial necessária);
 - (b) Operações booleanas: permite cruzar o resultado do mapeamento com PIs-máscara criados pelo usuário, para reclassificar as áreas sob a máscara com a função *Operações Booleanas*;
 - (c) Edição de polígonos: permite a adição de polígonos não delimitados pelo segmentador ou que tenham desaparecido devido à agregação de áreas durante a classificação ou mapeamento.
 A versão 1.0 do SPRING apresenta problemas na função de rasterização; por isso, as operações que dependem dessa função devem ser usadas com muito cuidado. Uma função auxiliar foi desenvolvida para trocar a geoclasse de um conjunto contíguo de pixels e relaxar a necessidade de rasterizar os dados.
- **Classificação *MaxVer***
A opção *MaxVer* (máxima verossimilhança) da função *Classificação* foi utilizada numa área-teste. Amostras foram tomadas em áreas de desmatamento, vegetação secundária e floresta, e o algoritmo foi executado com o limiar de aceitação de 75%. As amostras buscaram representar a variabilidade de cada classe e caracterizar áreas tão homogêneas quanto possível.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Uma avaliação rigorosa da qualidade dos resultados gerados pelo segmentador foge do escopo deste trabalho, que não dispôs de dados suficientemente detalhados sobre a região, como uma área de controle levantada adequadamente. Nesse contexto, optou-se por comparar os resultados da segmentação e da classificação por pixel convencional, analisando a concordância das classificações, sem comparação com dados sobre a verdade terrestre.

Dentro do escopo proposto (classificação de três classes de cobertura da terra utilizando-se imagens TM),

os resultados da segmentação (ver figuras 1 e 2) e classificação (figura 3 - temas do *Isoseg*; figura 4 - resultado do mapeamento das 3 classes de interesse) das áreas com a técnica de segmentação apresentam-se visualmente melhores do que os resultados da classificação pixel-a-pixel. O método não apresenta os pixels isolados ou não classificados (típicos da classificação pixel-a-pixel) e os limites das áreas segmentadas apresentam poucas falhas. Correções desses efeitos podem, assim, ser minimizadas.

Os resultados da classificação das áreas em cada uma das três classes ainda são preliminares e dependem de verificação mais extensa em campo. No entanto, a porcentagem de concordância entre o método de segmentação e o algoritmo de máxima verossimilhança pode ser estimada (função *Tabulação Cruzada*) para duas regiões: uma de aproximadamente 85 km² (área A) e uma de cerca de 26 km² (área B) (na área menor os resultados foram gerados com um conhecimento mais detalhado da área, que pode ser visitada). Os resultados obtidos são mostrados na tabela 1.

Tabela 1 - Concordância entre *Isoseg* e *MaxVer*

Classe	Área A (%)	Área B (%)
Floresta	91	86
Desmatamento	81	90
Vegetação Secundária	97	98

Conforme exposto anteriormente, os resultados para o *MaxVer* foram obtidos de modo a tentar minimizar a confusão entre as classes. Apesar de um número relativamente grande de amostras, o algoritmo deixou de classificar cerca de 27% da área A e 31% da B; o aumento da área classificada exigiria, tipicamente, a aquisição de um número maior de amostras e um conhecimento mais detalhado da área. Nesse contexto, o uso da segmentação com o *Isoseg* exigiu, nessas áreas, um esforço menor do usuário para obter resultados com o nível de concordância apresentado acima. Os resultados do *Isoseg* também foram considerados visualmente melhores; apesar da omissão de algumas áreas que não foram delimitadas pela segmentação, o método evitou os pixels não classificados típicos da segmentação pixel a pixel, que são trabalhosos para corrigir.

Deve-se notar que os resultados apresentados não consideraram a confusão entre algumas classes como

vegetação secundária, culturas perenes (cacau, seringueiras) e "quebradão", que vem exigem uma análise mais detalhada. Da mesma forma, não foram considerados os efeitos do relevo sobre a segmentação e a classificação.

A seleção dos parâmetros do segmentador, particularmente do limiar de similaridade, deve ser feita com critério, levando-se em consideração que essa seleção pode acarretar num maior ou menor volume de edições. Valores adequados desses parâmetros dependem dos objetivos do trabalho e das características da área, como o relevo e o uso a cobertura da terra. A seleção desses parâmetros também deve levar em consideração que as operações posteriores de classificação e mapeamento leva à agregação de áreas (segmentos são unidos tanto na etapa de classificação como na de mapeamento). Da mesma forma, o uso das bandas originais sem a transformação da variância (ver Préprocessamento, acima), pode levar a omissão de certas áreas (ver figuras 1 e 2), ainda que limiares de similaridade menores podem tender a compensar esse efeito (com o custo de um número maior de áreas).

O trabalho vem utilizando limiares de similaridade 8 e 13. O limiar 8 produz um número de bordas consideravelmente maior do que o limiar 13. Em alguns casos, o número de bordas e de áreas maior demonstrou-se útil na etapa de edição, pois permitiu a seleção de geobjetos classificados erroneamente de modo mais fácil; em outros casos, por causa das características do relevo na área, foi gerado um número excessivo de áreas que tiveram que ser eliminadas depois, uma a uma; neste caso, a segmentação com o valor 13 revelou-se mais prática. Como observado anteriormente, o *Isoseg* tende a agregar regiões espectralmente "próximas" e o usuário produz a agregação de áreas durante o mapeamento; esses dois fatores levam ao "desaparecimento" de algumas áreas detectadas pelo segmentador. Finalmente, pode-se notar que, apesar de limiares menores tenderem a produzir mais segmentos, às vezes a diminuição desse valor pode provocar a omissão de áreas delimitadas com limiares maiores; isso é devido a particularidades da implementação do programa e não causa problemas maiores já que as áreas omitidas podem ser criadas na etapa de edição dos resultados.

Uma prática demonstrou-se particularmente útil para evitar a agregação excessiva de temas: a separação de um ou mais temas em PIs separados. A edição das áreas, nesse caso, é feita em cada PI, e é necessário verificar se objetos não são omitidos durante o trabalho.

Para concluir, pode-se considerar que os resultados gerais apresentados pela segmentação foram

satisfatórios. A técnica apresenta bom potencial para o uso em atividades similares à executada, podendo ser a base para a geração de mapas de uso da terra de forma mais rápida que a classificação convencional. Uma análise quantitativa mais refinada do desempenho dessas técnicas deverá ser possível no escopo dos estudos de dinâmica de uso e cobertura da terra, em que o presente trabalho se insere. O sistema ainda requer que um certo número de problemas seja sanado, entre os quais os mais críticos são os relacionados com o "travamento" dos programas com volumes de dados maiores, com erros de processamento e com o número modesto de funcionalidades para edição de dados. Finalmente, o uso do sistema com um algoritmo de classificação supervisionado pode representar interesse para um série de aplicações.

AGRADECIMENTOS

O autores agradecem o apoio da FAPESP (processo 95/2432-5), do CNPq (301474/91-5 (RN) e 610206/94), da Secretária de Desenvolvimento Ambiental de Rondônia (SEDAM) e, em particular, de Eraldo Matricardi dessa Secretaria. Agradecem, também, ao "Gaia" (Guaraci J. Erthal) e ao "Léo" (Leonardo S. Bins), pelo auxílio no uso do "Segmenta", pelas trocas de idéias e pelas várias peças de código específicas para este trabalho com o segmentador.

Referências

ALVES, D.S. AND SKOLE, D.L., no prelo, Characterizing Land Use Cover Dynamics using Multitemporal Imagery. *International Journal of Remote Sensing*.

ALVES, D.S., MEIRA FILHO, L.G., D'ALGE, J.C.L., MELLO, E.K., MOREIRA, J.C., DE MEDEIROS, J.S., 1992, The Amazonia Information System. *ISPRS Archives, Commission VI*, **28**, 259-266

BATISTA, G.T., MEDEIROS, J.S., MELLO, E.M.K., MOREIRA, J.C., BINS, L.S., 1994, A New Approach for Deforestation Assessment. *Int. Symp. on Resource and Environmental Monitoring (ISPRS, Rio de Janeiro)*, Proceedings, **30**, Part 7a, 170-174

BINS, L.S., ERTHAL, G.J., FONSECA, L.M.G., 1992, Um método de Classificação Não Supervisionada por Regiões. *SIBGRAPI VI, Anais*, 65-68

BINS, L.S., FONSECA, L.M.G., ERTHAL, G.J., II, F., submetido, Satellite Image Segmentation: a region growing approach. VIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Salvador, Bahia, Abril de 1996

BRONDIZIO, E.S., MORAN, E.F., MAUSEL, P., and WU, Y., 1994, Land Use Change in Amazon Estuary:

Patterns of Caboclo Settlement and Landscape Management. *Human Ecology*, **22** (3), 249-27

BROWN, S., and LUGO, A., 1990, Tropical Secondary Forests. *Journal of Tropical Ecology*, **6**, 1-32

CÂMARA, G, DE SOUZA, R.C.M., FREITAS, U.M, CASANOVA, M.A., 1992. SPRING: Processamento de Imagens e de Dados Georeferenciados. *SIBGRAPI 92, Anais*, Águas de Lindóia, Novembro 1992, 233-242

CHOMENTOWSKI W., SALAS, W., and SKOLE, D., 1994 Landsat Pathfinder Project Advances Deforestation Mapping. *GIS World*, **7**, 34-38

INPE, 1992, Deforestation in Brazilian Amazon. Separata (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais: São José dos Campos)

LUCAS, R.M., M. HONZAK, G.M. FOODY, P.J. CURRAN, CORVES, C., 1993, Characterizing tropical secondary forests using multi-temporal Landsat sensor imagery. *I.J.R.S.*, **14**, 3061-3067

MARTINI, P.R., 1992, Panamazonia Project: An Executive Report. *Revista SELPER*. **8**, 26-30

RADAMBRASIL, Projeto, 1978, Folha SC.20 - Porto Velho, Levantamento de Recursos Naturais (DNPM: Rio de Janeiro)

SCHIMEL, D., ENTING, I.G., HEIMANN, M., WIGLEY, T.M.L., RAYNAUD, D., ALVES, D., SIEGENTHALER, U., 1995, CO₂ and The Carbon Cycle. In: *Climate Change 1994*, ed. J.T. Houghton, L.G. Meira Filho et al (Cambridge University Press: Cambridge, U.K.) 35-71

SKOLE, D.L. AND TUCKER, C.J., 1993, Tropical Deforestation and Habitat Fragmentation in the Amazon: Satellite Data from 1978 to 1988. *Science*, **260**, 1905-1910

SKOLE, D.L., CHOMENTOWSKI, W.H., SALAS, W.A., NOBRE, A.D., 1994, Physical and Human Dimensions of Deforestation in Amazonia. *Bioscience*, **44**, 314-322

TARDIN, A.T., LEE, D.C.L., SANTOS, R.J.R., ASSIS, O.R., BARBOSA, M.P.S., MOREIRA, M.L., PEREIRA, M.T., SILVA, D., SANTOS FILHO, C.P., 1980, Subprojeto desmatamento: convênio IBDF/CNPq - INPE. Relatório técnico INPE-1649-RPE/103 (São José dos Campos: Instituto de Pesquisas Espaciais)

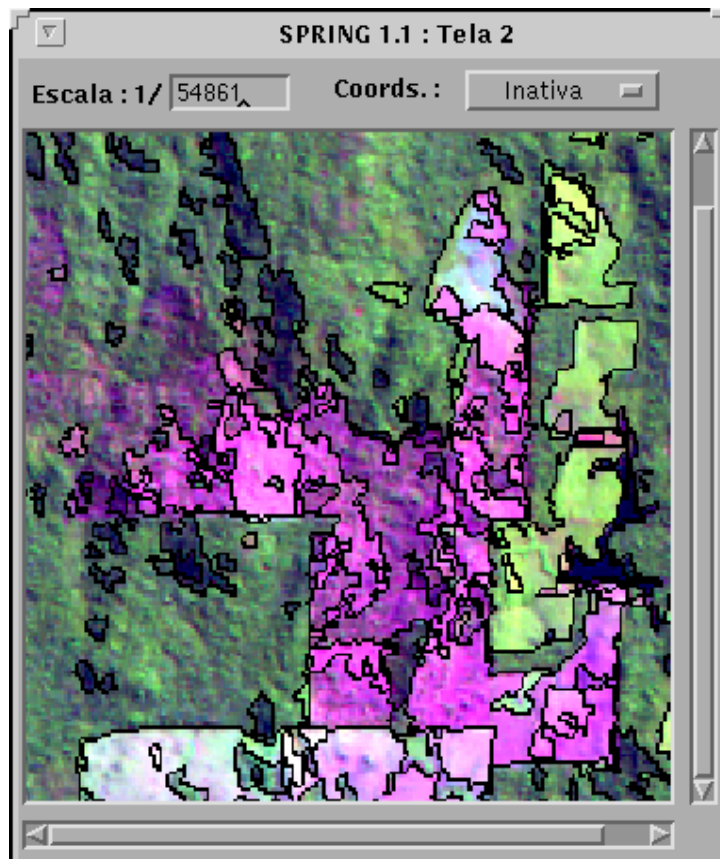


Figura 1 - Segmentação das Bandas TM 4 e 5

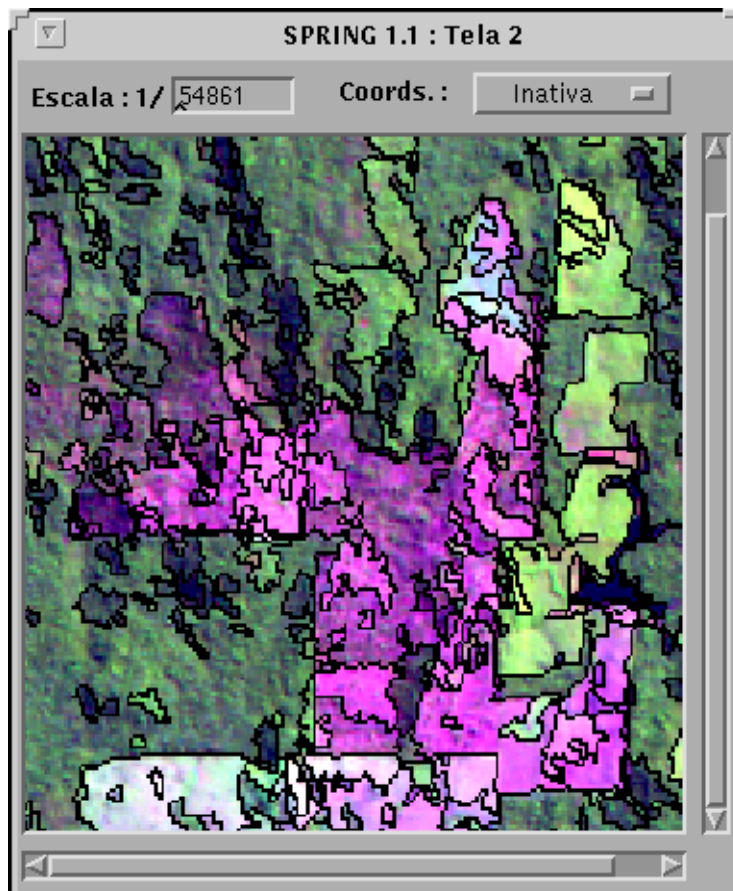


Figura 2 - Segmentação das bandas TM 4 e 5, com variâncias equalizadas

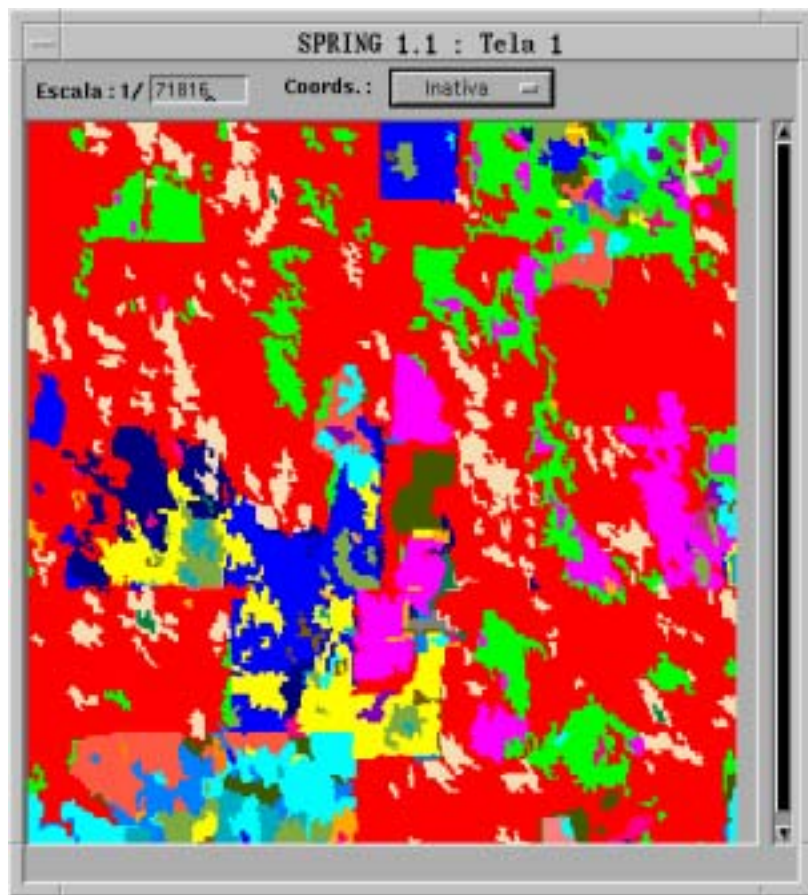


Figura 3 - Classificação *Isoseg* da imagem segmentada da figura 2

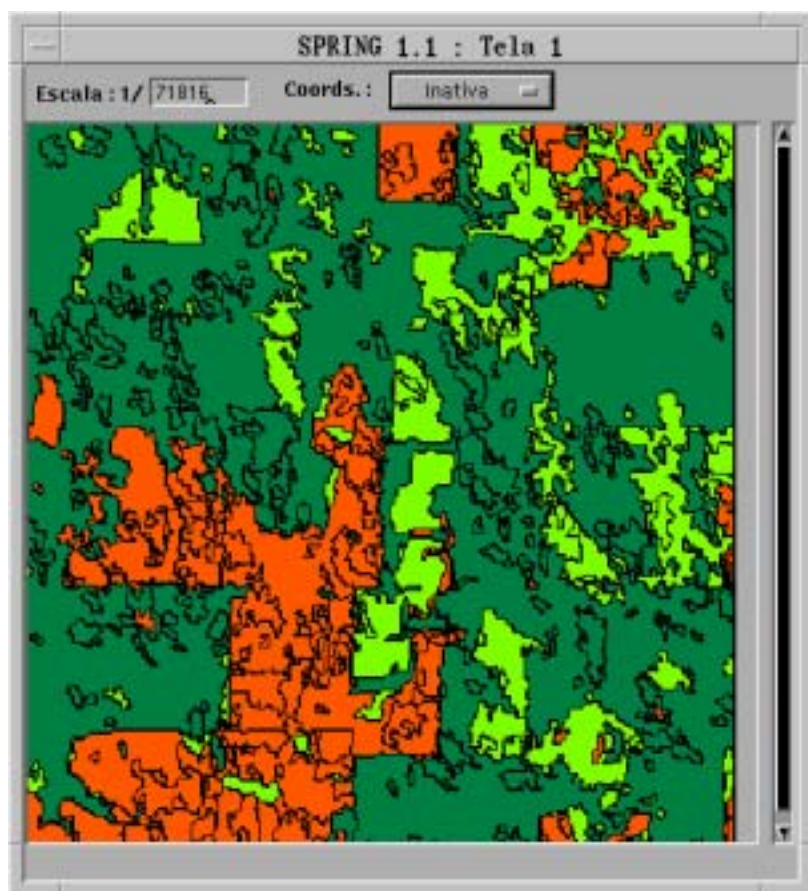


Figura 4 - Mapeamento da classificação da figura 3
(floresta=verde escuro; vegetação secundária=verde claro;desmatamento=vermelho)