



Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

Embrapa Cerrados

Ministério da Agricultura e do Abastecimento

**SEGMENTAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO
SUPERVISIONADA POR REGIÕES
NO USO E OCUPAÇÃO DA TERRA:
MICROBACIA DO CÓRREGO LAMARÃO, DF**

Lucimar Moreira
Eduardo Delgado Assad

ISSN 1518-0417

Boletim de pesquisa - Embrapa Cerrados	Planaltina	n. 16	p.1-27	agosto 2000
--	------------	-------	--------	-------------

Copyright © Embrapa – 2000
Embrapa Cerrados. Boletim da pesquisa, 16

Exemplares desta publicação podem ser solicitados a:

Embrapa Cerrados
BR 020, km 18, Rodovia Brasília/Fortaleza
Caixa Postal 08223
CEP 73301-970 – Planaltina, DF
Telefone (61) 388-9898 – Fax (61) 388-9879

Tiragem: 100 exemplares

Comitê de Publicações:

Ronaldo Pereira de Andrade (Presidente), Maria Alice Bianchi, Leide Rovênia Miranda de Andrade, Carlos Roberto Spehar, José Luiz Fernandes Zoby e Nilda Maria da Cunha Sette (Secretária-Executiva).

Coordenação editorial: Nilda Maria da Cunha Sette

Revisão gramatical: Maria Helena Gonçalves Teixeira

Normalização bibliográfica: Maria Alice Bianchi

Programação visual e diagramação: Jussara Flores de Oliveira

Capa: Chaile Cherne Soares Evangelista

Todos os direitos reservados.

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação do Copyright © (Lei nº 9.610).

M838s Moreira, Lucimar

Segmentação e classificação supervisionada por regiões no uso e ocupação da terra: microbacia do Córrego Lamarão, DF / Lucimar Moreira, Eduardo Delgado Assad - - Planaltina : Embrapa Cerrados, 2000.

27p. 1 CD ROM - (Boletim de pesquisa / Embrapa Cerrados, ISSN 1518-0417; n.16)

1. Uso da terra - Distrito Federal - Brasil. I. Assad, Eduardo Delgado. II. Título. III. Série.

631.47 - CDD 21

SUMÁRIO

☞ RESUMO	4
☞ ABSTRACT	4
☞ INTRODUÇÃO	4
☞ MATERIAL	5
☞ MÉTODOS	6
☞ Definição da legenda temática	6
☞ Pré- processamento	7
☞ Realce	8
☞ Segmentação de imagem	8
☞ Verificação do mapeamento automático	12
☞ RESULTADOS E DISCUSSÃO	14
☞ Registro de imagens	14
☞ Realce de imagens	14
☞ Segmentação de imagens	14
☞ Classificação supervisionada por regiões	18
☞ Exatidão do mapeamento	22
☞ Edição das imagens classificadas	22
☞ CONCLUSÃO	25
☞ REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	25

SEGMENTAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO SUPERVISIONADA POR REGIÕES NO USO E OCUPAÇÃO DA TERRA: MICROBACIA DO CÓRREGO LAMARÃO, DF

Lucimar Moreira¹; Eduardo Delgado Assad

RESUMO – Com a intensificação do uso dos recursos naturais na região dos Cerrados, particularmente, dos solos e dos recursos hídricos, ampliaram-se os riscos de degradação ambiental, sobretudo onde a capacidade de uso destes recursos não vem sendo respeitada. Este trabalho teve como objetivo principal, avaliar a técnica de segmentação juntamente com a classificação supervisionada por regiões para identificar o uso da terra. A área estudada foi a microbacia do córrego Lamarão (DF) e foram utilizadas imagens de satélite TM Landsat de 1987 e 1997. O método empregado diferenciou 11 classes temáticas e agrupou com detalhes as classes análogas de uso da terra. Vários testes de segmentação indicaram que, para os limiares de área e de similaridade o par 8/8 foi o que apresentou a melhor delimitação das classes temáticas.

Palavras-chave: imagens Landsat, segmentação, classificação, uso da terra.

SEGMENTATION AND SUPERVISED CLASSIFICATION PER REGIONS FOR LAND USE AND OCCUPATION MAPPING: LAMARÃO WATERSHED, DF

ABSTRACT – The long term exploration of the natural resources (particularly soil and water resources) in the Brazilian Cerrados region has provoked significant environmental degradation, especially where the agricultural capability is not considered. The goal of this study was to evaluate the potential of the segmentation technique and the supervised classification per region for land cover mapping. The study area corresponded to the Lamarão Watershed, DF. Two Landsat/TM color composites from 1987 and 1997 were analyzed. The segmentation technique differentiated land cover classes of the watershed with great detail. Several statistical tests showed that pair 8/8 as the thresholds of area and similarity presented the best land cover discrimination capability.

Key words: LANDSAT, segmentation, classification, land use.

INTRODUÇÃO

A agricultura depende diretamente dos recursos naturais disponíveis que explora. Entretanto, estudos têm mostrado que a durabilidade da agricultura depende da qualidade, da quantidade desses recursos naturais disponíveis e da intensidade do manejo. Para Cunha & Guerra (1996), nas áreas rurais, os principais problemas causados pelo uso da terra, sem considerar os limites e riscos impostos pela natureza, têm provocado o desenvolvimento de processos erosivos acelerados

¹ Geóg. M.Sc., Embrapa Cerrados. lucimar@cpac.embrapa.br

² Eng. Agríc. Dr., Embrapa Cerrados. assad@cpac.embrapa.br

em várias regiões do Brasil. Para os autores, o manejo inadequado do solo, tanto em áreas rurais como nas urbanas, é a principal causa da degradação. Dessa forma, ao se caracterizar processos físicos, como degradação ambiental, deve-se levar em consideração critérios sociais que relacionam a terra com seu uso ou pelo menos, com o potencial de diversos tipos de uso.

Segundo Valério Filho (1996), o conhecimento da exploração agrícola constitui subsídio relevante quando se pretende formular propostas de planejamento do uso sustentado das terras. Para que se possa estruturar e viabilizar o planejamento agrícola, tanto local como regional torna-se necessário dispor das informações referentes à dinâmica do uso e da cobertura da vegetação natural das terras, utilizando dados atuais e também históricos.

Esses dados podem ser obtidos de estudos feitos com imagens de satélites.

A interpretação de imagens de satélite tem sido aperfeiçoada em decorrência do desenvolvimento de novos algoritmos em que já é possível identificar melhorias nos procedimentos classificatórios. Geralmente, na análise de imagens de satélite, o processamento digital é feito pixel a pixel, utilizando seu atributo espectral. Outra opção é dividir a imagem em regiões e extrair os atributos espectrais, geométricos e contextuais e utilizá-los para posterior classificação dessas regiões (Johnsson et al., 1991). Com base nos princípios descritos, este trabalho teve como objetivo principal avaliar a técnica de segmentação por crescimento de regiões e classificação supervisionada, utilizando a distância de Bhattacharyya na avaliação do uso da terra da microbacia do Córrego Lamarão, Distrito Federal, aplicados às imagens do satélite Landsat TM.

MATERIAL

Imagens TM Landsat 5 órbita 221/71, referentes às datas 10/10/1987, 31/8/1996 e 30/5/1997.

Mapas planialtimétricos 1:25.000 do IBGE, folha Núcleo Rural do Capão Seco (1984), Rio Jardim (1984), Rio Samambaia (1985), Córrego São Bernardo (1985).

Mapas planialtimétricos 1:100.000 da Diretoria do Serviço Geográfico, folhas Brasília (1985), Formosa (1990), Luziânia (1988), Cachoeira do Queimado (1989).

Software SPRING/INPE. O SPRING (Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas) é um sistema para processamento que inclui banco de dados geográficos e permite adquirir, armazenar, combinar, analisar e recuperar informações codificadas nos formatos espacial e não espacial. Esse sistema combina funções de processamento de imagens, análise espacial e modelagem numérica do terreno em um único software.

MÉTODOS

Definição da legenda temática

Neste trabalho, o termo cobertura da vegetação natural significa a vegetação nativa primária ou secundária enquanto uso da terra refere-se às atividades antrópicas exercidas na área. Para a descrição da cobertura da vegetação natural, foram utilizadas as terminologias sugeridas por Ribeiro & Walter (1998) na qual os autores descreveram o bioma Cerrado.

Pastagem degradada – é o processo evolutivo de perda de vigor, de produtividade, de capacidade de recuperação natural das pastagens para sustentar os níveis de produção e de qualidade exigidos pelos animais, assim como, a de superar os efeitos nocivos de pragas, doenças e invasoras, culminando com a degradação avançada dos recursos naturais em razão de manejos inadequados (Macedo & Zimmer, 1993). As fases de degradação de pastagem segundo Spain & Gualdrón (1988) estão apresentadas na Tabela 1.

TABELA 1. Fases da degradação de pastagens segundo os parâmetros limitantes e seu nível de degradação.

Fases de degradação	Parâmetros limitantes	Deterioração
1	Vigor e qualidade	Leve
2	Fase 1 + baixa população	Moderado
3	Fase 1 + 2 + e invasoras	Forte
4	Fase 1 + 2 + 3 + formigas e cupins	Muito forte
5	Fase 1 + 2 + 3 + 4 e baixa cobertura do solo	Muito forte

Fonte: Adaptado de Spain & Gualdrón (1988).

De acordo com Santos et al. (1981), para a seleção das imagens, deve-se levar em consideração o grau de cobertura de nuvens e a época mais conveniente, devido à mudança espectral dos alvos. Os autores ressaltam que o período seco é o mais adequado para estudar as variações do uso da terra porque a cobertura vegetal apresenta-se com maiores variações espectrais na época em que muitas espécies sofrem estresse por causa da falta d'água. As imagens captadas do inverno, entre junho e setembro, seriam as mais recomendáveis.

Inicialmente, as imagens selecionadas referiam-se às datas de 10/10/1987 e 31/8/1996. Após as classificações iniciais e com as verificações de campo, observou-se que para a imagem de 1996 não seria possível separar agricultura anual de pastagem cultivada. Optou-se, então pela imagem de 30 de maio de 1997. Embora a imagem de 1996 não tivesse sido utilizada nos cruzamentos, foi útil para compreensão e comparação dos alvos identificados na imagem de 1997.

Após a seleção das imagens, iniciou-se a etapa de pré-processamento.

A Figura 1 apresenta o processo de segmentação da imagem.

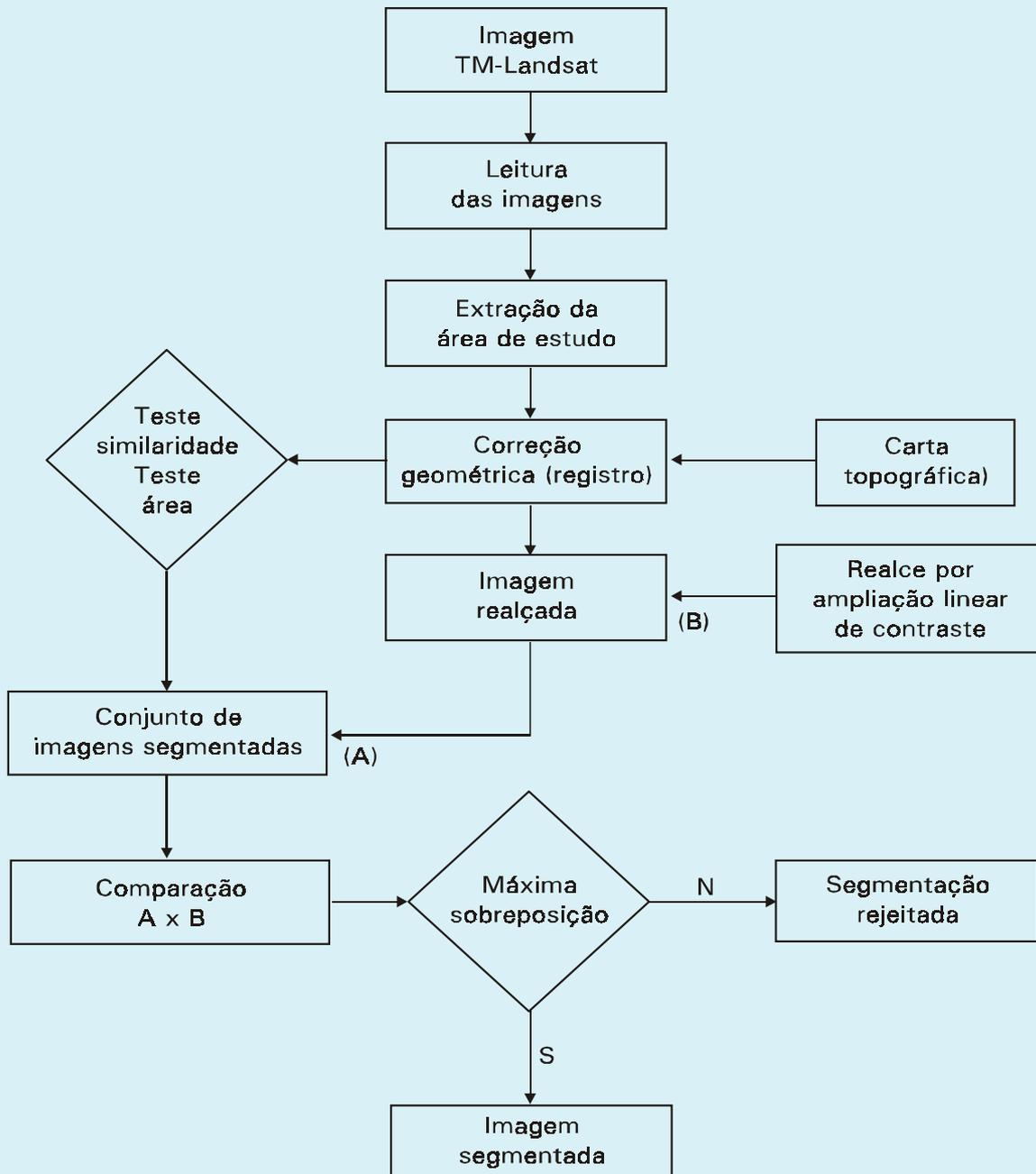


FIG. 1. Fluxograma do processo de segmentação de imagem.

Pré-processamento

Nessa etapa, desenvolveram-se atividades como: leituras de fitas streammer e de compact disc (CD) e o registro das imagens. A leitura das fitas foi realizada, utilizando o módulo IMPIMA do Software SPRING/ INPE. Selecionaram-se as bandas 1

a 5 e 7 e as imagens foram recortadas originalmente com a dimensão de 740 X 400 pixels, para incluir a área de estudo.

Neste trabalho, o processo de registro de imagens constituiu requisito essencial uma vez que para realizar a tabulação cruzada, as classificações digitais têm de estar perfeitamente superpostas assim como para a criação do projeto no SPRING, as imagens devem estar devidamente georreferenciadas. No registro imagem versus mapa, tem sido admitido o erro máximo correspondente a 0,2 mm da carta de referência. Assim, estando essa carta na escala 1:100.000, o erro máximo é de $0,0002 \times 100.000 = 20$ metros (Comastri,1977). Para a resolução do sensor do Landsat 5 TM, (30 metros) esse valor corresponde a 0,66 do *pixel*.

Para a elaboração desse procedimento, foram adquiridos, no SPRING, doze pontos de controle no mapa e seus correspondentes na imagem a ser registrada. Posteriormente, com base na qualidade dos pontos de controle, selecionaram-se os nove pontos mais precisos e definiu-se a equação de mapeamento dos pontos da imagem ao mapa de referência. O polinômio utilizado foi de primeiro grau que requer o mínimo de três pontos de controle. Mather (1987), recomenda de 6 a 9 pontos.

O SPRING adota a interpolação híbrida que consiste na combinação entre o vizinho mais próximo e o bilinear. O interpolador por vizinho mais próximo tem a vantagem de usar somente tons de cinza que já existiam na imagem original e é aplicado nas regiões mais homogêneas da imagem. Para as mais heterogêneas aplica-se o interpolador bilinear, produzindo imagem mais suavizada, acrescentando nela novos tons de cinza (Costa,1998).

Após o registro, as imagens foram importadas para um projeto previamente criado no SPRING, em seguida, foram recortadas para que tivessem a mesma área e forma do mapa de aptidão agrícola que posteriormente seriam cruzadas. Realizou-se o recorte por meio do aplicativo LEGAL (Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algébrico), utilizando como referência o plano de informação com o limite da bacia.

Realce

As imagens foram realçadas por meio da ampliação linear de contraste na composição 4(R) 5(G) 3(B) e impressas para serem analisadas visualmente e utilizadas como referência à identificação das áreas nos trabalhos de campo e como base para avaliação da qualidade da segmentação e classificação das imagens.

Segmentação de imagem

Uma técnica de segmentação de imagens incorporada ao sistema SPRING possui três funções principais: *segmentação, treinamento e classificação*.

A execução do processo de segmentação de imagens exige a definição das bandas espectrais e dos limiares de similaridade e de área. Esses parâmetros são responsáveis pela qualidade da segmentação que servirá de base para a classificação temática posterior. Foram definidas as bandas espectrais 1 a 5 e 7 do Landsat TM 5, visando à obtenção do maior número possível de dados, utilizando todas as bandas espectrais disponíveis.

Foram executadas 35 segmentações-teste, usando cinco pares diferentes de limiar de similaridade (6 a 14) e sete pares do tamanho de área (6 a 18 pixel) com a finalidade de selecionar o mais adequado. Esse procedimento foi adotado visando a estabelecer os melhores valores para a área de estudo que é predominantemente agrícola, com tamanho variado das propriedades e diversos sistemas de produção.

Ressalta-se que a definição dos limiares de similaridade e da área está relacionada à complexidade das classes temáticas e das resoluções das imagens espacial e espectral. Cada mudança realizada nos valores de similaridade implica variações do esforço computacional para o processamento, pois o grau de similaridade é determinado por um parâmetro de tolerância t , representado pela distância euclidiana entre os vetores associados a cada segmento.

Os critérios de aceitação e de rejeição dos limiares foram analisados em decorrência da separação coerente dos tons de cinza visualmente distintos. Conforme Nascimento (1997), é importante evitar o excesso de regiões, uma vez que poderá ocorrer grande número de classes no processo de classificação de regiões, dificultando a rotulação dessas classes. Ressalta-se, no entanto, que é necessário ter cuidado ao evitar-se o excesso de regiões, pois classes vizinhas distintas podem ser englobadas erroneamente.

Como exemplo de trabalhos elaborados, utilizando limiares diferentes, citam-se Batista et al. (1994) que entregaram os valores de 8 e 10 para os limiares de similaridade e 4 e 9 para os de área para estimar a extensão do desflorestamento.

Na avaliação do desempenho das redes neurais para o monitoramento do desflorestamento, Machado et al. (1994) usaram o valor 10, tanto para o limiar de similaridade como para o de área. Esses valores foram empregados também por Santos et al. (1995), com o objetivo de apresentar os passos metodológicos do uso combinado da segmentação e da classificação por redes neurais.

Para o estudo temporal da cobertura vegetal e uso da terra, Watrin (1994) utilizou os limiares de similaridade 8 e 10 e o limiar 10 de área, e Almeida et al. (1996) utilizaram os limiares de 8 e 10 para mapear a cobertura da terra em Ariquemes (RO).

Saiz & Valério Filho (1995) aplicaram a técnica de transformação IHS e segmentação para caracterizar o uso da terra e a cobertura vegetal na Região de Tandil, Província de Buenos Aires, Argentina. Os valores de similaridade e de área usados foram de 8 e 10, respectivamente.

Nascimento (1997) realizou vários testes de segmentação para mapear unidades de paisagem na Amazônia e o melhor resultado foi obtido com os valores de 12 para similaridade e 10 para o valor de área.

A avaliação do processo de segmentação foi feita por comparação visual entre a imagem segmentada e a imagem interpretada de referência e pela sobreposição da imagem realçada. Essa metodologia foi adotada, pois de acordo com Cross et al. (1988) e Gonzales & Woods (1992) essa é uma forma qualitativa, mas eficiente para avaliar a segmentação.

Visando a facilitar essa avaliação, Nascimento (1997) utilizou os seguintes critérios para aceitação ou rejeição dos limiares:

- a) Separação das regiões, visualmente, coerentes em relação aos tons de cinza distintos; e
- b) Rejeição de limiares com tendência para gerar um número excessivo de novos segmentos nas regiões relativamente homogêneas. Esses cuidados foram necessários para evitar a redução ou o excesso de segmentos.

Após a avaliação das imagens segmentadas, e, definido o par de limiares (similaridade e área) mais adequado, fez-se a classificação dessa imagem que requer do analista a especificação do limiar de aceitação para a separação ou o agrupamento de classes distintas.

A principal vantagem em trabalhar com classificação por regiões é que essa técnica fornece informações de natureza espacial que não podem ser extraídas individualmente de pixels e que são, normalmente, consideradas durante o processo de análise visual de imagens.

Treinamento - o uso da região como elemento básico de análise permite extrair um conjunto rico de atributos. No entanto, a não uniformidade desses atributos exige algoritmos de discriminação que permitem combinar diferentes tipos de atributos. Nesse sistema, usa-se a classificação determinística em que os atributos são examinados seqüencialmente e os valores dos atributos para as regiões são comparados com limiares escolhidos a partir das amostras de treinamento. O encadeamento dessas comparações forma a "árvore de decisão" (Erthal et al., 1981).

O treinamento consiste em dois passos:

- a) identificação de classes e rotulação de amostras;
- b) construção da árvore de decisão.

O primeiro passo baseia-se na identificação das classes de interesse existentes na imagem segmentada e na seleção de um conjunto representativo de amostras para cada classe. Para tanto, existem operações para adicionar e para suprimir classes e amostras. A partir das amostras e de informações prestadas pelo usuário é construída a árvore de decisão que serve para guiar o processo de classificação de cada região da imagem segmentada. Nessa árvore, a informação associada aos nós-folha é constituída de um conjunto de classes e, no caso dos nós não folha, de um atributo e um valor chamado limiar, com valores dentro do intervalo de variação do atributo. A construção da árvore de decisão envolve, basicamente, a seleção de atributos e a escolha dos limiares.

A Figura 2 apresenta o procedimento para a classificação da imagem.

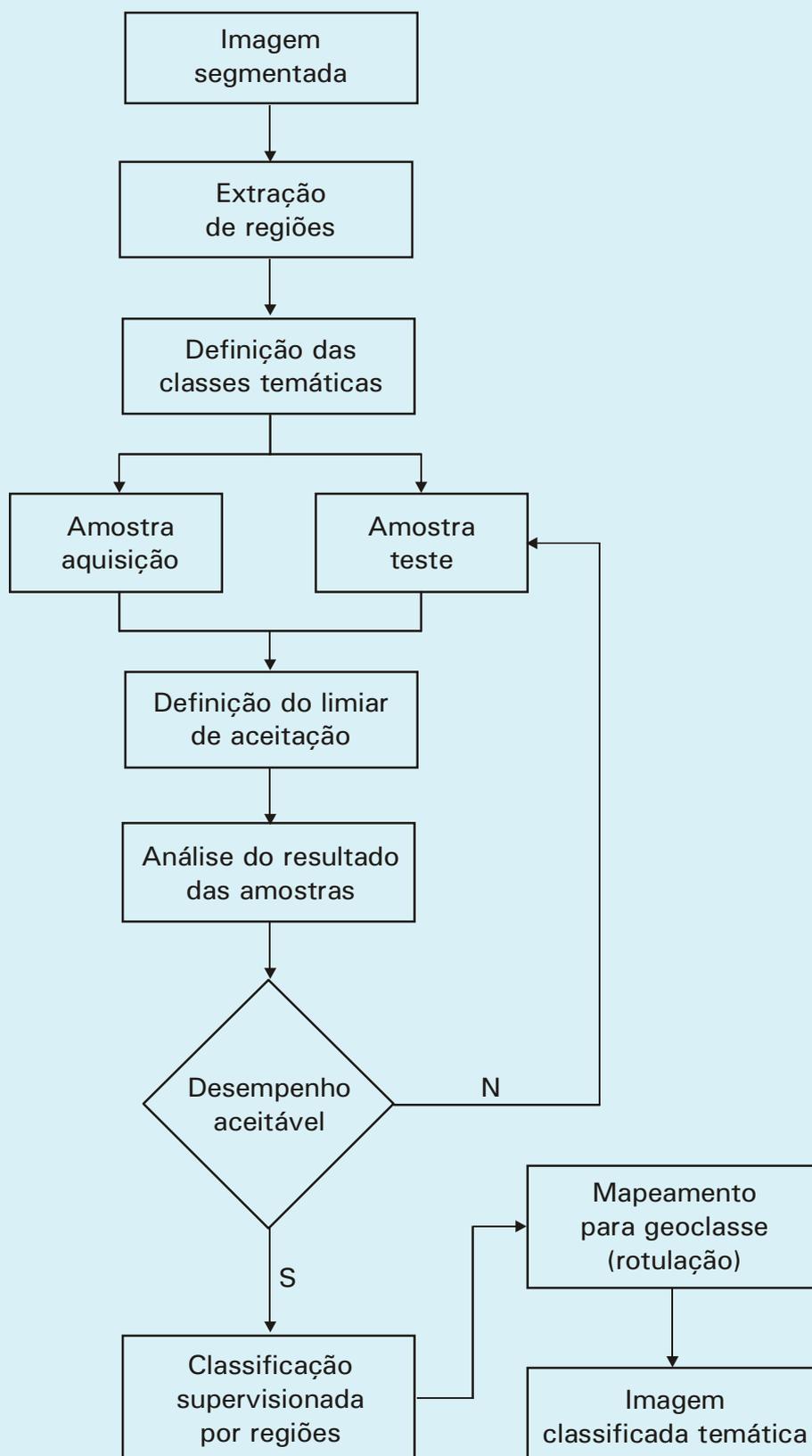


FIG. 2. Fluxograma do processo de classificação supervisionada por regiões.

Classificação - a classificação é a operação de identificação das regiões, realizada com base na descrição simbólica da imagem e da árvore de decisão. Inicialmente, a raiz da árvore é visitada e são lidos o nome do atributo e o valor do limiar. O valor do mesmo atributo da região é comparado ao limiar: se for menor ou igual, o próximo nó a ser visitado é o descendente esquerdo; caso contrário é o direito. O procedimento é repetido até que seja encontrado um nó-folha, então, as classes do nó são tomadas como o resultado da classificação da região. Esse processo é mais rápido se comparado aos métodos convencionais de classificação pixel a pixel.

O resultado de uma classificação pode ser visualizado na forma de imagem. O sistema associará uma cor a cada classe e apresentará todas as regiões da mesma classe com a mesma cor. Para fins de visualização, uma região com vários rótulos é tratada como uma classe diferente.

Com o resultado da segmentação, iniciou-se o procedimento da classificação, que consiste nas seguintes etapas:

Classificação da imagem – Nesta etapa foram utilizadas as mesmas bandas espectrais adotadas na fase anterior para a geração dos atributos estatísticos que armazenam informações espectrais e espaciais de cada região identificada nas imagens segmentadas.

Como amostras de treinamento, foram obtidas regiões geradas da segmentação das imagens. O fornecimento de amostras das classes temáticas procurou envolver as mais variadas formas de ocorrência de cada uma delas.

As amostras utilizadas pelo sistema para o cálculo dos parâmetros característicos de cada classe, posteriormente, utilizados na classificação integral da imagem são as definidas por aquisição, ficando as amostras de teste apenas para controle do usuário.

A imagem referente ao ano de 1997 foi dividida em 8 subclasses para evitar erros na classificação, dada a heterogeneidade da classe agricultura. Posteriormente, na etapa de rotulação, essas subclasses foram reagrupadas. Para obtenção das amostras de treinamento, utilizou-se a composição colorida com as bandas TM originais realçadas (4R, 5G, 3B) na qual foram sobrepostos os vetores das regiões gerados da segmentação.

Após adquirir amostras para todas as classes, as imagens foram classificadas, utilizando a distância de Bhattacharyya, como critério de decisão estatística e com limiar de aceitação de 90%. Procedeu-se à análise das amostras e, nessa etapa, há possibilidade de alterar ou suprimir amostras que não sejam satisfatórias.

Em seguida, inicia-se o processo de classificação que resulta em uma imagem classificada e após, faz-se o mapeamento, (rotulação) que é uma associação das classes geradas do classificador, com as classes definidas pelo usuário no esquema conceitual do SPRING. Essa etapa no SPRING, é denominada de mapeamento por geoclasse. O resultado é uma imagem segmentada temática.

Verificação do mapeamento automático

Para validação do mapeamento, realizado por meio de técnicas de segmentação e classificação supervisionada de regiões, procurou-se estabelecer o nível de confiabilidade desse produto.

Neste trabalho, foi utilizado o método de amostragem estratificada aleatória. Genderen & Lock (1977) indicam esse método como apropriado para a execução de estudos de precisão de mapeamentos.

A estratificação dos resultados da classificação foi feita usando-se a separação dos polígonos de acordo com a classe a que eles pertenciam. Para cada classe temática, foram selecionados aleatoriamente, polígonos para serem verificados no campo. Essa amostragem foi realizada para o resultado da classificação referente ao ano de 1997.

A Figura 3 mostra o fluxograma para a edição das imagens.

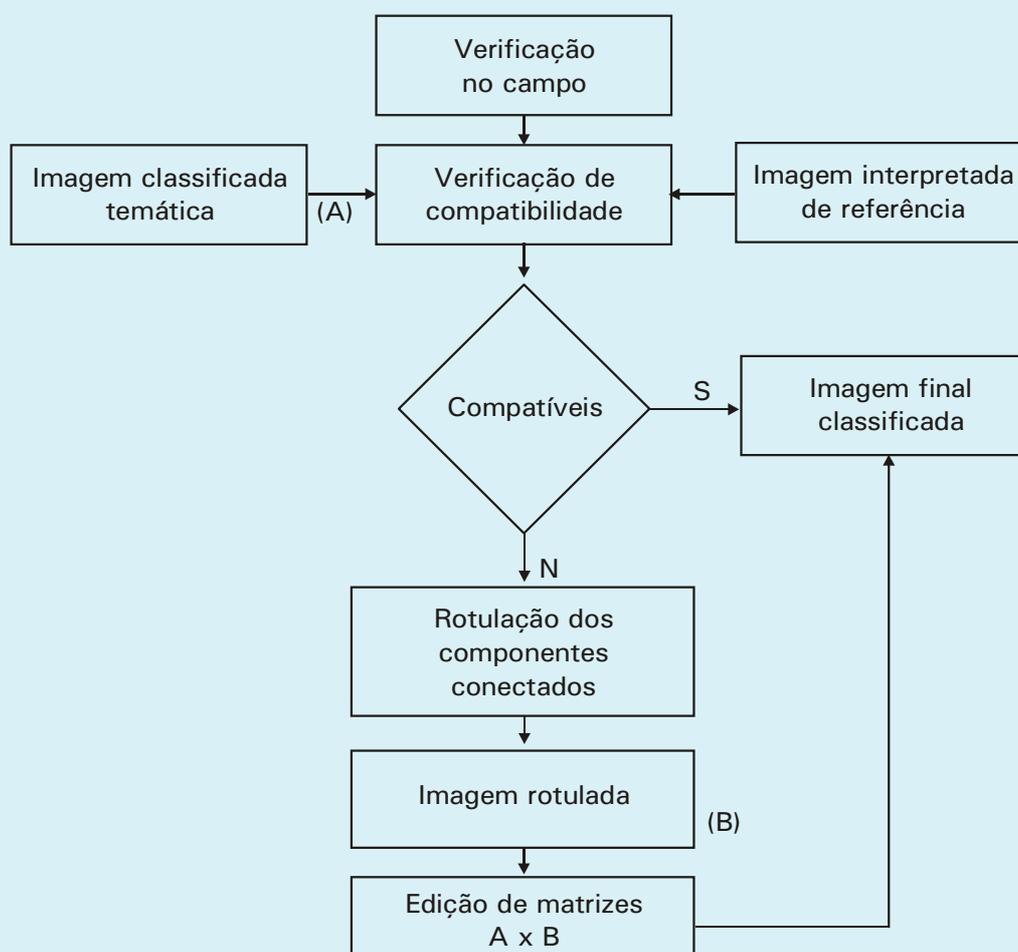


FIG. 3. Fluxograma da edição das imagens classificadas.

A edição matricial de um mapa é necessária quando se quer melhorar seu aspecto, limpando-o ou quando se quer fazer correções e atualizações. O SPRING permite que edição matricial sobre um mapa possa ser feita, utilizando-se de um mapa vetorial como referência. Esse mapa é criado a partir de rotinas de segmentação dinâmica, de maneira que os limites entre os temas no mapa matricial fiquem definidos. Assim, as cores de um tema podem ser recuperadas após a primeira alteração (INPE, 1998).

Para fazer a edição é preciso criar uma imagem segmentada (ou rotulada) a partir de uma imagem classificada ou temática. Essa operação é chamada no SPRING de Rotulação de Componentes Conectados.

Com o resultado da imagem rotulada e a imagem classificada temática, faz-se a edição das regiões classificadas erroneamente e tem-se o mapa temático final.

A avaliação das classificações foi realizada pelo confronto entre o resultado das classificações e o mapa de referência interpretado .

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Registro de imagens

Este procedimento associou as coordenadas das imagens (linha e coluna) com as coordenadas geográficas (latitude e longitude), obtidas de mapas topográficos da área. O erro de posicionamento foi de 0,3 a 0,6 pixel, para 1987 e 1997, respectivamente. Esses índices ficaram nos limites de precisão cartográfica recomendados por Comastri (1977).

Realce de imagens

As imagens foram realçadas pela ampliação linear de contraste e a composição colorida que melhor separou os alvos foi formada pela banda 3 no azul, a banda 4 no vermelho e a banda 5 no verde.

Segmentação de imagens

O segmentador diferenciou com muito detalhe classes análogas de uso. Isso ocorreu porque esse segmentador é baseado na diferenciação de níveis radiométricos. Sendo assim, qualquer diferença que ocorre em um mesmo tipo de uso origina classes diferentes.

Os limiares muito baixos geraram vários segmentos pequenos no interior de classes espectrais maiores e bem definidas, ou seja: a mesma classe temática com pequena variância apresentou-se excessivamente dividida. Esse efeito tornou as segmentações exageradas e visualmente confusas (Figura 4). Os limiares muito altos englobaram classes espectrais diferentes, isto é: duas classes temáticas distintas foram consideradas como uma única região (Figura 5). Esse efeito propiciou a perda total ou parcial de algumas regiões. O excesso ou a omissão de regiões fizeram com que as classes temáticas perdessem suas formas em relação às originais.

Após a realização de testes com vários limiares, tanto de área, quanto de similaridade, o par com valor 8 para o limiar de similaridade e 8 para o valor de área, foi o que apresentou a melhor delimitação das classes temáticas (Figura 6). A utilização do limiar de área de 8 pixels resultou em regiões com no mínimo 7200 m².

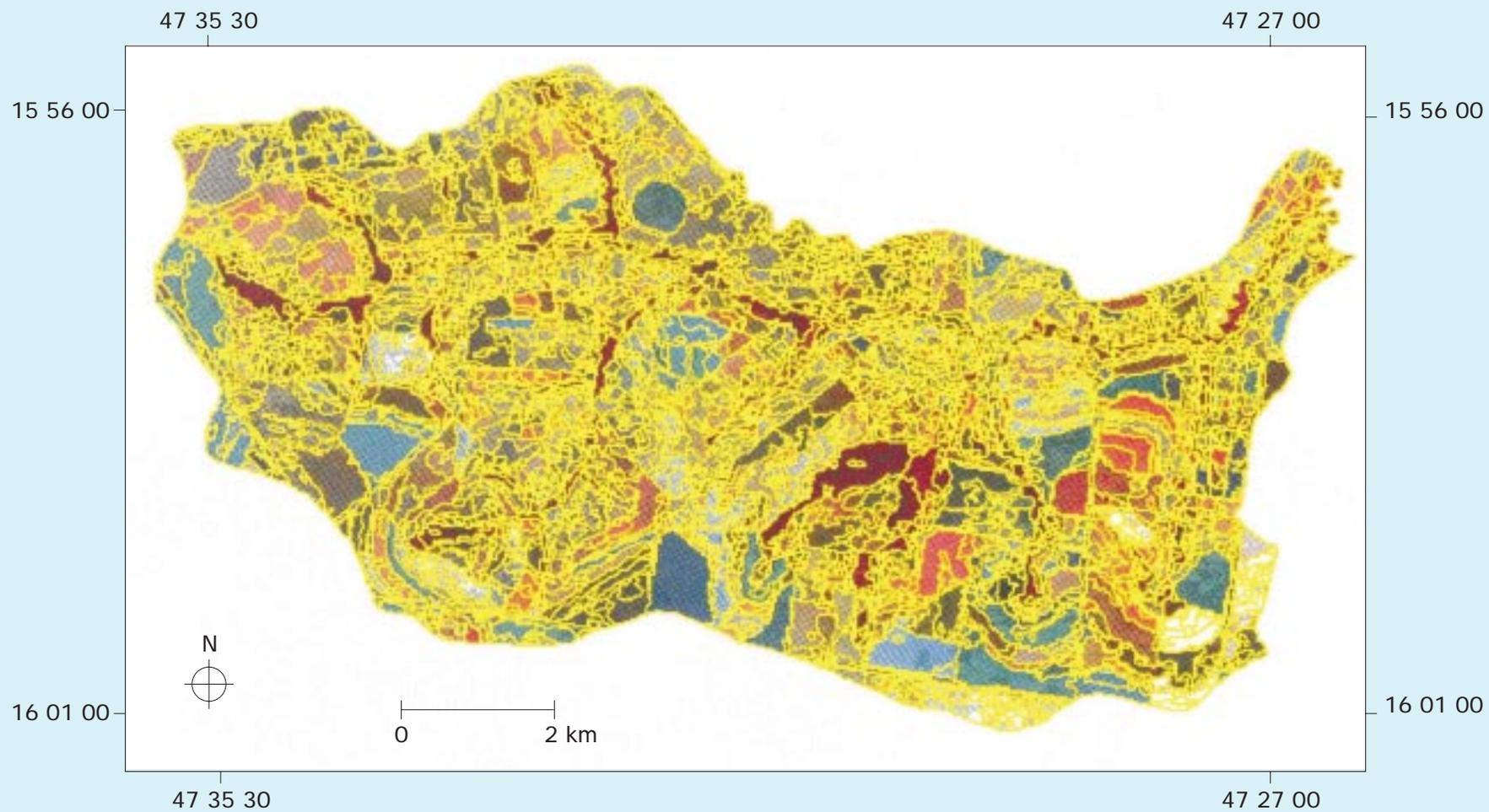


FIG. 4. Imagem segmentada 6/6 (30/05/97) da Microbacia do Córrego Lamarão-DF.

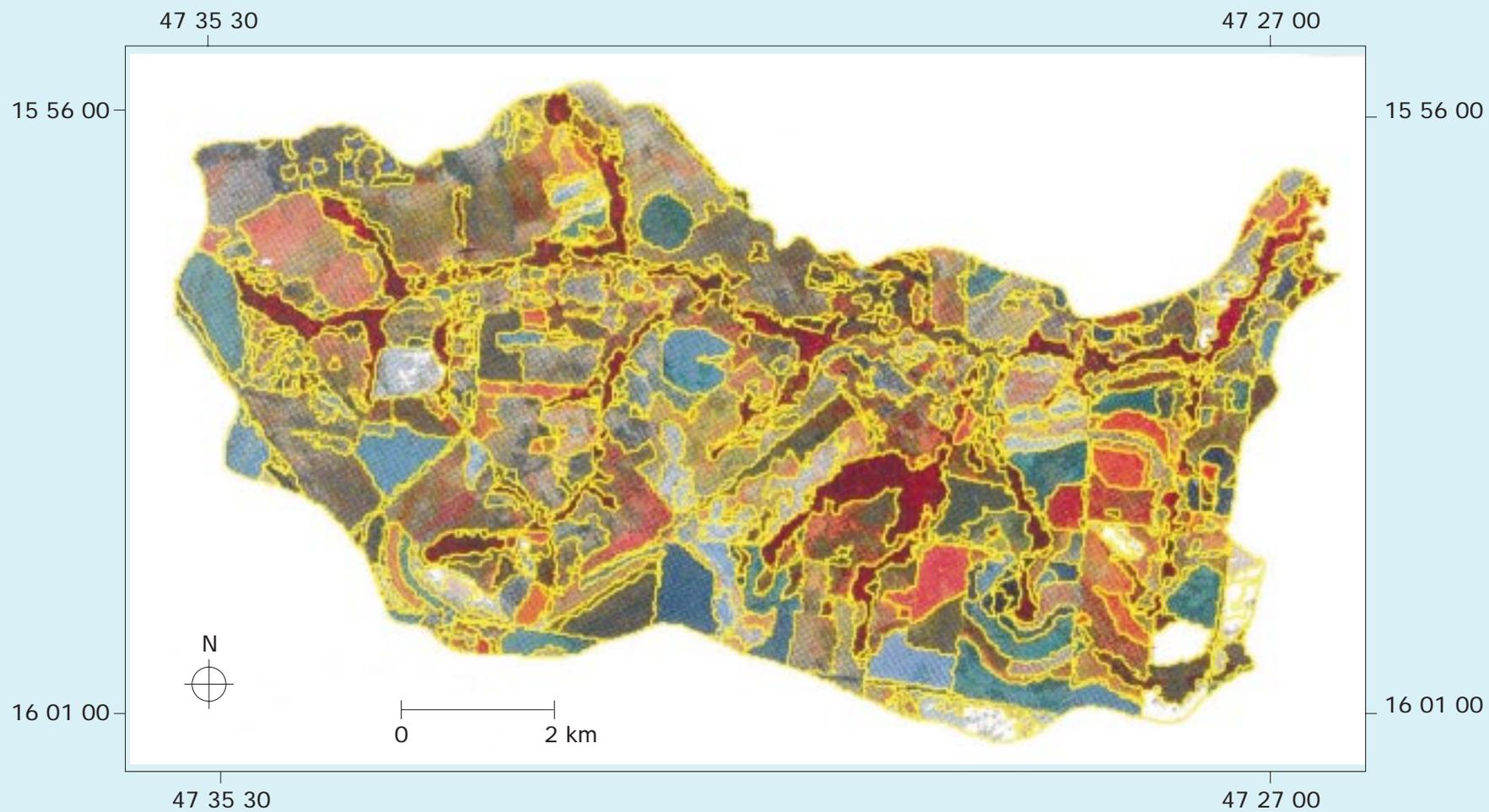


FIG. 5. Imagem segmentada 14/08 (30/05/97) da Microbacia do Córrego Lamarão-DF.

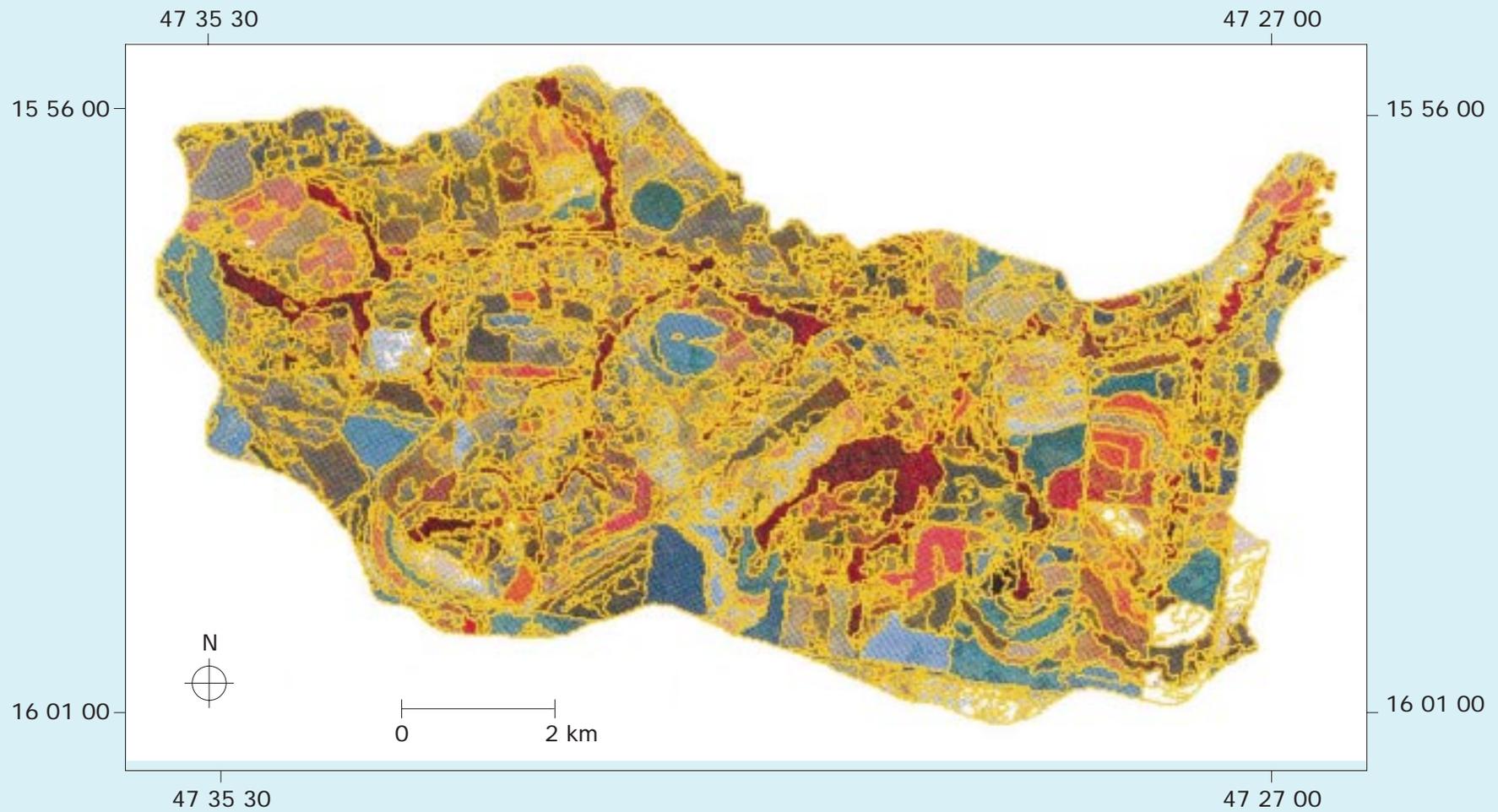


FIG. 6. Imagem segmentada 8/8 (30/05/97) da Microbacia do Córrego Lamarão-DF.

Classificação supervisionada por regiões

Para a classificação da imagem segmentada, foram selecionadas algumas áreas de treinamento para cada classe e fornecidas ao classificador para caracterização individual das classes temáticas (Figura 7). Antes de executar a classificação, as amostras selecionadas foram analisadas com objetivo de verificar o comportamento do conjunto das amostras fornecidas para cada classe temática.

Essa análise envolveu a aquisição de polígonos para a caracterização de cada classe e polígonos das amostras adquiridas. Quando uma classe é devidamente caracterizada, as amostras de teste apresentam coerência de 100% com a classe testada. O SPRING mostra o resultado da análise das amostras indicando, em qual classe o polígono testado se encaixa melhor. No caso da análise feita neste estudo, apenas as amostras de teste da classe Cerrado não obtiveram 100% de coerência. Para essa categoria, as amostras testadas distribuíram-se entre as classes agricultura e pastagem.

No final da classificação, algumas regiões vizinhas, identificadas e separadas no processo de segmentação, juntaram-se em uma única classe temática, formando um só polígono, reduzindo o número total de polígonos gerados quando comparado ao número de regiões existentes originalmente (Figura 8).

Após a classificação, a imagem de 1987, inicialmente fragmentada em 2079 regiões, apresentou o total de 784 polígonos e para a imagem de 1997, das 1929 regiões segmentadas, resultaram em 877 polígonos. Essa redução é explicada pela heterogeneidade interna das unidades mapeadas, provocando a separação de regiões pertencentes a uma classe temática, fundidas posteriormente durante o processo de classificação.

O classificador utilizado (Bhattacharyya) não considera a estatística das amostras de determinada classe em conjunto. A classe é vista como um conjunto de distribuições definidas individualmente pelas amostras fornecidas para a classe. Com isso, uma classe pode ter mais de uma nuvem, representando a distribuição de suas amostras, ao invés de possuir uma única com grande dispersão.

Algumas classes definidas neste trabalho foram bem mapeadas em razão dessa característica do classificador, senão a heterogeneidade interna dos polígonos acabaria tornando os cálculos estatísticos das suas amostras pouco precisos.

Em 1987, a agricultura anual ocupava praticamente a metade da microbacia (49,5%), seguido pelas pastagens cultivadas (29,3%). A agricultura irrigada ainda não era significativa, havia apenas um pivô-central próximo ao Córrego Pindaibal e uma área irrigada por aspersão, localizada nas margens do Córrego Açude, totalizando 0,7%.

A mudança mais significativa observada em 1997 foi o aumento das áreas irrigadas por pivô-central (5,9%). As áreas com agricultura anual de sequeiro foram reduzidas para 45,6%.

As áreas com pastagem cultivada em bom estado de manejo, nível de degradação 1 reduziram para 10,9%, demonstrando que do total plantado, a maior parte, encontrava-se degradada. No nível 2, verificou-se 2,3%; na área degradada 3, 2,4%. O nível de degradação 4 foi o que totalizou a maior área com 13,0% e o nível 5, com 4,4%.

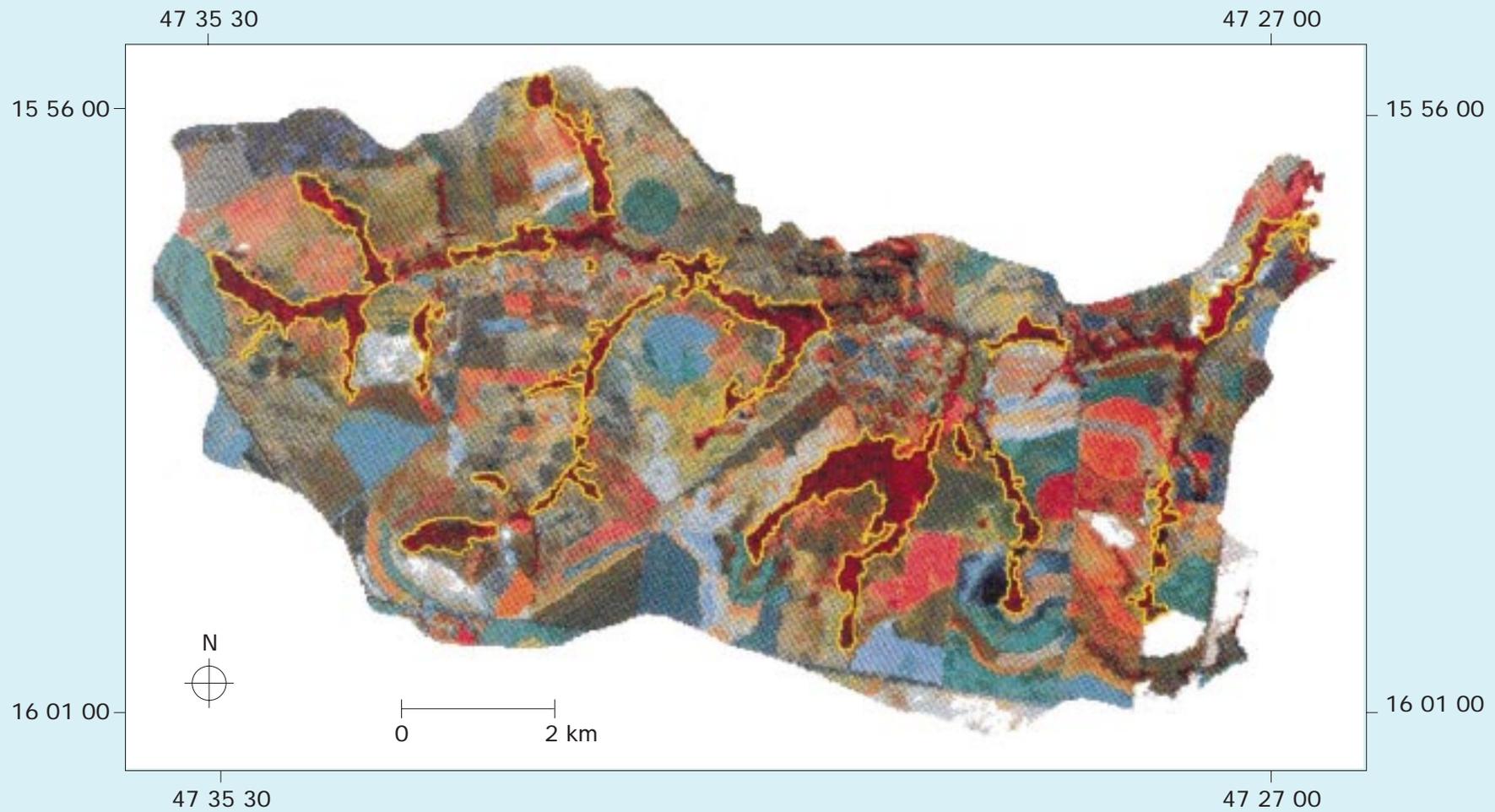


FIG. 7. Regiões utilizadas como treinamento para a classificação de Mata de Galeria (1997).

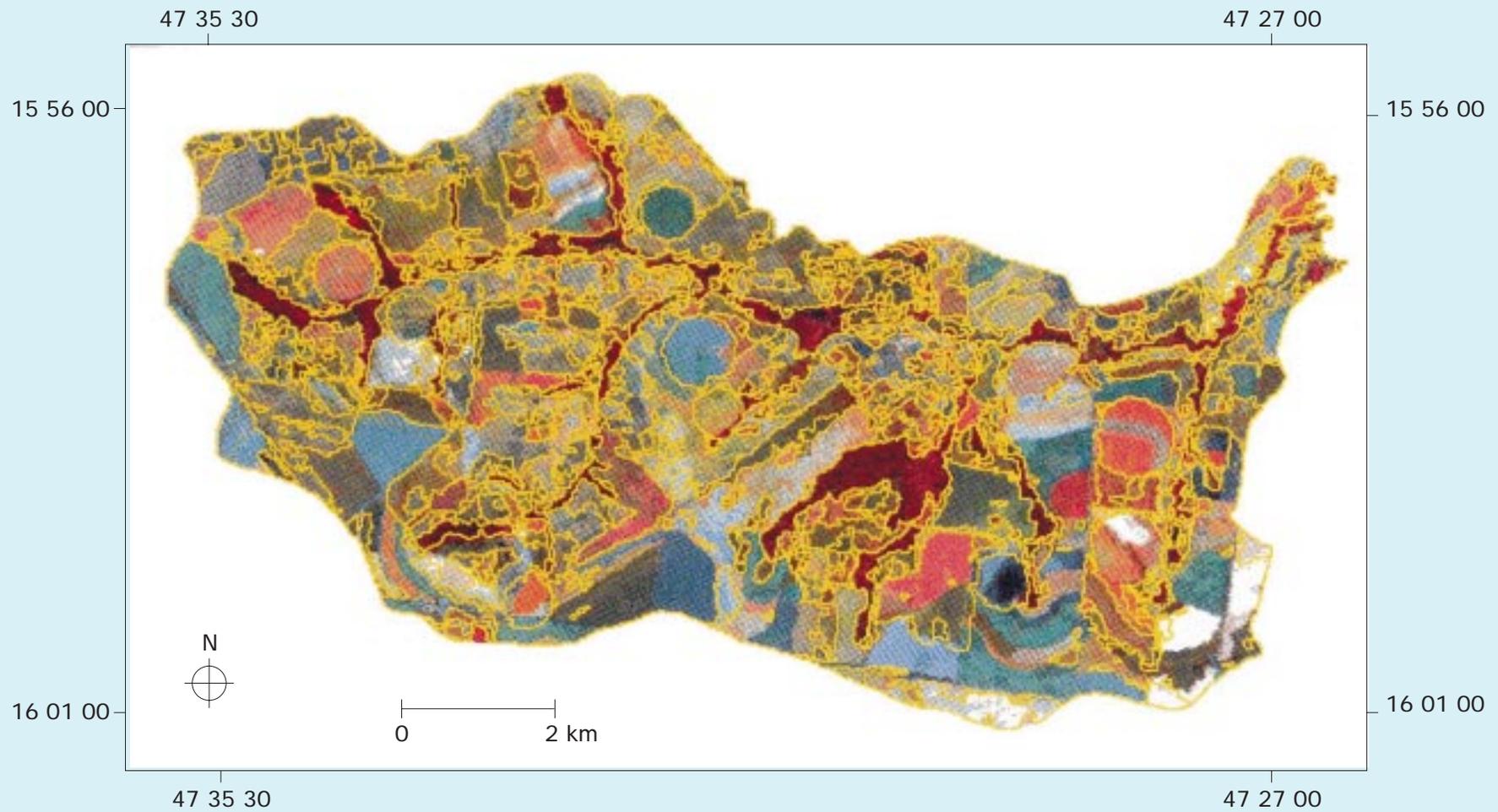


FIG. 8. Imagem rotulada (30/05/97) da Microbacia do Córrego Lamarão-DF.

Das áreas do Cerrado restavam apenas 0,9% e em estado de degradação. As áreas com solo exposto tiveram pequena diminuição para 3,0%. As áreas com reservatórios d'água aumentaram para 0,1%, localizando-se nos Córregos Poço Claro, Barreiro do Meio e Derradeiro Poço. As áreas de Mata de Galeria e de Cerradão aumentaram para 10,6% e 0,04%, respectivamente. Esse aumento pode ser explicado pela data da imagem (maio) onde a vegetação próxima a essas áreas, ainda encontravam-se verdes, sendo então englobadas por essas classes. Observou-se também, que as áreas de Mata Seca, nesse período encontravam-se verdes, sendo então classificadas como Mata de Galeria. As áreas de campo não foram observadas, provavelmente foram classificadas como Mata. As áreas anteriormente classificadas como desmatadas foram abandonadas, transformando-se em vegetação secundária.

Na maioria dos trabalhos em que se utilizam os sensores remotos ou imagens de satélite para identificar o uso da terra, a classe pastagem, normalmente, tem duas categorias: pastagem plantada e pastagem nativa.

Um dos principais problemas ambientais na região do Cerrado brasileiro é de identificar o estágio de degradação das pastagens. Estima-se que o Cerrado tenha 40 milhões de hectares com pastagens nos mais diversos níveis de degradação.

A interpretação das imagens identificou diferentes fases de degradação. A taxa de cobertura do solo, associada a outros componentes bióticos como revegetação por espécies nativas e exóticas e termiteiros constitui indicador do processo de perda da capacidade produtiva das pastagens. O parâmetro cobertura vegetal representa um dos elementos de discriminação da fase de degradação das pastagens, conforme Spain & Gualdrón (1988) e Barcellos et al. (1997).

A falta de cobertura do solo pode ser um dos fatores de efeitos mais graves no tocante ao impacto ambiental. As perdas de solos e nutrientes, associadas à menor cobertura do solo, condiciona o assoreamento dos mananciais e cursos d'água e certamente descredenciam as pastagens degradadas a desempenhar seu papel captador de carbono.

Segundo Dedecek et al. (1986), em ambiente de Cerrado, os solos descobertos podem perder até 59 toneladas de solo/ha/ano, enquanto as pastagens, quando bem formadas, representam o sistema de maior proteção aos riscos de erosão.

Com base nos resultados alcançados, alguns comentários podem ser feitos:

O processo de ocupação e do uso da terra foi realizado sem a observação da aptidão agrícola das terras. Somente 37,6% da classe utilizada com agricultura anual está corretamente utilizada.

O melhor ajuste entre o uso atual e a aptidão agrícola das terras foi observado na classe agricultura irrigada. Os 71,5% de adequação de uso podem ser creditados à proximidade das fontes de água, das terras com esta classe de uso.

A pastagem foi dividida em cinco classes, realçando as fases de degradação.

No caso da agricultura irrigada, já foi discutido, anteriormente, que o uso da água exagerado ou inadequado tem provocado conflitos.

Em 1997, na microbacia, encontravam-se instalados onze pivôs-centrais, sendo que um deles localizava-se parcialmente na área da microbacia. Desse total, seis estavam sendo usados na irrigação da cultura do feijão, um em pastagem, um na

cultura da batata e os outros dois, com milho verde e trigo. Parte do último pivô estava sendo utilizado para irrigar hortaliças. A Tabela 2 apresenta a ordem dos cursos d'água e o número de pivôs-centrais instalado.

TABELA 2. Ordem do curso d'água, número de pivôs e área irrigada.

Ordem do curso d'água	Número de pivôs	Área irrigada (ha)
1 ^a	7	305
2 ^a	4	280
3 ^a	-	-

Observa-se, pela Tabela 2 apresentada, que a maior parte dos pivôs está localizada nos cursos d'água de primeira ordem; dois desses, nas nascentes.

Ressalta-se que o plantio direto já é feito na maior parte da área irrigada por pivôs. Esse sistema, por causa da preservação da matéria orgânica (maior retenção de água) e da manutenção da cobertura morta nos solos (redução da evaporação), tem permitido aos produtores alguma economia de água e conseqüentemente de energia (Dolabella, 1996).

Na microbacia do Córrego Lamarão, onde a densidade de pivôs é bastante alta tem ocorrido conflitos entre os pequenos e grandes irrigantes pelo uso dos recursos hídricos. Para exemplificar, com a recente instalação de um pivô-central na cabeceira do Córrego Lamarão, pequenos produtores da colônia agrícola do Capão Seco que eram atendidos por um canal coletivo cuja derivação fica a jusante de bombeamento do pivô viram-se privados desse bem de produção.

Exatidão do mapeamento

A avaliação da exatidão do mapeamento foi realizada para a imagem de 1997, devido à existência de dados de campo. Em relação à imagem de 1987, o resultado da foi verificado pelos técnicos da EMATER-PAD-DF que consideraram as classificações satisfatórias.

A Figura 9 apresenta a imagem temática de 1997 classificada.

Edição das imagens classificadas

Como o resultado da classificação foi satisfatório, fez-se a edição de alguns polígonos onde foram observadas incorreções. Embora a classe de agricultura irrigada tenha sido classificada corretamente, empregou-se o recurso da edição para que as áreas de pivô-central existentes pudessem constar do mapeamento final. Esse procedimento foi necessário, pois, na data da classificação, (30/5/1997), a maioria das culturas irrigadas pelo sistema pivôs-central, tinha sido colhida, sendo incluída na categoria agricultura anual. Para realização da edição dos pivôs-centrais, utilizou-se a imagem de agosto de 1996.

A Figura 10 apresenta a imagem temática classificada de 1997 editada.

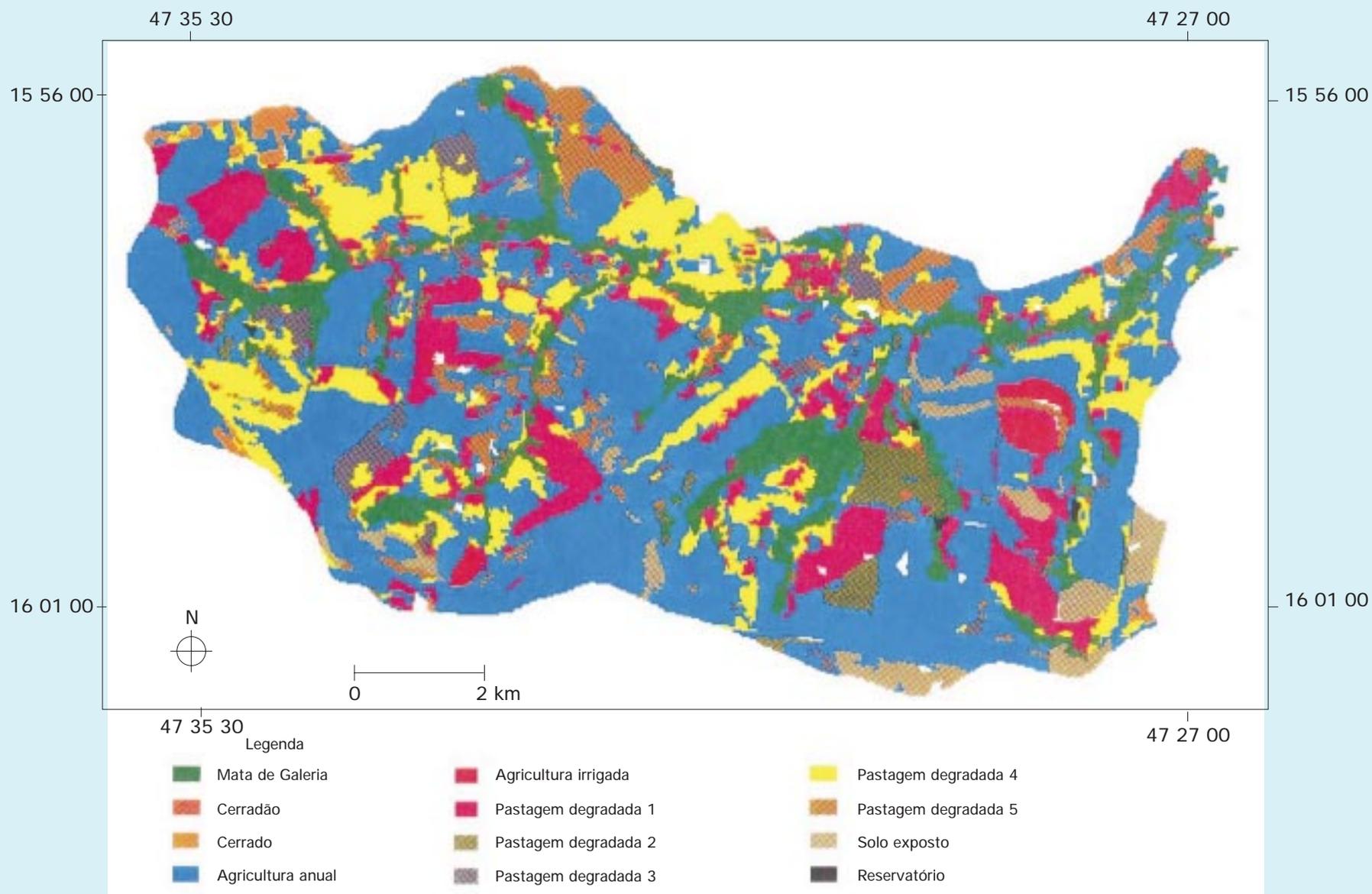


FIG. 9. Mapa de cobertura vegetal natural e uso da terra (1997) da Microbacia do Córrego Lamarão-DF (sem edição).

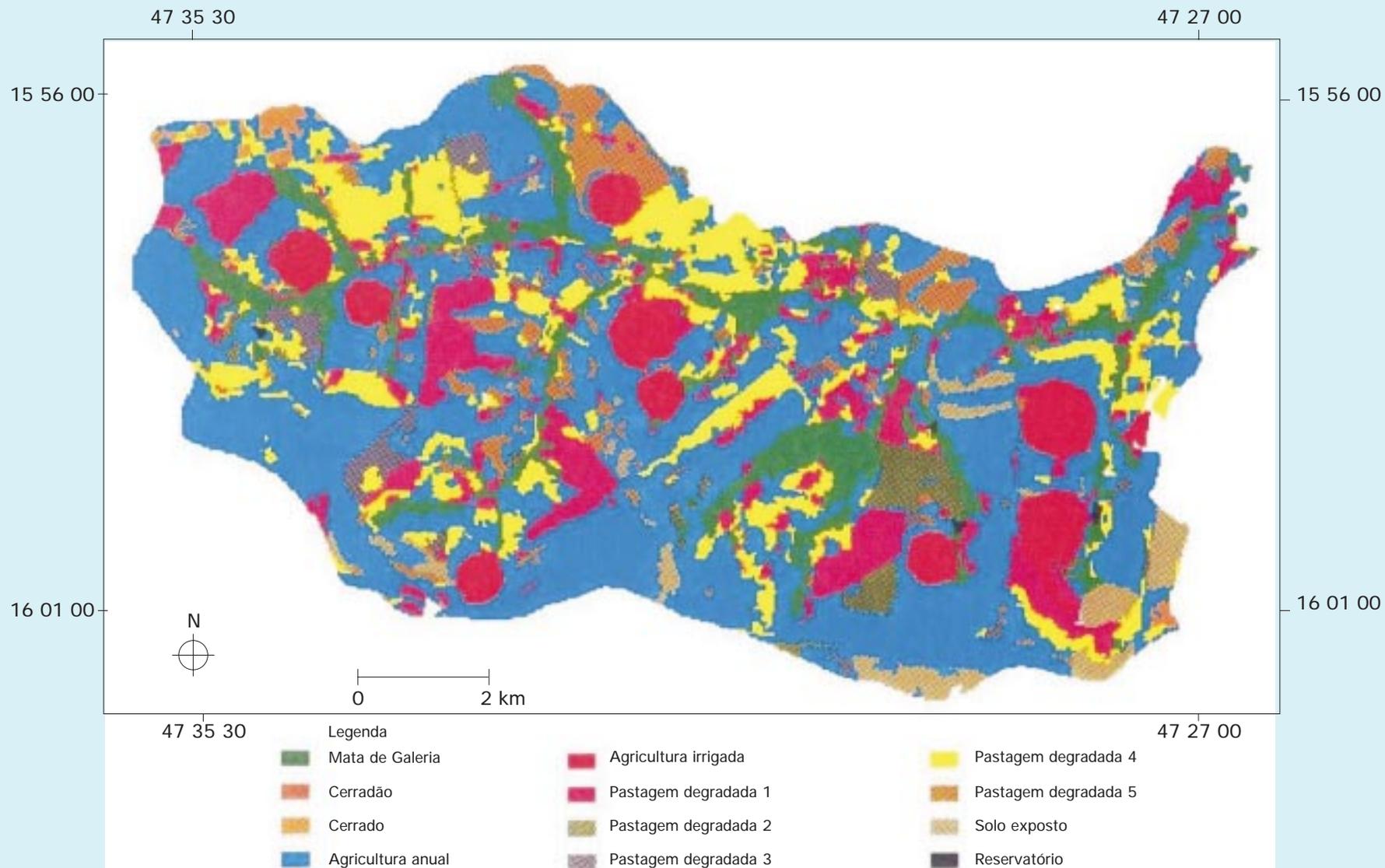


FIG. 10. Mapa de cobertura vegetal natural e uso da terra (1997) da Microbacia do Córrego Lamarão-DF (editada).

CONCLUSÃO

A classificação supervisionada por regiões em imagem TM Landsat, utilizando a distância de Bhattacharyya, mostrou-se eficiente no mapeamento da cobertura da vegetação natural e no uso da terra, separando as classes temáticas: Mata, Cerrado, Cerradão, agricultura de sequeiro, agricultura irrigada, pastagem degradada e reservatório d' água. Os resultados foram compatíveis com a verificação feita no campo.

De acordo com os resultados obtidos neste trabalho, a utilização das técnicas de segmentação de imagens e classificação supervisionada por regiões, implementadas no SPRING, mostrou-se eficiente na separabilidade das classes temáticas, sendo que muitas bordas das regiões coincidiram com as definidas pela análise visual.

Aplicando-se a técnica de classificação supervisionada por regiões às imagens TM Landsat, foi possível identificar 5 níveis de degradação em pastagens. É importante ressaltar que, muitas vezes as terras com pastagens são de aptidão restrita ou inapta para essa utilização.

Na microbacia do Córrego Lamarão, onde a densidade de pivôs é bastante alta, tem ocorrido conflitos entre os pequenos e grandes irrigantes pelo uso dos recursos hídricos. Observou-se, também, que a maior parte dos pivôs utilizam água proveniente de cursos d' água de primeira ordem, sendo que dois desses bombeiam água diretamente das nascentes.

Ressalta-se que a degradação ambiental acelera-se nas áreas ocupadas pelo homem, com a conseqüente redução da produtividade da terra. A reversão deste fenômeno requer altos investimentos.

Quanto às pastagens foi possível identificar e mapear caracterizar e mapear 5 níveis de degradação. Com base nessa identificação, torna-se fundamental estabelecer os procedimentos de radiometria desses alvos para posterior extrapolação espacial em outras áreas de Cerrado.

Com os resultados alcançados, abrem-se novas perspectivas para trabalhos futuros, utilizando temas e limiares diferentes, contribuindo para o desenvolvimento do processamento digital de imagem.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, S. A. S.; SILVA, O. F.; MELLO, E. M. K.; ORTIZ, J.O.; AMARAL, S.; SOARES, J. V.; ALVES, D.S. Mapeamento de cobertura da terra utilizando técnicas de processamento de imagens na região de Ariquemes (RO-BR), com ênfase às florestas secundárias. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 8., 1996, Salvador. **Anais**. São José dos Campos: INPE/SELPER, 1996. CD-ROM.
- BARCELLOS, A. O.; VIANA FILHO, A.; BALBINO, L. C.; OLIVEIRA, I. P.; YOKOYAMA, L. P. Produtividade animal em pastagens renovadas em solo arenoso de cerrado. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 34., 1997. Juiz de Fora, **Anais**. Juiz de Fora: SBZ, 1997, v.4, p.207-209.

- BATISTA, G. T., MEDEIROS, J. S.; MELLO, E. M. K.; MOREIRA, J. C.; BINS, L. S. A new approach for deforestation assessment. In: INTERNACIONAL SYMPOSIUM ON RESOURCE AND ENVIRONMENTAL MONITORING, 1994, Rio de Janeiro, 1994. **Proceedings**. Rio de Janeiro: ISPRS, 1994. v. 30, p.170-174.
- COMASTRI, J. A. Topografia planimetria. Viçosa: UFV, 1977. 335p.
- COSTA, C. A. R. **Introdução a processamento digital de imagens**: uma abordagem voltada para sensoriamento remoto e funcionalidades do sistema SPRING. Campinas: EMBRAPA-CNPTIA, 1998. 45p. (EMBRAPA-CNPTIA. Relatório Técnico, 4).
- CROSS, A. M.; MASON, D. C.; DURY, S. J. Segmentation of remotely-sensed images by a split-and-merge process. **International Journal of Remote Sensing**, v. 9, n.8, p. 1329-1345, 1988.
- CRÓSTA, A. P. **Processamento digital de imagens de sensoriamento remoto**. Campinas: UNICAMP, 1992. 170p.
- CUNHA, S. B.; GUERRA, A. J. T. ; Degradação ambiental. In: Geomorfologia e Meio Ambiente. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1996. p.337-379.
- DAVISON, G. J. Ground control pointing and geometric transformation of satellite imagery. **International Journal of Remote Sensing**, v.1, n.7, p. 65-74, 1986.
- DEDECEK, R. A.; RESCK, D. V. S.; FREITAS JÚNIOR, E. Perdas de solo, água e nutrientes por erosão em latossolo vermelho escuro dos cerrados e de manejo da palhada do milho. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v.10, p. 265-272, 1986.
- DOLABELLA, R. H. C. **Caracterização agroambiental e avaliação da demanda e da disponibilidade dos recursos hídricos para a agricultura irrigada na bacia hidrográfica do rio Jardim-DF**. Brasília: 1996. 109p. Tese mestrado.
- ERTHAL, G. J.; FONSECA, L. M. G.; BINS, L. S.; VELASCO, F. R. D.; MONTEIRO, A. M. V. Um sistema de segmentação e classificação de imagens de satélite. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE COMPUTAÇÃO GRÁFICA E PROCESSAMENTO DE IMAGENS, 4., 1991, São Paulo **Anais**. São Paulo: EPUSP, 1991. p. 237-240.
- GENDEREN, J. L. van.; LOCK, B.F. Testing land-use map accuracy. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Maryland**, v.43, n.9, p.1135-1137, Sept.1977.
- GONZALES, R.C.; WOODS, R.E. Digital image processing. Massachusetts: Addison-Wesley. 1992. 716p.
- INPE- Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Manual do SPRING. Disponível no site do INPE. <http://sputnik.dpi.inpe.br/spring/portugues/funcoes.html>. Consultado em 16 jun. 1998.
- JOHNSSON, K., KANONIER, J. Knowledge based land use classification. *Proceedings of IGARSS'91*, Espoo, Finland, 1991, vol III, pp. 1847-1850.
- MACEDO, M. C. M.; ZIMMER, A. H. Sistema pasto-lavoura e seus efeitos na produtividade agropecuária. In: SIMPÓSIO SOBRE ECOSSISTEMA DE PASTAGENS, 2.; 1993, Jaboticabal, SP. **Anais**. Jaboticabal: FUNEP, UNESP, 1993. p. 216-245.
- MACHADO, R. J.; BARBOSA, V. C.; LIPORACE, F.S.; SANTOS, J. R.; VENTURIERI, A. Deforestation monitoring of the Amazon region using neural networks - a comparison between different photo-interpreters and networks. In: Resource and environmental monitoring: Rio de Janeiro, ISPRS, 1994, v. 30, Part 7b, p.49-55. *Proceedings of an International Symposium organized by VII of the International Society of Photogrammetric and Remote Sensing*, Rio de Janeiro, Sept.. 26-30, 1994.
- MATHER, P. M. Computer processing of remote sensed images: an introduction. New York: John Wiley & Sons, 1987. 352p.

- NASCIMENTO, P. S. R. **Avaliação de técnicas de segmentação e classificação por regiões em imagens Landsat-TM visando o mapeamento de unidades de paisagem na Amazônia.** São José dos Campos: INPE, 1997. 102p. Tese mestrado.
- RIBEIRO, J. F.; WALTER, B. M. T. Fitofisionomias do bioma cerrado. In: Cerrado: ambiente e flora. Planaltina: EMBRAPA-CPAC, 1998. P. 89-166.
- SAIZ, C. C.; VALÉRIO FILHO, M. Técnicas de processamento de imagens digitais aplicadas à caracterização de classes de uso do solo e cobertura vegetal em região de clima temperado úmido. In: SIMPÓSIO LATINOAMERICANO DE PERCEPCIÓN REMOTA.7.;1995. Puerto Vallarta. SELPER-México. Latinoamérica Evaluada desde el Espacio. Puerto Vallarta. Memórias. Noviembre, 1995. p.593-600.
- SANTOS, A. P.; FORESTI, C.; NOVO, E. M. L.; NIERO, M.; LOMBARDO, M. A. Metodologia de interpretação de dados de sensoriamento no uso da terra. São José dos Campos: INPE, 1981. (INPE-2261-MD/O16).
- SANTOS, J. R.; VENTURIERI, A.; MACHADO, R. J. Monitoring land use in Amazonia based on image segmentation and neural networks. In: INTERNATIONAL GEOSCIENCE AND REMOTE SENSING SYMPOSIUM, 1995, Firenze. Quantitative remote sensing for science and applications. Piscataway, IEEE, 1995. V.3, p. 108-111.
- SPAIN, J. M.; GUALDRÓN, R. Degradación y rehabilitación de pasturas. In: VI Reunión del Comité Asesor de la RIEPT. Memórias. Red Internacional de Evaluación de Pastos Tropicales. Veracruz, México 1988. CIAT. p. 269-283.
- VALÉRIO FILHO, M. Gerenciamento de bacias hidrográficas com aplicação de técnicas de geoprocessamento. In: Análise ambiental: estratégias e ações. Rio Claro: UNESP.1995. p. 135-140.
- WATRIN, O.S. **Estudo da dinâmica na paisagem da Amazônia oriental através de técnicas de geoprocessamento.** São José dos Campos: INPE, 1994. 151p. Tese mestrado.