

SISTEMA DE CLASSIFICAÇÃO DE USO E COBERTURA DA TERRA COM BASE NA ANÁLISE DE IMAGENS DE SATÉLITE

A land cover classification system based on satellite image analysis

Milton da Costa Araújo Filho^{1,*}
Paulo Roberto Meneses¹
Edson Eyji Sano²

¹Universidade de Brasília – UnB
Instituto de Geociências - IG
Campus Universitário Darcy Ribeiro – Asa Norte
CEP: 70910-900 Brasília, DF
miltonfilho@caesb.df.gov.br, pmeneses@unb.br
* atualmente, funcionário da CAESB/DF

²Empresa Brasileira de Pesquisa Brasileira – Embrapa
Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados
BR-020 km 18 Cx. Postal 08223
73301-970 Planaltina, DF
sano@cpac.embrapa.br

RESUMO

A elaboração de mapas de uso da terra e de cobertura da terra é essencial para fornecer subsídios aos programas de monitoramento ambiental, preservação da biodiversidade, zoneamento ambiental e sócio-econômico e ocupação racional do espaço físico. Apesar da sua importância, não há, ainda, no Brasil, normas específicas que disciplinem a elaboração desses mapas, tendo, por base, a imagem de satélite. Conseqüentemente, existe uma tendência no sentido de cada instituição desenvolver o seu próprio sistema de classificação que atenda melhor às suas necessidades específicas, dificultando a integração posterior dos produtos por elas gerados. Esse estudo apresenta os principais resultados da proposta de um sistema de classificação de uso da terra e de cobertura da terra baseado em imagens multiespectrais do Landsat. O sistema proposto foi analisado nas seguintes escalas de mapeamento: 1:1.000.000; 1:500.000; 1:250.000; e 1:100.000. A análise visual e a verificação em campo de composições coloridas dessas imagens permitiram a identificação de quatro classes espectrais na escala de 1:1.000.000: Corpos d'Água; Cobertura Vegetal Natural; Cobertura Vegetal Plantada; e Superfícies Construídas. Nas escalas de 1:500.000, 1:250.000 e 1:100.000, essas classes foram subdivididas em 9, 17 e 24 subclasses, respectivamente. Resultados desse estudo mostraram que as imagens do Landsat são úteis para mapeamentos de uso da terra e cobertura da terra nos níveis de exploração, de reconhecimento e de semidetalhe.

Palavras chaves: sistema de classificação, Landsat, Distrito Federal, cobertura da terra, sensoriamento remoto.

ABSTRACT

Productions of land use and land cover maps are essential to assist programs of environmental monitoring, biodiversity conservation, environmental, social and economical zoning and rational land occupation. Besides its importance, there are no specific rules in Brazil to discipline the development of these maps based on satellite scenes. Consequently, there is a tendency of each institution to create its own system to attend its specific needs, making the further data integration very difficult. This study presents the major results of a new land cover classification system based on a multispectral Landsat satellite image. The proposed system was analyzed at the following scales: 1:1,000,000; 1:500,000; 1:250,000; and 1:100,000. Visual analysis and field inspection of the Landsat color composites allowed the identification of four spectral land cover classes at the 1:1,000,000 scale: water bodies, natural vegetation covers, planted vegetation covers

and constructed surfaces. At the 1:500,000, 1:250,000 and 1:100,000 scales, these classes were subdivided in 9, 17 and 24 subclasses, respectively. Results of this research showed that the Landsat imagery is useful for the land cover mapping proposals in the exploratory, surveying and semidetained levels.

Keywords: classification system, Landsat, Federal District, land cover, remote sensing.

1. INTRODUÇÃO

A obtenção de informações detalhadas e precisas sobre o espaço geográfico é uma condição necessária para as atividades de planejamento e tomada de decisões. Os mapas de uso da terra e de cobertura da terra são instrumentos que auxiliam a cumprir essa função, constituindo-se em mecanismos bastante adequados para promoverem o desenvolvimento sustentável do ponto de vista ambiental, e são imprescindíveis para o planejamento regional ou local do terreno. O desenvolvimento de sistemas de classificação pode fornecer referências para a organização e hierarquização de informações que constam nos mapas dessa natureza.

Dois sistemas de classificação de uso ou de cobertura da terra que empregam terminologias semelhantes não garantem compatibilidade. A oportunidade para a criação de sistemas de classificação mais compatíveis entre si surgiu com o sensoriamento remoto orbital no início da década de 1970, e que rapidamente consagrou-se como o mais eficiente meio de observação da terra. A partir dessa década, a maioria dos sistemas de classificação passou a utilizar, como materiais básicos, as imagens multiespectrais de sensoriamento remoto. Assim, a elaboração desses mapas tornou-se muito facilitada, havendo propostas como as do USGS (United States Geological Survey), EEA (European Environment Agency) e FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations; Di Gregorio e Jansen, 1998) de modelos de sistemas de classificação nas escalas macroregional e continental e que podem ser aplicadas em qualquer região.

Os conceitos relativos ao uso da terra e cobertura da terra são muito próximos, por isso, muitas vezes são usados indistintamente. Cobertura da terra está diretamente associada com os tipos de cobertura natural ou artificial, que é de fato o que as imagens de sensoriamento remoto são capazes de registrar. Imagens não registram atividades diretamente. Cabe ao intérprete buscar as associações de reflectâncias, texturas, estruturas e padrões de formas para derivar informações acerca das atividades de uso, a partir do que é basicamente informação de cobertura da terra.

No Brasil, por muitos anos, órgãos de vários níveis do governo trabalharam na coleta de dados de uso da terra, mas os trabalhos sempre ocorreram de forma independente e sem coordenação, muito embora várias pesquisas fossem realizadas com a intenção de propor métodos e técnicas do uso de sensoriamento remoto para a elaboração de mapas de uso da terra (CAETANO *et al.*, 2002; BRITO, 2003; AGUIAR *et*

al., 2005). Porém, a maioria desses trabalhos teve enfoque numa escala local, sem uma discussão para uma aplicação nacional. Assim, faz-se necessária a adoção, em termos metodológicos, de um referencial formal de um sistema de classificação de uso do solo e de cobertura da terra, a partir das experiências internacionais, ajustado às especificidades dos diferentes biomas nacionais. Enquanto isso não ocorre, como consequência, cada órgão tende a desenvolver ou utilizar um sistema de classificação baseado em imagens orbitais, com legendas que melhor atendam aos seus interesses, criando uma diversidade de categorias, classes e métodos de coleta e sistemática de interpretação de dados que dificultam a compatibilização e a integração regional da informação espacial da terra. A compatibilização é necessária para uma montagem de uma base de dados consistente, tal que informações obtidas em escalas regionais possam ser sintetizadas em níveis macroregional ou continental, e servirem para análises de escala global. Uma tentativa com sucesso foi realizada por OKA FIORE *et al.* (2003). Os autores utilizaram o sistema CORINE para estudar a dinâmica de uso e ocupação do solo na bacia do rio Itiquiri, no Mato Grosso. Neste estudo, foi definido um sistema de classificação com três níveis fundamentais, contendo cinco classes no primeiro nível que correspondem às maiores categorias de cobertura da terra, na escala de 1:1.000.000, 15 classes no segundo nível, na escala de 1:500.000, e 44 classes no terceiro nível, na escala de 1:100.000.

É certo que não há um sistema único de classificação de uso e cobertura da terra. De acordo com ANDERSON *et al.* (1976), que propuseram o primeiro sistema de classificação de uso e cobertura da terra com dados de sensoriamento remoto, o mínimo esperado é que os sistemas de classificação permitam a identificação de categorias através de terminologias explícitas, a propagação das informações e das classes definidas e a realização de generalizações. Eles devem ainda conter um maior número possível de informações, deixando, ao analista, a tarefa de agregá-las em níveis mais generalizados ou subdividi-los em novos níveis, de acordo com os seus objetivos. Segundo esses autores, o nível mínimo de precisão para interpretar e identificar as categorias de uso da terra e cobertura da terra, a partir de imagens de sensoriamento remoto, deverá ser de pelo menos 75%, e a precisão para as diferentes categorias deverá ser aproximadamente a mesma.

Segundo GOWARD *et al.* (2001), as imagens ETM+ do satélite Landsat constituem-se num dos produtos mais adequados para o desenvolvimento de sistemas de classificação, devido à sua resolução

espacial de 30 metros, à resolução temporal de 16 dias, à cobertura sinóptica do terreno e à eficiência na identificação das principais feições da superfície terrestre, por meio de diferentes bandas nas regiões espectrais que variam do visível ao infravermelho de ondas curtas. A combinação entre a resolução espacial de 30 metros e a resolução radiométrica de 8 bits permite uma definição e separabilidade espectral de classes com padrões mais homogêneos e que podem ser representados com confiabilidade até a escala de 1:100.000, considerada a melhor escala regional para mapas dessa natureza. A excelente precisão de mapeamento, advinda da combinação dos níveis destas duas resoluções, tem, como base, a alta correlação espacial dos alvos naturais quando visto na escala de 1:100.000 e menores.

De acordo com ANDERSON *et al.* (1976), para que um sistema de classificação possa usar imagens de sensores multiespectrais orbitais de forma efetiva, é preciso satisfazer alguns critérios básicos: (i) devido ao grande recobrimento de área das imagens orbitais, o sistema de classificação deve ser aplicável para grandes áreas, isto é, numa escala regional; (ii) devido à resolução temporal das imagens, o sistema de classificação não pode ser dependente de dados obtidos em diferentes épocas do ano; (iii) em cada categoria do sistema de classificação, a denominação das classes deve respeitar a escala de trabalho; (iv) o sistema deve permitir agregação de categorias; (v) o nível de facilidade ou dificuldade de interpretação para todas as categorias de classes deve ser semelhante; (vi) o nível de confiabilidade de identificação e interpretação das classes de uso e cobertura da terra deve ser de 75% no mínimo, a fim de minimizar tempo e custos com trabalho de campo e execução do mapeamento; e (vii) o processo de interpretação deve seguir regras claras e bem definidas para permitir fluência na comunicação entre intérpretes e usuários.

No Distrito Federal (DF), estudo de caso desse trabalho, destacam-se dois exemplos de iniciativas de mapeamento temático por meio de uso de imagens de sensoriamento remoto. O Atlas do DF (CODEPLAN, 1984) apresentou, como um dos seus mapas temáticos, o mapa de vegetação na escala de 1:250.000, elaborado com base numa imagem do sensor MSS (*Multispectral Scanner*) do satélite Landsat. Além de conter elementos representativos de um mapa de vegetação, o referido produto discriminou as manchas urbanas e os sistemas viário e hidrográfico. Trata-se de um mapa de cobertura da terra, mesmo não tendo recebido essa denominação. O outro trabalho é o mapa de uso e ocupação de solos do DF de 1994, elaborado pela SEMATEC (1994) na escala de 1:100.000, a partir de interpretação de composições coloridas de imagens Landsat TM. Embora ambos os trabalhos tenham utilizado um mesmo tipo de documento (imagens de satélites), houve pouca concordância entre as categorias e as classes de cobertura da terra, pois não foi utilizado nenhum sistema de classificação baseado em interpretação de imagens de sensoriamento remoto. Esses não são

exemplos únicos, ou seja, é relativamente comum encontrar a mesma situação em outras regiões do país.

Na tentativa de encontrar uma solução para essa questão, o presente estudo apresenta os principais resultados de uma proposta de sistema de classificação hierárquica de uso e cobertura da terra baseada na análise de imagens multiespectrais de satélites de resolução espacial moderada. Por sua vez, a proposta visa mostrar, aos usuários de sensoriamento remoto, a necessidade de se organizar a legenda de mapas de uso e de cobertura da terra de uma maneira um pouco mais sistematizada, a fim de aumentar o grau de comunicação de seus resultados. A área do Distrito Federal foi selecionada para estudo por representar uma boa amostra do Bioma Cerrado. Desta forma, o que é proposto em termos de classes e legendas, de acordo com as diferentes escalas de observação, pretende-se servir como um exemplo possível de ser estendido para todo o Bioma Cerrado.

No Brasil, o uso de imagens é favorecido pelo conhecimento razoável que os usuários possuem sobre sensoriamento remoto e pelas múltiplas aplicações que essas imagens têm tido em todo o território nacional. Adicionalmente, os sistemas sensores orbitais cobrem todo o território nacional de forma contínua e repetitiva. Espera-se ainda que a utilização de sistemas de classificação baseados em dados de satélite para a elaboração de mapas de uso e cobertura da terra minimize as exigências de informações suplementares por outros meios.

2. ÁREA TESTE: O DISTRITO FEDERAL

A região selecionada para esse estudo foi o DF, que possui uma área de 5.814 km² e localiza-se entre as coordenadas 15°30' e 16°03' de latitude sul e entre 47°25' e 48°12' de longitude oeste. Está situada em uma região de divisor de água de três grandes bacias hidrográficas brasileiras: São Francisco, Paraná e Amazonas. Constitui-se, pois, em uma região de nascente, não apresentando grandes rios em seu território. Há, porém, três grandes reservatórios artificiais, o Paranoá, o Descoberto e o Santa Maria que são utilizados principalmente para captação de água para consumo doméstico e industrial. Na fronteira leste do DF, há ainda algumas dezenas de pequenos reservatórios que são utilizados para irrigação.

O DF apresenta fitofisionomias típicas do Bioma Cerrado. As suas áreas naturais mais representativas encontram-se no Parque Nacional de Brasília, Reserva Ecológica de Águas Emendadas, Estação Ecológica do Jardim Botânico de Brasília e Reserva Ecológica do IBGE. Em termos de uso antrópico, destacam-se as zonas urbanas consolidadas, dezenas de condomínios e assentamentos urbanos irregulares em acelerada e descontrolada expansão, além de um imenso platô destinado à produção agropecuária, conhecido como PAD-DF (Plano de Assentamento Dirigido do Distrito Federal). Essa acentuada dinâmica de uso e ocupação urbana e agrícola é característica marcante do DF e, atualmente,

crescente também em todo o centro-oeste. A maior parte das culturas agrícolas é de sequeiro, desenvolvidas durante o período chuvoso (plântio de novembro a dezembro). Predominam as culturas de soja e milho, embora, ultimamente, alguns produtores estejam investindo em algodão, devido ao seu elevado valor comercial, e em sorgo, utilizado como adubo verde. Durante a seca, entram em funcionamento os sistemas de irrigação por pivô-central e por aspersão. De acordo com SANO *et al.* (2005), havia 104 pivôs-centrais no DF em 2002. As áreas reflorestadas com *Pinus* e *Eucalyptus* possuem pouca importância econômica e aparecem distribuídas de forma esparsa no DF. De acordo com o Censo Agropecuário do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 1997), existiam cerca de 60.000 hectares de pastagens cultivadas e 30.000 hectares de pastagens nativas nessa unidade federativa do Brasil.

Em termos de vegetação natural, ocorrem as formações florestais, savânicas e campestres do Cerrado. Nas formações florestais, estão inclusos quatro tipos fisionômicos (RIBEIRO e WALTER, 1998): Mata Ciliar, Mata de Galeria, Mata Seca e Cerradão. A Mata Ciliar e a Mata de Galeria são fisionomias dispostas ao longo dos cursos d'água e cabeceiras de nascentes. O Cerradão ocorre principalmente nos interflúvios e a Mata Seca é uma formação típica dos afloramentos de calcário. As formações savânicas englobam quatro tipos fisionômicos principais: Cerrado sentido restrito, subdividido em Cerrado Denso, Cerrado Típico, Cerrado Ralo e Cerrado Rupestre; Parque de Cerrado; Palmeiral e Vereda. O Cerrado sentido restrito caracteriza-se por apresentar, sobre um estrato herbáceo contínuo, árvores e arbustos tortuosos, com ramificações irregulares e retorcidas. As folhas, em geral, são espessas, rígidas e coriáceas. Palmeirais e Veredas ocorrem nos fundos dos vales, com destaque para a palmeira arbórea *Mauritia flexuosa* (denominação popular: buriti). As formações campestres são compostas por três tipos fitofisionômicos principais: o Campo Limpo, o Campo Sujo e o Campo Rupestre. O Campo Limpo corresponde à fitofisionomia herbácea, com ausência de arbustos e árvores, enquanto o Campo Sujo possui estrato herbáceo-arbustivo. O Campo Rupestre é um tipo fisionômico predominantemente herbáceo-arbustivo que ocorre em relevos íngremes, ao longo de frestas de afloramentos rochosos.

A distribuição espacial da população e de áreas residenciais no DF é diferente da maioria das outras cidades brasileiras. No DF, as áreas mais densas, ao invés de estarem localizadas no centro das cidades, são encontradas nos "novos assentamentos", construídos nos últimos dez anos e ocupados pela população de renda mais baixa. As áreas de baixa densidade residencial estão relacionadas com os assentamentos mais antigos e os seus habitantes possuem poder aquisitivo relativamente elevado.

3. BASE TEÓRICA

Uma das primeiras propostas de unificação de um sistema de classificação para uso da terra ocorreu em 1971, em Washington, D.C., durante o evento denominado de *Conference on Land Use Information and Classification*. Nesta conferência, diversos sistemas de classificação destinados a usar técnicas de sensoriamento remoto serviram como base para discussão. O comitê instituído teve o objetivo de desenvolver um sistema de classificação para o território americano que fosse receptivo à entrada de dados tanto de fontes convencionais como também de sensores aéreos de alta altitude e de satélites. Dessa conferência, resultou a proposta de um sistema de classificação de uso da terra e de cobertura da terra a partir de imagens, apresentada por ANDERSON *et al.* (1976), e que revisava o sistema de classificação de uso da terra como apresentado na circular 671 do *United State Geological Survey*. O sistema foi desenvolvido para atender às necessidades de agências estaduais e federais americanas para atualizarem o uso da terra e de cobertura da terra através de todo o país, na base de uma uniformidade de categorização aos níveis mais generalizados. Os propositores deste sistema procuraram compatibilizar as diferentes categorias de uso com as características dos objetos que pudessem ser definidas através das imagens orbitais. O sistema proposto incluía apenas o primeiro e segundo níveis, que são generalizados. Corresponde a um sistema propositalmente aberto, permitindo flexibilidade para o desenvolvimento posterior de classificação mais detalhada no terceiro e no quarto níveis, a fim de atender às necessidades particulares e, ao mesmo tempo, manter-se compatível com cada outro e com o sistema nacional.

Na Europa, o programa CORINE (*Coordination of Information on Environment*) foi elaborado pela Comissão Européia no período de 1985 a 1990, fruto da necessidade de se ter uma base de informações ambientais de todo o território europeu e de áreas limítrofes, de forma homogênea e suscetível a atualizações periódicas. O projeto de cobertura da terra (CLC) é parte do programa CORINE, e coordena as iniciativas dos estados-membros da comunidade européia para elaboração de um mapa de uso e ocupação da terra para toda a Europa (CLC90), com base em interpretação visual de imagens de satélites e informações auxiliares. A atualização do CLC90 foi feita no ano de 2000, utilizando-se imagens do sensor ETM+ do satélite Landsat 7. As especificações do programa CORINE consistem de três elementos básicos: a escala de mapeamento é de 1:100.000; a unidade mínima de mapeamento é de 25 hectares; a nomenclatura é hierarquizada e distingue 44 classes para o terceiro nível, 15 classes para o segundo nível e cinco classes para o primeiro nível. O primeiro nível compreende as maiores categorias de cobertura da terra para o planeta; o segundo nível é utilizado para escalas de 1:500.000 a 1:1.000.000; o terceiro nível para a escala de 1:100.000. Um quarto nível pode ser adicionado, correspondendo a uma informação mais detalhada, a partir da derivação de categorias do terceiro

nível. EEA (1995) recomendou que cuidados devem ser tomados quando da criação de novas categorias, para que estas sejam compatíveis com a escala, o tamanho da menor área a ser mapeada e com a fonte de informação que são as imagens de sensoriamento remoto orbital.

No Brasil, o projeto Uso da Terra da Fundação IBGE, inclui as atividades relacionadas ao mapeamento sistemático da cobertura e uso da terra, para todo o território nacional. A proposta de um sistema de classificação foi formulada no relatório técnico do IBGE (2004) através do uso de imagens de satélites, de trabalhos de campo e de análises das formas de ocupação e das características do processo produtivo. Tem, como referência, o programa CORINE. A nomenclatura utilizada neste projeto foi definida em diversos níveis hierárquicos com classes e subclasses, procurando formar uma legenda com o máximo de significado e o mínimo de níveis. O sistema inclui os níveis hierárquicos 1 e 2 mais generalizados. O nível 1 é definido via interpretação de imagens e é empregado em escalas globais. O nível 2 define-se pelo refinamento da interpretação das imagens associadas a informações bibliográficas e é utilizado para mapeamentos na escala de 1:250.000.

4. ABORDAGEM METODOLÓGICA

Como abordado anteriormente, a necessidade de compatibilizar níveis de generalizações com categorias de uso e cobertura da terra por meio de um sistema de classificação de aplicação nacional, é claramente reconhecida. Segundo GRIGG (1965 apud ANDERSON *et al.*, 1979), um sistema de classificação deve atender a três principais atributos relacionados com processo de classificação: (a) identificar as categorias utilizando terminologia existente e aceita; (b) permitir que a informação seja transmitida; e (c) permitir que se façam generalizações indutivas. Tendo em consideração esses atributos, adotou-se, nessa pesquisa, uma abordagem da classificação de uso e cobertura da terra orientada *com base na fonte*, ou seja, tendo como principal elemento de trabalho, as imagens de sensoriamento remoto. Imagens de sensoriamento remoto não registram atividades de uso de forma direta. A imagem é uma resposta baseada em muitas características da superfície do terreno, incluindo coberturas naturais e artificiais. Desta forma, as categorias foram definidas usando o revestimento da terra como o principal indicador, em adição às habituais referências do intérprete ao padrão, à localização geográfica e a outras características mostradas nas imagens. Esse tipo de enfoque exclui a possibilidade da informação gerada identificar, por exemplo, o manejo e a propriedade de unidades mapeadas, tais como fazenda de criação ou reservatórios de água para lazer.

O sistema de classificação adotado nesse estudo foi do tipo categorias hierárquicas, seguindo as diretrizes de ANDERSON *et al.* (1976). É apresentado com quatro níveis de categorização, cada nível associado a uma escala específica, com base nas resoluções das imagens Landsat ETM+.

Foi possível adotar esse tipo de sistema de classificação devido às facilidades das imagens de sensoriamento remoto possibilitarem estudos em múltiplas escalas. Como visto, um sistema de classificação em vários níveis possibilita a manipulação e a organização de dados em níveis mais generalizados ou a agregação de dados em classes já existentes. Esta deve ser a regra básica. Agregação é uma forma especial de associação entre objetos caracterizada pelo conceito que uma classe é constituída a partir de outras (“é parte de” ou “é composto de”). Compõem-se de subdivisão espacial que é subdivisão do todo em partes de mesma natureza, e de união espacial que é o inverso. Em outras palavras, o usuário não precisa ficar limitado às categorias que foram propostas. Destaca-se a possibilidade de desenvolver novas categorias que atendam melhor às necessidades do usuário, sem desobedecer as regras de hierarquização das classes identificadas nas imagens. Seguindo as orientações propostas pelos sistemas de classificação CORINE e do USGS, a área mínima de mapeamento foi de 25 ha.

Quanto à seleção de bandas, a escolha foi por um conjunto de três bandas que produzissem uma composição colorida com alto contraste espectral entre as classes de cobertura da terra. Na Tabela 1, são descritas as aplicações que determinaram a seleção das bandas 3, 4 e 5 do sensor ETM+. A associação das três cores primárias, vermelho (R - *Red*), verde (G - *Green*) e azul (B - *Blue*), às três bandas selecionadas foi feita atribuindo-se, sucessivamente, a cor de maior percepção visual do olho humano à banda de maior variância espectral. Além dessas três bandas selecionadas, raramente tem-se a necessidade de usar uma outra banda do sensor ETM+ para a identificação e discriminação de classes. Para a formação da composição colorida, as três bandas individuais foram georreferenciadas e realçadas pela técnica de expansão linear de contraste (SCHOWENGERDT, 1997).

O processo inicial da construção do sistema de classificação é a definição das escalas de mapeamento, as quais são determinadas em função das resoluções espacial, espectral, radiométrica e temporal do sensor. Tendo-se escolhido as imagens Landsat de resolução espacial de 30 metros, as escalas de mapeamento determinadas foram 1:100.000, 1:250.000, 1:500.000 e 1: 1.000.000. Optou-se por não usar a fusão da banda pancromática com resolução espacial de 15 metros, o que possibilitaria uma maior escala de observação, devido ao fato de que, ao nível regional, a escala de 1:100.000 é mais conveniente para a representação destes tipos de mapas. Além do mais, a maioria das cartas topográficas no Brasil estão na escala de 1:100.000. Passo seguinte foi a identificação das classes que iriam compor a legenda dos diferentes níveis do sistema de classificação. Esse processo foi feito, primeiramente, identificando-se as classes possíveis de serem mapeadas a partir da interpretação das imagens coloridas na escala de 1:100.000, considerada a escala de mapeamento. Esse é o nível hierárquico mais superior de definição das classes de uso e cobertura da terra para imagens com resoluções similares às do

sensor ETM+, o que correspondeu ao nível 4 desse estudo. O exercício seguinte foi analisar as imagens nas outras escalas e agrupar as classes reconhecidas na escala 1:100.000 nos níveis inferiores subsequentes 3, 2 e 1, correspondentes, respectivamente, às escalas de 1:250.000, 1:500.000 e 1:1.000.000. Para cada nível é preciso criar uma nova terminologia para requalificar as denominações das classes. As imagens sempre foram analisadas no monitor de vídeo, na escala real, sem recurso de ampliação.

TABELA 1 - SELEÇÃO DE BANDAS ESPECTRAIS DO SATÉLITE LANDSAT ETM+ PARA A ELABORAÇÃO DE MAPA DE USO E COBERTURA DA TERRA.

Banda	Comprimento de onda (nm)	Aplicação
3 (cor primária associada: azul)	630 – 690 (região espectral do vermelho)	Diferença de cobertura vegetal fotossinteticamente ativa e inativa, identificação de estradas, solos expostos, áreas urbanas.
4 (cor primária associada: vermelho)	750 – 960 (região espectral do infravermelho próximo)	Cálculo de biomassas, realce do relevo, da rede de drenagem, corpos d'água e solos oxidados por ferro.
5 (cor primária associada: verde)	1550 – 1750 (região espectral do infravermelho de ondas curtas)	Banda de maior variância espectral (melhor contraste entre os diferentes materiais)

Fonte: JENSEN (2000); MENESES e MADEIRA NETTO (2001).

A identificação das classes de uso e cobertura da terra nas imagens foi fundamentada em critérios de interpretação espectral, que são baseados no comportamento da reflectância dos alvos. O conhecimento do comportamento espectral de alvos é fundamental para o usuário identificar nas composições coloridas, não somente as classes de alvos puros, ou amostras desses alvos para fins de uso de classificação automatizadas de imagens, mas também os alvos que apresentam misturas de reflectância de dois ou mais objetos. Exemplos de alvos com mistura espectral são áreas de Cerrado Típico ou de Campo Limpo, onde os solos contribuem significativamente para a formação do padrão de reflectância dessas classes. A análise dos elementos texturais e estruturais que caracterizam a forma dos objetos foi utilizada apenas como um critério interpretativo auxiliar, pois nem sempre a forma é decisiva para o reconhecimento de classes.

Uma detalhada discussão dos processos e mecanismos de interação da radiação eletromagnética com os materiais terrestres e uma descrição do comportamento da reflectância dos alvos naturais,

rocha, solo, vegetação e água, podem ser consultados em MENESES e MADEIRA NETTO (2001), MOREIRA (2005) e PONZONI e SHIMABUKURO (2007). Nesses três livros, gráficos de curvas de reflectância medidas em campo e/ou laboratório exemplificam e explicam o comportamento da reflectância dos materiais em função da composição de seus constituintes físicos, químicos e mineralógicos.

Trabalhos de campo devem ser realizados em áreas que ou apresentem dúvidas de interpretação ou agregarem múltiplos tipos de cobertura ou uso.

5. O SISTEMA DE CLASSIFICAÇÃO DESENVOLVIDO

Os principais resultados do sistema de classificação hierárquico desenvolvido nesse estudo são mostrados na Tabela 2. No Nível I (escala de 1:1.000.000), foram identificadas quatro classes: Corpos d'Água, Cobertura Vegetal Natural, Cobertura Vegetal Plantada e Superfície Construída, além de uma quinta classe denominada de "Outros". Essa última classe foi incluída em todos os níveis para representar os elementos que não se enquadram em quaisquer das categorias do sistema de classificação, mas que podem ser importantes para alguns usuários específicos. São exemplos dessa classe, objetos que mostram uma elevada dinâmica, como queimadas ou culturas irrigadas que, num momento qualquer, pode ser imprescindível para estudos de avaliação, previsão, monitoramento ou gestão. Incluem-se ainda nessa categoria, objetos que só podem ser reconhecidos em campo ou por outros meios.

No Nível II (escala de 1:500.000), foram definidas 11 classes. A classe Corpo d'Água foi subdividida em duas classes, uma composta por Reservatório e Lago e outra por Rios de primeira, segunda, terceira e quarta ordem, de acordo com a classificação de STRAHLER (1952). A classe Cobertura Vegetal Natural foi subdividida em duas classes: Formações Florestais do Cerrado e Formações Savânicas e Campestres do Cerrado. Já a classe Cobertura Vegetal Plantada foi subdividida em Área Agropastoril, Área Irrigada por Pivô-central e Reflorestamento. A classe Superfície Construída do Nível I foi subdividida em Área Urbana Mista, Rodovia e Pista de Pouso.

No Nível III (escala de 1:250.000), foram identificadas 19 classes. A classe antes composta por Reservatório e Lago foi subdividida em duas classes, uma composta só por Reservatório e a outra composta só por Lago. Na classe Rio de primeira, segunda, terceira e quarta ordem, não foi possível proceder a uma subdivisão, pois essa classe continuou exibindo as mesmas características do Nível II. A classe Formações Florestais do Cerrado foi subdividida em duas classes, uma composta só por Mata de Galeria e/ou Mata Ciliar e a outra composta por Mata Indiferenciada.

A classe composta por Formações Savânicas e Campestres do Cerrado foi subdividida em duas classes, uma composta só por Formações Savânicas do Cerrado

e a outra composta só por Formações Campestres do Cerrado. A classe Área Agropastoril foi subdividida em Cultura e Pastagem. A classe Área Irrigada por Pivô-central foi subdividida em duas classes: Área Irrigada por Pivô-central sem Cobertura Vegetal e Área Irrigada por Pivô-central com Cobertura Vegetal. A classe Reflorestamento foi subdividida em Reflorestamento de *Pinus* e Reflorestamento de *Eucalyptus*. A classe Área Urbana Mista foi subdividida em Área Urbana Mista com Alta Densidade de Construção e Área Urbana Mista com Baixa Densidade de Construção. A classe Rodovia foi subdividida em Rodovia Principal e Rodovia Secundária. As classes Pista de Pouso e Outros mantiveram-se inalteradas.

No Nível IV (escala de 1:100.000), foram geradas 22 classes. Esse é o nível mais importante, porque mostra o maior detalhe que pode ser obtido com as imagens Landsat, e porque a partir dele é que se dá o agrupamento de classes para os níveis mais inferiores. O cuidado a ser tomado na definição das classes que compõem esse nível, é considerar que o mapeamento é realizado em uma escala regional, que a representatividade das classes tem de ser válida para grandes extensões de área de mapeamento e que o tamanho mínimo de representação cartográfica dos objetos de cada classe tem de ser compatível com a escala de mapeamento. Neste nível, a classe Reservatório foi subdividida em Reservatório e Reservatório para Estabilização de Esgotos. A classe Lago foi subdividida em Lagoa e Lago. A classe Rio de primeira, segunda, terceira e quarta ordem permaneceu sem subdivisão. Contudo, em função da hierarquia fluvial, essa classe passou a ser composta por Rio de primeira, segunda, terceira, quarta e quinta ordem. As classes Mata de Galeria e/ou Mata Ciliar, Mata Indiferenciada, Formações Savânicas do Cerrado, Formações Campestres do Cerrado, Cultura, Pastagem, Área Irrigada por Pivô-central com Cultura, Área Irrigada por Pivô-central sem Cultura, Reflorestamento de *Pinus*, Reflorestamento de *Eucalyptus*, Área Urbana Mista com Alta Densidade de Construção, Área Urbana Mista com Baixa Densidade de Construção, Rodovia Secundária, Pista de Pouso e Outros também permaneceram sem subdivisão. A classe Rodovia Principal foi subdividida em Rodovia Principal Pavimentada e Rodovia Principal não Pavimentada.

Uma vez que o nível III agrega classes similares às do nível IV, ele deve ser considerado como o nível mais apropriado para mapeamentos de áreas

estaduais ou com dimensões equivalentes, por exemplo, às regiões do país (Norte, Sul, Centro-Oeste, Sudeste e Nordeste) ou aos biomas brasileiros (Amazônia, Cerrado, Caatinga, Mata Atlântica, Pantanal e Campos Sulinos). A categorização do nível III pode assim ser considerada como o nível de suporte ao sistema de classificação.

O nível IV deve ser utilizado para mapeamentos municipais, intermunicipais e de microbacias hidrográficas, tendo em mãos, dados de sensoriamento remoto com resolução espacial moderada que permitem representação de objetos de tamanhos menores.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As imagens do satélite Landsat ETM+, analisadas em quatro escalas diferentes, permitiram o desenvolvimento de uma primeira tentativa para organizar, de maneira formal, uma legenda de classificação de uso e cobertura da terra do DF por meio da utilização de um sistema de classificação hierárquico, possibilitando que a legenda proposta possa ser aplicada e estendida para outras regiões, principalmente para o bioma Cerrado, com as modificações necessárias para atender às especificidades de cada área de estudo. Espera-se que o trabalho venha estimular um fórum de discussão para a elaboração de uma proposta de sistema de classificação ao nível nacional, com a participação de agências, órgãos, entidades e universidades, governamentais e privadas.

As imagens mostraram-se eficientes para identificação das classes em três níveis: exploratório, reconhecimento e semi-regional. A série histórica que o país já possui em termos de imagens do Landsat é outra razão para justificar a proposta de uso dessas imagens no sistema proposto por esse estudo.

As imagens adquiridas pelo satélite sino-brasileiro de recursos terrestres - CBERS CCD, o qual opera com sistemas de imageamento, em parte, similares ao sensor ETM+, possuem potencial para serem utilizadas no sistema proposto, em substituição às imagens do Landsat. Estudos complementares de aferição do sistema de classificação utilizando imagens do Landsat ETM+ de outras épocas do ano precisam ainda ser desenvolvidas principalmente em áreas que contêm classes de cobertura de solos com elevada sazonalidade.

TABELA 2 - PROPOSTA DO SISTEMA DE CLASSIFICAÇÃO DE USO E COBERTURA DA TERRA A PARTIR DA INTERPRETAÇÃO DE IMAGENS DO SATÉLITE LANDSAT ETM+, TENDO COMO ÁREA-TESTE, O DISTRITO FEDERAL.

1:1.000.000	1:500.000	1:250.000	1:100.000
1. Corpo d'Água	1.1. Reservatório e Lago	1.1.1. Reservatório	1.1.1.1. Reservatório 1.1.1.2. Reservatório para

		1.1.2. Lago	Estabilização de Esgotos 1.1.2.1. Lagoa 1.1.2.2. Lago
	1.2. Rio de primeira, segunda, terceira e quarta ordem	1.2.1. Rio de primeira, segunda, terceira e quarta ordem	1.2.1.1. Rio de primeira, segunda, terceira, quarta e quinta ordem
2. Cobertura Vegetal Natural	2.1. Formações Florestais do Cerrado	2.1.1. Mata de Galeria e/ou Mata Ciliar 2.1.2. Mata Indiferenciada	2.1.1.0. Mata de Galeria e/ou Mata Ciliar 2.1.2.0. Mata Indiferenciada
	2.2. Formações Savânicas e Campestres do Cerrado	2.2.1. Formações Savânicas do Cerrado 2.2.2. Formações Campestres do Cerrado ^(a)	2.2.1.0. Formações Savânicas do Cerrado 2.2.2.0. Formações Campestres do Cerrado ^(a)
3. Cobertura Vegetal Plantada	3.1. Área Agropastoril	3.1.1. Cultura 3.1.2. Pastagem	3.1.1.0. Cultura 3.1.2.0. Pastagem
	3.2. Área Irrigada por Pivô-central	3.2.1. Área Irrigada por Pivô-central com Cobertura Vegetal 3.2.2. Área Irrigada por Pivô-central sem Cobertura Vegetal	3.2.1.0. Área Irrigada por Pivô-central com Cobertura Vegetal 3.2.2.0. Área Irrigada por Pivô-central sem Cobertura Vegetal
	3.3. Reflorestamento	3.3.1. Reflorestamento de <i>Pinus</i> 3.3.2. Reflorestamento de <i>Eucalyptus</i>	3.3.1.0. Reflorestamento de <i>Pinus</i> 3.3.2.0. Reflorestamento de <i>Eucalyptus</i>
4. Superfície Constituída	4.1. Área Urbana Mista	4.1.1. Área Urbana Mista com Alta Densidade de Construção 4.1.2. Área Urbana Mista com Baixa Densidade de Construção	4.1.1.0. Área Urbana Mista com Alta Densidade de Construção 4.1.2.0. Área Urbana Mista com Baixa Densidade de Construção
	4.2. Rodovia	4.2.1. Rodovia Principal 4.2.2. Rodovia Secundária	4.2.1.1. Rodovia Principal Pavimentada 4.2.1.2. Rodovia Principal não Pavimentada 4.2.2.0. Rodovia Secundária.
	4.3. Pista de Pouso	4.3.1. Pista de Pouso	4.3.1.0. Pista de Pouso
5. Outros	5.0. Outros	5.0.0. Outros	5.0.0.0. Outros

(a) Notadamente, a classe Campo Limpo. As outras classes campestres (Campo Sujo e Campo Rupestre) apresentaram o mesmo padrão espectral das formações savânicas.

AGRADECIMENTOS

Esse estudo fez parte da dissertação de mestrado do primeiro autor na Universidade de Brasília, Instituto de Geociências. O CNPq tem fornecido bolsa de produtividade de pesquisa aos dois co-autores desse trabalho.

AGUIAR, M. O.; FERREIRA, L. G.; FERREIRA, M. E.; BORGES, R. O.; SANO, E. E.; GOMES, M. P. Mapeamento do uso e da cobertura vegetal do bioma Cerrado a partir de dados orbitais MODIS e SRTM e dados censitários. XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Florianópolis, 21-26 abril 2007. **Anais**. p. 2799-2801, 2007.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDERSON, J. R.; HARDY, E. E.; ROACH, J. T.; WITMER, R. E. **A land use and land cover**

classification system for use with remote sensor data. Geological Survey Professional Paper 964. Washington, DC. 1976

BRITO, J. L. S. Elaboração de um mapa de uso da terra recomendado da bacia do ribeirão Bom Jardim, Triângulo Mineiro, MG utilizando SIG. XI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Belo Horizonte, 05-10 abril 2003. **Anais**. p.1749-1754, 2003.

CAETANO, M.; SANTOS, T. GONÇALVES, L. Cartografia de ocupação do solo com imagens de satélite: estado da arte. In: VII Encontro Nacional de Utilizadores de Informação Geográfica, Lisboa, 2002. **Resumos**. 92 p., 2002.

CODEPLAN. **Atlas do Distrito Federal**. Brasília: CODEPLAN, v.1, 1984.

Di GREGORIO, A.; JANSEN, L. J. M. **Land Cover Classification System (LCCS): Classification Concepts and User Manual for Software Version 1.0**. Rome: FAO, 1998, 157 p.

EUROPEAN ENVIRONMENTAL AGENCY (EEA). **CORINE – Land Cover – Part 1: Methodology**. Bruxelas: Comission of the European Communities. 1995. 94p. Disponível em: <<http://reports.eea.eu.int>>.

GOWARD, S. N.; MASEK, J. G.; WILLIAMS, D. L.; IRONS, J. R.; THOMPSON, R. J. The Landsat 7 mission: terrestrial research and applications for the 21st century. **Remote Sensing of Environment**, v. 78, p. 3-12, 2001.

IBGE. **Censo Agropecuário 1995-1996**. Rio de Janeiro: IBGE, n. 25 (Goiás), 1997. 264 p.

IBGE. **Uso da terra no estado do Amapá**. Rio de Janeiro: IBGE, 2004, 137 p. (Relatório Técnico). Disponível em: <<ftp://geofp.ibge.gov.br/documentos/recursosnaturais/usodaterra/>>. Acesso em: 01 julho 2007.

JENSEN, J. R. **Remote Sensing of the Environment. An Earth Resource Perspective**. Upper Saddle River: Prentice Hall, 2000, 544 p.

MENESES, P. R.; MADEIRA NETTO, J. S. **Sensoriamento Remoto: reflectância dos alvos naturais** (org.). Brasília: UnB; Planaltina: Embrapa Cerrados, 2001, 262 p.

MOREIRA, M. A. **Fundamentos de sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**. Viçosa: UFV, 3^a ed., 2005, 320 p.

OKA FIORI, C.; FIORI, A. P.; HASUI, Y. **Dinâmica da ocupação do solo na bacia do rio Itiquira, Mato**

Grosso, Brasil. Revista RAEGA, Curitiba, n. 7, 2003. p.19-31.

PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E. **Sensoriamento remoto no estudo da vegetação**. São José dos Campos: Editora Parêntese, 2007, 140 p.

RIBEIRO, J. F.; WALTER, B. M. T. Fitofisionomias do bioma Cerrado. In: SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P. (eds.). **Cerrado: ambiente e flora**. Planaltina: Embrapa Cerrados, Cap. 3, 1998. p. 89-152.

SANO, E. E.; LIMA, J. E. W.; SILVA, E. M.; OLIVEIRA, E. C. Estimativa da variação na demanda de água por pivô-central no Distrito Federal entre 1992 e 2002. **Revista Engenharia Agrícola**, v. 25, p. 508-515, 2005.

SCHOWENGERDT, R. A. **Remote sensing, models and methods for image processing**. San Diego: Academic Press, 2^a ed., Cap. 9, p. 389-474, 1997.

SEMATEC. **Mapa de uso e ocupação do Distrito Federal (escala 1:100.000)**. Brasília: SEMATEC/IEMA, 1994.

STRAHLER, A. N. Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topography. **Geological Society America Bulletin**, v. 63, p. 1117-1142, 1952.