

## 2 Trabalhos Anteriores

Este capítulo apresenta algumas aplicações recentes do mapeamento temático de uso e cobertura do solo e alguns dos principais trabalhos anteriores abordando metodologias de interpretação baseada em conhecimento de imagens de sensores remotos.

### 2.1. Aplicações de mapeamento temático de uso e cobertura do solo

Nesta seção são apresentados alguns trabalhos relacionados ao uso de mapas temáticos.

O mapeamento temático de ocupação de solo é especialmente importante em estudos e planejamento ambientais e gestão de recursos naturais. Com esta ferramenta, é possível medir extensão e distribuição de classes na cobertura do solo e analisar a interação entre classes. Desta forma, pode-se identificar áreas apropriadas para certas atividades econômicas e subsidiar o planejamento do uso da terra. (Caetano et al., 2002).

Na China, por exemplo, o monitoramento e estimativa de produção de arroz são especialmente importantes e, portanto, são pesquisados métodos computacionais para realizar esta tarefa através de imagens de sensores remotos. (Shao et al., 2001)

Zhang (1998) propõe uma nova metodologia para detectar mudanças nas construções urbanas a partir da fusão de imagens de satélite Landsat TM e Spot. Imagens do sensor Landsat TM são ricas em informação espectral, mas têm resolução espacial relativamente grosseira, enquanto que as imagens Spot são ricas em informação espacial e oferecem baixa resolução espectral. Imagens resultantes da fusão de ambos sensores são, portanto, mais ricas em termos das resoluções espectral e espacial do que as imagens de cada sensor isoladamente. Os resultados de testes aplicados na área urbana de Shanghai, China, mostraram que

esse método extrai informações de construções urbanas mais detalhadas do que os métodos usuais de detecção de mudança sem fusão de imagens de diferentes sensores.

Outra questão importante neste contexto é a interação entre aspectos naturais e sociais do desenvolvimento humano. Esta problemática vem recebendo especial atenção nos últimos anos por parte da comunidade científica, resultando no desenvolvimento de modelos e programas que procuram integrar estes aspectos. Exemplos são o MIT Integrated Global System Model (IGSM) para o estudo de mudanças do meio ambiente e econômica (Prinn et al., 1999) e o LUCC (Land Use and Land Cover Change). Este último é resultado de uma iniciativa do International Geosphere and Biosphere Program (IGBP) (Turner et al., 1995).

Do mesmo modo que em outros países, o Brasil tem preocupado e dado mais atenção aos problemas ambientais. Por isso, tem-se investido em pesquisas em mapeamento temático do uso do solo para auxiliar no monitoramento e planejamento ambiental de projetos como PROARCO, PRODES, DETER e GEOMA.

Em Almeida-Filho & Shimabukuro (2002), uma série temporal de imagens Landsat TM ao longo de doze anos (1987–1999) foi usada para mapear e monitorar a evolução de áreas degradadas causadas por garimpeiros na procura por ouro e diamantes na Amazônia. O mapeamento foi feito através do processamento digital das imagens baseado em técnicas de classificação de objetos (Gitas et al., 2004; Hay et al. 1996; Laliberte et al., 2004). De acordo com as imagens, as áreas degradadas e abandonadas foram diminuindo ao longo do tempo. A análise dos dados indicou que o crescimento da vegetação é mais rápido perto da borda da região degradada. Baseado na taxa de crescimento derivada das imagens de satélite, foi possível inferir o tempo aproximado para que se regenere a vegetação em toda a área.

O desflorestamento na Amazônia brasileira tem também recebido mais atenção em anos recentes. Em Saatchi et al. (1997), é aplicado um classificador supervisionado bayesiano para distinguir cinco classes de cobertura de solo em imagens orbitais. Em Rignot et al. (1997), é feito o mapeamento do desflorestamento no estado de Rondônia.

Desde 1989, o INPE vem produzindo estimativas anuais das taxas de desflorestamento da Amazônia Legal através do projeto PRODES. Desde 2003,

estas estimativas estão sendo produzidas por classificação de imagens assistida pelo computador. A principal vantagem desse procedimento está na precisão do geo-referenciamento dos polígonos de desflorestamento, de forma a produzir um banco de dados geográfico multitemporal. Esse projeto visa o monitoramento sistemático do desflorestamento da Amazônia, utilizando imagens de sensores remotos e técnicas de processamento digital de imagens.

O projeto DETER (Detecção de Desmatamento em Tempo Real) faz parte do Plano de Combate ao Desmatamento da Amazônia do Governo Federal. O sistema DETER utiliza os sensores MODIS (TERRA e ACQUA – NASA) e WFI (CBERS-2) que, apesar da resolução espacial reduzida, permite detectar desmatamentos recentes cuja área seja superior a 0.25 km<sup>2</sup>. As deficiências de resolução espacial são compensadas pela maior frequência de observação. Isto permite que o DETER forneça aos órgãos de controle ambiental informação periódica sobre eventos de desmatamento, para que o Governo possa tomar medidas de contenção.

O GEOMA, uma rede cooperativa de pesquisas cujo objetivo é desenvolver modelos para avaliar e prever cenários de sustentabilidade para a região Amazônica, preocupa-se em auxiliar na formulação de políticas públicas, assim como reduzir e abrandar os efeitos de mudanças rápidas que acontecem na Amazônia, referentes às populações, ciclos naturais e biodiversidade.

## **2.2.**

### **Interpretação baseada em conhecimento de imagens de sensores remotos**

Os chamados sistemas baseados em conhecimento têm-se mostrado promissores em sistemas de interpretação automática de imagens de sensores remotos (Bückner et al., 2001; Grove, 1999; Liedtke et al., 1997, 2001; Matsuyama et al., 1990; Mota, 2004a; Mota et al., 2003 e 2004b; Müller et al., 2003; Niemann et al., 1990; Pakzad et al., 2003). Esses procuram modelar explicitamente em um ambiente automatizado, o conhecimento do especialista (foto-intérprete) utilizado para analisar visualmente imagens de sensores remotos. Em outras palavras, esses sistemas procuram emular em um computador o raciocínio do especialista, de modo a realizar automaticamente grande parte da

interpretação que, nos sistemas convencionais, dependem altamente da intervenção humana.

Neste processo, o conhecimento específico, normalmente fornecido por especialistas da região analisada, possui papel decisivo, pois influencia diretamente no desempenho da interpretação sobre os objetos esperados na cena.

Kunz et al. (1997) utiliza a abordagem para interpretação de imagens usando redes semânticas. Em seu trabalho, utilizaram-se imagens Landsat TM as quais foram analisadas com uso do sistema ERNEST que emprega redes semânticas. O ERNEST foi criado para tarefas gerais em reconhecimento de padrões.

Liedtke et al. (1997) desenvolveu o sistema AIDA após observar o crescente número de regiões representadas vetorialmente em sistemas de informação geográfica (SIG). A idéia relevante desse sistema é a utilização de informações extraídas de SIG juntamente com o conhecimento prévio. Além disso, a utilização de rede semântica em AIDA possibilita que vários sensores remotos sejam utilizados simultaneamente (Tönjes & Growe, 1998). A integração com informações extraídas de SIG aumenta o desempenho da interpretação realizada pelo sistema. O sistema AIDA foi empregado na interpretação de imagens com múltiplos sensores e multitemporais com resolução compatível com imagens aéreas, cujos componentes de objetos relevantes (edifícios, casas, fábricas e florestas) podem ser observados (Growe, 1999).

Como extensão ao AIDA, o sistema GeoAIDA (Geo Automatic Image Data Analyser) foi desenvolvido com um novo método de descrever a cena (Bückner, 2001, 2002a, 2002b; Liedtke et al., 2001). Esta abordagem considera que um objeto deve ser considerado por inteiro, ou seja, de forma global, não devendo ser decomposto. Esta abordagem tem como maior vantagem a redução do custo computacional durante a interpretação do conhecimento. Além disso, o sistema GeoAIDA utiliza conhecimento prévio sobre a cena interpretada para controlar a execução dos operadores (Bückner, 2002b).

Müller et al. (2003) emprega o GeoAIDA na interpretação baseada em conhecimento de imagens Spot na região de Teresópolis, localizada no estado do Rio de Janeiro. A interpretação utiliza conhecimento específico adquirido entrevistando o foto-intérprete que produziu o mapa temático de referência da região. Os critérios empregados na interpretação visual foram unidos e então formalizados em uma base de conhecimento utilizada como entrada para o sistema

GeoAIDA. Além disso, informações auxiliares, como o modelo digital do terreno e um mapeamento de corpos d'água e rodovias, foram empregadas.

O trabalho de Mota et al. (2003) apresenta um método para realizar a pós-edição de imagens interpretadas por especialistas com auxílio computacional. Esse método foi aplicado junto ao sistema GeoAIDA. Normalmente, nesta etapa, os especialistas utilizam sua experiência e informações adicionais a fim de corrigir as inconsistências produzidas nas etapas precedentes da interpretação. Nesse trabalho, os experimentos foram realizados com imagens Landsat TM, os quais indicaram a possibilidade de automatizar parte da tarefa de pós-edição, normalmente realizada pelo foto-intérprete.

Em Feitosa et al. (2005a, b) encontra-se um trabalho sobre técnicas baseadas em conhecimento aplicadas a interpretação de imagens Landsat da Amazônia. O trabalho indica que o uso destas técnicas pode ter um impacto importante na produtividade do processo de interpretação de imagens.

### **2.2.1. Interpretação multitemporal de imagens de satélite**

Entre as diversas formas de conhecimento que podem ser utilizadas em sistemas baseados em conhecimento, um conhecimento particularmente importante é o multitemporal. Esta modalidade de conhecimento expressa a relação entre a classe de um objeto num dado momento e a classe do mesmo objeto num instante anterior.

Diagramas de transição de estado têm sido utilizados em trabalhos anteriores como ferramenta para modelar o conhecimento multitemporal. Trata-se de um grafo em que os estados representam as classes da legenda e arcos indicam as transições de classes que podem ocorrer num dado intervalo de tempo. Em Bückner et al. (1999) e Grove et al. (2000), estes diagramas são usados, mas apenas com o intuito de identificar as alterações de classes possíveis e, assim, restringir o número de classes no espaço de busca para cada objeto no processo de classificação. Já em Pakzad (2001) e Grove (2001), a cada transição está associado um valor que expressa a possibilidade de ocorrência da mesma. Contudo, estes valores são usados meramente para definir a ordem da busca numa

árvore de soluções, melhorando, assim, o custo computacional, mas sem efeito sobre a acurácia da classificação.

Pakzad et al. (2003) descreve um procedimento para interpretação multitemporal de áreas de vegetação no Brasil usando imagens Landsat TM 5. O trabalho começa com uma interpretação monotemporal usando conhecimentos estrutural e espectral. O conhecimento multitemporal é introduzido no processo de classificação através de um diagrama de transição de estado que define as transições de estado possíveis, de acordo com a dinâmica das classes nos sítios de teste. Nessa aplicação o conhecimento multitemporal reduz o espaço de busca, e portanto, os erros de classificação.

O uso de valores contínuos para as possibilidades de transição como parâmetros das funções discriminantes foi introduzido em Mota (2004a). Nesse trabalho, é proposto um modelo para a interpretação baseada em conhecimento de imagens de satélite compatíveis com a produção de mapas temáticos em escala regional. A metodologia foi avaliada através de uma série de experimentos utilizando imagens de duas regiões da Alta Bacia do Rio Taquari ao leste do pantanal mato-grossense. O modelo emprega diferentes formas de conhecimento: espectral, contextual e multitemporal. Os resultados obtidos foram animadores e indicam que o uso de conhecimento multitemporal associado a valores nebulosos de possibilidade de transição é bastante promissor. Contudo a estimativa destas possibilidades é feita em Mota (2004a) de modo manual através de um método de tentativa e erro.

### **2.2.2.**

#### **Trabalhos publicados ao longo da presente pesquisa**

Como parte desta dissertação, foram publicados os artigos em Campos et al. (2005a, b) com resultados da busca automática dos valores das possibilidades de transição. Os experimentos realizados para validar a metodologia proposta utilizaram o mesmo procedimento de interpretação com conhecimento espectral e multitemporal apresentado em Mota (2004a). Nesse trabalho, investiga-se a utilização de algoritmo genético para estimar os valores das possibilidades de transição. Os resultados obtidos com a utilização de algoritmo genético foram

comparados com os obtidos manualmente. A comparação mostrou que o uso de algoritmo genético foi, em todos os casos, superior à alternativa manual de tentativa e erro para estimar parâmetros do modelo multitemporal.