

# UM SISTEMA ESPECIALISTA PARA ESPECIFICAÇÃO DE PRODUTOS DE IMAGEM DE SATÉLITE \*

Edson Luiz França Senne

Departamento de Matemática  
Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá - FEG/UNESP  
Caixa Postal 205 - 12500 - Guaratinguetá - SP

Antonio Miguel Vieira Monteiro  
Leonardo Sant'Anna Bins  
Antonio Francisco Júnior  
Flávio Roberto Dias Velasco

Departamento de Processamento de Imagens  
Instituto de Pesquisas Espaciais - INPE/MCT  
Caixa Postal 515 - 12201 - São José dos Campos - SP

## RESUMO

Para fazer uso efetivo das imagens de satélites, deve-se determinar qual produto de imagem usar, isto é, qual sensor, banda, escala, apresentação e datas são mais apropriadas para o problema em questão. É preciso também, saber como proceder para extrair a informação desejada da imagem e quais são as limitações desta informação. Este trabalho descreve um protótipo de um sistema especialista para auxiliar o usuário na primeira tarefa, ou seja, como especificar um produto de imagem mais indicado para um problema específico de sensoriamento remoto, dado um conjunto de recursos disponíveis. O sistema está limitado ao sensor TM do satélite LANDSAT.

## ABSTRACT

To make effective use of satellite images, one must determine which image product to use, that is, which sensor, band, scale, presentation and dates are more appropriate. Also it is necessary to know how to proceed to extract desired information from the images and what are the limitations of this information. This work describes a prototype of an expert system designed to assist the user in specifying which image product to use to solve a specific Remote Sensing problem, given a set of available resources. The system is restricted to LANDSAT TM images.

\* Trabalho financiado pela SID-Informática, Projeto ESTRÁ.

## 1. INTRODUÇÃO

**Sistemas especialistas** são, segundo Stefik et alii (1982), programas que resolvem problemas substanciais, geralmente considerados como difíceis e que requerem perícia. Estes sistemas são denominados **baseados em conhecimento** porque seu desempenho depende de fatos e heurísticas usados por especialistas. Ao invés de tentar resolver problemas gerais, os sistemas baseados em conhecimento têm enfatizado a acumulação de grandes quantidades de conhecimento em um único domínio e o desenvolvimento de técnicas específicas a este domínio, de modo a desenvolver um alto nível de perícia.

A maior diferença entre os sistemas especialistas e outros sistemas de aplicação é ter o conhecimento específico para a solução do problema como uma entidade separada (**base de conhecimento**), ao invés de contê-lo implicitamente no código do programa, misturado com as instruções de controle. Nos sistemas especialistas, a base de conhecimento é manipulada por uma estrutura de controle também claramente identificável (**motor de inferência**). A Figura 1 (Gevarter, 1982) mostra a estrutura básica de um sistema especialista.



Fig. 1 - Estrutura básica de sistema especialista

Apesar da área de sistemas especialistas estar amadurecendo rapidamente (Waterman, 1986), não existe ainda uma metodologia bem estabelecida para a construção destes sistemas. Contudo, a preocupação em organizar apropriadamente um sistema especialista de modo a refletir a complexidade do problema e a forma do conhecimento necessário para resolvê-lo, fez surgir, nos últimos anos, uma nova área de estudo: a **engenharia de conhecimento** (Halley and Williams, 1986).

Para desenvolver um sistema especialista, o engenheiro de conhecimento precisa, basicamente, especificar o **conhecimento estrutural** (identificação de termos, conceitos, relacionamentos entre conceitos e determinação de esquemas de representação) e o **conhecimento estratégico** (identificação de técnicas de como usar o conhecimento estrutural para resolver o problema) sobre o domínio de aplicação.

Imagens de satélite constituem uma ferramenta extremamente poderosa e de custo relativamente baixo, na solução de vários problemas de Sensoriamento Remoto, como por exemplo, o monitoramento da cobertura vegetal para facilitar o controle sobre desmatamentos e queimadas; a identificação e avaliação de áreas cultivadas para auxiliar na previsão de safras e permitir o planejamento da produção agrícola; o levantamento de áreas urbanas para análise e planejamento macroeconômicos.

Embora existam disponíveis no Brasil desde 1975, ainda hoje desenvolvem-se metodologias de uso dessas imagens nas várias áreas de aplicação: Análise Ambiental, Florestas, Agricultura, Geologia e Cartografia. Apesar da falta de conhecimento técnico a respeito desta ferramenta dificultar sua maior disseminação, o uso de imagens de satélites tem aumentado ano a ano. De fato, dado um problema em que imagens possam ser um instrumento de auxílio, duas perguntas, pelo menos, precisam ser respondidas:

- (a) qual produto de imagem empregar, ou seja, que sensor, banda espectral, escala, apresentação e datas de passagem do satélite são mais adequadas para o problema em questão?
- (b) que metodologia empregar, ou seja, como proceder para extrair a informação necessária da imagem, quais são as limitações das informações extraídas e que informações adicionais são necessárias?

Este trabalho apresenta um protótipo de sistema especialista, desenvolvido para auxiliar um usuário leigo em Sensoriamento Remoto a responder à primeira pergunta. O sistema tem informações suficientes, não para sugerir uma metodologia, mas para fazer observações e indicar referências que possam ser consultadas de modo a auxiliar o usuário na solução do segundo problema.

Este artigo apresenta na Seção 2, a metodologia empregada no desenvolvimento do sistema especialista; na Seção 3, descreve-se, sucintamente, a linguagem de programação OPS5, empregada na implementação do sistema; na Seção 4, mostram-se a organização do sistema e, em linhas gerais, os problemas de Sensoriamento Remoto atacados; na Seção 5, apresenta-se um exemplo de sessão de consulta ao sistema. Conclui-se, este trabalho, na Seção 6, com comentários acerca do uso de sistemas especialistas para resolver problemas de Sensoriamento Remoto.

## 2. METODOLOGIA EMPREGADA

O interesse em desenvolver um sistema especialista para auxiliar um usuário na especificação de produtos de imagem resultou de consultas à Coordenadoria de Orientação Técnica em Sensoriamento Remoto, do Instituto de Pesquisas Espaciais. Destas reuniões decidiu-se dividir o problema nas áreas de interesse cobertas pelo Departamento de Pesquisas e Aplicações: Agricultura, Análise Ambiental, Florestas e Geologia.

Para caracterizar os aspectos importantes do problema e determinar os conceitos necessários à sua solução, foram então realizadas entrevistas com o propósito de extrair o conhecimento de especialistas de cada uma das áreas de interesse. Foram realizados dois tipos de entrevistas:

- com grupos de especialistas, na qual foram especificados, em linhas gerais, os problemas e os produtos de imagem adequados a uma determinada área;
- com especialistas individualmente, para aprofundar o conhecimento sobre um tema específico.

Destas reuniões decidiu-se concentrar ainda mais o campo de atuação do sistema: somente aos problemas de mapeamento de cultura, para a área de Agricultura; de uso da terra, para a área de Análise Ambiental; e de caracterização de vegetação, mapeamento de áreas de desertificação, queimada e desmatamento, identificação de área úmida e diferenciação geo-morfológica, para a área de Florestas. Decidiu-se também limitar a recomendação do sistema aos produtos do sensor TM do Landsat, estabelecendo algumas correspondências entre bandas espec-

trais deste sensor, para bandas do sensor MSS.

Para a representação do conhecimento dos especialistas decidiu-se empregar o esquema de **regras de produção** (Davis et alii, 1977) e para a implementação, tomou-se por base a linguagem de programação OPS5 (Forgy, 1981), que tem características importantes para o desenvolvimento de sistemas especialistas, uma vez que, por si só, a linguagem já constitui um eficiente motor de inferência.

## 3. A LINGUAGEM DE PROGRAMAÇÃO OPS5

Um programa em OPS5 consiste de duas partes: uma seção de declarações e outra de regras (ou produções). A seção de declarações define classes de dados e as funções externas que podem ser chamadas. Durante a execução, não é feita distinção entre fatos (informações imutáveis) e dados (informações dinâmicas). Ambos residem numa única memória: a **memória de trabalho**. A diferença está em que informações estáticas (fatos) não são alteradas no curso da execução. A memória de trabalho e a memória de regras constituem a **base de conhecimento** utilizada para resolver o problema.

As regras são compostas de um lado esquerdo e de um lado direito e são da forma **condição --> ação**, indicando que a **ação** pode ser executada, caso a **condição** seja satisfeita. O motor de inferência casa, seleciona e executa regras através do encadeamento progressivo. A linguagem provê recursos para a simulação do encadeamento retroativo, útil para a solução de alguns problemas.

A linguagem OPS5 permite a definição de dados não-estruturados (escalares) e de dados estruturados. Os dados escalares podem ser números e átomos simbólicos. Um átomo simbólico é uma sequência de caracteres que não é um número nem um operador aritmético. Os dados estruturados em OPS5 podem ser classes ou vetores. Classes são semelhantes às estruturas de linguagens como Pascal ou C. Uma classe tem um nome e um conjunto de atributos, e cada atributo é identificado por um nome.

Elementos da memória de trabalho são, em geral, de uma das classes definidas na seção de declaração. Cada atributo de um elemento pode ter

um valor escalar (número ou átomo simbólico) em tempo de execução.

A todo elemento da memória de trabalho está associado uma marca de tempo que é um número inteiro que indica quão recentemente o elemento foi criado. Elementos diferentes têm marcas diferentes e marcas maiores correspondem a elementos mais recentes.

Uma regra é composta do átomo simbólico "p", do lado esquerdo, do átomo simbólico "-->" e do lado direito, tudo entre parênteses. O lado esquerdo é uma lista de condições e o lado direito uma lista de ações.

Uma condição é um padrão que deve casar um elemento de memória. Assim, se é desejo casar um elemento pertencente a uma classe, deve-se dar o nome da classe e os valores que devem ter os atributos.

Variáveis em OPS5 são identificadas por serem átomos simbólicos sem brancos, começados por "<" e terminados por ">". Ao invés de um escalar, pode-se escrever uma variável no lugar de um valor de atributo. Variáveis casam qualquer valor e ficam ligadas ("bound") ao valor casado.

O lado esquerdo é satisfeito quando existe pelo menos uma lista de elementos, de mesmo comprimento que a lista de condições, onde cada elemento casa a condição correspondente. Na lista de elementos pode haver repetição, ou seja, um mesmo elemento casar duas condições. Se um elemento casa uma condição precedida do sinal "-" (menos), então a regra é inibida (não é habilitada).

As regras habilitadas são ordenadas, junto com os dados que as ativaram, no **conjunto de conflito** de acordo com a antiguidade dos dados e a especificidade da regra. Uma vez selecionadas do conjunto de conflito, as regras disparam seus lados direitos. As ações do lado direito permitem que o conteúdo da memória de trabalho seja atualizado, que arquivos sejam abertos, fechados, lidos e escritos, que expressões sejam calculadas, enfim tudo que se espera de uma linguagem de programação.

O motor de inferência do OPS5 executa o seguinte ciclo:

#### **repeat**

faça o casamento;

**exit if** alguma das condições é verdadeira:

- conjunto de conflito está vazio;
- a ação **halt** é uma das ações da última produção disparada;
- atingiu o número de ciclos determinado no comando **run**;
- disparou regra assinalada no comando **pbreak** como ponto de parada;

selecione regra;

execute regra selecionada;

**end.**

## **4. ORGANIZAÇÃO DO SISTEMA**

A especificação de produtos de imagem de satélite depende, em geral, do tipo de problema a ser resolvido e do domínio ao qual o problema está associado. Cada área de aplicação, contudo, requer que uma série de outros atributos sejam determinados de modo a identificar melhor o problema e permitir a especificação de um produto de imagem adequado para resolvê-lo.

Para a área de Agricultura, os problemas mais comuns são: mapeamento e área de uma dada cultura, fitossanidade, eventos episódicos (geadas, secas, enchentes, gafanhotos), solos (classificação, mapeamento, erosão, salinização, degradação), produtividade, e zoneamento ou aptidão agrícola. Além do problema, outros fatores influem na especificação do produto de imagem: região, topografia, dimensão, resolução do objeto sob estudo, tipo de cultura, sistema de cultivo, urgência, data de ocorrência e duração do fenômeno e infraestrutura disponível. Para esta área, a versão atual do sistema especialista resolve problemas relativos ao mapeamento de cultura. São consideradas individualmente, as lavouras de soja, milho, arroz, cana-de-açúcar, trigo, café, centeio e aveia.

Para a área de Análise Ambiental, os problemas mais frequentes são: levantamento de uso da terra, erosão, irrigação, recursos hídricos (assoreamento, inundação, geomorfologia e qualidade da água) e áreas urbanas. Nesta área, atualmente o sistema especialista indica as imagens de satélite mais adequadas a serem utilizadas na geração de mapas contendo informações sobre o uso da terra na região de interesse.

Os problemas de uso da terra são os mais simples em Análise Ambiental.

Basicamente, considera-se na recomendação de imagens de satélite a escala do mapa final (por exemplo, se deve ser produzido um mapa na escala de 1:100.000 não faz sentido recomendar imagens com escala 1:250.000 ou menores) e a região em que se deseja fazer o levantamento (a região influência na escolha das bandas do satélite). A cada recomendação são feitas observações quanto a utilização de dados auxiliares (documentos cartográficos, trabalho de campo, ...) para ajudar na confecção dos mapas.

Para a área de Florestas, na indicação de produtos de imagem deve-se considerar em primeiro lugar o domínio fito-geográfico, e depois o problema. Os domínios fito-geográficos atualmente abordados são os seguintes: amazônia, caatinga, pantanal, atlântica, araucária, litorânea, campos e cerrado.

Os problemas atualmente atacados nesta área são: caracterização de vegetação, desertificação, queimada, desmatamento, identificação de área úmida, lâmina d'água e diferenciação geomorfológica. Os problemas de mapeamento de vegetação, cálculo de área, estimativa de volume de madeira, reflorestamento de pinus e reflorestamento de eucalipto, apesar de amplamente conhecidos pelos especialistas, não foram incluídos na versão atual do sistema.

A Figura 2 mostra a estrutura atual do sistema especialista.

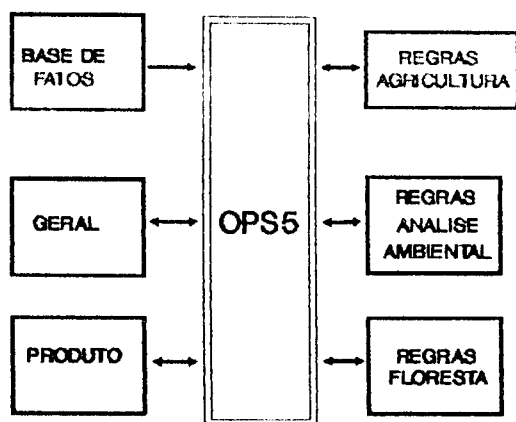


Fig. 2 - Organização do sistema

A BASE DE FATOS, armazena conhecimentos pré-estabelecidos, como o código dos produtos-imagem disponíveis, o custo unitário, época de estações chuvosa e seca para as regiões do país, ... O bloco GERAL é

o responsável pelo encaminhamento do usuário no sistema. O conjunto de regras em GERAL busca definir o problema do usuário e suas solicitações, estabelecendo o contexto da consulta. Os blocos AGRICULTURA, ANÁLISE AMBIENTAL e FLORESTA guardam na forma de regras, o conhecimento dos especialistas destas áreas, e levam à determinação de qual ou quais produtos-imagem são adequados para a situação proposta pelo usuário. O bloco PRODUTO é responsável pela interface de saída, a qual mostra os produtos-imagem recomendados e as observações que caracterizam aquela solução proposta.

Mostram-se a seguir algumas regras da base de conhecimento do sistema.

#### REGRA 1:

```

(p AMB-define-papel
  (APLICAÇÃO ^area ambiental
              ^dominio amazonia)
  (USUARIO ^infra-estrutura papel)
  (PROBLEMA ^tipo "uso da terra")
  (RESP ^resposta "1:50.000"
        ^tipo escala)
-->
  (make TIPO-PRODUTO
    ^tipo-de-produto preto-e-branco
    ^escala "1:50.000"
    ^v-bandas "3" "4" "5")
  (make TIPO-PRODUTO
    ^tipo-de-produto composição
    ^escala "1:50.000"
    ^v-bandas "3" "4" "5")
)
  
```

Esta regra mostra, parcialmente, recomendações de imagem de satélite para um problema da área de Análise Ambiental. Ela estabelece que, para um problema de uso da terra na região da Amazônia, para o qual o usuário deseja um mapa final na escala 1:50.000, são recomendados produtos fotográficos, preto-e-branco ou composição colorida, na escala 1:50.000 e bandas 3, 4 e 5.

#### REGRA 2:

```

(p AGR-arroz
  (APLICAÇÃO ^area agricultura
              ^região centro-sul)
  (LAVOURA ^dominio arroz
            ^mes-plantio 11)
-->
  (make PLATAFORMA-ORBITAL
    ^passagem-inicio 1
    ^passagem-fim 2
    ^satelite TM5)
)
  
```

Neste caso a regra estabelece a época de passagem do satélite, para um problema de mapeamento de cultura da área de Agricultura. Tem-se que, para uma lavoura de arroz cujo mes de plantio é novembro, a época mais adequada de passagem do satélite é entre os meses de janeiro e fevereiro.

### REGRA 3:

```
(p FLT-caatinga
  (APLICAÇÃO ^area floresta
    ^dominio caatinga
    ^relevo nil
    ^solo nil)
  (PROBLEMA ^tipo queimada)
  (USUARIO ^infra-estrutura papel)
  { (PLATAFORMA-ORBITAL)
  <PLATAFORMA> }
  - (TIPO-PRODUTO ^tipo-de-produto
    <<preto-e-branco composição >> )
-->
  (make TIPO-PRODUTO
    ^tipo-de-produto preto-e-branco
    ^escala "1:100.000"
    ^v-bandas "5" "4")
  (make TIPO-PRODUTO
    ^tipo-de-produto preto-e-branco
    ^escala "1:250.000"
    ^v-bandas "5" "4")
  (modify <PLATAFORMA>
    ^passagem-inicio 8
    ^passagem-fim 10)
)
```

Esta regra reproduz o conhecimento dos especialistas em Florestas que, para um problema de queimada no domínio caatinga, as bandas mais recomendadas são 5 e 4, a escala deve ser 1:100.000 ou 1:250.000 e a passagem do satélite deve ser no fim da época seca.

## 5. SESSÃO DE CONSULTA AO SISTEMA

Apresenta-se a seguir uma sessão de consulta ao sistema, para resolver um problema de Agricultura: mapeamento de cultura de arroz.

Inicialmente, o sistema procura extrair do usuário as informações básicas necessárias para caracterizar o problema a ser resolvido, com perguntas sobre o domínio do problema, a região em que ele se encontra, o tipo de relevo, o tipo de solo, ... O sistema procura também, caracterizar o usuário: que infra-estrutura ele dispõe para a análise dos produtos de imagem, o número de cópias que necessita, com que urgência, ... No trecho de sessão a seguir, as

resposta do usuário são mostradas em **negrito**.

### ----- ESPECIFICAÇÃO PRODUTO-IMAGEM --

Qual a região em que se encontra a area? **centro-sul**  
 Qual a localidade (cidade) da area desejada? **Bojuru**  
 Qual o ano para a imagem desejada? **86**  
 Pretende utilizar equipamento para processamento digital? **sim**  
 Pretende utilizar mesa de luz para transparencia? **não**  
 Deseja produto fotografico? **sim**  
 Qual a sua urgencia (em dias)? **45**  
 Quantas copias sao desejadas? **1**  
 Qual a sua lavoura? **arroz**  
 Qual o tipo de relevo? **ondulado**  
 Qual o tipo de solo? **roxo**  
 Qual a extensao da lavoura (em hectares)? **450**  
 Em que época ocorreu o plantio (mes)? **10**  
 Como a cultura recobre o solo? **parcialmente**  
 Sua lavoura e (i)rrigada ou (n)ao irrigada? **i**

Com base nestas informações, o sistema procura identificar os atributos referentes ao tipo de produto a ser recomendado, como a apresentação (fotografia, preto-e-branco, composição colorida, fita magnética, ...), a escala, o tamanho (imagem inteira ou quadrante) e as bandas espectrais. Procura também especificar os atributos da plataforma orbital (qual a passagem do satélite, qual o quadrante, qual a órbita, ...) e outros atributos, como custo do produto, tempo de entrega, ... Para cada problema são recomendados diversos produtos de imagem e feitas observações relevantes a cada tipo de produto recomendado. Para o problema desta sessão, o sistema faz quatro recomendações:

### PRODUTOS-IMAGEM DE SATELITE

```
-----
SATELITE: TM5
ORBITA: ANO: 86
PASSAGEM ENTRE OS MESES DE: 1 1
RECOMENDAÇÃO:
CCT CODIGO:
CUSTO:
BANDAS: 2 3 4 QUADRANTE:
TEMPO: 45 DIAS COPIAS: 1
OBSERVAÇÕES:
Procure escolher a passagem proxima
ao periodo de completa irrigação da
lavoura.
```

#### PRODUTOS-IMAGEM DE SATELITE

-----  
SATELITE: TM5  
ORBITA: ANO: 86  
PASSAGEM ENTRE OS MESES DE: 1 1  
RECOMENDAÇÃO:  
PRETO-E-BRANCO 1:50.000 CODIGO:  
CUSTO:  
BANDAS: 3 4 QUADRANTE:  
TEMPO: 45 DIAS COPIAS: 1  
OBSERVAÇÕES:  
Sua composição de terras roxas com relevo não acidentado facilita a interpretação visual dos dados. Procure escolher a passagem próxima ao período de completa irrigação da lavoura.

#### PRODUTOS-IMAGEM DE SATELITE

-----  
SATELITE: TM5  
ORBITA: ANO: 86  
PASSAGEM ENTRE OS MESES DE: 1 1  
RECOMENDAÇÃO:  
PRETO-E-BRANCO 1:100.000 CODIGO:  
CUSTO:  
BANDAS: 3 4 QUADRANTE:  
TEMPO: 45 DIAS COPIAS: 1  
OBSERVAÇÕES:  
Sua composição de terras roxas com relevo não acidentado facilita a interpretação visual dos dados. Procure escolher a passagem próxima ao período de completa irrigação da lavoura.

#### PRODUTOS-IMAGEM DE SATELITE

-----  
SATELITE: TM5  
ORBITA: ANO: 86  
PASSAGEM ENTRE OS MESES DE: 1 1  
RECOMENDAÇÃO:  
COMPOSIÇÃO 1:100.000 CODIGO:  
CUSTO:  
BANDAS: 2 3 4 QUADRANTE:  
TEMPO: 45 DIAS COPIAS: 1  
OBSERVAÇÕES:  
Procure escolher a passagem próxima ao período de completa irrigação da lavoura.

## 6. CONCLUSÃO

O sistema especialista para especificação de produtos de imagem está atualmente em fase de testes. Os testes vem sendo realizados junto aos especialistas do Departamento de Pesquisas e Aplicações da área de Sensoriamento Remoto do Instituto de Pesquisas Espaciais, que têm, em geral, concordado com as recomendações apresentadas pelo sistema. Contudo, algumas melhorias tem sido apon-

tadas. É preciso refinar um pouco mais as regras do sistema, eliminar perguntas consideradas irrelevantes, e melhorar as observações que acompanham cada recomendação. Espera-se, após esta fase inicial de testes, corrigir as deficiências apresentadas para, em seguida, enriquecer a base de conhecimento do sistema de modo a permitir que outros problemas de Agricultura, Floresta e Análise Ambiental, já identificados, possam ser atacados.

Embora as aplicações de sistemas especialistas possam ser classificadas em várias categorias, a maioria dos sistemas especialistas para Sensoriamento Remoto têm sido na área de interpretação, ou seja, na "inferência de descrições de situações a partir de dados de sensores" (Hayes-Roth et alii, 1983). Entre estas aplicações podem-se citar a atualização de mapas florestais a partir de imagens LANDSAT (Goldberg et alii, 1985), classificação de uso do solo urbano (Wharton, 87), análise de fotografias aéreas (Matsuyama, 87; Nicolin and Gabler, 87; McKeown et alii, 85), análise de consistência entre mapa e imagem (Goodenough et alii, 87) e cartografia (Yee, 87; Wang and Newkirk, 87).

Duas são as razões principais para a concentração das aplicações na área de interpretação. A primeira é que só recentemente técnicas de Inteligência Artificial têm sido empregadas em Sensoriamento Remoto e interpretação é um componente indispensável na maioria dos sistemas. A segunda razão é o potencial dos sistemas especialistas na tarefa de interpretação. Sistemas especialistas provêm mecanismos poderosos e flexíveis para a integração de informações de diversas fontes (McKeown, 87; Taylor et alii, 86; Coulson et alii, 87). É simples, por exemplo, incorporar dados históricos, geográficos e outros na tarefa de classificação, além da informação espectral e contextual da imagem.

Certamente a interpretação não esgota o espectro de aplicações de sistemas especialistas em Sensoriamento Remoto. Um sistema que apresenta certas semelhanças com o sistema apresentado neste trabalho é o "Analyst Advisor" (Goodenough et alii, 87), desenvolvido no Centro Canadense de Sensoriamento Remoto.

O Analyst Advisor é um sistema especialista que ajuda usuários no uso do sistema LDIAS ("Landsat

Digital Image Analysis System") do Centro Canadense. O software do sistema LDIAS é composto de mais que um milhão de linhas de código, organizados em mais que 20 menús, cada um tendo, tipicamente, 15 opções. O hardware é composto de vários computadores ligados por uma rede Ethernet. Os passos gerais do Analyst Advisor são:

- 1) determine, do usuário, a aplicação, os produtos finais e a precisão desejada;
- 2) obtenha as imagens e os mapas desejados;
- 3) analise os dados usando especialistas de vários níveis;
- 4) avalie as precisões alcançáveis pelos vários mecanismos de extração de informação e selecione a estratégia;
- 5) produza dados de saída.

## 7 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- COULSON, R. N.; FOLSE, L. J.; LOH, D. K. Artificial Intelligence and natural resource management. *Science*, 237:262-267, July 1987.
- DAVIS, R.; BUCHANAN, B.; SHORTLIFFE, E. Production rules as a representation for a knowledge-based consultation program. *Artificial Intelligence*, 8(1):15-45, Feb. 1977
- FORGY, C. L. **OPS5 User's Manual**, relatório técnico CMU-CS-81-135, Department of Computer Science, Carnegie-Mello University, Pittsburgh, July 1981.
- GEVARTER, W.B. **An overview of expert systems**. Washington, DC, NASA, 1982. (NASA - CR-169197).
- GOLDBERG, M.; GOODENOUGH, D. G.; ALVO, M.; KARAN, G. M. A hierarchical expert system for updating forestry maps with LANDSAT data. *Proceedings of the IEEE*, 3(6):1054-1063, June 1985.
- GOODENOUGH, D. G.; GOLDBERG, M.; PLUNKETT, G.; ZELEK, J. An expert system for remote sensing. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, GE-25(3):349-359, May 1987.
- HALLEY, P.; WILLIAMS, C. Expert system development requires knowledge engineering. *Computer Design*, 25(4): 83-88, Feb. 1986.
- HAYES-ROTH, F.; WATERMAN, D. A.; LENAT, D. B. **Building Expert Systems**, Addison-Wesley, 1983.
- MATSUYAMA, T. Knowledge-based aerial image understanding systems and expert systems for image processing. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, GE-25(3):305-316, May 1987.
- McKEOWN, D. M. The role of Artificial Intelligence in the integration of remotely sensed data with Geographic Information Systems. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, GE-25(3):330-348, maio 1987.
- McKEOWN, D. M.; HARVEY, W. A.; McDERMOTT, J. Rule-based interpretation of aerial imagery. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, PAMI-7(5):570-585, Sep. 1985.
- NICOLIN, B.; GABLER, R. A Knowledge-based system for the analysis of aerial images. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, GE-25(3):317-329, May 1987.
- STEFIK, M.; AIKINS, J.; BALZER, R.; BENOIT, J.; BIRNBAUM, L.; HAYES-ROTH, F.; SACERDOTI, E. The organization of expert systems: a tutorial. *Artificial Intelligence*, 18(2):135-173, Mar. 1982.
- TAILOR, A.; CROSS, A.; HOGG, D. C.; MASON, D. C., Knowledge-based interpretation of remotely sensed images, *Image and Vision Computing*, 4(2):67-83, maio 1986.
- WANG, F.; NEWKIRK, R. A knowledge-based system for highway network extraction. IGARS'87 Symposium, *Proceedings*. Ann Arbor, May 1987, p.343-347.
- WATERMAN, D.A. **A guide to expert systems**, Reading, MA, Addison-Wesley, 1986.
- WHARTON, S. W. A spectral-knowledge-based approach for urban land-cover discrimination. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, GE-25(3):272-282, May 1987.
- YEE, B. An expert system for planimetric feature extraction. IGARS'87 Symposium. *Proceedings*. Ann Arbor, May 1987, p. 321-325.