

SPRING-2.0: Modelagem, Linguagens e Funcionalidade¹

DPI ET AL.

Divisão de Processamento de Imagens

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE

Av. dos Astronautas, 1758, São José dos Campos (SP), Brazil 12227-001

spring@dpi.inpe.br

Abstract. This paper presents the evolution and the new features which comprise version 2.0 of the SPRING software. SPRING is an integrated GIS and Image Processing system, designed to operate in UNIX, OS/2 and Windows platforms.

Keywords. Geographical information systems, Image Processing systems.

1 Introdução

O desenvolvimento de uma nova geração de sistemas de Processamento de Imagens e Geoprocessamento no INPE iniciou-se em 1991, e teve seu primeiro resultado concreto em 1993, com o lançamento da versão 1.0 do SPRING (Sistema para **P**rocessamento de **I**nformações **G**eoreferenciadas).

Este trabalho tem por objetivo descrever a evolução do sistema SPRING durante os anos de 1993 a 1996, com ênfase na versão 2.0 do sistema SPRING.

Dividimos a apresentação em seis partes. Na seção 2, recapitulamos os objetivos gerais do desenvolvimento do sistema SPRING. Na seção 3, descrevemos os objetivos da versão 2.0 do sistema. A seguir, a seção 4 contém uma descrição do novo modelo de dados orientado-a-objetos. A seção 5 contém uma apresentação sobre a linguagem LEGAL, ambiente de consulta e manipulação de dados geográficos. Na seção 6, indicamos as novas funções disponíveis. Finalmente, a seção 7 descreve a evolução esperada do sistema.

2 Objetivos Gerais do Projeto SPRING

A motivação básica para o desenvolvimento do SPRING baseia-se em duas premissas: *integração de dados* e *facilidade de uso*. No primeiro caso, constatamos que a complexidade dos problemas ambientais do Brasil requer uma forte capacidade de integração de dados entre imagens de satélite, mapas temáticos e cadastrais, e modelos numéricos de terreno. Adicionalmente, muitos dos sistemas disponíveis no mercado nacional

apresentam alta complexidade de uso e demandam tempo de aprendizado muito longo.

Os objetivos do sistema SPRING são (Câmara et al., 1993):

- Integrar as tecnologias de Sensoriamento Remoto e Sistemas de Informação Geográfica.
- Utilizar modelo de dados orientado-a-objetos, que melhor reflete a metodologia de trabalho de estudos ambientais e cadastrais.
- Fornecer ao usuário um ambiente interativo para visualizar, manipular e editar imagens e dados geográficos.

O SPRING objetiva ainda preservar o investimento dos usuários dos sistemas SITIM e SGI, uma vez que todos os dados gerados nestes sistemas podem ser totalmente aproveitados (inclusive com topologia) no novo ambiente.

3 Objetivos Específicos

O SPRING-2.0 foi construído para ser um SIG de *segunda geração*. Os sistemas desta geração são concebidos para uso em conjunto com ambientes cliente-servidor. Usualmente, tais sistemas funcionam acoplados a gerenciadores de bancos de dados relacionais (para uma visão sobre as gerações de SIG, consultar Câmara e Freitas, 1995).

Os objetivos desta versão são:

- Dar suporte a um banco de dados geográficos de grande porte, sem estar limitado pelo recorte de

¹ Trabalho apoiado pelo CNPq (programas RHAe e PROTEM/CC- projeto GEOTEC)

projeções cartográficas. A identidade dos objetos é mantida em todo o banco de dados.

- Aprimorar a integração de dados geográficos, com a introdução explícita do conceito de objetos geográficos (entidades individuais), de mapas cadastrais e mapas de redes.
- Obter completa escalabilidade, isto é, o sistema deve ser capaz de operar com funcionalidade plena tanto em PCs rodando Windows 3.1 ou OS/2, como em estações de trabalho UNIX de alto desempenho.
- Prover uma interface que combine aplicações comandadas por “menus” e uma linguagem de consulta e manipulação espacial.

Para alcançar estes objetivos, o SPRING 2.0 está baseado em um modelo de dados orientado-a-objetos, que combina as idéias de “campos” e “objetos geográficos”. Deste modo, derivamos tanto a interface dirigida por menus, quanto a linguagem LEGAL (ver seção 5). Algoritmos inovadores como *segmentação de imagens e classificação por regiões* (Bins et al., 1995) e *modelagem por triangulação com restrições* (Namikawa, 1995) complementam os métodos tradicionais de processamento de imagens e análise geográfica.

4 Modelo de Dados

4.1 Visão Geral

Em Geoprocessamento, o espaço geográfico é modelado segundo duas visões complementares: os modelos de *campos* e de *objetos* (Worboys, 1995). O modelo de campos (*field model*) enxerga o espaço geográfico como uma superfície contínua, sobre a qual variam os fenômenos a ser observados segundo diferentes distribuições. Por exemplo, um mapa de vegetação descreve uma distribuição que associa a cada ponto do mapa, um tipo específico de cobertura vegetal.

O modelo de objetos (*object model*) representa o espaço geográfico como uma coleção de entidades distintas e identificáveis. Por exemplo, um cadastro espacial dos lotes de um município identifica cada lote como um dado individual, com atributos que o distinguem dos demais.

Embora a dualidade campos-objetos já esteja estabelecida na literatura (Goodchild, 1992), são poucos os modelos de dados disponíveis que a explicitam diretamente, e a literatura não contempla uma visão unificadora do problema.

Para derivar um modelo de dados orientado-a-objetos, será necessário distinguir entre o *nível conceitual* (onde as entidades abstratas são definidas) e o *nível de implementação* (onde as estruturas

geométricas vetoriais e matriciais são associadas aos dados geográficos). Portanto, a seguir descrevemos os modelos conceitual e de representação do SPRING-2.0 e indicamos como estes modelos se relacionam com a interface do sistema.

4.2 Nível Conceitual

No nível conceitual, contemplamos as classes *geo-campos* e *geo-objetos* como classes básicas, e buscamos encontrar generalizações e especializações úteis a partir destes conceitos. O nível conceitual do modelo de dados está mostrado na Figura 1.

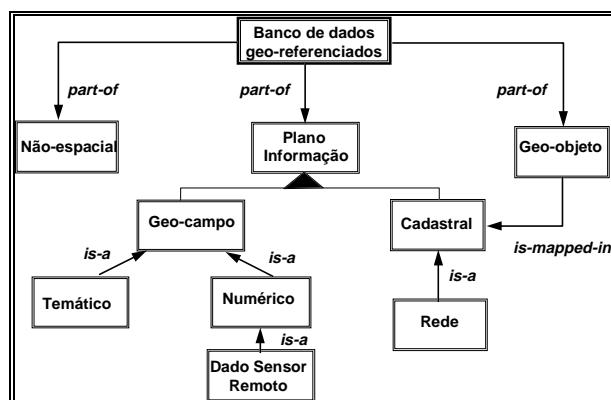


Figura 1 - Modelo de Dados do SPRING (nível conceitual).

Na figura 1, o termo “is-a” indica um relacionamento de *especialização* (que define subclasses) e o termo “part-of” denota o relacionamento de *agregação* (onde uma classe é composta de outras classes). Nos parágrafos seguintes, as classes do modelo serão indicadas em SMALLCAPS.

A classe GEO-CAMPO indica as entidades que representam grandezas distribuídas espacialmente de forma contínua, como aptidão agrícola, mapas geológicos, altimetria e teor de minerais. Esta classe pode ser especializada em GEO-CAMPO TEMÁTICO e GEO-CAMPO NUMÉRICO. Um elemento da classe GEO-CAMPO TEMÁTICO é um geo-campo cujos valores são tomados em um conjunto finito enumerável (os *temas* de um mapa). Um geo-campo de aptidão agrícola é um exemplo de um geo-campo temático.

As instâncias de GEO-CAMPO NUMÉRICO (tradicionalmente chamadas de *modelos digitais de terreno*) definem geo-campos cujos valores são tomados no conjunto de reais \mathbb{R} . Já a classe DADO DE SENSOR REMOTO representa um caso particular (especialização) de GEO-CAMPO NUMÉRICO, cujos valores correspondem à quantização da resposta obtida por um sensor (passivo ou ativo) para uma região geográfica. Neste caso, a cada

área geográfica, definida pelas características do sensor, é obtido um valor digital discretizado.

As instâncias da classe GEO-OBJETO correspondem a elementos identificáveis, que possuem atributos descritivos (usualmente armazenados num banco de dados convencional), e que podem ter várias representações geométricas. Esta definição permite que um geo-objeto possa estar associado a representações em diferentes projeções (ou recortes cartográficos), distintas escalas e em várias instâncias temporais.

Para ilustrar este conceito, consideremos a figura 2, que ilustra um possível banco de dados da Amazônia. Na figura, os quadrados pontilhados representam o recorte espacial do banco de dados, e a localização de alguns rios e reservas indígenas está indicada. Neste banco, cada rio ou reserva será modelado como um *geo-objeto* e haverá apenas um geo-objeto denominado “rio Amazonas”, com representações em diferentes particionamentos espaciais do banco de dados.

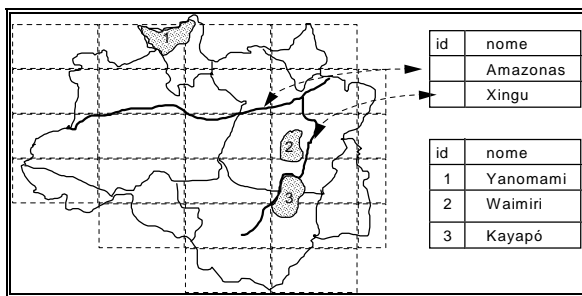


Figura 2 - Múltiplas Representações de Geo-Objetos.

Para permitir a associação de representações multi-projeções e multi-temporais a um único geo-objeto, e armazenar as relações de topologia entre os geo-objetos representados num mesmo mapa, o SPRING define uma classe CADASTRAL (também chamado de MAPA CADASTRAL). As instâncias desta classe definem um mapeamento de geo-objetos para uma determinada região geográfica e projeção cartográfica.

O caso de mapas cadastrais (e de geo-objetos neles localizados), pode ser ilustrado com o exemplo de um mapa de lotes de uma cidade. Aqui, podemos criar duas categorias: *Lotes*, especialização de GEO-OBJETO, e *MapaLotes*, especialização de CADASTRAL. No caso dos lotes, a informação associada poderia ser: número do cadastro na Prefeitura, endereço, área construída, valor do IPTU (vide Tabela 1), etc.

TABELA 1

Exemplo de Atributos para “Lotes”

geoid	num_cad	área	endereço	IPTU (R\$)
-------	---------	------	----------	------------

154	195689	1500	Serimbura,60	350
-----	--------	------	--------------	-----

Para os elementos da categoria *MapaLotes*, os atributos típicos seriam as seguintes características do mapa: número do mapa, região da cidade, escala do mapa, data do levantamento, etc, como ilustrado na tabela 2.

TABELA 2

Exemplo de Atributos para *MapaLotes*

geoid	número	região	escala	ano
345	273	Jardim Esplanada	2000	1986

Para estabelecer a ligação entre os geo-objetos e suas representações (em nosso exemplo, entre lotes e suas localizações num mapa de lotes) é preciso associar os polígonos (ou arcos) do mapa cadastral aos geo-objetos descritos anteriormente, como mostra a Figura 3.

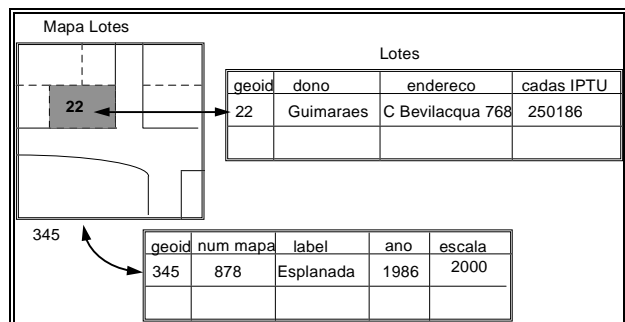


Figura 3 - Associação de Geo-Objeto a Mapa Cadastral.

O modelo de dados contempla ainda a classe OBJETO NÃO-ESPACIAL, que engloba qualquer tipo de informação que não seja georeferenciada, e que se queira agregar a um SIG. O exemplo, na figura 4, mostra o uso deste conceito em uma aplicação de cadastro rural. Neste caso, temos os geo-objetos da classe “fazendas” (que estão localizados num mapa) e desejamos estabelecer a ligação entre estes geo-objetos e a informação alfanumérica sob a forma de um cadastro de propriedades já existente. Assim, as informações de cadastro são consideradas *objetos não-espaciais*.

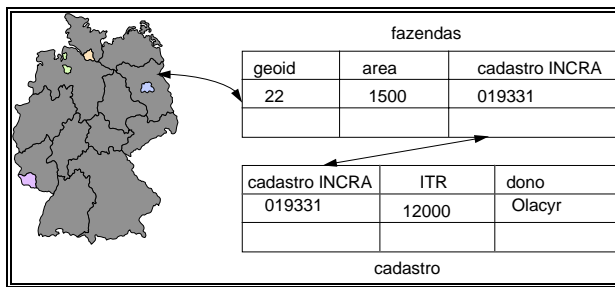


Figura 4- Ligação entre geo-objeto e objeto não-espacial.

Como os *geo-campos* e os *mapas cadastrais* estão associados a uma única localização geográfica e projeção cartográfica, é útil definir a classe PLANO DE INFORMAÇÃO como generalização das classes GEO-CAMPO e MAPA CADASTRAL. Este conceito é similar ao conceito utilizado no sistema SGI. A diferença é que, no SGI, um plano de informação está associado a um geo-campo temático, numérico ou de sensor remoto, pois o SGI não contempla os conceitos de geo-objetos e de mapas cadastrais.

4.2 Nível de Representação

O SPRING permite que tanto as representações geométricas matriciais quanto as vetoriais estejam associadas ao mesmo plano de informação. O sistema distingue ainda as seguintes especializações da classe REPRESENTAÇÃO VETORIAL:

- SUBDIVISÃO PLANAR: conjunto de arcos, nós e polígonos formando um recobrimento completo (utilizado para mapas temáticos no formato vetorial).
- GRAFO ORIENTADO: conjunto de arcos e nós conectados sob forma de grafo orientado.
- CONJUNTO DE ISOLINHAS: conjunto de linhas, que não se cruzam, associadas a uma cota (utilizado para modelos numéricos de terreno).
- AMOSTRAS 3D: conjunto de pontos esparsos, armazenando coordenadas 3D (utilizado em modelos numéricos de terreno).
- GRADE TRIANGULAR: representação vetorial formada por triângulos, cujos nós possuem coordenadas 3D.

As especializações da classe REPRESENTAÇÃO MATRICIAL são:

- GRADE REGULAR 2D: uma grade regular é uma matriz onde cada elemento está associado a um valor real.
- IMAGEM EM TONS DE CINZA: imagem representada através de uma matriz cujos valores correspondem à quantização de uma grandeza numérica. Utilizada tanto para dados de sensores remotos como para apresentações pictóricas de modelos numéricos de

terreno.

- IMAGEM TEMÁTICA: representação matricial de um geo-campo da classe TEMÁTICO, dada por uma matriz onde cada elemento é o índice em uma tabela que contém a descrição dos temas do mapa. Por exemplo, em uma imagem temática, um elemento da matriz de valor 2 pode estar associado ao tema “Floresta Ombrófila”.

A tabela 3 mostra como um mesmo dado geográfico pode ter diferentes representações geométricas.

TABELA 3
RELAÇÃO ENTRE CONCEITO E REPRESENTAÇÃO

<i>Dado Geográfico</i>	<i>Universo conceitual</i>	<i>Universo de representação</i>
Mapa Aptidão Agrícola	Geo-campo temático	Matriz temática Representação Planar (polígonos)
Mapa altimétrico	Geo-campo numérico	Grade regular 2D Grade triangular Amostras 3D
Lotes urbanos	Geo-objetos	
Mapa de lotes	Cadastral	Representação Vetorial (arco-nó-polígono)
Rede elétrica	Rede	Grafo orientado (arcos orientados + nós)

4.3 Interface e Definição do Esquema Conceitual

O termo *esquema conceitual* é utilizado, na literatura de Banco de Dados, para denotar um particular modelo de dados a ser utilizado para cada aplicação. Por analogia, utilizamos este conceito para expressar o uso do modelo de dados do SPRING para uma aplicação específica.

O processo de definir o esquema conceitual de um banco de dados geográfico no ambiente SPRING consiste em estender a hierarquia de classes, definida

pelo modelo de dados, criando classes derivadas das classes básicas (GEO-OBJETO, NÃO-ESPACIAL, CADASTRAL, MAPA DE REDE, TEMÁTICO, NUMÉRICO, DADO SENSOR REMOTO).

Na terminologia adotada no SPRING, uma especialização de uma classe geográfica é chamada de *categoria*. Ao definir uma categoria, o usuário estará criando uma classe derivada das classes básicas, herdando as suas propriedades.

Como exemplo, considere a seguinte definição de esquema conceitual para um banco de dados geográficos para cadastro rural (ilustrada na figura 5) :

- a categoria FAZENDAS, especialização de GEO-OBJETO;
- a categoria MAPA DE PROPRIEDADES, especialização de MAPA CADASTRAL, que inclui uma representação geométrica para os geo-objetos da classe FAZENDAS;
- a categoria MAPA DE SOLOS, especialização de GEO-CAMPO TEMÁTICO, cujas instâncias armazenam os tipos de solos para as áreas de estudo;
- as categorias ALTIMETRIA e DECLIVIDADE, especializações de GEO-CAMPO NUMÉRICO, cujas instâncias guardam a topografia e a declividade da área de estudo, respectivamente;
- a categoria DADOS TM, especialização de DADO SENSOR REMOTO, cujas instâncias contém as imagens do satélite LANDSAT sobre a região de estudo.

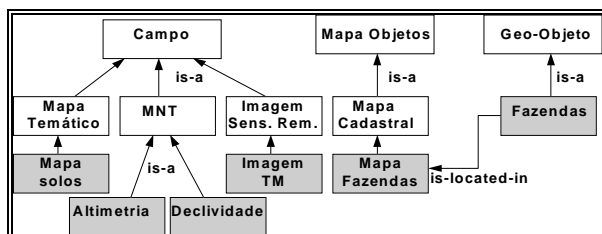


Figura 5 - Exemplo de definição de esquema conceitual.

Para facilitar o uso, a interface do SPRING implementa este mecanismo de definição do esquema conceitual através de menus.

5 A Linguagem LEGAL

A versão 2.0 do SPRING inclui uma implementação parcial de uma linguagem de manipulação e consulta de dados geográficos de propósito geral e ampla aplicação, denominada LEGAL (Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algébrico). LEGAL está baseada na formulação de uma *álgebra geográfica*, que permite expressar operações específicas para cada tipo de dado, bem como explicitar

operações que transformam um tipo de dado em outro (Câmara, Freitas e Casanova, 1995).

As principais características da LEGAL são:

- LEGAL é orientada-a-objetos; o resultado das operações é um conjunto de objetos ou um conjunto de valores.
- Tanto operações de consulta espacial quanto operações de manipulação fazem parte da sintaxe da linguagem.
- As operações de consulta são implementadas utilizando uma sintaxe baseada em SQL.
- As operações sobre campos, as operações combinadas campos-objetos e a linguagem de apresentação são implementadas por operadores do mesmo nível semântico da linguagem SQL.

A linguagem inclui operações *booleanas*, *matemáticas*, *pontuais* (*reclassificação*, *ponderação*) e *zonais* sobre geo-campos, *seleção espacial* e *junção espacial* sobre geo-objetos, transformações de geo-objetos para geo-campos (como *reclassificação por atributos* e *mapas de distância*) e de geo-campos para geo-objetos (*intersecção espacial*).

LEGAL é *fortemente tipada*. Deste modo, cada variável pertence a uma das classes do modelo (TEMÁTICO, CADASTRAL, DADO SENSOR REMOTO (IMAGEM), NUMÉRICO, REDE, OBJETO), ou a uma especialização destas classes (definidas no esquema conceitual do banco de dados), ou à classe que guarda o resultado de uma consulta espacial (COLEÇÃO).

Para uma descrição das funcionalidades da LEGAL, disponíveis no SPRING-2.0, veja Cordeiro et al. (1996).

Para indicar como a LEGAL deverá operar em sua implementação plena, apresentamos o exemplo de um estudo para selecionar uma área para depósito de lixo na cidade de São José dos Campos, baseado nas seguintes informações: localização de postos de saúde e mapas de solos e de declividade. As condições são: estar a mais de 5 km de postos de saúde, em solo não-permeável e com declividade menor que 5%. As áreas com valor aceitável são marcadas “adequadas para um depósito de lixo”. A operação requer uma consulta espacial (“selecione todos os postos de saúde localizados na região da Vila Paiva”), uma transformação entre geo-objetos e geo-campo (“calcule um mapa de distâncias a partir dos postos de saúde”), uma fórmula numérica (“determine a declividade”) e uma análise booleana. A Figura 6 apresenta os comandos em LEGAL que implementam o exemplo descrito.

```

// Definicao dos Dados
Tematico solo (SOLO),
    adeq (ADEQUACAO),
    dist (DISTANCIA);
Cadastral mapa_SJC (MAPA_CIDADE);
Colecao postos (PSAUDE);
Numerico topo(TOPOGRAFIA),
    decl (DECLIVIDADE);
Tabela tab_dist (FATIAMENTO);
// Recuperacao dos Dados
topo= (SELECT * FROM TOPOGRAFIA
        WHERE Nome = "Top92");
solo= (Select * From SOLO
        Where Nome = "Solo92");
mapa_SJC= (Select * From MAPA_CIDADE
        Where Nome = "SJCcampos");
// Postos de Saude no Bairro
postos = (SELECT posto
FROM posto IN PSAUDE ON MAP mapa_SJC,
        bairro IN BAIRRO ON MAP mapa_SJC,
        WHERE posto INSIDE
            bairro.nome = "Vila Paiva");
// Calculo do mapa de Distancias
mapa_dist= NOVO ( Nome = "Dist",
        Representacao = Matricial,
        ResX = 100, ResY= 100,
        Escala = 25000);
tab_dist:= NOVO (TIPO = FATIAMENTO,
        "mais de 5 km" : > 5km,
        "perto": DEFAULT);
mapa_dist= FATIA
        (DISTANCIA (postos, tab_fatia));
// Calculo do mapa de declividade
decl= NOVO ( Nome= "Declividade",
        Representacao = Matricial,
        ResX = 100, ResY= 100);
decl := DECLIVIDADE (mapa_topo);
// Calculo do Mapa de Adequacao
adeq= NOVO
        (Nome = "DepositoLixo",

```

```

        Representacao = Matricial,
        ResX = 100, ResY= 100,
        Escala = 25000);
mapa_adeq:= Atribua (
"adequado": solo.tema = "Le"
        E dist.tema="mais de 5 km"
        E mapa_decl < 0.05;
        "inadequado": Outros) ;

```

Figura 6 - Exemplo de implementação em LEGAL.

6 Funcionalidade

A funcionalidade do SPRING-2.0 não será descrita em detalhes, dando-se destaque às melhorias e novas funções em relação à versão 1.1. Para a descrição completa da funcionalidade da versão 2.0, consultar a página WWW <http://www.inpe.br/spring/>.

6.1 Ligação com Banco de Dados

Na versão 2.0, está disponível juntamente com o SPRING um sistema gerenciador de bancos de dados (SGBD) relacional mono-usuário, compatível com o padrão DBASE. Para ambientes cliente-servidor, recomenda-se o uso do SPRING em conjunto com os SGBD Ingres e ORACLE.

As operações de consulta ao banco de dados incluem seleção de objetos baseada em atributos ou em restrições topológicas (adjacência, cruzamento, pertinência, sobreposição) e métricas (distância).

6.2 Classificação por Regiões

Os métodos de classificação por regiões tem se mostrado como uma alternativa importante em relação às técnicas de classificação tradicional (ponto-a-ponto).

A classificação por regiões é realizada em dois passos. Numa primeira fase, a imagem é particionada em regiões de textura homogênea, através do processo de segmentação (Bins et al., 1996). Em seguida, estas regiões são classificadas usando uma das três técnicas abaixo:

- Classificação não-supervisionada por regiões (Bins et al., 1993): esta técnica obtém agregamentos diretamente a partir de cálculos de distâncias no espaço de atributos, envolvendo média e variância das regiões segmentadas. Trata-se de uma extensão do algoritmo ISODATA.
- Classificação supervisionada por regiões: as regiões são classificadas, a partir de amostras fornecidas pelo usuário, através de cálculo de distância de

Battacharya entre a média e a variância das regiões e a média e a variância das amostras.

- Classificador por redes neurais (Barbosa et. al., 1993): desenvolvido pela IBM Brasil, utiliza as regiões homogêneas geradas pelo segmentador como entrada para o treinamento da rede neural. No treinamento, cada segmento amostral é atribuído a uma das classes de saída, com uma pertinência nebulosa (variando entre 0 e 1). Após o treinamento, a rede é calculada com base no método da retropropagação.

Uma das grandes vantagens desta técnica é a homogeneidade da imagem classificada resultante, sem os pontos singulares não-classificados, tipicamente gerados por um classificador estatístico pontual. Para uma comparação entre os resultados de classificação ponto-a-ponto e por regiões veja Alves et al. (1996).

6.3 Processamento de Imagens de Radar

Na versão 2.0, estão incluídas funções para processamento de imagens de radar, inclusive: correção de padrão de antena, correção geométrica (*slant range - ground range*) e cálculo de parâmetros estatísticos.

6.4 Restauração de Imagens

Restauração é um método de correção radiométrica cujo objetivo é corrigir as distorções inseridas pelo sensor no processo de geração das imagens. A idéia de restaurar a imagem é reduzir o efeito de borramento causado pela ótica e eletrônica do sistema sensor, obtendo assim uma imagem realçada. A vantagem desta técnica em relação aos filtros de realce é que os pesos do filtro de restauração são obtidos a partir das características do sensor, e não de forma empírica.

No SPRING-2.0, estão disponíveis métodos para restauração de imagens TM e SPOT (Fonseca et al., 1993).

6.4 Triangulação com Restrições

As linhas de restrição representam linhas ao longo das quais ocorrem quebras de continuidade na superfície modelada. Um modelo de terreno deve incorporar estas linhas se uma representação fiel é necessária. Assim, para o modelo que utiliza grades triangulares, as linhas de restrição devem ser incorporadas. A superfície a ser ajustada a cada retalho triangular deve também considerar a quebra de continuidade.

Para o uso do modelo de grade triangular com restrições, as amostras de elevação são adquiridas por processo normal (digitalização de isolinhas e de pontos) e as linhas de restrição, representadas em geral por

linhas de drenagem, são incorporadas como linhas sem valor de elevação (Namikawa, 1995).

O processo de modelagem gera a triangulação considerando as linhas de restrição e ajusta superfícies de 5^o grau aos retalhos triangulares. Para os retalhos que não tocam a linha de restrição, a superfície ajustada tem continuidade C^1 (continuidade de 1^a derivada) e para as que tocam esta linha, a superfície tem continuidade C^0 ao longo da linha (Namikawa, 1995).

6.5 Geração Interativa de Cartas

Um dos pontos fortes do SPRING é o módulo para geração de cartas, que combina uma interface interativa com o acesso à uma biblioteca de símbolos cartográficos.

Na versão SPRING-2.0, a plotagem de cartas em padrões HPGL e PostScript foi aprimorada pelo Centro Nacional de Tecnologia para Informática Agropecuária (CNPTIA) da EMBRAPA, tornando-se uma função separada.

7 Perspectivas de Evolução

Um dos pontos importantes do projeto SPRING é sua forte ligação com as atividades de pesquisa e desenvolvimento do INPE. Isto permite que os resultados de trabalhos de pesquisa (que incluem teses de Mestrado e Doutorado) sejam rapidamente incorporados ao sistema. Assim, para o ano de 1996, estão em curso as seguintes atividades de pesquisa, que deverão redundar em novas funcionalidades:

- Implementação completa da linguagem LEGAL, que inclui uma linguagem de consulta espacial (Yamaguchi, 1996), operadores adicionais de álgebra de mapas e uma linguagem de apresentação.
- Suporte adicional para bancos de dados geográficos de grande porte e ligação entre o SPRING e o ambiente WWW (Cartaxo et al., 1996).
- Suporte ao tratamento de imagens em 16/32 bits, para permitir o uso das imagens de radar com plena resolução radiométrica.
- Desenvolvimento de técnicas de determinação automática de modelos numéricos de terreno a partir de interferometria em imagens de radar.
- Melhorias no segmentador, tais como o uso de informações de bordas no processo de crescimento de regiões.

Bibliografia

- ALVES, D. S.; MOREIRA, J.C.; MELLO, E.K.; SOARES, J.V.; FERNANDEZ, O.; ALMEIDA, S.; ORTIZ, J.D. "Mapeamento do Uso da Terra em Rondônia utilizando técnicas de segmentação e classificação de imagens LANDSAT-TM". Submetido ao VIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Salvador, Abril de 1996.
- BARBOSA, R.; MACHADO, R.; LIPORACE, F. "A neural system for deforestation monitoring on Landsat images of the Amazon region". Centro Científico Rio, IBM Brasil, Relatório Técnico CCR-157, 1993.
- BINS, L.; ERTHAL, G.J.; FONSECA, L.M.G. "Um método para classificação não-supervisionada de regiões". In: VI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE COMPUTAÇÃO GRÁFICA E PROCESSAMENTO DE IMAGENS, Recife, 1993. Anais, Recife, UFPe/SBC, pp. 65-68, 1993.
- BINS, L.; FONSECA, L.M.; ERTHAL, G.J.; MITSUO II, F. "Satellite Imagery Segmentation: a Region Growing Approach". Submetido ao VIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Salvador, Abril de 1996.
- CÂMARA, G.; SOUZA, R.C.M.; FREITAS, U.M.; PAIVA, J.A.C. "SPRING: Conceção, Evolução, Perspectivas". In: VII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, CURITIBA, PA, 1993. Anais, São José dos Campos, INPE, 1993.
- CÂMARA, G., FREITAS, U. "Perspectivas em Sistemas de Informação Geográfica". *Fator GIS*, 3(10), pag. 31-34, Julho/Agosto/Setembro 1995.
- CÂMARA, G.; FREITAS, U.; CASANOVA, M.A. "Fields and Objects Algebras for GIS Operations". III Simpósio Brasileiro de Geoprocessamento, São Paulo, julho de 1995. Anais, USP, pp. 407-424, 1995.
- CORDEIRO, J.P.C.; AMARAL, S.; FREITAS, U.M.; CÂMARA, G. "Álgebra de Geo-Campos e Suas Aplicações". Submetido ao VIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Salvador, Abril de 1996.
- FONSECA, L.M.G.; PRASAD, G.S.S.D.; MASCARENHAS, N.D.A. "Combined interpolation - restoration of Landsat images through FIR filter design techniques". *International Journal on Remote Sensing*, 14(13), 2547-2561, 1993.
- GOODCHILD, M. "Geographical data modeling". *Computers & Geosciences*, 18(4): 401-408, 1992.
- NAMIKAWA, L.M. Um método de ajuste de superfície para grades triangulares considerando linhas características. Dissertação de Mestrado em Computação Aplicada - INPE, São José dos Campos, 1995.
- WORBOYS, M.F. *GIS: A Computing Perspective*. London, Taylor and Francis, 1995.
- YAMAGUCHI, F.Y. "Linguagem de Consulta para Banco de Dados Geográficos". Submetido ao VIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Salvador, Abril de 1996.