
Processamento Paralelo Aplicado a Modelos Matemáticos para Geoprocessamento

Marilton Sanchotene de Aguiar¹ (*ESIN-UCPEL, marilton@ucpel.tche.br*)

Fábia Amorim da Costa² (*DTI-CNPq, fabia@ucpel.tche.br*)

Antônio Carlos da Rocha Costa³ (*ESIN-UCPEL, rocha@ucpel.tche.br*)

Graçaliz Pereira Dimuro⁴ (*ESIN-UCPEL, liz@ucpel.tche.br*)

Rafael Krolow Santos Silva⁵ (*ESIN-UCPEL, rafaelk@ucpel.tche.br*)

Resumo:

Este texto apresenta a aplicação de processamento paralelo na análise e segmentação de espaços (n-dimensionais) de natureza geométrica baseado em tesselações. Em Geoprocessamento, uma região geográfica pode ser analisada conforme a sua topografia, vegetação, demografia, dados econômicos etc cada uma gerando uma subdivisão diferente da região. Esta análise pode obter informações muito interessantes no que tange à dependência mútua destas variáveis. São apresentados aspectos teóricos desta modelagem intrinsecamente paralela, aspectos práticos da implementação e apontamentos para outras aplicações em Geoprocessamento.

¹Mestre em Ciência da Computação pelo Programa de Pós-Graduação em Computação da UFRGS. Bacharel em Ciência da Computação pela Escola de Informática da UCPEL. Professor da Escola de Informática da Universidade Católica de Pelotas.

²Mestre em Engenharia Agrícola pela UFSM. Bacharel em Geografia pela FURG. Bolsista DTI-CNPq.

³Doutor e Mestre em Ciência da Computação pelo Programa de Pós-Graduação em Computação da UFRGS. Engenheiro Eletrônico pela UFRGS. Professor da Escola de Informática da Universidade Católica de Pelotas.

⁴Doutora e Mestre em Ciência da Computação pelo Programa de Pós-Graduação em Computação da UFRGS. Especialista em Análise Numérica pela UFPEL. Engenheira Civil pela UCPEL. Professora da Escola de Informática da Universidade Católica de Pelotas.

⁵Acadêmico de Ciência da Computação da Escola de Informática da UCPEL. Bolsista BIC-FAPERGS.

5.1. Histórico

Os sistemas de informações geográficas surgiram na transição das décadas de 60 e 70 e têm se tornado ferramentas bastante úteis nas diversas áreas de conhecimento [MEN 2000]. É interessante observar que o emprego do conceito de computação para o processamento de dados geográficos remonta ao século passado, quando o Censo Americano, utilizou cartões perfurados e uma máquina tabuladora para agilizar as atividades relativas ao censo de 1890, tendo finalizado após três anos. Isto resultou em grande avanço comparado ao censo anterior, de 1880, que demorou oito anos para ser efetuado convencionalmente.

Segundo [TRE 83], o Censo Americano inovou mais uma vez quando em 1951 instalou o primeiro UNIVAC, um computador automático universal, o qual era o mais avançado de sua geração e que se tornou o primeiro a entrar em linha de produção.

Entretanto, a falta de ferramentas matemáticas adequadas para descrever quantitativamente a variação espacial era ressentida pela comunidade científica. Conforme [BUR 89], os primeiros modelos matemáticos apareceram nas décadas de 30 e 40, juntamente com os métodos estatísticos para análise de séries temporais.

Apenas com a disponibilidade do computador digital (década de 60) ocorreu o desencadeamento da utilização de ferramentas computacionais adequadas para o mapeamento temático quantitativo e análise espacial [BUR 89].

O primeiro SIG surgiu em 1964 no Canadá (*Canada Geographic Information System*) por iniciativa do Dr. Roger Tomlinson, que embora tenha construído os módulos básicos de software, impulsionando o desenvolvimento de hardware e elaborado uma complexa base de dados, só publicou seus trabalhos uma década depois.

Somente ao final da década de 70 é que o desenvolvimento dos SIG's se estabeleceu solidamente, favorecendo o surgimento da versão comercial dos primeiros sistemas no início da década de 80.

Os governos americano, canadense e alguns europeus apoiavam financeiramente iniciativas voltadas tanto à Cartografia Assistida por Computador (CAC). E neste período passou-se a tornar disponíveis ao público bases de dados digitais, tais como os modelos digitais de elevação (DEM's – *Digital Elevation Models*).

Atualmente, percebe-se um crescimento acentuado das aplicações de SIG's, devido à disseminação do PC, além da introdução de tecnologia de relativo baixo custo e alta capacidade de performance das *Workstations*.

Além do serviço de venda de mapas analógicos aos usuários, surgiu uma outra alternativa: o arrendamento de dados através do estabelecimento de contratos, definindo inclusive a frequência das suas atualizações.

Com o surgimento dos Sistemas de Informação, associou-se à informação o conceito de valor agregado, que é obtido ao se reunir de forma ordenada conjuntos de dados que previamente estavam não relacionados, e cuja combinação pode ser utilizada para a realização de tarefas adicionais.

5.2. Introdução ao Geoprocessamento

Segundo [ROD 88], *Geoprocessamento* é a tecnologia de coleta e tratamento de informações espaciais e de desenvolvimento de sistemas que as utilizam. Ainda, [ROD 88,

ROD 90] apresenta uma classificação dos Sistemas de Geoprocessamento como:

sistemas aplicativos: são conjuntos de programas que realizam operações associadas a atividades de projeto, análise, avaliação, planejamento etc em áreas tais como transportes, mineração, hidrologia, urbanismo; geralmente, são voltados à representação espacial e a realização de operações sobre estas representações; são sistemas voltados à entrada de dados, saída de dados e realização de tarefas em projeto assistido por computador e mapeamento automatizado;

sistemas de informações: são *softwares* que desempenham a coleta, tratamento e apresentação de informações espaciais. De maneira mais geral, o SIG é o conjunto de software, hardware, procedimentos de entrada e saída dos dados, fluxos de dados do sistema, normas de codificação de dados, normas de operação, pessoal técnico etc que desempenham as funções de coleta, tratamento e apresentação de informações.

sistemas especialistas: sistemas computacionais que empregam o conhecimento na solução de problemas que normalmente demandariam a inteligência humana; emulam o desempenho de um especialista atuando em uma dada área do conhecimento.

Entretanto, na literatura especializada, não há concordância no estabelecimento da classificação dos sistemas de geoprocessamento, e na maioria das vezes, apresentam-se múltiplas características com predominância de um conjunto particular de funções [ROD 90]. Por isso, faz-se necessário apresentar a diferenciação feita por [KOR 94] entre CADD-CAM, AM-FM e GIS:

CADD: *Computer Aided Design and Drafting*, ou Projeto Assistido por Computador, é uma tecnologia normalmente empregada pelo CAM (*Computer Assisted Mapping*), ou Mapeamento Assistido por Computador, para a produção de mapas em substituição ao processo cartográfico tradicional.

Os dados são organizados em camadas (*layers*), empregados para organizar as feições do mapa por temas (*themes*). A utilização do CAM reduz o tempo de produção de mapas e possibilita a economia de recursos financeiros quando comparado aos processos cartográficos tradicionais. Assim, as atualizações se tornam mais simples e rápidas, uma vez que se modifica somente o elemento selecionado sem causar alteração nos demais.

Entretanto, CAM não é um sistema muito adequado para realizar análises; pois, as relações espaciais não são definidas na estrutura de dados, requerendo processamentos adicionais (mais demorados) para a inspeção de tais relações.

AM-FM: Mapeamento Automatizado (*Automated Mapping*) e Gerenciamento de Serviços de Utilidade Pública (*Facility Management*) baseiam-se também em tecnologia CADD.

Entretanto, a apresentação gráfica geralmente não é tão precisa e detalhada quanto em sistemas CAM porque sua ênfase está centrada no armazenamento, na análise e na emissão de relatórios.

As relações entre os componentes do sistema de utilidade pública são definidas como redes (*networks*) que são associadas à atributos. Todavia, relações espaciais não são definidas nestes sistemas.

GIS: Sistema de Informação Geográfica (SIG) (*Geographic Information System*) é recomendado para a análise de dados geográficos.

Este tipo de sistema difere dos dois sistemas anteriormente apresentados porque define as relações espaciais entre todos os elementos dos dados. Esta relação espacial é conhecida como **topologia dos dados** e pode indicar um conjunto muito grande de informações, além da descrição da localização e geometria das feições cartográficas.

A Topologia também descreve como as feições lineares estão conectadas, como as áreas são limitadas e quais áreas são contíguas. Para definir a topologia do mapa, o SIG usa uma estrutura de dados espacial, empregando nodos (*nodes*), arcos (*lines*) e áreas (*polygons*).

O SIG também contém dados em atributos e dados geométricos espaciais que são associados com os elementos topológicos para representar informações descritivas.

Além disso, o SIG permite o acesso aos dados (espaciais e atributos) ao mesmo tempo e, por isso, o dado atributo pode ser relacionado com o dado espacial e vice-versa.

Um sistema é definido como um conjunto ou arranjo de elementos relacionados de tal maneira a formar uma unidade ou um todo organizado, que se insere em sistema mais amplo.

Define-se informação geográfica como o conjunto de dados ou valores que podem ser apresentados em forma gráfica, numérica ou alfanumérica, e cujo significado contém associações ou relações de natureza espacial.

Sistema de informação é o conjunto de elementos inter-relacionados que visam a coleta, entrada, armazenamento, tratamento, análise e provisão de informações.

Outros autores apresentam definições que ajudam a compreender a complexidade funcional e estrutural de um SIG:

- Sistema Geográfico de Informação (SGI) constitui o tipo de estrutura mais importante em termos de viabilização do Geoprocessamento. O SGI é um conjunto de procedimentos computacionais que operando sobre bases de dados geocodificados ou, mais evolutivamente, sobre bancos de dados geográficos executa análise, reformulações e sínteses sobre os dados ambientais disponíveis [SIL 87].
- Sistemas de Informações Geográficas são modelos do mundo real úteis a um certo propósito; subsidiam o processo de observação (atividades de definição, mensuração e classificação), a atuação (atividades de operação, manutenção, gerenciamento, construção etc) e a análise do mundo real [ROD 91].
- SIG's são constituídos por uma série de processos de análise para focalizar o relacionamento de determinado fenômeno da realidade com sua localização espacial. Utilizam uma base de dados computadorizada que contém informação espacial, sobre a qual atuam uma série de operadores espaciais; baseia-se numa tecnologia de armazenamento, análise e tratamento de dados espaciais, não-espaciais e temporais e na geração de informações correlatas [TEI 92].
- SIG's integram numa única base de dados: informações espaciais provenientes de dados cartográficos, dados de censo e de cadastro urbano e rural, imagens de

satélite, redes e modelos numéricos de terreno. Além disso, combinam as várias informações, através de algoritmos de manipulação, para gerar mapeamentos derivados; consultar, recuperar, visualizar e plotar o conteúdo da base de dados geocodificados [CAM 93].

Devido à natureza geográfica dos objetos, os dados de um SIG são referenciados espacialmente. Cada objeto pode ser relacionado com alguma localidade na Terra e pode ser cartografado. Os objetos são definidos pelas suas posições e pelos atributos que descrevem as características deste. As bases de dados que contêm informações isoladas podem ser relacionadas umas às outras e formarem uma base de dados geográfica contínua.

5.2.1. Coleta de Dados

Um SIG permite a integração de dados que foram recolhidos em diferentes tempos, escalas, utilizando diferentes métodos de coleta de dados. São fontes de dados: mapas (papel ou transparências), dados escritos, arquivos digitais contendo informações planialtimétricas e temáticas e informações armazenadas na memória do especialista. A integração destes dados de diferentes formatos, de tempos variados e em diferentes escalas, seria inviável economicamente e temporalmente sem a utilização do SIG.

Os dados eram importados para o SIG através da digitação dos dados textuais, ou da digitalização através de mesa *scanner* dos mapas existentes. Entretanto, estes métodos são limitados porque os mapas originais frequentemente são antiquados, possuem erros de transcrição e podem não ter a escala apropriada.

Hoje, a coleta está cada vez mais sofisticada em função da maior diversidade do conhecimento humano e de tecnologias e equipamentos mais precisos, como: sensores remotos, fotogrametria e levantamentos a campo executados com GPS (*Global Positioning System* – Sistema de Posicionamento Global) e estações TOTAL.

A entrada de dados de má qualidade causa interpretações errôneas ou sem sentido da informação derivada de um SIG, por isso, recorrentemente se afirma que “um SIG é tão bom quanto as informações que contém”.

O GPS provê dados exatos e atualizados instantaneamente, a um custo relativamente baixo. Ao se utilizar GPS, pode-se definir um dicionário de dados e recolher os atributos no campo ao mesmo tempo que se recolhem dados de posição. Desta forma, elimina-se os erros de transição (entrada de dados no sistema) e garante a atualização das informações da base de dados.

A fotogrametria obtém informações confiáveis sobre objetos e sobre o meio ambiente com o uso de processos de registro, medições e interpretações das imagens fotográficas e padrões de energia eletromagnética.

A necessidade contínua de se obter novos dados espaciais representa um dos maiores custos na utilização de um SIG. Com uma ferramenta de coleta de dados, o SIG simplifica a coleta de dados iniciais e também garante que a informação esteja sempre atualizada.

5.2.2. Tipos de Dados

Dados **cartográficos** e dados **não-gráficos** são os dois tipos de dados mais recorrentes em um SIG.

Os dados cartográficos são as informações geográficas oriundas de mapas armazenadas digitalmente. Cada entidade destes mapas é classificada como pontos, linhas e polígonos, estes últimos também são chamados de áreas ou regiões.

Um ponto representa uma característica que necessita somente uma localidade geográfica (por exemplo, latitude-longitude) para referenciá-la. Ou seja, um ponto pode representar a posição de um estações meteorológicas, de poços e postes.

Uma linha (arco) é formada por uma série de pontos conectados unidimensionalmente, possuindo apenas comprimento (ausência de largura). Por exemplo, riachos, estradas e rastros de animais podem ser características representadas por linhas no SIG.

Um polígono é uma área cercada por linhas e a área compreendida pelo polígono possui comprimento e largura (bidimensional). Por exemplo, áreas com mesmo tipo de solo, regiões para plantação de arroz e banhados são representadas por polígonos.

Os dados não-gráficos consistem de informações descritivas sobre as características (pontos, linhas e áreas) armazenadas numa base de dados e referenciada em um mapa.

Estas informações descritivas são nomeadas de atributos. Um atributo comum à todas as características é a situação geográfica, ao qual pode dar-se o nome de atributo SITUAÇÃO. Outros atributos dependem do tipo de característica e de que características são importantes para um propósito ou aplicação em particular. Por exemplo:

- uma parcela de terreno possui um proprietário, um tamanho e um uso;
- um poço de petróleo é de um determinado tipo e possui um índice de fluxo diário;
- uma estrada possui um nome, um tipo de superfície e pode possuir uma rota ou número de designação.

Cada uma destas características pode ser identificada especificamente num SIG ao dar-lhe um nome de atributo tal como DONO, USO-TERRENO, ou NOME-ESTRADA. O conjunto de valores assumido por cada atributo possui é chamado de **domínio**. Por exemplo, o domínio para o atributo NOME-ESTRADA são todos os nomes de estrada na área de interesse.

Os valores de atributos associados a cada característica podem ser específicos. Por exemplo, estradas geralmente possuem nomes, mas uma estrada em particular chama-se Estrada XYZ. O atributo NOME-ESTRADA é um atributo para todas as estradas e a Estrada XYZ é o valor daquele atributo para uma estrada específica.

5.2.3. Estrutura de Dados

As estruturas de dados existentes em SIG's são a topologia e as camadas. A estrutura por topologia refere-se à conexão das características das relações espaciais fundamentais. A topologia fornece a lógica que conecta pontos, linhas e polígonos. As camadas indicam apenas o modo que o SIG estrutura seus dados.

A informação topológica descreve a relação espacial entre as características e geralmente não é modificada pelo profissional que opera o SIG.

Ao fazer a descrição da posição de algum objeto, geralmente diz-se que está à esquerda, ao lado de, ou a determinada distância de um dado objeto. Esta definição não é precisa o suficiente para um SIG. Para se realizar uma análise espacial são requeridas as definições precisas fornecidas pela topologia.

A topologia define a relação posicional das características de acordo com as suas propriedades, por exemplo: as informações sobre que rótulos estão vinculados a cada característica, como os pontos estão ligados uns aos outros e, que pontos e linhas formam um polígono em particular.

Esta informação topológica, armazenada no SIG, permite que sejam efetuadas relações espaciais, tais como: a sobreposição de polígonos, o isolamento de polígonos, determinar se uma linha está dentro de um polígono e determinar a proximidade entre características. Um sistema SIG que realiza manipulações e análises não topológicas (como ocorre em sistemas CAD) são limitados.

Geralmente, um SIG permite a separação das informações de um mapa em categorias lógicas chamadas de *layers*, temas, níveis de informação ou planos de informação (PI). Os planos de informação geralmente contêm informações sobre um tipo de característica (como áreas de tipo de solo) ou sobre um pequeno grupo de características relacionadas (por exemplo, recursos de utilidade pública como telefone, gás e linhas de transmissão de energia).

Os dados de um mapa são separados logicamente em *layers* para que assim possam ser manipulados e analisados espacialmente, isoladamente ou em combinação com outros *layers*. Para se obter resultados analíticos significativos, os planos de informação devem estar referenciados geograficamente entre si por um sistema de coordenadas comum.

Estes planos podem ser combinados a fim de criar mapas compostos a partir da sobreposição destas, de maneira análoga à sobreposição de transparências em um retro-projetor. Durante esta análise criam-se novas sobreposições com a combinação matemática de sobreposições já existentes. Pode-se utilizar estas combinações para a criação de cenários alternativos.

5.2.4. Análise de Dados

A análise dos dados permite derivar informação a partir do conteúdo da base de dados do sistema. Este análise de dados compreende:

- Sobreposição espacial das características;
- Questões à base de dados;
- Reclassificação, combinação e eliminação de características;
- Cálculo de proximidade de características.

Por exemplo, o operador do SIG necessita saber que tipos de casas são construídas em um dado tipo de solo. Para responder a este tipo de pergunta o sistema utiliza dois conjuntos de dados: os tipos de solo e a localização geográfica das casas construídas na área solicitada.

Estes dados são fornecidos pelas duas camadas de informações e o SIG as combina para formar uma nova fonte de informações. A ligação entre as duas camadas de dados é a localização geográfica (latitude-longitude) de cada entidade.

Este exemplo é bastante simples e favorece ao operador visualizar a seleção das casas que estão construídas na área indicada. No entanto, na maioria dos casos manipula-se áreas muito grandes com dados bastante detalhados e, por isso, a tarefa pode ser extremamente difícil.

A visualização de dados compreende a criação de imagens e mapas, a visualização dos dados das características espaciais, a criação de produtos cartográficos e a combinação de todos estes elementos para a visualização na tela, ou para impressão das tabelas ou mapas, ou em arquivos para a utilização em outros programas.

5.3. Geomática

Segundo [GAG 96], durante a última década, a área de mapeamento tem sido incluída em um novo paradigma. No Canadá, como na maioria dos países, tem-se adotado o nome Geomática (*Geomatics*) para identificar este campo de atividade de mapeamento. A evolução do contexto de produção, otimização e gerenciamento de dados e informações espaciais tem sido a base da redefinição das atividades numa perspectiva global de planejamento em diferentes áreas.

Dessa forma, a Geomática representa a evolução do campo de atividades de levantamentos e mapeamento, congregando as disciplinas mais tradicionais (cartografia, geodésia, topografia) com as novas tecnologias (sensoriamento remoto, processamento digital de imagens, SIG, GPS e fotogrametria digital) e os novos campos de aplicação surgidos (entre eles a mineração, agricultura, meio ambiente, transportes, informática, turismo, saúde, telecomunicações etc).

A geomática engloba pelo menos quatro categorias técnicas relacionadas ao levantamento, mapeamento e planejamento:

- Técnicas para coleta de informação espacial: cartografia, sensoriamento remoto, GPS, topografia convencional, fotogrametria, levantamentos de dados geográficos;
- Técnicas para armazenamento de informação espacial: banco de dados (orientados a objetos, relacional, hierárquico etc);
- Técnicas para tratamento e análise de informação espacial: modelagem de dados, geoestatística, aritmética, lógica, funções topológicas, redes;
- Técnicas para uso integrado de informação espacial: SIG's, LIS (Sistemas de Informação de Terrenos – *Land Information Systems*), AM/FM e CADD.

Para ressaltar algumas das principais aplicações na área de Geomática, assim como para o geoprocessamento, podemos citar os projetos de SIG's para:

- elaboração de mapas urbanos básicos
- elaboração/atualização de mapas de arruamentos
- cadastro, mapeamento de cadastro urbano e rural
- fonte de apoio para trabalhos com GPS
- uso e ocupação do solo
- regularização dos limites de propriedades, demarcação de pequenas glebas
- previsão de safras, controle de pragas e agricultura de precisão

- estimativa de potencial econômico, projetos de desenvolvimento sustentável

As potenciais aplicações do processamento paralelo no geoprocessamento estão ligadas, na maioria das vezes, a sistemas de decisão on-line, por exemplo:

1. Na logística:

- a escolha da melhor rota a ser seguida pelos caminhões na distribuição de produtos.
- mapas turísticos e de localização para viajantes, como o serviço prestado pelo site <http://www.apontador.com/>, que possibilita pesquisar o mapa de uma cidade (capitais) para localizar ruas, endereços, serviços e estabelecimentos mais próximos (como bancos, farmácias ou supermercados), para encontrar a melhor rota entre dois endereços.
- a implantação de serviços WAP (*Wireless Application Protocol*), para usuários de Internet por celular, para localização de endereços e roteirização. Se o celular for munido de um receptor GPS, as opções tornam-se ainda maiores: o usuário identifica exatamente o ponto onde se encontra e ainda usufruir de serviços de roteamento para descobrir a melhor maneira de chegar ao local desejado.

2. Na agricultura:

- para o processamento de informações climáticas, para o suporte do trabalho de plantação e colheita.
- para previsão de veranicos, geadas, secas prolongadas, excessos de água ou condições climáticas que favoreçam o surgimento de pragas e doenças. Reduzindo a possibilidade de prejuízos e perdas na produção de culturas climaticamente regionalizadas. O agricultor, armado de informações básicas atualizadas, tem melhores condições e maiores chances de sucesso no combate às adversidades climáticas.
- para o manejo da água e do solo, se mal executado pela falta de informação ou se executado fora de época, pode ser danoso e impedir uma maior produtividade. O agricultor pode escolher as épocas adequadas para plantio e colheita, o momento e a quantidade certa de irrigar, o momento correto de tratar o solo e a forma de se proteger das pragas.

3. Na distribuição de energia:

- como ferramenta de comunicação interna, no que tange aos sistemas interligados e mapas georreferenciados, permitindo a disseminação de informação de forma rápida, precisa e segura, com uma visão facilitada dos pontos críticos da rede.
- para a integração de mapas com relatórios detalhados.
- para a descrição do aplicativo em nível gerencial e operacional, o uso de ferramentas web e a integração aos demais sistemas da empresa sob a mesma plataforma.

- para a atualização do cadastro da rede elétrica, utilizando sistema construído a partir de tecnologias de geoprocessamento.
- para descrição do sistema de transmissão e geração, que é estruturado pela junção das plantas cartográficas, levantamentos aerofotogramétricos, dados das propriedades envolvidas e imagens digitalizadas dos processos.
- para precificação de postes, localização de consumidores inadimplentes e localização de agentes arrecadadores.

5.4. Análise Digital de Terrenos

O desenvolvimento e a aplicação de SIG's em análise de terrenos para as ciências ambientais foram motivadas pela visão do mundo em camadas [MAC 96], onde os processos biofísicos estão posicionados hierarquicamente como apresentado na figura 5.1.

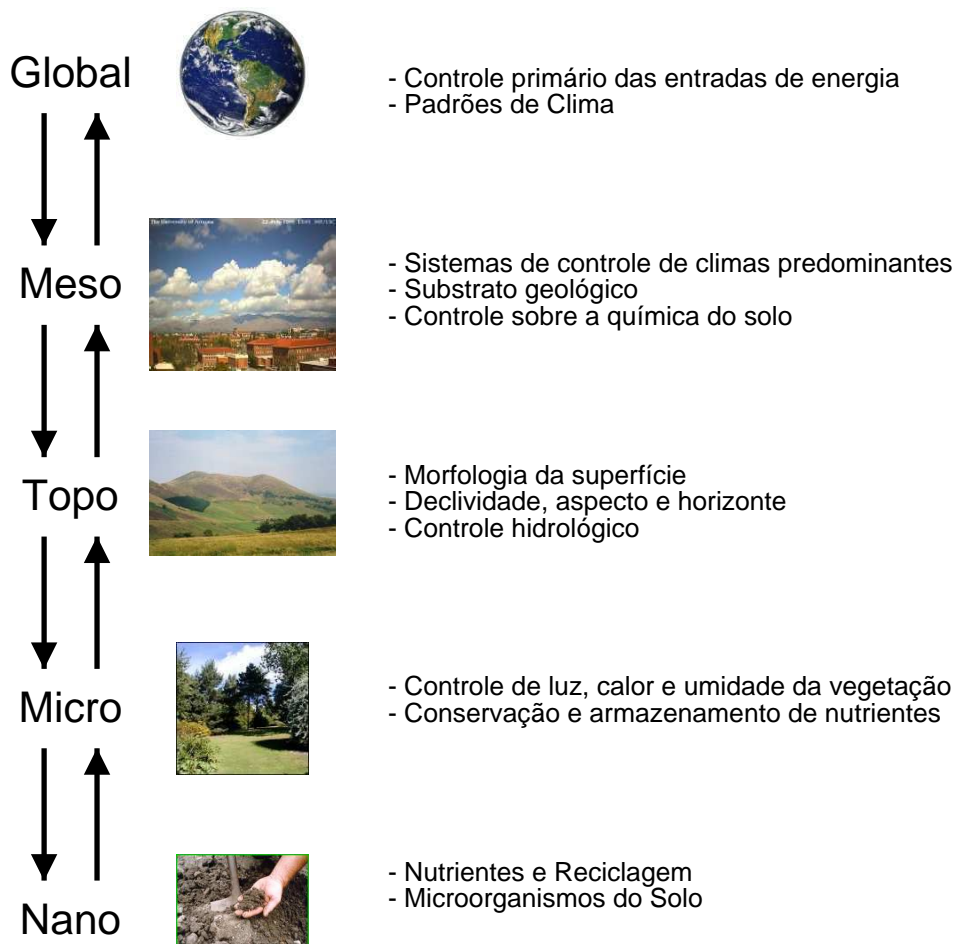


Figura 5.1: Processos biofísicos em camadas.

Este tipo de divisão é bastante útil pois demonstra a complexidade dos processos individuais além de algumas dificuldades que são encontradas em delinear apropriadamente as escalas espaciais e temporais.

Muitos dos processos biofísicos mais importantes que ocorrem na superfície da

terra (ou próximos) são influenciados pelo controle das interações e pelos níveis dos eventos passados e contemporâneos. Estes inter-relacionamentos são complexos e podem ser melhores entendidos usando a abordagem de modelagem de sistemas dinâmicos [KIR 96].

O trabalho de [PHI 86] apresenta exemplos de sistemas de populações interagindo em uma comunidade ecológica; e [SCH 81] tratava a geomorfologia fluvial; ambos demonstram que a operação de processos chaves sobre diferentes escalas podem ser considerados independentemente uma em relação à outra.

Entretanto, não é aconselhável a utilização de modelos para uma dada escala originalmente desenvolvidos em outra escala.

A maioria das pesquisas hidrológicas, geomorfológicas e ecológicas são conduzidas na escalas global, nano e micro [MAC 96]. As meso e topo-escalas recebem pouca atenção apesar de serem realmente importantes pois muitas das soluções para problemas ambientais, como erosão acelerada do solo e poluição, requerem o gerenciamento de estratégias nestas escalas [MOO 91].

A influência da morfologia da superfície sobre a canalização na hidrologia e o impacto da declividade e do aspecto sobre a exposição ao sol representam os controles mais importantes operando na topo-escala.

Além disso, diversos estudos mostram como a forma da superfície do terreno pode afetar a migração lateral e o acúmulo da água, sedimentos e outros constituintes [MAC 96].

A crescente popularidade do trabalho nestas duas escalas intermediárias tem influenciado a disponibilidade de dados de elevação digitais contínuos e de alta-resolução e o desenvolvimento de novas ferramentas computadorizadas de análise de terrenos [WIL 96, BUR 98, WIL 99].

5.4.1. Fontes e Estruturas dos Dados Digitais de Elevação

A maioria dos conjuntos de dados digitais de elevação disponíveis atualmente são resultantes da captura de dados fotogramétricos. Estas fontes dependem da interpretação estereoscópica de fotografias aéreas ou imagens de satélite usando estereoplotters manuais ou automáticos.

Outros conjuntos de dados podem ser gerados a partir da digitalização de linhas de contorno dos mapas topográficos e pela pesquisa de campo.

Estes dados de elevação estão usualmente organizados em uma das seguintes estruturas de dados 5.2: (i) malhas regulares, (ii) redes irregulares triangulares e (iii) contornos – dependendo da fonte e/ou do método de análise utilizado.

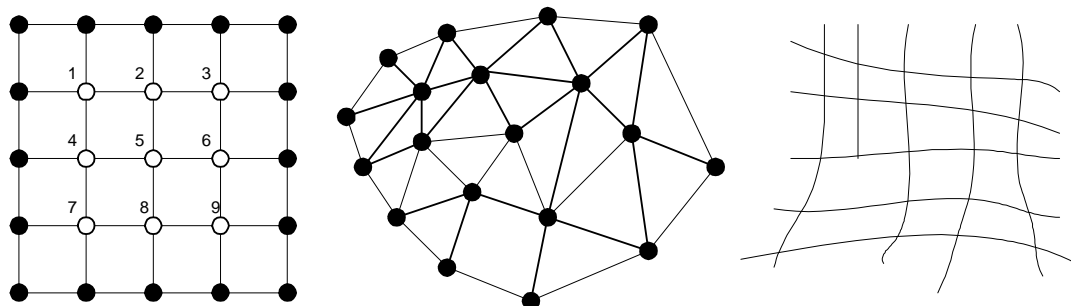


Figura 5.2: Métodos de estruturação dos dados de elevação.

Modelos digitais de terrenos (MDT's) com malhas quadradas emergiram como a estrutura de dados mais utilizada por causa de sua simplicidade e da fácil implementação computacional. Por exemplo, matrizes de elevações que registram implicitamente as relações topológicas entre o dados do ponto com os dados dos pontos vizinhos.

O tamanho do grão da malha, que afeta diretamente os requisitos de armazenagem, eficiência e qualidade dos resultados e a dificuldade da malha quadrada representar fielmente mudanças abruptas na elevação são alguns obstáculos que foram ultrapassados nos últimos anos.

O aparecimento de várias novas técnicas de compressão reduziram os requisitos de armazenagem e melhoraram a eficiência computacional [SMI 94]. Além disso, encontram-se disponíveis modelos de elevação com malhas de 500m, 100m, 30m, 10m e 1m de resolução para diferentes partes do globo [HUT 96].

Malhas irregulares são utilizadas amplamente e são baseadas em elementos triangulares com vértices nos pontos de amostra. Estes elementos consistem de planos juntando os três pontos adjacentes na rede e são usualmente construídos usando triangularização de Delaunay.

As redes triangulares incorporam descontinuidades facilmente e podem constituir estruturas de dados eficientes porque a densidade dos triângulos pode variar conforme a rugosidade do terreno.

A terceira estrutura divide a área em pequenos polígonos de forma irregular baseados nas linhas de contorno e suas ortogonais. Esta estrutura é usada frequentemente em aplicações hidrológicas porque podem reduzir as complexas equações de fluxo tridimensional em uma série de equações unidimensionais em áreas de relevo complexas [GRA 94].

5.4.2. Utilização e Estimação de Atributos Topográficos

Muitos dos atributos topográficos mais populares como declividade, canalização, aspecto e curvaturas podem ser derivados a partir de três tipos de dados de elevação, em cada elemento da malha em função dos atributos de sua vizinhança [MOO 91a].

As ferramentas de análise de terrenos têm suas classificações baseadas nas características dos atributos computados e/ou em sua extensão espacial. Alguns autores distinguem ferramentas que executam operações sobre a vizinhança local daquelas que operam sobre vizinhanças estendidas, para cálculos de drenagem, vertentes etc.

Usualmente, distinguem-se atributos primários (veja tabela 5.1), que são computados diretamente dos modelos de elevação, de atributos secundários ou compostos, que envolvem combinações dos atributos primários e constituem índices derivados empiricamente ou fisicamente. Estes últimos podem caracterizar a variabilidade espacial de processos específicos ocorrendo no ambiente. Uma lista completa de atributos primários e seus derivados, atributos secundários, pode ser encontrado no trabalho de [MOO 91a].

A maioria destes atributos primários são calculados a partir de derivadas direcionais de uma superfície topográfica e são computados diretamente com um esquema de diferenças finitas de segunda ordem, ou encontrando uma função de interpolação bivariada ao modelo de elevação juntamente com as derivadas desta função [MOO 93].

Os atributos secundários são computados a partir dois ou mais atributos primários e são importantes porque oferecem uma alternativa de descrever padrões em função do processo. Por exemplo, atributos que quantificam a função da topografia na redistribuição de água na superfície tem importante influência hidrológica, geomorfológica e ecológica. Atributos deste tipo representam as características do solo, distribuição e abundância da

Tabela 5.1: Alguns atributos topográficos primários.

Atributo	Definição	Significação
Altitude	Elevação	<i>Clima, vegetação, energia potencial</i>
Altura do aclave	Altura média da área do aclave	<i>Energia potencial</i>
Aspecto	Azimute da inclinação	<i>Incidência solar, evaporação e transpiração, distribuição da flora e fauna</i>
Inclinação	Gradiente	<i>Velocidade de fluxo abaixo e acima da superfície, precipitação, vegetação, geomorfologia, conteúdo de água no solo</i>
Inclinação do Aclave	Média da inclinação do aclave	<i>Velocidade de dispersão</i>
Inclinação da Dispersão	Inclinação média da área de dispersão	<i>Taxa de drenagem do solo</i>
Comprimento do caminho de fluxo	Distância máxima do fluxo da água a um ponto da canalização	<i>Taxas de erosão, campos de sedimentos, tempo de concentração</i>
Curvatura de perfil	Inclinação da curvatura de perfil	<i>Aceleração de fluxo, taxa de erosão e deposição, geomorfologia</i>
Percentil de elevação	Proporção de células em um círculo mais baixo que a célula central	<i>Posição relativa, distribuição de fauna e flora</i>

água no solo, suscetibilidade da superfície à erosão pela água, ou a dispersão da flora e da fauna em uma dada região.

5.4.3. Tratamento de Erros e Incerteza

Erros sistemáticos e não-sistemáticos nos modelos de elevação podem confundir os relacionamentos esperados entre os atributos do terreno e as condições do terreno controladas localmente. Estes problemas podem ser amplificados no momento que são calculadas as derivadas de primeira e segunda ordem [BOL 94].

Os problemas mais sérios são encontrados usualmente quando os atributos secundários são derivados, por exemplo: os índices de capacidade de transporte de sedimentos e de umidade são muito sensíveis à presença de erros na fonte de dados em áreas planas e, também, à escolha do algoritmo de roteamento de fluxo.

Muitos estudos tem examinado as causas, detecção, visualização e correção dos erros nos modelos digitais de elevação e vários métodos foram propostos para a estimativa da magnitude destes erros [POL 91, KRA 94].

Alguns pesquisadores sugerem que a precisão dos atributos topográficos primários e secundários não pode ser determinado pela comparação dos valores calculados com os de referência porque a superfície não é matematicamente suave.

É natural representar o terreno na forma de modelos de elevação digital. A figura 5.3 mostra o MDT no centro das interações entre a fonte de captura de dados e as aplicações. Estas interações são suportadas pelos métodos de geração e por uma variedade crescente de técnicas para a interpretação e visualização de MDT's.

Usualmente, a determinação da resolução apropriada de um modelo digital de

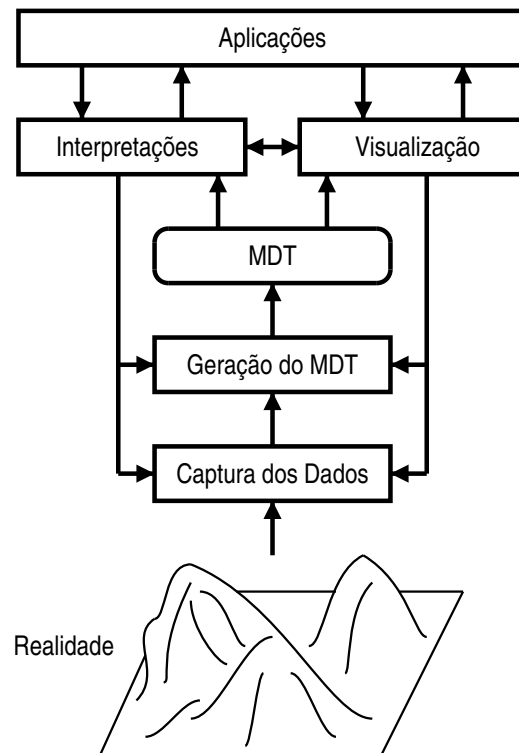


Figura 5.3: Tarefas associadas a modelagem digital de terrenos.

elevação interpolado ou filtrado é um compromisso entre alcançar fidelidade à superfície real e respeitar os limites práticos relacionados com a densidade e precisão das fontes de dados. Esta característica influencia na varredura eficiente dos dados, pois os requerimentos de armazenamento do modelo de elevação são bastante sensíveis à resolução.

Os métodos de adequação da resolução de MDT's à fonte de informação são apropriados quando os dados espaciais são obtidos uniformemente, por exemplo, contornos de elevação a partir de mapas topográficos em escala fixa, ou a partir de dados de elevação em malhas de sensoriamento remoto.

5.5. Modelo de Tesselação para Categorização Topográfica

Esta seção descreve a ferramenta Topo-ICTM, que implementa o modelo intervalar categorizador bi-dimesional para análise da declividade de regiões geográficas, baseado em tesselações.

A análise da declividade embutida nas regras do modelo fornece a situação de cada segmento de área com relação à área total considerada, de acordo com os estados assumidos pelas células da malha, possibilitando, assim, uma subdivisão da região em sub-regiões com características semelhantes.

São utilizadas técnicas intervalares para tratamento dos erros de discretização dos dados e de computações numéricas. Como o modelo é inerentemente paralelo, uma implementação voltada para utilização em cluster de PC's permite a manipulação de uma malha com uma grande quantidade de dados obtidos de imagens de satélite.

5.5.1. Introdução

[AGU 2003] propôs um modelo geral para ferramentas categorizadoras, baseado em tesselações, para subdividir uma certa região geográfica em sub-regiões que apresentem características similares, isto é, que pertencem ao mesmo escopo relativo a um conjunto de propriedades observáveis consideradas, como, por exemplo, relevo, vegetação, dados econômicos, sociais, clima etc.

O número de características que se pretende analisar determina o número de camadas do modelo. Em cada camada, provavelmente obtém-se uma categorização diferente. Uma projeção adequada de todas as camadas na camada base resulta em uma subdivisão significativa da região considerada, obtendo-se uma categorização que considera a ocorrência simultânea de todas as características desejadas, de acordo com as prioridades de incidência estabelecidas pelo especialista.

A Figura 5.4 apresenta o exemplo de uma categorização possível envolvendo três camadas (C_1 , C_2 e C_3). Na camada C_1 a categorização CAT_1 foi realizada considerando a propriedade observável P_1 , na camada C_2 a categorização CAT_2 foi realizada considerando a propriedade observável P_2 e na camada C_3 a categorização CAT_3 foi realizada considerando a propriedade observável P_3 . Na camada base C_B , a projeção das camadas C_1 , C_2 e C_3 fornece uma categorização que mostra sub-regiões com a ocorrência simultânea das propriedades P_1 ou P_2 ou P_3 .

Para controlar os erros oriundos da discretização dos dados de entrada e os provenientes de computações numéricas, são utilizadas técnicas intervalares [MOO 79], garantindo uma categorização confiável.

O modelo em questão é denominado Modelo Categorizador Intervalar Baseado em Tesselações (ICTM - *Interval Categorizer Tessellation-Based Model*).

Aqui, apresenta-se uma versão bidimensional do modelo, com apenas uma camada, denominada de Topo-ICTM. O Topo-ICTM analisa a variação do sinal da declividade da função que mapeia a topografia de uma determinada região, resultando em uma subdivisão desta região em sub-regiões que apresentam o mesmo comportamento com relação à declividade da função relevo, que chamamos de regiões de monotonicidade do relevo. Diz-se que cada sub-região pertence a uma mesma categoria de acordo com o sinal (positivo, negativo, nulo) da declividade da função relevo. A formalização do Topo-ICTM foi apresentada em [AGU 2003a].

Uma aplicação imediata do Topo-ICTM é em Geofísica, onde uma subdivisão adequada de regiões geográficas em segmentos que apresentam características similares é freqüentemente conveniente [COB 2003]. Observa-se que o método de levantamento de dados é um dos fatores que influenciam esse tipo de análise em Geofísica. Geralmente, os dados são baseados em análises e coletas de amostras químicas e físicas tomadas por técnicos ao longo da área em estudo. Dessa forma, dependendo do tamanho da área analisada, é possível que não se possuam dados em quantidade estatisticamente suficientes para uma conclusão convincente. Neste caso, a alternativa mais confiável é a utilização de informações topográficas, como, por exemplo, as obtidas de imagens de satélites, provendo informações mais abundantes em contra-partida à raridade das informações geológicas.

Para automatizar este tipo de análise topográfica, com base no modelo proposto e utilizando dados obtidos de imagens de satélite, foi desenvolvido o sistema Topo-ICTM, implementado em C/C++ (Linux).

Este trabalho teve origem na análise do trabalho de Coblentz et al. [COB 2003],

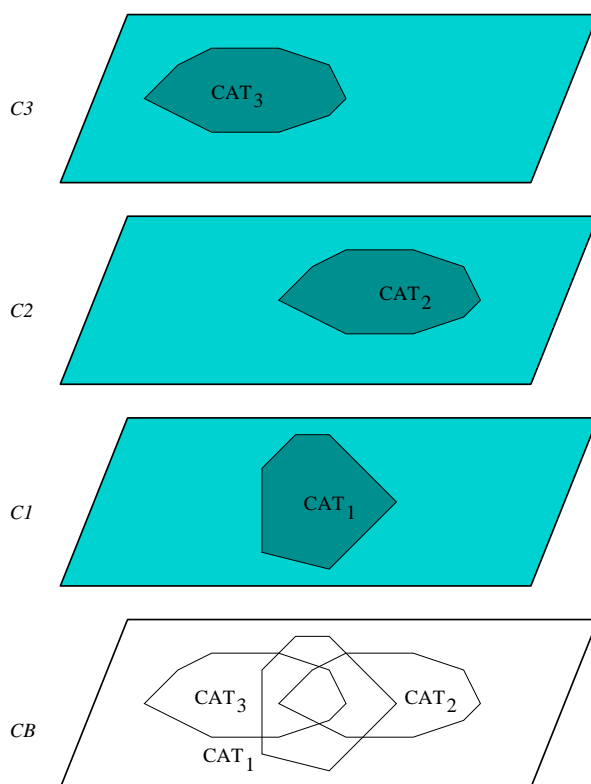


Figura 5.4: Exemplo de uma categorização de três camadas C_1 , C_2 e C_3 , com projeção na camada base C_B .

que apresentou um método baseado em uma análise unidimensional para subdividir áreas geofísicas em sub-regiões de monotonicidade, considerando somente uma direção.

Inspirado em algumas particularidades dos autômatos celulares [ARB 69, MYH 70, von 66, WOL 94], Aguiar e Costa [AGU 2001] apresentaram as idéias iniciais de um modelo que, diferente do que foi proposto em [COB 2003], a partir da definição de uma malha que representa uma certa região, executa uma análise bidimensional do sinal da declividade do relevo desta região. O modelo utiliza regras locais para criação e categorização das sub-regiões, apresentando a situação relativa de cada sub-região com relação a área global, de acordo com os estados assumidos pelas células da malha. Este trabalho deu origem ao Projeto ACI - Autômatos Celulares Intervalares com Aplicações em Topografia [DIM 2001], com financiamento do programa CNPq/CTPETRO.

A generalização deste modelo inicial evoluiu para um modelo baseado em tesselações ICTM [AGU 2003], que é capaz de realizar uma análise de várias características associadas às células da malha, impondo pesos ou prioridades às essas características, resultando em categorizações diferentes, de acordo com essas prioridades.

Em particular, com a versão Topo-ICTM para categorização considerado apenas a declividade da função relevo de uma região, a categorização obtida pode ser refinada facilmente, por exemplo, através da repetição do procedimento direcionada a uma sub-região de uma certa categoria de declividade, ou pela mudança dos parâmetros de entrada (como o número de células da tesselação), ou ainda considerando uma vizinhança com um raio maior etc.

5.5.2. O Modelo Topo-ICTM e sua Implementação

Nesta seção, apresenta-se informalmente o modelo Topo-ICTM, cuja formalização matemática encontra-se em [AGU 2003a]. Também se descreve a implementação de cada etapa do processo de categorização.

O modelo Topo-ICTM constitui-se na versão bidimensional de uma camada do modelo genérico ICTM [AGU 2003], para considerar dados de entrada oriundos de imagens de satélite (coordenadas x , y e z) e realizar uma categorização de acordo com a monotonicidade do relevo.

Para aplicação do modelo, estabelece-se uma malha que representa a região a ser analisada. A cada célula da malha é associado um valor de altura (da elevação do terreno). A análise da monotonicidade da função que mapeia a topografia do terreno (função relevo) da região considerada está embutida nas regras do modelo, que detecta a situação de um segmento de área em relação à área total, através do estado assumido pela célula. Este estado é definido pelas regras do modelo que analisa a variação das alturas. O modelo é regulado por dois aspectos:

1. Pelo número de pontos da malha topográfica que representa a área analisada, que é uma característica determinada pela tomada de informações obtidas das imagens de satélite;
2. Pela resolução espacial (raio da vizinhança da célula), que é um parâmetro interno do sistema.

Identificam-se as seguintes etapas no modelo ICTM:

5.5.2.1. Definição da Malha

A definição da malha a ser utilizada no modelo é uma etapa muito importante para a precisão e pode ser determinante para o sucesso do processamento. Isso acontece porque o tamanho de cada região está diretamente associado ao refinamento do modelo.

O tamanho e dimensão da malha são determinados pela resolução espacial das imagens de satélite. De acordo com os pontos da imagem em que se conhecem os dados de elevação, define-se a dimensão (número de linhas e colunas) da matriz cujos elementos representam as células que compreendem as regiões menores, oriundas da subdivisão da área total. Através dessa definição, o sistema saberá qual o tamanho da região que será analisada.

5.5.2.2. Caracterização Topográfica das Áreas Geográficas

Cada região é caracterizada pela sua topografia. Para cada uma destas regiões tomam-se os dados topográficos a partir de imagens de satélites, ou seja, a altura $h(x, y)$ descrita como uma função da longitude x e latitude y . Estes dados topográficos são os valores iniciais para a construção da matriz de espectros.

5.5.2.3. Formação da Matriz Espectral

Após a definição da malha e da obtenção dos dados topográficos, monta-se a matriz de espectros. Observa-se que muitos dos dados levantados são irrelevantes devido à abundância de informações proporcionada pelas imagens do satélite. É então realizada

uma média dos valores levantados pela tomada dos dados topográficos. Assim, o resultado desta média de valores forma um espectro de valores absolutos, e são esses valores servem de fonte dos dados para o sistema.

Além disso, é necessária uma simplificação dos dados. Isso é feito através de uma normalização dos valores absolutos, dividindo cada valor da matriz pelo maior destes valores.

5.5.2.4. Utilização de Técnicas Intervalares para Controle dos Erros

Utilizam-se intervalos numéricos [MOO 79] para representar os erros de discretização dos valores associados às células do modelo. Após a formação da matriz relativa é necessário gerar uma matriz intervalar dos valores relativos no eixo x e no eixo y .

A implementação desta matriz intervalar foi realizada conforme descrito a seguir. O sistema identifica, para cada célula, a variação de valores de altura em relação às suas células vizinhas à oeste e à leste, no eixo x , e ao norte e ao sul, no eixo y .

O programa compara o valor da célula analisada, diminuindo o valor da mesma pelo valor de suas células vizinhas, obtendo o módulo dessa variação. Esse resultado é dividido por dois, diminuído do valor da célula em questão para gerar o primeiro valor do intervalo, e somado ao valor da célula para gerar o segundo valor do intervalo. Com isso, consegue-se garantir que todos os valores serão representados dentro do intervalo formado.

5.5.2.5. Determinação dos Estados das Células do Modelo

Para a determinação dos estados das células do modelo, são utilizados quatro registradores de declividade (norte, sul, leste e oeste), já que o modelo de vizinhança adotado é inspirado no modelo de Von Neumann [von 66] (veja a Figura 5.5). Estes quatro registradores são utilizados para a determinação do estado da célula em relação às suas vizinhas. Para isso, cada registrador indica se o valor da função (de acordo com os valores da matriz espectral) está crescendo no respectivo sentido. A análise da declividade é efetuada nas direções das quatro células vizinhas.

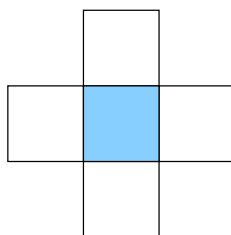


Figura 5.5: Vizinhança de Von Neumann.

A implementação nesta fase foi realizada de forma que o sistema gere quatro matrizes de monotonicidade. A matriz de monotonicidade ao norte, ao sul, ao leste e à oeste.

Para cada célula da malha, o sistema compara se o limite superior do intervalo da célula em questão é menor ou igual ao limite inferior do intervalo da célula vizinha ao leste, atribuindo os valores 0 ou 1 aos registradores de declividade, conforme a função relevo seja não crescente ou não decrescente (respectivamente). Este raciocínio é empre-

gado para a geração das demais matrizes (norte, sul e oeste), observando o sentido da análise e os valores do intervalo.

Após o cálculo e a formação das quatro matrizes de monotonicidade, o sistema gera uma outra matriz, denominada de matriz de *status*. Essa matriz nada mais é do que a matriz que contém o estado de cada célula que detecta a situação de cada segmento em relação à área total. Essa matriz é calculada através da soma dos registradores de declividade multiplicados pelos seus respectivos pesos, previamente definidos. É importante salientar que cada estado calculado é, necessariamente, um dos estados previstos no modelo.

Cada célula poderá assumir um e somente um estado da Figura 5.6, cujo valor associado é calculado de acordo com a equação:

$$Status\ xy = (1 \times reg.e) + (2 \times reg.s) + (4 \times reg.w) + (8 \times reg.n)$$

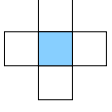
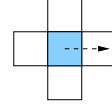
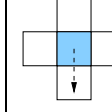
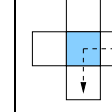
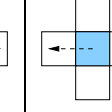
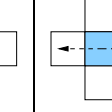
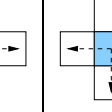
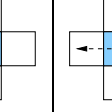
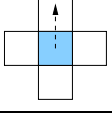
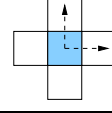
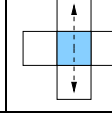
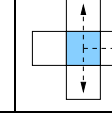
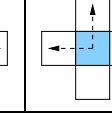
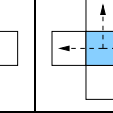
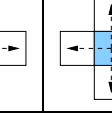
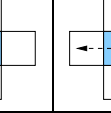
0	1	2	3	4	5	6	7
							
8	9	10	11	12	13	14	15
							

Figura 5.6: Esquema de todos os valores possíveis dos estados da célula.

5.5.2.6. Identificação das Subáreas Geográficas

Para cada célula, além dos quatro registradores de declividade (*reg.n*, *reg.s*, *reg.e* e *reg.w*), há também um registrador para indicar se a célula é limite de uma área, ou seja, se a função está passando de crescente para decrescente (ou vice-versa). Esse registrador é chamado de registrador *limit*.

Assim, para identificar as células limites das sub-áreas geológicas faz-se a análise do registrador *limit* das células da malha. Toda a célula que tiver este registrador setado com o valor 1 é considerada como célula limite de uma sub-área, ou seja, esta é uma célula que compreende uma área cujas características geológicas estão tomando uma nova configuração. Por convenção, todas as células que compõe a borda da matriz têm o seu registrador de limite definido com o valor 1, pois as células da borda limitam uma área, que é a área total.

Uma análise da matriz de limites permite detectar a existência de configurações de relevo conhecidas. A Figura 5.7 mostra alguns exemplos de esquemas de configuração de relevo conhecidos. Observa-se que, sempre que o registrador *limit* tem o valor 1, o sinal da declividade da função relevo muda, fazendo com que esta função passe de crescente para constante (ou decrescente), ou de decrescente para constante (ou crescente) ou constante para crescente (ou decrescente).

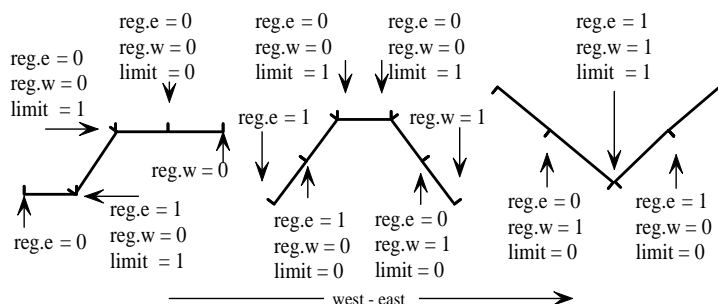


Figura 5.7: Exemplos de esquemas de Células Limite.

A presença de células limite permite uma subdivisão da área geral considerada em categorias de declividade. Isso é realizado pela implementação de um algoritmo recursivo geralmente utilizado para preenchimento de polígonos. O algoritmo percorre a matriz, verificando os registradores de limite das células em busca de células que não são limítrofes (valor zero no registrador). Ao encontrar a primeira célula que satisfaz essa condição, ele armazena a posição (linha e coluna) da mesma em uma pilha (que indica as células que devem ser verificadas) e dá início ao processo de contagem. O algoritmo verifica se as células vizinhas à célula em questão também possuem o registrador limite com o valor zero. Em caso afirmativo, suas posições também são armazenadas e a célula que deu origem a contagem é descartada (excluída da pilha) depois da análise das suas células vizinhas. Este processo é realizado para toda célula que está na pilha. No término deste procedimento, o contador de sub-áreas é incrementado e o processo é reiniciado fazendo nova busca de alguma célula ainda não analisada, parando somente após a constatação de que não existem mais células com o registrador limite igual a zero em toda malha.

Como exemplo, veja a matriz de limites produzida pelo modelo no processo de categorização de uma dada região R, mostrada na Tabela 5.2. A categorização de declividade para a região R, obtida pelo sistema Topo-ICTM, é mostrada na Figura 5.8.

Tabela 5.2: Matriz de limites associada a uma região R.

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	1	0	1
2	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	1	0	1
3	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	1	0	1
4	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	1	0	1
5	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	1	0	1
6	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	1	0	1
7	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

5.5.3. Alguns Comentários sobre o Sistema Topo-ICTM

O sistema Topo-ICTM foi implementado de forma sequencial, no sistema operacional Linux, através da utilização da linguagem C/C++. Está em andamento a imple-

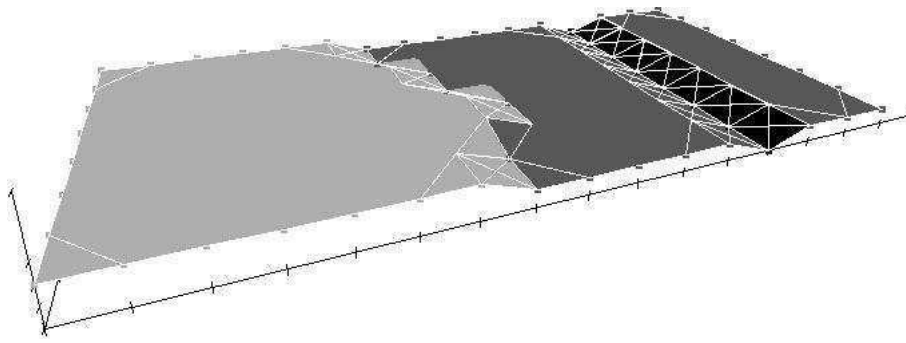


Figura 5.8: A categorização de declividade de uma dada região R.

mentação de uma versão paralela do modelo voltada para utilização no cluster de PC's do grupo de pesquisa GMFC - Grupo de Matemática e Fundamentos da Computação da UCPel.

Essa implementação utiliza a biblioteca de paralelização MPI a fim de obter um ganho de performance considerável no software, possibilitando a realização de análises em grandes regiões, com uma quantidade elevada de informações. Assim, será possível também realizar uma comparação entre a implementação sequencial e a implementação paralela do sistema.

Quanto à interface do sistema, deseja-se implementá-la de forma amigável, de maneira que o usuário possa navegar facilmente. A interface que se tem atualmente é uma interface do protótipo que foi realizado, contendo apenas uma janela com um menu, onde todas as informações sobre as matrizes geradas estão disponíveis, bastando o usuário clicar nos botões e verificar o resultado e um sistema para a representação gráfica da função que mapeia o relevo.

A Figura 5.9 mostra a interface do protótipo do sistema Topo-ICTM. Ela é composta por três janelas: (i) a janela de visualização, que apresenta as informações visuais do relevo, sub-áreas e limites; (ii) a janela do console, que apresenta informações das células e da malha, e (iii) cardápio de opções (à direita) com as operações disponíveis no sistema.

5.5.4. Aplicações na Geração da Superfície Topográfica

A apresentação cartográfica é a forma de comunicação mais eficiente de vários profissionais que trabalham com informações geográficas, posicionadas cartograficamente, o que permite uma visão abrangente e imediata da área representada.

A geração de uma superfície topográfica é o fundamento para qualquer trabalho subsequente, como controle do meio ambiente, estudo da estabilidade de taludes, desenvolvimento urbano, construção de estradas, prospecção de água subterrânea, levantamentos de geotecnia aplicada a barragens, rios, canais, portos etc.

Especificando as aplicações na área da geofísica, por exemplo, o modelo tridimensional constitui uma poderosa ferramenta para a visualização e interpretação dos dados geológicos necessários para o planejamento das atividades de lavra, que incluem, entre outras aplicações:

- O dimensionamento dos taludes (altura e inclinação);

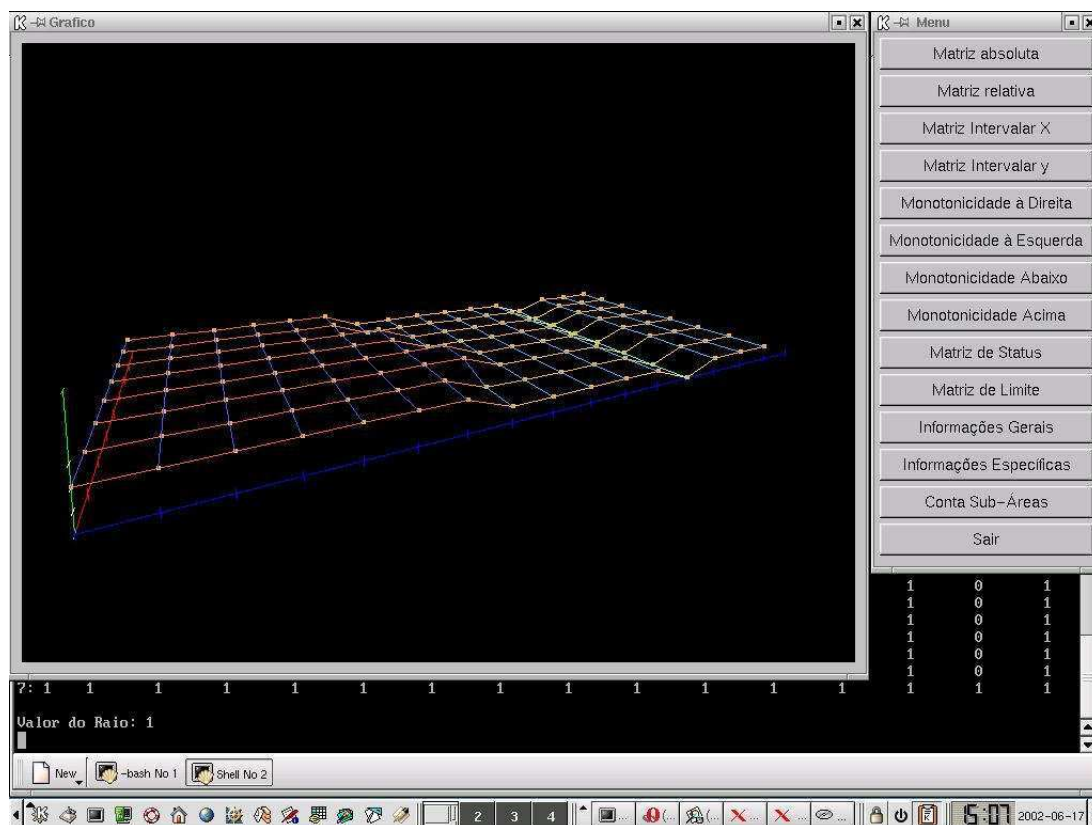


Figura 5.9: Interface do Protótipo.

- A otimização das operações de fragmentação, corte e extração;
- A cubagem e estimativa de reservas, em associação a outros softwares de mineração que permitam cálculos de área, volume e variabilidade do depósito.

Como princípio metodológico devemos obter uma superfície topográfica na escala adequada aos nossos propósitos.

A ferramenta Topo-ICTM possibilitará uma definição e visualização mais precisa da geometria de superfícies topográficas, adequadas aos objetivos de futuras aplicações em escalas variadas.

Para validar o modelo, está sendo elaborado um modelo de segmentação da superfície topográfica da porção leste do Estado Rio Grande do Sul, abrangendo uma área que compreende imagens do Satélite LANDSAT TM7 ETM+, órbita-ponto 221-080/221-081/221-082 (veja o mosaico na Figura 5.10) e o detalhamento compreendendo uma região de 60x120 Km da serra gaúcha, a partir de dados do Modelo de Elevação Digital gerados pelo Satélite ASTER. O mapa de localização das cenas do satélite ASTER pode ser visualizado na Figura 5.11.

Encontram-se nesta região quatro unidades geomorfológicas distintas: a Planície Costeira, Escudo Sul-riograndense, Depressão Central e o Planalto. Dependendo da região em estudo, da sua declividade e variação altimétrica será necessário partir de dados com resolução espacial mais adequada à região. Esta base de dados topográficos em escalas distintas e a aplicação em áreas geomorfológicamente distintas permitirá analisar os resultados com maior veracidade.

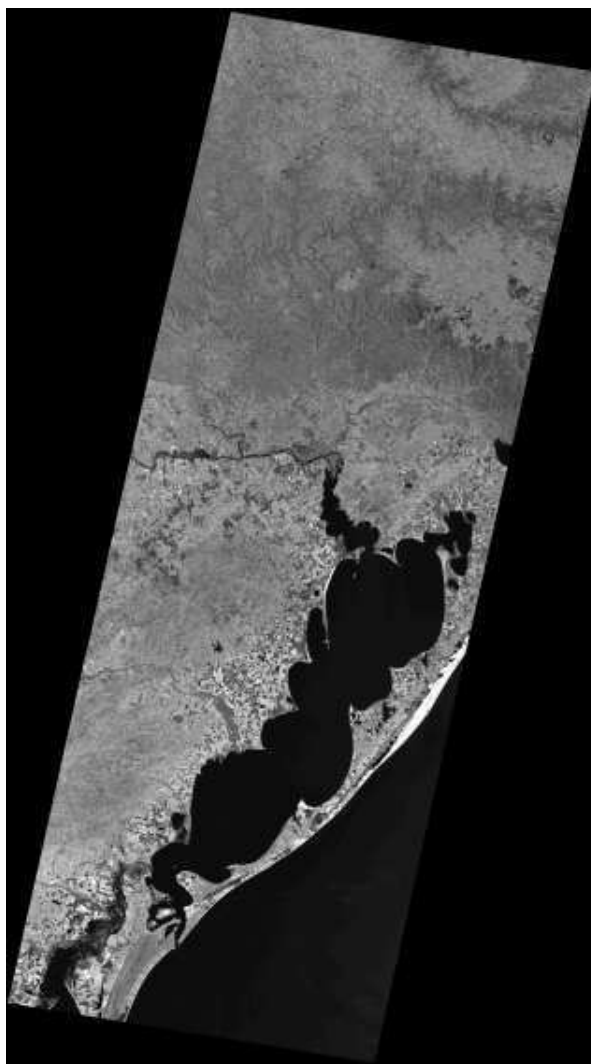


Figura 5.10: Mosaico das três órbitas-ponto do satélite LANDSAT TM7.

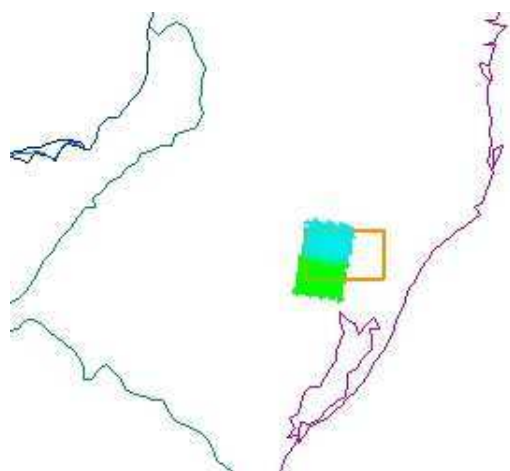


Figura 5.11: Mapa de localização das cenas do satélite ASTER.

Os dados gerados pelo sistema Topo-ICTM serão comparados com os dados de uma base de dados geográfica da superfície topográfica, produzidas a partir das cartas topográficas na escala 1:250.000, permitindo gerar Modelos de Elevação Digital com resoluções espacial de 125m.

Estas informações geradas serão detalhadas comparando e extrapolando os resultados do Topo-ICTM em escalas maiores a partir dos dados das cartas topográficas na escala 1:50.000, proporcionando gerar o modelo de elevação digital com resolução espacial de 25m, e dos dados da Imagem ASTER com uma resolução espacial de 10m. Este conhecimento auxiliará na validação da superfície topográfica gerada pelo Topo-ICTM.

As imagens acima referidas encontram-se com referências geográficas, corrigidas geometricamente e orto-retificadas de acordo com a base cartográfica em escala coerente com a resolução espacial da Imagem LANDSAT TM7.

5.5.5. Conclusão

O ICTM é um modelo baseado em tesselação genérico que é capaz de produzir confiáveis categorizações de sub-regiões de uma dada região geográfica, de acordo com múltiplas características que são conhecidas em um número suficiente de pontos.

A categorização determinada por cada característica é executada em uma das camadas do modelo, gerando diferentes subdivisões da região analisada. Por exemplo, uma região pode ser analisada de acordo com sua topografia, vegetação, demografia, dados sócio-econômicos etc.

O modelo de tesselação genérico não é restrito à análise de regiões bidimensionais. O conjunto de pontos analisados pode pertencer a um espaço multidimensional, determinando o caráter multidimensional de cada camada. Um procedimento do tipo projeção da categorização de cada camada, sobre a camada base, permitirá uma categorização confiável e significativa, que combinará a análise executada para cada característica. Isto permitirá uma análise interessante da dependência mútua dessas características.

No caso específico do Topo-ICTM, considera-se apenas uma característica, a declividade da função que mapeia o relevo da região considerada, executando uma análise bidimensional, que considera latitude e longitude.

A dimensão da tesselação pode ser arbitrária, ou escolhida de acordo com um critério específico estabelecido pelo especialista que conduz a aplicação, ou determinada pela natureza dos dados de entrada.

Em qualquer caso, a categorização obtida pode ser refinada pela definição, por exemplo, de uma outra dimensão, ou tomando cada sub-região resultante para ser analisada separadamente. A análise pode ser executada até que um número conveniente de sub-regiões seja obtido, caracterizando o dinamismo do modelo.

A natureza do modelo é naturalmente paralela, uma vez que a análise é executada com base em regras locais. Como os dados de entrada são usualmente susceptíveis a erros, a aplicação da matemática intervalar é justificada. A implementação paralela para aplicação em cluster de PC's também está em andamento.

Uma análise comparativa entre os resultados obtidos com a utilização da ferramenta e os produzidos a partir de cartas topográficas, permitirá uma avaliação da ferramenta Topo-ICTM, trabalho este que já está em andamento. Igualmente, comparações com resultados produzidos por ferramentas específicas integradas a SIGs como Spring e Grass também serão realizadas.

Como trabalho futuro, pretende-se desenvolver uma ferramenta ICTM, baseada no modelo geral, para suportar a extração do conhecimento baseada em regras definidas sobre o processo de categorização [AGU 2003].

5.6. Agradecimentos

Este trabalho tem suporte financeiro do programa CTPETRO/CNPq e do programa CTINFO/CNPq, que possibilitou a aquisição de equipamentos, imagens de satélite, cartas topográficas e outros recursos adequados às atividades propostas, e, além disso, garantiu, através de bolsas de fomento tecnológico, a participação de profissional da área de Sensoriamento Remoto e de técnicos em Geomática. O trabalho tem também apoio da FAPERGS, através de seu programa de bolsas de iniciação científica.

5.7. Bibliografia

- [AGU 2003a] AGUIAR, M. S.; COSTA, A. C. R.; DIMURO, G. P. ICTM: an interval tessellation-based model for reliable topographic segmentation. **Numerical Algorithms**, Dordrecht, Kluwer, 2003. (a ser publicado).
- [AGU 2001] AGUIAR, M. S.; COSTA, A. C. R. Autômatos celulares para análise da monotonicidade da declividade de áreas geológicas. In: III WORKSHOP BRASILEIRO BRASILEIRO DE GEOINFORMÁTICA, 2001, Rio de Janeiro. **Anais...** Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Computação, 2001. p.87–94.
- [AGU 2003] AGUIAR, M. S.; COSTA, A. C. R. **Um modelo categorizador intervalar n-dimensional com l-camadas baseado em tesselações**. 2003. Proposta de Tese — PPGC/UFRGS, Porto Alegre.
- [ARB 69] ARBIB, M. **Theories of abstract automata**. Englewood, CA: Prentice-Hall, 1969.
- [BOL 94] BOLSTAD, P. V.; STOWE, T. An evaluation of dem accuracy: elevation, slope and aspect. **Photogrametric Engineering and Remote Sensing**, v.60, p.1327–1332, 1994.
- [BUR 98] BURROUGH, P. A.; MCDONNELL, R. A. **Principles of geographical information systems**. Oxford, UK: Oxford University Press, 1998.
- [BUR 89] BURROUGH, P. **Principles of geography information systems for land resources assessment**. Oxford: Clarendon Press, 1989.
- [CAM 93] CAMARA, G. Anatomia de sistemas de informações geográficas: visão atual e perspectivas de evolução. In: ASSAD, E.; SANO, E. (Eds.). **Sistema de informações geográficas: aplicações na agricultura**. Brasília: EMBRAPA, 1993.

- [COB 2003] COBLENTZ, D. et al. Towards reliable sub-division of geological areas: interval approach. In: REZNIK, L.; KREINOVICH, V. (Eds.). **Soft computing in measurements and information acquisition**. Berlin-Heidelberg: Springer-Verlag, 2003. p.223–233.
- [DIM 2001] DIMURO, G. P. et al. **Projeto ACI: autômatos celulares intervalares com aplicações em topografia**. Pelotas: ESIN/UCPEL, 2001. (disponível via WWW em <http://gmc.ucpel.tche.br/aci>).
- [GAG 96] GAGNON, P.; BÉDARD, Y. From surveying to geomatics – evaluation of education needs to adapt to a new paradigm (a canadian perspective). **Geomatica**, v.50, n.3, p.269–286, 1996.
- [GRA 94] GRAYSON, R. B.; BLOSCHL, G.; MOORE, I. D. Distributed parameter hydrologic modeling using vector elevation data: thales and tapes-c. In: SINGH, V. P. (Ed.). **Computer models of watershed hydrology**. Boca Raton, FL: CRC, 1994. p.669–696.
- [HUT 96] HUTCHINSON, M. F. et al. The development of a topographic and climate database of africa. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON INTEGRATING GIS AND ENVIRONMENTAL MODELLING, 3., 1996, Sante Fe. **Proceedings...** [S.l.: s.n.], 1996.
- [KIR 96] KIRKBY, M. J. et al. Scaling up processes and models. **Journal of Soil and Water Conservation**, v.51, n.5, p.391–396, September-October 1996.
- [KOR 94] KORTE, G. **The GIS book**. 3.ed. Santa Fé: On World Press, 1994.
- [KRA 94] KRAUS, K. Visualization of the quality of surfaces and their derivatives. **Photogrametric Engineering and Remote Sensing**, v.60, p.457–462, 1994.
- [MAC 96] MACKEY, B. The role of gis and environmental modeling in the conservation of biodiversity. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON INTEGRATING GIS AND ENVIRONMENTAL MODELLING, 3., 1996, Sante Fe. **Proceedings...** [S.l.: s.n.], 1996.
- [MEN 2000] MENEGUETTE, A. **Introdução ao geoprocessamento**. Presidente Prudente: UNESP, 2000. (disponível via WWW em http://www2.prudente.unesp.br/dcartog/arlete/hp_arlete/courseware/intgeo.htm).
- [MOO 91a] MOORE, I. D.; GRAYSON, R. B.; LADSON, A. R. Digital terrain modeling: a review of hydrological, geomorphological and biological applications. **Hydrological Processes**, v.5, p.3–30, 1991.
- [MOO 91] MOORE, I. D.; HUTCHINSON, M. F. Spatial extension of hydrologic process modelling. In: INTERNATIONAL HYDROLOGY AND WATER RESOURCES SYMPOSIUM, 1991, Canberra. **Proceedings...** Institute of Australian Engineers, 1991. p.803–808.

- [MOO 93] MOORE, I. D.; LEWIS, A. D.; GALLANT, J. C. Terrain attributes: estimation methods and scale effects. In: JAKEMAN, A. J.; BECK, M. B.; MCALEER, M. J. (Eds.). **Modelling change in environmental systems**. New York: Wiley, 1993. p.189–214.
- [MOO 79] MOORE, R. E. **Methods and applications of interval analysis**. Philadelphia, PA, USA: Society for Industrial and Applied Mathematics, 1979. xi + 190p.
- [MYH 70] MYHILL, J. The abstract theory of self-reproduction. In: BURKS, A. W. (Ed.). **Essays on cellular automata**. [S.l.]: University of Illinois Press, 1970. p.206–218.
- [PHI 86] PHILLIPS, J. D. Sediment storage, sediment yield, and time scales in sediment denudation studies. **Geographical Analysis**, v.18, p.161–167, 1986.
- [POL 91] POLIDORI, L.; CHOROWICZ, J.; GUILLANDI, R. Description of terrain as a fractal surface and application to digital elevation. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v.57, p.1329–1332, 1991.
- [PRO 96] INTERNATIONAL CONFERENCE ON INTEGRATING GIS AND ENVIRONMENTAL MODELLING, 3., 1996, Sante Fe. **Proceedings...** [S.l.: s.n.], 1996.
- [ROD 91] RODRIGUES, M.; QUINTANILHA, J. A. A seleção de software SIG para gestão urbana. In: XV CONGRESSO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA, 1991, São Paulo. **Anais...** SBC, 1991. p.513–519.
- [ROD 88] RODRIGUES, M. Geoprocessamento. In: V ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHEIROS CARTÓGRAFOS, 1988, UNESP. **Anais...** Presidente Prudente, 1988. p.144–160.
- [ROD 90] RODRIGUES, M. Introdução ao geoprocessamento. In: I SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOPROCESSAMENTO, 1990, São Paulo. **Anais...** EDUSP, 1990. p.1–26.
- [SCH 81] SCHAFFER, W. M. Ecological abstraction: the consequences of reduced dimensionality in ecological models. **Ecological Monographs**, v.5, p.383–401, 1981.
- [SIL 87] SILVA, J.; SOUZA, M. **Análise ambiental**. Rio de Janeiro: Editora da UFRJ, 1987.
- [SMI 94] SMITH, D.; LEWIS, M. Optimal predictors for compression of digital elevation models. **Computers and Geosciences**, v.20, p.1137–1141, 1994.
- [TEI 92] TEIXEIRA, A. L.; MORETTI, E.; CHRISTOFOLETTI, A. **Introdução aos sistemas de informação geográfica**. Rio Claro: Ed. do Autor, 1992.

- [TRE 83] TREMBLAY, J. P.; BUNT, R. B. **Introduction to Computer Science: an algorithmic approach**. [S.l.]: McGraw-Hill, 1983.
- [von 66] BURKS, A. W. (Ed.). **Theory of self-reproducing automata**. [S.l.: s.n.], 1966. xix + 388p.
- [WIL 99] WILSON, J. P.; BURROUGH, P. A. Dynamic modelling, geostatics and fuzzy classification: new sneakers for a new geography? **Association of American Geographers**, v.89, p.736–746, 1999.
- [WIL 96] WILSON, J. P. Gis-based land surface/subsurface models: new potential for new models. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON INTEGRATING GIS AND ENVIRONMENTAL MODELLING, 3., 1996, Sante Fe. **Proceedings...** [S.l.: s.n.], 1996.
- [WOL 94] WOLFRAM, S. **Cellular automata and complexity: collected papers**. Readings: Addison- Wesley, 1994.