Campus de São Carlos

DESENVOLVIMENTO DE UM ALGORITMO PARA O
TRAÇADO DO DIVISOR DE ÁGUAS DE UMA BACIA
HIDROGRÁFICA EM PROGRAMAS QUE UTILIZAM
SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS (SIG)

Sérgio Augusto de França Cordovil

Orientador : Woodrow Nelson Lopes Roma

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

**ESCOLA DE ENGENHARIA
DE SÃO CARLOS**

DESENVOLVIMENTO DE UM ALGORITMO PARA O TRAÇADO DO DIVISOR DE ÁGUAS DE UMA BACIA HIDROGRÁFICA EM PROGRAMAS QUE UTILIZAM SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS (SIG)

Sérgio Augusto de França Cordovil

Dissertação apresentada à Escola de Engenharia
de São Carlos da Universidade de São Paulo,
como parte dos requisitos para obtenção do título
de Mestre em Engenharia Civil

ORIENTADOR : Prof. Dr. Woodrow N. L. Roma

Serviço de Pós-Graduação EESC/USP
EXEMPLAR REVISADO
Data de entrada no Serviço: 15.10.01
Ass.: <i>J. Almeida</i>

São Carlos
2001

DEDALUS - Acervo - EESC

31100036794

Class.	TESE-EESC
Cott.	1596
Tombo	T0240/01

st 1207447

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Tratamento
da Informação do Serviço de Biblioteca – EESC/USP

C796d Cordovil, Sérgio Augusto de França
Desenvolvimento de um algoritmo para o traçado do
divisor de águas de uma bacia hidrográfica em
programas que utilizam sistemas de informações
geográficas (SIG) / Sérgio Augusto de França Cordovil.
-- São Carlos, 2001.

Dissertação (Mestrado) -- Escola de Engenharia de
São Carlos-Universidade de São Paulo, 2001.
Área: Hidráulica e Saneamento.
Orientador: Prof. Dr. Woodrow N. L. Roma.

1. Sistema de Informação Geográfica (SIG).
2. Determinação de uma bacia hidrográfica.
3. Bacia hidrográfica. I. Título.

FOLHA DE JULGAMENTO

Candidato: Engenheiro **SERGIO AUGUSTO DE FRANÇA CORDOVI**

Dissertação defendida e julgada em 16-08-2001 perante a Comissão Julgadora:

Prof. Tit. **WOODROW NELSON LOPES ROMA** (Orientador)
(Escola de Engenharia de São Carlos/USP)

Aprovado

Prof. Dr. **LUIZ ANTONIO DANIEL**
(Escola de Engenharia de São Carlos/USP)

Aprovado

Prof. Dr. **SERGIO ANTONIO RÖHM**
(Universidade Federal de São Carlos - UFSCar)

Aprovado

Profa. Associada **MARIA DO CARMO CALJURI**
Coordenadora do Programa de Pós-Graduação
em Engenharia (Hidráulica e Saneamento)

p/ **JOSÉ CARLOS A. CINTRA**
Presidente da Comissão de Pós-Graduação da EESC

Dedicatória

Aos meus pais e irmãos:

Obrigado pelo apoio em todos os momentos da minha vida

Pela ótima convivência, agradeço:

Aos amigos, colegas, professores e funcionários do SHS, que tiveram a paciência de me ajudar sempre que solicitei;

Ao meu orientador, o Prof. Dr. Woodrow Roma, que agora é um amigo a quem sempre admirarei.

À Maria Lúcia Calijuri, que contribuiu com valiosas informações.

Sumário

1	Introdução	1
2	Objetivos	5
3	Metodologia	6
4	Revisão Bibliográfica	8
4.1	Hidrologia Descritiva.....	8
4.1.1	Bacia Hidrográfica	8
4.1.2	Precipitação	9
4.1.3	Divisores de Águas	10
4.2	Determinação de Uma Bacia Hidrográfica	11
4.3	Sistemas de Informações Geográficas (SIG)	13
4.3.1	Definição de SIG	14
4.3.2	Anatomia dos Sistemas de Informações	18
4.3.2.1	Caracterização de Dados Geográficos.....	18
4.3.2.2	Modelagem de Dados Geográficos	19
4.3.2.3	Operações e Consultas Sobre Dados Geográficos	20
4.3.3	Conceitos sobre Informações Espaciais (Calijuri, 2000)	22
4.3.3.1	Amostragem do Mundo – Representação da Realidade.....	22
4.3.3.2	Características Básicas de Dados Espaciais e Sua Manipulação	23
4.3.3.3	Tipos de Dados Geográficos e Sua Representação em SIGs.....	24
4.3.3.4	Apresentação ou Visualização de Dados Geográficos.....	26
5	O Algoritmo	28
5.1	Considerações gerais.....	28
5.2	Explicação do Algoritmo	28
5.3	Descrição do Mapa Fictício	30
5.4	Pontos Críticos	37
5.5	Descrição dos Passos do Algoritmo	43
5.6	Algoritmo Para Definição dos Limites da Bacia.....	48
6	Conclusões	69
7	Bibliografias.....	71

Lista de Variáveis

- **a,b,i,j** : contadores
- **idrioin**: identificador dos rios da bacia
- **idrioout**: identificador dos rios de outras bacias
- **ipb**: localização x do ponto pertencente à bacia
- **ipd**: localização x do ponto à direita
- **ipe**: localização x do ponto à esquerda
- **ipm**: localização x do ponto de máxima cota
- **jpb**: localização y do ponto pertencente à bacia
- **jpe**: localização y do ponto à direita
- **jpe**: localização y do ponto à esquerda
- **jpm**: localização y do ponto de máxima cota
- **l,m,n**: número inteiro real
- **nr**: quantidades de números repetidos
- **p3**: definição de aceitação do ponto
- **p4**: definição de aceitação de um ponto
- **ponto1**: primeiro ponto encontrado de maior valor de altimetria
- **ponto2**: segundo ponto encontrado de maior valor de altimetria
- **pt1,pt2,pt3,pt4,pt5,pt6,pt7,pt8**: pontos de altimetria ao redor do ponto que está sendo analisado
- **pt1xy,pt2xy,pt3xy,pt4xy,pt5xy,pt6xy,pt7xy,pt8xy**: pontos com indicadores x e y, ao redor d ponto que está sendo analisado
- **ptbacia**: ponto pertencente à linha da bacia
- **ptbaciainicio**: mesmo valor de ptbacia
- **ptdir**: ponto à direita do que está em análise
- **ptesq**: ponto à esquerda do que está em análise
- **ptfim** : ponto final do traçado
- **ptfimplato**: ponto de saída de um local plano

- **ptigual:** ponto igual ao primeiro achado em um local plano
- **ptini:** ponto de início do traçado
- **ptinioplato:** ponto de início de um local plano
- **ptisol :** ponto para definir o lado esquerdo ou direito
- **ptisolxy:** ponto com coordenadas para definir o lado esquerdo ou direito
- **ptlim:** limite das coordenadas do mapa
- **ptmaxcota :** ponto de cota máxima entre os analisados
- **ptmincota:** ponto de mínima cota de uma análise
- **ptvetorlinha:** ponto de início do traçado uma linha para atravessar um local plano
- **sim,não,s,n,fim:** reposta de uma condição
- **vetorbeira:** vetor de pontos que beiram um local plano
- **vetorigual:** vetor de comparação
- **vetorlinhabacia:** vetor que atravessa um local plano
- **vetorplato:** vetor que atravessa um local plano
- **vetorplatofimxy:** vetor de coordenadas dos pontos que atravessam um local plano começando pelo ponto de saída desse local
- **vetorplatoinicioxy:** vetor de coordenadas dos pontos que atravessam um local plano começando pelo primeiro ponto achado desse local
- **vptana :** vetor dos pontos que já foram analisados
- **vptidem:** vetor de pontos repetidos
- **vpriosbacia:** vetor dos rios que pertencem à bacia
- **vptsa :** vetor dos pontos que estão sendo analisados
- **vptsa0:** vetor dos pontos que estão sendo analisados
- **vptsa1:** vetor dos pontos que estão sendo analisados
- **vptsa2:** vetor dos pontos que estão sendo analisados
- **vptsaxy :** vetor com coordenadas x e y, dos pontos que estão sendo analisados

LISTA DE FIGURAS

<i>FIGURA</i>	<i>PÁGINA</i>
4.2.1 - Mapa digitalizado de um local.....	11
4.2.2 - Definição de uma bacia manualmente.....	12
4.3.1 - Dados gerados e manipulados pelo SIG	13
4.3.1.1 - Representação vetorial e matricial	16
4.3.3.1.1 - Amostragem e representação de dados reais em SIG's	22
4.3.3.2.1 - Componentes conceituais de um SIG	25
4.3.3.3.1 - Decomposição de dados geográficos e métodos de.....	27
representação	
5.3.1 - Seleção de uma bacia em um mapa digitalizado	31
5.3.2 - Modelo digital de terreno (DTM) gerado no Idrisi	32
5.3.3 - Determinação de uma bacia através do Idrisi	33
5.3.4 - Formulação de um mapa fictício	34
5.3.5 - Mapa fictício gerado no Idrisi à 50 ^o	36
5.3.6 - Mapa fictício gerado no Idrisi à 0 ^o	36
5.4.1 - Mapa de declividades (slope)	38
5.4.2 - Mapa de direção da declividade (aspect)	39
5.4.3 - Definição da linha divisória da bacia em um local plano	40
5.4.4 - Exemplo de um local plano através de altimetria.....	41
5.4.5 - Exemplo de picos não pertencentes à linha da bacia.....	42
5.4.6 - Sentido da análise dos oitos pixels à volta	42
5.5.1 - Orientação dos pixels e definição dos pontos à esquerda.....	45
e à direita	
5.5.2 - Linha do divisor da bacia	47

RESUMO

Este trabalho trata da organização de um algoritmo, sem preocupação com a linguagem de programação que possa ser utilizada, para desenvolver um método para o traçado da linha divisória de uma bacia hidrográfica, para aplicações em SIG.

O método escolhido foi o de análise dos oitos pixels à volta de um pixel já pertencente ao divisor, constituindo uma variação do processo conhecido como D8 (determinístico dos oito vizinhos), que só é possível ser aplicado em sistemas do tipo raster. A partir dessa análise desenvolveu-se uma metodologia para a definição do próximo pixel que pertencerá ao divisor de águas da bacia.

A avaliação do algoritmo foi feita utilizando-se um mapa fictício, criado para incluir as mais prováveis dificuldades encontradas na definição do divisor de uma bacia através de programa computacional. O traçado obtido, acompanhando as etapas lógicas do algoritmo, mostrou-se adequado quando comparado com a linha divisória da bacia traçada manualmente.

Um mapa digitalizado a partir de local real é utilizado como exemplo de aplicação do algoritmo desenvolvido.

Palavras-chave: Sistemas de Informações Geográficas (SIG), determinação de uma bacia, bacia hidrográfica.

ABSTRACT

This work is about the organizing of an algorithm, without any regard with the programming language that may be used, in order to develop a method for delineation of watershed boundaries, for GIS applications.

The method chosen was the analysis of eight pixels that surround another pixel belonging to the watershed, being a variation of the process known as D8 (deterministic of the eight neighbors), which can only be applied in raster systems. Considering this analysis, a methodology was developed for establishing the next pixel that will belong to the watershed.

The algorithm evaluation was done with a fictitious map, created to include the most probable difficulties in establishing the divisor of a watershed through a computer program. The obtained line, following the logical steps of the algorithm, was suitable when compared with the dividing line of the watershed done manually.

A digital map of a real place is used as an example of application of the developed algorithm.

Keywords: Geographic Information System (GIS), delineation of watershed, watershed.

1 Introdução

Das dificuldades encontradas nos processos de gerenciamento e monitoramento de recursos naturais a maior, sem dúvida, era a ineficiência dos métodos de catalogação, sistematização e manipulação do acervo de dados existentes. Esta lacuna está sendo preenchida pelo desenvolvimento de novos processos, que trazem automação e precisão, feitos para suprir a lentidão inaceitável no processo de gerenciamento que impedia o conhecimento adequado da situação real das informações e, conseqüentemente, dificultava as análises e direcionamento das soluções.

A criação de bancos de dados eletrônicos, que englobam informações tanto de caráter descritivo quanto gráfico (mapas digitais), vem se apresentando como a alternativa mais inteligente para implantação de processos de gerenciamento práticos e eficientes. A facilidade de manutenção e controle de qualidade e a rapidez nas consultas, sendo elas básicas ou complexas, fazem dos Sistemas de Informações Geográficas (SIG) uma tecnologia absolutamente imprescindível para a gestão de recursos naturais.

Em diferentes tipos de estudos que utilizam a bacia hidrográfica, tais como enchentes, ecossistemas, erosões, áreas de contribuição etc., é importante definir a linha dos divisores de águas para que se possa saber a dimensão da bacia. O traçado manual desse divisor é criterioso e poderá conduzir a erros por ser muito trabalhoso e despende grande quantidade de tempo. Esta é a principal razão para o desenvolvimento de procedimentos e uso de automações em Sistemas de Informações Geográficas (SIG) através da análise de Modelos Digitais de Terreno (DEM, em inglês).

É notório o crescimento dos sistemas de informações geográficas e suas bases de dados digitais, puxado, é claro, pelas facilidades da informática, enriquecendo as análises espaciais e permitindo estudos mais complexos para uma grande variedade

de aplicações ambientais. A partir da década de 1960 o SIG apresentou um rápido desenvolvimento teórico, tecnológico e organizacional, tendo seu período mais intenso nos últimos cinco anos.

A compreensão do erro e da incerteza é crítica para o próprio uso de informações espaciais. Esse erro pode ser definido como o desvio entre a representação do SIG e o seu valor ou sua aparência real. Porém ele tende a diminuir com o aperfeiçoamento das máquinas ligadas a essa área de estudo, bem como com a interação mundial (ressalta-se a comunicação e a divulgação pela Internet) e o desenvolvimento de novas técnicas para tais aplicações.

Existem vários programas para a manipulação de dados espaciais relacionados ao SIG, como exemplos temos o *TRANSCAD*, que é mais voltado para a área de transporte, mas tem ótimos recursos, o *Idrisi*, (Clark Labs), que é um programa com bons recursos, porém com falhas em alguns pontos e para exemplificar um software nacional de ótima qualidade e de livre distribuição temos o *Spring* (Inpe), que peca por ter recursos limitados.

A finalidade do desenvolvimento de um algoritmo para o traçado de divisores topográficos é exatamente pela falha dos aplicativos atuais que trabalham com SIG (os que puderam ser analisados) têm em executar essa tarefa ou simplesmente não a possuem.

Existem programas que possuem poderosas ferramentas de programação como o *TRANSCAD*, mas a sua utilização na área de hidrologia seria um pouco restrita. O *Spring* tem ótimos interpoladores, mas falta-lhe uma área para programação ou pelo menos a possibilidade de executar uma sub-rotina para chegar ao traçado. O *Idrisi* foi o software mais intensamente estudado, pois inicialmente pensava-se ser possível fazer uma sub-rotina, que através de ponderações em diversas camadas, delinear a bacia, tarefa esta impedida pelo mal desempenho que esse programa tem em seu interpolador. Provavelmente esse mal desempenho seja uma das causas de sua falha ao tentar delinear a bacia, através da função que tem essa finalidade (chamada '*watershed*'), que chega a resultados muito confusos e imprecisos.

Atualmente, a maioria dos estudos feitos para a definição da bacia é baseada em mapas do tipo '*raster*' ou matricial e utilizando um processo que analisa os oito

pixels em volta de um ponto, como por exemplo o método D8 (determinístico dos oito vizinhos). A grande dificuldade encontrada nestes métodos é certos tipos de topografias que dificultam a decisão a ser tomada por processos automatizados. O princípio básico desses processos é a comparação entre os valores dos pixels que estão sendo analisados, o que apresenta grande dificuldade quando se tem uma elevação que pertence à bacia, um buraco ou um local plano. Para demonstrar essa dificuldade podemos submeter à análise uma área que possui pixels de mesmo valor (representando um local plano) e veremos que a decisão para o caminho correto será bastante dificultada, pois terá que ser escolhido um pixel, quando todos os analisados têm o mesmo valor. Esta dificuldade provoca a busca de métodos alternativos. Por outro lado, um método alternativo pode não ser aplicável aos programas já desenvolvidos para a manipulação do SIG, o que pode torná-lo inviável. O melhor, portanto, é utilizar os princípios presentes nos programas existentes para o desenvolvimento de novas ferramentas.

As pesquisas nesta área têm sido direcionadas para o comportamento do fluxo da água, avaliando a direção tomada por ela, sendo mais freqüentes para a análise de fotos de satélites, o que seria algo mais avançado do que o estudo de um mapa digitalizado. São assuntos muito recentes e com poucas referências, ainda mais se tratando de um que seja específico para traçar os divisores de uma bacia. Então, em consequência desta área estar dando seus primeiros passos, os programas ainda não podem ser considerados totalmente eficazes e muitos objetivos só são alcançados depois de vários passos, às vezes com recursos que não são encontrados no programa que está sendo utilizado. Essas críticas são apenas construtivas para programas que já têm comprovadas suas utilidades pois já possuem ótimas ferramentas e despontam como grandes solucionadores de problemas em que envolvam SIG e até podem ser bons instrumentos para outros problemas. Para o futuro, espera-se algum processo totalmente automático, onde não será preciso a digitalização dos mapas e programas inteligentes traçarão as bacias requeridas.

A solução apresentada por este algoritmo é uma tentativa de automatizar este procedimento com a melhor aproximação do real que se pode chegar para o traçado, utilizando o processo de comparação entre os pixels, de várias formas e várias vezes, levando em consideração o princípio para definir o divisor de bacias em que o pixel

que irá defini-lo é o que representa o ponto de maior altitude entre os que estão a seu lado, basicamente. Portanto, esse algoritmo, restringe-se à superfície, não avaliando o que está abaixo dela. Ele trabalhará com dados de mapas digitalizados e já manipulados para que se tire, através de um processo de interpolação, a altitude de todos os pixels que representam os pontos do terreno. Ainda assim será necessária a intervenção do usuário para fornecer alguns dados de entrada para que o algoritmo possa definir a bacia.

2 Objetivo

O presente trabalho tem como objetivo elaborar um algoritmo para o traçado do divisor de águas de uma bacia hidrográfica, definindo a área de contribuição, para interação com programas que utilizam SIG (Sistema de Informação Geográfica), em um modo raster (matricial).

3 Metodologia

Para uma definição acurada do problema do traçado do divisor de águas procurou-se localizar primeiramente os problemas apresentados por programas já consagrados e de uso mais generalizado.

Foram feitos estudos em quatro programas de SIG para que se pudesse habituar com o assunto e, principalmente, com suas capacidades de manipulação de mapas digitalizados e assim definir o comportamento desses programas no que diz respeito à determinação da bacia hidrográfica.

Os programas analisados foram:

- a) TransCAD da Caliper Corporation;
- b) CartaLinx da Clark Labs;
- c) O Idrisi for Windows da Clark Labs;
- d) O Spring do Inpe;

Ainda procedeu-se a uma avaliação do Surfer, da Golden Software, que não recebeu mais atenção devido à versão disponibilizada para análise (versão 4) ser antiga.

Dos programas analisados, apenas o Idrisi possuía um método para determinação de uma bacia hidrográfica, mas não se demonstrou eficaz. Essa falta de exatidão no traçado da bacia e a falta de métodos com essa finalidade nos demais programas foi a motivação para este estudo e desenvolvimento de um algoritmo genérico.

Os programas, que possuem um processo automático para delinear uma bacia hidrográfica, utilizam-se de métodos de comparação dos valores de altimetria atribuídos aos pixels. É um processo eficiente até se deparar com um local plano, em que o valor atribuído a um pixel poderá ser igual ao de outro. Há ainda a possibilidade de existir uma depressão ou uma elevação dentro bacia, que poderá confundir o programa. Outro fator que poderá levar a erros é um ponto comum a três

ou mais bacias que, quando analisado, pode conduzir o programa a seguir para outra bacia hidrográfica que não seja a desejada. Todos esses pontos, ao mesmo tempo ou separados, além dos triviais, deverão ter uma solução encontrada pelo algoritmo. Porém, seria muito difícil achar um mapa de um local real com todos os possíveis problemas que o algoritmo poderá enfrentar.

Foi criado, então, um modelo digital de terreno (DEM, em inglês) simulando uma área fictícia e complexa, porém prática contendo todos os possíveis obstáculos que um processo automatizado poderá encontrar para traçar os divisores de uma bacia. Os mapas reais digitalizados pelo programa CartaLinx não puderam ser utilizados devido a um problema no módulo de interpolação do Idrisi (utilizado para a transformação de uma carta em um modelo digital de terreno, DEM), além de não apresentarem todas as dificuldades passíveis de serem encontradas. Esse mapa criado tem validade para o estudo pois o algoritmo independe da escala e do tamanho do mapa.

O algoritmo é genérico, com uma tendência para a programação em Delphi. Utiliza o método de análise dos oito pixels à sua volta levando em consideração o valor "altimetria".

Como não foi desenvolvido um programa a partir do algoritmo, o meio escolhido para avaliá-lo foi traçar um caminho manualmente, no mapa fictício, que represente os divisores de uma bacia e outro seguindo os passos do algoritmo. Então foi feita uma comparação para avaliar o desempenho do algoritmo.

4 Revisão Bibliográfica

4.1 Hidrologia Descritiva

4.1.1 Bacia Hidrográfica

A bacia hidrográfica é a área de drenagem a montante de uma determinada seção no curso de água da qual aquela área é tributária; essa área é limitada por um *divisor de águas* que a separa das bacias adjacentes que pode ser determinado nas cartas topográficas. As águas superficiais, originárias de qualquer ponto da área delimitada pelo divisor, saem da bacia passando pela seção definida pelo ponto mais baixo do divisor, por onde passa também, forçosamente, o rio principal da bacia. Em geral, considera-se que o divisor das águas subterrâneas coincide com o das águas superficiais; entretanto essa coincidência não se verifica em todos os casos, e substancial parcela de água pode se escoar de uma bacia para outra (Linsley & Franzini, 1964).

Na fase do ciclo hidrológico, relativa ao escoamento fluvial, a água de uma determinada bacia hidrográfica, geralmente, converge para um certo álveo, e é possível nessa fase do ciclo, medir o volume total da água, à medida que ela deixa a bacia.

A bacia hidrográfica pode ser verdadeiramente pequena, como um acre; ou bem grande, com centenas ou milhares de quilômetros quadrados abrangendo boa parte de um continente. Em um primeiro relance, as bacias hidrográficas podem aparentar mais como uma unidade estática de nossa paisagem, contudo, do ponto de vista hidrológico, ela é dinâmica e constitui uma área variável (Black, 1991).

4.1.2 Precipitação

A precipitação pode ser definida como toda água que cai da atmosfera sobre a superfície terrestre. A precipitação pode ocorrer sob várias formas que interessam ao meteorologista, porém ao hidrólogo interessa apenas distinguir entre precipitação pluvial (chuva) e precipitação congelada (neve, granizo, geada). As águas de chuva escoam para os cursos de águas pouco depois de atingirem o solo constituindo a causa da maioria das cheias. A precipitação congelada, entretanto, pode permanecer no local onde cai, por muito tempo, antes de derreter. Raramente a fusão da neve é causa de grandes cheias, embora possa, combinada com chuvas, contribuir para enchentes excepcionais.

A neblina é formada por gotículas de água tão diminutas que sua velocidade de queda é insignificante. As gotículas de neblina, ao entrarem em contato com a vegetação, podem juntar-se, coalescer com outras gotículas e eventualmente formar uma gota suficientemente grande para cair no chão. Esse processo é conhecido como gotejamento.

A quantidade de precipitação é medida em milímetros ou polegadas, pela altura de água (nesse caso quer dizer o volume de água dividido pela área em questão) que cai sobre uma superfície plana. Na prática mede-se a altura de água acumulada em um pluviômetro.

4.1.3 Divisores de Águas

O divisor de água é a unidade natural de terra que direciona a água através da precipitação direta, derretimento da neve e outros tipos de armazenagens devido aos canais e fluxos de águas morro abaixo para uma saída comum, no qual a água entra em um outro corpo de água como um rio, correnteza, lagos, terras inundadas ou o oceano.

Durante o período imediatamente após o evento da produção do *runoff*, a quantidade de água nas bacias hidrográficas naturalmente declina. Devido a isto, o fluxo de água tende a encolher em grandeza, com a distância, declives maiores secam mais cedo do que áreas perto dos rios. Em um último estágio do *runoff*, se há continuidade suficiente para isto, somente o canal irá contribuir para o fluxo de água.

E, de maneira contrária com o de cima, quando o evento de *runoff* acontece, a sua área de contribuição cresce gradualmente. O conceito expresso por esse fenômeno é descrito como “área de origem variável”, sugerido por Hewlett (1961). Portanto, a zona de saturação em volta de um rio ou de um fluxo de água, se expande ou contrai de acordo em resposta da água produzida no *runoff*. Esse fenômeno causa o chamado pulso d’água durante o evento de formação do *runoff* (geralmente devido a uma tempestade) e após, em certos casos.

4.2 Delimitação de Uma Bacia Hidrográfica

A determinação manual de uma bacia hidrográfica é de fácil execução, porém pode ser trabalhosa. A seguir, um procedimento apresentado por USDA (U.S. Department of Agriculture) para delinear uma bacia:

1. Defina os rios que pertencem à bacia e desenhe um círculo na saída da vazão (mostrada hachurada no mapa abaixo);
2. Coloque um pequeno “X” nos pontos mais altos (picos) ao redor dos rios da bacia, direcionando seu caminho voltado sempre para os rios da bacia (fig. 4.2.1).

Figura 4.2.1 – Mapa digitalizado de um local. (Fonte : USDA)

3. Começando pelo círculo feito no primeiro passo, desenhe uma linha conectando os “X’s” ao longo de um lado dos cursos dos rios (fig. 4.2.2). Esta linha deverá cruzar os contornos com o maior ângulo possível, ou seja, deverá ser perpendicular a eles.

4. Continue a linha até que ela passe da cabeça da bacia e então volte pelo outro lado. Ela deverá ser conectada ao círculo inicial. Você terá então delimitado a bacia hidrográfica.

Figura 4.2.2 – Definição de uma bacia manualmente. (Fonte : USDA)

4.3 Sistemas de Informações Geográficas (SIG)

O primeiro relato sobre informação geográfica em processos digitais para arquivos em computador, foi no começo dos anos sessenta. Os dados, que eram usualmente referenciados para uma grade com sobreposição de mapas de naturezas diferentes, eram armazenados e processados pelo computador e as saídas desses resultados eram impressas em linhas de mapas ou desenhos plotados em grades de células dos mapas. Modernos sistemas de informações geográficas baseados em vetores ou matrizes (SIG's) possuem esses princípios (Johnson, et al, 1992).

A tecnologia SIG é agora utilizada por milhares de organizações públicas ou privadas pelo mundo, para uma grande variedade de aplicações (figura 4.3.1) e utilizadas em dúzias de diferentes disciplinas e profissões. Este campo tem crescido a uma taxa de 25 a 40% ao ano, estima-se que no ano 2000 o número de usuários tenha sido de mais de 1 milhão e com a diversificação e o aumento da capacidade dos computadores pessoais, com preços mais acessíveis, esse número poderá multiplicar-se rapidamente.

Figura 4.3.1 - Dados gerados e manipulados pelo SIG (Fonte: Esri)

Os sistemas de informações podem ser caracterizados em dois tipos: os *sistemas de processamento* de operações, que privilegiam a ocorrência das operações, registro e manutenção, como os sistemas de transações bancárias e reservas de passagens aéreas e os *sistemas de suporte a decisões*, nos quais a ênfase está na manipulação, na análise e, particularmente, na modelagem para propiciar suporte aos profissionais envolvidos na tomada de decisões.

As informações obtidas para o sistema devem ser organizadas de forma a terem utilidade quando recuperadas e o seu acesso deve ser cuidadosamente administrado, bem como a manutenção, o suporte e a tecnologia devem ser constantes no tempo.

4.3.1 Definição de SIG

De um modo mais conceitual, SIG tem sido definido de várias maneiras. Uma simples definição de SIG é apresentada como uma coleção organizada de *hardware*, *software* e dados geográficos projetados para capturas eficientes, armazenagens, atualizações, manipulações, análises e mostrar de todas as formas as informações geográficas referenciadas.

Com isso é possível definir em quatro etapas as funções do SIG:

- aquisição de dados e pré-processamento;
- gerenciamento de dados e armazenamento;
- manipulação e análises;
- geração do produto.

O SIG pode armazenar dados geograficamente referenciados (cartografia ou espacial) em estruturas de dados com varreduras (*raster*, baseado em grades de células) ou estruturas de dados com coordenadas x,y referenciadas (vetores) tais como pontos (nós), linhas (arcos) e polígonos (limitados por arcos) (Johnson, et al, 1992).

Meijerink (1994) descreve o significado de cada palavra empregada para “sistema de informações geográficas” (SIG):

“Sistema” refere-se à integração do usuário e máquina para gerar informações para dar apoio às operações, gerenciamentos, análises e tomadas de decisões em organizações. Um mapa de solo ou um mapa geológico define complexas entidades espaciais, mas isto é um documento, não um sistema. Os sistemas incluem processamento de imagens digitais para dados de sensoriamento tabelas de operações com outras funções.

“Informação” pode ser visto como dados adicionados de conhecimentos. Isto exclui os sistemas de armazenamentos de entradas e saídas, de disposição de dados, indiferente com a qualidade de saída da cartografia. Isto inclui dados que podem ser transformados.

“Geográfico”, posição para dados espaciais. Esses dados precisam ser uma referência no espaço, isto é, uma geo-referência e uma exibição em forma de mapas.

Sendo um sistema de armazenamento de dados, eles podem ser introduzidos através de tabelas gráficas, mesas digitalizadoras ou por imagens obtidas através de sensoriamento remoto, formando arquivos diferenciados por assunto específicos. O SIG permite que a edição final das informações possa ser realizada por outros aplicativos dando oportunidade ao usuário para que os dados lidos, armazenados e processados possam ser apresentados no formato apropriado às suas necessidades.

A codificação para o armazenamento de dados no sistema é de dois tipos de formato (figura 4.3.1.1):

“raster” (ou varredura) consiste de um conjunto de células (“pixel”) contíguas implementadas como uma matriz bidimensional. Cada célula é identificada por índice de linha e coluna, contendo um número representando o valor do atributo mapeado. A forma “raster” é utilizada para realizar superposições e comparações entre diferentes arquivos de dados introduzidos no sistema. As informações de imagem de satélite fornecidas ao SIG através de Sistema de Tratamento de Imagens do INPE (SITIM) são feitas no modo “raster” (SACARTAZZINI, 1994).

“vetorial” é o modo de informação usual, fornecido ao sistema via mesa digitalizadora. Neste modo, são utilizadas listagens de pontos que podem ser tridimensionais (x, y, z) ou bidimensionais (x, y) para definir linhas e delimitar

regiões. Os dados informados ao sistema são armazenados em arquivos diferenciados, relacionando temas específicos para cada arquivo, quantificado pelo atributo associado a cada célula, ponto ou linha. Cada arquivo constituído por células, pontos ou linhas espacialmente geo-referenciadas é armazenado em forma digital no computador e passa a ser denominado de “Plano de Informação”. Algumas vantagens da representação vetorial sobre a “raster” podem ser: um menor espaço na memória do sistema para armazenamento de dados e melhor estética da representação. Porém, para realizar modificações na forma e no tamanho de um Plano de Informação, a representação “raster” é mais ágil.

Figura 4.3.1.1 - Representação vetorial e matricial (fonte: Esri)

A grande vantagem do SIG é executar a combinação dos diferentes arquivos, cruzando informações de natureza diversa segundo um modelo definido pelo usuário. Tecnicamente, ele é capaz de incorporar um banco de dados geo-codificados; consultar, transformar, manipular ou combinar todas as informações armazenadas;

fazer análise estatística, como regressão multivariada, correlação etc; criar novos Planos de Informação a partir de dois ou mais arquivos existentes, por uma regra estabelecida pelo usuário a qual correlacione os dados nos diferentes arquivos; modelar e simular, ou seja, criar cenários.

Para poder fazer um cruzamento entre diferentes planos, armazenados na forma vetorial, o sistema necessita convertê-los inicialmente para a forma “raster”. Neste processo de conversão, o tamanho da célula da representação “raster” é um fator crítico, dos planos mapeados. A razão é que ela irá representar, através de um único código numérico, o atributo que é o mais representativo na área que ocupa.

Vários estágios na geração dos bancos de dados do SIG produzem diferentes formas e montantes de erros e incertezas. Na maioria dos casos, a incerteza contida nos dados é simplesmente ignorada e conseqüentemente perdida no processamento. A locação dos dados e seus atributos podem incluir erros e incertezas. Para isso é bom sempre ter um analista para esses dados, com conhecimento do local, ou pelo menos, uma boa noção da área em estudo.

De uma outra forma de falar, podem ser citadas as definições que alguns autores, dessa área, atribuem para os sistemas de informações geográficas :

- “um sistema para captura, armazenamento, verificação, manipulação, análise e apresentação de dados que são espacialmente referenciados à Terra” (DOE, 1988);
- “um sistema em que a maioria dos dados é espacialmente indexado e sobre o qual operam um conjunto de procedimentos afim de responder questões sobre entidades espaciais do banco de dados” (SMITH et al., 1987);
- “um poderoso conjunto de ferramentas para coleção, armazenamento, recuperação, transformação e apresentação de dados espaciais do mundo real” (BURROUGH, 1994);
- “um sistema de suporte a decisões envolvendo a integração de dados espacialmente referenciados na solução de problemas ambientais” (COWEN, 1988).

O termo espacial refere-se a qualquer tipo de informação sobre localização e pode incluir informações de engenharia, cartografia, sensoriamento remoto etc. O termo geográfico refere-se somente à localização da informação sobre a superfície da terra ou próxima dela em escalas do mundo real e no espaço do mundo real.

O termo Geoprocessamento é um conceito mais global, relacionado às atividades de sensoriamento remoto, cadastros e outros tipos de pesquisa e investigações de campo para capturar dados. *SIG* é a manipulação desta informação conectada a um banco de dados geográficos, que possui dados espaciais e de atributos. O Geoprocessamento pode ser usado para montar o banco de dados. Para manipular, organizar e atualizar as informações, usamos *SIG*. Na grande maioria dos países o *SIG* é considerado como parte final do Geoprocessamento (Calijuri, 2000).

4.3.2 Anatomia dos Sistemas de Informações

4.3.2.1 Caracterização de Dados Geográficos

O termo *dados geográficos* denota quaisquer tipos de informações que descrevam fenômenos que possuem, de forma associada, alguma dimensão espacial. Os dados espaciais descrevem algum fenômeno, objeto ou fato associado a uma localização no globo terrestre, num determinado instante ou período de tempo.

Segundo PEUQUET (1994), os dados geo-referenciados ou espaciais são comumente caracterizados a partir de três componentes fundamentais:

- características não espaciais: descrevendo o fenômeno estudado, tais como o nome e o tipo de variável;
- características espaciais: informando a localização espacial do fenômeno, ou seja, seu geo-referenciamento, associada a propriedades geométricas e topológicas;
- características temporais: indicando o tempo para o qual tais dados são considerados, isto é, quando foram coletados e sua validade.

Além da caracterização geográfica de um determinado fenômeno, é importante que sejam efetuadas análises que permitam avaliar os relacionamentos

entre a entidade gráfica de interesse (fenômeno mapeado) e outras entidades (gráficas ou descritivas).

Para que um SIG seja eficiente nos processos de consulta e análises espaciais, é importante que os modelos de dados sejam bem avaliados gerando ganhos de desempenho, de flexibilidade e facilidades de ampliação e manutenção.

4.3.2.2 Modelagem de Dados Geográficos

Segundo CÂMARA et al. (1996), um modelo de dados deve fornecer ferramentas para descrever a organização lógica do banco de dados, bem como definir as operações de manipulação de dados permitidas. Durante o desenvolvimento de uma aplicação específica, o processo de modelagem, quando bem conduzido, produz uma visão abstrata da realidade. Isto facilita o acesso e a reutilização dos dados bem como as operações de ampliação e compartilhamento/reutilização destes bancos de dados com aplicativos distintos que descrevem a mesma realidade.

O conceito acima apresentado se aplica aos Sistemas de Informações Geográficas considerando que os aspectos avaliados devem ser específicos às questões de geoprocessamento, isto é, formas de representação espacial (geográfica), processamento de imagens, dentre outros.

O problema de modelagem em SIG ou de criação de um modelo de dados geográficos específico consiste basicamente na organização em níveis de abstração onde se distinguem abstrações conceituais dos fenômenos reais e suas representações gráficas e descritivas.

As propostas de modelagem de dados para SIG usavam, normalmente, os conceitos do modelo relacional. Os trabalhos mais recentes avaliam e recomendam a utilização do modelo de orientação a objetos que traz uma infinidade de vantagens tais como flexibilidade e facilidade de implementação de aplicativos adicionais, fato este, fundamental em trabalhos com SIG's.

4.3.2.3 Operações e Consultas Sobre Dados Geográficos

A organização do banco de dados em camadas (*layers*) de mapas ou planos de informações não existe simplesmente por razões de organização, mas pelo rápido acesso ou recuperação dos elementos necessários para a análise geográfica.

As ferramentas analíticas ou de consulta de um SIG são basicamente as consultas ao banco de dados (descritivo ou gráfico); as operações algébricas com mapas ; os operadores de distância e os operadores de contexto.

A consulta ao banco de dados é a mais fundamental de todas as formas de análise e recuperação de dados do SIG. Nesta consulta são possíveis, dentre outras, as questões sobre atributos de uma determinada localização ou as localizações de um determinado atributo.

Com a consulta por atributo, especifica-se algumas condições e solicita-se a apresentação de todas as regiões que possuem aquela condição. Se a condição envolve um atributo simples, usamos a reclassificação da imagem para criar um novo mapa a partir da condição de interesse. Se a condição envolve múltiplos atributos, o procedimento usual no SIG é individualizar cada um deles, realizando a reclassificação, e posteriormente, reuni-los com comando de sobreposição (*overlay*), para a produção do resultado composto. Com a reclassificação cria-se uma imagem (“raster”) binária, lógica ou *boolean*, assim denominada porque contém apenas valores zero e um. O valor zero indica um *pixel* que não contém a condição de interesse e o valor um indica um *pixel* que contém a condição de interesse. A sobreposição com *overlay* produzirá um mapa que reunirá as condições de interesse. A função *overlay* produzirá novas imagens como resultado de algumas operações matemáticas entre imagens existentes. Em SIG a operação de multiplicação realiza a condição *and* (e) e a opção de cobertura produz um lógico *or* (ou). As operações lógicas *and* e *or* são também conhecidas como operações de interseção e união.

O segundo conjunto de ferramentas de análise e consulta de um SIG é o que faz a combinação matemática de *layers* de mapas. A modelagem permite combinar mapas de acordo com várias operações matemáticas. Poder-se-ia ter uma equação que prescrevesse a temperatura média anual com a altitude e também seria possível a criação de mapas de potencial de erosão do solo baseado em fatores erosivos, gradiente de taludes e intensidade de chuva. Seria necessário modificar valores nos

mapas por operações e transformações, modificando fatores, matematicamente, para produzir o resultado final. Nestas operações estão disponíveis três tipos de operações:

- modificar aritmeticamente os valores dos atributos sobre o espaço por uma constante (escalar aritmético);
- transformar valores de atributos por uma operação, tais como, funções trigonométricas, transformações logarítmicas, etc.
- combinar matematicamente diferentes *layers* de dados para produzir um resultado composto, através da adição, subtração, multiplicação e divisão.

O módulo de operadores de distância é constituído por um conjunto de ferramentas onde a distância desempenha papel chave nas análises. Como exemplo, pode-se requerer o menor caminho (*pathway*) ou o mais rápido, dado um ponto, com características ou regras a serem seguidas.

Com os operadores de contexto obtém-se um novo mapa baseado na informação de um mapa existente e no contexto em que cada característica é encontrada. Um destes operadores é a função que calcula declividades a partir do modelo de elevação digital do terreno.

Em função do tipo de usuário e da aplicação específica os requisitos ou exigências para um SIG são diferentes. Por exemplo, para a área de Cartografia Digital, o SIG deve apresentar funcionalidade nos processos de criação, manipulação e impressão de mapas ou cartas, considerando-se todos os componentes necessários, isto é, inclusão e alteração de escalas, legendas, padrões de cores, resoluções, associações de temas, etc. Quando se trata de aplicações na área cadastral (municipal, p.e.), as necessidades se concentram na inclusão e manipulação de dados vetoriais (na maioria dos casos), na perfeita ligação destas entidades gráficas vetoriais aos bancos de dados descritivos que normalmente são extensos e complexos e nas potencialidades de gerenciamento destes bancos de dados descritivos (serviços tradicionais de sistemas de gerenciamento de bancos de dados – SGBDs). Quando as aplicações estão voltadas para a área ambiental ou administração de recursos naturais, o SIG deverá prover o usuário de ferramentas e facilidades para

processamento de imagens e análises espaciais complexas, incluindo possibilidade de modelagem e simulação de dados ou características numéricas.

4.3.3 Conceitos sobre Informações Espaciais ¹

4.3.3.1 Amostragem do Mundo – Representação da Realidade

A amostragem do mundo real deve considerar que:

- O mundo é infinitamente complexo;
- O conteúdo do banco de dados espaciais representa uma visão particular do mundo real;
- O usuário vê o mundo real através do banco de dados;
- Os dados contidos no banco de dados devem apresentar uma visão o mais completa e precisa possível do mundo real;
- O conteúdo do banco de dados deve ser relevante em termos de: temas e características armazenadas; período de tempo coberto; a área de estudo;

A figura 4.3.3.1.1 mostra esquematicamente a representação temática de dados reais em SIG's.

Figura 4.3.3.1.1 - Amostragem e representação de dados reais em SIG

Fonte : Adaptado de Esri (1999)

¹ Dados extraídos de textos da Calijuri

No processo de representação da realidade deve-se observar que o banco de dados consiste de representações digitais de objetos discretos. O conteúdo dos mapas é armazenado no banco de dados, transformando suas características em objetos desse banco de dados. Muitas das características mostradas no mapa são fictícias e não existem no mundo real (os contornos não existem mas, casas e lagos são objetos do mundo real). Desta forma mostra-se que o conteúdo do banco de dados espaciais pode incluir: a versão digital de objetos reais; a versão digital de características artificiais do mapa (ex: curvas de nível) ou objetos artificiais criados para propósito do banco de dados (ex: pixels).

4.3.3.2 Características Básicas de Dados Espaciais e Sua Manipulação

As informações geográficas têm três características básicas (DANGERMOND e HARDEN, 1990):

- *o fenômeno, ou característica propriamente dita, como uma variável, sua classificação, seu valor, seu nome, etc.;*
- *sua localização espacial ou seja, a localização do fenômeno no espaço geográfico;*
- *o tempo.*

Os fenômenos no mundo real podem ser observados sob estes 3 aspectos, isto é, temático, espacial e temporal. O modo espacial trata da variação geográfica; o modo temporal trata da variação em intervalos de tempo e o modo temático trata da variação de características.

Todas as propriedades quantitativas ou qualitativas de qualquer fenômeno do mundo real podem ser tratadas em um destes aspectos: tema, lugar e tempo.

Serão recolhidas as informações desejadas desses três aspectos para serem guardadas em banco de dados, que influenciarão a solução dos problemas de acordo com seus modos de armazenamentos, causando particularidades em cada modo.

Os atributos armazenados no modo temático definem as diferentes características dos objetos. A tabela de atributos associada mostra os atributos dos

objetos, onde cada objeto corresponde a uma linha da tabela e cada característica ou tema corresponde a uma coluna da tabela.

O modo temporal pode ser armazenado de várias maneiras:

- Especificando o intervalo de tempo em que os objetos existem;
- Armazenando as informações em determinados pontos, no tempo;
- Especificando a variação no movimento dos objetos.

Dependendo de como o modo temporal é armazenado, pode-se incluir uma tabela de atributos simples ou representar, para um mesmo objeto, uma série de tabelas de atributos.

Para a amostragem da realidade os valores numéricos podem ser definidos com relação a escalas de medidas: nominais, ordinais, intervalos, etc.

É importante reconhecer as escalas de medidas utilizadas para os dados do SIG pois isto determina as várias operações matemáticas que podem nele ser realizadas.

Como pode ser observado na figura 4.3.3.2.1, as três variáveis, anteriormente mencionadas, relacionam-se entre si. Contudo, a manipulação de dados espaciais pode tornar-se complexa uma vez que os atributos e a localização espacial sofrem mudanças individuais ao longo do tempo. Conseqüentemente, a manipulação efetiva de dados espaciais requer que dados de localização e descritivos sejam variáveis independentes umas das outras. Isso quer dizer que características podem ter mudado seus atributos e não a sua localização espacial e vice-versa.

Portanto, dados geográficos são complicados pelo fato de que devem incluir informações sobre posição, possíveis conexões topológicas e atributos dos objetos armazenados. As duas primeiras características distinguem os verdadeiros SIGs dos sistemas úteis na elaboração de inventários (BURROUGH, 1994).

4.3.3.3 Tipos de Dados Geográficos e Sua Representação em SIGs

Qualquer fenômeno gráfico pode ser reduzido a um dos três conceitos topológicos básicos: pontos, linhas ou polígonos.

FIGURA 4.3.3.2.1 - Componentes conceituais de um SIG (DANGERMOND, 1990)

A Figura 4.3.3.3.1 apresenta sete tipos de técnicas de representação espacial de dados geográficos para cada um dos três conceitos anteriormente mencionados (DANGERMOND, 1990):

- *formato do dado;*
- *informação da área da unidade;*
- *dados topológicos em rede;*
- *dados de amostragem;*
- *informações de superfície;*
- *informação do texto;*
- *dados de símbolos gráficos.*

Pontos, linhas e polígonos são comumente definidos, nos mapas, usando-se um sistema de coordenadas cartesianas X,Y, como latitude e longitude, baseado nos princípios da geometria euclidiana. Esse sistema de coordenadas cartesianas é o mais utilizado como ferramenta para medir localizações espaciais e analisar suas várias propriedades, como distâncias.

Portanto, todo fenômeno geográfico pode, a princípio, ser representado por um desses três objetos (ponto, linha ou um polígono) e um rótulo. Por exemplo: uma árvore de jacarandá pode ser representada por um ponto com um único par de coordenadas X,Y e um rótulo "jacarandá". Já uma seção de ferrovia será representada por dois pares de coordenadas X,Y (um inicial e outro final) e um rótulo "ferrovia". Similarmente, uma planície de inundação, uma área, será representada por um polígono cobrindo um conjunto de coordenadas X,Y (com coordenadas de início e fim idênticas) mais um rótulo "planície de inundação".

4.3.3.4 Apresentação ou Visualização de Dados Geográficos

A estrutura e a filosofia de um Sistema de Informação Geográfica direcionam ou destacam a importância fundamental das ferramentas de apresentação e visualização dos resultados de consultas e análises efetuadas sobre os bancos de dados gráficos e descritivos.

Os aplicativos para visualização de dados em 2 ou 3 dimensões são imprescindíveis e devem, obrigatoriamente, oferecer ferramentas ou facilidades para consulta e visualização de campos descritivos ou objetos gráficos relacionados. A identificação dos objetos gráficos passa pela definição de padrões de representação de simbologias (para entidades gráficas lineares e pontuais) e padrões de preenchimento (para poligonais) (figura 4.3.3.3.1).

As composições gráficas devem ser facilmente confeccionadas, associando-se a um mapa básico todos os padrões e elementos complementares necessários para a apresentação visual (símbolos, paletas de cores, legendas, escalas, etc.), como detalhados na figura 4.3.3.3.1.

Para que um SIG apresente adequadamente os dados gráficos disponíveis é importante que, em sua fase de concepção e desenvolvimento, seja dada a devida importância ao projeto de interfaces. Apesar das dificuldades deste tipo de projeto, é importante lembrar que estas ferramentas terão papel fundamental no processo de aceitação do *software*.

	Pontos	Linhas	Polígonos
Feição do Dado	Característica do Ponto	Característica da Linha	Polígonos Homogêneos (Solos)
Unidade		Limites Administrativos	Unidade Aérea
Topologia	Intersecções	Ruas Links	Polígonos
Exemplos de Registros	Estações Climáticas	Linha Pontilhada	Plotagem de Teste de Campo
Dados de Superfície	Elevações Topográficas	Curva de Nível
Textos (Label)	Nomes de Cidades	Característica Linear	Denominação do Polígono
Símbolos Gráficos	Símbolos de Pontos	Símbolos de Linhas	Símbolos de Polígonos

Figura 4.3.3.3.1 – Decomposição de dados geográficos e métodos de representação (Calijuri, 2000)

5 O Algoritmo

5.1 Considerações gerais

O algoritmo foi desenvolvido sem ter preocupação com uma linguagem específica (voltado para o Pascal, por exemplo). Ele exige que os dados de entrada sejam tratados para garantir que tenham uma formatação adequada e uma compatibilidade entre o programa e o algoritmo proposto, mesmo porque é exigido que se comece pelo ponto situado à margem esquerda do exutório, que tem como base de direcionamento o sentido do fluxo do rio principal, e será o ponto de início do traçado do divisor da bacia. Ainda assim, seus resultados serão do tipo texto e para serem visíveis, graficamente, será preciso trabalhá-los em programas que possam transformar esses dados numéricos em imagem.

É importante ressaltar que não foi feito um programa a partir do algoritmo, pois não é a intenção deste estudo, mas para verificar o seu desempenho foi feito um mapa fictício aonde foi traçado a linha da bacia intuitivamente e outro traçado acompanhando os passos do algoritmo para uma comparação.

5.2 Explicação do Algoritmo

A escolha do traçado de um divisor de águas de uma bacia hidrográfica é intuitiva, e até fácil, para estudiosos do assunto, o que leva a pensar, erroneamente, em um primeiro ponto de vista, que fazer esse processo tornar-se automático também é uma operação de passos não complicados. Na nossa intuição e na parte em que

exige raciocínio está embutida uma complexidade de tomadas de decisões que só o cérebro humano consegue alcançar. A elaboração de um algoritmo que tenha que definir um caminho para os divisores de águas esbarra em certos pontos que exigem tomadas de decisões específicas e por isso é uma tarefa complexa. Nesses pontos, o que se pode fazer para que o algoritmo não fique muito complicado, e atrapalhe a sua utilização, é ter idéia de conjuntos de simples execuções ou “procedimentos” que consigam obter o resultado esperado para situações semelhantes.

Um mapa de um certo local tem suas particularidades porém, por mais complexo que ele seja, não apresentará todos os obstáculos que um algoritmo, que tem a finalidade de definir e traçar os divisores de águas, terá de enfrentar. Por esse motivo, o mais adequado é criar um mapa fictício que contenha todas as dificuldades imaginadas para tal algoritmo, que também seja de fácil manipulação e não apresente situações impossíveis.

Com esse intuito foi criado um mapa fictício reunindo todos os problemas levantados e possíveis que um traçador de divisores de águas programado pode vir a enfrentar. Esse mapa será mais detalhado a seguir.

Um pixel é a menor unidade gráfica de uma imagem matricial, e que só pode assumir uma única cor por vez (Aurélio – Século XXI). Cada um terá oito vizinhos, se não for de extremidade. A partir desse conceito, foi desenvolvido o algoritmo com análise dos oitos vizinhos.

De uma maneira geral o algoritmo analisa os pixels vizinhos e pega o de maior valor (atribuído por um identificador, que nesse caso é o valor da altitude no ponto), desde que este obedeça a certas condições:

- O pixel que já foi escolhido entra para uma matriz (que será a própria linha delimitadora da bacia e a saída do programa) e não será mais analisado;
- Será dada uma direção, utilizando o pixel já escolhido e o que está sendo analisado, para que se possa definir os lados e garantir que o escolhido seja maior que o da esquerda e da direita ao mesmo tempo.
- O pixel à esquerda do qual está sendo analisado deverá, através de um outro processo (descrito mais adiante), chegar a um identificador dos rios da bacia (atribuído previamente) e ao mesmo tempo o da direita terá de

chegar a um identificador que não seja os dos rios da bacia (limite do mapa, rios de outras bacias, barreiras, etc.). Para essa condição ter fundamento, é necessário começar a definição da linha divisória da bacia sempre pelo mesmo lado, que para o algoritmo foi, saindo do exutório da bacia, iniciar a linha pela margem esquerda. Isso é fundamental para o êxito do algoritmo, pois ele presume isso como princípio.

- Se nos pixels analisados existirem dois ou mais de maiores valores ele passará para uma outra análise (descrita mais à frente).

Essas análises dos pixels são apenas algumas das condições para a escolha do melhor traçado pelo algoritmo, que procurará automatizar ao máximo o processo, porém ainda existe dados que devem ser fornecidos para dar o correto andamento, mas só na entrada (início do processo).

Antes de detalhar as etapas do algoritmo é importante descrever o mapa criado para seu teste e dois pontos em que há necessidade de aplicar um processo diferente do usual (escolher o pixel de maior valor), pois não funcionaria se tal o fizesse. É exatamente nesses pontos, que alguns algoritmos ou programas já desenvolvidos para esse fim, falham. Esses pontos podem ser considerados críticos.

5.3 Descrição do Mapa Fictício

Como mencionado anteriormente um mapa fictício teve de ser desenvolvido para que se possa fazer uma avaliação ágil e eficaz do algoritmo, com várias situações possíveis reunidas que dificultariam a sua aplicação.

Um dos pontos que teve grande influência na criação do mapa é que ele, quando gerado no modo raster (matricial) não poderá apresentar lacunas, ou pontos falhos, pois caso houver, ele será impreciso ou até mesmo errado, o que de certo modo anularia a exatidão de um estudo com esse mapa. Esses erros em alguns pixels ocorrem geralmente devido a um método de interpolação mal elaborado e comprometem todos os produtos gerados a partir desse mapa digital, como uma

função que tenha a finalidade de definir uma bacia hidrográfica. Os mapas a seguir exemplificam essa falha:

- 1) Primeiro, um mapa de uma região (Casa Branca – SP) é digitalizado em um programa adequado. A região que está dentro do retângulo é a que será utilizada para delinear uma bacia, bem como os rios destacados que a formam (os pontos amarelos são os picos);

Figura 5.3.1 – Seleção de uma bacia em um mapa digitalizado
Região de Casa Branca - SP

- 2) Esse mapa é manipulado em um programa de SIG para gerar um modelo digital de terreno (DTM, na sigla em inglês). Nessa fase é que atua o interpolador do programa para determinar qual o valor de cada pixel, sendo que sua precisão é estabelecida previamente (no mapa é de 30 x 30 m). Note que na parte de baixo do mapa é possível identificar falhas (há trechos retos e contínuos que não condizem com a realidade do mapa);

Figura 5.3.2 – Modelo digital de terreno (DTM) gerado no *Idrisi*

- 3) A partir do modelo digital cria-se um mapa de declividades que permitirá, através de uma função específica do programa de SIG, a determinação da

bacia (representada em verde no mapa abaixo) formada pelos rios previamente escolhidos.

É fácil observar que o resultado obtido com esse procedimento não está muito aceitável, pois a bacia delineada pelo programa apresenta inúmeras falhas como vazios no meio, invasão em outras bacias e cortes de rios, entre outras.

Figura 5.3.3 – Determinação de uma bacia através do *Idrisi*

Para facilitar o estudo criou-se, então, um mapa partindo-se de uma planilha, considerando suas células como se fossem pixels e atribuindo valores de altitudes

1

1

1

5

Figura 5.3.4 – Formulação de um mapa fictício

Tecnicamente, o mapa fictício tem 26 colunas por 30 linhas em um sistema plano, usando o metro como unidade de referência o valor mínimo é 0 e o máximo é 78 metros. Com esses dados é possível passá-lo para um programa de SIG, no caso o Idrisi for Windows, com a finalidade de ter uma visão de sua forma. Para tanto, é preciso criar dois arquivos de texto, um com os valores de altimetria (que são 26 x 30 no total) e o outro, o arquivo de documentação, com os seguintes dados:

```
file title   : Mapa
data type    : byte
file type    : binary
columns      : 26
rows         : 30
ref. system  : plane
ref. units   : m
unit dist.   : 1.0000000
min. X       : 1.0000000
max. X       : 26.0000000
min. Y       : 1.0000000
max. Y       : 30.0000000
pos'n error  : unknown
resolution   : unknown
min. value   : 0
max. value   : 78
value units  : undefined
value error  : unknown
flag value   : none
flag def'n   : none
legend cats  : 0
```


Tem-se o seguinte resultado (visto em dois ângulos diferentes):

Figura 5.3.5 - Mapa fictício gerado no Idrisi à 50°

Figura 5.3.6 - Mapa fictício gerado no Idrisi à 0°

5.4 Pontos Críticos

A grande dificuldade encontrada por um procedimento que determina uma bacia hidrográfica é quando esse procedimento tem que analisar um local plano, seja na parte mais alta ou na mais baixa do divisor. Isso ocorre porque, para definir os limites da bacia, o programa calcula a declividade máxima (chamada *slope*) em cada pixel e a direção em que isso ocorre, de 0° a 360° (*aspect*) com a precisão dada de acordo com o programa.

Sabendo a direção da declividade é possível saber aonde irá parar a água que cai sobre esse pixel. Se desembocar em um rio da bacia, esse pixel pertence a ela, senão, ele pertence à outra bacia.

Quando um local é plano, não existe a direção da declividade e o programa considera então que esse pixel não levará a água, que nele cai, até os rios da bacia e portanto não pertence à bacia. Isso é facilmente observado nos mapas de declividade e sua direção (*slope* e *aspect*) a seguir, aonde os pixels em preto significam que é um local plano no *slope* e não há definição no *aspect*. Esses mapas foram gerados a partir do mapa fictício.

Figura 5.4.1 - mapa de declividades (slope)

Figura 5.4.2 - Mapa de direção da declividade (aspect)

Para solucionar esse problema, toda vez que o algoritmo encontra dois ou mais pixels de maiores valores, ele entra em um procedimento especial. A idéia é sempre procurar o caminho que passa pelo ponto médio. Mas há um inconveniente: a linha terá que atravessar esse local plano e chegar ao outro lado em um ponto que deverá pertencer ao divisor da bacia. O que se fez é chegar ao outro lado,

circundando esse local de pontos iguais, começando pelo lado esquerdo do divisor já definido, até encontrar o pixel que pertencerá à linha divisória da bacia. Para definir esse ponto é necessário que ele atenda às condições impostas para um pixel pertencer à linha divisória de uma bacia, como será descrito no próximo parágrafo. Definido esses dois pontos (o de início e o de fim do local plano, como na figura 5.4.3), é traçada uma linha que sai do ponto de início do local plano e procura-se passar sempre pela posição média do plano até chegar ao outro lado, o que muito provavelmente não será um ponto pertencente à linha da bacia. Repete-se o procedimento começando pelo ponto de fim do local plano até chegar ao outro lado. Haverá então, uma intersecção das duas linhas (a que saiu do primeiro ponto encontrado e a que saiu do último). No ponto de intersecção as duas linhas serão unidas para formar só uma, que será a linha que representará a divisão das bacias.

Figura 5.4.3 - Definição da linha divisória da bacia em um local plano

Para que fosse possível acompanhar a bacia sempre pelo lado esquerdo ao sentido da linha divisória da bacia, o pixel (do lado direito) tem que ser igual aos do local plano e o outro (lado esquerdo) obrigatoriamente diferente. Para que se pudesse definir qual pixel representaria o fim do local plano foi isolado o pixel da esquerda e com ele iniciou-se outra análise: - são isolados os pixels da esquerda e direita e com esses são analisados os oitos pixels à volta e pega-se sempre o menor em um processo repetitivo, até que se chegue a um identificador dos rios da bacia ou não. Se o identificador do pixel à esquerda for o da bacia e o da direita for de um outro local (rios de outras bacias, limite do mapa, etc.) e além disso o pixel analisado for maior dos que os de seus lados então ele será o pertencente à linha divisória da bacia do outro lado do local plano. O procedimento acima pode ser testado no exemplo abaixo (extraído do mapa fictício).

Figura 5.4.4 – Exemplo de um local plano através de altimetria

Ainda há outro tipo de ponto crítico, que aparece quando se tem um ponto mais alto que os outros mas ele não pertence ao divisor da bacia, podendo pertencer a um pico dentro da bacia ou um ponto alto de outra bacia, como no exemplo a seguir:

Figura 5.4.5 – Exemplo de picos não pertencentes à linha da bacia.

Para solucionar este problema impôs-se que o pixel da esquerda do que está sendo analisado deverá chegar a um identificador dos rios da bacia e o da direita a um identificador que não seja os dos rios da bacia (previamente atribuídos) e também ele deverá ser maior que os de seus lados, tudo ao mesmo tempo.

Para esse pixel chegar até um identificador analisa-se os oitos pixels a sua volta e pega-se sempre o menor, repetindo o processo até que se encontre, em um desses pixels analisados, um identificador. Esse processo funciona porque ao analisar os oitos pixels, parte-se sempre de um mesmo sentido, já que anteriormente foram colocados em eixos 'x' e 'y' (condição para o andamento do algoritmo) e ainda para pegar o ponto de menor cota parte-se sempre pelo pixel à esquerda do analisado. Na figura abaixo, a análise começa pelo amarelo (para pegar o ponto de menor cota, esse será o ponto à esquerda), sendo que o vermelho é o que já pertence à bacia. Esse procedimento é similar ao da análise do pixel isolado à esquerda em um local plano.

Figura 5.4.6 - Sentido da análise dos oitos pixels à volta

5.5 Descrição dos Passos do Algoritmo

O algoritmo irá trabalhar com dados dispostos em matrizes para que se tenha uma importante ferramenta que é a posição de cada elemento, como em um sistema de coordenadas 'x' e 'y', com a possibilidade de lhe atribuir valores, tal qual no princípio do sistema raster.

Começando com a aquisição de dados, já há a necessidade de uma atenção nessa parte pois os mapas que serão tratados pelo algoritmo deverão ter algumas particularidades bem como alguns dados extras:

- Deverá ser fornecido o mapa de cotas já com seus valores interpolados, como em um modelo digital de terreno (DTM), para que se tenha o número para linhas e colunas (para posição 'x' e 'y') e em um modelo matricial (raster). Estes valores devem ser em modo texto;
- Para que o algoritmo siga a linha divisória da bacia sempre em um mesmo sentido é necessário que se defina seu ponto de início e seu ponto de término. O ponto de início deverá ser sempre um ponto na margem esquerda do rio próximo ao exutório, para que o ponto final termine na margem direita da mesma seção do rio;
- São estabelecidos os valores limites do mapa (valores máximos e mínimos para 'x' e 'y') que constituirão identificadores para o algoritmo;
- São atribuídos identificadores para os rios da bacia, para os rios de outras bacias e para elementos que se queira destacar.

O algoritmo é dividido em várias funções, ou procedimentos, que são acionados de acordo com resultados de testes aplicados no pixel. Essas funções ou procedimentos são descritos a seguir:

- **Análise dos pontos ao redor do ponto analisado:** função que analisa os oito pontos em torno do que está sendo analisado, que tem um identificador (i,j), com a finalidade de definir o ponto de cota mais alta e levando em consideração que os pontos estão localizados em uma matriz

principal, a matriz dos dados interpolados de altimetria. Como explicado anteriormente (com o desenho mostrando o sentido na figura 5.4.6), a análise dos pontos ao redor do que está sendo analisado terá sempre o mesmo sentido e partirá sempre de uma mesma posição em relação ao pixel que está sendo analisado. Essa matriz pode ser indexada por coordenadas x e y para trabalhar em duas dimensões, ou apenas por um número indicando a posição do ponto para trabalhar com uma dimensão (neste caso a entrada seria um vetor);

- **Análise de dois ou mais pontos com a mesma cota:** quando o divisor de águas atravessa um local plano (sem inclinação), é necessária uma rotina especial com a finalidade de escolher os pontos pertencentes ao divisor da bacia. Se houver dois ou mais pontos de maiores cotas repetidos, isso caracterizará um local plano e também uma situação de indefinição da posição do divisor, que passa pelo meio da área plana mas é difícil de posicionar. Como já mencionado, esta situação é um dos pontos críticos para a escolha do pixel que pertence à linha divisória da bacia. O que a função faz é sair de um ponto já pertencente ao divisor de águas, no limite da área plana, e ir contornando a área pelo seu lado esquerdo até que seja encontrado o ponto de saída desse local plano que pertença ao divisor, identificado como descrito no item 5.4;
- **Análise dos pontos à direita e à esquerda:** rotina para verificar se a declividade pode ser seguida até chegar a um identificador que não seja o dos rios da bacia na análise do ponto à direita, e que seja o dos rios da bacia na análise do ponto à esquerda.
- **Isolar o pixel à esquerda do pixel que está sendo analisado:** Rotina de identificação do pixel à esquerda, para que seja submetido às análises de pertinência ao divisor e/ou à bacia. Para a correta definição do ponto à esquerda (PE) do que está sendo analisado foi necessário associar uma direção à linha divisória da bacia, partindo do ponto já a ela pertencente

100

1

- 5

bacia estará à esquerda da linha divisória, então com esse procedimento há uma garantia de que será buscado primeiro os identificadores da bacia.

A definição do traçado começa com o ponto, um pixel, designado como ponto inicial e é obtida seguindo os procedimentos:

- Analisa os oitos pontos a sua volta e escolhe o maior;
- Se o maior ponto for único e maior que os seus vizinhos (ver condição abaixo), serão analisados os pontos a sua esquerda e a sua direita. Através de um processo repetitivo que escolhe sempre o pixel de menor valor (portanto a maior inclinação) entre os oitos analisados e elimina o que já foi analisado, o algoritmo segue a maior inclinação até chegar a um identificador. Se o pixel que estiver a sua esquerda levar a um identificador que seja o dos rios da bacia e o da direita a um que seja diferente e ambos forem menor do que o que está em análise, então esse pixel pertence à linha divisória da bacia e é portanto adicionado à matriz de definição do divisor. Caso os pontos esquerdos e direitos não satisfaçam essas condições, esse pixel é adicionado a uma matriz de pontos que já foram analisados e não entrará mais nessa análise. Este procedimento é para evitar que picos que não pertençam à linha limite da bacia entrem para ela;
- Quando um ponto entra para a matriz da linha divisória da bacia, esse ponto é excluído de análises futuras, para que o algoritmo não entre em *loop*.
- Se houver dois ou mais pixels iguais e de maiores valores então será executada a função que analisa dois ou mais pontos com a mesma cota, para que se possa chegar ao outro lado desse local plano. Ao identificar o ponto de saída desse local (procedimento já descrito no item 5.4), é traçada uma linha, a partir desse ponto, que irá até o outro lado sempre pelo meio. É traçada outra linha que irá do ponto de entrada do local plano até o outro lado, também sempre pelo meio. Aonde as duas retas se cruzarem, haverá uma união, formando só uma que irá de um lado ao

outro pelo meio desse local plano. Todos os pixels pertencentes a essa linha são adicionados a matriz da linha divisória da bacia.

- Todo o processo se repete até que se encontre o ponto designado como ponto de fim da bacia;
- A saída será a matriz de pontos que pertencem à linha divisória da bacia;

Um resultado aproximado é apresentado a seguir, feito a partir do mapa fictício:

Figura 5.5.2 – Linha do divisor da bacia

5.6 Algoritmo Para Definição dos Limites da Bacia

Declaração das variáveis principais:

Tamanho da bacia (linhas x colunas): (**linha,coluna**) ;
 Limites do mapa: (**minx, miny, maxx, maxy**) ;
 Ponto de início da bacia (começando pelo lado esquerdo): (**ptini**);
 Ponto do fim da bacia: (**ptfim**);
 Matriz com as cotas da bacia: (**mapa**);
 Identificadores dos rios da bacia: (**idrioin**);
 Identificadores dos rios que não pertencem à bacia: (**idrioout**);
 Vetor dos pontos já analisados: (**vptana**) ;
 Ponto pertencente à linha divisória da bacia (sempre o último ponto):
 (**ptbacia**) ;
 Vetor do ponto que está sendo analisado: (**vptsa**) ;
 Pontos ao redor do ponto analisado: (**pt1, pt2, pt3, pt4, pt5, pt6, pt7, pt8**) ;
 Pontos que pertencem à linha da bacia (todos), em um vetor: (**vetorbacia**) ;
 Vetor dos rios que pertencem à bacia : (**vpriosbacia**) ;

Declaração das variáveis secundárias (dentro dos procedimentos):

a,b,i,j : contadores;
ipb: localização x do ponto pertencente à bacia;
ipd: localização x do ponto à direita;
ipe: localização x do ponto à esquerda;
ipm: localização x do ponto de máxima cota;
jpb: localização y do ponto pertencente à bacia;
jpd: localização y do ponto à direita;
jpe: localização y do ponto à esquerda;
jpm: localização y do ponto de máxima cota;
l,m,n: número inteiro real;
nr: quantidades de números repetidos;
p3: definição de aceitação do ponto;

p4: definição de aceitação de um ponto;

ponto1: primeiro ponto encontrado de maior valor de altimetria;

ponto2: segundo ponto encontrado de maior valor de altimetria;

pt1xy,pt2xy,pt3xy,pt4xy,pt5xy,pt6xy,pt7xy,pt8xy: pontos com indicadores x e y, ao redor d ponto que está sendo analisado;

ptbaciainicio: mesmo valor de ptbacia;

ptdir: ponto à direita do que está em análise;

ptesq: ponto à esquerda do que está em análise;

ptfimplato: ponto de saída de um local plano;

ptigual: ponto igual ao primeiro achado em um local plano;

ptinioplatto: ponto de início de um local plano;

ptisol : ponto para definir o lado esquerdo ou direito;

ptisolxy: ponto com coordenadas para definir o lado esquerdo ou direito;

ptlim: limite das coordenadas do mapa;

ptmaxcota : ponto de cota máxima entre os analisados;

ptmincota: ponto de mínima cota de uma análise;

ptvetorlinha: ponto de início do traçado uma linha para atravessar um local plano;

sim,não,s,n,fim: reposta de uma condição;

vetorbeira: vetor de pontos que beiram um local plano;

vetorigual: vetor de comparação;

vetorlinhabacia: vetor que atravessa um local plano;

vetorplato: vetor que atravessa um local plano;

vetorplatofimxy: vetor de coordenadas dos pontos que atravessam um local plano começando pelo ponto de saída desse local;

vetorplatoinicioxy: vetor de coordenadas dos pontos que atravessam um local plano começando pelo primeiro ponto achado desse local;

vptidem: vetor de pontos repetidos;

vptribsbacia: vetor dos rios que pertencem à bacia;

vptsa0: vetor dos pontos que estão sendo analisados;

vptsa1: vetor dos pontos que estão sendo analisados;

vptsa2: vetor dos pontos que estão sendo analisados;

vptsaxy : vetor com coordenadas x e y, dos pontos que estão sendo analisados;

Início

{Leitura dos dados de entrada}

Ler o mapa de cotas (**mapa**);

Ler a resolução do mapa, linhas x colunas (**linha,coluna**);

Ler o ponto de início da bacia (**ptini**);

Ler o ponto do fim da bacia (**ptfim**);

Ler os valores limites da bacia, x e y (**minx, miny,maxx,mxy**);

Ler os identificadores dos rios da bacia (**idrioin**);

Ler os identificadores dos rios que não pertencem à bacia (**idriooout**);

Ler o vetor dos rios que pertencem à bacia (**vptribacia**);

Começar pelo ponto de início da bacia **ptbacia** $\leftarrow$ (**ptini**); { Condição de contorno da bacia }

{o **ptini** deverá ser fornecido com a condição de que os rios da bacia estejam à sua esquerda}

Criar um vetor dos pontos analisados (**vptana**), inicialmente com o ponto **ptini** e **vptribacia**;

Função 0:

Analisar os oito pontos em volta de **ptbacia**, com exceção dos pontos que estão contidos no **vptana** $\rightarrow$ **vptsa** (**Função 1**);

Se **ptfim** pertencer ao **vptsa**, então

{o **ptfim** deverá ser fornecido com a condição de estar à margem direita dos rios da bacia, no início}

Fim do Programa;

Senão

Executar **Função 2** {para pegar o ponto de maior cota (**ptmaxcota**), com a condição de que este seja maior que os de seus lados ou fazer a análise se houver dois ou mais pontos com a mesma cota};

Executar a **Função 3**;

{Analisar o ponto à esquerda e à direita (**ptisol**) do **ptmaxcota**}

Se **P3**=‘sim’

{**P3** é obtido na **função 3** e o ‘sim’ significa que o **ponto à esquerda** do ponto que está sendo analisado deve chegar ao identificador dos rios bacia e o **ponto à direita** deve chegar ao um identificador que **não** seja o dos rios da bacia (como de outros rios ou os limites do mapa)}

Então

Executar **função 4**; {isolar o pixel à esquerda; saída : **ptesq**}

Executar **função 5**; {isolar o pixel à direita; saída : **ptdir**}

Se **ptesq** e **ptdir** < **ptmaxcota** então

Ptbacia:= **ptmaxcota**;

Vptana recebe **ptbacia** : (**vptana** ← **ptbacia**);

Vetorbacia ← **ptmaxcota**;

Senão

Vptana ← **ptmaxcota**;

Repete-se a **Função 0**;

Senão

{Nesse caso o **P3**=‘não’, significa que o ponto à esquerda do que está sendo analisado não chegou a um identificador dos rios da bacia ou o ponto à direita não chegou a um identificador diferente dos rios da bacia}

Vptana ← **ptmaxcota**;

Repete-se a **Função 0**;

Fim se; {referente à “Se **P3**=‘sim’”}

Repete-se a **Função 0**;

Fim se; {referente à “Se **ptfim** pertencer ao **vptsa...**”}

Fim Função 0;

Função 1

{Análise dos pontos ao redor do ponto analisado}

Início Função 1

{Obs. : essa função identificará a posição dos oitos pontos a volta do ponto que está sendo analisado (ver figura 5.4.6), para armazená-las em um vetor (**vptana**, vetor dos pontos analisados) e seus respectivos valores de altimetria para armazená-los em outro vetor (**vptsa**, vetor dos pontos que estão sendo analisados). A posição será estabelecida tal qual em um sistema cartesiano, que terá como base o ponto que está sendo analisado com um identificador (x,y), retirado da matriz dos dados interpolados de altimetria (**mapa**)}.

```

vptsa ← 0 ;
pt1xy = ptbacia[x-1,y-1];
pt2xy = ptbacia [x-1,y];
pt3xy = ptbacia [x-1,y+1];
pt4xy = ptbacia [x,y+1];
pt5xy = ptbacia [x+1,y+1];
pt6xy = ptbacia [x+1,y];
pt7xy = ptbacia [x+1,y-1];
pt8xy = ptbacia [x,y-1];

```

{A seguir é identificado o valor das cotas na matriz dos dados interpolados de altimetria (**mapa**)}

```

pt1 = mapa [pt1xy];
pt2 = mapa [pt2xy];
pt3 = mapa [pt3xy];

```

pt4 = mapa [pt4xy];

pt5 = mapa [pt5xy];

pt6 = mapa [pt6xy];

pt7 = mapa [pt7xy];

pt8 = mapa [pt8xy];

vptsaxy ← pt1xy, pt2xy, pt3xy, pt4xy, pt5xy, pt6xy, pt7xy, pt8xy;

vptsa ← pt1, pt2, pt3, pt4, pt5, pt6, pt7, pt8;

{Condição para exclusão dos pontos que já foram analisados}

Para i=1 até n ler **vptsaxy[i]** ; {leitura do vetor dos pontos que estão sendo analisados}

{n é o número de pontos que existem no vetor de pontos que estão sendo analisados **vptsaxy**}

Para j=1 até m ler **vptana[j]** {início da verificação de repetição dos pontos}

{m é o número de pontos que existem no vetor de pontos já analisados **vptana**}

Se **vptsaxy[i] = vptana[j]** então

Vptsa := vptsa[i] - vptana[j] {que é um ponto}

Senão

Vptsa := vptsa;

Fim se; {referente à “Se **vptsa[i,j] = vptana[i,j]...**” }

Fim para; {referente à “Para j=1 até m ler **vptana[j]...**”}

{Ou seja, se coincidirem o identificador de i e j nos dois vetores, retirar esse ponto da matriz de pontos que estão sendo analisados}

Fim Função 1;

Função 2

{Análise do ponto de máxima cota (**ptmaxcota**) para verificar se existe um ou mais pontos com a mesma cota que podem ser um divisor de águas ou um local plano (sem inclinação), para que possa ser escolhido o ponto pertencente ao divisor da bacia (**ptbacia**). Esta função retornará um ponto escolhido (**ptmaxcota**), o qual ainda será analisado para ver se pertence à linha divisória da bacia. Se houver dois ou mais pontos repetidos, sendo que estes são os de maiores cotas, isso caracterizará um local plano e para isso a idéia é sempre procurar o caminho que passa pelo meio. O inconveniente é que a linha sairá de um ponto que pertence ao divisor mas chegará ao meio do outro lado, o que não significa nada. O mais provável será esse ponto não pertencer ao divisor da bacia. Então o que se fez é chegar ao outro lado, circundando esse local de pontos iguais, até identificar o ponto pertencente à bacia, com o processo já utilizado para identificação de um ponto da bacia. Ao ser identificado, usar o mesmo processo, saindo desse ponto até chegar ao lado oposto para depois então ver aonde se cruzam essas duas novas linhas e junta-las neste cruzamento, formando uma só que vai de um lado para outro (ver item 5.4 e figura 5.4.3)}

Início **Função 2**

vptidem : vetor de pontos repetidos;

nr:=1 {quantidades de números repetidos (“1” significa que não existem números repetidos)}

vptidem $\leftarrow$ **vptsa[1]**;

Para **i:=1** até **n** ler **vptsa[i]** ;

{n é o número de pontos que existem no **vptsa** da
função 1}

m:=n;

Para p:=2 até m faça

Se **vptsa[p] >= vptsa[p-1]** então

Se **vptsa[p] = vptsa[p-1]** então

{os dois pontos a seguir serão usados
mais adiante}

Ponto1:=vptsa[p-1];

Ponto2:=vptsa[p];

nr:= nr + 1

vptidem ← vptsa[p]; {esse vetor
recebe os pontos repetidos}

Senão {se ele não for igual,
então ele é maior}

Ptmaxcota:=vptsa[p]

Fim se {referente à “Se
vptsa[p] = vptsa[p-1]”}

Fim se; {referente à “Se **vptsa[p]**
>= vptsa[p-1]”}

Fim para; {referente à “Para p:=2 até m”}

Fim para; {referente à “Para i:=1 até n...”}

Se **nr=1** então

Ptmaxcota:= ptmaxcota {máximo valor do vetor **vptsa**};

Senão

Se **nr >= 2** então

Ptinicioplato:=ponto1;

{Nesse caso há a possibilidade de estar começando um local plano,
por isso deve haver um tratamento especial nesse ponto. A idéia é
chegar ao outro lado circundando, pelo lado esquerdo, os pontos
que delimitam esse local plano. Para isso é estabelecida uma
condição em cada o pixel analisado deverá ter a sua esquerda um

pixel com valor diferente (para a condição de estar circundando). Será iniciada uma nova análise com o pixel isolado à esquerda desse local plano, que se repetirá até que se encontre o pixel pertencente à linha divisória da bacia, que é o ponto de saída deste local plano. Para isto, ele atenderá as mesmas condições que um pixel deverá ter para representar um ponto pertencente à linha divisória da bacia: deverá ser maior que os da sua direita e esquerda e o pixel à esquerda deverá chegar a um identificador dos rios da bacia e o da direita, a um identificador diferente. Com essa função chega-se até o outro lado do platô. Têm-se, então, o pixel de início e o do fim deste local plano. O próximo passo será juntar esses dois pixels por uma linha que passe pelo meio desse local.}

Ptbaciainicio:=ptbacia

{Essa igualdade é para que, ao final deste procedimento, seja pego o ponto já pertencente à bacia para iniciar a linha que irá atravessar o local plano}

Pt bacia:=ptiniocioplato;

Enquanto **Ptigual**<> 'fim' faça

{Essa é uma condição para que o ponto à esquerda do ponto que está circundando o local plano não seja o ponto de saída desta área. Para que seja o ponto de saída então deverá ser isolado ponto à esquerda deste local plano e esse terá que ser maior que os da sua direita e esquerda e ainda o ponto a esquerda deste pixel isolado deverá chegar a um identificador dos rios da bacia e o da direita a um identificador diferente, nesse caso **Ptigual = 'fim'**}

Executar **função 1**;

Para **n:=1** até **nr** faça

{**n** é um contador e **nr** o número total de pontos da análise}

Se **vptsa[n]:=ptinioplato** então

{se os dois tiverem o mesmo valor de altimetria}

ptmaxcota:=vptsaxy[n]; {para as próximas funções}

Executar **função 4** {isolar o pixel à esquerda}

Se **ptesq** {da **função 4**} $\diamond$ **ptinioplato** {em valor} então

Vetorbeira $\leftarrow$ **ptmaxcota**

ptmaxcota:=ptesq

Executar **função 3** ; {Verificar qual o identificador}

Se **P3= 'sim'** {da **função 3**} então

Se **ptesq** e **ptdireita** $<$ **ptmaxcota** então

Ptigual= 'fim'

Senão **ptbacia:=vptsa[n]**

Senão **ptbacia:=vptsa[n]**;

Fim se {referente à 'Se **P3= 'sim'**...'};

Senão {referente à 'Se **ptesq**...'};

Vptana $\leftarrow$ **ptmaxcota** {**Vptana**, vetor dos pontos analisados, da **função 1**}

Fim se {referente à 'Se **ptesq**...'};

Vptana $\leftarrow$ **vptsaxy[n]**;

Fim se {referente à 'Se **vptsa[n]:=ptinioplato**...'};

Fim para {referente à 'Para **n:=1** até **nr** faça'}

Fim enquanto {referente à 'Enquanto **Ptigual** $\diamond$ 'fim' faça'}

Ptbacia:=ptbaciainicio;

ptvetorlinha:=ptinioplato;

Executar **função 2.1**;

ptvetorlinha:=ptfimplato;

Executar **função 2.1**;

Enquanto **vetorplatoinicioxy[i]** $\diamond$ **vetorplatofimxy[j]** faça

{As duas contagens a seguir são para iniciar uma comparação}

Para **i**:=1 até **n** faça {**i** é um contador e **n** é o número total de pontos que existe no vetor **vetorplatoinicioxy**}

Leia **vetorplatoinicioxy[i]**;

Para **j**:=1 até **m** faça {**j** é um contador e **m** é o número total de pontos que existe no vetor **vetorplatofimxy**}

Leia **vetorplatofimxy[j]**;

Se **vetorplatoinicioxy[i] <> vetorplatofimxy[j]** então

Vetorlinhabacia ← **vetorplatofimxy[j]** ;

Fim para; {referente à “Para **j**:=1 até **m** faça”}

Se **vetorplatoinicioxy[i] <> vetorplatofimxy[j]**
então

Vetorlinhabacia ← **vetorplatoinicioxy[i]**;

Fim para; {referente à “Para **i**:=1 até **n** faça”}

{desse passo acima se tira a linha que passa pelo
meio do platô ou local plano qualquer}

Função 2.1

{função para pegar o primeiro e o último ponto encontrados de um conjunto de pontos iguais, que pode ser um platô, e traçar uma linha no meio desse conjunto, partindo pelos dois lados, até que haja uma intersecção. As duas linhas irão se unir pela intersecção, formando só uma, que será adicionada a linha divisória da bacia}

Se **ptvetorlinha=ptibacianicio** então **vetorplato:=vetorplatoinicioxy**
senão

Vetorplato:=vetorplatofimxy;

Fim se;

{A idéia é pegar os dois primeiros pontos encontrados para iniciar a análise que irá indicar o lado que deverá seguir o divisor. Para isso, é verificado para os dois lados, do ponto analisado, a quantidade de repetições de números iguais e maiores. O lado que tiver mais números repetidos, a linha do divisor irá andar um pixel nessa direção. Isso é aplicado a locais planos.}

Ponto1[i,j] : primeiro ponto igual encontrado;

Ponto2[l,m] : segundo ponto igual encontrado;

Ptbacia[x,y] : ponto que já pertence à linha da bacia;

Enquanto **vetorigual** $\neq$ 0 faça

{Para garantir que essa função atue somente enquanto houver pontos iguais aos encontrados inicialmente}

Executar **função 1**

Para i:=1 até 8 faça

Leia **vptsa[i]**

Se **vptsa[i] = Ponto1** então **vetorigual** $\leftarrow$
vptsa[i] fim se;

Fim para;

Se **(i+j)=(l+m)+1** ou **(i+j)=(l+m)-1** {essa comparação é para verificar se os dois pontos estão juntos}

Então

Se **i = l** {se coincidir o mesmo x} então

Se **j > m** {se o y do ponto1 for maior que o y do ponto2} então

Para a:=1 até 100000 repetir

Se **Ponto1[i,j+a] $\neq$ {diferente} ponto1[i,j+a-1]** então
parar;


```

Fim se;
  Para b:=1 até 100000 repetir
    Se ponto2[l,m-b] <> ponto2[l,m-b+1] então parar;
    Fim se;
    Se a > b então
      Se a < 3 então {para ajustar (centralizar)
        caso a seja pequeno}
        Ptmaxcota:=ponto1[i,j];
        Senão
          Ptmaxcota:=ponto1[i,j+1];
      Fim se {referente à "Se a < 3"}
      Senão {referente à "Se a > b"}
        Se a < b então
          Se b < 3 então
            Ptmaxcota:=ponto2[l,m];
            Senão
              Ptmaxcota:=ponto2[l,m-1];
          Fim se {referente à "Se b < 3"}
          Senão {por exclusão a=b}
            Ptmaxcota:=ponto1[i,j];
          Fim se {referente à "Se a<b"}
        Fim se {referente à "Se a>b"}
    Senão {referente à "Se j > m"}
      a:=0;
      b:=0;
  Se j < m {se o y do ponto2 for maior que o y do ponto1} então
    Para a:=1 até 100000 repetir
      Se Ponto1[i,j-a] <> {diferente} ponto1[i,j-a+1] então
        parar; Fim se;
      Para b:=1 até 100000 repetir
        Se ponto2[l,m+b] <> ponto2[l,m+b-1] então parar;
        Fim se;

```

```

Se a > b então
    Se a < 3 então {para ajustar (centralizar)
        caso 'a' seja pequeno}
        Ptmaxcota:=ponto1[i,j];
    Senão
        Ptmaxcota:=ponto1[i,j-1];
    Fim se {referente à "Se a < 3"}
Senão {referente à "Se a > b"}
    Se a < b então
    Se b < 3 então
        Ptmaxcota:=ponto2[l,m];
    Senão
        Ptmaxcota:=ponto2[l,m+1];
    Fim se {referente à "Se b < 3"}
    Senão {por exclusão a=b}
        Ptmaxcota:=ponto1[i,j];
    Fim se {referente à "Se a < b"}
    Fim se {referente à "Se a>b"}
    Senão {referência: "se i = l então"}
Se j = m
Se i > l {se o x do ponto1 for maior que o x do ponto2} então
    a:=0
    b:=0
    Para a:=1 até 100000 repetir
        Se Ponto1[i+a,j] <> {diferente} ponto1[i+a-1,j] então
            parar; Fim se;
        Para b:=1 até 100000 repetir
            Se ponto2[l-b,m] <> ponto2[l-b+1,m] então
                parar;
            Fim se;
        Se a > b então
        Se a < 3 então

```

```

Ptmaxcota:=ponto1[i, j];
Senão
Ptmaxcota:=ponto1[i +1,j];
Fim se {referente à “Se a < 3”}
Senão {referente à “Se a > b”}
Se a < b então
    Se b < 3 então
        Ptmaxcota:=ponto2[l,m];
        Senão
            Ptmaxcota:=ponto2[l-1,m];
        Fim se {referente à “Se b < 3”}
    Senão {por exclusão a=b}
        Ptmaxcota:=ponto1[i,j];
        Fim se {referente à “Se a<b”}
    Fim se {referente à “Se a>b”}
Senão {referente à “Se i > l”}
a:=0;
b:=0;
Se i < l {se o x do ponto2 for maior que o x do ponto1 } então
Para a:=1 até 100000 repetir
    Se Ponto1[i-a,j] <> {diferente} ponto1[i-a+1,j] então
        parar; Fim se;
    Para b:=1 até 100000 repetir
        Se ponto2[l+b,m] <> ponto2[l+b-1,m] então parar;
        Fim se;
        Se a > b então
            Se a < 3 então
                Ptmaxcota:=ponto1[i,j];
            Senão
                Ptmaxcota:=ponto1[i-1,j];
            Fim se {referente à “Se a < 3”}
        Senão {referente à “Se a > b”}

```



```

        Se  $a < b$  então
        Se  $b < 3$  então
            Ptmaxcota:=ponto2[l,m];
        Senão
            Ptmaxcota:=ponto2[l+1,m];
        Fim se {referente à “Se  $b < 3$ ”}
        Senão {por exclusão  $a=b$ }
            Ptmaxcota:=ponto1[i,j];
        Fim se {referente à “Se  $a < b$ ”}
        Fim se {referente à “Se  $a > b$ ”}
    Senão {referente à “Se  $i < l$ ”}
        Ptmaxcota := ponto1[i,j];
    Senão {referência: “Se  $(i+j)=(l+m)+1$  ou  $(i+j)=(l+m)-1$ ”}
        Ptmaxcota:=ponto1[i,j];
Vetorplato ← ptmaxcota;
    Fim enquanto {referente à “Enquanto vetorigual  $\diamond 0$  faça”}
Fim função 2.1;
Fim função 2;

```

Função 3;

{Verificar os pontos à direita e à esquerda para ver se chegam a um identificador que não seja o dos rios da bacia e que seja o dos rios, respectivamente}

Início Função 3;

Executar **função 4;**

Executar **função 6;**

Se **ptmincota** {da **função 6**} = **idrioin** então **P4='s'** senão **P4='n'** ;

Executar **função 5**;

Executar **função 6**;

Se **ptmincota** {da **função 6**} $\Diamond$ **idrioin** então **P5**='s' senão **P5**='n' ;

Se **P4**='s' e **P5**='s' então **P3**='sim' senão **P3**='não' ;

Fim Função 3;

Função 4

{Isolar o *pixel à esquerda* do pixel que está sendo analisado,
para que se tenha início essa análise}

{Obs.: 'i' equivale a 'x' e 'j' a 'y' em um plano cartesiano}

Início Função 4

ipb: i de **ptbacia**;

jpb: j de **ptbacia**;

ipm: i de **ptmaxcota**;

jpm: j de **ptmaxcota**;

ipe: i de **ptesq**;

jpe: j de **ptesq**;

ptesq[i,j] : ponto à esquerda do que está sendo analisado (é o que se quer);

Ler **ptbacia[i,j]**;

Ler **ptmaxcota[i,j]**;

Se **ipm** = **ipb** e **jpm** > **jpb** então **jpe** = **jpm** e **ipe** = **ipm**-1 senão

Se **ipm** < **ipb** e **jpm** > **jpb** então **jpe** = **jpb** e **ipe** = **ipm**-1 senão

Se **ipm** < **ipb** e **jpm** = **jpb** então **jpe** = **jpm**-1 e **ipe** = **ipm** senão

Se **ipm** < **ipb** e **jpm** < **jpb** então **jpe** = **jpm**-1 e **ipe** = **ipb** senão

```

Se ipm = ipb e jpm < jpb      então    jpe = jpm e ipe = ipm+1
senão
    Se ipm > ipb e jpm < jpb      então    jpe = jpb e ipe = ipm+1
    senão
        Se ipm > ipb e jpm = jpb          então    jpe = jpm+1          e
        ipe = ipm senão
            Se ipm > ipb e jpm > jpb          então          jpe = jpm+1
            e ipe = ipb senão
                Escreva “Há um erro na leitura de ptmaxcota”;
            Fim se;
        Fim se;
    Fim se;
Fim se;
Fim se;
Fim se;
Fim se;
Fim se;
Fim se;
ptesq[i,j]=ptesq[ipe,jpe];
ptisol:=ptesq[i,j];
Fim Função 4;
```

Função 5

{Isolar o *pixel à direita* do pixel que está sendo analisado,
para que se tenha início essa análise}

Início Função 5

ipb: i de ptbacia;


```

jpb: j de ptbacia;
ipm: i de ptmaxcota;
jpm: j de ptmaxcota;
ipd: i de ptdir;
jpd: j de ptdir;
ptdir[i,j] : ponto à direita do que está sendo analisado;
Ler ptbacia[i,j];
Ler ptmaxcota[i,j];
{ ver "Pontos esq dir" no Excel }
Se ipm = ipb e jpm > jpb    então    jpd = jpm e ipd = ipm+1 senão
  Se ipm < ipb e jpm > jpb    então    jpd = jpm+1 e ipd = ipb senão
    Se ipm < ipb e jpm = jpb    então    jpd = jpm+1 e ipd = ipm senão
      Se ipm < ipb e jpm < jpb    então    jpd = jpb e ipd = ipm-1
        senão
          Se ipm = ipb e jpm < jpb    então    jpd = jpm e ipd = ipm-1
            senão
              Se ipm > ipb e jpm < jpb    então    jpd = jpm-1 e
                ipd = ipb senão
                Se ipm > ipb e jpm = jpb    então jpd = jpm-1 e
                  ipd = ipm senão
                  Se ipm > ipb e jpm > jpb    então    jpd = jpb e
                    ipd = ipm+1 senão
                    Escreva "Há um erro na leitura de ptmaxcota";
                    Fim se;
                  Fim se;
                Fim se;
              Fim se;
            Fim se;
          Fim se;
        Fim se;
      Fim se;
    Fim se;
  Fim se;
Fim se;
ptdir[i,j]=ptdir[ipd,jpd];

```

ptisol:=ptdir[i,j];

Fim Função 5;

Função 6;

{Analisar os 8 pontos em volta de **ptisol** e pegar o de menor cota (**ptmincota**). Essa análise começará sempre pelo ponto esquerdo}

{Função análoga à **Função 1**}

Início Função 6

Ptmincota ← ptisol;

Vptana1 ← ptisol; {vetor dos pontos já analisados}

Enquanto (**ptisol <> idrioin**) ou (**ptisol <> idrioout**) ou (**ptisol <> ptlim**) faça

{Essas condições são para o caso de encontrar os indicadores dos rios da bacia ou de fora dela ou ainda os limites do mapa. Ao encontrar um desses indicadores, a função é finalizada e será registrado esse último ponto (**ptisol[x,y]**)}

Vptsal ← 0 ; {vetor dos pontos que estão sendo analisados}

pt1 := ptisol [i-1,j-1];

pt2 := ptisol [i-1,j];

pt3 := ptisol [i-1,j+1];

pt4 := ptisol [i,j+1];

pt5 := ptisol [i+1,j+1];

pt6 := ptisol [i+1,j];

pt7 := ptisol [i+1,j-1];

pt8 := ptisol [i,j-1];

{‘i’ e ‘j’ equivalem a ‘x’ e ‘y’ em um sistema de coordenadas}

vptsal0 ← pt1, pt2, pt3, pt4, pt5, pt6, pt7, pt8 ;

vptsal1 := vptsal0 - vptana1

{O próximo passo é para fazer com que a análise comece sempre pelo lado esquerdo}

Ptmaxcota:=ptisol;

Executar a **função 4** {isolar o pixel à esquerda}

Para **i:=1** até **n** faça {**i**, é um contador e **n**, o número de pontos de **vptsal**}

Ler **vptsal[i]**;

Se **ptisolxy:=vptsal[i]** então

j:=i ; {para ser utilizado a seguir}

Para **i:=i** até **n**

Vptsal2 $\leftarrow$ **vptsal[i]**;

Fim para;

Fim se {referente à 'Se **ptisolxy:=vptsal[i]** então'}

Para **i:=1** até **j** faça

Vptsal2 $\leftarrow$ **vptsal[i]**; {para completar o vetor}

Fim para;

Fim para; {referente à 'Para **i:=1** até **n** faça'}

Vptsal1:=vptsal2; {agora ordenado para começar pelo ponto esquerdo}

{Pegar o ponto de mínima cota (**ptmincota**) de **vptsal1**}

ptmincota := pt1;

Para **k:=2** até **n** faça {**n** é o número de pontos que existem no vetor **vptsal1**}

Se **vptsal1[k] < vptsal1[k-1]** então

Ptmincota := vptsal1[k] senão

Ptmincota := ptmincota;

Fim se;

Fim para;

Ptisol := ptmincota;

Vptana1 $\leftarrow$ **ptisol**;

Fim enquanto;

Fim Função 6;

Grave **ptbacia** em arquivo;

Fim do Programa;

6 Conclusões

O algoritmo cumpriu a sua meta, que era ser elaborado com princípios simples para tornar fácil a sua compreensão e transposição para os programas a que ele se destina, pois não se utiliza de procedimentos complexos, como a lógica *fuzzy*, por exemplo. Seus argumentos são simples, porém engenhosos, e têm pouca necessidade de intervenção do usuário, o que torna todo o processo mais aplicável.

Ainda, os procedimentos do algoritmo valem para qualquer tipo de topografia e escalas e não para casos particulares, encontrados em alguns programas.

O procedimento adotado mostrou-se eficaz, principalmente por se valer de uma rotina usual quando se programa para esses fins, o de análise dos oito pontos à volta do que está sendo avaliado, sempre trabalhando com valores de altimetria, pois é o que se dispõe com os dados primários e, portanto, não foram utilizados valores já manipulados porque senão cairiam em casos muitos particulares dos programas, limitando a sua atuação.

A criação de um mapa fictício foi justificada por vários motivos pois não era possível encontrar todos os pontos críticos em um só mapa e também seria inviável analisar manualmente o algoritmo em mapa real por ter um número altíssimo de informações armazenadas. Esse mapa, ainda, retratou bem as possíveis dificuldades encontradas para traçar um divisor de bacias com pontos bem definidos e de dimensões pequenas, para ser prático, pois o algoritmo demonstrou não depender de escalas.

Pela facilidade de visualização e de manipulação, o mapa fictício foi de grande serventia para revelar a necessidade de impor vários procedimentos que foram escolhidos de acordo com a condição do ponto e qual a atuação e a característica que levaria esse ponto a entrar em um procedimento diferente dentre os demais.

Como o procedimento mais comum a esses tipos de programas, que é o de direção do fluxo da água definido através dos valores de altitude registrado no pixel, não funciona quando se encontra locais planos, a escolha diferenciada de atuação nesses pontos é legitimada quando se percebe o desempenho de outros programas da área, como no exemplo gerado pelo *Idrisi*, da Clark Labs. Nesse ponto, o procedimento adotado, que é a linha divisória da bacia passando pelo ponto médio até encontrar a saída foi uma solução aceitável e viável.

Os procedimentos criados sempre funcionaram no mapa fictício, mas não houve possibilidade de fazer uma avaliação em um mapa real e com dimensões bem maiores, devido ao grande número de pixels envolvidos que inviabilizam um trabalho manual nesse mapa.

O assunto do estudo é atual e muito restrito a programação em aplicativos que trabalhem com sistemas de informações geográficas e como a maioria desses aplicativos é comercial, não há divulgação dos métodos para a definição da bacia, o que faz com que a bibliografia para o assunto seja muito escassa. Um assunto que se aproxima dele e para o qual há publicações é o de definição do caminho do fluxo de água.

O resultado final pode ser considerado muito bom para o mapa fictício, na maneira em que pode ser testado, pois ele torna homogênea a delimitação da bacia hidrográfica e é esperado o mesmo desempenho aplicado em um mapa real, após a sua transposição para um programa.

7 Bibliografias

BLACK, P.E. (1991). *Watershed hydrology*. Englewood Cliffs. Prentice Hall.

BURROUGH, P.A. (1994). *Principles of geographical information systems for land resources assessment*. Oxford. Clarendon Press.

CALIJURI, M.L. et al. (2000). *Fundamentos de sistemas de informação geográfica*. Viçosa –MG. Apostila da Universidade Federal de Viçosa.

COWEN, D. J. (1988). *GIS versus CAD versus DBMS: what are the differences?* Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, n.54 , p.1551-1154.

DANGEMOND, J.; Harnden, E. (1990). *Map data standardization*. Redlands, California. Environmental Systems Research Institute.

DOE. (1987). *Handling geographic information (The Chorley Report)*, Londres. HMSO.

EASTMAN, J.R. (1996). *Idrisi for Windows: exercícios tutoriais*. Porto Alegre. UFRGS Centro de Recursos Idrisi.

EASTMAN, J.R. (1993). *Gis and decision make*. Worcester. Clark University.

FARRER, H. et al. (1985). *Algoritmos estruturados*. Rio de Janeiro. Guanabara S.A.

- FERREIRA, A.B.H. (2000). *Novo dicionário Aurélio – século XXI*. São Paulo. Nova Fronteira.
- FOLEY, J.D.; van DAN, A.; FEINER, S.K.; HUGHES, J.F. (1997). *Computer graphics: principles and practice*. USA. Addison-Wesley Publishing Company, Inc.
- INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. (2000). <http://www.inpe.br/>
- JOHNSON, A.I. et al. (1992). *Geographic information systems (GIS) and mapping – practices and standards*. Philadelphia. ASTM.
- KLISKLEY, A.D. (1995). *The role and functionality of GIS as planning tool in natural – resource management*.
- LINSLEY, R.K.; FRANZINI, J.B. (1964). *Engenharia de recursos hídricos*. São Paulo. Editora da Universidade de São Paulo; Editora McGraw-Hill do Brasil, Ltda.
- MEIJERINK, A.M.J.; BROUWER, H.A.M.; MANNAERTS, C.M.; VALENZUELA, C. (1994). *Introduction to the use of geographic information systems for practical hydrology*. ITC, UNESCO.
- PEUQUET, D. & MARBLE, D.F. (1990). *Introductory readings in geographic information systems*. Londres. Taylor & Francis.
- RAIFFA, H. (1977). *Teoria da Decisão*. São Paulo. Editora Vozes ltda., Editora da Universidade de São Paulo.
- SCARTAZZINI, L.S.; LANNA, A.E.; RISSO, A. (1994). *Inventário do Potencial Hidráulico de Pequenas Bacias com Aplicação de SIG*. Revista Brasileira de Engenharia. ABRH/Caderno de Recursos Hídricos. v.12,n.1.p55-70.

SMITH, T.R. et al. (1987). *Requirements and principles for the implementation and construction of large-scale geographic information systems*. International Journal of GIS, n.1, p13-31.

USDA- Natural Resources Conservation Services. (2000). *Delineation of a watershed*. Durham, New Hampshire. <http://nhst02.nh.nrcs.usda.gov>.

WIRTH, N. (1986). *Algorithms & Data Structures*. Prentice-Hall, USA.