

# Utilização do radar interferométrico para delimitação automática de bacias hidrográficas

Leonardo Santana de Oliveira Dias\*, Glaucio Almeida Rocha\*\*, Emanuel Ubiratan Andrade de Barros\*\*\*, Paulo Henrique Prates Maia\*\*\*\*

## Resumo

A análise dos pleitos de outorga de uso da água requer a delimitação de áreas de contribuição pontuais. A SRH - Superintendência de Recursos Hídricos - utiliza métodos manuais para realizar esta tarefa. A motivação principal deste trabalho é fornecer ferramentas automatizadas como auxílio a este processo. Utilizou-se do modelo numérico de terreno (MNT), gerado a partir das imagens de radar interferométrico, juntamente com as ferramentas de hidrologia da família Arcgis para delimitar as bacias hidrográficas de forma automática. Como resultado temos o desenvolvimento de um guia prático que contempla a aquisição das imagens e os passos necessários para a delimitação. Através da utilização deste guia podem-se delimitar bacias hidrográficas, de maneira rápida e precisa, subsidiando os trabalhos da SRH nas áreas de gestão dos recursos hídricos.

**Palavras-chave:** bacia hidrográfica, SIG, recursos hídricos, gerenciamento, delimitação automática.

## Abstract

The analysis of the water rights use requires the delimitation of catchment areas from a point. The SRH uses manual methods to carry out this task. The main motivation of this work is to provide an automatic tool to help on this process. The process used a digital elevation model (DEM), generated from the interferometric radar images, with the hydrology tools of the Arcgis family to delineate the watersheds automatically. As a result we have the development of a practical guide that contemplates the acquisition of the images and all the necessary steps to delimitate this area. Through the use of this guide, watersheds can be delimited, in a fast and accurate way, subsidizing the works of the SRH in the area of water resources management.

**Key-words:** watershed, GIS, Wwater resources, management, automatic delineation.

## INTRODUÇÃO

Com a escassez da água em quantidade e qualidade em muitas regiões do Brasil e do mundo, não apenas as caracterizadas como áridas e semi-áridas, torna imperiosa a gestão dos recursos hídricos

como bem escasso e de alto valor social (MENDES; CIRILO, 2001).

O rio é o destino final da trajetória da água na bacia hidrográfica (MENDES; CIRILO, 2001). Sendo assim, é adotada para estudos hidrológicos e ambientais uma unidade básica de planejamento ou unidade de organização territorial chamada **bacia hidrográfica**.<sup>1</sup>

Os estudos hidrológicos são diretamente relacio-

\* Consultor em tecnologia da informação espacial. Mestrando em Engenharia Ambiental e Urbana. lsodias@srh.ba.gov.br

\*\* Analista de Sistemas. Especialista em gestão dos recursos hídricos. glaucio@srh.ba.gov.br

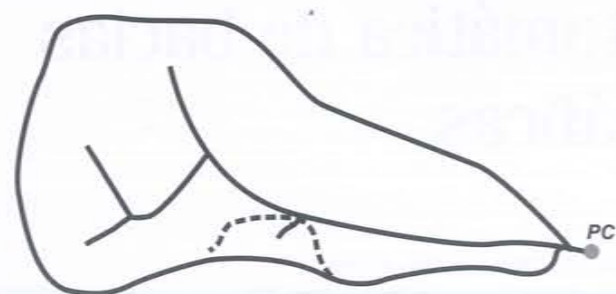
\*\*\* Consultor em Geoprocessamento. Msc Geotecnia. leuname@srh.ba.gov.br

\*\*\*\* Gerente de informações e especialista em recursos hídricos. phmaia@srh.ba.gov.br

<sup>1</sup> Segundo Mendes e Cirilo (2001) a Lei Federal nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, designa a bacia hidrográfica como sendo a unidade básica para os estudos relacionados à Política Nacional dos Recursos Hídricos.

onados à definição dos limites da bacia hidrográfica, que podem ser descritas como sendo o total de fluxo de água que se dirige a um determinado ponto de captação (figura 1) (VENKATACHALAM *et. al.*, 2001).

**Figura 1**  
Bacia hidrográfica (ponto de captação)



Quanto menos subjetivo for o critério na definição dos limites de uma bacia, mais preciso será o traçado da mesma. Algoritmos que permitem o traçado automático de bacias hidrográficas, apoiados em representações computacionais do terreno, estão disponíveis para utilização e teste de seus resultados. Eles passam a adotar critérios bem definidos e passíveis de serem replicados para outras regiões, mantendo então um mesmo padrão de qualidade na geração das unidades de planejamento territorial.

A definição dos limites de uma bacia está diretamente associada ao relevo da mesma. O relevo, por sua vez, pode ser representado computacionalmente como sendo uma matriz de pixels (menor elemento de uma imagem) que contém valores de altimetria para cada célula. Esta matriz geralmente é denominada de modelo numérico de terreno (MNT) e pode ser obtida através da vetorização e interpolação de curvas de nível, de uma folha topográfica, e também através de imagens de satélite.

Em função da necessidade de se ter modelos numéricos de terreno cada vez mais precisos e que cubram grandes áreas, foi lançada pela NASA-National Aeronautics and Space Administration, pelo USDD-United States Department of Defense, pela DLR (Centro Aeroespacial Alemão) e pela ASI (Agência Espacial Italiana) a missão SRTM-Shuttle Radar Topography Mission. A SRTM foi uma mis-

são de 11 dias que começou em fevereiro de 2000 e coletou informações altimétricas de 80 % das terras emersas da superfície terrestre entre as latitudes 60°N e 56°S (DLR, 2004; THOMPSON, 2004; SOUZA FILHO, 2003).

Os dados coletados pela SRTM são compatíveis com sistemas computacionais que envolvam técnicas de geoprocessamento, sendo assim passíveis de serem trabalhados por sistemas de informações geográficas (SIG) e integrados com outros dados espaciais disponíveis que também sejam compatíveis com este sistema.

A proposta deste trabalho é demonstrar a viabilidade de utilização de técnicas de geoprocessamento, desenvolvidas para a aplicação SIG da ESRI-Environmental Systems Research Institute, Arcview GIS 8x e a ferramenta de modelamento hidrológico, integradas com modelos matemáticos de elevação. Como resultado deste trabalho existe o desenvolvimento de um **guia prático** contendo os passos necessários para a delimitação automática de bacias hidrográficas, envolvendo desde o download das cenas de radar interferométrico, a geração das bacias hidrográficas e sua compatibilização com a cartografia oficial do Estado da Bahia, na escala 1:100.000.

#### FERRAMENTAS DE GEOPROCESSAMENTO PARA RECURSOS HÍDRICOS

A tecnologia de geoprocessamento, aqui representada pela aplicação SIG e pelo sensoriamento remoto, vem provando ser uma ferramenta valiosa em vários trabalhos relacionados a recursos naturais como os recursos hídricos (VENKATACHALAM *et. al.*, 2001).

Neste trabalho utilizou-se as versões 8x dos softwares Arcview e Spatial Analyst, juntamente com a extensão de hidrologia (Hydrology Modeling) disponível no site da ESRI,<sup>2</sup> juntamente com as imagens obtidas pelo radar interferométrico.

#### ArcVIEW GIS 8 x

O Arcview GIS em sua versão 8 é uma ferramenta SIG (Sistema de Informações Geográficas) muito po-

<sup>2</sup> <http://www.esri.com/>

derosa e versátil. Foram desenvolvidas várias aplicações gratuitas<sup>3</sup> compatíveis com esta arquitetura, através de convênios com universidades, empresas especializadas e programadores independentes, relacionadas ao tratamento de MNT's e gestão dos recursos hídricos.

#### Extensão de hidrologia<sup>4</sup>

A proposta de desenvolvimento desta extensão é expor alguns dos métodos de modelamento hidrológico disponível nos objetos do Spatial Analyst. A biblioteca (dll) de instalação desta extensão permite a criação de mapas de direção de fluxo, fluxo acumulado, preenchimento de *sinks* (depressões e áreas planas), geração de bacias hidrográficas com base em MNT e redes de fluxo (drenagens) vetoriais automáticas.

#### RADAR INTERFEROMÉTRICO

A estrutura mais adequada para representar dados topográficos é através de um MNT. A precisão dos mesmos está associada às características dos dados fontes e do interpolador utilizado, entre outras. Várias técnicas têm sido utilizadas com a finalidade de se obterem modelos numéricos de terrenos cada vez mais precisos, ou seja, tão representativos quanto possíveis do espaço geográfico (também chamado de "mundo real").

Pode-se obter um MNT (figura 2) através da utilização de várias técnicas, tais como: interpolação de curvas de nível, obtidos pela vetorização ou digitalização das folhas topográficas do IBGE; coleta de pontos em campo e também posterior interpolação destes dados; modelos obtidos através de sensoriamento remoto, utilizando-se sensores SPOT, AsterDTM e Radar Interferométrico.

Cada técnica de obtenção tem seu nível de quali-

<sup>3</sup> Tais como: ArcHydro, Basin 3.0, TauDEM-Terrain Analysis using Digital Elevation Models, SINMAP- Stability Index Approach to Terrain Stability Hazard e o Modelo SWAT.

<sup>4</sup> <http://arcobjectsonline.esri.com/ArcObjectsOnline/Samples/Spatial%20Analyst/Hydrology%20Modeling/HydrologyModeling.htm>

dade e precisão, sendo que cada produto é desenvolvido para atender determinadas aplicações que variam em função da escala de trabalho desejada. Os modelos obtidos por sensoriamento remoto têm-se destacado pela facilidade, padronização, rapidez, qualidade e disponibilidade de dados topográficos para diversas regiões (de difícil e fácil acesso).

Dados topográficos podem ser utilizados em numerosas aplicações e representam a base para a maioria dos estudos sobre a superfície terrestre. Entretanto, para muitas partes do mundo, os mapas topográficos são limitados, imprecisos ou simplesmente inexistentes. Deve-se considerar também que a falta de padronização nos métodos de aquisição de dados topográficos e de geração de bases de dados limi-

ta o escopo de estudos regionais e globais (SOUZA FILHO, 2003).

O Estado da Bahia possui carência de informações altimétricas, não supridas totalmente pelos levantamentos topográficos oficiais, além da existência de vários grupos de cartas com padrões distintos: pre-

**Figura 2**  
Modelo numérico do terreno (SOUZA FILHO, 2003)



cisão do posicionamento espacial (PEC<sup>5</sup>) e variação das curvas de nível, cartas com variação de cota de 40 m e outras de 50 m.

Esta heterogeneidade dificulta a continuidade espacial do tema altimetria para grande parte do

<sup>5</sup> Padrão de Exatidão Cartográfica. <http://www.ibge.gov.br/>

território do estado, sendo que as imagens do radar interferométrico disponibilizadas pela NASA se apresentam como a melhor alternativa para suprir esta carência. Segundo Souza Filho (2003) a missão SRTM obteve dados altimétricos com precisão compatível com mapas topográficos na escala de até 1:50.000. Vale lembrar que a melhor escala de mapeamento de todo o estado está relacionada a escala 1:100.000, das cartas plani-altimétricas desenvolvidas pelo IBGE e DSG.

**Características gerais**

O instrumento usado para capturar as imagens do radar interferométrico é o SAR, sigla em inglês que significa Radar de Abertura Sintética, que faz imagens da superfície da Terra usando iluminação de microondas e é independente da posição do sol (hora do dia), do clima e do contraste da superfície (DLR, 2004).

Características dos MDEs primários do SRTM Radar banda-C	
Aduração Horizontal	* 20 metros
Aduração Vertical	* 4 metros
Amostragem Horizontal	** 1" x 1" lat/long (30 x 30 m)
Amostragem Vertical	1 metro
Projeção	coordenadas geográficas (lat/long)
Esferóide	WGS84
Formato dos dados	16bits (signed integer)

\* acurácia para 66% dos dados (restando: 10-16 m)  
 \*\* aproximadamente 30 m para latitudes médias/Equador  
 Fonte: Souza Filho (2003)

Os dados da SRTM foram o resultado de uma missão espacial internacional que envolveu a NASA, a NIMA (National Imagery and Mapping Agency), o USDD (United States Department of Defense), a DRL e a ASI, e que teve como objetivo final a geração de um Modelo Digital de Elevação (MDE) de alta resolução da Terra, utilizando a interferometria de radar (SOUZA FILHO, 2003).

Toda a América do Sul encontra-se coberta por um modelo numérico de terreno com pixel de 3 arco-segundos (90 metros), já disponível para download imediato. Também foram levantados modelos com resolução de 1 arco-segundo (30 metros), sendo que a aquisição destes modelos que cubram áreas que estejam fora dos limites dos Estados Unidos, deve ser requisitada no site

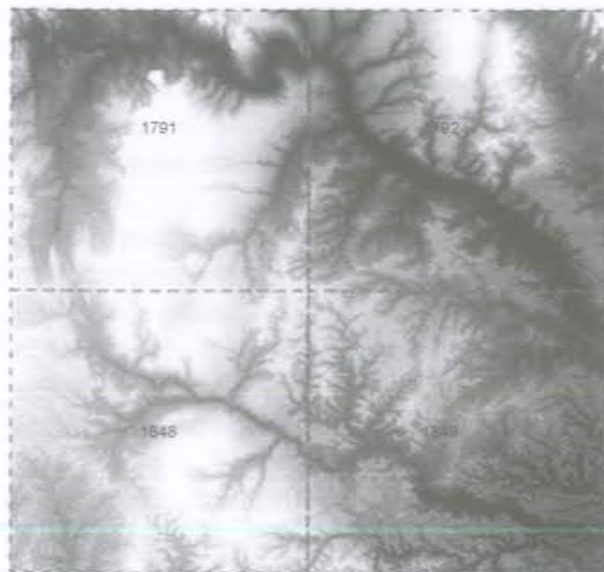
da NASA,<sup>6</sup> através do preenchimento de um formulário de-intenções e contato por correio eletrônico.

**Download e conversão**

As imagens obtidas pela missão estão disponíveis para download no site de ftp (protocolo de transferência de arquivos) da NASA,<sup>7</sup> compactadas em formato ZIP, e seguem a articulação de folhas de 1° x 1°.

Para acompanhar a articulação, os arquivos encontram-se seguindo a seguinte documentação: s(sul) 12(latidade) w(oeste) 039(longitude). Este exemplo se refere ao arquivo s12w039 (figura 3) que cobre 4 folhas 1:100.000 (1791, 1792, 1848 e 1849). Sua abrangência espacial vai das longitudes 38° a 39° e das latitudes 11° a 12°.

**Figura 3**  
Recobrimento 1:100.000 do arquivo s12w039



As imagens, depois de descompactadas, encontram-se no formato HGT, que não é suportado pela arquitetura do Arcview. Se torna necessário o download de um software que irá auxiliar a conversão do formato HGT para o formato GeoTIFF DEM. Utilizou-se o aplicativo 3DEM<sup>8</sup> para viabilizar esta conversão.

<sup>6</sup> <http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/>  
<sup>7</sup> [ftp://edcscgs9.cr.usgs.gov/pub/data/srtm/South\\_America/](ftp://edcscgs9.cr.usgs.gov/pub/data/srtm/South_America/)  
<sup>8</sup> <http://www.visualizationsoftware.com/3dem/downloads.html>

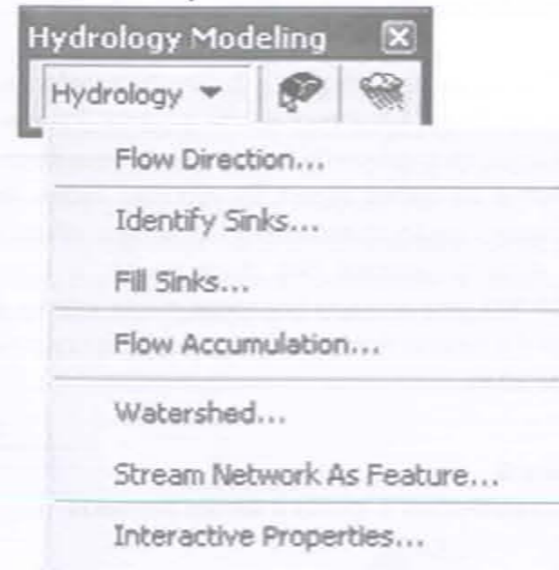
**PASSOS PARA A DELIMITAÇÃO DE BACIA HIDROGRÁFICA**

A geração de bacias hidrográficas através da utilização do MNT obtido pelo radar interferométrico deve seguir a seguinte seqüência: preenchimentos de sinks, mapa de direção de fluxo, mapa de fluxo acumulado e a geração das bacias hidrográficas. Estas etapas encontram-se implementadas na ferramenta de hidrologia (figura 4).

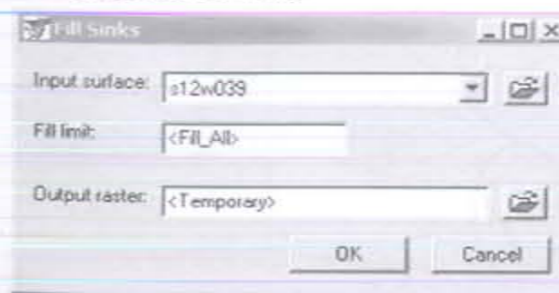
**Preenchimento de sinks (Fill Sinks)**

A existência de depressões e áreas planas nos MNT's possibilitam a geração de mapas de direção de fluxo com inconsistências. Para que isso

**Figura 4**  
Ferramentas disponíveis na extensão de hidrologia



**Figura 5**  
Preenchimento de sinks



não ocorra, o arquivo GeoTIFF DEM deverá passar por um processo de preenchimento de sinks (figura 5). O arquivo resultante deste processo deverá ser salvo para gerar o mapa de direção de fluxo a partir dele.

Um sink é uma área rodeada por elevações com valores de cotas superiores, que pode ser associada a uma depressão. A maioria dos sinks pode ser considerada imperfeição no MNT. É importante, para a maioria dos casos, que o técnico entenda bem a morfologia da área para saber distinguir entre o que são realmente sinks ou apenas dados errados (ROSKILDE UNIVERSITY, 2004).

Estas depressões ou sinks são consideradas impedimentos ao escoamento, quando da aplicação de modelos chuva-vazão, modelos sedimentológicos e de poluentes de origem difusa (MENDES; CIRILO, 2001).

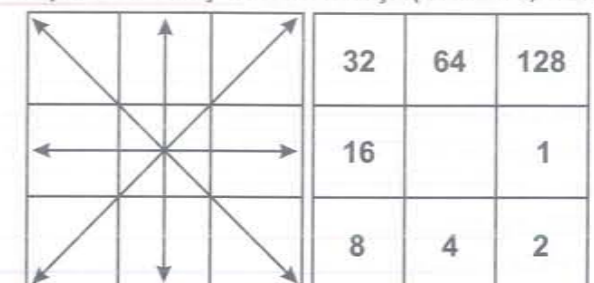
**Um sink é uma área rodeada por elevações com valores de cotas superiores, que pode ser associada a uma depressão**

**Direção de fluxo (Flow Direction)**

Permite definir as direções de fluxo de água, ou seja, quando há um evento de chuva, a água que cai em cada pixel irá escoar para uma determinada direção, que será a direção da linha de maior declividade do terreno. Este arquivo deve ser gerado a partir da imagem de radar devidamente preenchida (fill sinks).

A direção de fluxo determina a direção de maior declividade de um pixel em relação a seus 8 pixels vizinhos. A distância entre dois pixels é medida a partir do centro de cada célula. Após a utilização da função flow direction um arquivo será gerado, definindo um valor de direção que indica o pixel vizinho de maior declividade (figura 6) (HURVITZ, 2004).

**Figura 6**  
Codificação da direção de maior declividade de um pixel em relação a vizinhança (HURVITZ, 2004)

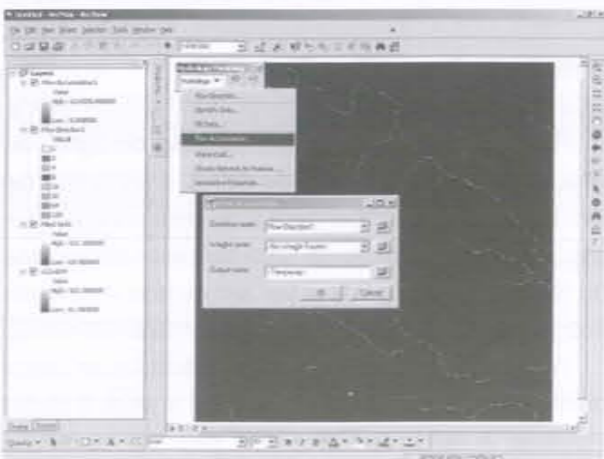


**Direção de fluxo acumulado (Flow Accumulation)**

O arquivo de direção de fluxo é o arquivo de entrada para se gerar o arquivo de fluxo acumulado, o qual representa a rede de drenagem. As bacias hidrográficas são definidas espacialmente pelas propriedades geomorfológicas da rede de drenagem (ROSKILDE UNIVERSITY, 2004).

Os dados relativos a fluxo acumulado (figura 7), sob o ponto de vista da hidrologia, significam uma integração entre o fluxo superficial e subsuperficial da água a montante de um determinado ponto no terreno. A partir da direção de fluxo, o fluxo acumulado é obtido somando-se a área das células (quantidade de células) na direção do fluxo (ou escoamento) (MENDES; CIRILO, 2001).

**Figura 7**  
Mapa de fluxo acumulado

**Bacia hidrográfica (Watershed)**

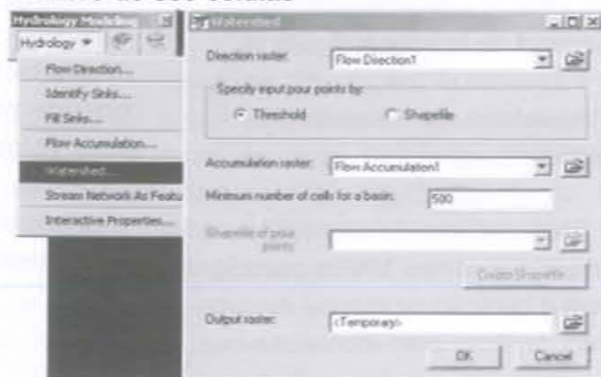
Após a geração dos mapas de direção de fluxo e fluxo acumulado, pode-se então processar estes dados e se obter a geração das bacias hidrográficas que cobrem a área do MNT. O tamanho (área) das bacias a serem geradas é função da quantidade de células que deverão ser processadas (figura 8).

Como cada célula do MNT obtido das imagens de radar possuem pixels de 90 metros, a área de cada pixel equivale a 8.100 m<sup>2</sup>. Se for definido um valor de 500 células, serão processadas bacias de até 4.050.000 m<sup>2</sup>.

Para a imagem *s12w039*, após a execução de

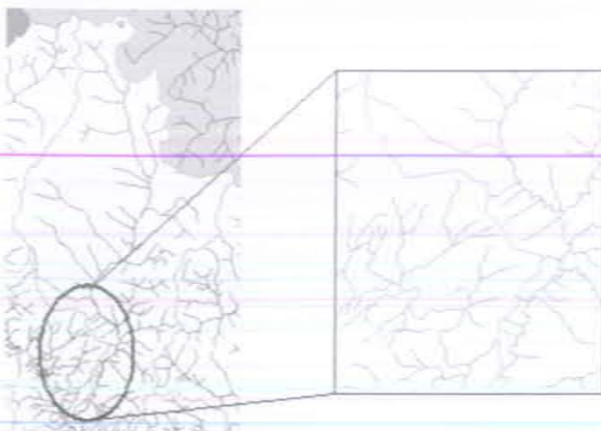
todos os processos acima descritos, e, tomando-se um valor de 10.000 células (81 km<sup>2</sup>), obteve-se a criação de 69 bacias hidrográficas. Quanto menor a quantidade de células maior será a quantidade de bacias criadas.

**Figura 8**  
Delineamento da Bacia Hidrográfica para um número de 500 células

**Compatibilização cartográfica**

Depois de delimitadas as bacias hidrográficas, deve-se checar a compatibilidade espacial (integração) entre os arquivos de hidrografia da base cartográfica e as bacias (figura 9). Algumas redes de drenagens serão cortadas em função dos diferentes erros posicionais das duas bases: a base 1:100.000 com acurácia horizontal média inferior a 30 m e o modelo numérico com a acurácia horizontal de 20 m.

**Figura 9**  
Inconsistências e locais a serem editados

**CONCLUSÃO**

A tecnologia do geoprocessamento, em relação às aplicações representadas pelos sistemas de informações geográficas (SIG) e sensoriamento remoto, se apresenta como uma ferramenta poderosa ao lidar com o espaço geográfico e suas interações.

A integração entre SIG e os dados obtidos pela tecnologia de radar permitem, com eficiência, precisão e rapidez, delimitar as áreas de contribuição pontuais (bacias de captação). Estas áreas subsidiam o cálculo da disponibilidade hídrica nas análises dos pleitos de outorga.

Os dados de interferometria também servem para complementar as áreas que não possuem levantamentos cartográficos, como por exemplo, o vazio cartográfico do estado da Bahia,<sup>9</sup> utilizando a metodologia descrita neste trabalho. Além disso, permite-se obter: mapas de declividade; curva de nível; redes de drenagem automática e rodar modelos hidrológicos baseados na topografia.

A utilização de novas tecnologias de informação e a integração das áreas de TI e geoprocessamento permitiram automatizar processos mecânicos, facilitando os trabalhos. Na SRH, a implantação deste processo permitiu um ganho considerável na qualidade dos produtos gerados e um aumento da eficiência no atendimento à sociedade.

**REFERÊNCIAS**

DLR X-SAR/SRTM Shuttle Radar Topography Mission. Mapping the Earth from Space. Disponível em: [http://www2.dlr.de/oeffentlichkeit/specials/sonderseiten/srtm/srtm\\_folder\\_02.pdf](http://www2.dlr.de/oeffentlichkeit/specials/sonderseiten/srtm/srtm_folder_02.pdf). Acesso em: 5 maio 2004.

HURVITZ, P. *Hydrologic Modeling and Watershed Delineation. The University of Washington Spatial Technology, GIS and Remote Sensing Page*. Disponível em: <http://gis.washington.edu/cfr250/lessons/hydrology/>. Acesso em: 13 jun. 2004.

MENDES, C.A.B, CIRILO, J.A. *Geoprocessamento em recursos hídricos: princípios, integração e aplicação*. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2001, 536 p.

ROSKILDE UNIVERSITY *Hydrology Modeling Sample Extension*. Disponível em: [http://www.maproom.ruc.dk/Courses/natbas/geografi-b/Hydro\\_model/hydrology\\_modeling\\_sample\\_extens.htm](http://www.maproom.ruc.dk/Courses/natbas/geografi-b/Hydro_model/hydrology_modeling_sample_extens.htm). Acesso em: 13 maio 2004

SOUZA FILHO, C. R. O Relevo das Américas como nunca antes visto. *InfoGeo*, n. 30, p.54-58, 2003.

THOMPSON, R. J. *Presentation to the Workshop on Geospatial Applications to Support Sustainable International Agriculture. U.S. Geological Remote Sensing Program*. Disponível em: [http://edcintl.cr.usgs.gov/cgiar/thur/USGS\\_Land\\_Remote\\_Sensing\\_Program\\_-\\_RJ\\_Thompson.pdf](http://edcintl.cr.usgs.gov/cgiar/thur/USGS_Land_Remote_Sensing_Program_-_RJ_Thompson.pdf). Acesso em: 02 maio 2004.

<sup>9</sup> Corresponde ao total de 8 cartas que não foram cartografadas pelo IBGE.