

## Capítulo 4 – Diagnóstico da Hidrografia da Área do Manejo Florestal

---

Evandro Orfanó Figueiredo

Um das principais diferenças do modelo digital para o sistema convencional de planejamento da exploração é a possibilidade de modelar antecipadamente as principais feições ambientais da área florestal a ser manejada, a exemplo da hidrografia e relevo.

Na silvicultura de precisão em florestas plantadas, a modelagem da hidrografia permite avaliar a área de drenagem, o comprimento de um curso hídrico, as diferenças de cotas entre as nascentes e a foz, e a forma da bacia (RIBEIRO, 2002).

Em florestas tropicais nativas sob regime de manejo, a modelagem da hidrografia, associada com o microzoneamento da área de interesse, utilizando receptores GPS de alta sensibilidade, permitirá com precisão métrica a alocação de pontes e bueiros, nos locais em que o impacto ambiental sobre o ecossistema florestal será minimizado, além de possibilitar um menor número de transposições de rios e igarapés. Isso influenciará positivamente no resultado econômico final da atividade florestal. Em pouco tempo, o empreendedor observa que executar um planejamento florestal, que respeite as características do ambiente, gera bons resultados financeiros.

A primeira versão da modelagem da hidrografia, utilizando recursos de imagens de radar, servirá de base para o microzoneamento das Unidades de Produção Anual dos manejos florestais em florestas tropicais nativas.

Portanto, antes da equipe entrar em campo para a realização dos trabalhos de levantamento florestal, é feito um diagnóstico detalhado dos rios, igarapés, nascentes e regiões alagadas. Estas feições geográficas são mapeadas com o emprego das imagens SRTM (projeto Shuttle Radar Topography Mission) ou Missão

Topográfica por Radar Interferométrico (dados de domínio público disponíveis em: U. S. Geological Survey, EROS Data Center, Sioux Falls, SD). A tecnologia do Programa SRTM pode ser considerada atualmente um dos principais instrumentos de planejamento da exploração florestal na Amazônia.

## **Imagens SRTM**

A missão SRTM foi executada pela National Aeronautics and Space Administration (Nasa), em parceria com a National Imagery and Mapping Agency (Nima), o United States Department of Defense, (USDD), o Centro Aeroespacial da Alemanha (DLR) e a Agência Espacial Italiana (ASI) e teve como objetivo principal gerar o Modelo Digital de Elevação (MDE).

Em fevereiro de 2000, o ônibus espacial Endeavour orbitou a Terra realizando a Missão Topográfica por Radar Interferométrico. Durante um período de 11 dias, foi gerado o mais completo e detalhado banco de dados sobre a topografia altimétrica de 80% das áreas não submersas do planeta. Os dados levantados representam uma precisão topográfica altimétrica equivalente a mapas na escala de 1:50.000.

A nave levou, em seu compartimento de carga, um equipamento SAR interferométrico (radar de abertura sintética), operando nas bandas C e X. Uma haste mecânica, presa à nave, levou em sua extremidade duas antenas receptoras do SAR, bandas C e X (Santos et al., 2006).

A SRTM produziu uma grade de pontos com precisão horizontal de 30 m (um arco-segundo), o que significa que áreas com dimensões de 900 m<sup>2</sup> são facilmente mapeadas. No entanto, até o momento, somente foram disponibilizadas para uso público as imagens com resolução de três arcos-segundos, informação 10 vezes mais precisa que o melhor modelo existente até hoje. A grande vantagem tecnológica do modelo é o emprego do mesmo método para coleta e processamento dos dados, ou seja, pelo radar interferométrico, o que garante a qualidade das informações para uso regional e

local. As características do modelo digital de elevação (primários) do STRM (radar banda – C) encontram-se na Tabela 1 (SOUZA FILHO, 2004).

**Tabela 1.** Características do modelo digital de elevação (primários) do Shuttle Radar Topography Mission – SRTM (radar banda C).

Descrição	Características
Acurácia horizontal	*20 metros
Acurácia vertical	*4 metros
Amostragem horizontal	
Disponível	** 3" x 3" lat/long (90 x 90 m)
Não disponibilizada	*** 1" x 1" lat/long (30 x 30 m)
Amostragem vertical	1 metro
Projeção cartográfica	Coordenadas geográficas (latitude/longitude)
Sistema de referência	WGS-84
Formato dos dados	16 bits

\*Acurácia para 66% dos dados (para o restante dos dados a acurácia de 10 – 16 metros).

\*\*Aproximadamente 90 metros para latitudes médias e próximas do Equador.

\*\*\*Aproximadamente 30 metros para latitudes médias e próximas do Equador.

A confiabilidade dos dados do programa SRTM apresentou melhores resultados altimétricos quando comparados ao modelo digital de elevação gerado a partir da carta da topográfica do Serviço Geográfico do Exército (DSG) (SANTOS et al., 2006).

O MDT interferométrico foi especificado para atender a uma exatidão absoluta de  $\pm 16$  m em 90% dos dados (Rabus et al., 2003). Um levantamento de campo, oficialmente realizado pela Nasa para se obter uma avaliação do MDT SRTM, aponta para um erro absoluto de 6,2 m em 90% dos dados para a América do Sul (Rodriguez et al., 2005).

Na utilização da imagem SRTM deve-se atentar para o tratamento das inconsistências do modelo antes de utilizá-lo, evitando-se, assim, erros que podem interferir no modelo final. As inconformidades geralmente ocorrem nas cotas mais baixas, próximas das calhas dos grandes rios da região Amazônica (disponíveis no site: <http://srtm.csi.cgiar.org/>).

## Modelagem da Hidrografia pelo SRTM

Inicialmente, deve-se recortar um mosaico da imagem SRTM, referente à área do entorno do empreendimento florestal, utilizando um software de sensoriamento remoto, ou mesmo, o ArcGIS.

No ArcGIS ativa-se a Extensão ArcTools. No ArcTools uma janela será aberta com todas as extensões do programa ArcGIS disponíveis para versão. Seleciona-se o Toolbox "Data Management Tools">>"Raster">>"Clip". Esta opção abrirá uma janela denominada de "Clip". Na opção "Input Raster" escolhe-se a imagem do SRTM já aberta no "Data Frame". Em "Output Extent (optional)", nenhuma alternativa deve ser selecionada. Posteriormente, digitam-se as coordenadas limites da área de interesse a ser recortada, e no campo "Output Raster Dataset", nomeia-se o arquivo a ser salvo, com no máximo nove letras. O passo seguinte é selecionar a pasta onde deverá ser salva a imagem.

Este mosaico deve ter uma área média de 25.000 hectares, ou aproximadamente 16 km x 16 km. A imagem maior do entorno da área do manejo florestal servirá tanto para a modelagem da hidrografia, como para realizar a interpolação dos contornos das curvas de nível. Esta dimensão da imagem SRTM é suficiente para avaliar as características da hidrografia do entorno. Os arquivos gerados de seu processamento são facilmente trabalhados, não necessitando de equipamentos com maiores recursos de processamento de dados, o que muitas vezes passa a ser um transtorno para profissionais liberais.

Para gerar uma malha hidrográfica para o planejamento da atividade florestal a partir de um modelo numérico de terreno, que no caso é a imagem do SRTM, utiliza-se a extensão Hydrology. Depois de instalar a extensão, deve-se ativar a barra de ferramentas por meio do menu "Tools">>"Extensions" >>"Spatial Analyst" ou clica-se com o botão direito do mouse na barra de ferramentas (Fig. 1).

O termo modelo numérico de terreno (ou MNT) é utilizado para denotar a representação quantitativa de uma grandeza que varia continuamente no espaço. Comumente associado à altimetria, também pode ser utilizado para modelar unidades geológicas, como teor de minerais, ou propriedades do solo ou subsolo.

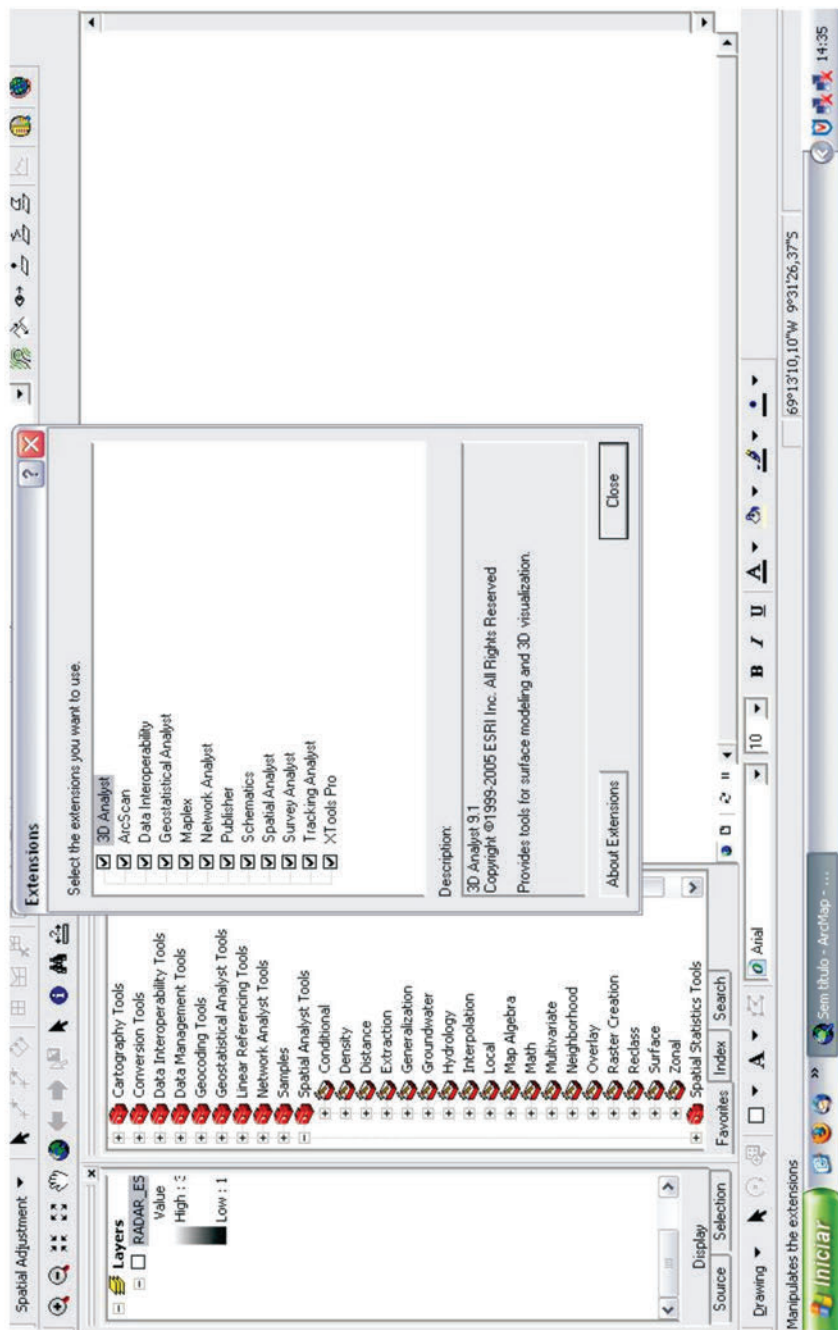
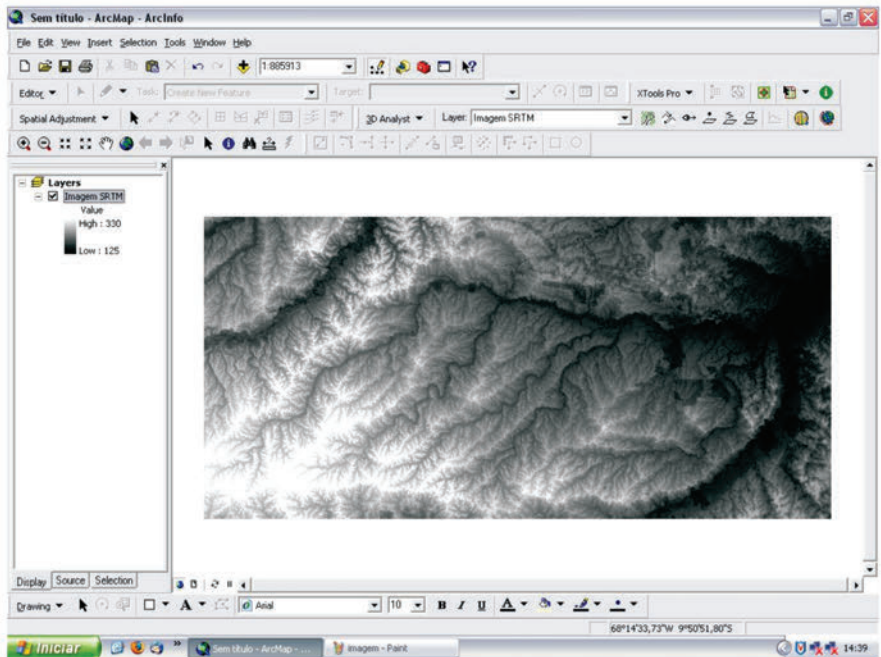


Fig. 1. Procedimento do software ArcGIS para ativar extensão Hydrology.

Após carregar a extensão “Spatial Analyst,” adiciona-se a imagem SRTM da localidade de interesse, a qual será utilizada para gerar a rede de drenagem (Fig. 2).



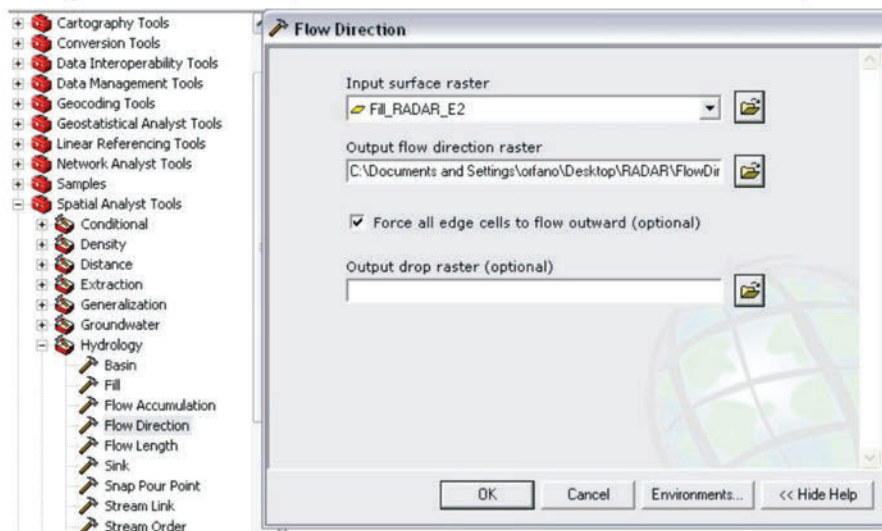
**Fig. 2.** Imagem SRTM (formato Tiff) da região de interesse aberta no software ArcGIS.

A próxima etapa será abrir a janela do Arc Toolbox Windows, e acionar o toolbox “Spatial Analyst Tools” e o toolset “Hydrology”. Na série de ferramentas Hydrology, seleciona-se a opção “Fill” (preencher drenagem). Na janela que será aberta, seleciona-se a imagem SRTM de interesse no elemento “Input surface raster” e os outros campos devem seguir o padrão do software (Fig. 3). Com essa operação, criou-se um o modelo numérico do terreno “Fill” semelhante ao SRTM. Porém, com uma diferença fundamental, os valores dos pixels adjacentes foram recalculados para que não ocorram os mesmos valores (GORR; KURLAND, 2006).



Fig. 3. Procedimento de geração da imagem recalculada SRTM pela série de ferramentas "Fill" do software ArcGIS.

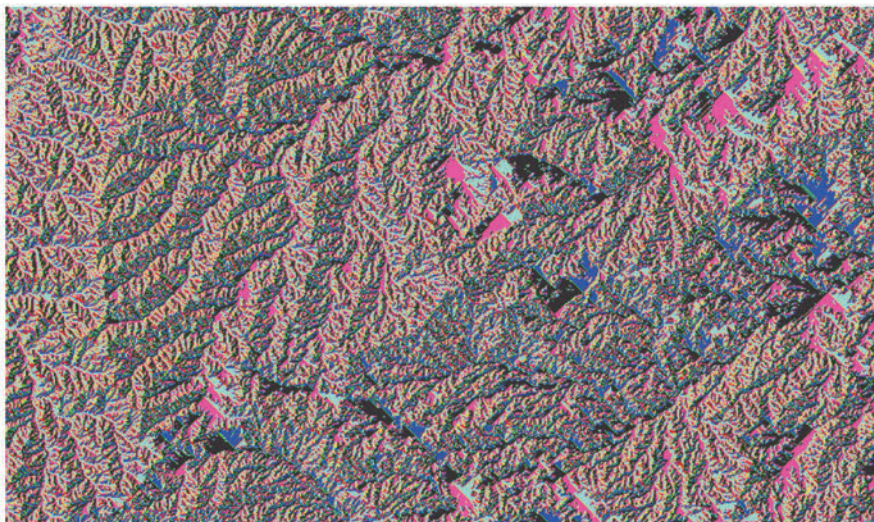
Com a imagem SRTM recalculada para valores adjacentes, deve-se selecionar, na série de ferramentas do Hydrology, a opção “Flow Direction” para que a direção do fluxo seja calculada. Seleciona-se o raster “Fill do SRTM” como o “Input surface raster” e marca-se a opção “Force all edge cells to flow outward (optional)” (Fig. 4).



**Fig. 4.** Procedimento para modelar a direção de fluxo do sistema de drenagem, a partir de uma imagem recalculada do SRTM no ArcGIS.

Com essa operação foi gerada a direção de fluxo ou “FlowDir\_Fill” que será utilizado na geração da malha hidrográfica (Fig. 5).





**Fig. 5.** Resultado do processamento da direção de fluxo da rede de drenagem da região do manejo florestal.

Com a direção de fluxo modelada, a próxima etapa será executar a opção "Flow Accumulation" para que as áreas de acumulação da bacia sejam modeladas. Para esta operação, será aberta uma janela, selecionando-se o "Flowdir\_fill", na opção "Input flow direction raster"; e não se adiciona nenhum raster como "Input weight raster (optional)" (Fig. 6 e Fig. 7).

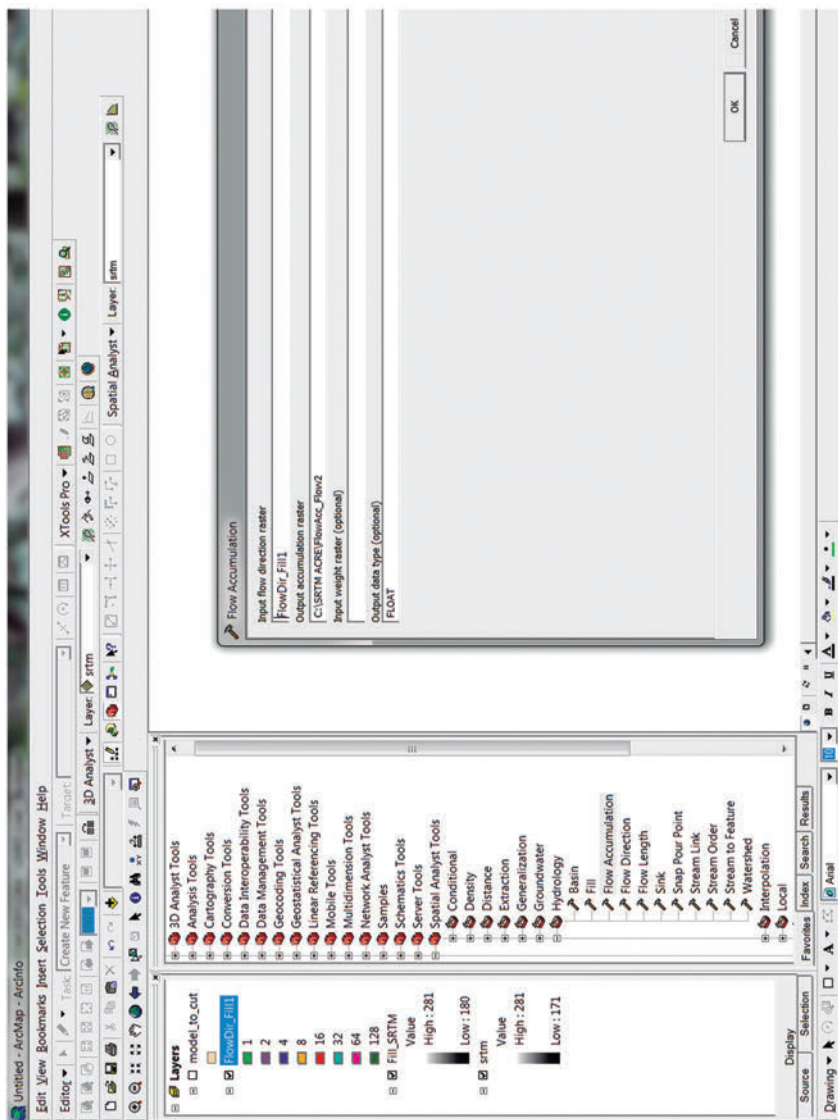


Fig. 6. Processamento para obter as áreas de acumulação da bacia hidrográfica.



**Fig. 7.** Resultado do processamento das áreas de acumulação da bacia hidrográfica.

Tendo gerado o modelo "FlowAcc\_FlowDir\_Fill" ou acumulação do fluxo e direção, o próximo passo será criar um modelo sobre a disposição dos rios. Para tanto, na série de ferramentas do Hydrology, gera-se a disposição dos rios pela opção "Stream Order". Na janela da ferramenta, seleciona-se como "Input stream raster" o raster gerado pela operação do "Flow Accumulation" e, no "Input flow direction raster", o raster gerado pela direção de fluxo. No método de ordenamento dos rios mantém-se o padrão de processamento "Method Strahler" (Fig. 8).

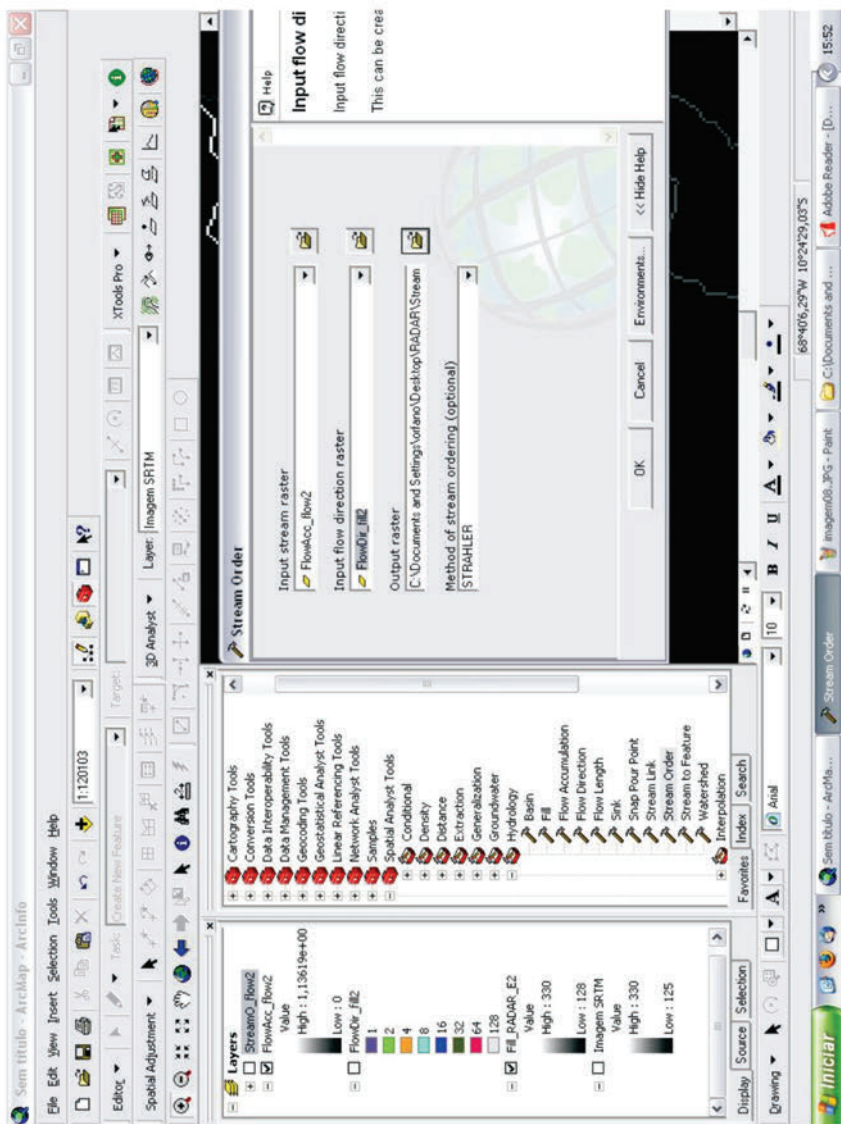
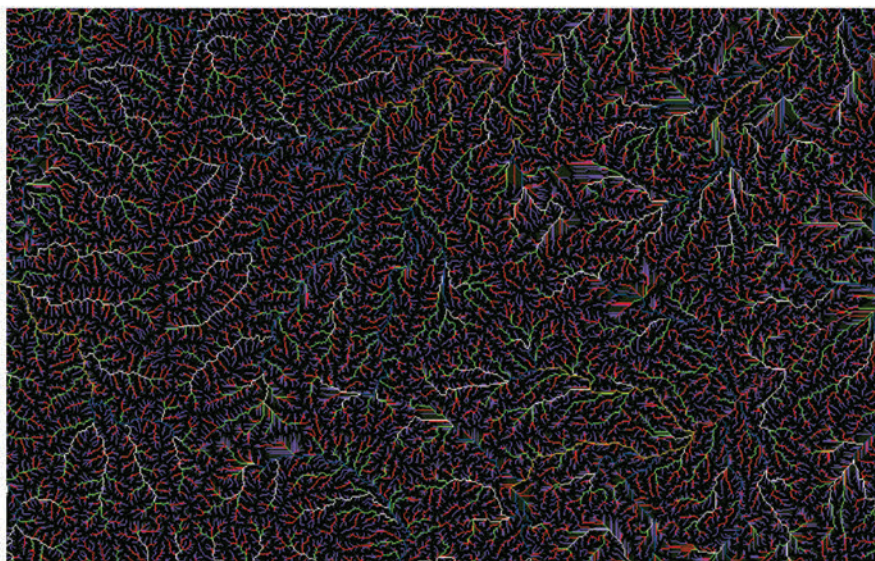


Fig. 8. Procedimento para gerar a disposição da malha hidrográfica.

Com isso será gerado um raster da disposição dos rios em diversas ordens (Fig. 9).



**Fig. 9.** Resultado do processamento sobre a disposição da rede de drenagem da área de interesse do manejo.

A última etapa é proceder ao delineamento dos rios por meio da opção "Stream to Feature" da série de ferramentas do "Hydrology". Ao abrir a janela, seleciona-se como "Input Stream raster" o modelo gerado pelo processo "Stream Order", e o raster de direção de drenagem (FlowDir\_fill) como "Input flow direction raster". Atenção especial para selecionar, na tabela de atributos do raster de "StreamO\_flow" (gerado no processo anterior), as linhas correspondentes ao nível de detalhamento desejado para o delineamento dos rios (Fig. 10).

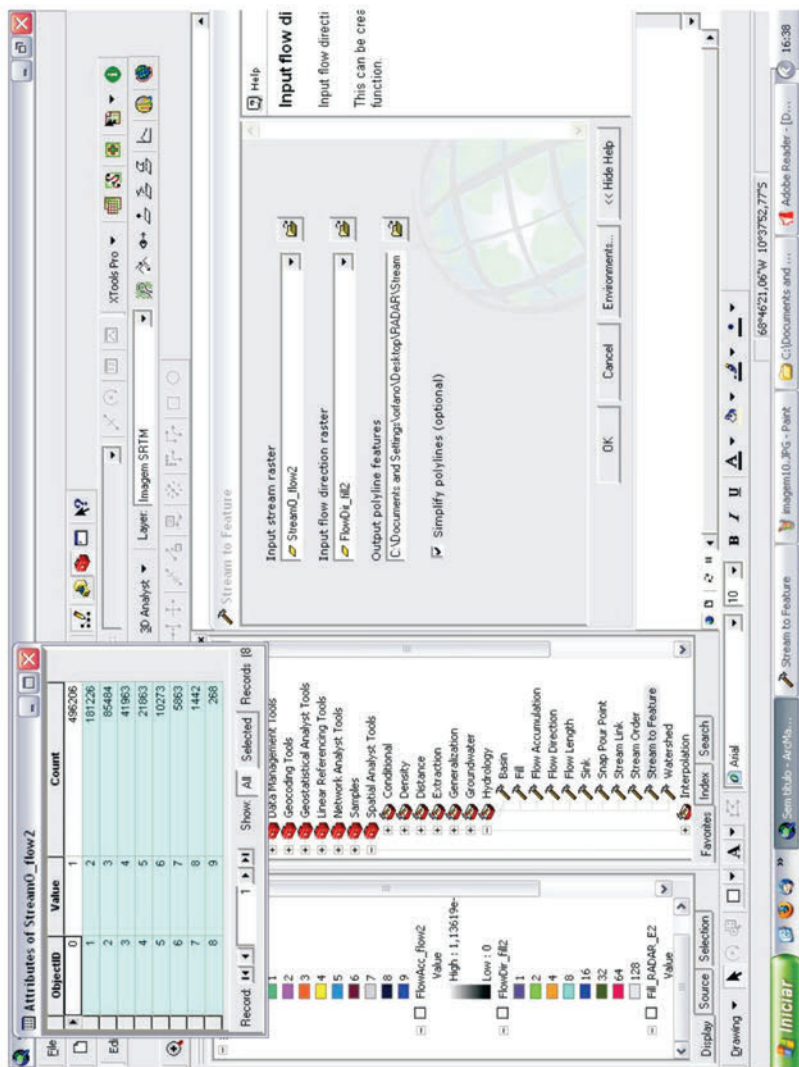
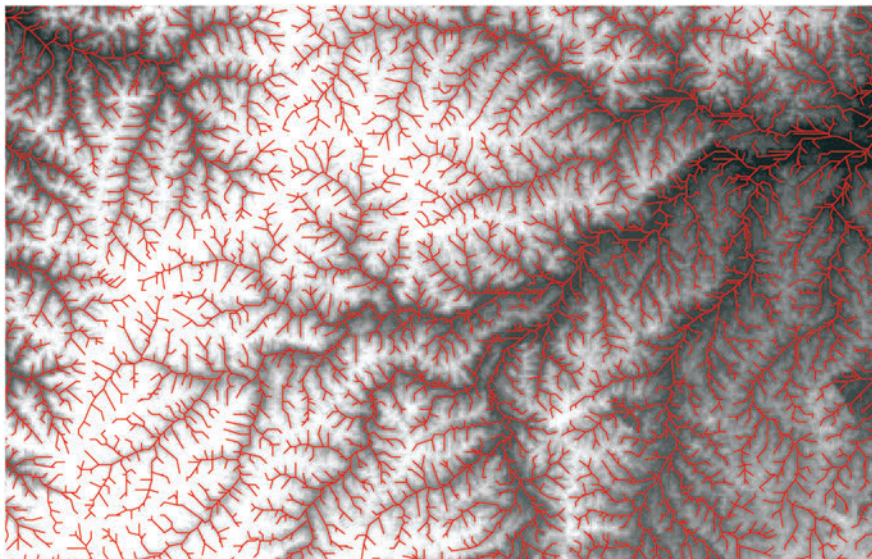


Fig. 10. Procedimento para selecionar o nível de detalhamento da rede hidrográfica pelo raster oriundo do processo "Stream Order" no software ArcGIS.

O produto gerado pode ser observado na Fig. 11. Posteriormente, os ajustes podem ser feitos na ferramenta “Edit” e “Advanced Editing”, visando suavizar as linhas e excluir aquelas que não são de interesse.



**Fig. 11.** Resultado final da modelagem da hidrografia da região de interesse do manejo florestal pelo toolset “Hidrology” do ArcGIS.

## **Ajuste do Sistema de Referência por Produtos da Modelagem**

Conforme mencionado anteriormente, a malha hidrográfica foi gerada com base na imagem SRTM, cujo sistema de referência (datum) é geocêntrico (WGS-84). Para que as informações geradas não tenham inconformidades de diagnose com as Instruções Normativas nº 93, de 3 de março de 2006, e nº 101, de 19 de junho de 2006 do Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (Ibama), faz-se necessário transformar os dados gerados empregando o método de translação geocêntrica com três parâmetros.

Sem esta transformação, ocorrerão inconformidades importantes, principalmente, quando houver equívocos no transporte das informações para o GPS, a exemplo de divergências entre os sistemas de referência do software utilizado e a configuração do receptor GPS.

Os parâmetros de transformação oficiais preconizados para realizar a translação geocêntrica de WGS-84 para SAD-69 são os seguintes:  $T_x = 66,87$  m,  $T_y = -4,37$  m e  $T_z = 38,52$  m. Trata-se apenas de três translações, pois os dois sistemas são paralelos e com mesma escala. Somando-se os parâmetros acima, às coordenadas X, Y e Z em WGS-84, obtêm-se as respectivas coordenadas em SAD-69. Para transformar coordenadas de SAD-69 para WGS-84 basta subtrair os parâmetros acima das coordenadas X, Y e Z em SAD-69 (ENVIROMENTAL, 2007).

Porém, no ArcGIS, é necessário utilizar o Arc Toolbox Windows e acionar o toolbox "Data Management Tools" e o toolset "Projections and Transformations". Na série de ferramentas Project, a partir de então, adiciona-se o arquivo da hidrografia gerado com o sistema de referência WGS-84, seleciona-se um sistema de projeção cartográfica com o sistema de referência SAD-1969 e emprega-se o modelo denominado de "SAD\_1969\_To\_WGS\_1984\_14", que corresponde ao padrão de transformação oficial (Tabela 2).



**Tabela 2.** Modelos de transformação pela translação geocêntrica e suas respectivas taxas de conversão entre os sistemas de referência South American 1969 (SAD-1969) e World Geodetic System 1984 (WGS-84) (ENVIROMENTAL, 2007).

Modelo de transformação com três parâmetros (base do ArcGIS)	Tx	Ty	Tz
SAD_1969_To_WGS_1984_1	-57	1	-41
SAD_1969_To_WGS_1984_2	-62	-1	-37
SAD_1969_To_WGS_1984_3	-61	2	-48
SAD_1969_To_WGS_1984_4	-60	-2	-41
SAD_1969_To_WGS_1984_5	-75	-1	-44
SAD_1969_To_WGS_1984_6	-44	6	-36
SAD_1969_To_WGS_1984_7	-48	3	-44
SAD_1969_To_WGS_1984_8	-47	26	-42
SAD_1969_To_WGS_1984_9	-53	3	-47
SAD_1969_To_WGS_1984_10	-61	2	-33
SAD_1969_To_WGS_1984_11	-58	0	-44
SAD_1969_To_WGS_1984_12	-45	12	-33
SAD_1969_To_WGS_1984_13	-45	8	-33
SAD_1969_To_WGS_1984_14	-66,87	4,37	-38,52

Outro aspecto importante, a ser lembrado durante o planejamento do manejo florestal, é que este procedimento não dispensa o trabalho de campo referente ao microzoneamento dos pequenos canais de drenagem, visto que a precisão da imagem SRTM é de 3 arc – segundos ou 90 metros. Portanto, necessita de edição do arquivo da malha hidrográfica referente aos pequenos meandros que não são identificados pela imagem de radar.

Uma solução de fácil aplicabilidade para o refinamento da malha hidrográfica é utilizar um GPS de alta sensibilidade, especificamente, para registrar os locais onde as picadas do inventário cortam os canais de drenagem. O registro no GPS é importante para confeccionar um mapa florestal de boa precisão (entre 2 e 5 metros de erro para os eventos mapeados).

## Referências Bibliográficas

ENVIROMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE. **Environmental systems Research Institute**. Disponível em : <http://www.esri.com/>. Acesso em: 20 ago. 2007.

GORR, L.W.; KURLAND, K. S. **GIS Tutorial. Updated for ArcGIS 9.2. Workbook for ArcView 9**. Disponível em: <http://gis.esri.com/esripress/display/index.cfm?fuseaction=display&websiteID=116&moduleID=1>. Acesso em: 22 ago. 2007.

RABUS, B.; EINEDER, M.; ROTH, A.; BAMLER, R. The shuttle radar topography mission a new class of digital elevation models acquired by spaceborne radar. **ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing**, v. 57, p. 241-262, 2003.

RIBEIRO, C. A. A. S. Floresta de Precisão. In: MACHADO, C. C. (Ed.). **Colheita florestal**. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2002. p. 311-335.

RODRIGUEZ, E.; MORRIS, C. S.; BELZ, J. E.; CHAPIN, E. C.; MARTIN, J. M.; DAFFER, S. **An assessment of the SRTM topographic products: Pasadena, CA**: JPL, 2005. Disponível em: <http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/srtmBibliography.html>. Acesso em: 27 de ago. 2007.

SANTOS, P. R. A.; GABOARDI, C.; OLIVEIRA, L. C. de. Avaliação da precisão vertical dos modelos SRTM para a Amazônia. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 58, n. 1, p. 101-107, 2006.

SOUZA FILHO, C. R. de. O relevo das Américas como nunca antes visto. **Revista InfoGeo**, v. 30, p. 55-58, 2004.