

## **Aplicação do TerraHidro para delimitação automática de drenagem e limite das sub-bacias do rio Miranda**

Sergio Rosim<sup>1</sup>  
Suely Franco Siqueira Lima<sup>1</sup>  
Elisabete Caria Moraes<sup>1</sup>  
Alexandre Copertino Jardim<sup>1</sup>  
João Ricardo de Freitas Oliveira<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE  
Av. dos Astronautas, 1758 - Caixa Postal 515  
12201-970 - São José dos Campos, SP, Brasil  
{sergio, alexandre, joao}@dpi.inpe.br  
suelyfrancosiqueira@gmail.com  
bete@dsr.inpe.br

**Resumo:** O Pantanal é uma região particular pela sua biodiversidade e pelos seus recursos hídricos. O entendimento do comportamento dinâmico do escoamento superficial da água no Pantanal é fundamental para que se possa tomar ações sociais e ambientais. Este artigo apresenta o estudo da extração da drenagem do Rio Miranda situado no Pantanal Matogrossense, com o uso do sistema TerraHidro, em desenvolvimento na Divisão de Processamento de Imagens (DPI), do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). A drenagem foi extraída a partir dos dados topográficos do Shuttle Radar Topographic Mission (SRTM), com resolução de 90 metros e do Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) com resolução de 30 metros. As drenagens foram comparadas com a drenagem extraída pela Agência Nacional de Águas (ANA), a partir de um mapa cartográfico na escala de 1:1.000.000, e também com as drenagens visíveis nas imagens Landsat-TM. As comparações foram quantitativas e apresentaram diferenças entre as extrações e as imagens, que estão relacionadas a escala, qualidade dos dados do ASTER e SRTM e também a ausência de dados de relevo em determinados trechos do pantanal.

**Palavras-chaves:** extração de drenagem, sub-bacias hidrográficas, sistema TerraHidro.

**Abstract:** Pantanal is a unique region by its biodiversity and hydric resources. Understanding the dynamic runoff behavior of Pantanal water is fundamental to take social and ambiental actions. This work presents the drainage extraction study of Miranda river in the Pantanal Matogrossense, using TerraHidro system, in development at the Divisão de Processamento de Imagens (DPI), of Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). The drainage was extracted from the 90 meter resolution topographic data of Shuttle Radar Topographic Mission (SRTM), and from the 30 meter resolution topographic data of Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER). The drainage was compared with the extracted drainage from Agência Nacional de Águas (ANA), obtained from a 1:1.000.000 cartographic map, as well as with the visible drainage in Landsat-TM images. The comparisons were quantitative and presented differences related to scale, ASTER and SRTM data quality, and absence of relief data at some Pantanal regions.

**Key Words:** drainage extraction, hydrografic basins, system TerraHidro.

## 1. Introdução

O Pantanal é a maior área alagável contínua da Terra e localiza-se na Bacia do Alto Paraguai Abdon (2004). É a área de maior diversidade do mundo em espécies animais e vegetais reconhecidos como Patrimônio da Humanidade e Reserva da Biosfera pela Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura (UNESCO). No território brasileiro abrange uma área de 138.183 km<sup>2</sup> constituída por sedimentos quaternários aluviais em altitudes, quase sempre de 80 a 150 m. É uma planície de acumulação flúvio-lacustre, na qual o padrão, a duração e a profundidade da inundação variam dependendo da localização das chuvas, a forma da drenagem e a planície de inundação, Abdon (2004); Rodela (2006). Dada a acentuada fragilidade de seus ecossistemas marcados pelo regime sazonal de inundações, existe uma preocupação mundial com os processos de degradação do Pantanal, Rodela (2006).

O desenvolvimento e o aperfeiçoamento de técnicas de delimitação automática de bacias hidrográficas têm sido objeto de estudo em várias partes do mundo. Tais técnicas são implementadas em ambientes de Sistemas de Informações Geográficas (SIG) e promovem resultados relevantes para aplicação da Política Nacional de Recursos Hídricos, Sobrinho et al. (2010). Em geral, os aplicativos apresentam resultados promissores em áreas de relevo bem definido, entretanto área de baixo relevo como o Pantanal, configura-se um problema para os aplicativos em geral.

O ambiente computacional para hidrologia denominado Sistema para Modelagem Hidrológica Distribuída (TerraHidro) é um aplicativo geográfico em desenvolvimento na Divisão de Processamento de Imagens (DPI) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), que objetiva atender a demanda por ambientes computacionais que agilizem o mapeamento da drenagem e possibilitem ampliar os estudos hidrológicos através de simulações diversificadas de uma determinada região. Segundo Rosim et al. (2008), trata-se de uma nova abordagem para representar e manipular os fluxos locais superando a limitação imposta pelo acoplamento entre fluxo local e as estruturas de representação do terreno, utilizada como base para a representação unificada de fluxos locais obtidos a partir de diferentes modelos de representação do terreno. Este aplicativo será disponibilizado pelo instituto gratuitamente (open source) em breve.

Neste contexto, este estudo pretende aplicar o TerraHidro no Pantanal para avaliação dos seus resultados. Para isso, elegeu-se um trecho da bacia do rio Miranda, no qual foram utilizados os dados topográficos do SRTM (Shuttle Radar Topographic Mission) adquiridos em fevereiro de 2000 e dados do sensor multiespectral Advanced Spaceborne

Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) a bordo do satélite Terra.

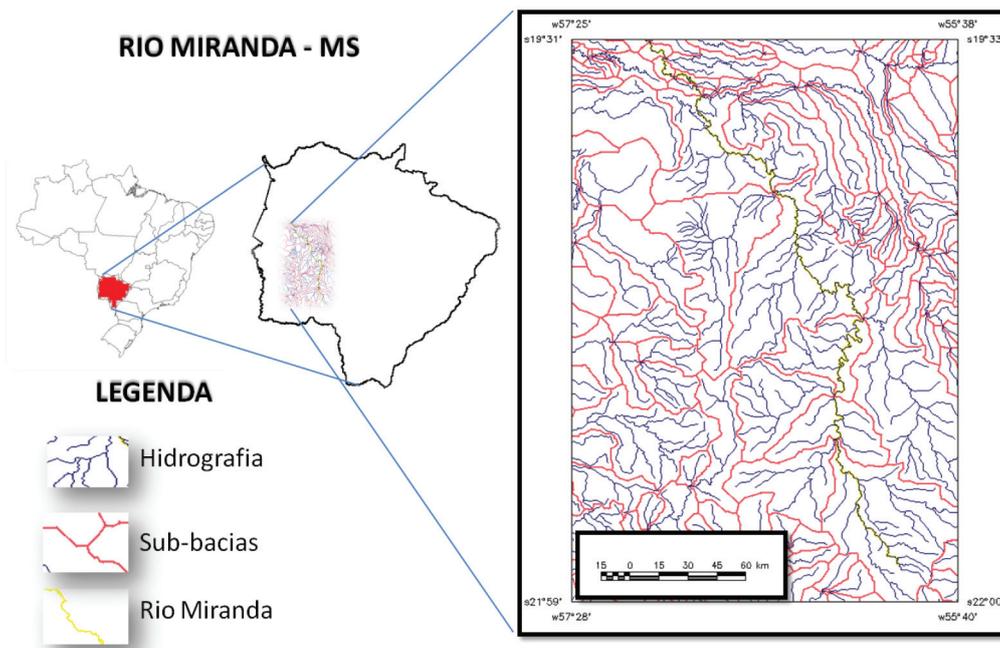
Através deste estudo foi possível detectar a necessidade de ajustes manuais da drenagem em regiões onde o terreno apresenta baixa declividade, corrigindo os resultados obtidos pela extração automática das características hidrológicas da região de estudo do Pantanal.

## 2. Objetivo

Aplicar o TerraHidro em uma área do Pantanal para identificar possíveis adaptações do algoritmo para a bacia do Alto Paraguai e assim, habilitá-lo para estudos e preservação dos recursos hídricos desta área.

## 3. Material e Métodos

A área de estudo abrange a região do rio Miranda e algumas sub-bacias dos afluentes mais próximos (**Figura 1**). O rio perfaz um curso de 815 km de extensão e é o principal rio da Bacia Hidrográfica do Rio Miranda, sub-bacia do alto rio Paraguai. A área estudada se localiza no estado de Mato Grosso do Sul entre as coordenadas  $22^{\circ}1'28''$  e  $19^{\circ}21'14''$  de latitude Sul e  $57^{\circ}30'14''$  e  $55^{\circ}32'38''$  de longitude Oeste (**Figura 1**). Ocupando uma área quantificada em 58.471 km<sup>2</sup>.



**Figura 1.** Área de estudo abrangendo a extensão do Rio Miranda e algumas sub-bacias e drenagem obtidas da ANA.

Os dados topográficos utilizados como entrada no algoritmo foram adquiridos do SRTM e do sensor ASTER. Os dados do SRTM, obtidos junto ao United States Geological Survey (USGS), são referentes à banda C do equipamento InSAR. Os dados SRTM, que apresentam resolução espacial de 90 metros na horizontal e de 1m na vertical, JPL (2012), apresentam originalmente formato HGT, os quais foram convertidos para o formato TIF. O sensor ASTER captura dados de alta resolução espacial em 14 bandas e apresenta capacidade de visualização estereoscópica para a criação do Modelo Global Digital Elevation, cuja ultima versão (GDEM V2), foi lançada em 17 de outubro de 2011.

Seu algoritmo é de produção refinada e oferece resolução espacial de 30 metros e vertical de 1m, JPL (2012). Os dados GDEM V2 foram extraídos em formato TIF no portal da NASA denominada Jet Propulsion Laboratory. Com o auxílio do programa SPRING 5.1.8, foram gerados mosaicos destes dados para a área do rio Miranda e exportados no formato TIF para posterior aplicação no TerraHidro. Em seguida, extraíram-se a drenagem e delimitação automática das sub-bacias com um limiar de 1000 que define a quantidade de pontos da grade acumulada que farão parte da drenagem. Quanto maior o limiar menos densa é a drenagem.

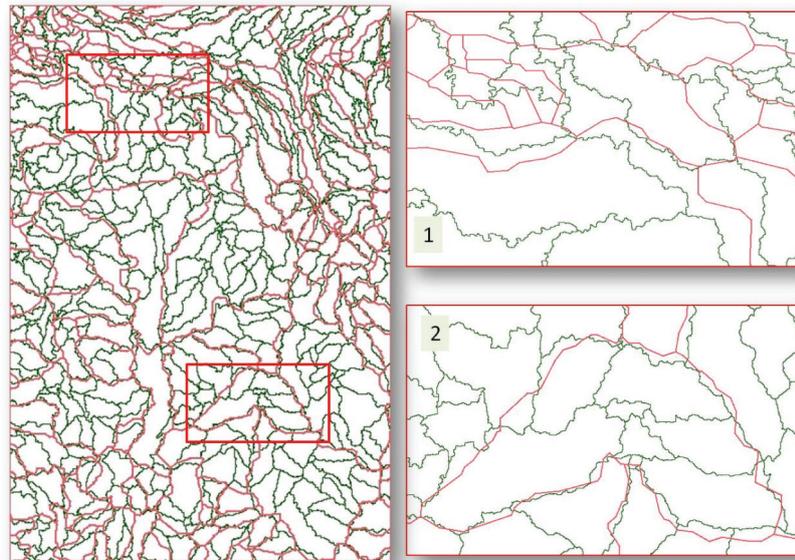
Para verificação das representações obtidas pelo TerraHidro foram usadas imagens do satélite LANDSAT disponíveis no Catalogo de Imagens da Divisão de Geração de Imagens (DGI) disponibilizadas pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e as representações da rede hidrográfica disponibilizadas pela Agência Nacional das Águas (ANA). Em seguida, usando o TerraHidro, foi feita a extração de drenagem. Os resultados foram vetorizados, exportados no formato SPR e importados novamente no banco de dados criado no SPRING.

Para avaliação da qualidade dos dados gerados no TerraHidro, estes resultados foram sobrepostos aos dados da ANA e às imagens do Landsat. Os dados da ANA são a rede de drenagem e as otobacias, que são áreas de contribuição dos trechos da rede hidrográfica codificadas segundo o método de Otto Pfafstetter. Estes dados estão disponíveis na sistemática milionésimo, numa escala compatível a 1:1.000.000, no sistema de referência SAD69, com estrutura vetorial e no formato shapefiles. Para sua inserção no banco de dados do SPRING, estes dados convertidos para POLYCONIC/Datum-SIRGAS2000. As imagens do satélite Landsat são do sensor TM e TM+ de 2001 e 2011. Elas foram adquiridas no Earth Science Data Interface (ESDI) da Global Land Cover Facility – NASA, as quais se encontram já georreferenciadas. A imagem encontrada com data mais próxima a data de obtenção dos dados do SRTM foi de 2001. Após a sobreposição dos dados foi realizado análise sobre o ajuste do algoritmo logaritmo do TerraHidro para a região do Pantanal.

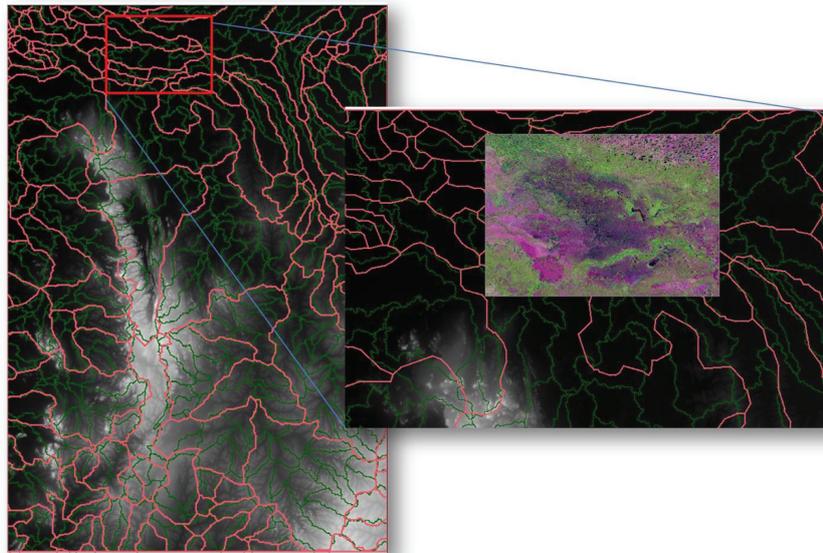
#### **4. Resultados e Discussão**

A primeira análise foi realizada com dados do SRTM. Ao comparar as otobacias da ANA com as sub-bacias extraídas pelo TerraHidro observa-se que elas coincidem nas áreas de relevo mais alto, entretanto o mesmo não é observado nas áreas de relevo mais baixo (**Figura 2**). No quadro 1 as altitudes são mais baixas e no quadro 2 são mais altas.

Juntamente com esta constatação, observou-se que nas áreas mais baixas e planas, justamente na qual as sub-bacias extraídas pelo TerraHidro não coincidiram com as sub-bacias da ANA, as imagens produzidas pelo SRTM estavam muito escuras, cor que em função da paleta da escala de cinza utilizada, referem-se a regiões de altitudes mais baixas e planas. Entretanto, considerando também a data de aquisição dos dados do SRTM, fevereiro de 2000, poderia se tratar de área alagada, o que poderia ser a causa da confusão na extração das sub-bacias pelo TerraHidro. Desta forma, optou-se por averiguar nas imagens do Landsat as condições da superfície da região de estudo. Foram selecionadas imagens de Junho de 2001, época de seca e de fevereiro de 2011, época de cheia por serem as datas disponíveis no catalogo de imagem do INPE. Na comparação constatou-se que se tratava de uma área comumente alagada no período tratado, conforme mostrado na **Figura 3**.



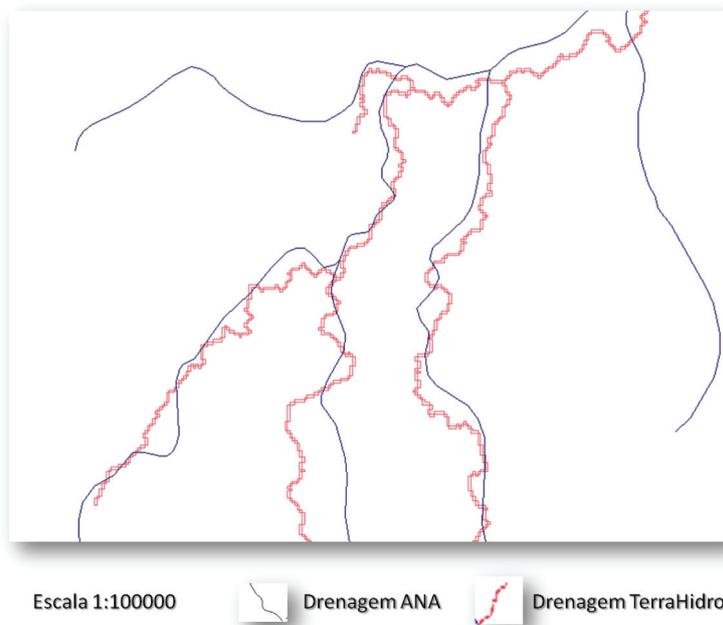
**Figura 2.** Comparação entre sub-bacias obtidas da ANA (linhas verdes) e sub-bacias extraídas pelo TerraHidro (linhas vermelhas) num trecho da bacia do Rio Miranda.



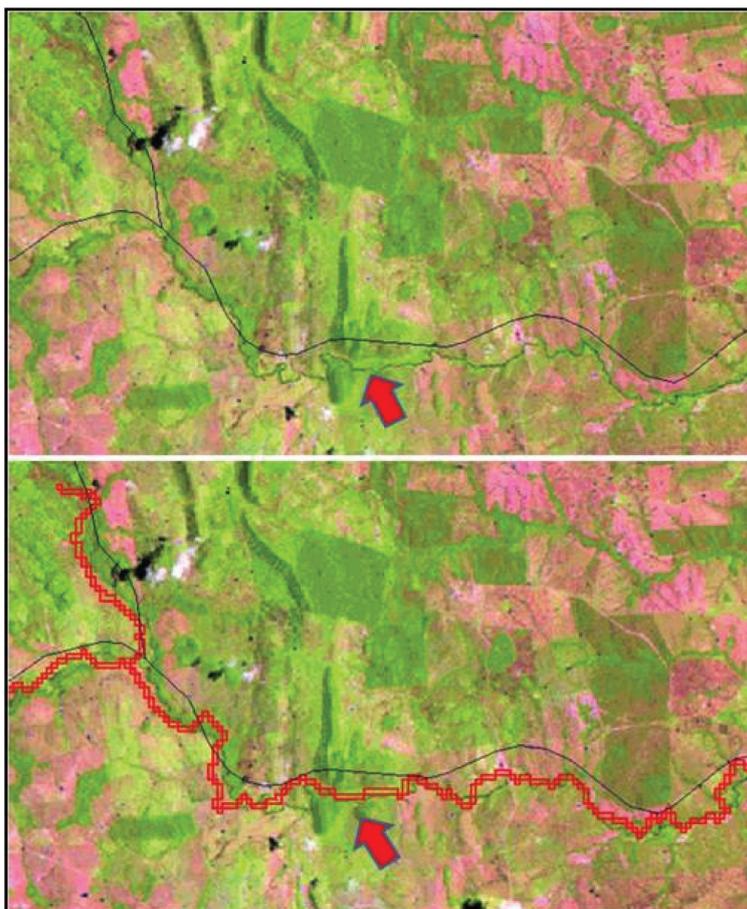
**Figura 3.** Comparação entre imagem do SRTM com imagem do Landsat para detecção de área alagada num trecho da bacia do Rio Miranda.

Nas áreas de relevo mais elevado, quando comparado a rede de drenagem extraída pelo TerraHidro com a da ANA, observa-se que existe coerência, embora ocorra um pequeno deslocamento como mostrado na **Figura 4**. Além do relevo a diferença de escala determina diferença no traçado das duas drenagens. No TerraHidro a drenagem foi extraída na escala de 1:200.000 e a da ANA na escala de 1:1.000.000.

Entretanto quando sobreposta estas drenagens na imagem Landsat de 2011 observa-se que a drenagem extraída do TerraHidro é mais coerente com a realidade em áreas de relevo mais elevado e com pouca mata ciliar (**Figura 5**). Dada a escala de extração de ambas as drenagens o TerraHidro mostra-se mais eficiente devido a escala maior.

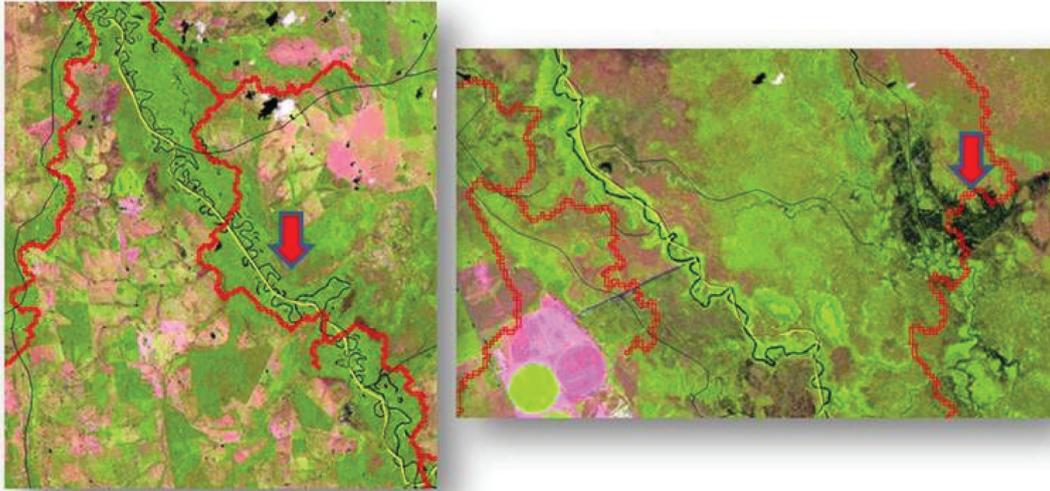


**Figura 4.** Comparação da drenagem extraída pelo TerraHidro (em vermelho) na 1:200000 e a drenagem disponibilizada pela ANA (em azul) na escala de 1:1000000 em um trecho da bacia do Rio Miranda.



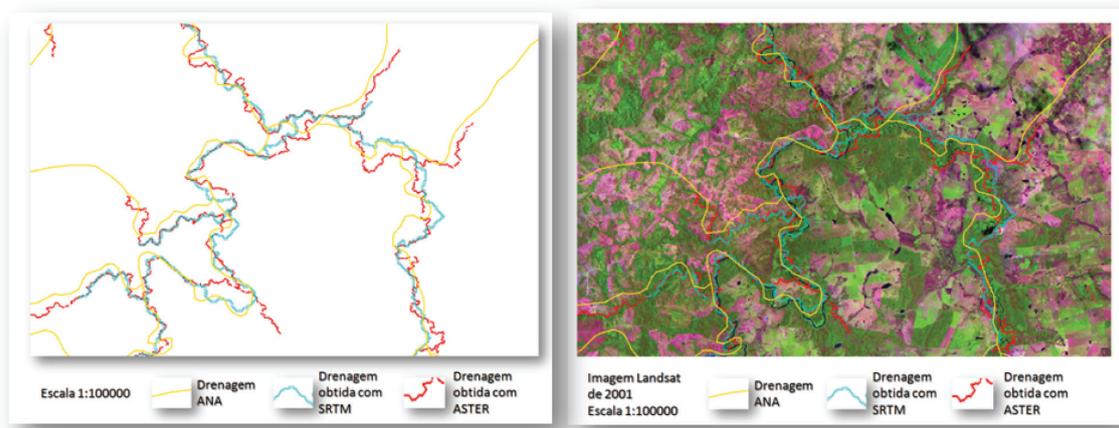
**Figura 5.** Comparação da drenagem extraída pelo TerraHidro (em vermelho) e a drenagem disponibilizada pela ANA (em azul) sobre imagem Landsat de 2011 de um trecho da bacia do Rio Miranda.

Nos trechos em que a mata ciliar é mais densa e nas áreas de relevo mais baixo que a margem do rio o TerraHidro se confunde (Figura6). Cabe ressaltar que os dados do SRTM são dados de superfície e não dados de relevo. Além disto, os dados do SRTM não representam a superfície adequadamente em grandes rios e áreas alagadas ocasionando também alterações na representação da drenagem extraída pelo TerraHidro.



**Figura 6.** Representação da drenagem extraída pelo TerraHidro (em vermelho) sobre a imagem Landsat de 2011, contornando a mata ciliar e passando por área de relevo mais baixo que a do leito do rio de um trecho da bacia do Rio Miranda.

No intuito de averiguar se o desempenho deste aplicativo pode ser melhorado, implementou-se no algoritmo a representação dos dados de terreno com melhor resolução espacial e adquiridas em período seco. Para esta análise utilizou-se os dados provenientes do sensor ASTER, entretanto os resultados foram similares aos obtidos com uso do SRTM conforme mostrado na **Figura 7**.



**Figura 7.** Representações das drenagens extraídas pelo TerraHidro a partir do SRTM (em azul), do ASTER (em vermelho) e pela ANA (em amarelo), sobrepostas a imagem do satélite Landsat de 2011.

## 5. Conclusões e Sugestões

A extração da drenagem realizada pelo sistema TerraHidro mostrou que em áreas planas o resultado precisa ser corrigido manualmente. Dessa forma, a extração automática de drenagem deve ser vista como uma ferramenta para auxiliar o pesquisador, diminuindo o tempo que este deverá gastar na extração da drenagem, principalmente em áreas de grande extensão territorial e abundância em drenagem como o Pantanal. Esta ferramenta contribui com a agilidade nos estudos ambientais desta área.

Quanto aos dados empregados, SRTM e ASTER, esperava-se resultado melhor do ASTER por terem sido adquiridos em época de seca e com maior resolução espacial, porém isso não foi observado.

Os motivos prováveis das diferenças entre os traçados das drenagens extraídas pelo TerraHidro e a realidade são: o fato do leito do rio se encontrar em área de mais alta altitude em relação à sua vizinhança, e ao fato da drenagem percorrer a borda da mata ciliar do rio. Este último motivo ocorre porque os modelos utilizados são de superfície e não de relevo, tanto para o dado do SRTM quanto para o dado do Aster. O modelo de superfície mostra a altitude da cobertura da superfície terrestre e não do terreno.

As diferenças de resolução espacial dos dados de drenagem da ANA na escala de 1:1.000.000, drenagem extraídas do Aster com 30 metros de resolução e drenagem extraída do SRTM com 90 metros e imagem Landsat – TM com 30 metros, justificam as diferenças entre as varias drenagens. Quando o trabalho necessitar de pequenas escalas, 1:1.000.000 ou menores, essas diferenças tendem a desaparecer, permitindo que se empregue diretamente a drenagem extraída pelo TerraHidro.

Pode-se concluir que a extração de drenagem na região do Pantanal utilizando o sistema TerraHidro constitui-se em um procedimento qualificado para auxiliar o pesquisador, diminuindo o tempo gasto na extração manual da drenagem.

## 6. Referências

- Abdon, M. M. Os impactos ambientais no meio físico – Erosão e assoreamento na bacia hidrográfica do rio Taquari, MS, em decorrência da pecuária. 2004. **Tese** (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental) - Escola de Engenharia da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2004.
- JPL. Jet **Propulsion Laboratory da NASA** (National Aeronautics and Space Administration) Disponível em: <http://asterweb.jpl.nasa.gov/mission.asp>. Acesso: junho de 2012.
- Rodela, L. G. Unidades de vegetação e pastagens nativas do Pantanal da Nhecolândia, Mato Grosso do Sul. 2006. **Tese** (Doutorado em Geografia Física) – Departamento de Geografia da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.
- Rosim, S.; MONTEIRO, A. M. V.; RENNÓ, C. D.; OLIVEIRA, J. R. F. Uma ferramenta open source que unifica representações de fluxo local para apoio à Gestão de recursos hídricos no Brasil. **Informática Pública** ano 10 (1): 29-49, 2008.
- Sobrinho, T. A.; OLIVEIRA, P. T. S.; RODRIGUES, D. B. B.; AYRES, F. M. Delimitação automática de bacias hidrográficas utilizando dados SRTM. **Eng. Agríc., Jaboticabal**, v.30, n.1, jan./fev. 2010, p.