

Uso de geotecnologias na redefinição dos limites das sub-bacias hidrográficas do Estado de Mato Grosso do Sul

Júlio César Dalla Mora Esquerdo ¹
João dos Santos Vila da Silva ¹

¹ Embrapa Informática Agropecuária
Av. André Tosello, 209 - Campus da Unicamp
Caixa Postal 6041 - 13083-886 – Campinas, SP
{julio, jvilla}@cnptia.embrapa.br

Resumo: As bacias hidrográficas constituem-se como unidades territoriais para a aplicação da Política Nacional de Recursos Hídricos, sendo consideradas em muitos estados como unidades de gerenciamento e planejamento. No Mato Grosso do Sul, a delimitação das sub-bacias foi realizada em 1990 a partir da interpretação de mapas na escala 1:1000.000, não havendo detalhamento suficiente para o planejamento regional. Com o surgimento de bases altimétricas globais com maior detalhamento espacial, como os dados SRTM, métodos automáticos para delineamento de bacias hidrográficas baseados em modelos digitais de elevação vêm sendo propostos, tornando essa atividade mais rápida e menos custosa. Neste sentido, o objetivo deste estudo foi aplicar uma metodologia automática baseada em técnicas computacionais para redefinir e detalhar os limites geográficos das sub-bacias hidrográficas do estado do Mato Grosso do Sul. Os resultados mostraram que o algoritmo utilizado facilitou o processo de identificação das sub-bacias, sendo que as melhores delimitações ocorreram em regiões com maior variação do relevo. Em regiões de baixa declividade, como a planície do Pantanal, os resultados foram inferiores. A metodologia adotada representa uma alternativa viável e de baixo custo no apoio às atividades de delineamento de bacias hidrográficas. Os mapas gerados constituem-se como um avanço na qualidade das informações que o estado do Mato Grosso do Sul tem a sua disposição, no que tange os limites geográficos de suas sub-bacias hidrográficas.

Palavras-chaves: bacia hidrográfica, modelo digital de elevação, Topodata, SRTM.

Abstract: *Watersheds* are defined as territorial units for the implementation of the National Water Resources Policy, and thus are considered in many states as units of management and planning. In the State of Mato Grosso do Sul, Brazil, the delimitation of *Watersheds* was held in 1990 through the interpretation of maps at the 1:1000.000 scale, which cannot provide enough detail for regional planning. With the coming of global altimetry data with higher spatial resolution, such as SRTM data, automatic methods for *Watershed* delineation based on digital elevation models have been proposed, making this activity faster and less expensive. In this regard, the objective of this study was to apply an automatic methodology based on computational techniques to detail the geographical boundaries of the sub-basins in the state of Mato Grosso do Sul. Results showed that the computational techniques sped up the process of *Watershed* delineation. Best results were achieved in regions with higher variation of terrain elevation and worst results were found in plain regions, such as the Pantanal. This methodology represents a viable and cost-effective alternative in order to support *Watershed* mapping activities. The maps generated also represent an improvement in the quality of information available in the state of Mato Grosso do Sul regarding the geographical boundaries of *Watersheds*.

Key Words: *Watershed*, digital elevation model, Topodata, SRTM.

1. Introdução

Entende-se por bacia hidrográfica toda a área de captação natural da água da chuva que escoa superficialmente para um corpo d'água ou seu contribuinte. As bacias hidrográficas constituem-se como um sistema biofísico e sócio-econômico integrado e independente, cujos limites são estabelecidos topograficamente pela linha que une os pontos de maior altitude e que definem os divisores de água entre uma bacia e suas adjacências (Rocha et al., 2000).

A Lei Federal nº9.433/97 definiu as bacias hidrográficas como unidades territoriais para aplicação da Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH). De acordo com Rocha et al. (2000), o uso da bacia hidrográfica como unidade de planejamento e gerenciamento dos recursos hídricos está ligado ao fato dos ecossistemas aquáticos serem essencialmente abertos e, com os ecossistemas terrestres adjacentes, sofrerem alterações decorrentes do uso da terra e das atividades antropogênicas neles desenvolvidas.

Recentemente, o estado do Mato Grosso do Sul elaborou seu Plano Estadual de Recursos Hídricos – PERH/MS (SEMA/IMASUL, 2010), definindo 15 Unidades de Planejamento e Gerenciamento – UPG, que coincidem com a delimitação das 15 sub-bacias que o estado vem utilizando desde 1990 para seu planejamento. No entanto, estes limites foram baseados em mapas na escala 1:1.000.000, que apresentam detalhamento insuficiente para o planejamento regional. Dessa forma, um dos objetivos do PERH/MS é o ajuste dos limites das UPGs, de forma a estabelecer suas delimitações geográficas e a definição da rede hidrográfica que as integra. Além de fornecer informações para o gerenciamento integrado de recursos hídricos do estado, esta base constitui-se uma fonte de informações para o Zoneamento Ecológico Econômico, para o monitoramento e planejamento do uso da terra e para a avaliação dos empreendimentos a serem licenciados no estado.

A redefinição dos limites das 15 sub-bacias do estado do Mato Grosso do Sul é uma das atividades que vêm sendo executadas no âmbito do Projeto “Sistema de Informação Georreferenciada como apoio à tomada de decisão – estudo de caso: Estado de Mato Grosso do Sul (Projeto GeoMS)”, uma parceira entre o Instituto do Meio Ambiente do Estado do Mato Grosso do Sul – Imasul e a Embrapa Informática Agropecuária, unidade da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. O principal produto deste projeto é o

Sistema Interativo de Suporte ao Licenciamento Ambiental – SISLA (SISLA, 2012; Silva et al., 2011), uma ferramenta Web que disponibiliza informações sobre os recursos naturais e que garante maior agilidade na análise dos processos de licenciamento ambiental do estado.

A delimitação atual das sub-bacias do estado foi estabelecida a partir de métodos analógicos, baseados na interpretação de mapas e cartas topográficas. No entanto, metodologias vêm sendo propostas para a delimitação automática de bacias hidrográficas a partir de algoritmos aplicados a modelos digitais de elevação (MDE) (Jenson e Domingue, 1988; Martz e Garbrecht, 1992; Liang e Mackay, 1999; Rennó et al., 2008), que são superfícies contínuas que descrevem a variação altimétrica de um terreno. Esses modelos envolvem a definição da estrutura de drenagem interna, descrita pela direção do fluxo de célula a célula do MDE, os segmentos da rede de drenagem e as sub-bacias relacionadas (Getirana et al., 2009).

Com o advento dos dados SRTM – *Shuttle Radar Topography Mission* (JPL/NASA, 2008), uma nova base global altimétrica tornou-se disponível numa resolução espacial de 90m, promovendo o incentivo ao uso destas técnicas automáticas. A disponibilização de modelos de elevação com melhor resolução espacial derivados dos dados SRTM e outros modelos oriundos de outras fontes, como o sensor ASTER – *Advanced Spaceborn Thermal Emission and Reflection Radiometer*, tem contribuído para o desenvolvimento e uso de técnicas para delimitação automática de bacias hidrográficas.

2. Objetivo

Utilizar um modelo digital de elevação e técnicas de geoprocessamento para a redefinição e detalhamento dos limites geográficos das sub-bacias hidrográficas do Mato Grosso do Sul.

3. Material e Métodos

A **Figura 1** ilustra o mapa altimétrico do estado do Mato Grosso do Sul e a delimitação oficial das suas 15 sub-bacias hidrográficas, ou Unidades de Planejamento e Gestão.

As sub-bacias estão inseridas nas bacias hidrográficas dos rios Paraná (porção leste do estado) e Paraguai (na porção oeste do estado). O relevo é relativamente plano, com predominância de altitudes moderadas, compreendendo o complexo do Pantanal no extremo oeste, as planícies na parte noroeste e os planaltos com escarpas na serra da Bodoquena, no centro do estado.

O modelo de altimetria utilizado na delimitação das bacias hidrográficas foi obtido do Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil, um produto derivado do projeto Topodata, conduzido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE com o apoio da Embrapa Informática Agropecuária (Topodata, 2010). O projeto Topodata oferece o modelo digital de elevação e suas derivações locais básicas para todo o território brasileiro, a partir do reprocessamento dos dados SRTM, refinados da resolução espacial original de três arco-segundos (90m) para um arco-segundo (30m), por meio de técnicas de krigagem (Valeriano, 2008).

O cálculo para a delimitação dos limites das sub-bacias hidrográficas foi realizado por meio do módulo *Watershed*, presente no programa computacional Idrisi Taiga, cujas etapas principais são ilustradas no fluxograma da **Figura 2**.

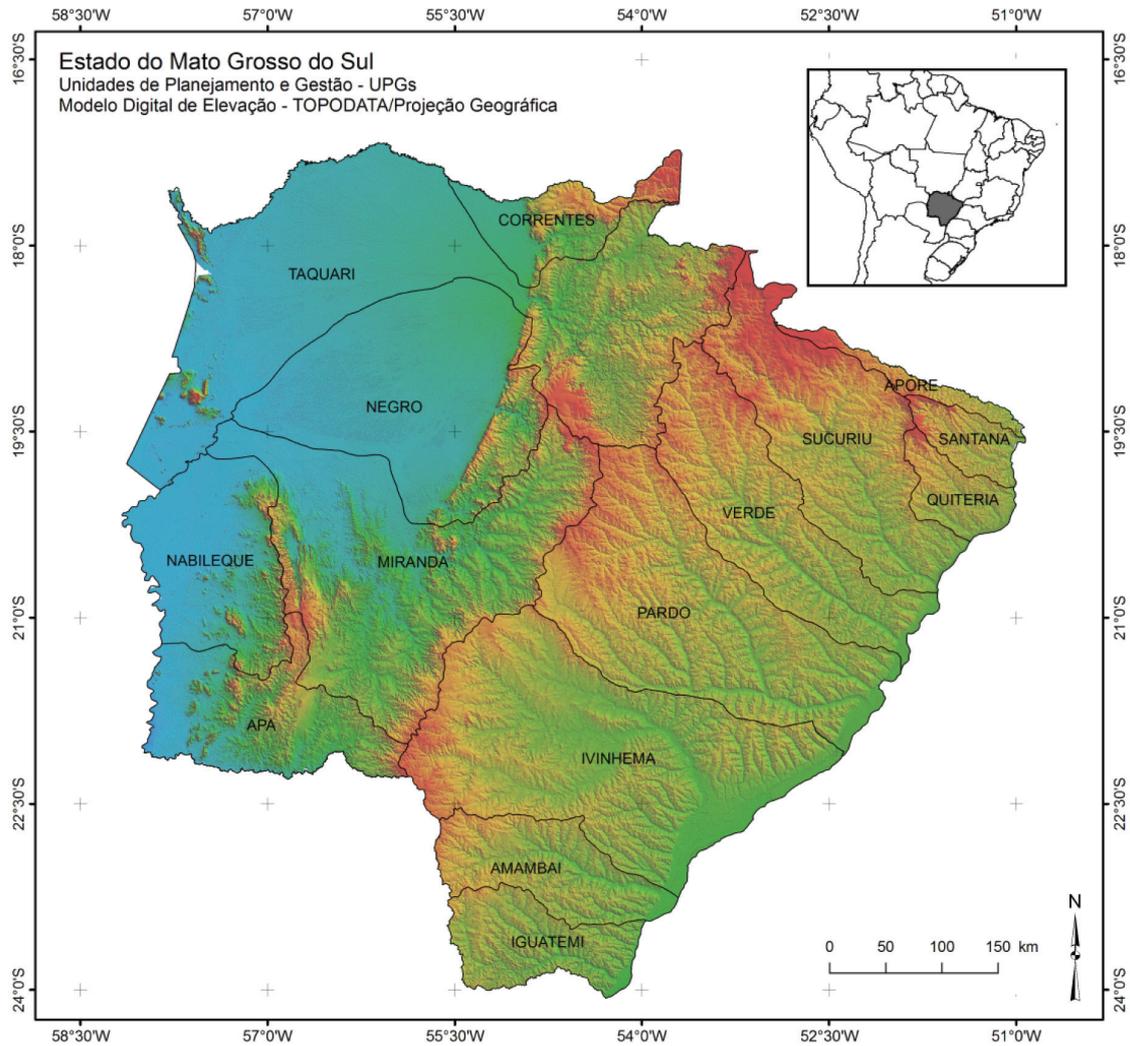


Figura 1. Mapa altimétrico do estado do Mato Grosso do Sul e suas 15 sub-bacias (UPGs).

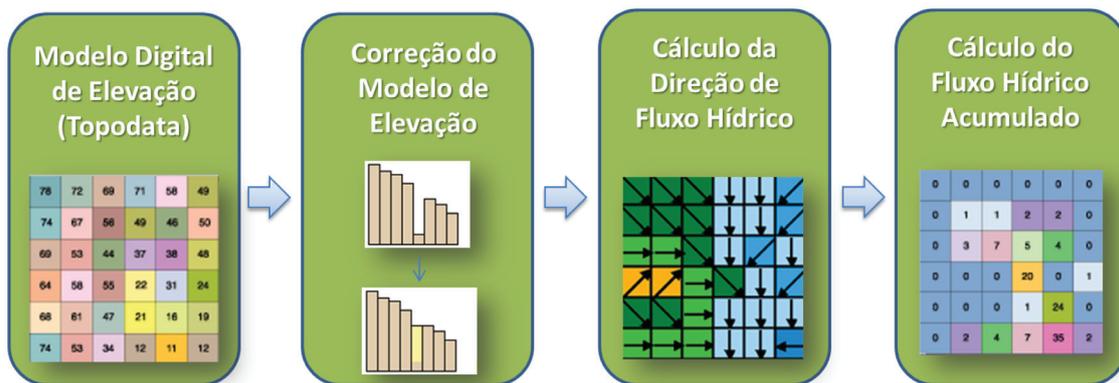


Figura 2. Fluxograma da metodologia para delimitação de bacias hidrográficas a partir de modelos digitais de elevação (Adaptado de ESRI, 2008).

O módulo *Watershed* apresenta um algoritmo para delimitação automática de bacias baseado no método proposto por Jenson e Domingue (1988), onde um fluxo hídrico é simulado sobre a superfície topográfica. Este conceito aplica o método D8 (*Deterministic Eight-neighbor Method*) para determinar a direção do fluxo de cada célula, onde a elevação

local é comparada às elevações de sua vizinhança.

A primeira etapa foi a correção do MDE para o preenchimento de depressões ou células rodeadas por elevações de cotas superiores, denominadas *sinks*, que representam inconsistências do modelo topográfico e que causam problemas críticos em aplicações hidrológicas por interromperem o fluxo contínuo em toda a superfície do MDE.

Em seguida foi realizado o cálculo da direção do fluxo hídrico, que define as relações hidrológicas no interior das bacias hidrográficas (Rennó et al., 2008). A direção do fluxo entre pixels vizinhos é determinada de acordo com as declividades mais acentuadas numa janela de 3 x 3 células, de forma a se identificar a direção de maior declividade de um pixel em relação a seus 8 pixels vizinhos. O resultado desse processo é uma imagem onde o valor de cada pixel representa a direção do escoamento da água.

A partir da grade de direção de fluxos, uma grade de acúmulo de fluxos foi calculada, onde cada pixel recebeu um valor correspondente ao número de pixels que contribuíram para que a água chegasse até ele, o que foi feito a partir da soma da área das células na direção do fluxo (Mendes e Cirilo, 2001). O fluxo acumulado é um parâmetro que indica o grau de confluência do escoamento e, em outras palavras, representa a rede hidrográfica existente no MDE.

As sub-bacias hidrográficas foram então extraídas automaticamente a partir da grade de fluxo hídrico acumulado. O módulo *Watershed* determina as áreas de captação hídrica a partir de um valor limite, o qual define o número mínimo de células pertencentes a uma dada sub-bacia. Dessa forma, as sub-bacias são identificadas se o número de células em seu interior for igual ou superior ao valor limite definido pelo usuário. Para tornar a delimitação mais detalhada, utilizou-se uma área mínima de aproximadamente 100km², para posterior interpretação visual dos conjuntos de micro-bacias extraídas.

Devido a limitações do programa utilizado, o processo de delimitação automática das sub-bacias foi conduzido em recortes espaciais regionalizados, uma vez o modelo digital de elevação contendo toda a extensão do estado apresentou um volume muito grande de dados, não suportado pelo software. Após a execução do módulo *Watershed*, os resultados matriciais foram vetorizados e carregados no programa ArcMap 9.3, onde foi conduzida a interpretação final dos resultados. A **Figura 3** ilustra, como exemplo, as micro-bacias geradas na bacia do Rio Iguatemi, no extremo sul do estado. Nessa etapa, as micro-bacias derivadas do processo automático foram unidas para dar origem às sub-bacias do estado, numa atividade de interpretação visual.

Como dados auxiliares para a interpretação dos resultados foram utilizadas imagens de média resolução espacial CCD/CBERS-2, fornecidas pelo INPE e georreferenciadas no âmbito do projeto GeoMS, além da malha digital hidrográfica do estado do Mato Grosso do Sul na escala 1:350.000 (ANA, 2008) e 1:100.000 (Silva et al., 2011).

Foi conduzida, também, uma interpretação dos resultados para a definição de novas sub-bacias hidrográficas inseridas dentro das UPGs, porém com derivação direta nos rios Paraná ou Paraguai e visíveis na escala 1:100.000.

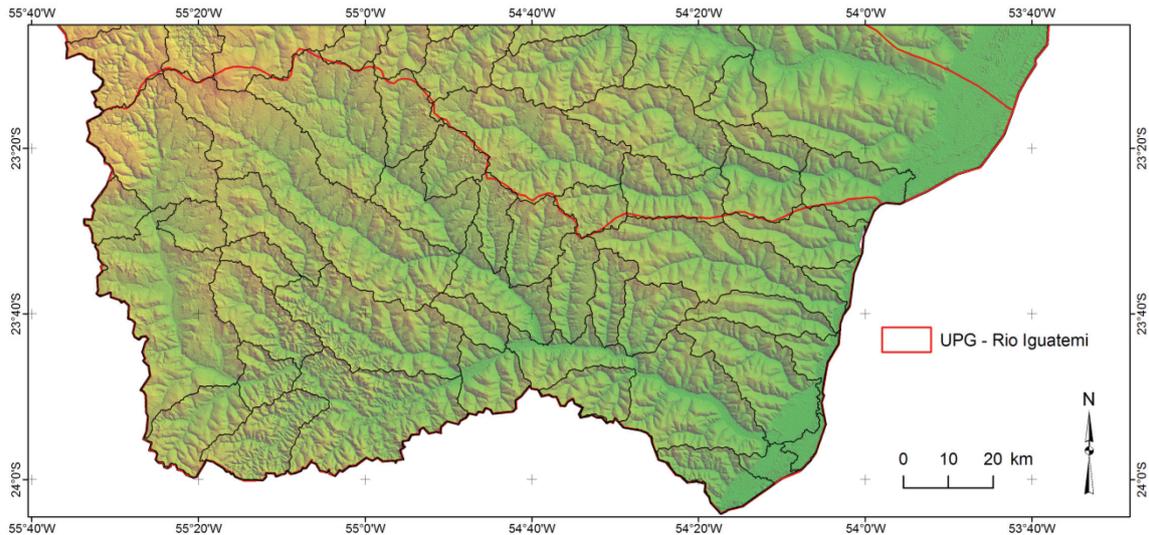


Figura 3. Micro-bacias extraídas automaticamente na sub-bacia do Rio Iguatemi, no extremo sul do estado.

4. Resultados e Discussão

A **Figura 4** ilustra o mapa da nova delimitação das 15 UPGs do estado do Mato Grosso do Sul (em linhas vermelhas) sobreposta à antiga delimitação (em linhas pretas). São representadas também novas sub-bacias identificadas, que mesmo inseridas nas UPGs do estado, contribuem diretamente com os rios Paraguai e Paraná.

Detalhes dos resultados podem ser observados nas regiões ilustradas pela **Figura 5**, que representam áreas próximas aos divisores de água, onde é possível comparar, numa escala mais apropriada, os limites atuais das sub-bacias e sua nova delimitação, sendo sobrepostas também as malhas digitais da hidrografia na escala 1:100.000. Observa-se que os novos limites apresentaram-se em uma escala mais detalhada e mais coerente com a altimetria do estado.

Muitas discrepâncias que ocorriam na delimitação antiga por conta da escala do mapeamento, onde os limites das sub-bacias cruzavam as linhas de drenagem, foram corrigidas. A tendência do novo delineamento foi seguir com maior rigor os divisores de água, representando de forma mais fiel a delimitação real dos limites das bacias. Obviamente, o nível de detalhamento alcançado ficou limitado à resolução espacial de 30m do modelo digital de elevação utilizado no processo automático.

Em geral, os melhores resultados foram alcançados nas regiões com maior variação do relevo, onde o fluxo direcional pôde ser mais facilmente definido, permitindo cálculos mais precisos das áreas de contribuição. No entanto, nas regiões planas, como no Pantanal, os resultados foram inferiores, já que nessas áreas a baixa ou nula variação altimétrica impossibilitou a detecção eficiente da direção do fluxo de água por meio deste tipo de algoritmo automático e, por consequência, as áreas de acúmulo hídrico não puderam ser definidas. Os algoritmos convencionais de processamento de MDEs, como o D8, apresentam falhas na definição da direção do fluxo hídrico em superfícies planas. Tais algoritmos se baseiam em comparações entre a elevação de uma célula do MDE e as elevações de suas oito células vizinhas. Porém, se estas têm as mesmas elevações, resultados ambíguos acabam sendo gerados (Getirana et al., 2009).

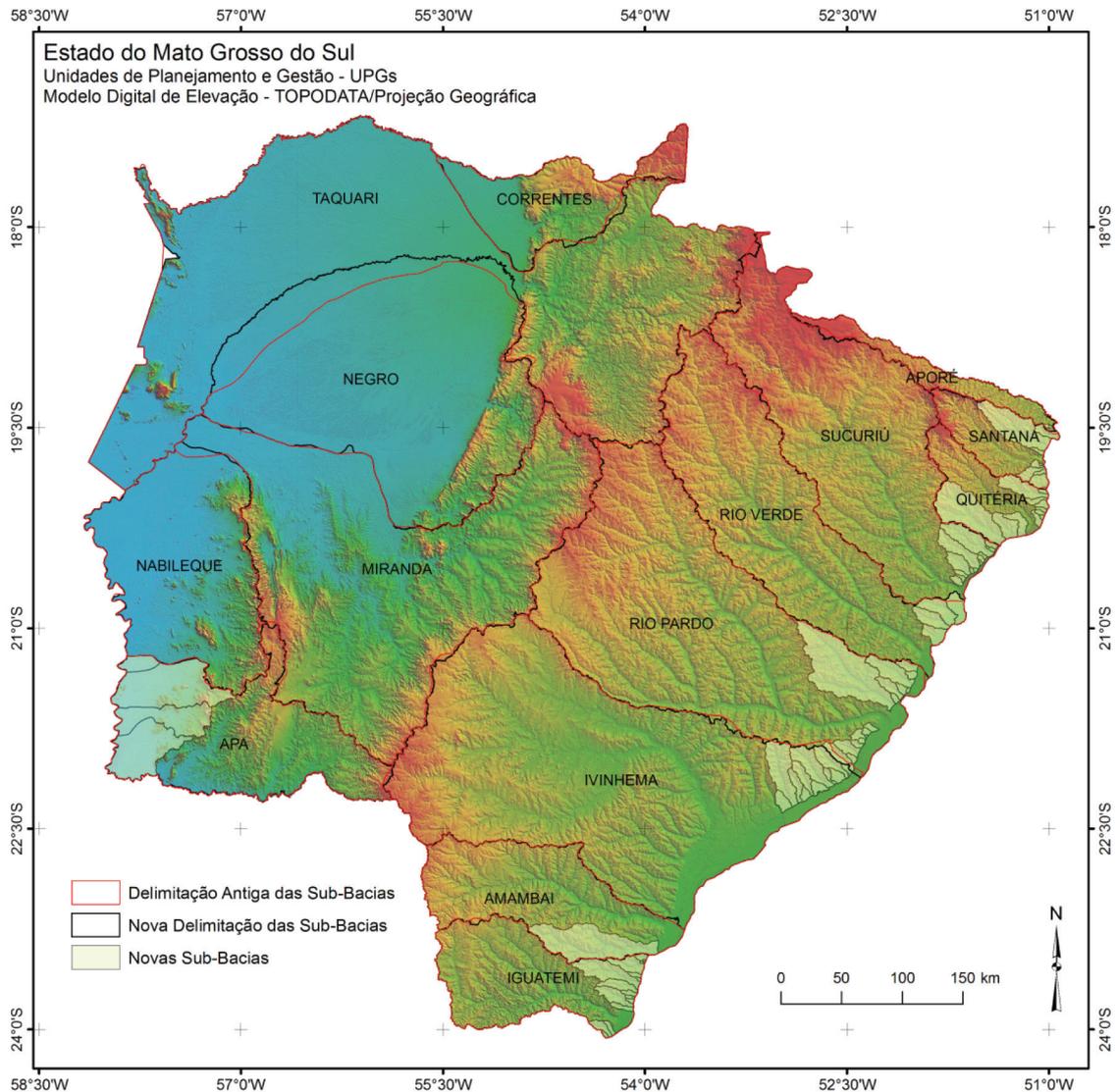


Figura 4. Mapa com a nova delimitação das 15 UPGs do estado do Mato Grosso do Sul e os limites das novas sub-bacias identificadas.

Nestes casos, conforme o último exemplo da **Figura 5**, tomou-se como referência o delineamento antigo das UPGs, que considerava como divisor o próprio leito do rio, sendo este redefinido com a ajuda das imagens de média resolução espacial CCD/CBERS-2B. Nestas regiões é fundamental um trabalho de campo para a correta interpretação e identificação dos limites hidrográficos, considerando que a dinâmica do regime anual das cheias da planície promove constantes alterações na hidrografia local. De fato, a delimitação automática de bacias em áreas planas tem se mostrado uma atividade de complexa execução, principalmente pela dificuldade de se gerar malhas de drenagem realísticas a partir dos modelos digitais de elevação convencionais, conforme discutido por Getirana et al. (2009).

Em relação às novas sub-bacias, foram identificadas 91 unidades visíveis na escala 1:100.000, sendo a maior parte delas em UPGs da bacia do Rio Paraná. A **Figura 6** ilustra, numa escala mais detalhada, as novas sub-bacias identificadas na UPG do Rio Iguatemi. Neste processo de identificação de novas sub-bacias foi fundamental a utilização de dados auxiliares, como as imagens CBERS-2B e a malha digital hidrográfica na escala 1:100.000, de modo a possibilitar um melhor entendimento do terreno e da lógica hídrica.

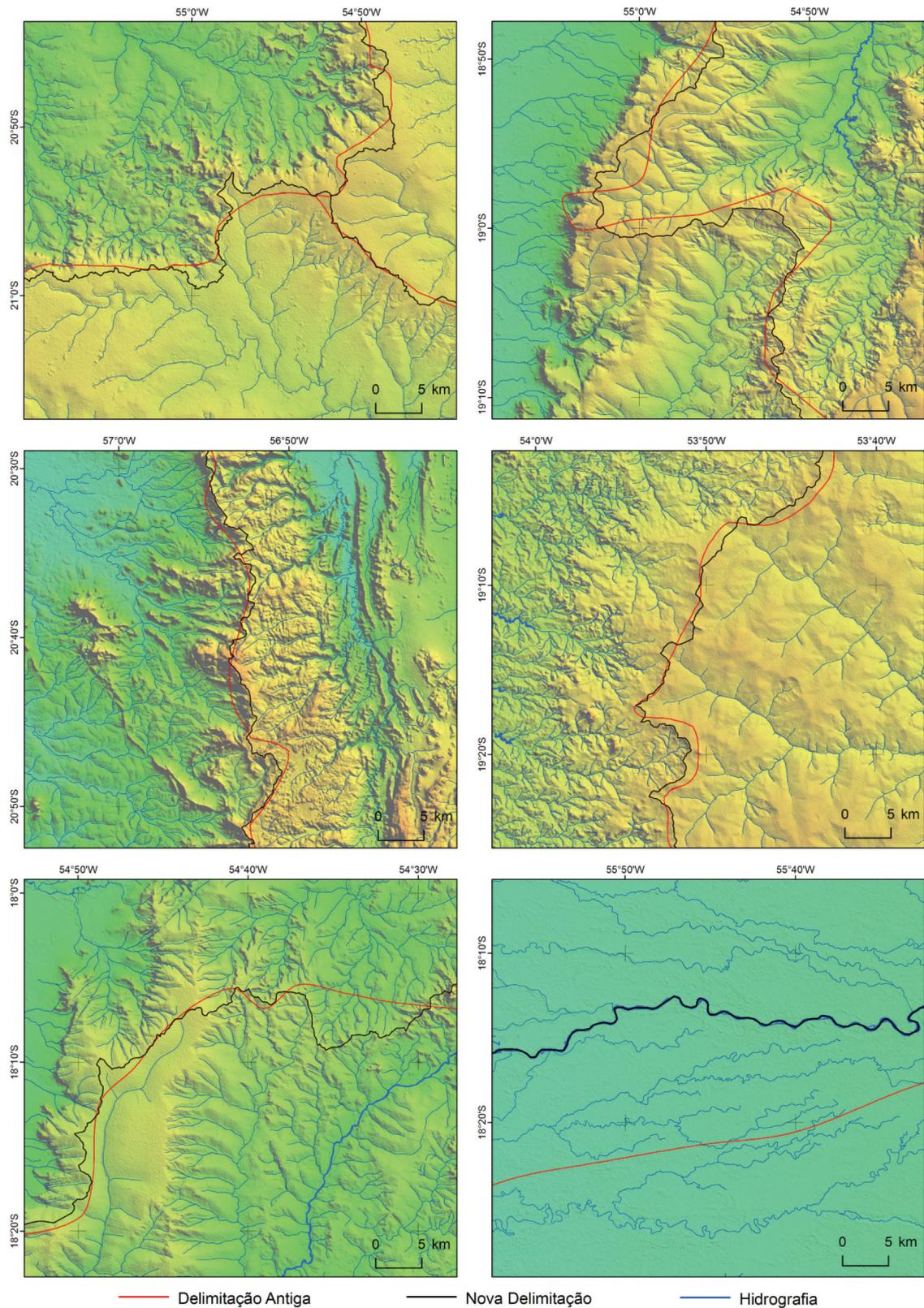


Figura 5. Recortes espaciais de seis regiões do estado e a comparação da delimitação atual aos novos limites das sub-bacias hidrográficas.

Considerando as novas sub-bacias desaguando diretamente no Rio Paraguai, foram mapeadas quatro unidades na sub-bacia do Rio Apa, no sudoeste do estado, conforme mostrou a **Figura 3**. Neste caso, o algoritmo foi capaz de promover uma correta identificação dos divisores de água nas regiões com maior variação altimétrica (no centro da bacia do Rio Apa), mas pouco ajudou na delimitação na planície, feita visualmente.

A escolha pelo processamento do MDE em recortes espaciais regionais permitiu maior agilidade e não interferiu nos resultados, dado que tais recortes foram definidos em função da delimitação existente das UPGs.

Não houve uma validação de campo dos resultados aqui apresentados em função da dificuldade de sua execução. Porém, considerando a diferença de detalhamento entre a delimitação antiga das UPGs e a nova delimitação aqui proposta, visível pelo MDE e compatível com a malha digital hidrográfica do estado, fica evidente que os resultados apresentados constituem-se como um avanço na qualidade das informações que o estado do Mato Grosso do Sul tem a sua disposição.

Ressalta-se que o método automático utilizado serviu como ferramenta auxiliar no processo de delineamento das sub-bacias hidrográficas, cabendo ao intérprete a decisão final quanto a definição de seus limites.

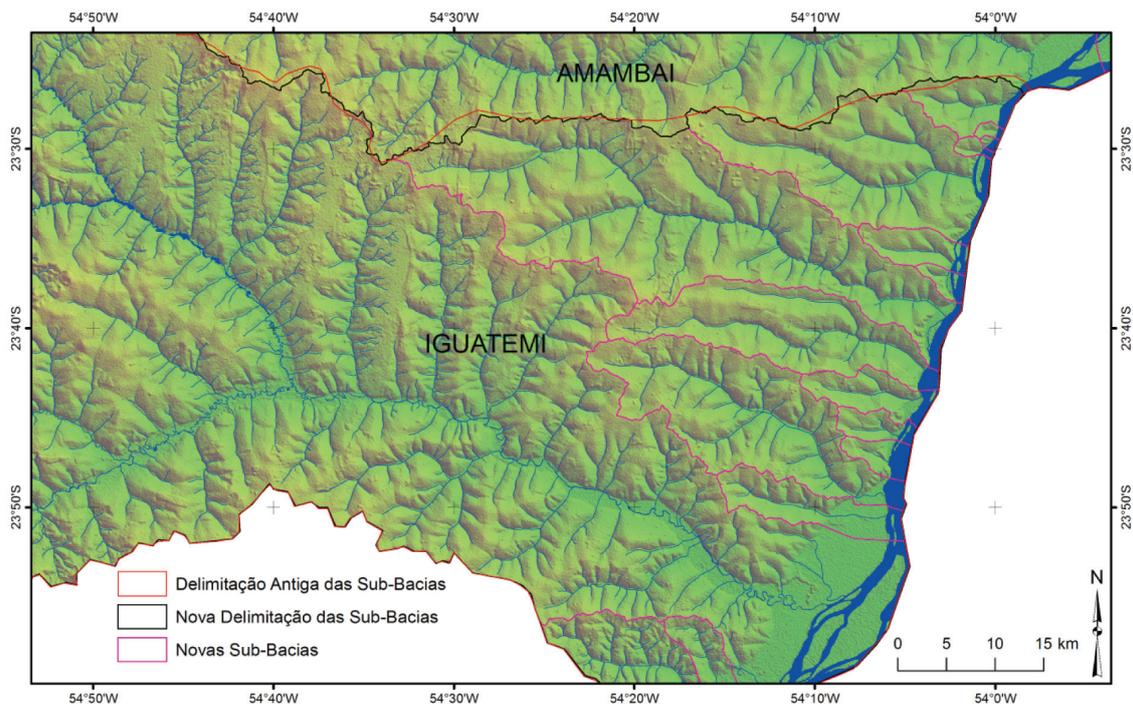


Figura 6. Novas sub-bacias desaguando no Rio Paraná, mapeadas na sub-bacia do Rio Iguatemi, no extremo sul do estado.

O conjunto de dados vetoriais resultante deste processo será disponibilizado pelo SISLA e poderá contribuir no gerenciamento mais detalhado dos recursos hídricos do estado do Mato Grosso do Sul. Cabe lembrar que este processo foi conduzido a partir de informações gratuitas disponibilizadas na Internet (imagens de satélite, modelos digitais de elevação e malhas digitais) e por um programa computacional de baixo custo.

5. Conclusões

As técnicas computacionais utilizadas facilitaram o processo de delimitação das sub-bacias hidrográficas, sendo que os melhores resultados foram alcançados nas regiões

com maior variação do relevo. Nas regiões mais planas, como no Pantanal, os resultados foram inferiores. A metodologia adotada representa uma alternativa viável e de baixo custo no apoio às atividades de delineamento de bacias hidrográficas. Os resultados apresentados constituem-se como um avanço na qualidade das informações que o estado do Mato Grosso do Sul tem a sua disposição, no que tange os limites geográficos de suas sub-bacias hidrográficas.

6. Referências

- ANA (Agência Nacional de Águas). **HidroWeb – Sistema de Informações Hidrológicas**. Disponível em: <<http://hidroweb.ana.gov.br>>. Acesso em: 10 jun. 2008.
- ESRI (Environmental Systems Research Institute). **ArcGIS 9.2 Desktop help**. Disponível em: <http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.2/index.cfm?TopicName=Flow_Direction>. Acesso em: 10 jun. 2011.
- Jenson, S.; Domingue, J. Extracting topographic structure from digital elevation data for geographic information system analysis. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v. 54, n. 11, p. 1593-1600, 1988.
- Getirana, A.C.V.; Bonnet, M.P.; Rotunno Filho, O.C.; Mansur, W.J. Improving hydrological information acquisition from DEM processing in floodplain. **Hydrological Processes**, v.23, p. 502–514, 2009.
- JPL/NASA (Jet Propulsion Laboratory/National Aeronautics and Space Administration). **The Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) – The Mission to Map the World**. Disponível em: <www2.jpl.nasa.gov>. Acesso em: 20 dez. 2008.
- Liang, C.; Mackay, D. S. A general model of *Watershed* extraction and representation using globally optimal flow paths and up-slope contributing areas. **International Journal of Geographical Information Science**, v. 14, n. 4, p. 337-358, 1999.
- Martz, L.W.; Garbrecht, J. Liang, C.; Mackay, D. S. Numerical definition of drainage network and subcatchment areas from Digital Elevation Models. **Computer & Geosciences**, v. 18, n. 6, p.747-761, 1992.
- Mendes, C.A.B.; Cirilo, J.A. **Geoprocessamento em recursos hídricos: princípios, integração e aplicação**. Porto Alegre: ABRH, 2001. 536 p.
- Rennó, C.D.; Nobre, A.D.; Cuartas, L.A.; Soares, J.V.; Hodnett, M.G.; Tomasella, J.; Waterloo, M.J. HAND, a new terrain descriptor using SRTM-DEM: Mapping terra-firme rainforest environments in Amazonia. **Remote Sensing of Environment**, v. 112, n. 9, p. 3469-3481, 2008.
- Rocha, O.; Pires, J.S.R.; Santos, J. E. A bacia hidrográfica como unidade de estudo e planejamento. In: Espíndola, E.L.G. et al. (Org.). **A Bacia Hidrográfica do Rio Monjolinho**. São Carlos: Rima, 2000. p.1-16.
- SEMA/IMASUL (Secretaria de Estado de Meio Ambiente, do Planejamento, da Ciência e Tecnologia/ Instituto de Meio Ambiente do Mato Grosso do Sul). **Plano estadual de recursos hídricos de Mato Grosso do Sul**. Campo Grande, MS: UEMS, 2010. 194p. ISBN: 978-85-99880-24-1.
- Silva, J.S.V.; Speranza, E.A.; Vendrusculo, L.G.; Esquerdo, J.C.D.M.; Mauro, R.A.; Bianchini, S.L.; Florence, R. O. **Projeto GeoMS: Melhorando o Sistema de Licenciamento Ambiental do Estado do Mato Grosso do Sul**. Campinas: Embrapa Informática Agropecuária, 2011. 64 p.
- Topodata. **Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil**. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/topodata/>>. Acesso em: 10 jul. 2010.
- Valeriano, M. M. **TOPODATA: Guia para utilização de dados geomorfológicos locais**. São José dos Campos, SP: INPE: Coordenação de Ensino, Documentação e Programas Especiais (INPE-15318-RPQ/818). 75p. 2008.