

Atualização e digitalização do traçado do rio Paraíba do Sul no trecho da bacia hidrográfica correspondente ao Vale do Paraíba Paulista

Romero Simi¹
Bernardo Friedrich Theodor Rudorff¹
Romeu Simi Junior²
Márcio Pupin de Mello¹
Gustavo Felipe Balué Arcoverde^{1,3}

¹Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE
Av. dos Astronautas, Jardim da Granja – São José dos Campos – SP, Brasil
romerosimi@hotmail.com ; {bernardo, pupin, gustavo}@dsr.inpe.br

²Ministério Público do Estado de São Paulo – MP-SP
Av. dos Astronautas, Jardim da Granja – São José dos Campos – SP, Brasil
romeu@ltid.inpe.br

³Secretaria de Estado de Meio Ambiente de São Paulo – CTR Taubaté
Av. Itambé, 38 – Bairro Santa Luzia, Taubaté – SP, Brasil
gustavofb@ambiente.sp.gov.br

Abstract. The Paraíba do Sul river flows through the States of São Paulo, Minas Gerais and Rio de Janeiro, and is among the most important rivers of Brazil. Over the past decades, the river course experienced substantial changes in its geomorphology. This study aims to evaluate the progressive change of the river course in its flow through São Paulo state, based on historical cartographic data and on recent remote sensing images. It was observed that the river course significantly changed over the past few decades with reduced sinuosity when compared to the IBGE data (1960's). The major purpose of this river course rectification was to make it navigable.

Palavras-chave: remote sensing, anthropization, river course mapping, sensoriamento remoto, antropização, mapeamento do curso do rio.

1. Introdução

A evolução da geomorfologia fluvial é controlada pela retroalimentação entre os processos de transporte de sedimentos e a morfologia do canal. Diferentes fatores atuam na morfologia de um canal fluvial, dentre eles o clima, a biogeografia, a geologia e o antropismo (Christofolletti, 1980). O rio Paraíba do Sul abrange formações geológicas oriundas, sobretudo, do Quaternário, com predominância de sedimentos arenosos. Além dessa formação também há ocorrência de elementos carbonáticos do Terciário e formações de rochas gnásicas e graníticas oriundas do Paleoproterozóico. O clima na região deste rio permeia entre o Cfa (subtropical oceânico) e Aw (tropical sazonal com estação seca no inverno), de acordo com a classificação de Köppen (Kottek et al., 2006). A formação arbórea original das planícies fluviais é de vegetação ombrófila densa e vegetação de várzea, no contexto do bioma Mata Atlântica. Quanto ao antropismo, as margens do rio Paraíba do Sul possuem marcante ocupação humana, sendo palco de todos os ciclos do desenvolvimento econômico nacional, sobretudo a partir do ciclo do café até os dias atuais. Esse antropismo se dá com uso diversificado, seja na indústria, na construção civil ou na agricultura irrigada, além dos atuais problemas causados em virtude do esgoto vertido pelos vários municípios ao longo dos 1.120 km de extensão do rio (COPPETEC, 2006).

O rio Paraíba do Sul percorre os estados de São Paulo, Minas Gerais e Rio de Janeiro. Ele passa a ter esta denominação a partir da confluência dos rios Paraitinga e Paraibuna, no

município de Paraibuna, no estado de São Paulo. O rio percorre um pequeno trecho na Zona da Mata Mineira, sudeste de Minas Gerais, formando parte da divisa com o estado do Rio de Janeiro, atravessa grande parte desse Estado e desemboca no Oceano Atlântico, próximo à cidade de São João da Barra - RJ. Entre os principais afluentes do Paraíba do Sul estão os rios Jaguari, Buquira, Paraibuna, Piabanha, Pomba e o rio Muriaé, que juntamente com outros conglomerados de rios formam a bacia do rio Paraíba do Sul. Essa bacia, localizada aproximadamente entre as latitudes 20°26' e 23°39' Sul e as longitudes de 41°00' e 46°30' Oeste, possui área de 56,5 mil km², abrangendo as regiões do Vale do Paraíba Paulista e Fluminense, grande parte da Zona da Mata Mineira e do noroeste do Estado do Rio de Janeiro. A região da bacia do rio Paraíba do Sul é um território antrópico, com a Mata Atlântica restrita a parques e reservas florestais. O rio tem em seu curso diversas represas, destinadas à geração de eletricidade e à regulação da vazão de água para as populações da bacia e da Região Metropolitana do Rio de Janeiro (Wikipédia, 2009). Atualmente a gestão da bacia hidrográfica do rio Paraíba do Sul é feita pelo Comitê de Integração da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul (CEIVAP), dentro de uma política de participação instituída pela Lei Federal n.º 9.433/97.

Haja vista a historicidade de uso antrópico do rio Paraíba do Sul, a evolução da geomorfologia de seu leito foi substancialmente modificada pelo homem. Dentre os principais fatores para essa modificação estão as necessidades de navegabilidade e a mineração de extração de areia de sua planície aluvial e de seu leito. Para viabilizar a plena navegação de alguns trechos do rio, foi realizada a retificação, com o corte de vários meandros que constituíam mesmo, entre as cidades de Jacareí e Cachoeira Paulista, no Estado de São Paulo. Hoje em dia, somente dois trechos do Paraíba do Sul podem ser navegados: o trecho inferior e o médio superior. O trecho inferior está situado entre a foz e São Fidélis – RJ, com aproximadamente 90 km de extensão e declividade de 22 cm/km. O trecho médio superior, por sua vez, está situado entre Cachoeira Paulista e Guararema, no Estado de São Paulo, com extensão de aproximadamente 280 km e declividade de 19 cm/km. Outros trechos do rio têm a navegação dificultada por saltos, corredeiras, forte declividade e também obras efetuadas para fins hidrelétricos, sem a intenção de transposição de níveis, além de pontes rodoviárias e ferroviárias (COPPETEC, 2006). Segundo Silva et al. (2004), a retificação da calha do rio corrobora para a degradação ambiental do mesmo, causando diminuição de peixes, que prejudica a pesca, e diminuição e descaracterização da mata ciliar, que pode causar desbarrancamento e assoreamento do rio.

Quanto à mineração de extração de areia, a mesma vem sendo exercida há aproximadamente 50 anos (São Paulo, 2008). Inicialmente, predominava a extração do leito do rio, mas na medida em que estas reservas se esgotaram a extração passou a ser conduzida em cavas margeando o leito do mesmo. As cavas, pelo fato do lençol freático estar bem próximo à superfície, ficam cobertas pela água e fazem parte da recarga hídrica do leito do rio Jendiroba et al. (1999). O aporte hídrico de extensas cavas (alcançando até dezenas de hectares) acaba, por vezes, vazando para o leito do rio de tal forma a desrespeitar os limites entre as cavas e o leito. Apesar do Zoneamento Minerário da região ter sido apresentado em 1996 (Res SMA 42/1996) e modificado em 1999 (Res SMA 28/1999), ainda hoje é possível observar diversos empreendimentos em zonas não permitidas. Nesse contexto, tanto a dinâmica da engenharia de navegação como da extração de areia são fatores de alto potencial na modificação do leito do rio Paraíba do Sul.

A respeito da regulação das vazões, citam-se os reservatórios de Paraibuna/Paraitinga, Jaguari e Santa Branca, na porção superior do Vale do Paraíba Paulista, que foram implantados, a princípio, para o controle das cheias do rio, e secundariamente com fins hidrelétricos. A partir do início da operação desses reservatórios, as vazões do Paraíba do Sul

deixaram de ser caracterizadas como naturais e as enchentes foram drasticamente reduzidas. (COPPETEC, 2007). Outras medidas também foram adotadas para controlar as cheias do Paraíba do Sul no trecho paulista, como a constituição e isolamento de meandros, através de diques marginais (*polders*). Estas obras isolaram superfícies em um total de 35.000 ha, com comprimento total dos diques de cerca de 300 km (Jendiroba et al., 1999).

Este trabalho tem por objetivo fazer uma avaliação da evolução do traçado do leito do rio Paraíba do Sul, no trecho da bacia correspondente ao Vale do Paraíba Paulista, tendo por base dados históricos da cartografia sistemática e imagens recentes obtidas por satélites de sensoriamento remoto.

2. Materiais e Métodos

Para a realização do trabalho foi utilizado o aplicativo SPRING (Sistema de PProcessamento de INformações Georreferenciadas), idealizado pelo INPE (Câmara et al., 1996), utilizado na manipulação de um banco de dados que possibilitasse realizar a atualização do traçado do rio Paraíba do Sul. Na composição deste banco de dados foram utilizados:

- Imagem do produto Geocover – o Geocover constitui uma base de dados gerada a partir de imagens ortorretificadas dos satélites da série Landsat (Tucker et al., 2004), utilizando-se dos dados do SRTM (Rabus et al., 2003). Uma forma de georreferenciamento relativamente preciso que fornece uma base de dados de imagens ortorretificadas.
- Dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) – são gerados diretamente dos fotolitos, Escala 1:50.000, projeção UTM - Córrego Alegre. O dado utilizado foi retirado do projeto GISAT (sistema de georreferenciamento para apoio a outorga e outros instrumentos de gestão dos recursos hídricos), financiado com recursos do Fundo Estadual de Recursos Hídricos através do Projeto CORHI (comitê coordenador do plano estadual de recursos hídricos), que tem por finalidade a implantação no DAEE de um sistema georreferenciado de informações sobre os múltiplos usos da água no Estado de São Paulo. Os dados são referentes à década de 1960 (ano 1963);
- Dados obtidos com vetorização da cartografia do Instituto Geográfico e Cartográfico (IGC), do Estado de São Paulo – foram gerados a partir das imagens, em formato *raster*, da cartografia oficial do SCESSP – Sistema Cartográfico do Estado de São Paulo, na Escala 1:10.000, projeção UTM - Córrego Alegre, registradas no aplicativo SPRING e vetorizados diretamente na tela do monitor. Os dados se referem à década de 1970 (sobrevôo do ano 1977, restituído);
- Imagens do sensor HRC do satélite CBERS-2B, imagens do satélite QuickBird II e uma imagem do sensor TM do satélite Landsat 5– foram utilizadas imagens dos anos de 2008 e 2009, previamente registradas no aplicativo SPRING (imagem–imagem) por pontos homólogos identificados na imagem Geocover.

De posse do banco de dados georreferenciado foi possível realizar a avaliação das alterações no traçado do Rio Paraíba do Sul ao longo das últimas décadas. Essa avaliação foi feita analisando o posicionamento geográfico do rio, por meio da sobreposição dos diferentes dados (IGC, IBGE, Geocover, HRC/CBERS-2B, QuickBird II e TM/Landsat5).

3. Resultados e Discussão

O traçado atualizado do rio Paraíba do Sul foi gerado a partir das imagens HRC (banda espectral pancromática com resolução espacial de 2,7 metros) dos anos de 2008 e 2009, previamente georreferenciadas com base na imagem Geocover. Entretanto, devido à cobertura de nuvens na região, não foi possível obter todas as cenas do sensor em todo o traçado considerado. A solução encontrada foi utilizar imagens do satélite Quickbird II (resolução espacial de 0,61 metros na banda pancromática) como complemento às imagens HRC. Apenas para um trecho de menos de 19 km, entre as cidades de Caçapava e Taubaté, não foi possível visualizar o traçado do rio nessas imagens de alta resolução espacial (HRC e QuickBird II). Como alternativa, uma imagem de 2009 do sensor TM/Landsat-5 foi utilizada na digitalização do traçado do rio nesse trecho. O sensor TM possui resolução espacial de 30 metros. Contudo, foi utilizada a técnica de restauração implementada no aplicativo SPRING para transformar a resolução da imagem para 10 metros. De modo geral, assume-se que o trabalho de digitalização sobre as imagens HRC e QuickBird II gerou o traçado do rio (**Figura 1**) em escala aproximada de 1:10.000.

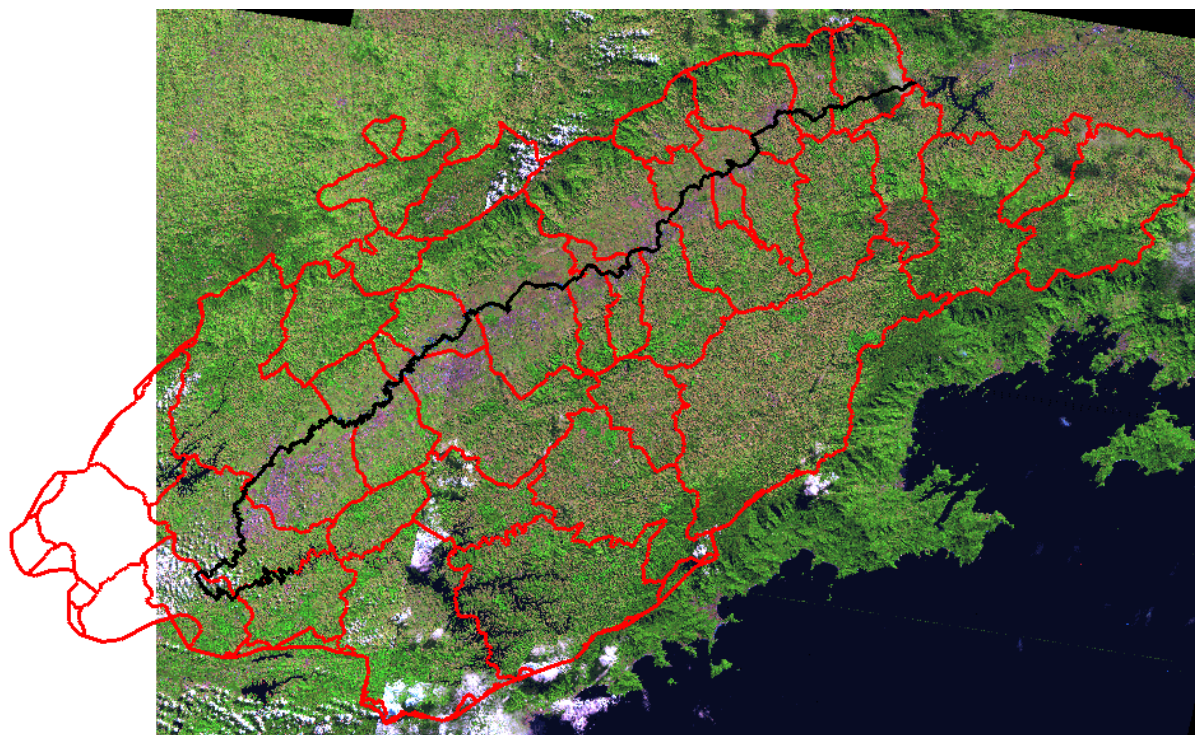


Figura 1 – Mosaico de imagens de satélite de parte da bacia hidrográfica do rio Paraíba do Sul correspondente ao trecho compreendido no Vale do Paraíba Paulista; e o traçado atualizado do rio Paraíba do Sul, digitalizado sobre imagens de satélites de alta resolução espacial.

A **Figura 1** mostra o traçado atualizado do rio Paraíba do Sul, no trecho da bacia hidrográfica compreendido no Vale do Paraíba Paulista. O trecho do rio, digitalizado com base nas imagens de alta resolução espacial, possui aproximadamente 320 km. Os dados do IBGE apontam para um comprimento correspondente de 344 km, o que caracteriza uma diferença de aproximadamente 7% em relação ao valor encontrado neste trabalho.

Analisando as **Figuras 2 e 3** pode-se ter uma idéia das principais alterações no traçado cartográfico do rio Paraíba do Sul entre a década de 60 e os tempos atuais (anos 2008 e 2009). Nota-se que o desenho do rio na **Figura 2**, descrito pelo dado obtido pelo IBGE (em escala 1:50.000 – década de 1960) transforma-se, diminuindo sua sinuosidade (muitos meandros) e

resultando em um traçado mais suave (**Figura 3**), como descrito pela digitalização efetuada neste trabalho (em escala 1:10.000 – anos 2008 e 2009). É interessante observar que, mesmo em uma escala maior (como é o caso da digitalização feita sobre as imagens de alta resolução espacial) o traçado do rio é mais suave que o observado em uma escala menor de mapeamento na década de 1960. Isto se deve, principalmente, à retificação do rio realizada ao longo das últimas décadas, visando alterar seu curso para fins de navegação. Os meandros abandonados e curvas retificadas se tornaram, de acordo com o levantamento feito pelo IGC, áreas com facilidade de alagamento.

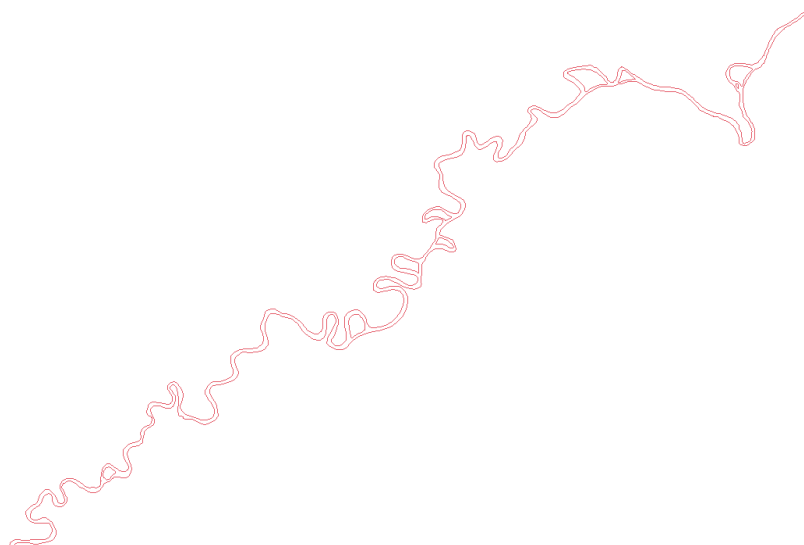


Figura 2 – Trecho do rio Paraíba do Sul no município de Tremembé – SP, referente à década de 1960, segundo a base de dados do IBGE.

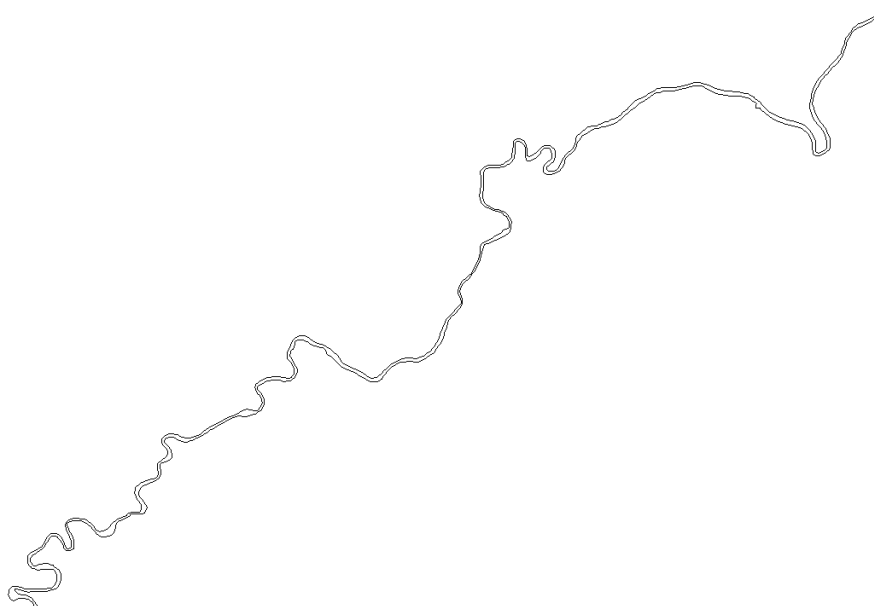


Figura 3 – Trecho do rio Paraíba do Sul no município de Tremembé – SP, digitalizado sobre imagens de satélite de alta resolução espacial, referentes aos anos de 2008 e 2009.

Outra análise realizada referente ao traçado do rio Paraíba do Sul diz respeito à concordância de localização cartográfica entre os traçados mapeados pelas diferentes fontes de dados estudadas (IBGE, IGC e o mapeamento realizado neste trabalho). Esse estudo foi realizado com a sobreposição dos mapeamentos, tanto do IBGE quanto do IGC, ambos em relação à digitalização sobre as imagens de alta resolução. De maneira geral, os mapeamentos são concordantes entre si, quando observados em uma escala aproximada de 1:50.000. Foram encontradas apenas duas divergências substanciais no mapeamento do IGC em relação à atualização feita neste trabalho. Essas duas discrepâncias encontram-se localizadas nos municípios de Queluz e Pindamonhangaba.

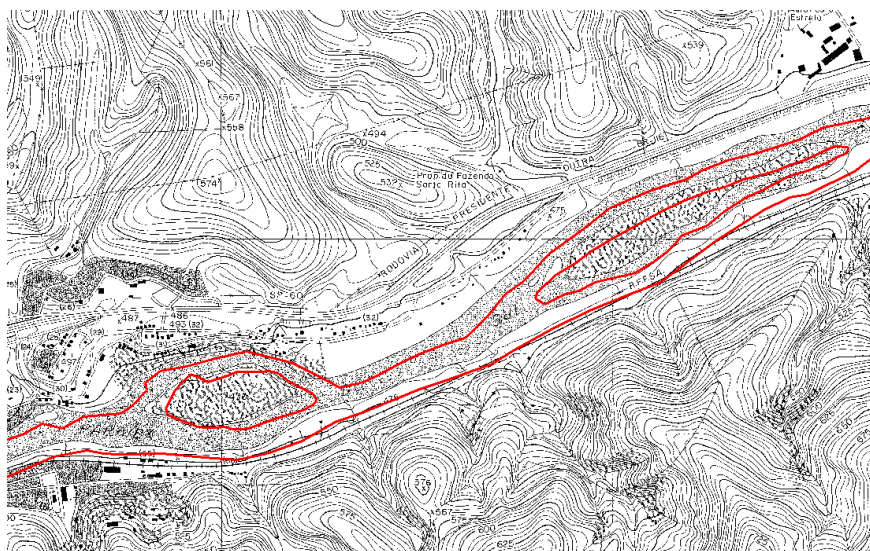


Figura 4 – Trecho do município de Queluz – SP, com a digitalização do rio Paraíba do Sul (realizada sobre imagens de alta resolução espacial) em linha vermelha sobreposta à carta do IGC.

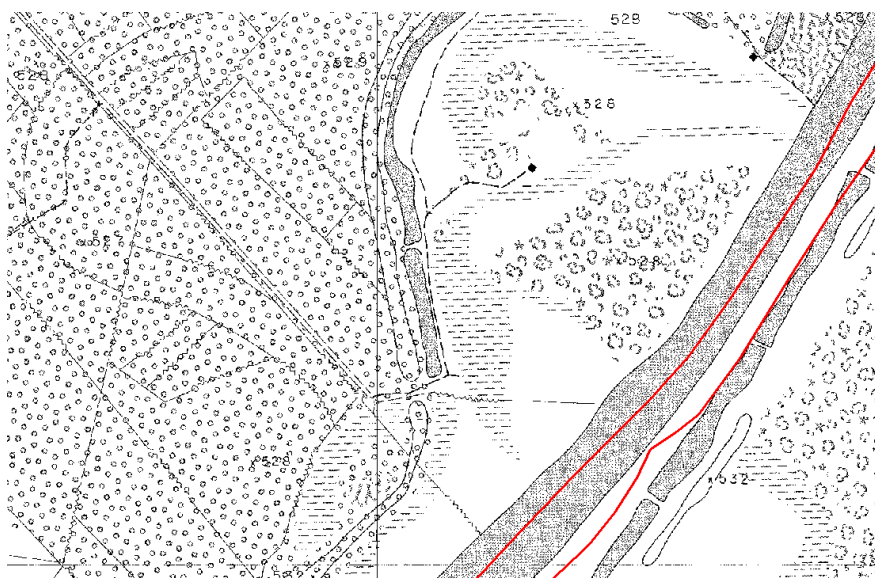


Figura 5 – Trecho do município de Pindamonhangaba – SP, com a digitalização do rio Paraíba do Sul (realizada sobre imagens de alta resolução espacial) em linha vermelha sobreposta à carta do IGC.

Nos municípios de Queluz e Pindamonhangaba foram observados deslocamentos de aproximadamente 50 e 30 metros, respectivamente (**Figuras 4 e 5**), entre o traçado do rio Paraíba do Sul mapeado na carta do IGC e o traçado digitalizado sobre as imagens de alta resolução espacial.

A **Figura 6** ilustra um pequeno trecho do Rio Paraíba do Sul, localizado nas proximidades do município de Tremembé-SP, com a sobreposição dos diferentes tipos de levantamentos existentes. O traçado levantado pelo IBGE está representado na cor preta; enquanto a linha azul representa o traçado levantado com a vetorização dos mapas do IGC; por fim a linha vermelha representa o traçado atualizado do rio, digitalizado com base nas imagens de alta resolução espacial neste trabalho.

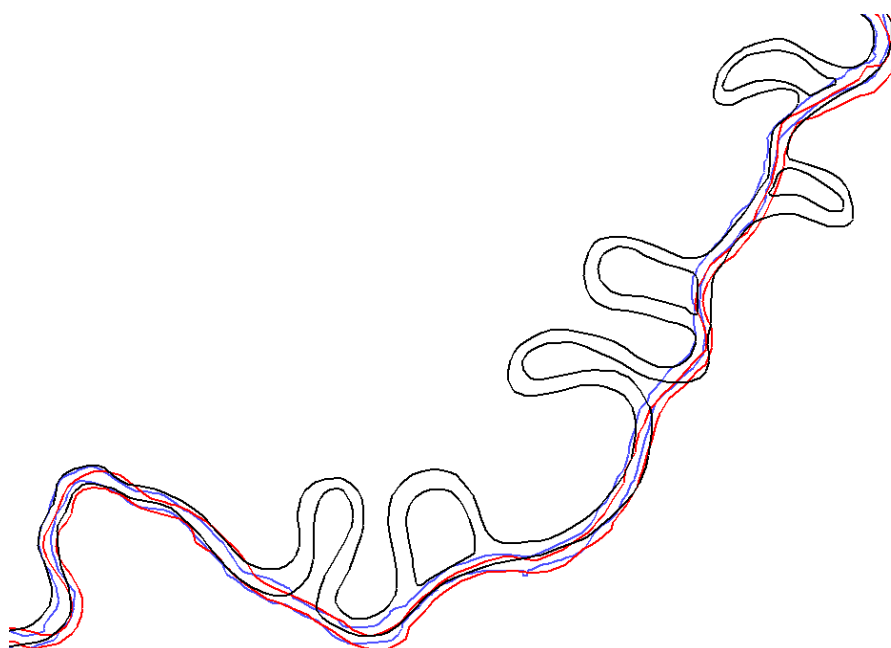


Figura 6 – Sobreposição do traçado do rio Paraíba do Sul, em um pequeno trecho localizado nas proximidades de Tremembé-SP, levantados por diferentes fontes, em que: na cor preta está representado o traçado levantado pelo IBGE; na cor azul está representado o traçado levantado com a vetorização dos mapas do IGC; e na cor vermelha está representado o traçado atualizado do rio, digitalizado com base nas imagens de alta resolução espacial.

4. Conclusão

A realização deste trabalho permitiu avaliar a evolução do traçado do rio Paraíba do Sul, no trecho da bacia correspondente ao Vale do Paraíba Paulista, tendo por base dados históricos da cartografia sistemática (IBGE e IGC) e imagens recentes obtidas por satélites de sensoriamento remoto (CBERS-2B, QuickBird II e Landsat 5).

Com este estudo, existe a intenção de que seja instituído um trabalho mais aprofundado de desenvolvimento de um banco de dados acurado, que possa ser utilizado pelos órgãos gestores da bacia do rio Paraíba do Sul. Propõe-se a atualização dos dados existentes, tanto na base de dados do IBGE (1963), quanto na base do IGC (1977), utilizando-se de imagens de alta resolução (em especial do sensor HRC/CBERS-2B, que possui distribuição gratuita); além da realização de levantamentos em campo, para posterior validação dos mapeamentos.

Referências

- Câmara, G.; Souza, R. C. M.; Freitas, U. M.; Garrido, J.; Li, F. M. SPRING: integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modelling. **Computers & Graphics**, v. 20, n. 3, p. 395-403, 1996.
- Christofoletti, A. **Geomorfologia**. 2. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1980. 188 p.
- COPPETEC (Fundação COPPETEC). **Plano de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Paraíba do Sul** – Resumo (Análise dos Impactos e das Medidas Mitigadoras que envolvem a Construção e Operação de Usinas Hidrelétricas). Associação Pró-Gestão das Águas da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul (AGEVAP), São Paulo, 2007. 42 p.
- COPPETEC (Fundação COPPETEC). **Plano dos recursos hídricos da bacia do rio Paraíba do Sul** – Resumo. Resende-RJ: Associação Pró-Gestão das Águas da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul (AGEVAP), 2006. 140 p.
- Jendiroba, J. E. T.; Santiago, P. C.; Chacim, K. F. T.; **Rio Paraíba do Sul, degradação ambiental provocada pela mineração de areia**. São José dos Campos: Fundação Armando Alves Penteado (FAAP), 1999. 63 p.
- Kottek, M.; Grieser, J.; Beck, C.; Rudolf, B.; Rubel, F. World map of the Köppen-Geiger climate classification updated. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 15, n. 3, p. 259-263, 2006.
- 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 and Remote Sensing**, v. 57, n. 4, p. 241-262, 2003.
- São Paulo (Estado). Secretaria do Meio Ambiente. **Avaliação da recuperação ambiental da mineração de areia para aperfeiçoar os instrumentos de gestão: várzea do Paraíba do Sul - trecho Jacareí-Pindamonhangaba**. Secretaria de Estado do Meio Ambiente, Coordenadoria de Planejamento Ambiental. Coordenação Lina Maria Aché, Sônia Aparecida Abissi Nogueira e Neide Araújo. Equipe técnica executora: Antônio José Dias et al. São Paulo: SMA, 2008. 84 p.
- Silva, H. P.; Rocha, N. M.; Ikeda-Castrillon, S. K. **O impacto da proposta de implementação da Hidrovia Paraguai-Paraná, na visão de diversos setores da sociedade em Cáceres, MT. Corumbá - MT**. Universidade do Estado de Mato Grosso (UNEMAT), 2004.
- Tucker, C. J.; Grant, D. M.; Dykstra, J. D. NASA's global orthorectified Landsat data set. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, v. 70, n. 3, p. 313-322, 2004.
- WIKIPÉDIA. **Rio Paraíba do Sul**. In: Wikipédia: a enciclopédia livre. Flórida: Wikimedia Foundation, 2009. Disponível em: <http://pt.wikipedia.org/w/index.php?title=Rio_Para%C3%ADba_do_Sul&oldid=17059902>. Acesso em: 13 set. 2009.