

## DINÂMICA E MORFOLOGIA DO CANAL DE CONFLUÊNCIA DOS RIOS PARANÁ E PARANAPANEMA PELO MÉTODO DO MAPEAMENTO TEMPORAL

Renato José Paes<sup>1</sup>  
José C. Stevaux<sup>2</sup>  
Mário L. Etchebehere<sup>3</sup>  
Isabel T. Leli<sup>4</sup>

---

### RESUMO

Este trabalho apresenta o estudo da dinâmica e morfologia de canais de confluência tendo como exemplo dois grandes rios tropicais o rio Paraná e o rio Paranapanema. O estudo propõe uma metodologia, ainda que semi-quantitativa, bastante atraente uma vez que é de fácil aplicação e de baixo custo e que se baseia na comparação de mapas batimétricos em diferentes momentos do regime de vazões (águas altas e baixas). Para isso foi utilizada uma ecossonda acoplada a um computador portátil por meio do qual se geraram mapas batimétricos detalhados. Foram também coletadas amostras do material do leito para comparar o material transportado pelos canais e confrontar os dados com os mapas. Os mapas batimétricos revelaram que a morfologia dos canais apresentou modificações pequenas, mas significativas com ligeira alteração na granulometria da carga de fundo (areia média e grossa). Algumas hipóteses são levantadas para explicar as alterações morfológicas que giram em torno do controle de fluxo e ajuste do canal devido à instalação das represas de Porto Primavera e Rosana.

**Palavras-chave:** Mapas batimétricos, confluência, rio Paraná, rio Paranapanema, impacto de barragens.

### DYNAMICS AND MORPHOLOGY OF CONFLUENCE CHANNEL ESTIMATED BY TEMPORAL MAPPING: EXAMPLES FROM THE PARANÁ-PARANAPANEMA RIVER CONFLUENCE

### ABSTRACT

This paper presents the study of the channel morphology and dynamics in the confluence of the Paraná and Paranapanema Rivers. Through detailed bathymetric survey two maps were generated by which it was possible to analyze the channel morphology a low and high water level stages. It was used an echo sound connected to a portable computer. Bed material was also sampled in order to compare differences between the two limnometric levels. The bathymetric maps revealed that the channel morphology presented, few but significative changes probably induced by power plants operation (Porto Primavera and Rosana).

---

<sup>1</sup> Universidade Guarulhos, Mestrado em Análise Geoambiental

<sup>2</sup> Universidade Guarulhos, Mestrado em Análise Geoambiental, Autor correspondente: J. C. Stevaux – [jcstevaux@uem.br](mailto:jcstevaux@uem.br) FAPESP 04/14057-5

<sup>3</sup> Universidade Guarulhos, Mestrado em Análise Geoambiental

<sup>4</sup> Universidade Estadual de Maringá, Mestrado em Geografia

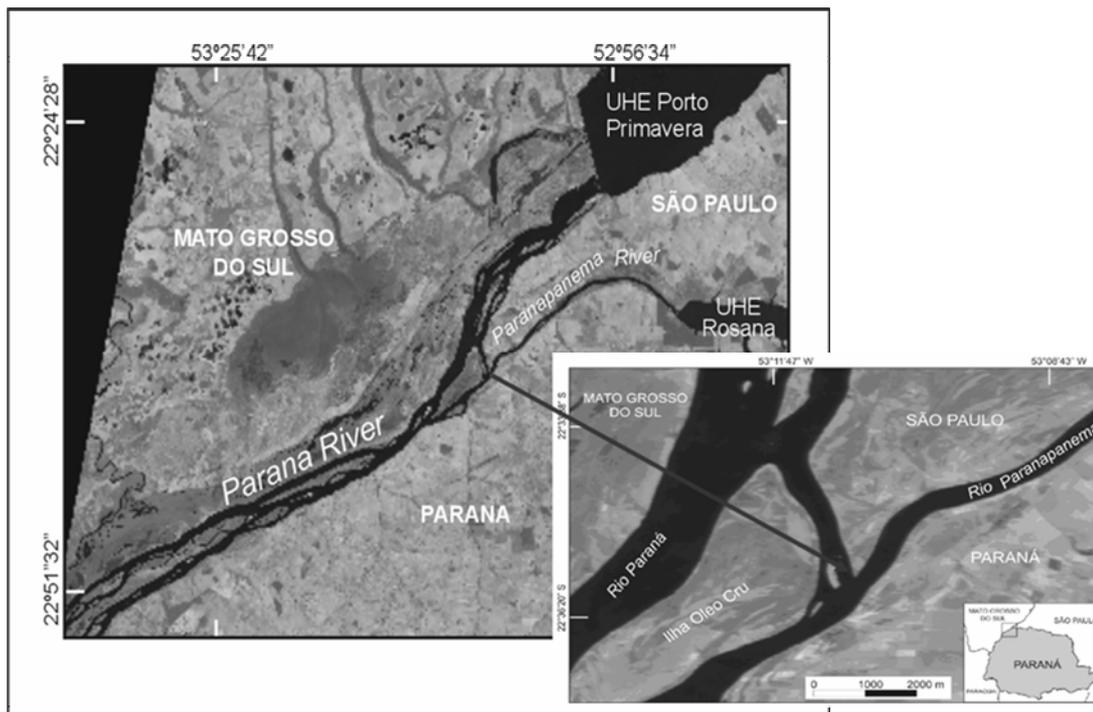
**Keywords:** Bathymetric maps, river confluences, Paraná River, Paranapanema River, dam impact.

---

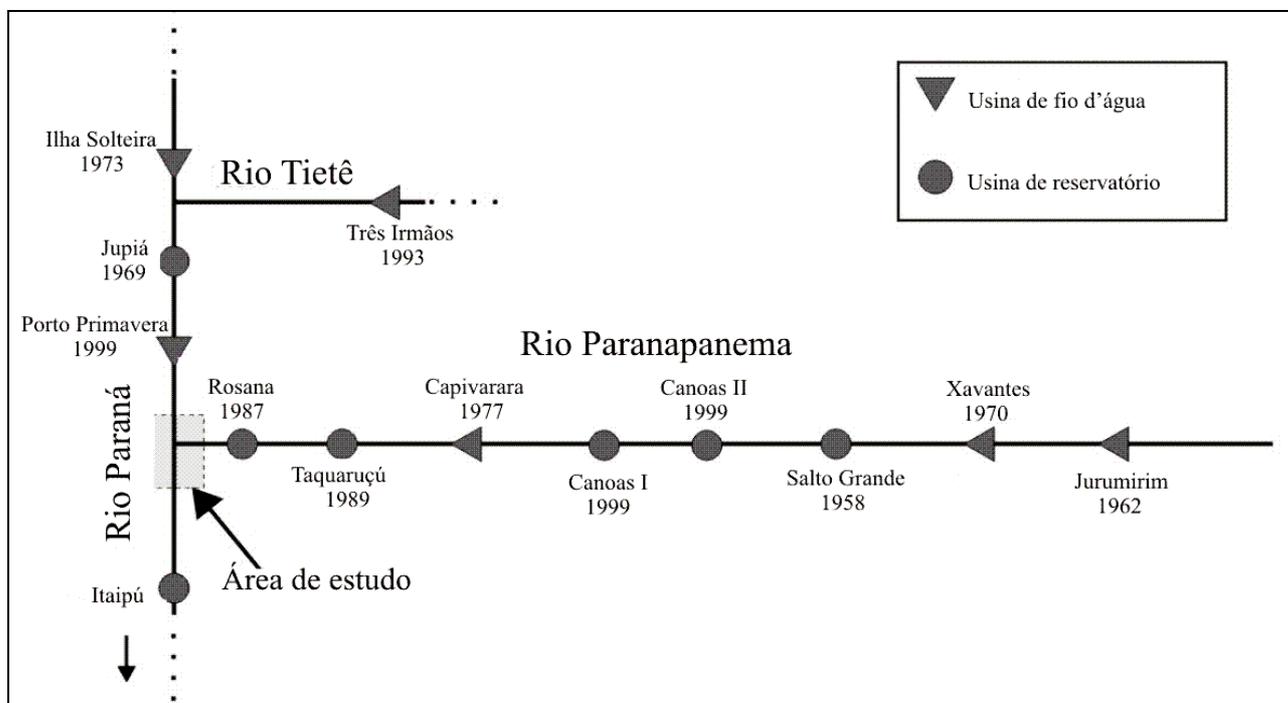
## INTRODUÇÃO

As confluências fluviais caracterizam-se como ambientes bastante complexos, pois nestes locais ocorre a combinação de matéria (água, sedimentos) e energia (forças exercidas pelos fluxos) oriundas de diferentes fontes. As interações entre estes elementos resultam em uma variabilidade processual e morfológica, moldando o canal fluvial em função das flutuações sazonais das contribuições de cada curso d'água. Alguns estudos sobre áreas de confluência demonstraram que a morfologia do fundo dos canais desempenha um importante papel na organização dos fluxos e na dinâmica da carga sedimentar (Best e Roy, 1991; Rhoads e Kenworthy, 1995; Gaudet e Roy, 1995; Biron et. al. 1996a e 1996b; Axtmann et. al., 1997). Apesar disto, grande parte das metodologias utilizadas até então foi desenvolvida em pequenos cursos d'água ou em canais experimentais (*flumes*). Por conta disso, a aplicação de muitas destas metodologias tornam-se inviáveis em grandes rios, como é o caso do rio Paraná. Neste sentido, o conhecimento da geometria e da morfologia dos grandes canais fluviais em áreas de confluência é de extrema importância para proposição de modelos e metodologias de monitoramento e gerenciamento.

A região do Pontal do Paranapanema, situada na confluência dos rios Paraná e Paranapanema (Fig. 1), vem sendo objeto de estudo tanto de suas características hidro-físicas como ecológicas (Projeto "A Dinâmica do Fluxo e da Carga de Fundo no Paraná e nas Desembocaduras de seus Principais Tributários", FAPESP 04/14057-5 e CNPq 470148/2004-7). Nesta região o regime de fluxo é regulado pela hidrelétrica de Porto Primavera, no rio Paraná, com uma vazão média de 6.739 m<sup>3</sup>/s (Estação UH Porto Primavera - CESP, período dez/1998 – dez/2003), e pela hidrelétrica de Rosana, no rio Paranapanema, com uma vazão média de 1.483 m<sup>3</sup>/s (Estação UH Rosana – Duke Energy, período mar/1987 – fev./2004). A vazão média da série histórica (1964-2003), medida na Estação Porto São José é de 8.828 m<sup>3</sup>/s. Por outro lado, o rio Paranapanema, com cerca de seis grandes reservatórios, seja talvez o tributário da bacia do rio Paraná mais represado (Fig. 2). Nesse sentido, o conhecimento da confluência desses dois rios pode trazer uma grande contribuição para o conhecimento do funcionamento desse ambiente em rios intensamente represados.



**Figura 1** – Imagem Landsat 7 (18/11/1999). Localização da confluência dos rios Paraná e Paranapanema. E das hidrelétricas de Porto Primavera e Rosana nos respectivos rios, área do tríplice limite entre os estados do Paraná, Mato Grosso do Sul e São Paulo (Paes, 2007).

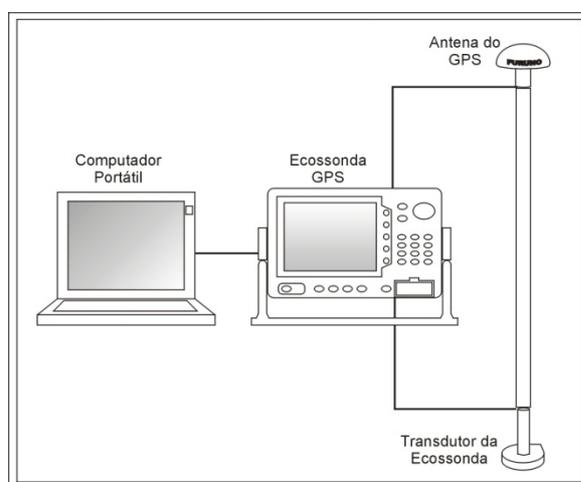


**Figura 2** – Diagrama em árvore da drenagem da bacia do alto rio Paraná com suas principais hidrelétricas e a data de início de operações (Martins, 2004).

## PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

### Coleta de Dados

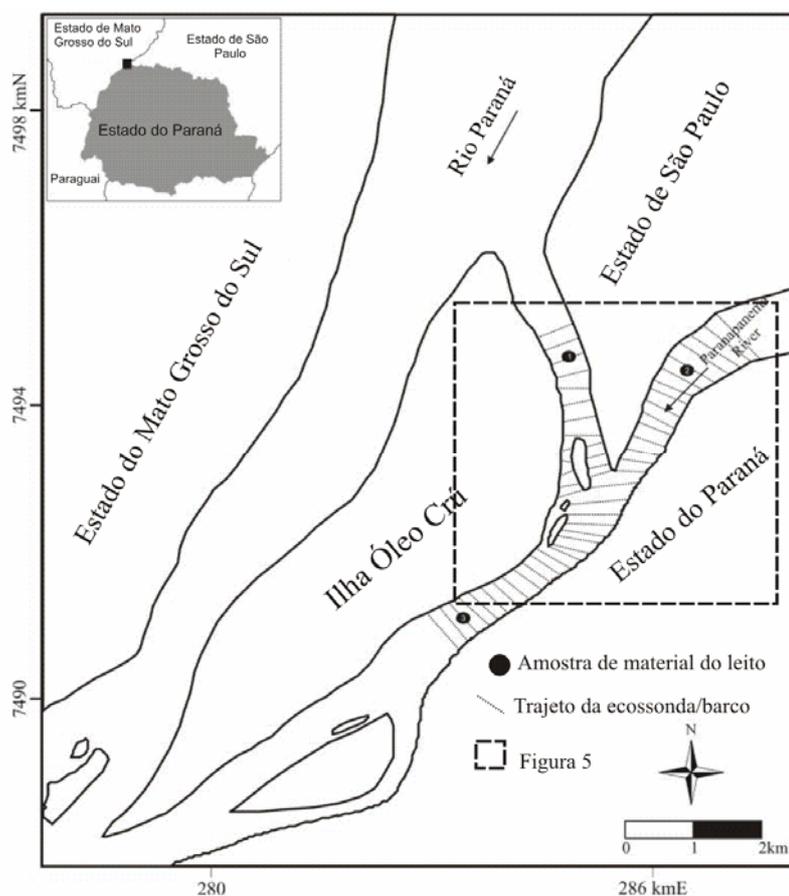
O levantamento batimétrico da confluência foi realizado nos dias 13 e 14 de julho de 2005 e 14 e 15 de janeiro de 2006, meses historicamente correspondentes a águas baixas e altas (ANA, 2008). Para a coleta e georreferenciamento dos dados batimétricos, foi utilizada uma Ecossonda / GPS, marca *Furuno*, modelo *GP 1650-F*. Este equipamento possui um transdutor que emite e recebe pulsos nas frequências de 50 kHz (indicada para pesca) ou 200 kHz (indicada para fins batimétricos). Este transdutor calcula a profundidade através da diferença de tempo entre a emissão e a recepção do sinal, estando apto a detectar profundidades entre 0,5 m e 800 m, com uma precisão de 0,1 m. A posição de cada ponto batimétrico é dada pelo receptor GPS do próprio equipamento. Os dados coletados foram armazenados em um computador portátil conectado à Ecossonda / GPS (Fig. 3), com o auxílio do *software* de navegação *Fugawi 3*.



**Figura 3.**– Esquema de ligação dos equipamentos de coleta de dados. Fonte: Martins (2004).

O levantamento foi realizado percorrendo-se, com uma embarcação, toda a área de amostragem. O deslocamento da embarcação foi feito em ziguezague, com uma distância entre as linhas de amostragem diretamente proporcional à largura do canal (50 m) e inversamente proporcional ao detalhamento desejado para os produtos batimétricos (Fig. 4).

Para a coleta do material de fundo foi utilizado um Van Veen, pegador de mandíbulas, este equipamento tem um dispositivo que ao tocar o fundo do canal se fecha coletando assim o material do leito. A coleta foi realizada em três pontos, uma em cada canal envolvido: Paraná, montante da confluência, rio Paranapanema e a jusante da confluência (Fig. 4).



**Figura 4** – Confluência dos rios Paraná e Paranapanema com a localização dos pontos de coleta de sedimento de fundo e o trajeto da embarcação para o levantamento ecobatimétrico.

### Tratamento dos Dados

Os dados coletados pela Ecossonda / GPS e armazenados pelo software Fugawi 3 foram exportados sob a forma de arquivos em formato texto, com a extensão TXT. No software Surfer 8.0 os arquivos exportados foram abertos e os dados de posição e profundidade de todos os pontos batimétricos foram reunidos em uma única planilha (worksheet), salva com a extensão DAT (Golden Software Data). Antes de interpolar os pontos batimétricos, foi necessário incorporar na planilha os dados das margens e ilhas. Esses dados foram extraídos da digitalização da imagem do satélite Landsat 7 ETM+, órbita-

ponto 223-076, de 18/11/1999. As linhas e os polígonos digitalizados foram exportados, a partir do software Autodesk Map 2004, em formato DXF. Com o auxílio do software DXFXYZ2, este arquivo DXF foi convertido em um conjunto de dados de posição e altitude, que foram incorporados à planilha de dados batimétricos. A geração do mapa e do modelo batimétrico foi realizada no software Surfer 8.0 através da interpolação dos dados batimétricos e das margens, utilizando como método de interpolação a Triangulação com Interpolação Linear.

As amostras do material de fundo foram acomodadas em bandejas para secagem e, processadas pelo método de peneiramento (Suguio 1973).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

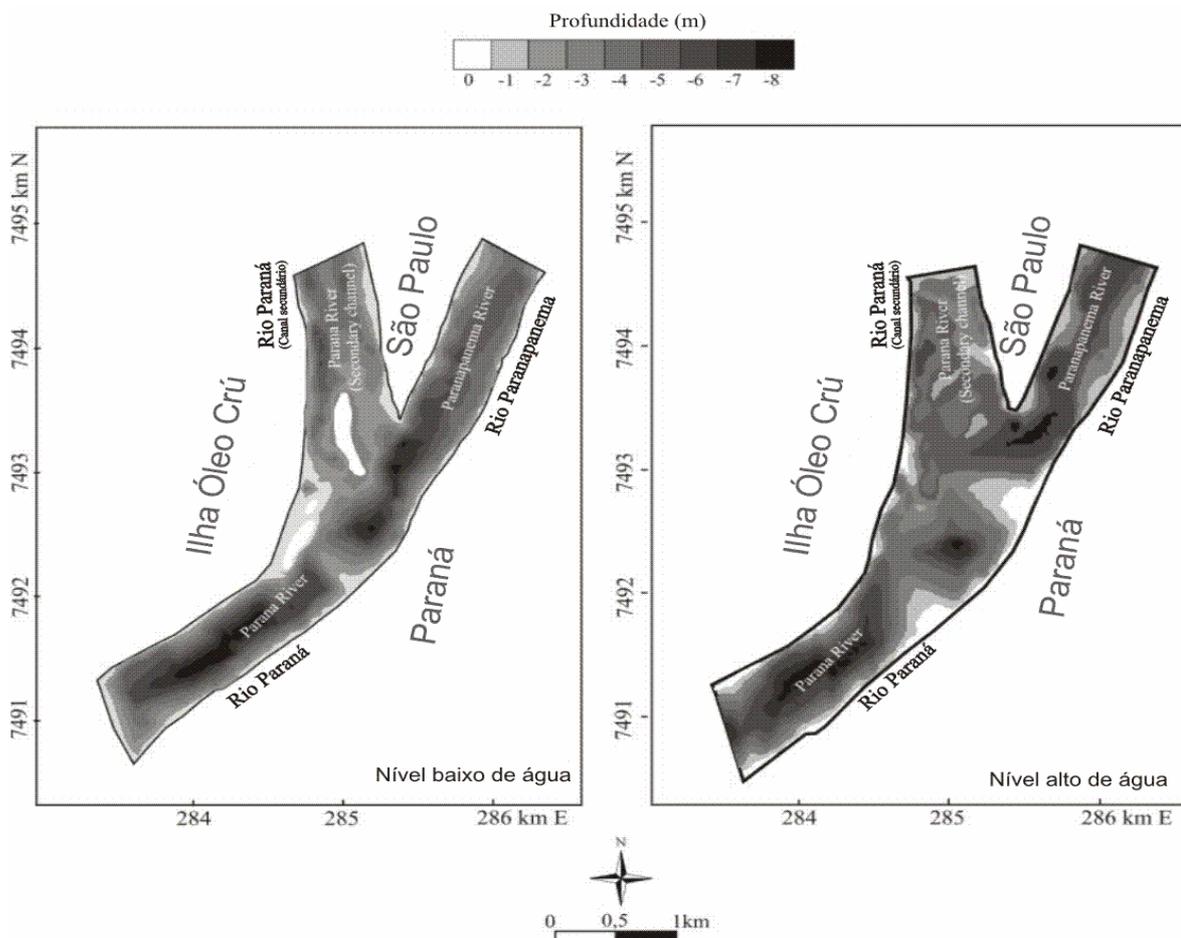
O rio Paraná, principal canal fluvial da bacia do rio Prata, percorre uma distância aproximada de 3.965 km, de sua nascente, na confluência dos rios Grande e Paranaíba, até sua foz, no estuário do rio da Prata (Stevaux, 1993). O trecho do rio Paraná a montante da confluência já vem sendo estudado desde a última década no tocante à carga suspensa (Crispim, 2001), regime fluvial (Souza Filho *et al.* 2004), erosão de ilhas e margens (Destefani, 2005, Borges, 2004) e impacto sócio-econômico devido à barragem de Porto Primavera. O rio Paranapanema surge de várias nascentes, na serra do Paranapiacaba e tem uma extensão total de 930 km em um desnível de 600 m. As nascentes do rio Paranapanema estão localizadas na serra Agudos Grandes, no Sudeste do estado de São Paulo, a aproximadamente 100 km da costa Atlântica, numa latitude de 24° 51' sul e longitude 48° 10' oeste, a cerca de 900m acima do nível do mar. Desenvolve-se no sentido geral leste-oeste e deságua no rio Paraná numa altitude de 239 m aproximadamente (Fig. 5 e 6). Apresentam em sua porção final, profundidades em torno de 4 metros, com o talvegue simetricamente posicionado.

Na região da confluência o rio Paraná apresenta um padrão típico anastomosado com um canal principal e vários canais secundários separados por ilhas (Stevaux, 1993). A confluência com o rio Paranapanema dá-se num canal secundário que contorna a margem esquerda da ilha Óleo Cru (Fig. 1). Esse canal apresentou profundidades médias em torno de 3 metros, com a presença de barras arenosas, muitas vezes aflorando em superfície, enquanto o canal do rio Paranapanema apresentou profundidades ligeiramente maiores, em torno de 4 metros, porém sem a presença de barras arenosas. Esta diferença de profundidade entre os dois canais, assim como a presença das barras, pode ser um fator importante na compreensão da dinâmica dos fluxos neste setor. Essa mesma situação foi

observada por Franco (2007) na foz do rio Ivai que atribuiu causas neotectônicas para o desnível entre os canais. Tectonismo de blocos basculantes foi também identificado por Fortes et al., (2005) na foz do rio Ivinhema, tributário da margem direita do rio Paraná,

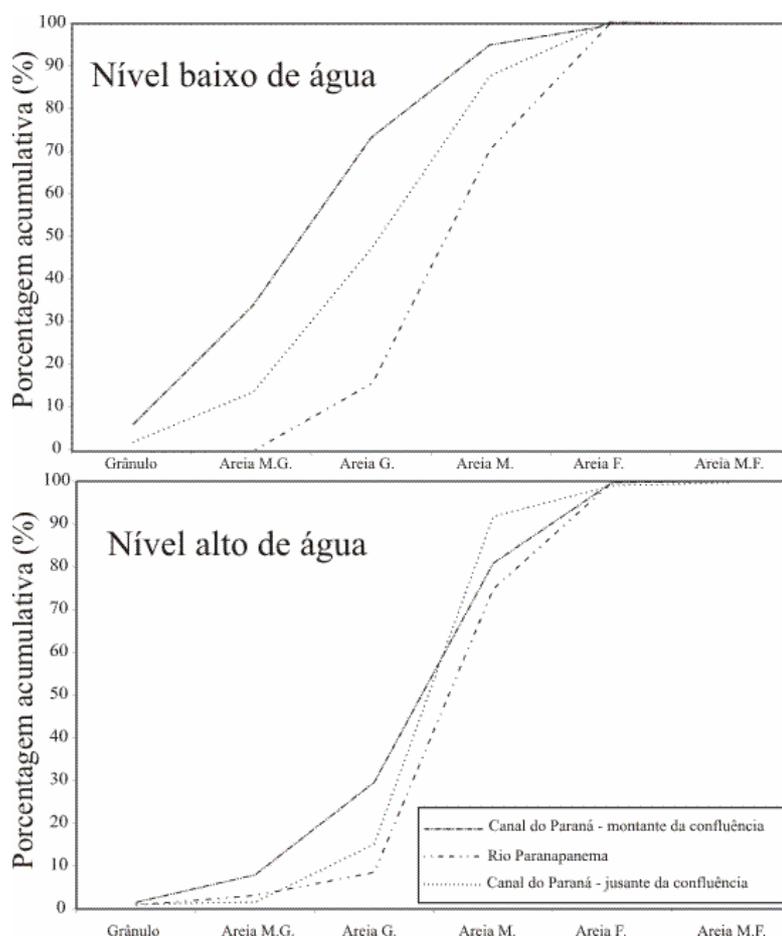
Na junção dos rios o encontro dos fluxos faz surgir poços de escavação (scour hole) e o canal receptor das águas do Paraná e do Paranapanema é composto por um segmento retilíneo, com profundidades em torno de 4 metros. O talvegue, inicialmente centralizado, faz um pequeno meandro e vai sendo progressivamente deslocado em direção à margem esquerda. A presença de algumas barras arenosas no segmento jusante do canal que percorre o lado esquerdo da ilha Óleo Cru reduz as profundidades para cerca de 3 metros, fazendo com que os fluxos sejam direcionados para o estreito canal que passa entre a margem esquerda e uma pequena ilha (Fig. 1e 5). Após a passagem por este estreito canal, os fluxos retomam o canal ao lado esquerdo da ilha Óleo Cru, onde as profundidades se mantêm em torno de 4 metros até encontrar com o canal principal do Rio Paraná.

Na segunda campanha (período de cheia), foi verificado que embora a maior vazão tenha alterado a profundidade e a velocidade do fluxo do canal, a morfologia e a carga de fundo praticamente não se alterou. A aplicação da razão de momento de fluxo (De Serres et al., 1999) indicou que o fluxo dominante durante o período de águas baixas foi o do rio Paranapanema. O inverso deu-se em águas altas quando o fluxo dominante passou a ser do o do canal do Paraná. Isso causou, ainda que suave, uma mudança significativa na morfologia do canal. Em águas baixas forma-se após a confluência um canal com talvegue bem definido e centralizado e que acompanha a direção do canal do rio Paranapanema (Fig. 5, esquerda). A morfologia é alterada no período de águas altas quando ocorre formação de poços de escavação (scour polls) na região da confluência e no trecho ligeiramente a jusante. Esse fato é acompanhado pela formação de um talvegue descontínuo com tendência a meandrante (Fig. 5 direita).



**Figura 5** – Mapa batimétrico gerado a partir dos dados coletados em dois momentos do regime hidrológico).

A carga sedimentar de fundo é predominantemente constituída de areia média a grossa. Tanto no período de vazante quanto no período de cheia, a competência dos canais mostrou-se inalterada, uma vez que não houve alteração expressiva do tamanho das partículas transportadas (Fig. 6). Nos locais onde ocorrem os poços de escavação não há deposição de sedimento sendo que em sua maioria foi constada o afloramento do substrato rochoso ou de depósitos de cascalho antigos.



**Figura 6** – Gráfico de concentração acumulada com amostras de material de fundo dos canais do rio Paraná. Observa-se uma redução no tamanho médio das partículas para o rio Paraná durante o período de águas altas. O material de fundo do Paranapanema praticamente não se altera.

## CONCLUSÃO

A confluência do Paranapanema com o Paraná é bastante particular no sentido de que os dois sistemas encontram-se intensamente represados, o que a diferencia de outras estudadas na mesma bacia: a do rio Ivaí (Franco, 2008) e a do rio Paraguai (Orfeo *et al.*, 2007). A dupla dominância do fluxo, ora do rio Paraná, ora de seu tributário contribui para que essa confluência tenha uma dinâmica morfológica muito mais intensa das esperadas para rios represados (Orfeo *et al.*, *op.cit.*). A formação de um talvegue contínuo e retilíneo que se altera totalmente devido a formação de poços de escavação em águas altas é *sui generis* na literatura e pode estar relacionado ao intenso controle da carga de fundo a que estão submetido ambos canais devido às represas de Porto Primavera (rio Paraná) e Rosana (Paranapanema). O canal secundário do Paraná apresentou um aporte de carga de fundo maior, provavelmente por causa de seu ajuste ao seu novo perfil de equilíbrio após o

fechamento da represa de Porto Primavera em 1999. No caso do Paranapanema, essa situação provavelmente já se tenha estabilizado, uma vez que a barragem de Rosana opera há mais de duas décadas.

Assim, o presente trabalho constituiu um primeiro ensaio de mapeamento batimétrico temporal (dois períodos do regime hidrológico do sistema) com o intuito de observar as alterações morfológicas da confluência. Apesar dos avanços tecnológicos concernentes aos equipamentos de medição e posicionamento, ainda existem algumas dificuldades a serem enfrentadas ao longo de um trabalho desta natureza. A falta de uma série contínua de dados sedimentométricos (suspensão e de fundo) impede a aplicação de equações da hidráulica, impossibilitando estimativas quantitativas mais precisas. Nesse cenário este trabalho deixa antever que a metodologia aplicada é extremamente eficaz nessas condições, embora produza informações de caráter qualitativo. Para o futuro, quando se dispuser de uma série histórica para o material hidrotransportado, a junção das duas metodologias (equações hidráulicas e mapeamento batimétrico temporal) deverá produzir uma excelente ferramenta de monitoramento e diagnose.

**Agradecimentos:** Esta pesquisa foi financiada pelo programa de ecologia de longa duração - PELD/CNPQ, do CT-HIDRO/CNPQ e pela FAPESP (proc. 04/14057-5). Os autores agradecem ao LABOGEF – laboratório de geologia e geografia física, da UFG – Universidade Federal de Goiás pelo empréstimo de alguns equipamentos utilizados nesta pesquisa.

## REFERÊNCIAS

ANA – Agência Nacional de Águas. Website: [www.ana.gov.br](http://www.ana.gov.br)

AXTMANN, E.V., CAIN, D.J., LUOMA, S.N. Effect of tributary inflows on the distribution of trace metals in fine-grained bed sediments and benthic insects of the Clark Fork river, Montana. *Environ. Sci. Technol.* 31, 1997, pp. 750–758.

BEST, J. L.; ROY, A. G. Mixing-layer distortion at the confluence channels of different depth, *Nature* 350, 1991, PP. 411 – 413.

BIRON, P., BEST, J.L., ROY, A.G. Effects of bed discordance on flow dynamics at open channel confluences. *J. Hydraulic Eng. ASCE* 122, 1996a, pp. 676 – 682.

BIRON, P., ROY, A.G., BEST, J.L. Turbulent flow structure at concordant and discordant open-channel confluences. *Exp.Fluids* 21, 1996b, pp. 437 – 446.

BORGES, C.Z. Erosão marginal no rio Paraná após a conclusão do reservatório da UHE Engenheiro Sérgio Motta (Porto Primavera) a jusante da barragem. Dissertação de Mestrado, Pós-graduação em Geografia, Universidade Estadual e Maringá, Maringá, 2004

- CRISPIM, J. Q. Alterações na hidrologia do canal após a construção do reservatório a montante: O caso da Usina Hidrelétrica Engenheiro Sérgio Motta (Represa de Porto Primavera) rio Paraná. Dissertação de Mestrado, Pós-Graduação em Ecologia de Ambientes Aquáticos Continentais. Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2001.
- DE SERRES, BIRON, ROY, A.G. Three-dimensional structure of flow at a confluence of river channels with discordant beds. *Geomorphology*, 26:313-335, 1999.
- DESTEFANII, E. V. *Regime hidrológico do Rio Ivaí – PR*. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Pós-Graduação Mestrado em Geografia, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2005.
- FORTES, E., STEVAUX, J.C. ; VOLKMER, S. Neotectonics and channel evolution of the lower Ivinhema River: A right-bank tributary of the upper Paraná River, Brazil. *Geomorphology* 70, 2005, pp. 325-338.
- FRANCO, A.A. Análise da dinâmica de fluxo e morfologia na confluência dos rios Ivaí e Paraná, PR/MS. Dissertação de mestrado, Mestrado em Análise Geoambiental, Pós-Graduação em Análise Geoambiental, Universidade Guarulhos, Guarulhos 2007.
- GAUDET, J. M.; ROY, A. G. Effect of bed morphology on flow mixing length at river confluences, *Nature* 373, 1995, pp. 138 – 139.
- MARTINS, D. P. Dinâmica das Formas de Leito e Transporte de Carga de Fundo no Alto Rio Paraná. Dissertação (Programa de Pós-Graduação Mestrado em Geografia) – Departamento de Geografia, Universidade Estadual de Maringá, 2004.
- ORFEO, O., PARSONS, D., BEST, J., LANE, S., HARDY, R.; KOSTACHUCK, R. Wash load dispersion at a large South American confluence: the Paraná and Paraguay junction. Workshop on morphodynamic processes in large lowland rivers. Universidad Nacional del Litoral & National Center for Earth-surface Dynamics, Santa Fé, Argentina, Abstracts, 2007.
- RHOADS, B. L.; KENWORTHY, S. T. Flow Structure at an Asymmetrical Stream Confluence, *Geomorphology* 11, 1995, pp. 273 – 293.
- SOUZA FILHO, E. E. de. Aspectos da Geologia e Estratigrafia do Rio Paraná entre Porto Primavera (MS) e Guaira (PR). Tese de Doutorado. Instituto de Geociências – USP, São Paulo,
- STEVAUX, J. C. O Rio Paraná: Geomorfogênese, Sedimentação e Evolução Quaternária no seu Curso Superior (Região de Porto Rico – PR), Tese de Doutorado, Instituto de Geociências – USP, São Paulo, 1993.
- SUGUIO, K., *Introdução Sedimentologia*. Edgard Blüsher, 1973.