

## **Características Hidrosedimentares e Variação da Geomorfologia do Canal do Rio Ivaí - PR em Seu Baixo Curso**

Sidney Kuerten<sup>1</sup>

Manoel Luiz dos Santos<sup>2</sup>

1- IGCE/UNESP- Rio Claro - sidneykuerten@yahoo.com.br

2- PGE/UEM – mlldsantos@uem.br

**Abstract:** Ivaí river flows from southeast to northwest in Paraná state (south Brasil), it is about 685 km long to its confluence with Parana river. The lower course channel shows a meandering style, incised into sandstones of Caiuá Formation and into recent alluvial deposits. This is the only river in Paraná State which never has been affected by engineering modifications, being a good example of fluvial geomorphologies analysis and studies, in this case non-existent.

This paper presents the main results obtained from the study of an area situated in the lower channel of Ivaí River, in Tapira, Herculândia and Icaraíma Municipalities (Paraná State). The geomorphology of the channel presents large relation with the dynamic flow and bad load sediments, which varies in different fluvial discharges.

**Keywords:** Ivaí river, velocity of flow, bad load, fluvial geomorphology.

**Resumo:** O rio Ivaí nasce no sudeste do estado do Paraná e flui em sentido NW por 685 km até sua foz no rio Paraná, município de Icaraíma. Em seu baixo curso o canal flui com padrão meandrante encaixado em arenitos da Formação Caiuá e sedimentos inconsolidados de sua planície aluvial. Esse é o único rio do estado que até o presente momento não possui modificações por obras de engenharia em seu curso natural, o que o torna um importante sitio para estudos de geomorfologia fluvial, neste caso, quase inexistentes. Neste trabalho observou-se que a geomorfologia do canal apresenta forte relação com a dinâmica do fluxo e a carga de sedimentos de fundo que variaram segundo diferentes condições de vazão.

**Palavras-chave:** rio Ivaí, velocidade de fluxo, sedimentos de fundo, geomorfologia fluvial.

### **1. Introdução**

Os estudos das características e dinâmica fluvial possuem grande importância no campo da geomorfologia e hidráulica fluvial. As informações geradas por estes trabalhos fornecem subsídios para elucidar questões relacionadas aos problemas ambientais existentes na bacia hidrográfica. Os resultados obtidos podem também ser utilizados como importantes instrumentos de planejamento e gestão de bacias hidrográficas.

Nesse contexto a geometria dos canais fluviais resulta da interação entre fatores autóctones e alóctones que constroem e moldam ao longo do tempo diferentes feições geomorfológicas. De acordo com Leopold et al. (1957) as principais variáveis que atuam nos ajustes morfológicos e no padrão dos canais decorrem da velocidade do fluxo, carga e tamanho dos sedimentos, irregularidades do leito, profundidade, largura e declividade do canal. Para este autor a carga de fundo tem relação direta com geometria hidráulica do canal. Alterações na carga de fundo podem acarretar o desequilíbrio do perfil longitudinal do rio.

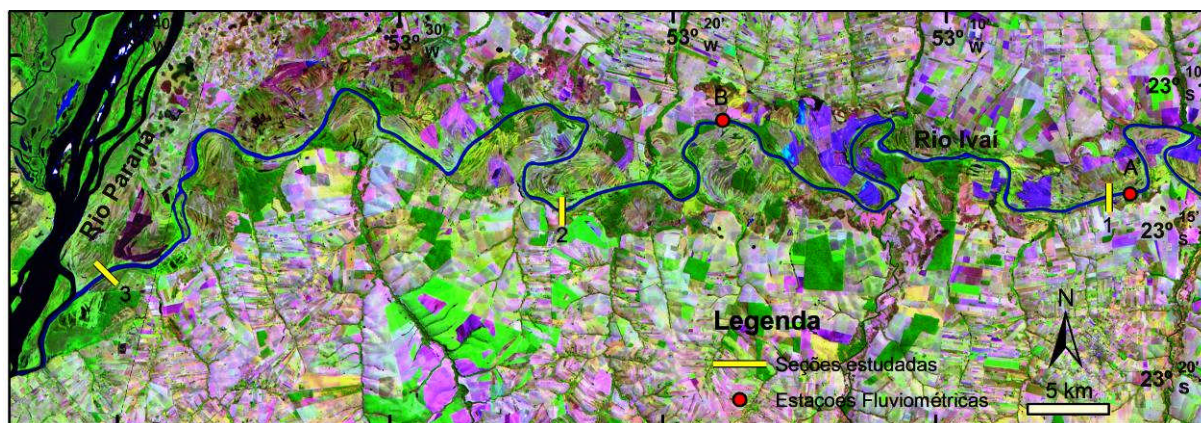
Schumm (1960, 1963, 1967, 1968) e Miall (1977, 1978, 1992) consideram que a forma de canal seja determinada pela granulometria e tipo da carga detrítica por ele transportada, valores estes intimamente relacionados à velocidade e dinâmica do fluxo.

É de consenso afirmar que as perturbações ocorridas em qualquer uma dessas variáveis desencadeiam o ajuste das formas e dinâmica do canal, no qual buscará alcançar um novo ponto de equilíbrio (Christofolletti, 1981; Richard, 1982; Fernandez, 1990). Por tanto, o monitoramento das condições físicas e biológicas do ambiente fluvial serve como indicador do efeito das alterações produzidas na área da bacia, principalmente as alterações decorrentes de atividades antrópicas.

Nesse contexto o presente trabalho tem por objetivo apresentar as características da dinâmica de fluxo e a morfologia do leito do canal do rio Ivaí-PR em três seções transversais situadas no curso inferior. Os dados analisados foram obtidos durante seis trabalhos de campo realizados entre os meses de março a dezembro de 2004.

A área de estudo localizada no baixo curso do rio Ivaí está situada entre os municípios de Tapira, Herculândia e Icaraíma - PR dentre os meridianos  $52^{\circ}54'16''$  W e  $53^{\circ}45'20''$  W e paralelos  $23^{\circ}07'41''$  S e  $23^{\circ}21'11''$  S (Figura).

A escolha do rio Ivaí para esse trabalho deve-se ao fato que este rio é o único no estado do Paraná que até o presente momento não apresenta obras de engenharia em seu curso. Portanto, trata-se de um sistema fluvial que possui grande parte de suas características físicas ainda em estado natural, constituindo-se dessa forma um importante objeto de estudo e fonte de valiosas informações para a geomorfologia fluvial.



**Figura 1** – Imagem de localização de área de estudo (LandSat 7 - ETM+ - 224/76 e 223/76 – R5G4B3 – 10/08/2001). Em destaque as seções de estudo: 1 – Tapira; 2 – Herculândia; 3 – Icaraíma. Estações fluviométricas: A – Tapira Jusante (cód. 64689005); B – Porto Taquara (cód. 64693000).

## 2. Contexto regional

O rio Ivaí possui nascentes na Serra da Esperança no sudeste do estado do Paraná. Após a confluência dos rios dos Patos e São João, próximo à cidade de Ivaí, o rio recebe o nome homônimo a este município. Seu canal corta o estado paranaense em direção NW e

deságua no rio Paraná próximo município de Icaraíma – PR após 685 km, totalizando uma bacia de drenagem com área de 35.845km<sup>2</sup>.

O rio Ivaí é um típico rio de planalto e seu curso pode ser dividido em três compartimentos: alto, médio e baixo curso. Os cursos alto e médio são marcados pela grande declividade (77 e 30 cm/km), canal encaixado com presença de muitos saltos e corredeiras. A presença de formas aluviais ocorre somente no baixo curso, que passa a apresentar uma planície fluvial bem desenvolvida, gradiente de declividade reduzido (6cm/km) e poucas corredeiras.

Ao longo do curso do rio Ivaí o canal corta diferentes litologias. No alto curso o rio flui sobre rochas sedimentares paleozóicas (Grupo Passa Dois) e mesozóicas (Grupo São Bento) da Bacia do Paraná. Em seu curso médio o substrato é formado pelas rochas basálticas da Formação Serra Geral (Juro-cretáceo). E no baixo curso o canal flui sobre um substrato de arenitos da Formação Caiuá (K).

O clima na bacia hidrográfica do Rio Ivaí é marcado por dois períodos bem definidos, um chuvoso e outro seco. Segundo Nery et al. (1997) os meses de maior precipitação estão concentrados no trimestre dezembro/janeiro/fevereiro, enquanto os meses mais secos são definidos pelo trimestre junho/julho/agosto. A precipitação média anual na bacia hidrográfica é de 1609mm (SUDERHSA, dados de 1974 a 2001), enquanto que no baixo curso do Ivaí a precipitação média é de 1300mm e as temperaturas oscilam entre 22° C no verão e 18° C (ou menos) durante o inverno (PARANÁ, 1987).

### **3. Materiais e métodos**

Foram realizados seis trabalhos de campo distribuídos entre dez meses (março a dezembro de 2004) com o objetivo de coletar informações em diferentes condições de fluxo.

Foram selecionados três pontos de coleta situados ao longo de 100 km no baixo curso do rio Ivaí. O primeiro localizado no município de Tapira, num trecho retilíneo do canal. O segundo localizado a jusante no município de Herculândia, em um trecho de meandro. E o terceiro localizado próximo à foz do rio Ivaí, num trecho retilíneo.

Em cada ponto foram traçados perfis transversais ao canal com levantamento batimétrico realizado com Ecossonda/GPS Furuno GP 1650-F, ligada em computador portátil. Os dados foram processados pelo programa Fugawi3 conforme metodologia descrita por Meurer (2003) e Martins (2004).

Em cada seção transversal foi estabelecido três pontos para coleta de dados: velocidade do fluxo medida com molinete fluviométrico em nove pontos distribuídos ao longo coluna d'água (os valores obtidos foram interpolados pelo método de curvatura mínima com obtenção de iso-valores de velocidade); coleta de água realizada com garrafa de Van Dorn (para obtenção de concentração de carga suspensa); coleta de sedimentos de fundo obtidos por amostrador de mandíbula do tipo Van Veen (analisados conforme metodologia de Orfeo (1995)).

#### 4. Discussão e resultados

O rio Ivaí em seu baixo curso apresenta padrão meândrico encaixado com índice de sinuosidade de 1,7. Neste setor o canal está fortemente encaixado em arenitos da Formação Caiuá, com ocorrência de corredeiras formadas por afloramentos do substrato e conglomerados limonitizados. Em direção a jusante a altitude, o gradiente de declividade e a altura das margens diminuem enquanto que a largura do canal e planície aluvial aumentam (Tabela 1).

	Tapira		Herculândia		Icaraíma	
Altitude	250		237		230	
Declividade (cm/km)	6,25		8		4,258	
Altura margens (m)	14		10		3	
Largura média (m)	150		165		250	
Largura planície (km)	3 a 5		8		15	
Tp. fluxo ( <i>Reynold</i> )	Turbulento		Turbulento		Turbulento	
Tp. de escoamento ( <i>Froude</i> )	Lento		Lento		Lento	
Tp. de leito	Móvel		Móvel		Rochoso e móvel	
Carga de fundo	Af. e Am.		Af. e Ag.*	Af. e Am.**	Am. e Ag.*	Af. e Am.**
Carga suspensa (mg/L)	23,2*	7,76**	23,2*	8,93**	18,87*	7,89**

**Tabela 1** – Dados da geometria, hidrologia e sedimentologia da área de estudo. Granulometria Af. (Areia fina); Am. (Areia média); Ag. (Areia grossa). Os valores destacados representam respectivamente: (\*) dados relativos ao mês de alta vazão (junho); (\*\*) dados relativos ao mês de menor vazão (setembro).

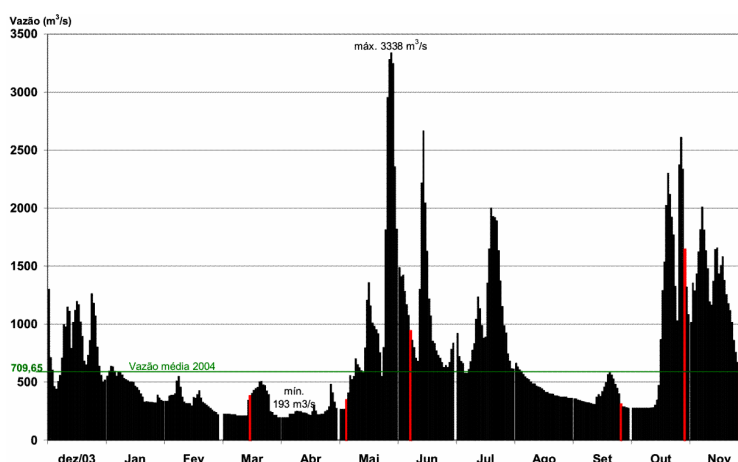
Em Tapira, o canal apresenta perfil assimétrico com talvegue localizado próximo à margem direita. Nesta seção transversal foi identificado leito móvel constituído principalmente por areias de granulometria fina e média. No período estudado a concentração média de sedimentos suspensos foi de 23,2 mg/L (Tabela 1).

Em Herculândia o canal possui perfil assimétrico com talvegue localizado próximo a margem esquerda. O leito também apresenta natureza móvel com granulometria constituída por areias finas a grossas e carga suspensa média de 23,2 mg/L (Tabela 1).

Próximo à foz, a seção transversal apresenta canal ligeiramente assimétrico com talvegue localizado ao centro pouco deslocado para a direita. Neste ponto foram identificadas duas situações de leito, um móvel próximo à margem esquerda com areias de granulometria fina a média e outro rochoso próximo a margem direita. A concentração média de sedimentos suspensos verificada neste ponto foi de 27,04 mg/l (Tabela 1).

O rio Ivaí apresentou uma grande variação de vazões, o que impede uma caracterização de seu regime (cheias e vazantes), fato este também documentado por de Biazin (2005) e Destefani (2005).

As vazões observadas durante os meses de março, maio e setembro caracterizam baixo fluxo com concentração de água no talvegue indicando um regime de vazante. Em junho, outubro e novembro foram registrados os maiores valores de vazão, com fluxos quatro vezes maiores que os outros períodos, indicativo de um regime de cheia. Na figura 2 os dados da estação fluviométrica de Tapira também mostram variação de vazões ocorridas durante o período estudado.



**Figura 2** – Variações de vazão (estação fluviométrica de Tapira) para o ano de 2004. Os valores destacados em vermelho representam pontualmente as vazões observadas durante os trabalhos de campo.

Durante o período estudado o fluxo foi classificado com escoamento lento, não uniforme e turbulento (de acordo com os números de *Froude* e *Reynolds*) com variabilidade tridimensional. A dinâmica do fluxo no baixo curso do Ivaí apresentou grande variação com forte relação à variação da vazão e a morfologia do leito.

De acordo com Morisawa (1968), Leopold (1995) e Nanson (2002) as maiores velocidades observadas em canais fluviais abertos concentram-se próximas à superfície e diminuem próximas ao fundo e margens. Para Knighton (1998) a dinâmica do fluxo também é

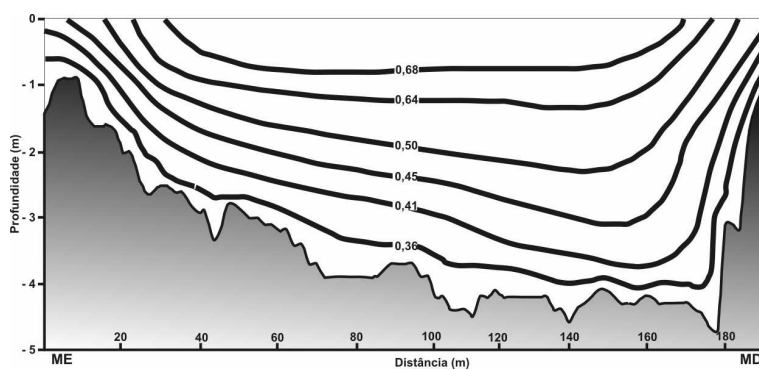
influenciada pela geometria do canal. Segundo este autor em canais simétricos as máximas velocidades localizam-se abaixo da superfície e centralizada no canal.

Em canais assimétricos as maiores velocidades tendem a se deslocar do centro do canal para áreas com maiores profundidades. Os setores de máxima turbulência elevam-se na porção mais rasa e diminuem para as maiores profundidades, dinâmica também observada nas seções transversais estudadas no rio Ivaí.

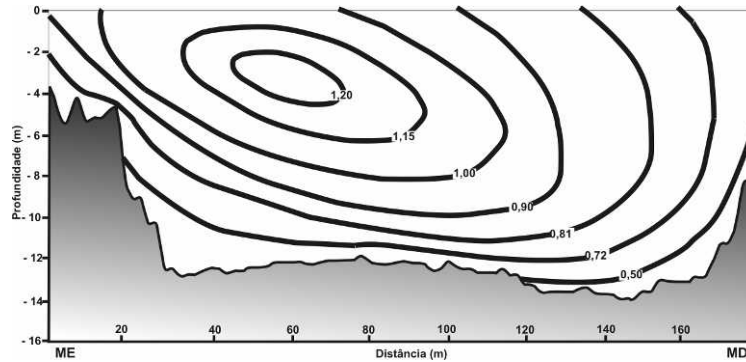
Em Tapira o setor com maior energia concentrou-se próximo à margem direita em subsuperfície. Em baixas vazões a velocidade do fluxo tende a ser homogênea com distribuição centralizada e menor energia próximo ao leito e margens (Figura 3). Em altas vazões o fluxo apresenta maior energia próximo ao centro e margem esquerda do canal conforme observado durante o trabalho desenvolvido em novembro (Figura 4).

Em fluxos com menor velocidade o leito do canal em Tapira apresentou remobilização de sedimentos e morfologia com aspecto erosivo conforme pode ser visto na figura 3. Os sedimentos amostrados apresentaram maior grau de seleção indicando o trabalho do fluxo na disposição destes ao longo do perfil transversal.

Sob maior vazão a morfologia do canal em tapira apresentou uma suavização das formas do leito (figura 4), indicativa de deposição e mobilidade de sedimentos no sentido longitudinal. Os sedimentos amostrados apresentaram um pobre grau de seleção indicando o transporte e deposição multimodal dos sedimentos contidos em fluxo mais turbulento.



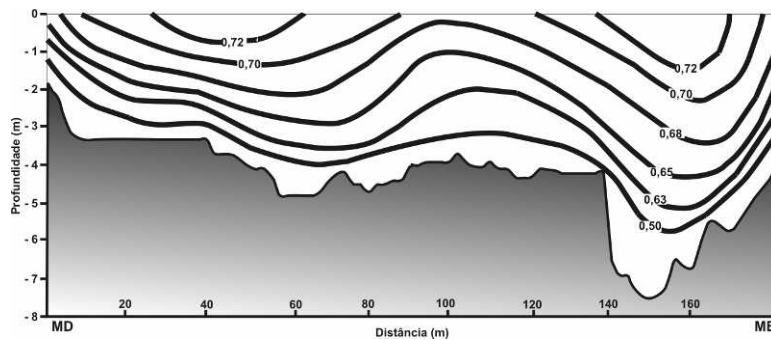
**Figura 3** – Morfologia do leito em perfil transversal do rio Ivaí em Tapira (março). Isoléneas de velocidade do fluxo com maior velocidade registrada em subsuperfície próxima ao centro do canal.



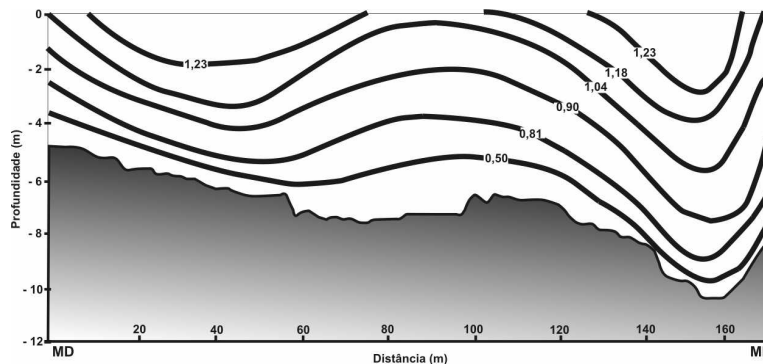
**Figura 4** – Morfologia do leito em perfil transversal do rio Ivaí em Tapira (novembro). Isolíneas de velocidade do fluxo com maior velocidade registrada em subsuperfície próxima a margem esquerda e centro do canal .

A jusante em Herculândia o fluxo apresenta forte relação à geometria assimétrica do canal com concentração de maior energia próxima ao centro e margem esquerda, indicativa de fluxo helicoidal situado em trecho meândrico.

A relação menor velocidade do fluxo, erosão do leito e disposição de sedimentos bem selecionados também foi verificada nesta seção transversal. Na figura 5 o leito exhibe formas acentuadas e talvegue abrupto próximo a margem. Em situação contrária, durante alta vazão foi identificada uma suavização das formas do leito e o preenchimento do talvegue (figura 6) com sedimentos moderadamente selecionados.

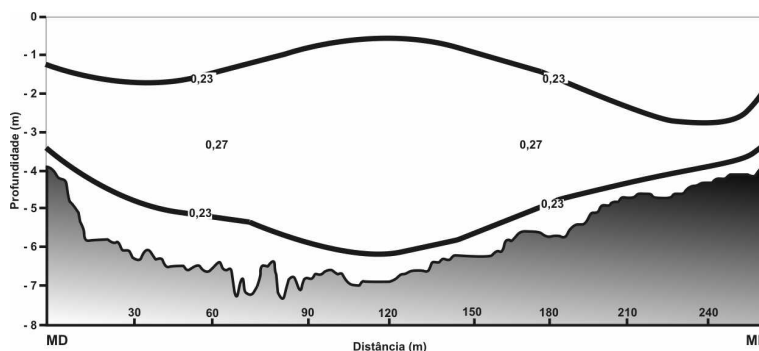


**Figura 5** – Morfologia do leito em perfil transversal do rio Ivaí em Herculândia (março). Isolíneas de velocidade do fluxo com maior velocidade registrada próxima a margem esquerda junto ao talvegue.

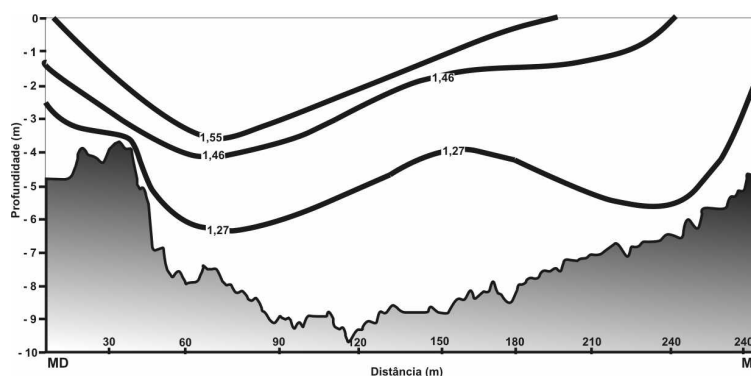


**Figura 6** – Morfologia do leito em perfil transversal do rio Ivaí em Herculândia (junho). Isolíneas de velocidade do fluxo com maior velocidade registrada em subsuperfície próxima ao centro do canal.

Próximo a foz em Icaraíma o fluxo é fortemente influenciado pela dinâmica da confluência com o rio Paraná. Durante baixas vazões a velocidade do fluxo apresentou distribuição homogênea com maior energia localizada em subsuperfície ao centro do canal (Figura 7). Em alta vazão as maiores velocidades concentram-se próxima a margem direita (Figura 8).



**Figura 7** – Morfologia do leito em perfil transversal do rio Ivaí em Icaraíma (março). Isolíneas de velocidade do fluxo com maior velocidade registrada próxima a margem esquerda junto ao talvegue.



**Figura 8** – Morfologia do leito em perfil transversal do rio Ivaí em Icaraíma (novembro). Isolíneas de velocidade do fluxo com maior velocidade registrada próxima a margem esquerda junto ao talvegue.

Sob menor velocidade do fluxo esta seção transversal apresentou uma morfologia de leito suavizada com sedimentos de fundo moderadamente selecionado. Em períodos de maior vazão e fluxo com maior velocidade o leito apresentou feições erosivas acentuadas e sedimentos de fundo com pobre grau de seleção.

Longitudinalmente, a velocidade do fluxo apresentou comportamento influenciado pelo diferente gradiente de declividade das seções estudadas. Em Herculândia identificou-se a seção com maior gradiente de declividade e, por conseguinte apresentou as maiores velocidades, seguidas da seção de Tapira e de Icaraíma. Em Icaraíma, a dinâmica do fluxo é influenciada também pelo fenômeno de barramento provocado pelo alto fluxo do canal secundário do rio Paraná, com exceção de momentos em que a vazão do rio Ivaí é superior a



vazão do canal secundário do rio Paraná, fenômeno verificado na campanha realizada em outubro de 2004.

O fenômeno de barramento provoca o surgimento local de uma ambiente de deposição de sedimentos, dinâmica também observada por Biazin (2005). Nesta área o efeito causado pelo represamento do fluxo pode causar refluxo na corrente do rio Ivaí e provocar (em casos extremos) o extravasamento do fluxo para a planície. No estudo de Biazin (2005) e Barros (2006) este fenômeno também foi documentado, estas autoras descrevem também o fenômeno contrário quando um maior fluxo do rio Ivaí provoca o represamento parcial do fluxo do canal secundário do rio Paraná na confluência com o rio Ivaí.

## **5. Conclusões**

As feições geomorfológicas analisadas do canal do rio Ivaí em seu baixo curso apresentam grande relação com a dinâmica do fluxo e da carga de sedimentos de fundo. A variabilidade de débitos do rio Ivaí provoca uma constante alteração na morfologia do canal.

Durante baixas vazões, o leito do canal em Tapira e Herculândia apresentou topografia mais irregular e saliente, correlacionadas a uma dinâmica mais homogênea erosiva do fluxo e a presença de sedimentos com bom e moderado grau de seleção. Próximo à foz do rio, em Icaraíma, durante baixo fluxo a morfologia do canal apresentou comportamento contrário as seções estudadas a montante, em seu leito de fundo foram observadas formas suavizadas e sedimentos moderadamente selecionados.

Sob condições de altas vazões e fluxo mais turbulento a morfologia do canal nas seções de Tapira e Herculândia tendem a ser suavizada por sedimentos com baixo grau de seleção, indicativo de maior transporte e movimento longitudinal do material de fundo. Em alto fluxo, a morfologia do leito a jusante apresentou formas irregulares e sedimentos com pobre seleção, apresentado uma dinâmica fluvial erosiva.

## **AGRADECIMENTO**

À Fundação Araucária pelo financiamento da pesquisa “Regime hidrológico do rio Ivaí em seu curso inferior: ênfase à análise geoambiental”, que possibilitou a aquisição de equipamentos e o financiamento dos trabalhos de campo dos quais decorre este trabalho.

## **REFERENCIAS**

BARROS, C. S. 2006. **Dinâmica sedimentar e hidrológica na confluência do rio Ivaí com o rio Paraná, município de Icaraíma** – Pr. Maringá, Dissertação de Mestrado em Geografia, Departamento de Geografia, Universidade Estadual de Maringá.

BIAZIN, P.C. 2005. **Característica Sedimentar e Hidrológica do rio Ivaí em sua foz com o rio Paraná, Icaraíma – Pr.** Maringá, Dissertação de Mestrado em Geografia, Departamento de Geografia, Universidade Estadual de Maringá.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia fluvial**. São Paulo: E. Blücher, 1981.

DESTEFANI, E. V. **Regime hidrológico do rio Ivaí – PR**. 2005. Dissertação (Mestrado em Análise Regional e Ambiental) - Departamento de Geografia, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2005.

FERNANDEZ, O.V. Q. . 1990. **Mudanças no canal fluvial do rio Paraná e processos de erosão das margens da região de Porto Rico, PR**. Dissertação de Mestrado em Geociências, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, UNESP, Rio Claro.

KNIGHTON, D. **Fluvial forms and processes – a new perspective**. New York: Arnold, 1998.

LEOPOLD, L. B. & WOLMAN, M. G. 1957. River Channel patters, braided, meandering and straight. U. S. **Geol. Surv. Professional Paper**, 282-B, 85 p.

LEOPOLD, L. B.; WOLMAN, M. G.; MILLER, J. P. 1995. **Fluvial Processes in geomorphology. Republication**, Dover Publications, New York, 522p.

MARTINS, D. P. (2004). **Dinâmica das Formas de Leito e Transporte de Carga de Fundo no Alto Rio Paraná**, Maringá, Dissertação (Pos-graduação em Geografia) – Centro de Ciências Humanas, Letras e Artes, Universidade Estadual de Maringá.

MIALL, A. D. A review of the braided-river depositional environment. **Earth-Sci. Rev.**, no.13, p. 01-62, 1977.

MIALL, A. D. Lithofacies types and vertical profile models in braided river deposits ; A summary. **Fluvial Sedimentology**. A.D. MIALL (Ed.). Canadian Soc. of Petrol Geol. Memoir no.5, p. 597-604, 1978.

MIALL, A.D. Alluvial Deposits. In : Walker, R.G. e JAMES, n. P. (eds.). **Facies Models Response to Sea Level change**. Geol. Assoc. of Canada, p.409, 1992.

MEURER, M., 2003. Mapeamento Batimétrico de Reservatórios de Geração de Energia Elétrica, In: **ANAIS Simpósio brasileiro de geografia física aplicada**, 10.,2003, Rio de Janeiro

MORISAWA, M. 1968. **Streams, their dynamics and morphology**. McGraw-Hill Boock Company, New York, 175p.

NANSON, G. Fluvial Geomorphology and river management. **GEOS**, University of Wollongong, School of Geosciences, no. 321, p. 65, 2002.

NERY, J.T. ANDRADE, A.R.de, CARFAN, A.C. Relação da precipitação na bacia do ivaí com a variabilidade interanual. In: **Anais X – Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada**, 2003; Rio de Janeiro; BRASIL. Disponível em: <http://geografia.igeo.uerj.br/xsbgfa/cdrom/eixo3/3.3/124/124.htm>

ORFEO, O. **Sedimentología del río Paraná em el área de confluência com el río Paraguay**. 1995. Tesis (Doctoral)-Univ. Nacional de La Plata, Facultad de Ciências Naturales y Museo, La Plata, Argentina, 1995.

PARANÁ. Secretaria de Estado da Agricultura e do Abastecimento. Instituto de Terras, Cartografia e Floresta. **Atlas do estado do Paraná**. Curitiba: UFPR, 1987.

RICHARD, K. River. 1982. **Forms and processes in alluvial channels**. New York: Methuen e Co. (Ed.), 358p.

SCHUM S. A 1960. The shape of alluvial channels in relation to sediment type. **U. S Geol Surv. Prof. Pap.** , 352 B: 17-30.

SCHUMM, S. A. 1963. A tentative classification of alluvial river channels. **U. S. Geol. Surv. Circ.** 477 p..

SCHUMM, S. A. 1968. River Adjustment to Altered Hidrologic Regimen-Murrumbidgee River and paleochannels, Australia, U.S. Geol. Survey Prot. Paper 598, 65p.

SCHUMM, S. A. 1977. **The fluvial system**. Wiley, Chishester, 338p.