

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS HUMANAS, LETRAS E ARTES
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

VANDERLEI GRZEGORCZYK

GEOMORFOLOGIA DAS CONFLUÊNCIAS DO ALTO CURSO DO RIO PARANÁ,
UM ESTUDO DOS RIOS: IVAÍ-PR, PIQUIRI-PR E IVINHEMA-MS

MARINGÁ – PR
2016

VANDERLEI GRZEGORCZYK

GEOMORFOLOGIA DAS CONFLUÊNCIAS DO ALTO CURSO DO RIO PARANÁ,
UM ESTUDO DOS RIOS: IVAÍ-PR, PIQUIRI-PR E IVINHEMA-MS

Tese de Doutorado apresentada a
Universidade Estadual de Maringá, como
requisito parcial para obtenção do grau de
Doutor em Geografia, área de
concentração: Análise Regional e
Ambiental, linha de pesquisa: Análise
Ambiental

Orientador: Prof. Dr. Manoel Luiz dos
Santos

MARINGÁ – PR

2016

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

G894g	<p>Grzegorzcyk, Vanderlei</p> <p>Geomorfologia das confluências do alto curso do rio Paraná, um estudo dos rios: Ivai-PR, Piquiri-PR e Ivinhema-MS / Vanderlei Grzegorzcyk. - - Maringá, 2016.</p> <p>146 f. : il. color. figs., quadros, tabs.</p> <p>Orientador: Prof. Dr. Manoel Luiz dos Santos.</p> <p>Tese (doutorado)- Universidade Estadual de Maringá, Centro de Ciências Humanas, Letras e Artes, Departamento de Geografia, Programa de Pós-Graduação em Geografia, 2016.</p> <p>1. Confluência de rios. 2. Canais fluviais. 3. Dinâmica hidrológica. 4. Geomorfologia fluvial. 5. Rios Ivai-PR - Piquiri-PR - Ivinhema-MS - Dinâmicas fluviais. I. Santos, Manoel Luiz dos, orient. II. Universidade Estadual de Maringá. Centro de Ciências Humanas, Letras e Artes. Departamento de Geografia. Programa de Pós-Graduação em Geografia. III. Título.</p> <p>CDD 21. ed. 551.483</p>
-------	--

GEOMORFOLOGIA DAS CONFLUÊNCIAS DO ALTO CURSO DO RIO PARANÁ,
UM ESTUDO DOS RIOS: IVAÍ-PR, PIQUIRI-PR E IVINHEMA-MS

Tese de Doutorado apresentada a Universidade Estadual de Maringá, como requisito parcial para obtenção do grau de Doutor em Geografia, área de concentração: Análise Regional e Ambiental, linha de pesquisa: Análise Ambiental

Aprovada em **02 de setembro de 2016.**

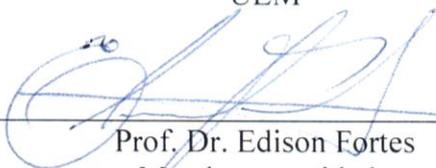
BANCA EXAMINADORA



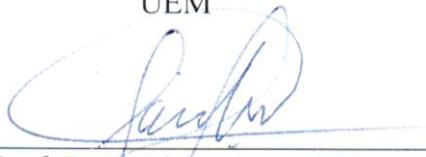
Prof. Dr. Manoel Luiz dos Santos
Orientador - UEM



Prof. Dr. Edvard Elias de Souza Filho
Membro convidado
UEM



Prof. Dr. Edison Fortes
Membro convidado
UEM



Prof. Dr. Paulo Cesar Rocha
Membro convidado
UNESP



Prof. Dr. Oscar Vicente Quinonez Fernandez
Membro convidado
UNIOESTE

DEDICO

A Deus, que nos criou e foi criativo nesta tarefa. Que nos deu força para superar as dificuldades ao longo de toda a pesquisa. Que nas horas mais difíceis nos proporcionam caminhos que no levam a construir um mundo melhor basta crer e ele esta sempre a nosso lado.

AGRADECIMENTOS

A minha esposa, Suelene, que sempre acreditou em mim, apoiando, sendo compreensiva nas minhas ausências, incentivando-me naqueles momentos mais difíceis.

As minhas filhas, Ana Carolina e Giovana, que amo muito e que tiveram que conviver com minhas ausências, nervosismo e tempo que deixei de dedicar a elas, mas nunca deixaram de me amar.

Ao Prof. Dr. Manoel Luiz dos Santos, pela orientação, amizade iniciada há muito tempo, incentivo paciência, confiança e oportunidade na realização deste trabalho.

Ao Prof. Dr. Nelson Vicente Lovatto Gasparetto, amigo e incentivador.

Ao Prof. Prof. Dr. Edvard Elias de Souza Filho, que proporcionou muitas contribuições a este trabalho.

Ao Prof. Dr. José Candido Stevaux, com o apoio, através dos equipamentos que sempre se colocou à disposição.

Ao Prof. Dr. Paulo Cesar, pelos apontamentos, contribuições e incentivo durante a qualificação.

A Rafaela Harumi Fujita, incentivadora, amiga, instrutora nos meus primeiros passos no laboratório e nos equipamentos.

Aos amigos do Grupo de Estudos Multidisciplinares do Ambiente (Gema), Everton, Vitor, Ruan, Dayane, Sabrina e Michael, que me ajudaram a realizar os trabalhos de campo, chegando ao final de cada jornada, muitas vezes, exaustos.

Aos demais alunos e participantes do Gema – Marta Sala, Carina, Karine, André, Felipe, Danilo, Eduardo, Bruno Camolezi, Gariela, Daiany, Ricardo, Anderson, Isabel, Alma, Fernando entre outros pela companhia e coleguismo.

Ao Gema, por disponibilizar seus laboratórios e equipamentos necessários para realização desta pesquisa.

Ao Programa de Pós-graduação em Geografia da Universidade Estadual de Maringá, em especial à secretária Mirian, pelo carinho, presteza, colaboração e amizade, dedicação que transcende às obrigações funcionais.

Ao amigo Carlos Henrique Graça, pela ajuda na elaboração dos mapas.

A todos os professores, funcionários e demais colegas que integram o GEMA, pelas contribuições, sejam elas frutos das discussões ou sugestões, como também pelo auxílio prestado em todos os momentos em que tive dúvidas e ou encontrei dificuldades.

Ao ICMBio – Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade, em especial aos funcionários Vagner Perez da Silva (Vaguinho), Eric Xavier, Romano Pulzatto Neto, Fernando Fávaro e Tércio Abel, pela colaboração e companheirismo e apoio logístico.

Ao Coripa – Consórcio Intermunicipal para Conservação do Remanescente do rio Paraná e áreas de influência, pelo apoio, colaboração e logística.

IMASUL - Instituto de Meio Ambiente de Mato Grosso do SUL pela informações matérias enviados para elaboração do estudos.

Aos demais familiares que conviveram com minhas ausências e cansaço nestes anos todos.

RESUMO

No Brasil, os estudos hídricos cresceram nas últimas décadas. Destacam-se as pesquisas realizadas pelo Grupo de Estudos Multidisciplinares do Ambiente – Gema, no alto curso do rio Paraná. Poucos estudos abordam as confluências fluviais. Esta pesquisa investiga as confluências do rio Ivinhema-MS, rio Ivaí-PR e rio Piquiri-PR, com o rio Paraná, localizadas no trecho entre a usina de Porto Primavera e o lago de Itaipu. Pretende-se compreender os processos de construção geomorfológica das áreas de confluência, por meio da análise dos fluxos, dinâmica sedimentar, geometria dos canais nas confluências e sua contribuição ao canal do rio Paraná. O conhecimento da dinâmica das confluências é fundamental para estudos ambientais e fluviais e sua inter-relação com a planície. Caracterizam-se como ambientes bastante complexos, ocorrendo a combinação de matéria (água, sedimentos) e energia (forças exercidas pelos fluxos) oriundas de diferentes fontes além do intercâmbio ecológico entre os sistemas fluviais. A área de estudo foi delimitada por meio do sensoriamento remoto, aerofotos e cartas topográficas e a construção de um banco de dados no Sistema de Informações Geográficas (SIG). Para a análise das velocidades de fluxos e vazão foi utilizado o ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler) e o ecobatímetro para levantamento e confecção dos mapas batimétricos e da geomorfologia. Na análise de carga suspensa utilizou-se um coletor de integração vertical e quantificaram-se os dados através da fórmula $QSS = 0,0864.Q.CSS$ (CARVALHO, 1994). A coleta de carga de fundo utilizou um amostrador manual e pontual, tipo Van Vem. Para o fluxo dominante usou-se a fórmula de De Serres et al. (1999), conforme segue: $M_c = U_{Trib} \cdot Q_{Trib} / U_{Canal}$. Realizou-se um levantamento bibliográfico (textos, livros, e artigos), dados das estações fluviométricas e pluviométricas. As confluências estudadas apresentaram a área de escavamento, estagnação, zona de aceleração de fluxos, vórtices e área de recuperação de fluxos. A zona de deflação só ocorreu nas confluências dos rios Piquiri-PR e Ivaí-PR. O ângulo da confluência é considerado importante nas dinâmicas que envolvem esta área, foi menos relevante na direção da área de escavamento do que no direcionamento do talvegue do tributário. O ângulo das confluências foram 81,3° no rio Piquiri-PR, 56° no rio Ivaí-PR, na confluência Ivinhema 01, 02 e 03 foi, respectivamente, 68,5°; 40°; e 44,8°, sendo assimétricos. O alargamento do tributário nas confluências ocorreu apenas nos rios Ivaí-PR e Piquiri-PR e foi inexpressível nas confluências do rio Ivinhema-MS. O leito dos rios Ivaí-PR e Piquiri-PR, no seu curso inferior, corre sobre um fundo rochoso, o rio Ivinhema-MS sobre depósitos da planície do rio Paraná, mais propenso à erosão. A quantidade de carga suspensa foi maior no rio Ivaí-PR, seguindo pelo rio Ivinhema-MS, o menor valor no rio Piquiri-PR. A carga de fundo predominante foi de areia fina e média nas confluências. Barras atribuídas às forças que atuam na confluência ocorreram apenas no rio Ivaí-PR, uma de desembocadura e uma a montante, esta pelo fenômeno do fluxo invertido em períodos de cheias do tributário, este foi o único tributário a comandar o fluxo durante a pesquisa. Os tributários contribuíram com 10% em média a vazão do canal secundário do rio Paraná, apenas o rio Ivaí-PR pode ultrapassar a 50% em períodos de cheia.

Palavras-chave: Confluência. Fluxo dominante. Área de escavamento. Dinâmicas fluviais.

ABSTRACT

In Brazil, water studies have grown in recent decades. Stands out the research conducted by the Group for Multidisciplinary Studies on the Environment – Gema, in the upper Paraná River. Few studies address the subject river confluence. This research investigates the confluence of the Ivinhema-MS River, Ivaí-PR River and Piquiri-PR River, with the Paraná River, located on the stretch between Porto Primavera Reservoir and the Itaipu Lake. This study aimed to understand the processes of geomorphological construction of the confluence areas, through the analysis of flows, sediment dynamics, geometry of the channels at the confluences and their contribution to the Paraná River channel. Knowledge of the dynamics of confluences is critical to environmental and fluvial studies and their interrelationship with the plain. They are characterized as very complex environments, where there is the combination of matter (water, sediment) and energy (forces exerted by flows) from different sources beyond ecological exchange between the river systems. The study area was delimited by means of remote sensing, aerial photographs and topographic maps and constructing a database in the Geographic Information System (GIS). For the analysis of the flow velocity and flow rate, it was used ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler) and the echo sounder to survey and construct bathymetric and geomorphological maps. For suspended load analysis, we used a vertically integrated collector, for quantification of data, and applied the formula $QSS = 0.0864.Q.CSS$ (CARVALHO, 1994). For collection of bottom load, we used a manual and punctual sampler, like Van Vem. For the dominant flow, we used the formula De Serres et al. (1999), as follows: $Mc = U_{Trib} \cdot Q_{Trib} / U_{Channel}$. We performed a literature review including texts, books and articles, data from fluviometric and rain gauge stations. The confluences studied showed the scour area, stagnation, flow acceleration zones, vortices and flow recovery area. Deflation zone only occurred in the confluences of Piquiri-PR and Ivaí-PR rivers. The confluence angle is considered important in dynamics surrounding this area, but it was less relevant in the direction of the scour area than in the direction of the tributary thalweg. The angle of the confluences were 81.3° in the Piquiri-PR River, 56° in the Ivaí-PR River, and at the confluence Ivinhema 01, 02 and 03, values were, respectively, 68.5° ; 40° ; and 44.8° , being asymmetric. The widening of the tributary at confluences occurred only in Ivaí-PR and Piquiri-PR rivers, and was inexpressible at confluences of the the Ivinhema-MS River. The Ivaí-PR and Piquiri-PR rivers, at their lower reaches, flow over a rocky bottom; the Ivinhema-MS River, over deposits of the Paraná River plain, more prone to erosion. The amount of suspended load was higher in the Ivaí-PR River, followed by Ivinhema-MS River, and the lowest value was found in the Piquiri-PR River. The predominant bottom load consisted of fine and medium-sized sand in the confluences. Bars attributed to forces acting at the confluence took place in the Ivaí-PR River, one at the mouth and one upstream, this by the reverse flow in flood periods of the tributary; this was the only tributary controlling the flow during the study. The tributaries contributed with 10%, on average, to the flow rate of the secondary channel of the Paraná River, only the Ivaí-PR River can exceed 50% in flood periods.

Keywords: Confluence. Dominant flow. Scour. River dynamics.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1	Brasil bacias hidrográficas, bacia do rio Paraná e área de pesquisa, principais confluências	23
Figura 1.2	Localização das principais confluências do rio Paraná no trecho entre o Pontal do Paranapanema e o lago de Itaipu	26
Figura 2.1	Número de trabalhos sobre confluências fluviais a partir da década de 1980	31
Figura 2.2	Zona das dinâmicas de fluxos em uma confluência	35
Figura 3.1	Localização das seções transversais nas confluências	40
Figura 3.2	Coletor de água de integração vertical e amostrador de carga de fundo tipo Van Veen	43
Figura 4.1	Mapa da bacia hidrográfica do rio Piquiri-PR	45
Figura 4.2	Unidades geológicas da bacia hidrográfica do rio Piquiri-PR	47
Figura 4.3	Geomorfologia da confluência do rio Piquiri-PR	48
Figura 4.4	Aspectos da margem esquerda da confluência do rio Piquiri-PR e a planície Paraná/Piquiri margem direita	48
Figura 4.5	Localização das seções transversais e coleta de parâmetros da confluência do rio Paraná com o rio Piquiri-PR	50
Figura 4.6	Mapas batimétricos das quatro campanhas da confluência do Piquiri-PR. 2013	52
Figura 4.7	Modelo proposto por Best (1987), adaptado para a confluência do rio Piquiri-PR	53
Figura 4.8	Ângulo da confluência do rio Piquiri-PR	54
Figura 4.9	Perfil do ecobatimento e do ADCP seção transversal 1, a jusante da confluência do rio Piquiri-PR	56
Figura 4.10	Perfil do ecobatimento e do ADCP seção transversal 2, a jusante da confluência do rio Piquiri-PR	57
Figura 4.11	Perfil do ecobatimento e do ADCP seção transversal 3, a jusante da confluência do rio Piquiri-PR	58
Figura 4.12	Perfil do ecobatimento e do ADCP seção transversal 4, a montante da confluência do rio Piquiri-PR	59

Figura 4.13	Perfil do ecobatimento e do ADCP seção transversal 5, da confluência do rio Piquiri-PR	60
Figura 4.14	Perfil do ecobatimento e do ADCP seção transversal 6, da confluência do rio Piquiri-PR	61
Figura 4.15	Distribuição da média da carga de fundo na confluência Piquiri-PR	65
Figura 5.1	Bacia hidrográfica do rio Ivinhema-MS	69
Figura 5.2	Unidades geológicas da bacia hidrográfica do rio Ivinhema-MS	70
Figura 5.3	Geomorfologia das confluências do rio Ivinhema-MS	72
Figura 5.4	Localização dos transectos e coleta de parâmetros da confluência do rio Paraná com o rio Ivinhema-MS – confluência Ivinhema 01 e Ivinhema 02	74
Figura 5.5	Mapas batimétricos dos quatro campos da confluência do Ivinhema 01 e Ivinhema 02, 2013	75
Figura 5.6	Ângulo das confluências do Ivinhema 01 e Ivinhema 02 com o rio Paraná	76
Figura 5.7	Modelo proposto por Best (1987), adaptado para da confluência do Ivinhema 01 e Ivinhema 02	78
Figura 5.8	Perfil do ecobatímetro e do ADCP, seção transversal 1, a jusante da confluência do Ivinhema 01 – (MS) e ilha Paraná (IPR II)	80
Figura 5.9	Perfil do ecobatímetro e do ADCP na seção transversal 2, entre a confluência do Ivinhema 01 e Ivinhema 02 – (MS) e Ilha Paraná (IPR II)	81
Figura 5.10	Perfil do ecobatímetro e do ADCP, seção transversal 3, a montante da confluência Ivinhema 02 – (MS) e Ilha Paraná (IPR II)	82
Figura 5.11	Perfil do ecobatímetro e do ADCP seção transversal 4, 100 m a montante da confluência do Ivinhema 01	83
Figura 5.12	Perfil do ecobatímetro e do ADCP seção transversal 5, no rio Ivinhema a montante da confluência Ivinhema 01	84
Figura 5.13	Perfil do ecobatímetro e do ADCP seção transversal 6, no rio Ivinhema, a montante da confluência Ivinhema 02 – confluência Ivinhema 02	85

Figura 5.14	Perfil do ecobatímetro e do ADCP seção transversal 7, no rio Ivinhema, montante da confluência Ivinhema 02	86
Figura 5.15	Valores percentuais médios de carga de fundo nas seções transversais confluências Ivinhema 01 e 02	91
Figura 5.16	Localização dos transectos e coleta de parâmetros da confluência Ivinhema-MS 03	93
Figura 5.17	Mapas batimétricos dos quatro campos da confluência do Ivinhema 03 – 2013	95
Figura 5.18	Ângulo da confluência Ivinhema 03 com o rio Paraná	96
Figura 5.19	Modelo proposto por Best (1987), adaptado para a confluência do Ivinhema 03	97
Figura 5.20	Perfil do ecobatímetro e do ADCP da seção transversal 1, a jusante da confluência do Ivinhema 03	99
Figura 5.21	Perfil do ecobatímetro e do ADCP da seção transversal 2, a montante da confluência do Ivinhema 03	100
Figura 5.22	Perfil do ecobatímetro e do ADCP da seção transversal 3, rio Ivinhema-MS a montante da confluência do Ivinhema 03	101
Figura 5.23	Perfil do ecobatímetro e do ADCP da seção transversal 4, canal principal do rio Ivinhema, confluência do Ivinhema 03	102
Figura 5.24	Perfil do ecobatímetro e do ADCP da seção transversal 5, a montante da confluência do Ivinhema 03	103
Figura 5.25	Dados granulométricos da confluência do rio Ivinhema-MS	105
Figura 6.1	Bacia hidrográfica do rio Ivaí-PR	106
Figura 6.2	Unidades geológicas da bacia hidrográfica do rio Ivaí-PR	107
Figura 6.3	Geomorfologia do baixo curso do rio Ivaí-PR	108
Figura 6.4	Geomorfologia da confluência do rio Ivaí-PR	109
Figura 6.5	Localização das seções transversais na confluência do rio Paraná com o rio Ivaí-PR	110
Figura 6.6	Mapas batimétricos das quatro campanhas da confluência do Ivaí-PR, 2013	112
Figura 6.7	Perfil do ecobatímetro e do ADCP, seção transversal 6, rio Ivaí a montante da confluência do Ivaí-PR, 2013	114

Figura 6.8	Perfil do ecobatimento e do ADCP, seção transversal 5, rio Ivaí a 150m a montante confluência do Ivaí-PR, 2013	115
Figura 6.9	Perfil do ecobatímetro e do ADCP seção transversal 4, a montante da confluência do Ivaí-PR, 2013	117
Figura 6.10	Perfil do ecobatimento e do ADCP – seção transversal 3, a montante confluência do Ivaí-PR, 2013	118
Figura 6.11	Barra formada a montante da confluência Ivaí-PR, canal secundário do rio Paraná, 26/11/2013	120
Figura 6.12	Perfil do ecobatimento e do ADCP seção transversal 2, a jusante da confluência do Ivaí-PR, 2013	121
Figura 6.13	Perfil do ecobatimento e do ADCP seção transversal 1, a jusante da confluência do Ivaí-PR, 2013	122
Figura 6.14	Ângulo da confluência do rio Ivaí-PR com o rio Paraná	123
Figura 6.15	Fluxo invertido através de imagem de satélite, rio Ivaí-PR. Data de 19/06/2014 – Satélite: Landsat 8 – OLI Orbita/Ponto – 224/076	124
Figura 6.16	Hidrógrafa das cotas das estações de Porto Novo Taquara e Porto Caiuá, ano de 2013	127
Figura 6.17	Hidrógrafa das cotas das estações de Porto Novo Taquara e Porto Caiuá, ano 1991-1995	127
Figura 6.18	Hidrógrafa das cotas das estações de Porto Novo Taquara e Porto Caiuá, ano 1996-2001	127
Figura 6.19	Hidrógrafa das cotas das estações de Porto Novo Taquara e Porto Caiuá, ano 2002-2007	128
Figura 6.20	Hidrógrafa das cotas das estações de Porto Novo Taquara e Porto Caiuá, ano 2008-2014	128
Figura 6.21	Modelo proposto por Best (1987), adaptado para a confluência do rio Ivaí-PR	129
Figura 6.22	Valores percentuais médios de carga de fundo nas seções transversais confluência Ivaí-PR, 2013	130
Figura 6.23	Porcentagem entre vazão x carga suspensa na confluência Ivaí, 2013	132

LISTA DE QUADROS

Quadro 3.1	Datas de campo nas confluências	41
Quadro 3.2	Classificação granulométrica adaptada	44
Quadro 6.1	Seções transversais desenvolvidas neste trabalho comparadas com seções levantadas por outras pesquisas, na área da confluência do rio Ivaí-PR	111

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.1	Percentagem da região de cada Estado na região hidrográfica do rio Paraná em território brasileiro	24
Tabela 4.1	Valores de vazão e velocidade de fluxos campanha fevereiro 2013	63
Tabela 4.2	Valores de vazão e velocidade de fluxos campanha maio 2013	63
Tabela 4.3	Valores de vazão e velocidade de fluxos campanha julho 2013	63
Tabela 4.4	Distribuição percentual da descarga do rio Piquiri-PR e rio Paraná em relação à descarga total	63
Tabela 4.5	Valores de vazão, Gr/l e tonelada dia campanha fevereiro 2013	64
Tabela 4.6	Valores de vazão, Gr/l e tonelada dia campanha maio 2013	64
Tabela 4.7	Valores de vazão, Gr/l e tonelada dia campanha julho 2013	64
Tabela 4.8	Percentual de vazão e carga suspensa em relação ao total da confluência Piquiri-PR de fevereiro de 2013	65
Tabela 4.9	Percentual de vazão e carga suspensa em relação ao total da confluência Piquiri-PR – campanha de maio de 2013	65
Tabela 4.10	Percentual de vazão e carga suspensa em relação ao total da confluência Piquiri-PR – campanha de julho de 2013	65
Tabela 5.1	Dados de vazão obtidos com o ADCP na campanha de 06/2/2013. Note-se que a perda de água verificada entre as TRC5 para a TRC4 se deve à subdivisão do canal do rio Ivinhema-MS para as duas confluências	86
Tabela 5.2	Dados de vazão obtidos com o ADCP na campanha de 07/5/2013	87
Tabela 5.3	Dados de vazão obtidos com o ADCP na campanha de 16/7/2013	87
Tabela 5.4	Percentagem da vazão do rio Ivinhema em relação à TRC 1 do rio Paraná e a estação de Porto Caiuá, no rio Paraná, 2013	87
Tabela 5.5	Percentual da vazão do rio Ivinhema-MS por meio das confluências Ivinhema 01 e Ivinhema 02 para o rio Paraná	88
Tabela 5.6	Valores de vazão, Mg/L e tonelada dia campanha fevereiro 2013	88

Tabela 5.7	Valores de vazão, Mg/L e tonelada dia campanha maio 2013	89
Tabela 5.8	Valores de vazão, Mg/L e tonelada dia campanha julho 2013	89
Tabela 5.9	Valores em Mg/L de carga suspensa nas seções transversais das confluências Ivinhema 01 e 02, 2013	89
Tabela 5.10	Percentual de vazão e carga suspensa da confluência Ivinhema 01 e 02 – campanha de fevereiro de 2013	90
Tabela 5.11	Percentual de vazão e carga suspensa da confluência Ivinhema 01 e 02 – campanha de maio de 2013	90
Tabela 5.12	Percentual de vazão e carga suspensa da confluência Ivinhema 01 e 02 – campanha de julho de 2013	90
Tabela 5.13	Dados de vazão e da carga suspensa na confluência Ivinhema 03 fevereiro 2013	103
Tabela 5.14	Dados de vazão e da carga suspensa na confluência Ivinhema 03 maio 2013	104
Tabela 5.15	Percentagem de contribuição na vazão da confluência Ivinhema 03	104
Tabela 5.16	Percentagem de contribuição na vazão dos canais da confluência Ivinhema 03, 2013	104
Tabela 5.17	Carga suspensa média Mg/L – seções transversais confluência Ivinhema 03, 2013	104
Tabela 6.1	Dados de vazão e velocidades obtidos com o ADCP campanha de 08/2/2013	125
Tabela 6.2	Dados de vazão e velocidades obtidos com o ADCP campanha de 07/5/2013	125
Tabela 6.3	Dados de vazão e velocidades obtidos com o ADCP campanha de 16/7/2013	125
Tabela 6.4	Valores em percentagem da vazão a montante da confluência e relação à jusante	126
Tabela 6.5	Dados de vazão em m/s e cotas em Porto Novo Taquara e Caiuá campos 1 a 4 de 2013	126
Tabela 6.6	Valores de vazão, Mg/L e tonelada dia campanha de fevereiro, 2013	131

Tabela 6.7	Valores de vazão, Mg/L e tonelada dia campanha de maio, 2013	131
Tabela 6.8	Valores de vazão, Mg/L e tonelada dia campanha de julho, 2013	131
Tabela 7.1	Ângulo de confluência versus profundidade dos canais e área de escavamento	133

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANA	Agência Nacional de Águas
APA	Área de Proteção Ambiental
CAN	Canal
CBERS	Satélite Sino-Brasileiro de Recursos Terrestres
Coripa	Consórcio Intermunicipal para Conservação do Remanescente do rio Paraná e áreas de influência
Embrapa	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Gema	Grupo de Estudos Multidisciplinares do Ambiente
GPS	Global Positioning System
IAP	Instituto Ambiental do Paraná
Ibama	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Renováveis
ICMBio	Instituto Chico Mendes de conservação da biodiversidade
IMASUL	Instituto de Meio Ambiente de Mato Grosso do SUL
km	quilômetro
km ²	quilômetro quadrado
LANDSAT	Land Remote Sensing Satellite
m	metro
m/s	metros por segundo
m ³	metro cúbico
MD	Margem direita
MDE	Modelo digital de elevação
ME	Margem esquerda
Mineropar	Minerais do Paraná
PGE	Programa de Pós-graduação em Geografia
SIG	Sistema de Informação Geográfica
SRTM	Shuttle Radar Topography Mission
TRC	Seção transversal

SUMÁRIO

	COMO SE DESENVOLVEU ESTA TESE	21
1	INTRODUÇÃO	22
1.1	BREVE HISTÓRICO	22
1.2	LOCALIZAÇÕES DA ÁREA	25
1.3	PROBLEMA E JUSTIFICATIVA	27
1.4	HIPÓTESE DA PESQUISA	28
1.5	OBJETIVO GERAL	29
1.6	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	29
2	REFERENCIAL TEÓRICO	30
2.1	ORIGENS E IMPORTÂNCIA HISTÓRICA DOS ESTUDOS SOBRE CONFLUÊNCIA FLUVIAL	30
2.2	CONFLUÊNCIAS DE CANAIS FLUVIAIS	34
2.3	GEOMORFOLOGIA DAS CONFLUÊNCIAS	37
3	MATERIAIS E MÉTODOS	39
4	CARACTERIZAÇÃO E ANÁLISE DA GEOMORFOLOGIA E DINÂMICA SEDIMENTAR DA CONFLUÊNCIA DO RIO PIQUIRI-PR ...	45
4.1	GEOLOGIA E GEOMORFOLOGIA DA CONFLUÊNCIA DA CONFLUÊNCIA DO RIO PIQUIRI-PR	45
4.2	ANÁLISE DA BATIMETRIA, PERFIS BATIMÉTRICOS, FLUXOS, VELOCIDADE E VAZÃO POR MEIO DO ADCP NA CONFLUÊNCIA DO RIO PIQUIRI-PR, COM O RIO PARANÁ – CONFLUÊNCIA PIQUIRI-PR	49
4.3	ANÁLISE DAS SEÇÕES TRANSVERSAIS DA CONFLUÊNCIA DO RIO PIQUIRI-PR	55
4.4	ANÁLISE DOS DADOS DA VAZÃO DA CONFLUÊNCIA DO RIO PIQUIRI-PR	62
4.5	VALORES DE CARGA DE SUSPENSÃO CONFLUÊNCIA DO RIO PIQUIRI-PR	63

4.6	ANÁLISE GRANULOMÉTRICA DA CARGA DE FUNDO DA CONFLUÊNCIA RIO PIQUIRI-PR	65
5	CARACTERIZAÇÃO E ANÁLISE DA GEOMORFOLOGIA E DINÂMICA SEDIMENTAR DA CONFLUÊNCIA DO RIO IVINHEMA-MS ...	69
5.1	GEOLOGIA E GEOMORFOLOGIA DA CONFLUÊNCIA DA CONFLUÊNCIA DO RIO IVINHEMA-MS	69
5.2	ANÁLISE DA BATIMETRIA, PERFIS BATIMÉTRICOS, FLUXOS, VELOCIDADE E VAZÃO POR MEIO DO ADCP NA CONFLUÊNCIA DO RIO IVINHEMA-MS, COM O RIO PARANÁ – CONFLUÊNCIA IVINHEMA 01 E IVINHEMA 02	73
5.3	ANÁLISE DAS SEÇÕES TRANSVERSAIS DA CONFLUÊNCIA IVINHEMA 01 E IVINHEMA 02	79
5.4	ANÁLISE DOS DADOS DA VAZÃO DA CONFLUÊNCIA IVINHEMA 01 E 02	86
5.5	VALORES DE CARGA DE SUSPENSÃO DAS CONFLUÊNCIAS IVINHEMA 01 E 02	88
5.6	DADOS GRANULOMÉTRICOS DO LEITO DA CONFLUÊNCIA IVINHEMA 01 E 02	91
5.7	ANÁLISE DA BATIMETRIA, PERFIS BATIMÉTRICOS, FLUXOS, VELOCIDADE E VAZÃO POR MEIO DO ADCP NA CONFLUÊNCIA DO RIO IVINHEMA-MS, COM O RIO PARANÁ – CONFLUÊNCIA IVINHEMA 03	92
5.8	ANÁLISE BATIMÉTRICA DA CONFLUÊNCIA IVINHEMA 02	94
5.9	ANÁLISES DOS PERFIS TRANSVERSAIS DA CONFLUÊNCIA DO RIO IVINHEMA 02	98
5.10	VALORES DE CARGA DE SUSPENSÃO DA CONFLUÊNCIA DA IVINHEMA 03	103
5.11	GRANULOMETRIA DO LEITO DA CONFLUÊNCIA DO IVINHEMA 03	105
6	CARACTERIZAÇÃO E ANÁLISE DA GEOMORFOLOGIA E DINÂMICA SEDIMENTAR DA CONFLUÊNCIA DO RIO IVAÍ-PR	106
6.1	GEOLOGIA E GEOMORFOLOGIA DA CONFLUÊNCIA DA CONFLUÊNCIA DO RIO IVAÍ-PR	106

6.2	ANÁLISE DA BATIMETRIA, PERFIS BATIMÉTRICOS, FLUXOS, VELOCIDADE E VAZÃO POR MEIO DO ADCP NA CONFLUÊNCIA DO RIO IVAÍ-PR, COM O RIO PARANÁ – CONFLUÊNCIA DO RIO IVAÍ-PR	110
6.3	ANÁLISE DAS SEÇÕES TRANSVERSAIS DA CONFLUÊNCIA DO RIO IVAÍ-PR	114
6.4	ANÁLISE DOS DADOS DA VAZÃO DA CONFLUÊNCIA DO RIO IVAÍ-PR	124
6.5	GRANULOMETRIA DO LEITO DA CONFLUÊNCIA IVAÍ-PR	129
6.6	VALORES DE CARGA DE SUSPENSÃO CONFLUÊNCIA DO RIO IVAÍ-PR	131
7	DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	133
7.1	CONSIDERAÇÕES	133
	REFERÊNCIAS	138

COMO SE DESENVOLVEU ESTA TESE

Neste item descrevemos o que será discutido em cada parte desta tese. Este trabalho aborda aspectos geomorfológicos ligados às confluências de grandes rios como o rio Paraná, e será enriquecido ao logo do texto com mapas e tabelas.

Na parte 1 é apresentado um breve histórico das bacias hidrográficas do Brasil, localizando a área da pesquisa da bacia do rio Paraná na rede hidrográfica brasileira e delimitando a área da pesquisa dentro desta. Neste item foi abordado de forma sucinta parte da produção do conhecimento sobre a região da área de estudo. Foi feito um levantamento de alguns estudos que subsidiaram o desenvolvimento inicial da pesquisa.

Encontram-se também as justificativas para o desenvolvimento da pesquisa, bem como a hipótese a ser comprovada ou refutada. Ao final, os objetivos gerais que nortearam o pensamento e a condução da pesquisa.

Na parte 2, apresentam-se os materiais e os métodos que foram utilizados para alcançar os objetivos propostos. Quais seriam os instrumentos e as técnicas mais adequadas para os trabalhos de campo e de análise dos dados.

Na parte 3, está disposto o referencial teórico que norteou este trabalho, a fim de abranger principalmente a importância dos principais autores das décadas de 1980 que lançaram a base instrumental para o estudo de confluências fluviais. Neste texto, enfatizaram-se aqueles que lançaram as bases para este conhecimento.

Na parte 4, serão discutidos os dados bibliográficos, de campo e de laboratório levantados para a confluência do rio Piquiri-PR.

Na parte 5, será discutido o rio Ivinhema-MS, localizado na margem direita no vizinho Estado do Mato Grosso do Sul, que possui três confluências com o rio Paraná, e é o único rio deste trabalho que suas confluências estão localizadas sobre uma planície aluvial. Cada uma de suas confluências possui suas próprias características no processo de interação com o rio Paraná.

Na parte 6, serão discutidos os levantamentos de campo, cartográficos e bibliográficos referentes ao rio Ivaí-PR, onde se comparam os dados aqui levantados com os outros estudos prévios.

Finalmente, na última parte, são apresentadas as conclusões e as considerações finais.

1 INTRODUÇÃO

1.1 BREVE HISTÓRICO

O Brasil é um país de dimensões continentais, com grande quantidade de recursos hídricos distribuídos em seu território como aquíferos, rios e lagos. Tais recursos foram negligenciados por décadas. Acreditava-se que os recursos hídricos eram infinitos. O uso indiscriminado dos mesmos e problemas climáticos proporcionaram diversas crises hídricas no país seja para a geração de energia ou racionamento de água para consumo, como recentemente no Estado de São Paulo (2013-2014). Diante de tais problemas o país começou a investir em projetos para conhecimento de tais recursos assim como no desenvolvimento de políticas de uso racional dos mesmos.

Tais projetos ganharam forças no início da década de 1990, quando os princípios de Dublin foram acordados na reunião preparatória à Rio-92, enfatizando que a “gestão dos recursos hídricos, para ser efetiva, deve ser integrada e considerar todos os aspectos, físicos, sociais e econômicos. Para que essa integração tenha o foco adequado, sugere-se que a gestão esteja baseada nas bacias hidrográficas” (WMO, 1992 apud PORTO; PORTO, 2008, p. 43). Segundo Porto e Porto (2008), a integração destes vários atores no uso dos recursos hídricos deve considerar a bacia hidrográfica, pois somente por meio dela poderemos compreender, em escala, cada realidade e região deste país.

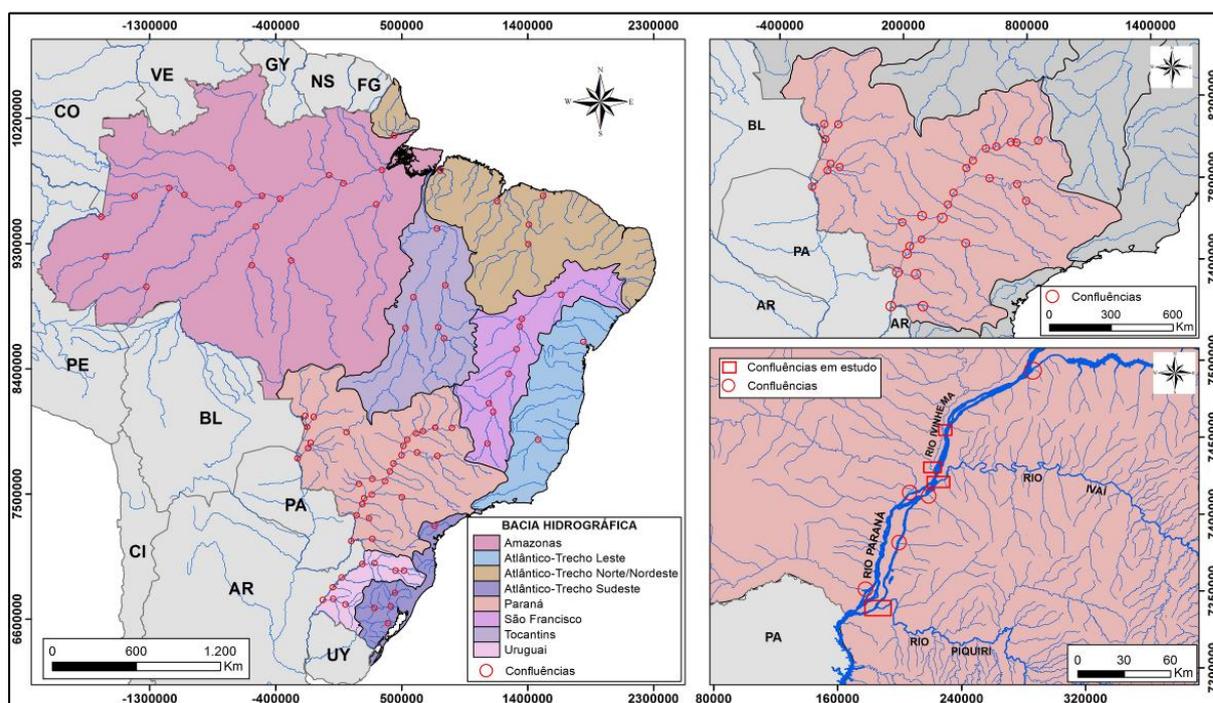
Neste processo, a ANA (Agência Nacional de Águas) vem ganhando papel relevante na condução de políticas hídricas, levantamento de recursos, padronização de metodologia de campo, treinamento por meio de cursos para capacitar os gestores do sistema e estimular a criação dos comitês de bacias hidrográficas.

Segundo a ANA (2016), o Brasil possui 12 regiões hidrográficas principais que são a região hidrográfica Amazônica, região hidrográfica do Tocantins-Araguaia, região hidrográfica Atlântico Nordeste Ocidental, região hidrográfica do Parnaíba, região hidrográfica Atlântico Oriental, região hidrográfica do São Francisco, região hidrográfica Atlântico Leste, região hidrográfica do Paraguai, região hidrográfica do Paraná, região hidrográfica do Sudeste, região hidrográfica do Uruguai, região

hidrográfica Atlântico Sul. Estas bacias podem ser divididas em bacias menores ou por rios.

Esta imensa malha hidrográfica é composta por milhares de rios de diferentes tamanhos e ordens, que provocam o surgimento de confluências dos mais diversos tamanhos na busca do canal principal, misturando águas, sedimentos, poluentes, possibilitando ou restringindo a ligação de diferentes regiões e passagens de espécies fluviais. As bacias hidrográficas são divididas em alto, médio e baixo curso. A área de pesquisa desta tese, se encontra inserida no alto curso da bacia do rio Paraná (Figura 1.1).

Figura 1.1 – Brasil bacias hidrográficas, bacia do rio Paraná e área de pesquisa, principais confluências.



Fonte: Elaborado pelo autor, com colaboração de Carlos Henrique Graça, 2015.

A Tabela 1.1 apresenta o valores percentuais de contribuição hídrica de cada estado na formação da bacia do rio Paraná. Dentro da região hidrográfica do rio Paraná, vivem 1/3 da população nacional localizada na área mais desenvolvida economicamente, com área de 879.873 km² (ANA, 2016), inclusive a maior cidade da América Latina, das quais 2/3 desta população ocupa principalmente as unidades geográficas do rio Tietê e rio Grande. Esta população gera pressão sobre os recursos hídricos, representando cerca de 1/3 do consumo nacional,

aproximadamente 736 m³/s, sendo que a irrigação utiliza 42% deste total e a atividade industrial 27%.

Tabela 1.1 – Percentagem da região de cada Estado na região hidrográfica do rio Paraná em território brasileiro.

Estado brasileiro	% região da bacia
São Paulo	25%
Paraná	21%
Mato Grosso do Sul	20%
Minas Gerais	18%
Goiás	14%
Santa Catarina	1,5%
Distrito Federal	0,5%
Total	100%

Fonte: ANA (2016) – organizado pelo autor, 2016.

Nos últimos anos tem crescido no Brasil estudos sobre recursos hídricos para fins agrícolas, industriais, abastecimento e saneamento, geração de energia, transporte ou mesmo para a recreação. Destacam-se os estudos no rio Araguaia (LATRUBESSE; STEVAUX, 2002), no rio Amazonas (IRIONDO; SUGUIO, 1981; LATRUBESSE; RANCY, 2000; DUNNE et al., 1998), no rio Taquari (SOUZA et al., 2002) e para o rio Paraná as contribuições do Gema (Grupo de Estudo Multidisciplinar do Ambiente) (SANTOS, 1991, 1997, 2005; STEVAUX, 1993, 1994; SOUZA FILHO, 1993, 1997; SANTOS; STEVAUX, 2000; STEVAUX; SANTOS, 1998; SOUZA FILHO; STEVAUX, 2004; FERNANDEZ, 1990; FERNANDEZ; SANTOS; STEVAUX, 1993).

Os trabalhos enfatizam os processos sedimentares nas bacias hidrográficas, a fim de compreender os processos de transporte, a relação de sedimentos e dos poluentes, assoreamento de rios e lagos pela deposição de sedimentos e pela degradação dos recursos hídricos (MERTEN; MINELLA, 2002).

A bacia hidrográfica do rio Paraná sofre constante aumento de contaminação dos recursos hídricos nas cabeceiras e ao longo de seus cursos, provocado por desmatamentos das matas ciliares, uso intensivo da agricultura e construção de barragens alterando os ciclos hidrossedimentológicos de toda a rede de drenagem. Este processo promove a distribuição e transportes de materiais poluentes, altera a carga de fundo ou em suspensão, diminui os recursos hídricos disponíveis para usos. Tais alterações serão mais sensíveis na imensa malha de captura de drenagem que são as confluências.

Apenas no trecho entre Porto Primavera no Estado de São Paulo e o início do lago de Itaipu, o rio corre de forma natural, mas com influência do represamento a montante que altera a carga sedimentar de fundo e a carga suspensa.

Esta área do curso superior do rio Paraná foi estudada pelo Grupo de Estudo Multidisciplinar do Ambiente (Gema), especialmente a jusante da hidrelétrica de Porto Primavera (SP) na região de Porto Rico (PR) e São José (PR). Os trabalhos desenvolvidos buscaram compreender os processos hidrossedimentológicos, a dinâmica fluvial, a geomorfologia de confluências, o desenvolvimento da planície aluvial do rio Paraná. Recentemente, o Gema começou a realizar trabalhos de pesquisa na região do rio Ivaí-PR, e alguns trabalhos iniciais no rio Piquiri-PR.

A necessidade de aprofundar os estudos que envolvem as áreas de confluências dos principais afluentes com a calha do rio Paraná, no curso superior, induziu a produção da presente tese de doutoramento.

Apesar do aumento no número de pesquisas em geomorfologia fluvial no Brasil, os estudos das confluências fluviais ocorrem ainda de forma discreta e muitas vezes pontual. Mesmo na literatura internacional, os estudos de confluências ganharam grande impulso somente após a década de 1980. A maioria dos estudos realizados foi em pequenos e médios rios. As grandes bacias hidrográficas ainda são pouco estudadas.

Esta pesquisa pretende estudar as confluências do rio Ivinhema-MS, rio Ivaí-PR e rio Piquiri-PR, com o rio Paraná, localizadas no trecho entre a usina de Porto Primavera e o início do lago de Itaipu (Figura 1.2).

1.2 LOCALIZAÇÕES DA ÁREA

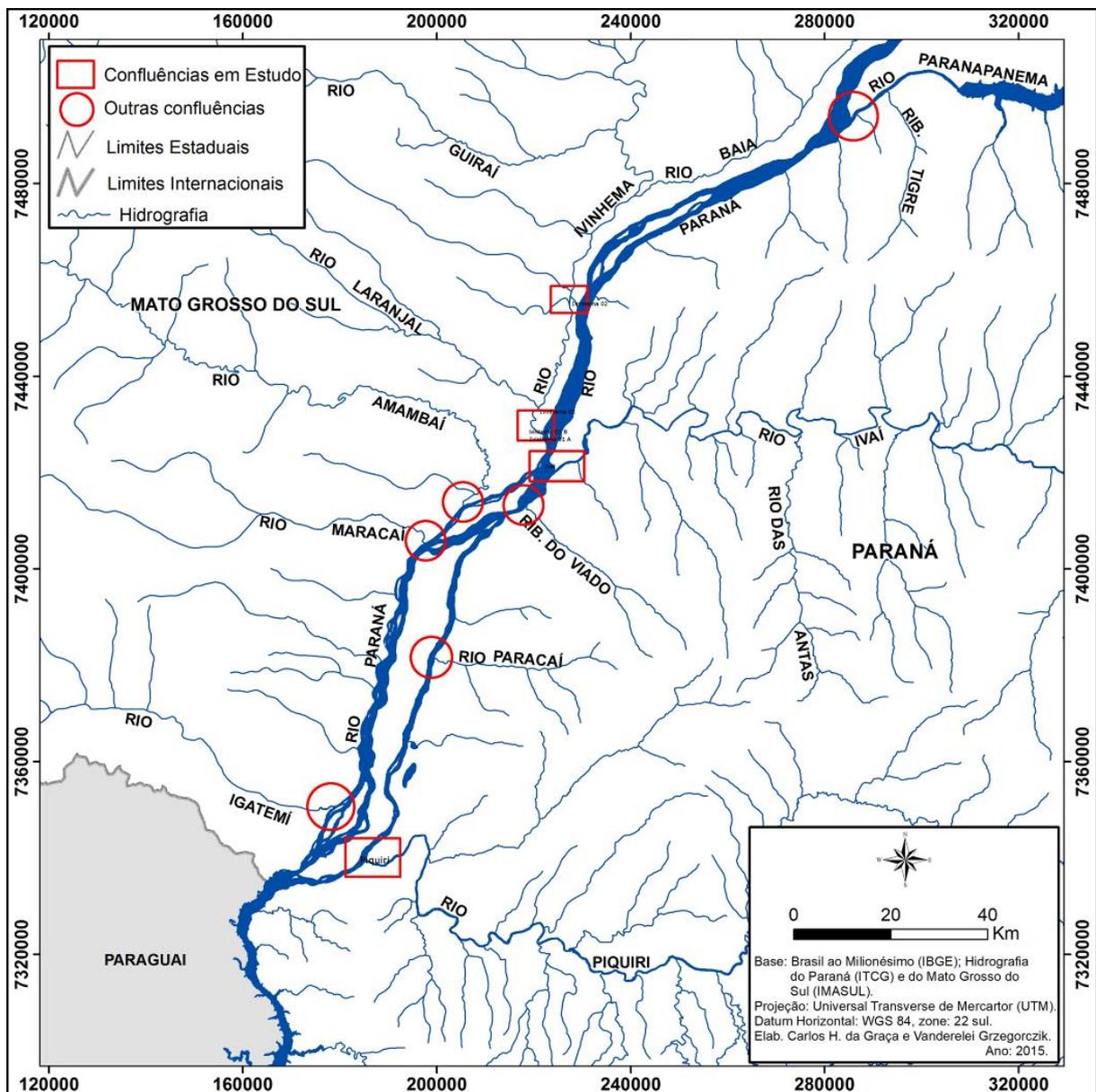
As confluências estão assim localizadas:

- a) confluência do rio Piquiri-PR, – localizada na margem esquerda do rio Paraná, acima do lago de Itaipu, entre o município de Guaira-PR com o município de Altônia, latitude -24.026708S, - longitude -54.094187W;
- b) confluência do rio Ivaí-PR, – localizada na margem esquerda do rio Paraná, próximo ao município de Icaraíma-PR, latitude 23°21'01.4"S longitude 53°44'03.8"W;
- c) confluência do rio Ivinhema-MS, 01 e confluência Ivinhema 02 – localizada na margem direita do rio Paraná, próximo ao município de

Naviraí-MS, na área denominada de Porto Caiuá, latitude -23.244948S longitude -53.717119W e latitude 23.23146410 e longitude 53,71830908, respectivamente;

- d) confluência rio Ivinhema 03 – localizada na margem direita do rio Paraná, próximo ao município de Querência do Norte-PR, a montante do Porto 18 no rio Paraná, dentro do parque estadual do rio Ivinhema-MS, latitude -22.996341S longitude -53.645974.

Figura 1.2 – Localização das principais confluências do rio Paraná no trecho entre o Pontal do Paranapanema e o lago de Itaipu.



Fonte: Elaborado pelo autor, com colaboração de Carlos Henrique Graça, 2015.

1.3 PROBLEMA E JUSTIFICATIVA

Este trabalho aborda as características das principais confluências da bacia do rio Paraná (Figura 1.2) no trecho entre Porto São José-PR, até o lago de Itaipu. As confluências escolhidas para a pesquisa foram a do rio Ivaí-PR, e do rio Piquiri-PR, na margem esquerda e do rio Ivinhema-MS, na margem direita.

O conhecimento da dinâmica das confluências é fundamental para estudos ambientais neste ecossistema, pois permite a análise do comportamento do período de cheias dos canais fluviais e sua inter-relação com a planície.

As confluências 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 além do intercâmbio ecológico entre os sistemas fluviais. 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.

Rice, Rhoads e Roy (2008) observaram que a confluência dos rios são lugares onde ocorrem transformações em seus processos físicos e químicos, que afetam suas características a jusante da confluência, nos fluxos, no leito, na morfologia da planície fluvial e na dinâmica dos processos sedimentares.

Como e porque essas mudanças ocorrem são questões fundamentais para compreensão da dinâmica de todo o sistema fluvial. Tendo em vista a importância das confluências dos canais, é surpreendente verificar a demora no desenvolvimento de trabalhos científicos sobre as confluências. Isto é em parte explicada pelo caráter complexo de confluências do rio canal (RICE; RHOADS; ROY, 2008), além da falta de metodologias e instrumental tecnológico para análise destas questões.

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. Nesse sentido, o conhecimento das confluências existentes entre a barragem de Porto Primavera e o início do lago de Itaipu no rio Paraná pode trazer grande contribuição para o conhecimento do funcionamento desse ambiente.

A maioria das metodologias foi desenvolvida para pequenos cursos d'água o que gera questionamentos na sua utilização para análises dos médios e grandes

rios, como é o caso da bacia hidrografia do Paraná e seus afluentes, quanto à validade dos modelos.

Há alguns estudos sobre as confluências nesta área de estudo, como rio Paranapanema (PAES et al., 2008); rio Ivaí (SANTOS et al., 2008; BARROS, 2006; FRANCO, 2007; STEVAUX et al., 2009a; MORAIS, 2010; DOUHY, 2013); e rio Piquiri-PR, (AGUIAR, 2009).

Os estudos acima abordaram os aspectos do transporte de sedimentos e a morfologia do leito do canal no encontro deles. Alguns enfatizaram mais a morfologia do canal em detrimento dos sedimentos. Todos eles abordaram apenas a confluência de um afluente do rio Paraná e realizaram, geralmente, duas campanhas – uma no período de chuva e outro no período de seca do rio.

A relação com o ângulo do cruzamento foi pouco desenvolvida. Muitos fatores podem estar envolvidos, entre eles atividades tectônicas que podem estar associadas a um padrão de drenagem. Tais movimentos podem indicar um padrão de ângulos das confluências em um determinado trecho.

Há evidências tectônicas em diversos estudos sobre o rio Paraná e seus afluentes. Santos, Lenzi e Coelho (2008) observam que os alinhamentos NW e NE que controlam o traçado meândrico e encaixado do rio Ivaí-PR favorece o desenvolvimento da planície aluvial do Ivaí simetricamente em relação ao canal, e lateralmente tem-se a presença de diques marginais contínuos.

Segundo Fortes (2003), o rio Ivinhema-MS, um dos mais importantes afluentes da margem direita do rio Paraná, possui anomalias de drenagens devido a movimentos tectônicos, evidenciado nessa área durante o quaternário que pode ter sido causado por mudanças climáticas e por influência tectônica.

Nenhum destes estudos abordou os principais afluentes da bacia do rio Paraná no trecho de Porto Primavera até o início do lago de Itaipu de forma conjunta num mesmo período histórico.

1.4 HIPÓTESE DA PESQUISA

Confluências fluviais são áreas de contato entre fluxos de rios onde ocorre a incorporação de sedimentos, águas, nutrientes, poluição e corredores de contato da vida biológica. As confluências localizadas no alto curso do rio Paraná são locais de

incorporação de sedimentos de carga de fundo e carga suspensa de diversas regiões do rio Paraná.

1.5 OBJETIVO GERAL

Compreender os processos de construção geomorfológica das áreas de confluência, por meio da análise dos fluxos, dinâmica sedimentar, geometria dos canais nas confluências e sua contribuição ao canal do rio Paraná.

1.6 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) verificar e quantificar a carga de fundo e suspensão transportada por meio das confluências;
- b) compreender a dinâmica de fluxos na construção da morfologia dos canais fluviais na área das confluências;
- c) fazer um levantamento da geomorfologia e geformas da região das confluências estudadas;
- d) compreender a evolução morfogenética das confluências em curta escala temporal.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 ORIGENS E IMPORTÂNCIA HISTÓRICA DOS ESTUDOS SOBRE CONFLUÊNCIA FLUVIAL

As primeiras pesquisas e trabalhos que envolvem as “Confluências Fluviais” e suas inter-relações entre as diversas partes dos rios originam-se no século XIX. Alguns trabalhos clássicos tornaram-se exceções importantes como: Playfair (1802), Lyell (1830) e Sternberg (1875), mas o tema foi abordado de forma simples. Durante o século XX Krumbein (1942) e Miller (1958) desenvolveram trabalhos sobre afluentes e sua interação com o rio principal; Taylor (1944), Mackay (1970) desenvolveram a análise e considerações da hidráulica na mistura das águas do canal. Horton (1945); Shreve (1967) abordaram a rede de estrutura de rios (RICE; RHOADS; ROY, 2008).

Durante o desenvolvimento da geomorfologia fluvial moderna pouca atenção foi dada às questões sobre as junções e as interações entre afluentes e os rios principais (RICE; RHOADS; ROY, 2008), principalmente, pela dificuldade de instrumental tecnológico para compreensão destes lugares e dos fenômenos que ocorrem nesta região impediram o avanço destes estudos.

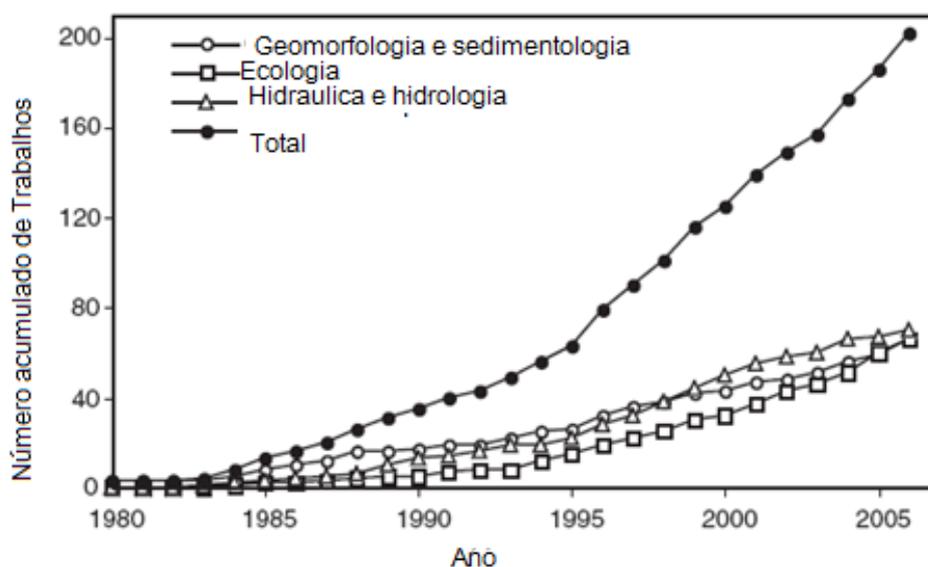
Na década de 1940 e 1960, Taylor (1944) e Webber e Greated (1966) desenvolveram abordagens teóricas simplificadas que exploravam a forma plana (unidimensional) das confluências abordando a largura constante e desconsiderando o atrito; estas abordagens não levaram em conta o processo de mistura e, portanto, não são adequadas para representar o fluxo tridimensional (BIRON; LANE, 2008).

Com o desenvolvimento de novas tecnologias como os modelos tridimensionais, foi possível a compreensão dinâmica das confluências quanto à mistura de fluxos e à dinâmica de outros elementos como transporte de sedimentos (BIRON; LANE, 2008). Com estes estudos também foi possível desenvolver e aprimorar os ensaios em laboratórios na elaboração de hipóteses, para posterior comprovação em campo.

Na década de 1980 foi dado início a um período no qual os estudos sobre confluências, afluentes e redes se desenvolveram rapidamente, ganhando importância científica, pelos trabalhos pioneiros. Segundo Rice, Rhoads e Roy (2008), as principais contribuições são sobre a morfologia da confluência, hidráulica

e sedimentologia (MOSLEY, 1976; BEST, 1986, 1988; ROY et al., 1988), alterações dos afluentes na forma do canal (RICHARDS, 1980; ROY; WOLDENBERG, 1986; RHOADS, 1987). Pesquisas em menor número sobre fluxos diferentes em confluência, morfologia, idade dos depósitos sedimentares e os habitats locais demonstram a importância da confluência e suas características do local da junção (Figura 2.1).

Figura 2.1 – Número de trabalhos sobre confluências fluviais a partir da década de 1980.



Fonte: Rice, Rhoads e Roy (2008, p. 2).

Uma das grandes dificuldades dos estudos em confluências foi a falta de instrumentos de medição para análises das variáveis. Na década de 1980 ocorreu o desenvolvimento de novos sistemas como ADCP, aprimoramento do ecobatímetro, desenvolvimento de softwares que criam modelos bi e tridimensionais, novas metodologias de coletas de sedimentos, água entre outros, planilhas eletrônicas e o grande desenvolvimento da modelagem hidráulica em laboratório para elaboração das hipóteses.

Com o desenvolvimento destes instrumentos e o barateamento dos mesmos, ocorreu um rápido avanço nos experimentos, e a pesquisa evoluiu aceleradamente nas duas últimas décadas do século XX. A ciência passou a interessar-se nos estudos das confluências e por isto o registro da grande evolução das pesquisas a partir da década de 1980 (RICE; RHOADS; ROY, 2008).

Rice, Rhoads e Roy (2008) observam que o levantamento acima foi realizado no período 1980-2007 usando o ISI Web of Science, Science Citation Index –

Expanded (<http://portal.isiknowledge.com/>), e muitos trabalhos que citavam as confluências mas, esta não era o objeto de análise e foram excluídos. Acredita-se que alguns trabalhos que tratam sobre a rede hidrográfica podem ter sido excluídos pela natureza multidisciplinar e foram classificados de forma incorreta.

As pesquisas sobre confluência fluvial no Brasil ainda são escassas e recentes, a maioria delas menciona as confluências de forma secundária, e não aprofunda o assunto. Na área de geomorfologia fluvial, alguns trabalhos foram produzidos, sobre o rio Ivaí-PR, que são as dissertações de mestrado de Biazin (2005); Barros (2006); Franco (2007); Kuerten (2006); Souza Junior (2012); a tese de Douhy (2013); os artigos de Kurten e Santos (2008); Kurten, Santos e Silva (2009); Santos et al. (2008); Stevaux et al. (2009b); Morais e Santos (2008); Morais et al. (2014); Morais et al. (2016). Na confluência do rio Paranapanema com o rio Paraná, Paes (2007) apresentou a dissertação de mestrado, e um artigo de Paes et al. (2008). Sobre os rios da região Norte foram apresentados trabalhos de Franzinelli (2011), sobre a influência tectônica na confluência entre os rios Negro e Solimões.

A construção teórica e conceitual sobre confluências fluviais têm sido desenvolvida principalmente por pesquisadores canadenses, americanos ou europeus.

Rice, Roy e Rhoads (2008) organizaram o livro “River Confluences, Tributaries and the Fluvial Network”, com a participação de vários pesquisadores que abordam as confluências fluviais e resgatam trabalhos sobre o assunto; muitos deles desconhecidos pela maioria dos estudiosos, o que favorece aqueles que iniciam o caminho neste ramo da geomorfologia fluvial.

Um grande impulso científico vem dos trabalhos desenvolvidos por Mosley, publicado em 1976, por meio de experimentos em laboratórios que identificou as principais bases para a compreensão dos comandos da estrutura dos fluxos e da morfologia das confluências (ROY, 2008). Mosley (1976 apud ROY, 2008) destacou duas variáveis importantes para a compreensão das confluências:

a) ângulo de cruzamento; e

b) taxa de descargas entre os canais confluentes, que afetam o tamanho a forma das zonas principais do fluxo (por exemplo, separação de fluxo a jusante da entrada do afluente) e do tamanho da área das confluências, que será aprofundado em seguida.

O sistema hidráulico nas confluências apresentou diversos processos como separação de fluxos, aceleração dos fluxos, a estagnação dos fluxos e uma camada de cisalhamento com alta intensidade de turbulência, uma recirculação de fluxos (RICE; ROY; RHOADS, 2008; ATKINSON, 1987; BEST, 1988; RICHARDS, 1980). Estes processos variam no tempo e no espaço.

As pesquisas realizadas sobre confluências fluviais foram desenvolvidas, em sua maioria, a partir de estudos de rios de pequeno porte. Apenas nos últimos anos os pesquisadores começaram a testar a validade destas teorias e hipóteses em rios de grande porte, incluindo as grandes confluências. Desta maneira, novas variáveis foram identificadas para compreensão das confluências como a largura do canal e a profundidade.

Aplicação de sistemas computacionais na análise da morfologia, do comportamento dos fluxos que têm sido animadores, sendo um aliado importante para análise das questões ambientais, econômicas e de obras em confluências. As confluências são locais preferenciais para enchentes e congestionamentos de gelo (em países de clima frio) e para a instabilidade do leito. Características que influenciam nas infraestruturas, como pontes, edifícios, em alguns países as áreas habitadas próximas ou uso agrícola (RICE; RHOADS; ROY, 2008). O uso agrícola está bem exemplificado na planície de inundação dos rios Paraná e Ivaí, no Estado do Paraná, onde a maior parte da planície de inundação, incluindo a área de confluência, é utilizada para atividade agrícola.

Segundo Rice, Rhoads e Roy (2008): muitos trabalhos foram desenvolvidos para a compreensão do fluxo durante a mistura nas junções (GAUDET; ROY, 1995; BEST; ASHWORTH, 1997; BIRON et al., 2004; RHOADS; SUKHODOLOV, 2004; DING; WANG, 2006); outros pesquisadores tentam desvendar as relações entre o transporte de sedimentos, morfologia e estratigrafia como Biron et al. (1993a), Kenworthy e Rhoads (1995), Ashworth (1996), Leclair e Roy (1997), Paola (1997), Roy e Sinha (2005) e Boyer et al. (2006); questões ligadas às interações biológicas nas confluências ganharam grande impulso (CELLOT, 1996; KUPFERBERG, 1996; FRANKS et al., 2002; FERNANDES et al., 2004; KREBS; BUDIONO, 2005; KIFFNEY et al., 2006); nos países de clima temperado-frio, as consequências do atolamento ou congestionamento do gelo nas confluências são abordadas e também tiveram grande desenvolvimento (PROWSE, 1986; ETTEMA et al., 1997; SHEN et al., 2000; ETTEMA; MUSTE, 2001); os rios entrelaçados passaram a ganhar

importância nos estudos sobre confluências (ASHMORE, 1991; ASHWORTH et al., 1992; BEST; ASHWORTH, 1997). Novos temas e abordagens estão sendo incorporadas às pesquisas sobre confluência não citadas neste trabalho, mas sugere-se a leitura da obra Rice, Roy e Rhoads (2008) para melhor compreensão das possibilidades futuras.

2.2 CONFLUÊNCIAS DE CANAIS FLUVIAIS

Os sistemas fluviais são áreas que formam “links” (nós/redes), de encontro de canais fluviais. Estes “links” representam as confluências fluviais, que são lugares únicos, em que dois canais se encontram, e as características físicas, químicas e biológicas são únicas nestes lugares. Nestes locais ocorrem mudanças significativas na geometria hidráulica do leito, do fluxo de água e no transporte de sedimentos (RICHARDS, 1980; BENDA et al., 2004; RICE; ROY; RHOADS, 2008; ATKINSON, 1987).

Estas transformações ocorrem principalmente a jusante do rio, no fluxo de água no leito. Em determinadas confluências há modificações também a montante da confluência (como no rio Ivaí-PR, objeto de estudo mais adiante nesta tese), quando o tributário tem aumento de volume de água e represa o canal principal alterando o fluxo do mesmo, avançando a montante e desviando ou represando o mesmo. A análise do fluxo do rio Ivaí-PR, efetuada por Biazin (2005), revelou que o rio Ivaí apresenta fluxos de direção invertida (para montante) em sua confluência com o rio Paraná, nos momentos de cheia do rio principal. Esta interação também foi verificada posteriormente por intermédio da análise de imagens orbitais sucessivas por Douhy (2013) que será aprofundado no capítulo sobre a confluência do Ivaí.

O porquê ocorrerem estas mudanças dentro das confluências é questão fundamental para compreensão dos fenômenos ligados aos fluxos, à morfologia do canal, ao transporte de sedimentos e às mudanças promovidas a jusante do rio Paraná.

A modelagem de campo, a física, os avanços estatísticos permitiram identificar cinco estruturas principais no controle do fluxo, morfologia de transporte e leito em confluências (ATKINSON, 1987):

- 1) ângulo de convergência entre os canais confluentes;
- 2) taxa de descarga, ou a dinâmica de fluxo, entre os canais de entrada;

3) formas plana da junção (por exemplo, ‘Y’ ou ‘T’) e tipo do rio a montante da confluência (ou seja, meândrico, retilíneo, único, múltiplos);

4) presença de qualquer profundidade diferencial entre os canais de entrada; e

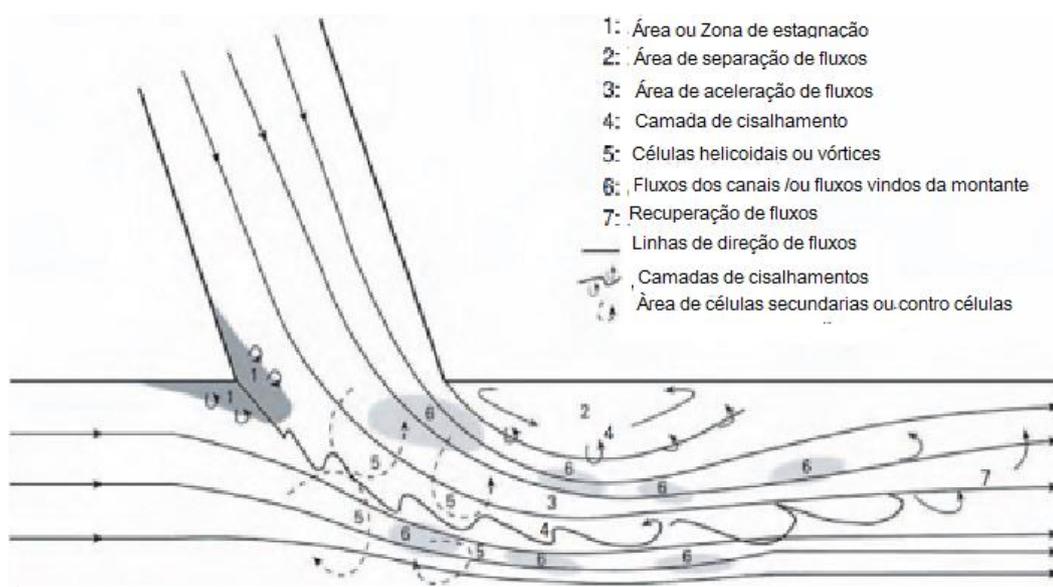
5) rugosidade relativa na confluência (relação entre profundidade, fluxo e tamanho do sedimento), a hidrodinâmica de transporte não faz seleção do tamanho das partículas e mesmo os grãos maiores são transportados pela área da confluência.

O ângulo de um canal de confluência é importante para compreensão da descarga, transporte de sedimentos, área de escavamento. O ângulo interfere em diversos elementos da confluência como profundidade, formação de barras de confluência, transporte de sedimentos e na formação da área de escavamento “*scour*”.

A literatura sobre confluências identificam que a área de escavamento se forma no encontro dos dois canais aumentando na proporção que o ângulo aumenta; em confluências com ângulos inferiores a 15° pode ocorrer a ausência desta área de escavamento ou ser pouco representativa (BIRON et al. 1993a).

A complexidade nos fenômenos tridimensionais dos fluxos e da taxa de descarga nos locais de confluência, além da interferência do leito e do ângulo de confluência, promove, segundo Atkinson (1987), a ocorrência de sete zonas distintas da dinâmica dos fluxos (Figura 2.2):

Figura 2.2 – Zona das dinâmicas de fluxos em uma confluência.



Fonte: Atkinson (1987).

a) a zona de estagnação do fluxo localiza-se, geralmente, no canto superior da confluência. É causada pela diminuição da velocidade dos fluídos por devido a força centrífuga, gerada pelo encontro dos fluxos do canal principal e o tributário (ATKINSON, 1987; BEST, 1987, 1988; BEST; ROY, 1991; RHOADS; SUKHODOLOV, 2004);

b) área de separação de fluxo que ocorre a jusante no canto inferior da confluência. Parte dos fluxos não fica ligado ao fluxo principal em razão das modificações da geometria e da pressão hidroestática nesse local forma uma região de fluxo onde ocorre a recirculação lenta até a dispersão dos fluídos a jusante da confluência. Esta zona de separação, em uma confluência assimétrica, só ocorre do lado inclinado (ou seja, tributário) da junção. O tamanho destas áreas, a modificação ou ausência deve-se ao ângulo de divergência que pode ser alterado por uma barra ou depósito de sedimentos (ATKINSON, 1987; BEST, 1987, 1988; BEST; ROY, 1991; RHOADS; SUKHODOLOV, 2004; BRADBROOK; LANE; RICHARDS, 2000);

c) área de aceleração de fluxos no centro de confluência, gerado por ambas as descargas de fluidos que passam através da junção e que se desenvolve no início da confluência para a jusante com distâncias variadas, de dezenas a centenas de metros. Esta região de aceleração de fluxos localiza outras áreas da dinâmica dos fluxos como cisalhamento, fluxo helicoidal e ressurgência de fluídos (ATKINSON, 1987; BEST, 1987, 1988; BEST; ROY, 1991; RHOADS, 1996; RHOADS; SUKHODOLOV, 2004);

d) camadas de cisalhamento geradas nas regiões com velocidades severas. As camadas de cisalhamento podem estar presentes em ambos os lados da região de estagnação entre os dois fluxos ou aparecer delimitando regiões de separação do fluxo, as alterações da morfologia pode favorecer o avanço da área profunda na área central da confluência (ATKINSON, 1987; BEST, 1987, 1988; BEST; ROY, 1991). Estas áreas de cisalhamento são instabilidades denominadas de Kelvin-Helmholtz, que geram altas tensões de cisalhamento influenciando na mistura dos fluídos e transporte de sedimentos. A origem está ligada às diferenças de temperatura, à densidade e às velocidades do fluxo;

e) O fluxo helicoidal desenvolve-se dentro da junção pela presença de curvatura da linha de fluxo (*stream line*); estas linhas são a direção da velocidade naquele ponto alterando-se quando ocorre a aceleração dos fluxos. Uma questão

importante é ressaltar que raramente uma hélice inteira é completada (ATKINSON, 1987; BEST, 1987, 1988);

f) regiões de ressurgência de fluídos que aparecem em ambas as camadas de cisalhamento são fluxos associadas à topografia do leito, geralmente onde o leito do afluente tem diferença de altura com a junção (ATKINSON, 1987; BEST, 1987, 1988), o que favorece o surgimento de fluxos diversos na direção de outros, aumentando a taxa de mistura na confluência (GAUDET; ROY, 1995);

g) por último, tem-se observado que existe uma região de recuperação de fluxo a jusante da confluência. Isto é onde os efeitos da junção e do fluxo diminuem e se tornam mais uniformes. Entretanto, as águas podem permanecer sem se misturar, principalmente em canais largos a jusante; a turbulência é mínima no local de junção e ao longo da camada de cisalhamento (ATKINSON, 1987; BEST, 1987, 1988).

A complexidade dos fenômenos tridimensionais dos fluxos nos locais de confluência deve-se às variações de velocidades que dependem principalmente da vazão diferenciada dos canais nesta região. Pode-se ou não encontrar todos os elementos descritos acima na confluência, alguns pode-se fazer presente como o aumento de fluxos e velocidades e desaparecer em outros com baixo volume de fluxo.

2.3 GEOMORFOLOGIA DAS CONFLUÊNCIAS

Segundo Atkinson (1987), Best (1988) e Rice, Roy e Rhoads (2008), a morfologia das confluências do canal do rio pode apresentar quatro elementos distintos, mas podemos resumir em duas:

- 1) “scour” ou área de escavamento;
- 2) barras de confluência:
 - 2.1) barras de confluência do afluente;
 - 2.2) barras nas regiões de separação do fluxo; e
 - 2.3) barras de meandros na região de desaceleração do fluxo.

Primeiro, a área de escavamento ocorre no encontro dos fluxos do canal principal com o tributário, provocando um desnível em relação aos mesmos nesta região seguindo a orientação dos ângulos da confluência. Geralmente, a

profundidade é maior na mesma proporção que o ângulo aumenta. Nestes locais o desnível é de duas a dez vezes maiores que a profundidade dos canais a montante (ATKINSON, 1987; BEST; ASHWORTH, 1997).

As origens da área de escavamento podem se resumir em:

- a) aceleração de fluxo no centro de confluência provocando a limpeza do fundo (ROY; ROY; BERGERON, 1988);
- b) influência da turbulência ao longo da camada de cisalhamento entre os fluxos, mantendo em suspensão partículas que facilitam o transporte das mesmas;
- c) fluxos secundários na área da junção ou da camada de cisalhamento que descem em direção ao leito limpando e aprofundando esta área da confluência; e
- d) transporte de sedimentos que ocorre de forma diferente em função da velocidade dos fluxos e no entorno ou limpando a área de escavamento.

As barras de confluência do afluente, localizadas, geralmente, nas margens antes da junção e na formação da área de escavamento, apresentam a face íngreme que mergulha em direção à junção dos rios. O ângulo de formação das barras é variável, pode apresentar poucos graus ou ângulo próximo ao valores da confluência. O que interfere na sua formação é a relação de descarga da confluência podendo migrar ou até desaparecer em razão da combinação de fluxos.

Barras podem ser formadas nas regiões de separação do fluxo a jusante da confluência. A separação de fluxo fornece o surgimento de uma região com velocidades menores nos cantos provocando o depósito de sedimentos de granulação mais fina, pois somente em razão da diminuição das velocidades nestas áreas é que podem ser depositadas.

Barras de meandros acontecem em áreas de desaceleração dos fluxos a jusante da área de escavamento, ocorre preferencialmente em junções de forma plana em 'Y', com a deposição de sedimentos erodidos na limpeza da junção.

Ferguson (1993) identificou que nos rios entrelaçados o canal se alarga para dar vazão a maior descarga de fluídos e sedimentos formando barras a jusante da confluência.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Esta pesquisa utilizou-se do reconhecimento da área de estudo através do uso de produtos de sensoriamento remoto, aerofotos e cartas topográficas. Iniciou-se com a análise das morfologias presentes nas áreas das confluências abordadas na pesquisa. Estas áreas foram previamente identificadas por intermédio de dados orbitais a partir da construção de um banco de dados no Sistema de Informações Geográficas (SIG): Quantum Gis e ArcGis, com processamento digital de imagens no software Envi.

Foram utilizados para construção o Sistema de Informação Geográfica - dados da missão SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) e as imagens orbitais dos satélites CBERS, Landsat, Landsat 7, Landsat 8, de diferentes anos, todos agrupados e georreferenciados em um banco de dados em projeção UTM e datum WGS 84.

As técnicas de Processamento Digital de Imagens (PDI), com os dados de Sensoriamento Remoto utilizadas, são amplamente difundidas na literatura. Estas tiveram a finalidade de discriminação das geoformas, como a dos paleocanais e paleoilhas e do mapeamento geomorfológico das áreas das confluências. Foi realizado também um levantamento de campo nas áreas para verificar *in loco* a presença de algumas dessas geoformas.

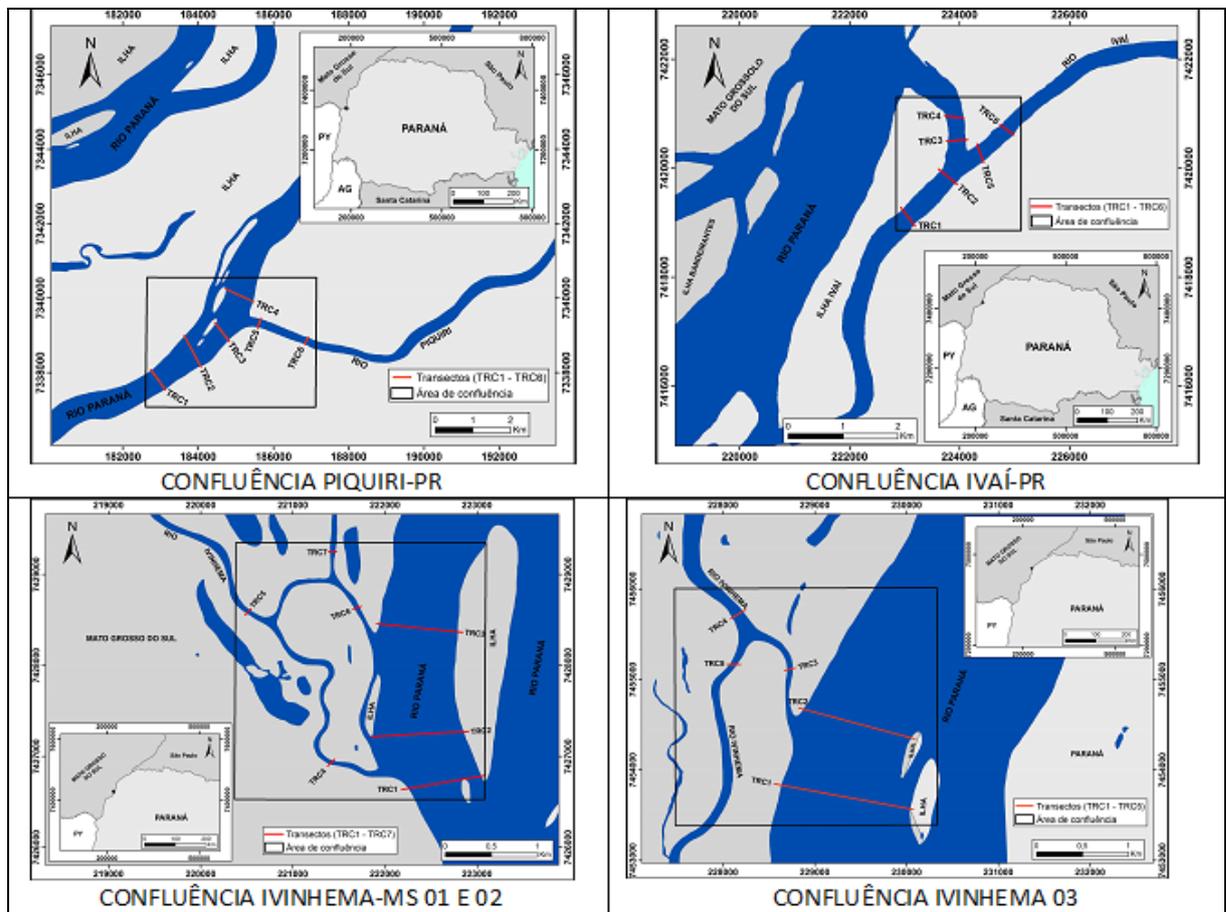
A escolha das seções transversais, realizada previamente por imagens de satélites, foi adaptada em campo pela presença de barras submersas que dificultavam o deslocamento da embarcação, nível do canal do rio, vegetação ou materiais depositados próximos às margens.

As seções transversais estão numeradas de jusante para montante de 1, 2 etc. (Figura 3.1). Na confluência do rio Piquiri-PR foram levantadas seis seções transversais: quatro no canal principal do rio Paraná e duas no tributário. Na confluência do rio Ivinhema 01 e Ivinhema 02 foram escolhidas sete seções transversais: três no canal principal e as demais no rio Ivinhema-MS. Na confluência do Ivinhema 03, foram escolhidas cinco seções transversais: sendo duas no canal do rio Paraná e três no tributário. Na confluência do rio Ivaí-PR, foram escolhidas seis seções transversais quatro no canal principal do rio Paraná e duas no canal no rio Ivaí-PR.

Nas seções transversais foram levantados dados sobre velocidade de fluxo, vazão do canal e direção de fluxos no momento da coleta. E ainda coletadas amostras de carga de fundo, de carga suspensa em três locais, sendo próximo às margens da seção e no meio do canal.

Foram realizadas ainda com ecobatímetro, da marca Furuno, dupla frequência, modelo 1650-F, seções transversais (Figura 3.1) e diversas longitudinais no canal das confluências e canal principal (rio Paraná) e nos tributários estudados (Piquiri-PR, Ivaí-PR e Ivinhema-MS), para a confecção de mapas batimétricos, com o objetivo de verificar a evolução dos processos geomorfológicos que ocorrem nas confluências e a evolução das geofomas.

Figura 3.1 – Localização das seções transversais nas confluências.



Fonte: Elaborado pelo autor, com colaboração de Carlos Henrique Graça, 2015.

Realizaram-se quatro campos de coleta, nos meses de fevereiro, maio, julho e novembro do ano de 2013, abrangendo períodos de diferentes vazões nos canais (Quadro 3.1). Isso possibilitou a análise das modificações na morfologia do canal, na vazão, na carga sedimentar hidrotransportada. Para análise das velocidades de

fluxos e geomorfologia do leito da confluência foram utilizados o ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler) e o ecobatímetro.

Quadro 3.1 – Datas de campo nas confluências.

	Confluência Ivinhema 01 e Ivinhema 02	Confluência do rio Ivinhema 03	Confluência Ivaí	Confluência Piquiri
1° Campo	06/02/2013	07/2/2013	08/2/2013	04/2/2013
2° Campo	07/5/2013	06/5/2013	07/5/2013	09/5/2013
3° Campo	16/7/2013	15/7/2013	16/7/2013	18/7/2013
4° Campo	26/11/2013	25/11/2013	26/11/2013	28/11/2013

Fonte: Organizado pelo autor, 2015.

Segundo Cunha (1996, p. 160), a “velocidade da corrente é medida em metros por segundo (m/s) por tratar-se de uma relação entre a distância percorrida (espaço) e o tempo de percurso ($V+D/T$)”. Diversas técnicas são utilizadas na medição de vazão de rios e canais, sendo classificadas de convencionais (método direto) e não convencionais (método indireto). Os principais métodos convencionais são o uso do molinete, do ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler) e ecossonda para levantamento batimétrico, sendo estes considerados de precisão (CARVALHO, 2008).

Nesta pesquisa determinou-se a vazão por meio de ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler), modelo Rio Grande de 600 kHz, para profundidades mínima de 0,75 m e máxima de 100 m, utilizado para processamento das informações o software WINRIVER, fabricado pela RD Instruments.

Para a elaboração de modelos e mapas batimétricos para análise da morfologia dos canais foi utilizada uma ecossonda da marca Furuno GP-1650, acoplada a um GPS Sistema de Posicionamento Global de 12 canais. O “sensor emite um sinal sonoro a 1500 m/s em uma frequência de 50 kHz ou 200 kHz, o sinal é refletido pelo leito retomando ao instrumento que calcula a distância entre o emissor/receptor” (CARVALHO, 2008, p. 76). Um computador portátil fez a captura, processamento dos sinais georreferenciados por meio de Software FUGAWI 4.5 e exporta na forma de arquivo de texto, para posteriormente interpolação no Programa SURFER, por intermédio dos interpoladores como Triangulation with linear interpolation ou Kriging.

Nesta pesquisa foi utilizado o método da Krigagem. O mapa gerado no SURFER 8 é finalizado nos software AUTO CAD, COREL ou PHOTOSHOP (CARVALHO et al., 2000; CARVALHO, 2008; FRANCO, 2007).

Os mapas gerados permitem a visualização da morfologia das confluências, visualizando os canais, profundidade, talvegue, topografia das áreas da confluência e geoformas geradas na área durante o ano de 2013.

A coleta de carga suspensa e de fundo deve considerar, para sua análise, as medições de temperatura da água, declividade do gradiente energético da linha d'água, turbidez e condutividade para determinar a descarga do leito (ou arrasto), o material transportado em suspensão e do leito é a descarga total (CARVALHO et al., 2000).

A velocidade da corrente e da turbulência agita as partículas do leito; estas são movimentadas por meio da suspensão, arrasto, saltação ou rolamento até que as forças que atuam cessem ou diminuam (CARVALHO et al., 2000; CARVALHO, 2008; CHRISTOFOLETTI, 1981).

A coleta de água para análise de carga suspensa, matéria orgânica e outros parâmetros químicos foi realizada com coletor de integração vertical (Figura 3.2-A). Este equipamento consiste em um tubo de PVC, com um peso ao fundo e um recipiente tipo garrafa (plástica ou vidro) com volume conhecido que solto no canal do rio desce na vertical coletando amostras da coluna de água até o fundo.

O método utilizado para quantificação do sedimento em suspensão foi o de filtragem. Utilizou-se de uma balança de precisão de 0,0001 mg, equipamento de filtragem composto (tipo manifold) e filtro de 0,47 mm (para retenção dos sólidos presentes na água), bomba de vácuo, mangueiras, frasco coleta e aspiração fechado. Utilizou-se a seguinte fórmula já consagrada no laboratório de Sedimentologia do Gema e na literatura, como em Carvalho (1994) e Sander et al. (2014):

$$QSS = 0,0864.Q.CSS$$

em que:

QSS = descarga sólida em suspensão média em t/dia;

Q = vazão ou descarga líquida média em m³/s CSS = concentração média de sedimentos em suspensão em Mg/L.

Figura 3.2 – Coletor de água de integração vertical e amostrador de carga de fundo tipo Van Veen.



Fonte: Fotos do autor, 2013.

Os valores de descarga obtidos nos dias de amostragem foram realizados com um aparelho tipo ADCP, Rio Grande 600.

A carga suspensa caracteriza-se pelos materiais sólidos transportados pelas drenagens de uma bacia que estão em suspensão, e que podem ser retidos por filtração, com a retenção de partículas de diâmetro maior ou igual a 1,2 μm . Em geral, é composta pelas frações mais fina dos materiais provenientes das encostas ou mesmo do leito; mantida em suspensão pela ação da turbulência, pode-se encontrar em silte, argila e areia muito fina ou fina (CARVALHO et al., 2000).

De acordo com Coelho (2007), o monitoramento da carga suspensa é muito importante, pois representa a quantidade de sedimentos produzidos na bacia, uma vez que demonstra, de forma indireta, a presença dos processos erosivos. O excesso de sólidos é sempre um perigo para a fauna e flora do ecossistema local e representa a perda de qualidade da água, também podem indicar processos de assoreamento de rios e lagos.

Para a coleta de carga de leito utilizou-se um amostrador manual e pontual, tipo Van Vem (Figura 3.2-B). As amostras foram secas em temperatura ambiente. E posteriormente determinou-se sua granulometria por peneiramento.

Diversos são os métodos utilizados para selecionar o tamanho das partículas: densímetro, pipetagem, peneiramento e granulômetro a laser. Esta pesquisa utilizou-se do peneiramento (SUGUIO, 1973) e a amostras com textura argilosa foram

lavadas em solução de hidróxido de sódio a 40%. Abaixo segue o quadro 3.2 com a síntese adaptada neste trabalho.

Quadro 3.2 – Classificação granulométrica adaptada.

Classificação	(mm)	Utilizado no trabalho
Grânulos e calhaus	< 2,0	Areia muito grossa, grânulo e calhaus
Areia muito grossa	2,0 a 1,410	
Areia grossa	1,410 a 0,50	
Areia média	0,50 a 0,250	
Areia fina	0,250 a 0,125	Areia
Areia muito fina	0,125 a 0,0062	
Silte argila	0,0062 >	Lama
Argila		

Fonte: Suguio (1973) – Adaptado pelo autor, 2015.

Para determinar o fluxo dominante na confluência utilizou-se a fórmula de De Serres et al. (1999), conforme segue:

$$Mc = U \text{ Trib. } Q \text{ Trib.} / U \text{ Canal. } Q \text{ Canal}$$

sendo:

Mc = dominância do fluxo;

U = velocidade da água;

Q = descarga média;

Trib = rio tributário;

Canal = canal principal

Se: $Mc > 1$ (dominação do tributário) ou $Mc < 1$ (dominação do canal principal)

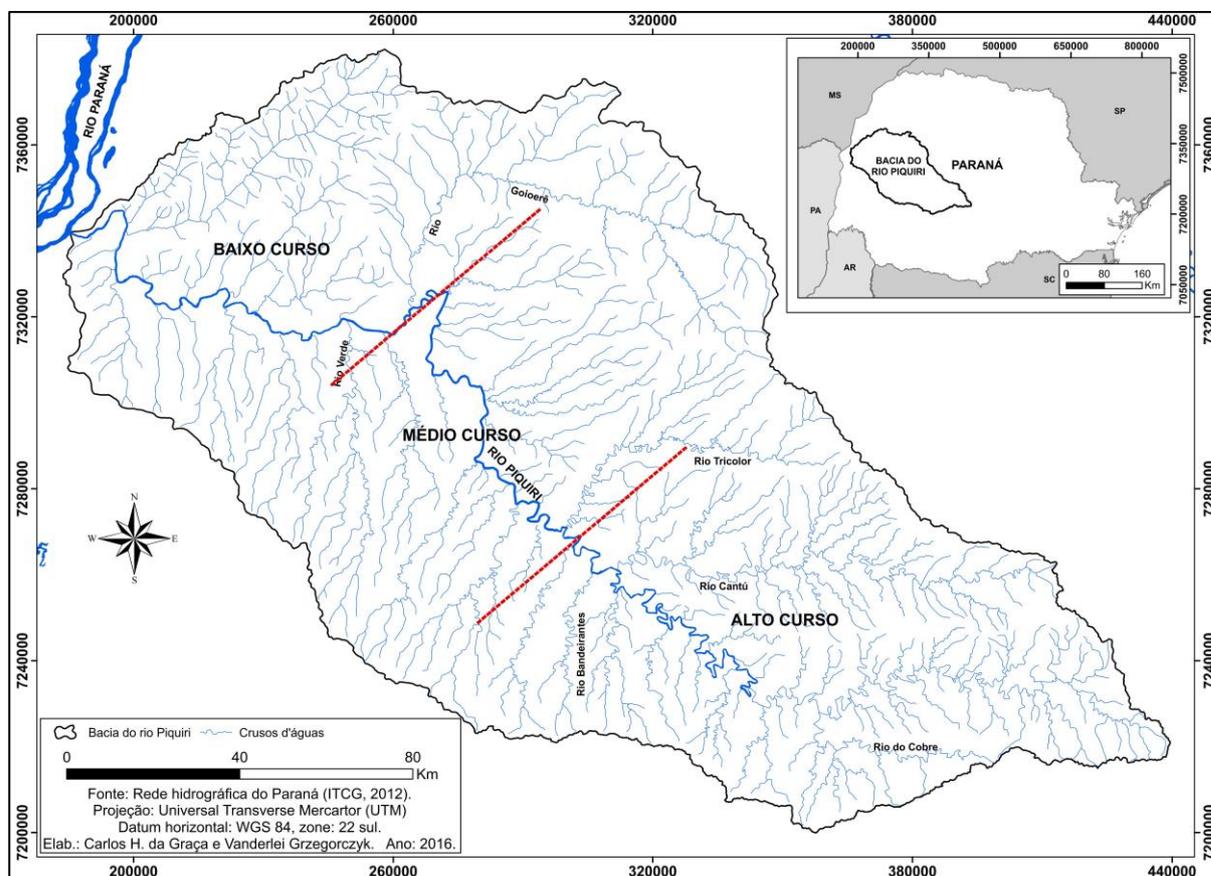
Realizou-se também um levantamento bibliográfico (textos, livros, e artigos), de pesquisas sobre confluências de dados das estações fluviométricas e pluviométricas da área estudada.

4 CARACTERIZAÇÃO E ANÁLISE DA GEOMORFOLOGIA E DINÂMICA SEDIMENTAR DA CONFLUÊNCIA DO RIO PIQUIRI-PR

4.1 GEOLOGIA E GEOMORFOLOGIA DA CONFLUÊNCIA DO RIO PIQUIRI-PR

O rio Piquiri-PR localiza-se na bacia hidrográfica do mesmo nome, entre as coordenadas geográficas de 23°38' e 25°19' de latitude sul e 51°37' e 54°07' de longitude oeste. Suas nascentes na serra do São João-PR a 1.237 m de altitude percorrem aproximadamente 691 km (FUJITA, 2014) desde sua nascente até a foz. A bacia hidrográfica ocupa a área de 24.731 km² aproximadamente (GRISON, 2010). O rio Piquiri-PR deságua na margem esquerda do rio Paraná, entre os municípios de Altônia e Terra Roxa acerca 220 m de altitude (LIMA et al., 2004; IAP, 2014; MAACK, 2012) (Figura 4.1).

Figura 4.1 – Mapa da bacia hidrográfica do rio Piquiri-PR.



Fonte: Elaborado pelo autor, com colaboração de Carlos Henrique Graça, 2016.

Observa-se que as confluências estudadas nesta tese são formadas por um tributário do rio Paraná (Piquiri-PR, Ivaí-PR e Ivinhema-MS) e um dos canais secundários do rio Paraná, pois como já dito o rio Paraná apresenta um padrão multicanal. Por isso, neste texto quando se refere ao rio Paraná está na realidade referindo-se a um destes canais secundários formado pela margem do rio e a margem da ilha a frente da confluência.

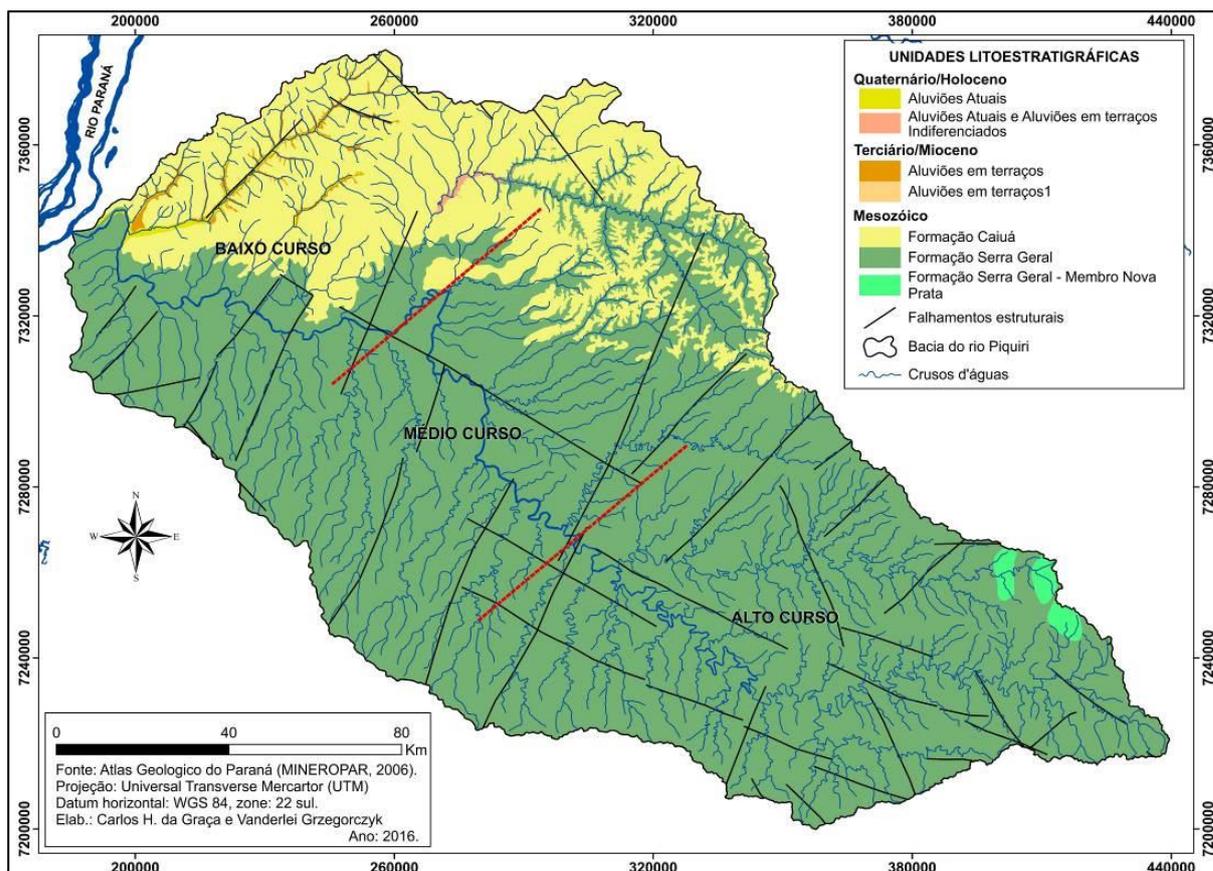
O rio Piquiri-PR tem seu trajeto controlado por grandes alinhamentos estruturais da bacia sedimentar do Paraná no Estado do Paraná com uma direção geral sudeste-noroeste até o início do curso inferior, onde volta a correr no sentido leste-oeste como ocorre no rio Ivaí-PR (SANTOS et al., 2008; SOUZA JUNIOR et al., 2013).

O rio Piquiri-PR desenvolve-se principalmente sobre litologias Cretáceas dos grupos São Bento e Bauru, drenando, respectivamente, as rochas vulcânicas da Formação Serra Geral e no curso inferior, arenitos da Formação Caiuá que ocorrem em afloramentos esparsos, principalmente próximos a foz (Figura 4.2). Corre quase que exclusivamente sobre leito rochoso, desenvolvendo próximo da foz uma restrita e descontínua planície aluvionar. A Formação Serra Geral abrange a maior parte da bacia hidrográfica do rio Piquiri-PR, abrangendo 81% da área total, o que influencia diretamente na produção de sedimentos argilosos que são transportados por ele (BITTENCOURT, 1993).

Na porção norte e noroeste da bacia afloram as litologias da Formação Caiuá (Kr) (Figura 4.2). Na região da confluência ocorrem afloramentos isolados, desta formação, como resistentes morrotes de arenito silicificado alinhados no sentido SSW-NNE. No baixo curso e na área de confluência do rio Piquiri-PR com o rio Paraná, ocorrem restritos depósitos aluvionares (Quaternários), na planície de inundação e nos terraços (BITTENCOURT, 1993).

Na área da confluência do rio Piquiri-PR com o Paraná, os terraços e aluviões são originários da própria dinâmica de cheias entre estes rios, que possibilitam o desenvolvimento de sedimentos aluvionares Quaternários (BITTENCOURT, 1993).

Figura 4.2 – Unidades geológicas da bacia hidrográfica do rio Piquiri-PR.



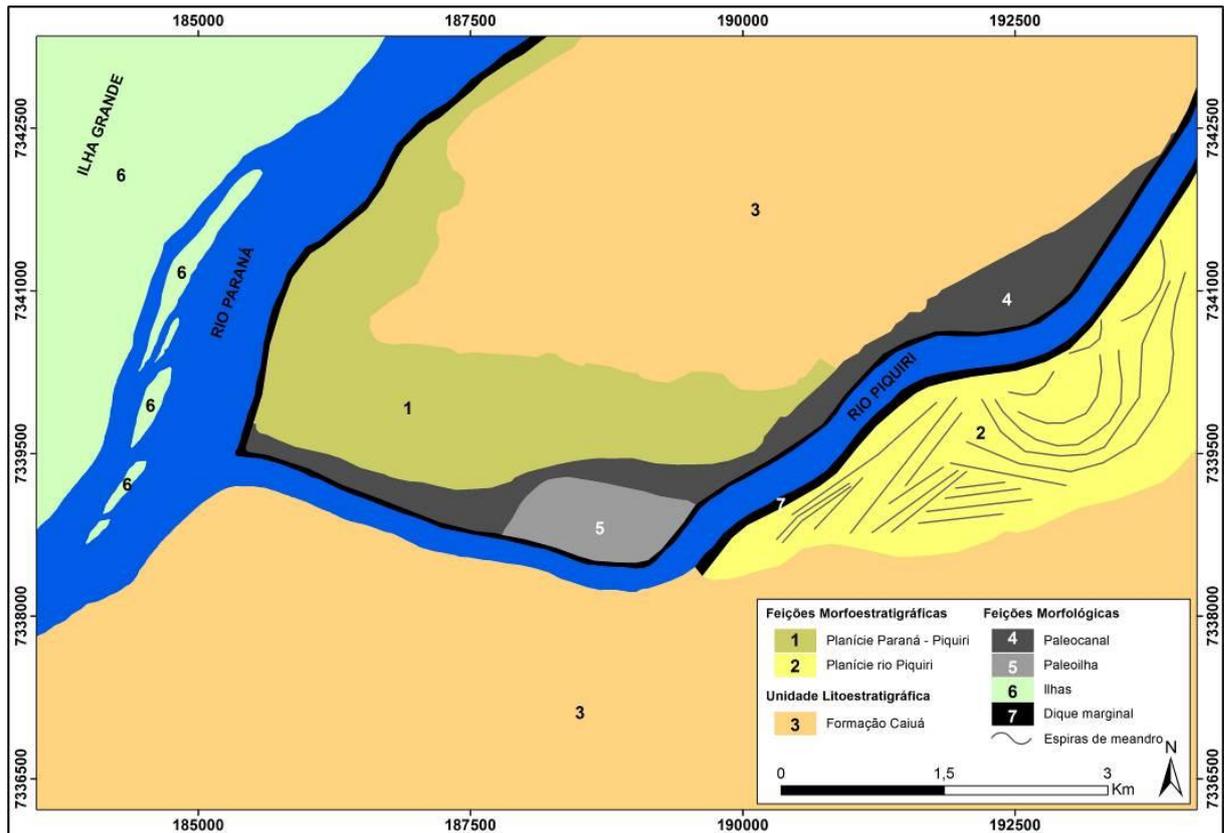
Fonte: Mineropar (2006) – Elaborado pelo autor, com colaboração de Carlos Henrique Graça, 2016.

A área, em análise, apresenta quatro unidades geomorfológicas (Figura 4.3) sendo: duas unidades de planície de inundação denominadas de planície Paraná/Piquiri e planície Piquiri e duas unidades de canal fluvial, o canal do rio Piquiri-PR e o canal do rio Paraná. Na região próxima das unidades acima, destacam-se os morrotes do Arenito Caiuá, na margem esquerda da confluência. Estas feições exibem esparsos afloramentos desta litologia. No canal do rio, o afloramento de arenito próximo da margem esquerda da confluência, surge como uma área de resistência aos fluxos do rio Piquiri-PR, isso favorece ao aprofundamento do leito e estabilidade atual da margem.

A planície Paraná/Piquiri ocupa uma área de cerca de 700 m de largura ao longo da margem esquerda do rio Paraná, na área a montante da confluência a 3 km da margem direita do rio Piquiri-PR. É delimitada pela presença dos sedimentos arenosos da cobertura superficial do Arenito Caiuá. Trata-se de uma planície aluvial construída pelo rio Paraná e retrabalhada pelo rio Piquiri-PR. Essa unidade é influenciada pelas cheias dos dois rios e pela variação do nível

do freático. Nela encontram-se cicatrizes de paleocanais e áreas pantanosas (bacias de inundação). As sondagens rasas realizadas nessa área mostraram a ocorrência dominante de sedimentos de textura argilo-arenosa (SANTOS, 2005) (Figura 4.4).

Figura 4.3 – Geomorfologia da confluência do rio Piquiri-PR.



Fonte: Elaborado pelo autor, com colaboração de Carlos Henrique Graça, 2016.

Figura 4.4 – Aspectos da margem esquerda da confluência do rio Piquiri-PR e a planície Paraná/Piquiri margem direita.



Fonte: Foto do autor, 2013.

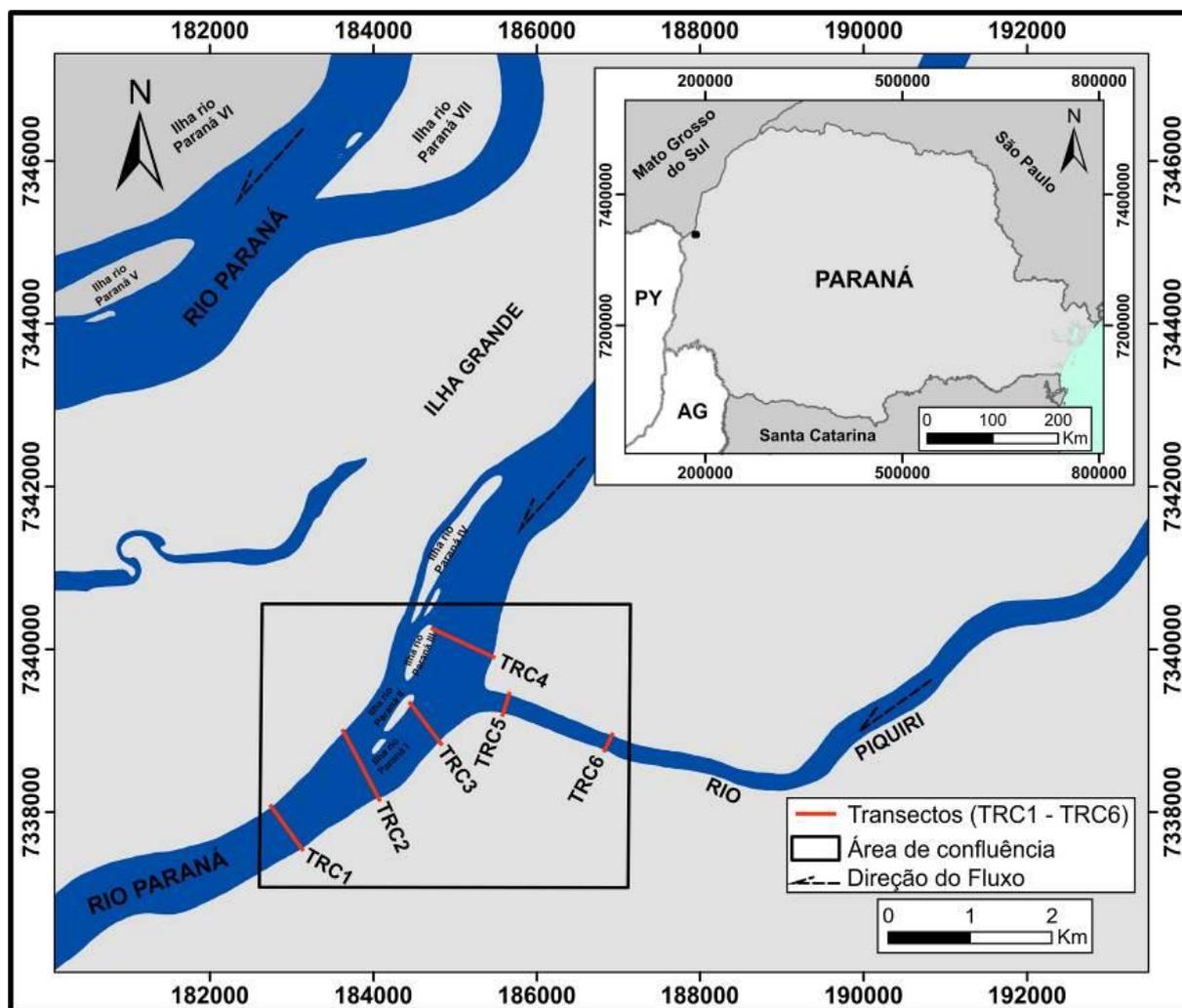
Planície Piquiri: desenvolve-se de forma restrita com cerca de 4 km de comprimento e com largura que varia de 200 m a 1,5 km, ao longo das margens do rio Piquiri-PR. Ocorre em um conjunto de pequenas planícies descontínuas, construídas pelo rio Piquiri-PR. Nas proximidades da confluência, estas ficam mais estreitas e são encontradas em ambas as margens, sendo que na margem esquerda apresenta maior dimensão. Nessa unidade ocorrem geofomas bem marcadas de paleocanais e de paleoilha. A ocorrência dessas geofomas sugere que a confluência migrou para SW em aproximadamente 2 km. Esta migração também foi verificada na confluência do rio Ivaí-PR, provavelmente deve se à atividade neotectônica, como evidenciado por Moraes et al. (2012), e Souza Junior (2012) e Souza Junior et al. (2013).

4.2 ANÁLISE DA BATIMETRIA, PERFIS BATIMÉTRICOS, FLUXOS, VELOCIDADE E VAZÃO POR MEIO DO ADCP NA CONFLUÊNCIA DO RIO PIQUIRI-PR, COM O RIO PARANÁ – CONFLUÊNCIA PIQUIRI-PR

A confluência do rio Piquiri-PR localiza-se em frente a Ilha Grande e um pequeno arquipélago de ilhas do rio Paraná.

Os dados coletados nesta confluência, conforme descrito na metodologia, como batimetria, medição de vazão, coleta de água e sedimentos, foram realizados ao longo de seis seções transversais (transectos) (Figura 4.5). Estas seções transversais são numeradas da jusante para a montante. O canal principal é o canal do rio Paraná, onde se localizam as seções 1 a 4. As seções 1 a 3 localizam-se a jusante da confluência e a seção 4 a montante. No canal do rio Piquiri-PR, aproximadamente a 100 m da confluência, encontra-se a seção transversal 5, que permite avaliar a interação entre o canal principal e o tributário no encontro ente os fluxos de água e os sedimentos, a seção transversal 6 também se localiza a montante da confluência acerca de 2.000 m.

Figura 4.5 – Localização das seções transversais e coleta de parâmetros da confluência do rio Paraná com o rio Piquiri-PR.



Fonte: Elaborado pelo autor, com colaboração de Carlos Henrique Graça, 2015.

O canal do rio Paraná, em seu curso superior, possui dezenas de ilhas dividindo e subdividindo o fluxo do rio, sendo uma característica deste rio multicanal também nesta área. Cada um destes canais apresenta características hidráulicas e geomorfológicas únicas. Na área da confluência do rio Piquiri-PR, localiza-se a Ilha Grande com dezenas de quilômetros de comprimento. Entre a margem esquerda do rio Paraná, além desta ilha, há outras menores que se estendem de forma longitudinal seguindo o fluxo do rio. Na região da confluência, há a presença de ilhas que alteram o fluxo do canal na margem direita da ilha. Em épocas de cheias, como as ocorridas no mês junho de 2013 e 2014, estas ilhas e as planícies e a maior parte da Ilha Grande podem ser cobertas pelas águas que depositam sedimentos.

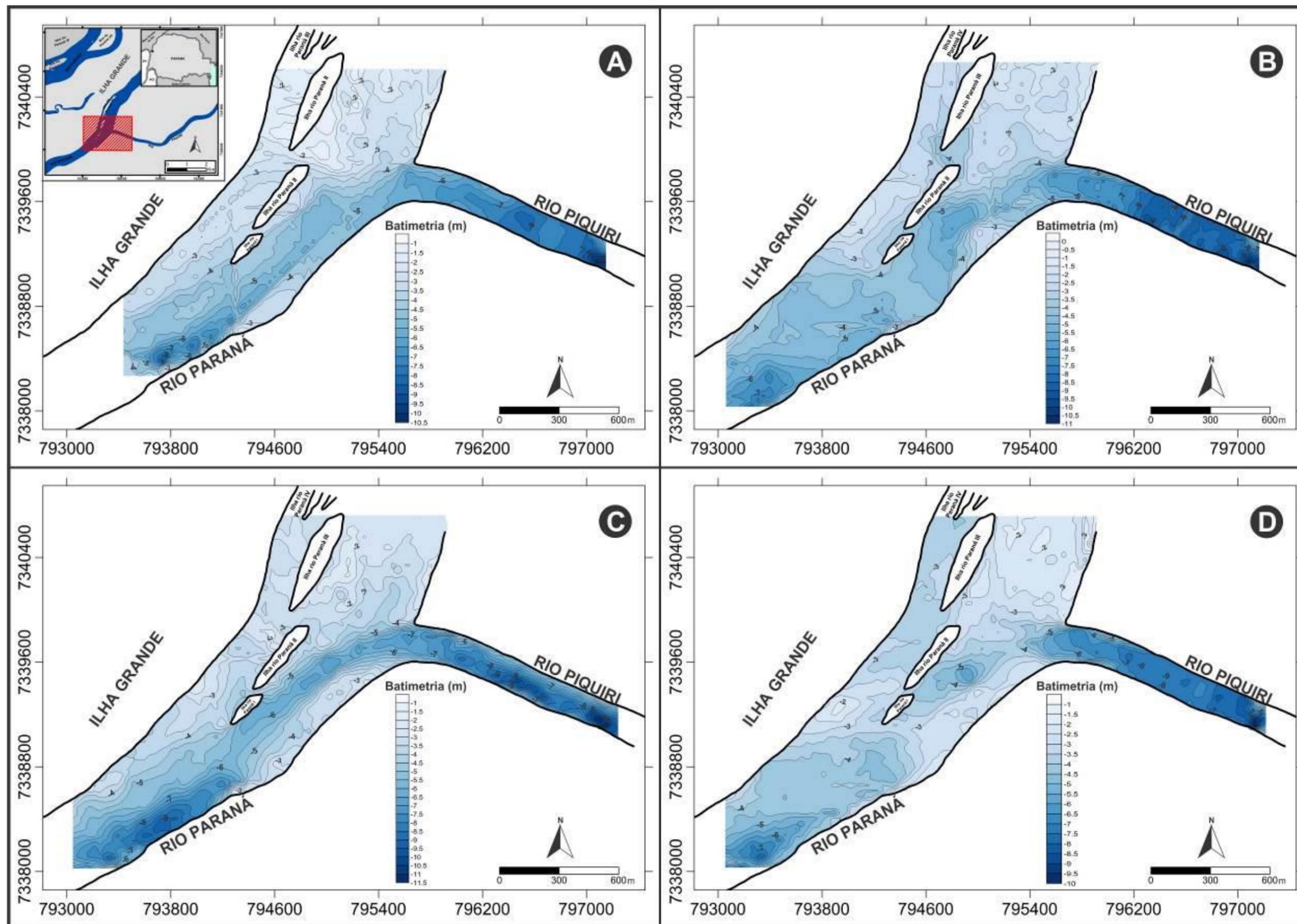
A atividade antrópica é intensa; durante o período de realização das coletas observou-se que, nesta confluência, no canal principal (rio Paraná) há grande movimentação de dragas de areia que sobem a montante retirando areia do fundo do canal. O impacto disso e sua possível alteração na morfologia do leito do rio e na dinâmica dos fluxos na confluência não foram objetos de análise nesta pesquisa.

Comparando os dados batimétricos dos quatro campos realizados na confluência do rio Piquiri-PR (Figura 4.6), nota-se que a morfologia do leito sofreu poucas alterações. As pequenas variações na geomorfologia são decorrentes dos processos de erosão e sedimentação da carga sedimentar hidrotransportada, principalmente pela interação dos fluxos dos rios Piquiri-PR e Paraná, mantendo a forma espacial do leito mesmo em períodos de vazante ou de cheia.

Verificou-se no período da pesquisa que as maiores profundidades entre 7 a 11,5 m ocorreram entre as seções transversais 5 e 6 diminuindo na direção à confluência com o rio Paraná. Isso se deve ao barramento do fluxo do rio Piquiri-PR pelo Paraná que promove a deposição parcial da carga sedimentar. O canal do rio Piquiri-PR, junto à margem esquerda da seção 6, apresentou as maiores profundidades. O tributário corre sobre o leito rochoso recoberto parcialmente por depósitos sedimentares, predominantemente de areia média.

O canal do rio Paraná a montante da confluência possui as menores profundidades entre 2 a 3 m, aumenta a partir da foz do rio Piquiri-PR, eleva as médias para 4 a 6 m e alcança até 9 m próximos à margem esquerda do rio Paraná. A carga de fundo é constituída principalmente por areia grossa a média e grânulos, típica do rio Paraná no seu curso superior.

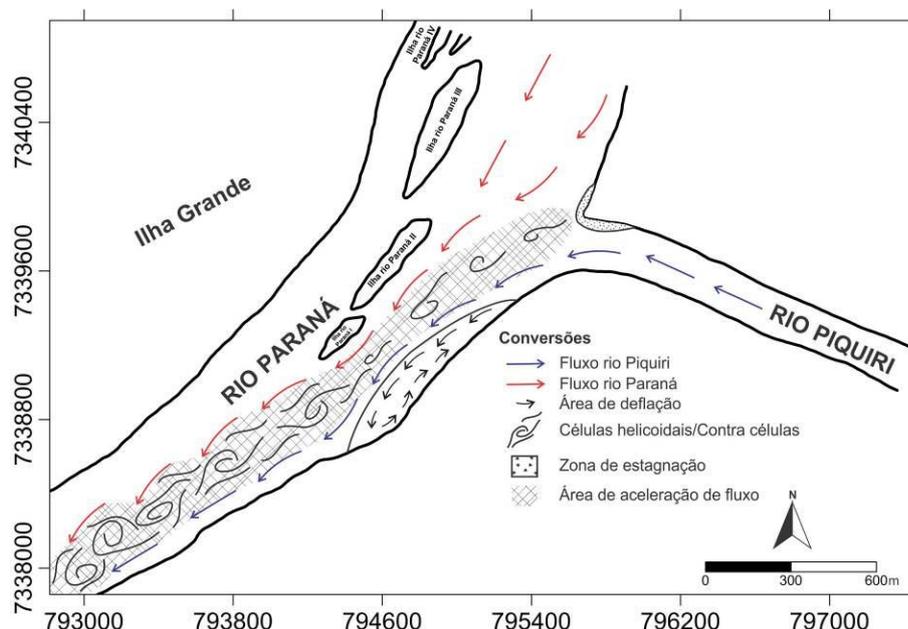
Figura 4.6 – Mapas batimétricos das quatro campanhas da confluência do Piquiri-PR. 2013.



Fonte: Elaborado pelo autor, com colaboração de Carlos Henrique Graça, 2015.

As medições de velocidades obtidas nas seções transversais, batimetria, e análise visual possibilitam a construção de um modelo semelhante ao proposto por Best (1987), representando feições geomorfológicas nesta confluência (Figura 4.7). O trabalho considerou o canal do rio Paraná como principal (determinante) e o rio Piquiri-PR como secundário. O tributário possui um fluxo uniforme que perde velocidade e força ao se estender em direção ao canal secundário do rio Paraná, e uma zona de estagnação estreita surge a 75 m da confluência na margem direita do rio Piquiri-PR e se estende a mais ou menos 50 m a montante da confluência na margem esquerda do canal secundário do rio Paraná.

Figura 4.7 – Modelo proposto por Best (1987), adaptado para a confluência do rio Piquiri-PR.



Fonte: Elaborado pelo autor, com colaboração de Carlos Henrique Graça, 2015.

Foram identificadas, na área de escavamento entre o tributário e o canal principal, profundidades entre 2 a 3 m inferiores as do rio Paraná, esta área de escavamento inicia-se na foz do rio Piquiri-Pr, direciona-se paralelamente no fluxo dos dois canais em uma curvatura que se estende no canal do rio Paraná. Na área de contato das águas dos dois rios verifica-se a presença de vórtices superficiais gerados pelas turbulências geradas pelo encontro entre as águas. Estes vórtices verificados durante as campanhas tem relação direta com o volume de descarga dos rios pesquisados; na campanha de fevereiro de 2013 observou-se a presença dos mesmos até 150 m após a confluência com as cota dos rios abaixo do nível normal, e 1.000 a 1.200 m no mês de julho, período pós-cheia com os canais acima da cota.

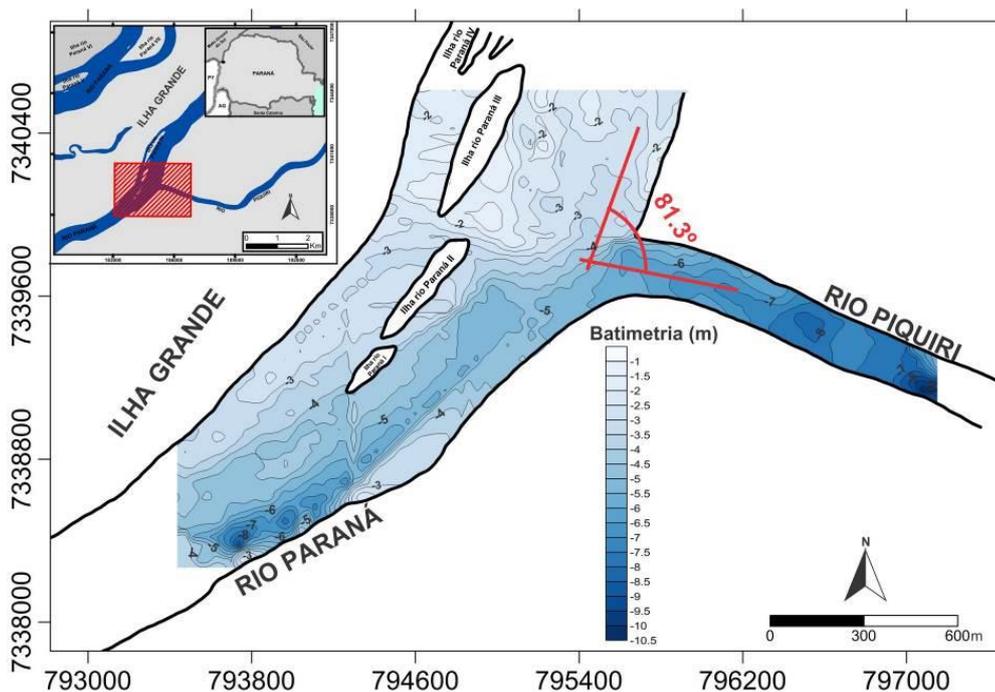
A mistura entre os dois fluxos refletiu o nível dos rios, sendo que na primeira campanha ocorreu, aproximadamente, 1.800/2.000 m, após a confluência. Nas campanhas de maio e novembro de que ano 2013 aproximadamente, 2.000/3.000 m. Na campanha de julho 2013, período pós-cheia, a mistura só começa a se concretizar a 10 km da confluência.

As confluências podem favorecer o aparecimento de barras, apesar de ser encontradas estas ao longo do canal principal, não se pode atribuir o surgimento destas forças que atuam na confluência, mas com a própria dinâmica dos fluxos do rio Paraná.

Próximo à margem esquerda, a jusante da confluência, foi encontrada uma grande área de deflação entre as seções transversais 2 e 3; esta área possui velocidades de fluxos menores, como verificado por Best (1987).

Segundo Atkinson (1987), o ângulo da confluência combinado com as velocidades e a vazão influenciam na direção do fluxo até cerca de 150 m a jusante da foz, no canal principal. O ângulo da confluência é de $81,3^\circ$ (Figura 4.8). A largura do canal do rio Paraná nesta área é três vezes maior que a do rio Piquiri-PR. No entanto, o rio Paraná possui profundidades menores que o Piquiri-PR, antes da confluência.

Figura 4.8 – Ângulo da confluência do rio Piquiri-PR.



Fonte: Elaborado pelo autor, com colaboração de Carlos Henrique Graça, 2015.

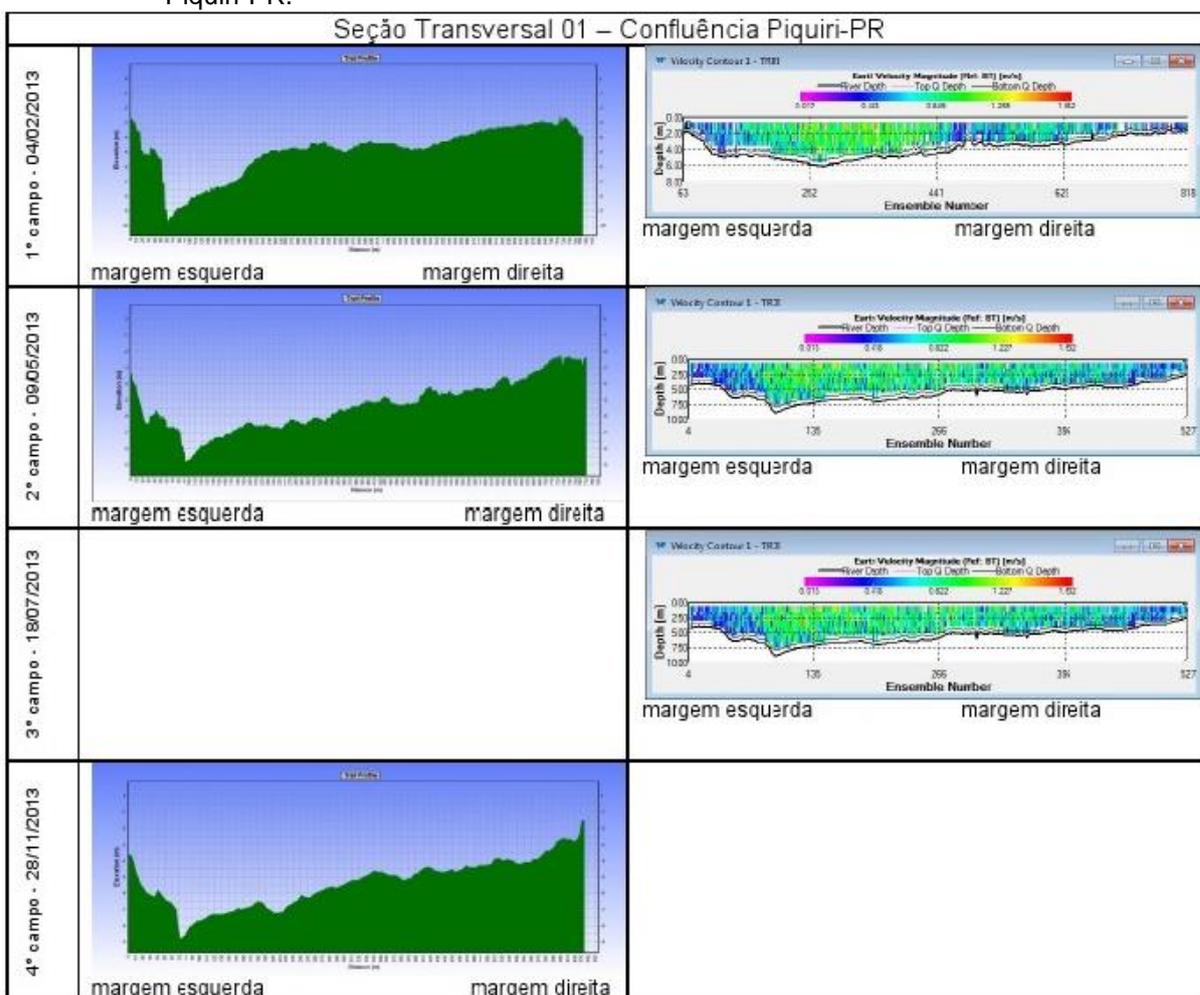
Os dados de velocidade verificados na seção transversal 5 demonstram o predomínio de velocidades entre 0,3 e 0,5 m/s, enquanto as obtidas na seção transversal 4 ficam entre 0,9 m/s a 1,3 m/s. Os valores permitem afirmar que o rio Paraná possui vazão e velocidade superiores a montante da confluência, apesar de o ângulo proporcionar a incursão das águas do rio Piquiri-PR a favor do fluxo do rio Paraná.

4.3 ANÁLISE DAS SEÇÕES TRANSVERSAIS DA CONFLUÊNCIA DO RIO PIQUIRI-PR

A morfologia do leito da área da confluência apresentou, ao longo do período desta análise, poucas alterações; as maiores profundidades verificadas estão próximas à margem esquerda do canal do rio Paraná após a confluência e no rio Piquiri-PR a montante da confluência. O leito do talvegue é rochoso próximo a margem esquerda após a confluência no rio Paraná, porém, o mesmo tem grande movimentação de carga de fundo o que explica porque nas campanhas de fevereiro e julho de 2013, não houve a coleta de sedimentos e nas campanhas de maio e novembro de 2013, houve coletas. Nesta região, registraram-se as maiores velocidades em todas as campanhas. O talvegue do braço esquerdo do rio Paraná localiza-se entre 70 a 90 m da margem esquerda com velocidades médias entre 0,9 a 1,2 m/s nas quatro campanhas, chegando a algumas seções pontuais a 1,6 m/s.

Na seção transversal 1, no rio Paraná a jusante da confluência, (Figura 4.9), aflora a arenitos da Formação Caiuá, na margem esquerda. Este fato impõe resistência ao fluxo, e profundidades de 3,5 a 4 m que aumentam em direção ao talvegue que possui cerca de 30 m de largura e profundidade de 9,5 m. As profundidades diminuem em direção à margem direita chegando a 2 a 3 m abaixo do nível da água dos dias de coleta.

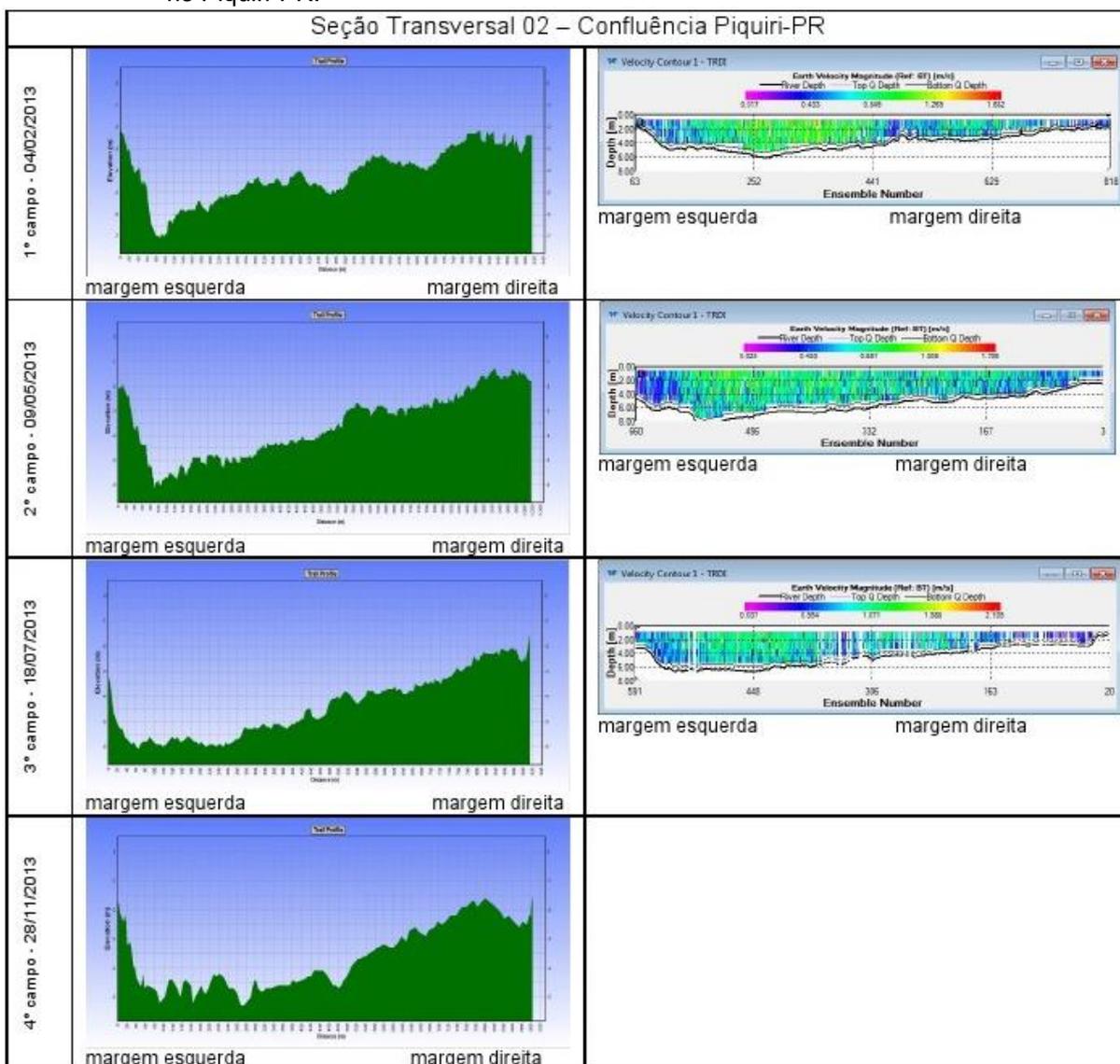
Figura 4.9 – Perfil do ecobatimento e do ADCP seção transversal 1, a jusante da confluência do rio Piquiri-PR.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2015.

A 500 m a jusante da confluência, encontra-se a seção transversal 2 (Figura 4.10) com profundidades menores que a seção transversal 1. O talvegue inicia-se a aproximadamente 40 m da margem esquerda com profundidades de 4 m em relação às áreas adjacentes atingido até 6,5 m. A região do talvegue nesta região chega a 400 m de largura e se estende até a seção transversal 1. As velocidades de fluxos, nesta área do canal, oscilam entre 0,9 a 1,2 m/s caracterizando a área de aceleração de fluxos gerados pela confluência; próximos às margens as velocidades são menores. As menores profundidades são próximas da margem direita.

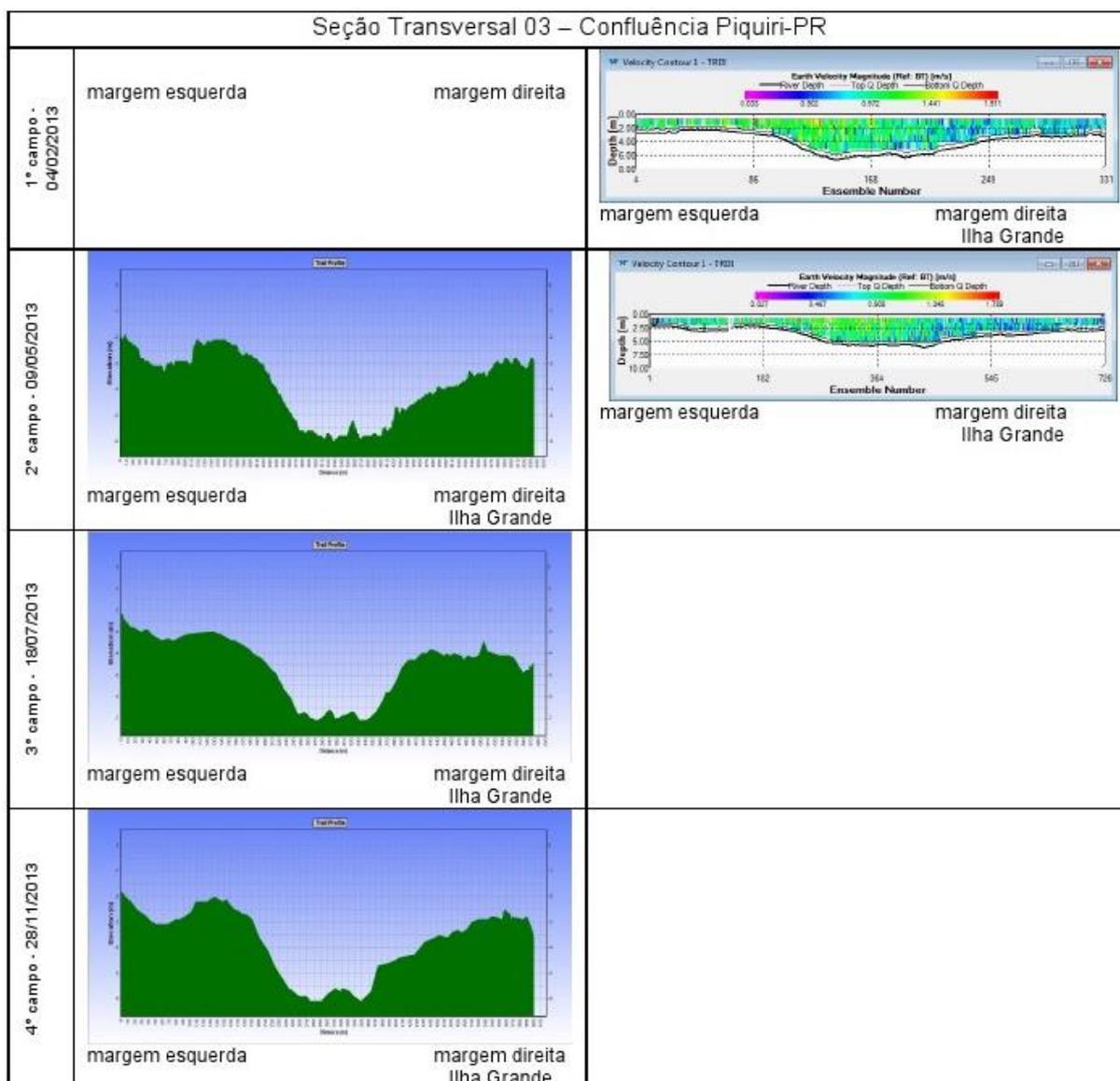
Figura 4.10 – Perfil do ecobatimento e do ADCP seção transversal 2, a jusante da confluência do rio Piquiri-PR.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2015.

A seção transversal 3 (Figura 4.11), localizada no rio Paraná, cerca de 100 m a jusante da confluência ostenta profundidades médias de 3 a 4 m (na margem esquerda) e 5 a 6 m (no canal central) onde se localiza o talvegue. Ali ocorre uma área de aceleração de fluxos com velocidade de 1 m/s a 1,3 m/s, com grande capacidade de transporte de carga de fundo e a presença de vórtices superficiais que dividem as águas dos dois canais.

Figura 4.11 – Perfil do ecobatimento e do ADCP seção transversal 3, a jusante da confluência do rio Piquiri-PR.



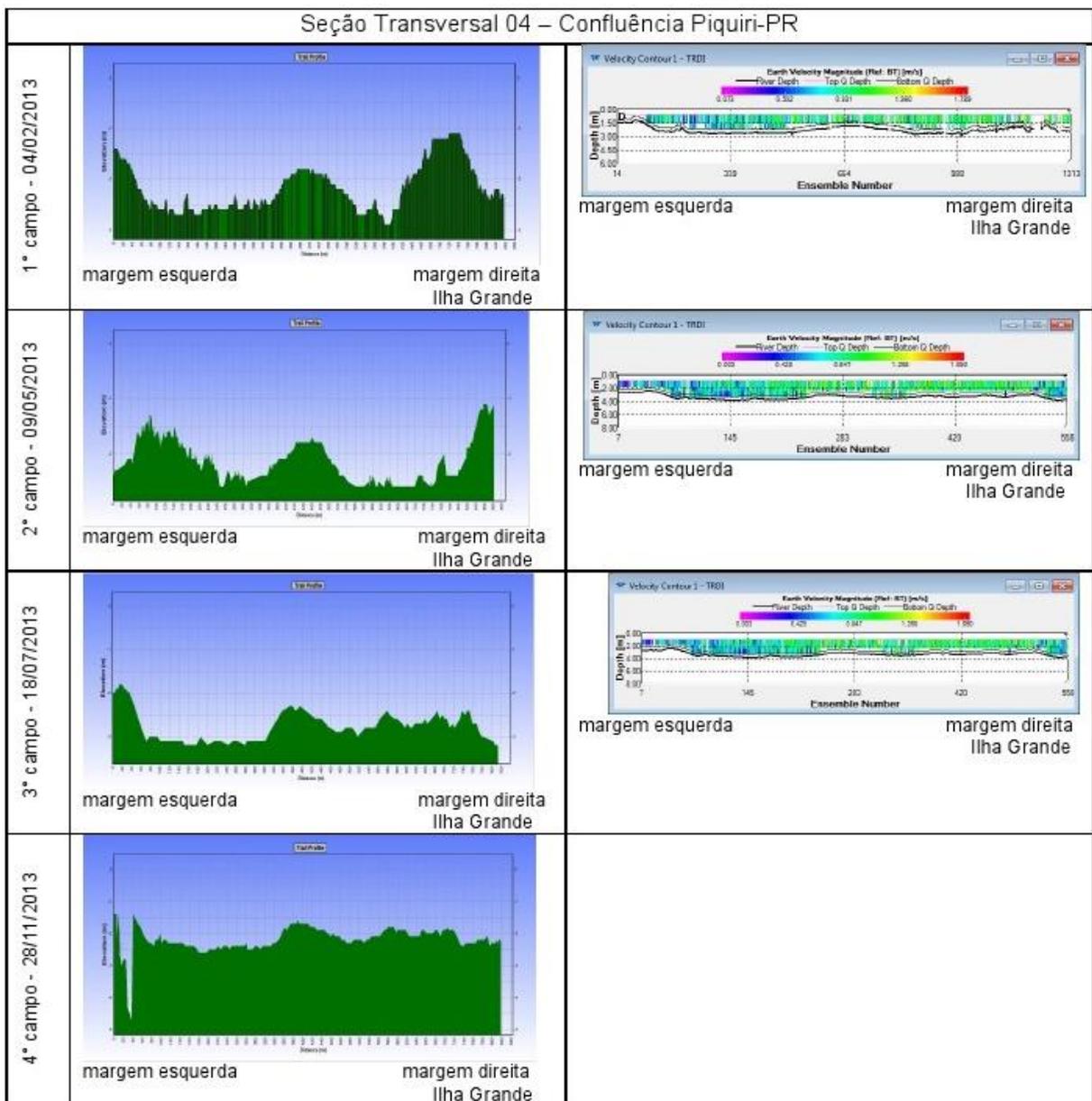
Fonte: Elaborado pelo autor, 2015.

Esta seção encontra-se na área de maior instabilidade dos fluxos pós-confluência interferindo na carga de leito, além de haver estreitamento do canal pela presença de ilhas na margem direita. A área de escavação é ativa e as forças centrífugas atuam mais em direção à margem direita, que apresenta areia grossa e grânulos. Na margem esquerda e no canal predominam areia média. A grande turbulência de fluxo próximo à confluência não permite a deposição de lama, como acontece nos pontos mais a jusante.

A seção transversal 4 (Figura 4.12) localizada no canal do rio Paraná, a montante da confluência, vai da margem da Ilha Grande até a margem esquerda do rio Paraná, com aproximadamente 900 m de largura e profundidades pequenas em

torno de 2 a 3 m. O leito do canal é aluvial com a presença de barras ou dunas de areia média a grossa. A mobilidade destas formas de leito explica as mudanças na morfologia do canal. Na quarta campanha, a profundidade desta área foi a menor registrada, com a presença de barras longitudinais. Neste momento, a profundidade variou de 0,5 m a 1,5 m. As velocidades do fluxo próximo à margem esquerda são menores. As maiores velocidades são encontradas no centro do canal e em direção à margem direita. A área mais central do canal apresenta baixa profundidade e alta velocidade, por isso a grande mobilidade do material do fundo.

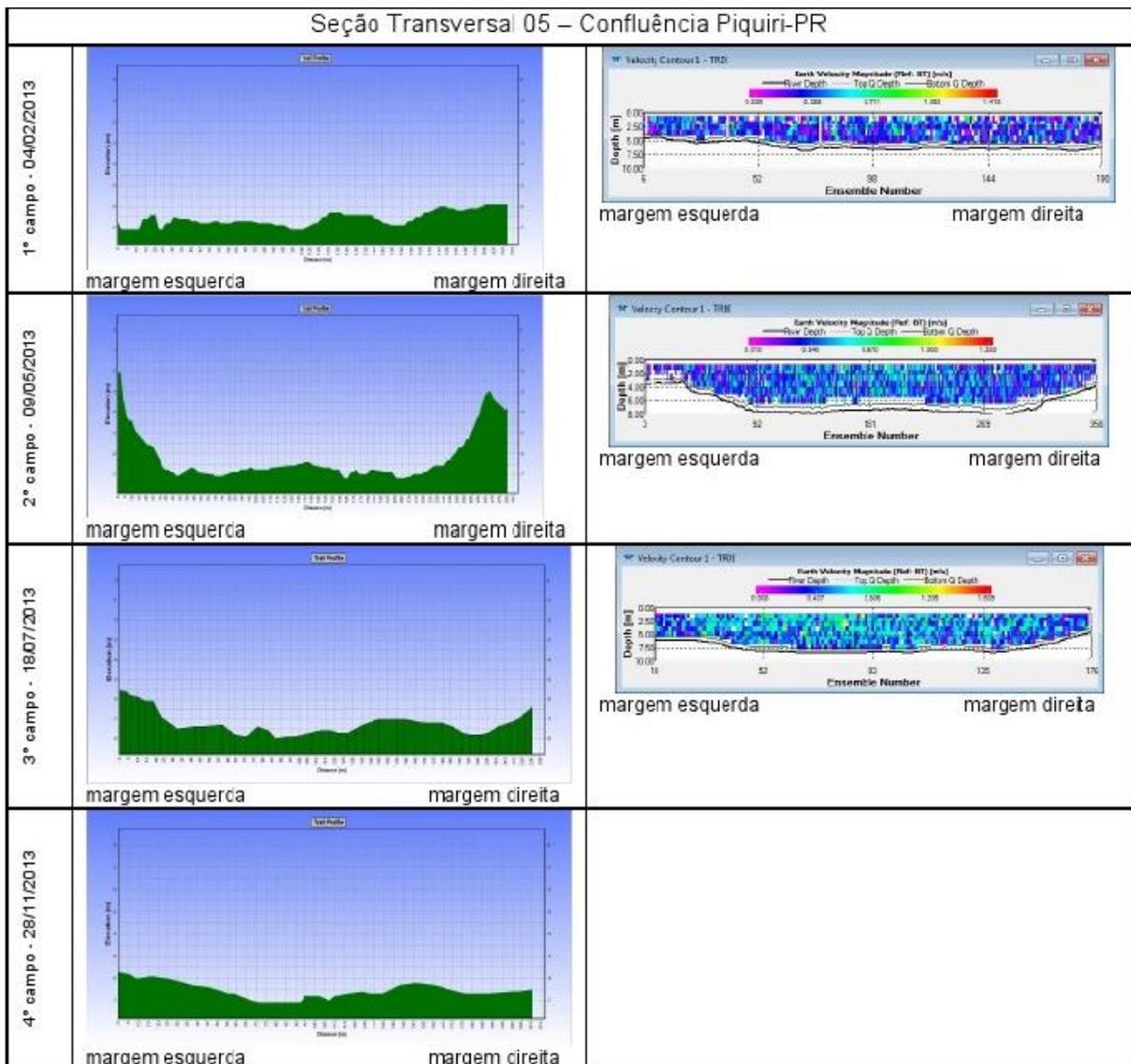
Figura 4.12 – Perfil do ecobatimento e do ADCP seção transversal 4, a montante da confluência do rio Piquiri-PR.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2015.

A seção transversal 5 (Figura 4.13) localiza-se a montante da confluência, no rio Piquiri-PR, aproximadamente, a 100 m da confluência. Possui uma largura de 220 m e profundidade de 7 a 8 m sendo mais rasa próximo às margens. As velocidades de fluxos são baixas nesta seção, predominando valores 0,3 m/s a 0,8m/s, sendo ligeiramente maiores na parte central do canal, porém verificou-se que predominam as médias de velocidade menores. As margens possuem baixa velocidade e na margem direita forma uma área de estagnação de fluxo que aumenta na direção da confluência.

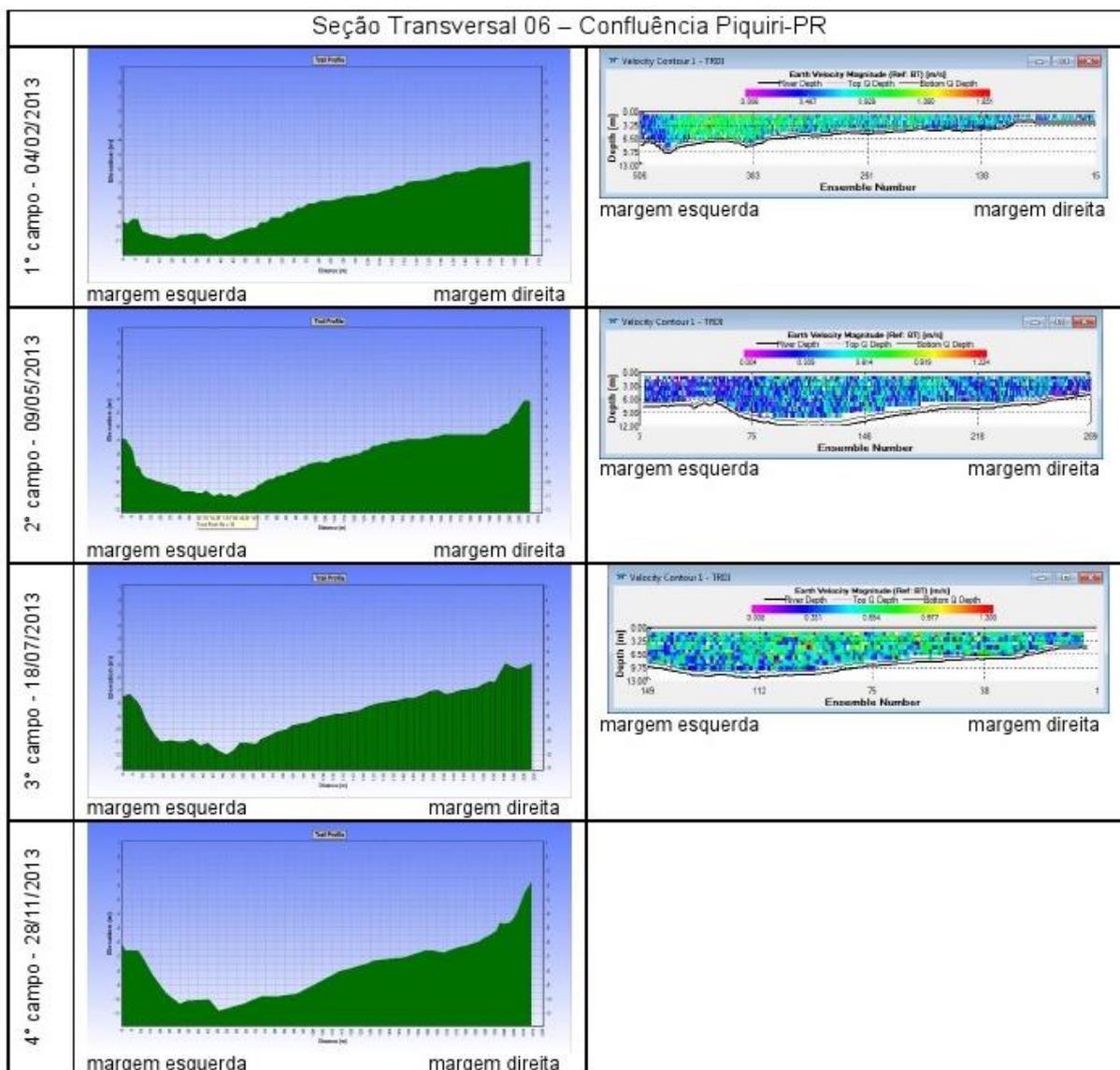
Figura 4.13 – Perfil do ecobatimento e do ADCP seção transversal 5, da confluência do rio Piquiri-PR.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2015.

Observou-se diminuição da velocidade do fluxo e aumento da largura do canal do tributário em relação à seção 6 (Figura 4.14), a montante. Diversos autores citam o aumento da largura do canal e diminuição da velocidade do tributário próximo à confluência.

Figura 4.14 – Perfil do ecobatimento e do ADCP seção transversal 6, da confluência do rio Piquiri-PR.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2015.

A seção transversal 06, a montante da confluência no rio Piquiri-PR, possui o leito rochoso. A margem esquerda é mais profunda com 11 m de profundidade em relação à área adjacente. Em direção à margem direita a profundidade diminui. Ao longo de todo o período observado, a seção transversal sofreu pouca alteração. Isso se deve à baixa mobilidade da carga de leito, fundamentalmente arenosa que se

deposita sobre o leito. Semelhante ao que foi observado no rio Ivaí, por Biazin (2005) e Santos et al. (2008), como no rio Piquiri-PR, a carga hidrotransportada é predominantemente em suspensão, o baixo suprimento de carga de fundo promove a formação de formas de leito de reduzidas dimensões e baixa velocidade de deslocamento.

A margem direita apresenta o predomínio de lama, por menor velocidade de fluxo. A presença de areia ocorre em todos os campos, mas a lama aparece no primeiro e quarto campo e areia grossa e grânulos no último. As maiores velocidades foram verificadas nos levantamentos de fevereiro e julho de 2013 chegando a 0,9 m/s. O segundo levantamento apresentou velocidades menores de todo o período analisado predominando valores abaixo de 0,5 m/s.

4.4 ANÁLISE DOS DADOS DA VAZÃO DA CONFLUÊNCIA DO RIO PIQUIRI-PR

Grison (2010), com base nos dados da estação fluviométrica Balsa Santa Maria, próximo à foz com o rio Paraná, determinou uma vazão máxima para o rio Piquiri-PR, de 6.258 m³/s no ano de 1992. No momento das coletas realizadas, no rio Piquiri-PR no ano de 2013, na seção transversal 6 (2 km a montante da confluência) encontraram-se os seguintes valores de vazão: fevereiro 270,95 m³/s, maio 496,57 m³/s e julho 1.023,79 m³/s.

Os dados de vazão e velocidades de fluxos medidos com o ADCP na confluência do rio Piquiri-PR, nos períodos de menor índice pluviométrico indicam que as maiores velocidades e vazões ocorrem no canal do rio Paraná, a montante da confluência, as menores velocidades ocorrem no canal do rio Piquiri-PR, a montante da confluência, ocorrendo um decréscimo de velocidade para jusante (Tabela 4.1 e Tabela 4.2) Na seção transversal 3, a jusante da confluência, nas campanhas de fevereiro e maio de 2013, ocorre um ligeiro aumento de fluxo indicando a ocorrência da área de aceleração de fluxos da confluência.

No período pós-cheia, registrado na campanha de julho de 2013, verificou-se aumento das velocidades do tributário que representou 33,6% da vazão em relação à seção transversal 4 (no rio Paraná) e velocidades de aproximadamente 50% superiores em relação à mesma seção (Tabela 4.3). Esta condição deve-se ao escoamento mais lento dos fluxos do rio Piquiri-PR, que ainda escoava a água armazenada em sua bacia durante o período chuvoso.

Apesar do aumento de velocidade de fluxo e da vazão do tributário, promovendo um pequeno barramento no canto superior da área da confluência na margem esquerda do rio Paraná (desviando o fluxo para o centro do canal), em nenhuma das campanhas o tributário determinou o fluxo na confluência. O fluxo dominante é o do canal do rio Paraná na confluência do rio Piquiri-PR (DE SERRES et al., 1999).

Tabela 4.1 – Valores de vazão e velocidade de fluxos campanha fevereiro 2013.

Campanha 06/2/2013	Vazão m ³	Velocidade máxima m/s
TRC 1	2.459,06	0,76
TRC 2	1.713,19	0,926
TRC 3	1.584,15	0,946
TRC 4	1.444,52	0,629
TRC 5	270,95	0,195

Tabela 4.2 – Valores de vazão e velocidade de fluxos campanha maio 2013.

Campanha 07/5/2013	Vazão m ³	Velocidade máxima m/s
TRC 3	1.647,95	0,826
TRC 4	1.390,55	0,848
TRC 5	480,43	0,274
TRC 6	496,57	0,279

Tabela 4.3 – Valores de vazão e velocidade de fluxos campanha julho 2013.

Campanha 18/7/2013	Vazão m ³	Velocidade máxima m/s
TRC 2	3.418,07	0,811
TRC 3	2.563,93	0,909
TRC 04	2.024,65	0,768
TRC 05	1.051,39	1,212
TRC 06	1.023,79	1,209

Tabela 4.4 – Distribuição percentual da descarga do rio Piquiri-PR e rio Paraná em relação à descarga total.

Campanhas	Paraná	Piquiri
08/2/2013	83,7%	16,3%
07/5/2013	73,68%	26,31%
16/7/2013	66,41%	33,66%

4.5 VALORES DE CARGA DE SUSPENSÃO CONFLUÊNCIA DO RIO PIQUIRI-PR

Os dados de carga suspensa apresentados nas Tabelas 4.5 a 4.7 demonstram que os valores, entre o canal do rio Paraná e o rio Piquiri-PR, equivalem-se às diferenças que se referem à vazão registrada no momento da coleta.

Destaca-se a campanha de maio de 2013, quando os valores em Gr/l são mais elevados que das outras campanhas, tal situação vem da preparação de solos para as culturas de inverno, proporcionando grande volume de carga suspensa. Mesmo no período pós-cheia, os valores de carga suspensa foram inferiores ao mês de maio de 2013.

Tabela 4.5 – Valores de vazão, Gr/l e tonelada dia campanha fevereiro 2013.

Campanha 04/2/2013	Vazão m ³	Gr/l	Tonelada dia
TRC 1	2.459,06	0,021	4,42
TRC 2	1.713,19	0,013	1,98
TRC 3	1.584,15	0,015	2,01
TRC 4	1.444,52	0,014	1,76
TRC 5	270,95	0,013	0,30
TRC 6	281,68	0,016	0,38

Tabela 4.6 – Valores de vazão, Gr/l e tonelada dia campanha maio 2013.

Campanha 07/5/2013	Vazão m ³	Gr/l	Tonelada dia
TRC 3	1.647,95	0,023	3,25
TRC 4	1.390,55	0,027	3,28
TRC 5	480,43	0,027	1,14
TRC 6	496,57	0,024	1,01

Tabela 4.7 – Valores de vazão, Gr/l e tonelada dia campanha julho 2013.

Campanha 16/7/2013	Vazão m ³	Gr/L	Tonelada dia
TRC 2	3.418,07	0,006	1,83
TRC 3	2.563,93	0,008	1,68
TRC 4	2.024,65	0,009	1,59
TRC 5	1.051,39	0,009	0,83
TRC 6	1.023,79	0,008	0,70

Verificou-se também que a presença de carga suspensa no rio Paraná é composta de areia muito fina enquanto no rio Piquiri-PR é composta de argila e de silte. A diferença de material entre os dois é visível, as águas do tributário são mais escuras e barrentas e a do canal principal mais clara e límpida. As águas do rio Piquiri-PR ficam confinadas na margem esquerda no canal na seção transversal 3.

As Tabelas 4.8 a 4.10 mostram que a contribuição de carga suspensa do rio Piquiri-PR é proporcional a sua vazão, em média 23,9% de carga suspensa são acrescidas à carga já transportada no rio Paraná. Desta forma, pode-se afirmar que o rio Piquiri-PR é importante na contribuição de vazão e carga suspensa na bacia do rio Paraná.

Tabela 4.8 – Percentual de vazão e carga suspensa em relação ao total da confluência Piquiri-PR de fevereiro de 2013.

	Vazão	Carga suspensa
Rio Paraná	83,7%	82,3%
Rio Piquiri-PR	16,3%	17,7%

Tabela 4.9 – Percentual de vazão e carga suspensa em relação ao total da confluência Piquiri-PR – campanha de maio de 2013.

	Vazão	Carga suspensa
Rio Paraná	73,7%	76,5%
Rio Piquiri-PR	26,3%	23,5%

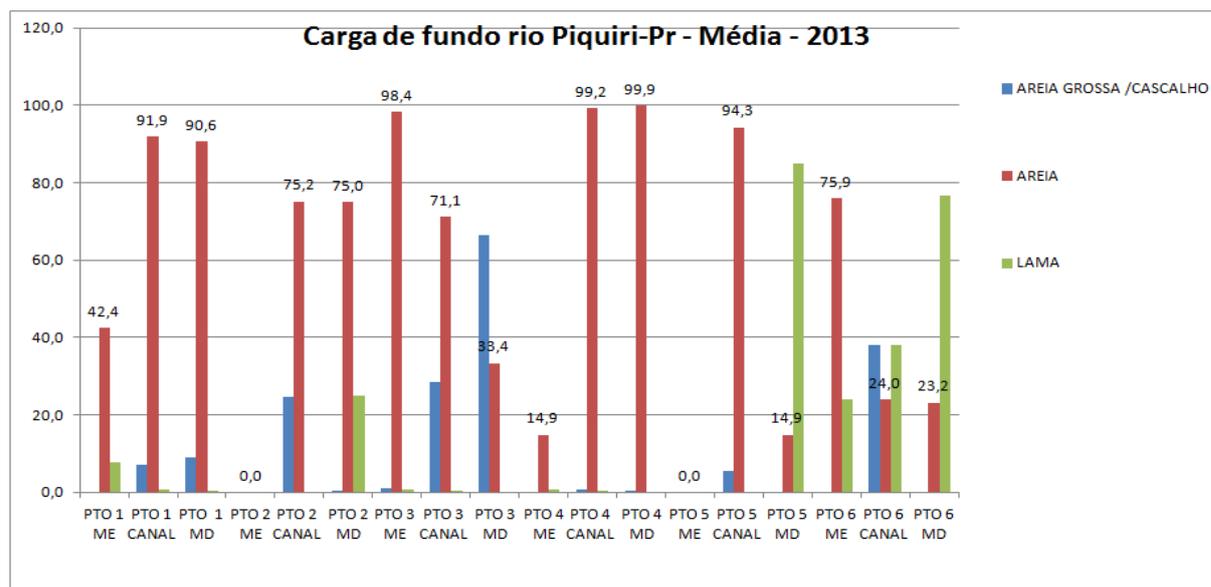
Tabela 4.10 – Percentual de vazão e carga suspensa em relação ao total da confluência Piquiri-PR – campanha de julho de 2013.

	Vazão	Carga suspensa
Rio Paraná	66,4%	69,5%
Rio Piquiri-PR	33,6%	30,5%

4.6 ANÁLISE GRANULOMÉTRICA DA CARGA DE FUNDO DA CONFLUÊNCIA RIO PIQUIRI-PR

Na seção transversal 01 predomina areia em todos os pontos de coleta. Na margem direita à jusante da confluência verificou-se a presença de areia grossa e grânulos a partir do segundo campo. A presença de lama foi discreta e pontual com valores baixos; a exceção foi a margem esquerda do quarto campo que atingiu 30% (Figura 4.15).

Figura 4.15 – Distribuição da média da carga de fundo na confluência Piquiri-PR.



Fonte: Elaborado pelo autor.

A morfologia do leito sofreu pequenas variações ao longo do período estudado e estas são devidas ao transporte das formas de leito arenoso. Na seção 02, na margem direita com predomínio de areia na carga de fundo, observou-se que no segundo e quarto campos houve incremento no percentual de lama. Neste campo, no centro do canal houve o predomínio de areia grossa e grânulos. A margem esquerda possui uma dinâmica maior, tendo predomínio de areia grossa e grânulos no primeiro campo, areia média e lama no segundo campo, de areia grossa no terceiro campo. Isto se deve à contribuição do rio Piquiri-PR e à localização do talvegue neste setor da seção. A ausência de carga de fundo, na coleta de novembro de 2013, revelou fundo rochoso. Portanto, esta margem caracteriza-se como uma região de deflação, permitindo afloramento do Arenito Caiuá em seu leito. Nesta ocorre a movimentação de fluxos em direções contrárias. A área de escavação deposita sedimentos ao seu entorno tornando esta região dinâmica, por isso ocorre a mudança constante no padrão dos sedimentos.

Na margem direita encontrou-se lama depositada como carga de leito em valores significativos nos segundo e quarto campo; este fato é explicado pela localização a 900 m a montante da área dos fenômenos ligados à confluência, além de localizar-se abaixo da Ilha Grande o que diminui a turbulência dos fluxos no local. Os pontos localizados no canal do rio Paraná, seções 1 e 2, a jusante da confluência, apresentam uma carga suspensa maior em sedimentos na margem direita do canal.

Estas variações de carga se devem ao regime hidrológico dos rios Paraná e Piquiri-PR, que no momento de cheia aumenta a contribuição de pelitos para o Paraná, que se depositam no leito na zona de estagnação.

Verificou-se que predomina a presença de areia na confluência do rio Piquiri-PR, embora exista a presença de lama na maioria dos pontos do tributário (Seções 5 e 6).

A Figura 4.15 mostra na seção 1, margem direita, o predomínio de areia, com percentagem superior a 84% da carga total em todos os campos. É mais acentuada a presença de areia grossa e grânulos a partir do segundo campo. A ocorrência de lama foi discreta e pontual com valores baixos, a exceção foi a margem esquerda (4º campo) que atingiu 30%. Na região da margem esquerda da seção 01, é onde se localiza o talvegue e verificou-se que o fundo é rochoso, pelas altas velocidades de

corrente que produzem movimentação da carga de fundo e a ausência de coleta da mesma nos primeiro e terceiro campos.

Na seção transversal 2, a jusante da confluência, na margem direita e no centro do canal há o predomínio de areia. A margem esquerda possui uma dinâmica instável, tendo predomínio de areia grossa e grânulos nos primeiro e terceiro campos. No segundo campo verificou-se a ocorrência de areia e lama. No quarto campo o leito rochoso exposto não permitiu a coleta de carga de fundo.

A margem esquerda aflora o arenito da Formação Caiuá, a área é uma região de deflação e possibilita a movimentação de fluxos em direção contrária, promovendo uma área de escavamento que deposita sedimentos em seu entorno, o que torna esta essa região dinâmica, por isso ocorre uma mudança constante no padrão dos sedimentos.

A seção transversal 3, a jusante da confluência, encontra-se na área de maior instabilidade dos fluxos pós-confluência o que interfere na carga de leito, além de haver estreitamento do canal pela presença de ilhas na margem direita. A área de escavamento é ativa. As forças centrífugas atuam com mais força em direção à margem direita que apresenta dominância de areia grossa e grânulos (Figura 4.15). No centro do canal a carga de areia fina e média é mais representativa e apenas após a enchente de junho de 2013, ocorreu predomínio de areia grossa (Figura 4.15). A presença de lama neste setor é irrisória.

A seção transversal 4, localizada a montante da confluência, apresenta grande movimentação de carga de fundo, predominando areia fina a areia média na margem direita e no centro do canal; apenas após a enchente, nestes dois locais de coleta constou a presença de areia grossa e grânulos. A margem esquerda apresentou predominância de areia grossa e secundariamente de grânulos.

A seção transversal 5, a montante da confluência no rio Piquiri-PR, onde as velocidades registradas foram menores pelo alargamento do canal, conforme citado anteriormente, observou-se a presença de lama nas margens esquerda e direita. Este sedimento transportado como carga suspensa foi depositado pelo represamento das águas do rio Piquiri-PR (pelo canal principal), com a conseqüente diminuição da velocidade do fluxo, como também foi verificado para o rio Ivaí-PR, discutido posteriormente nesta tese. No centro do canal predominam velocidades maiores e o sedimento predominante foi a areia fina a média. A exceção foi o terceiro campo efetuado depois da cheia do rio Piquiri-PR registrou-se a presença

de mais 90% de areia grossa e grânulos pelo aumento da capacidade de transporte de carga de fundo.

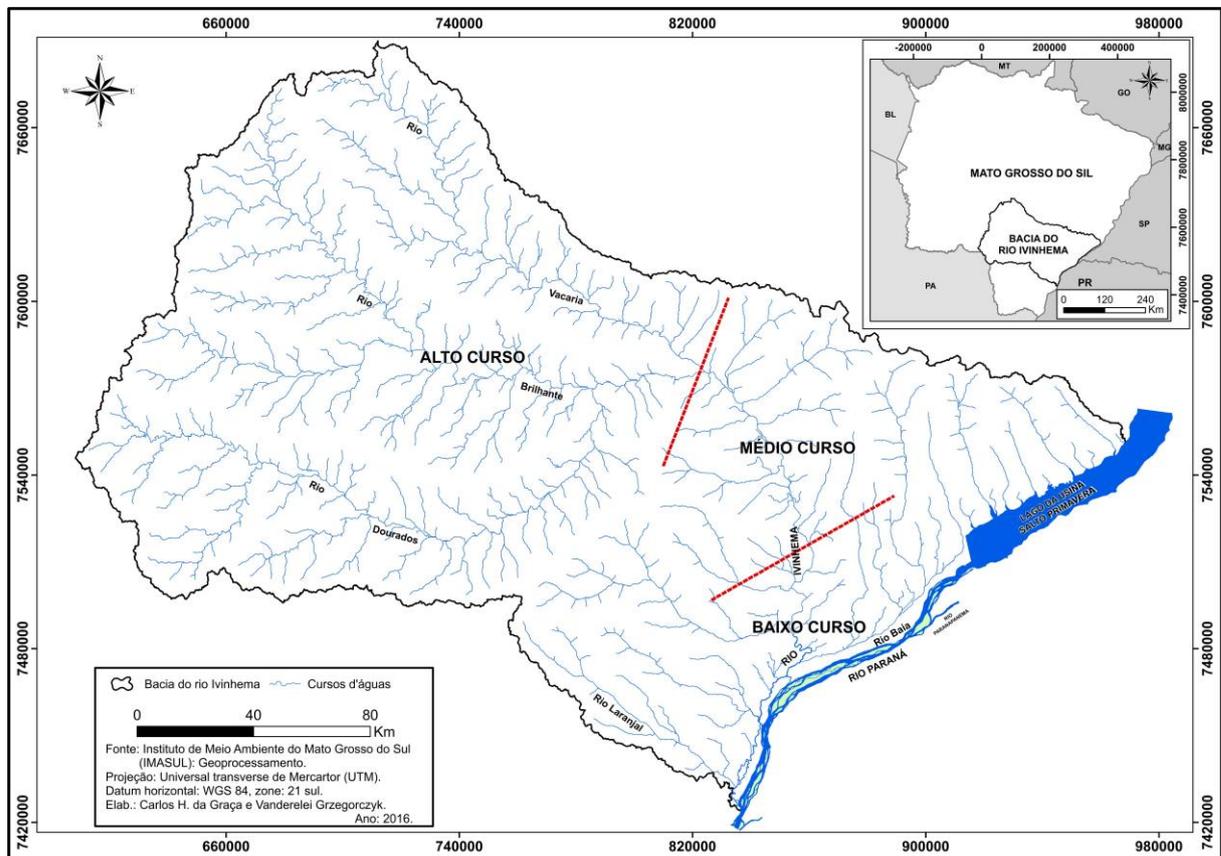
A seção transversal 6, a montante da confluência, no tributário, apresenta leito rochoso, a margem direita apresenta o predomínio de lama, por menor velocidade de fluxo. Na margem esquerda a coleta ocorreu apenas no último campo com presença predominante de areia e valor acentuado de lama.

5 CARACTERIZAÇÃO E ANÁLISE DA GEOMORFOLOGIA E DINÂMICA SEDIMENTAR DA CONFLUÊNCIA DO RIO IVINHEMA-MS

5.1 GEOLOGIA E GEOMORFOLOGIA DA CONFLUÊNCIA DA CONFLUÊNCIA DO RIO IVINHEMA-MS

A bacia hidrográfica do rio Ivinhema–MS faz parte da bacia do rio Paraná, encontra-se integralmente dentro dos limites do território brasileiro na região Centro-Oeste, no Estado de Mato Grosso do Sul, fazendo fronteira com o Paraguai na sua porção sudoeste. Possui uma área de aproximadamente 44.837,15 km², e percorre uma distância de 568 km, desde sua nascente na serra das Araras, e de seus principais afluentes que nascem na serra Camapuã e Maracaju (MS), desaguando na margem direita do rio Paraná (MATO GROSSO DO SUL, 2010; FORTES; VOLKMER, 2003). Entre os principais afluentes encontram-se os rios Vacarias, Brilhante e Dourados.

Figura 5.1 – Bacia hidrográfica do rio Ivinhema-MS.

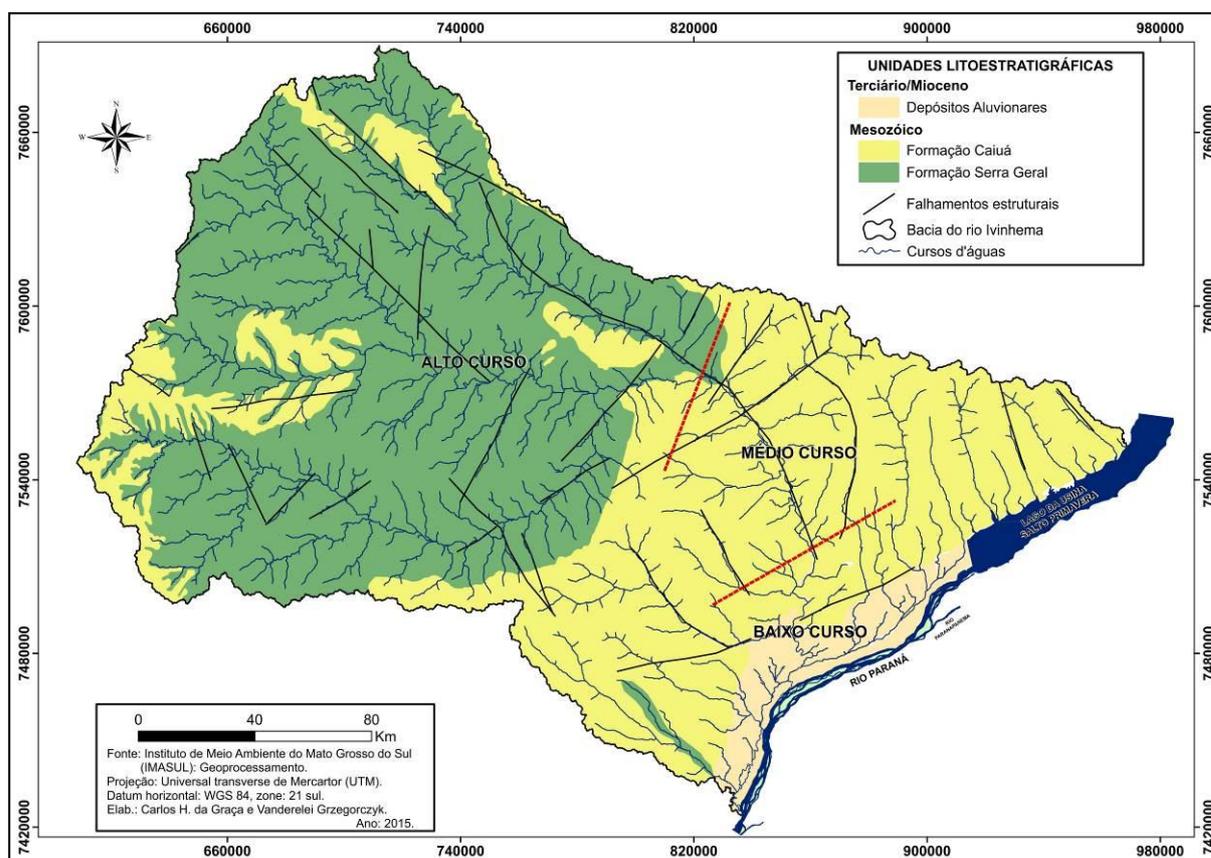


Fonte: Elaborado pelo autor, com colaboração de Carlos Henrique Graça, 2015.

O rio percorre grande parte dos terraços e planícies formadas pelo rio Paraná no passado, recebendo contribuições de diversos afluentes de menor porte, lagoas e o próprio rio Paraná, com quem interage nas áreas da planície do rio Paraná entre as cidades paranaenses de Icaraíma e Querência do Norte. Neste trecho, existem três confluências com o rio Paraná, que são identificadas neste trabalho como confluência Ivinhema 01, mais a jusante ao sul no município de Naviraí-MS, próximo a Icaraíma no Estado do Paraná. Confluência Ivinhema 02 localizada a montante da confluência Ivinhema 01 cerca de 1 km e a confluência Ivinhema 3, localizada mais ao norte, dentro do parque estadual do Ivinhema, próxima ao município de Querência do Norte à direita do rio Paraná, nessa área de estudo.

A litologia da bacia do rio Ivinhema-MS está inserida em sua totalidade no contexto geológico da bacia sedimentar do Paraná. Apresenta as seguintes unidades litoestratigráficas desenvolvidas no mesozoico no período Cretáceo, (Figura 5.2):

Figura 5.2 – Unidades geológicas da bacia hidrográfica do rio Ivinhema-MS.



Fonte: Elaborado pelo autor, com colaboração de Carlos Henrique Graça, 2015.

Grupo São Bento, representado pela Formação Botucatu (Jr), aflora como manchas de arenito, na área da Formação Serra Geral na região Oeste da bacia.

Grupo São Bento, representado pelas rochas vulcânicas, predominantemente básicas da Formação Serra Geral (Jr-Kr), ocupa parte central da bacia e a região Oeste.

Grupo Bauru, representado pelos arenitos da Formação Caiuá (Kr), ocupa a região Leste com exceção das margens do rio Paraná até a parte central da bacia.

Finalmente ocorrem os depósitos aluviais, quaternários, localizados em ambiente continental fluvial na margem direita do rio Paraná formando planícies e terraços que estão em constante transformação e expostos à erosão fluvial (MATO GROSSO DO SUL, 2010).

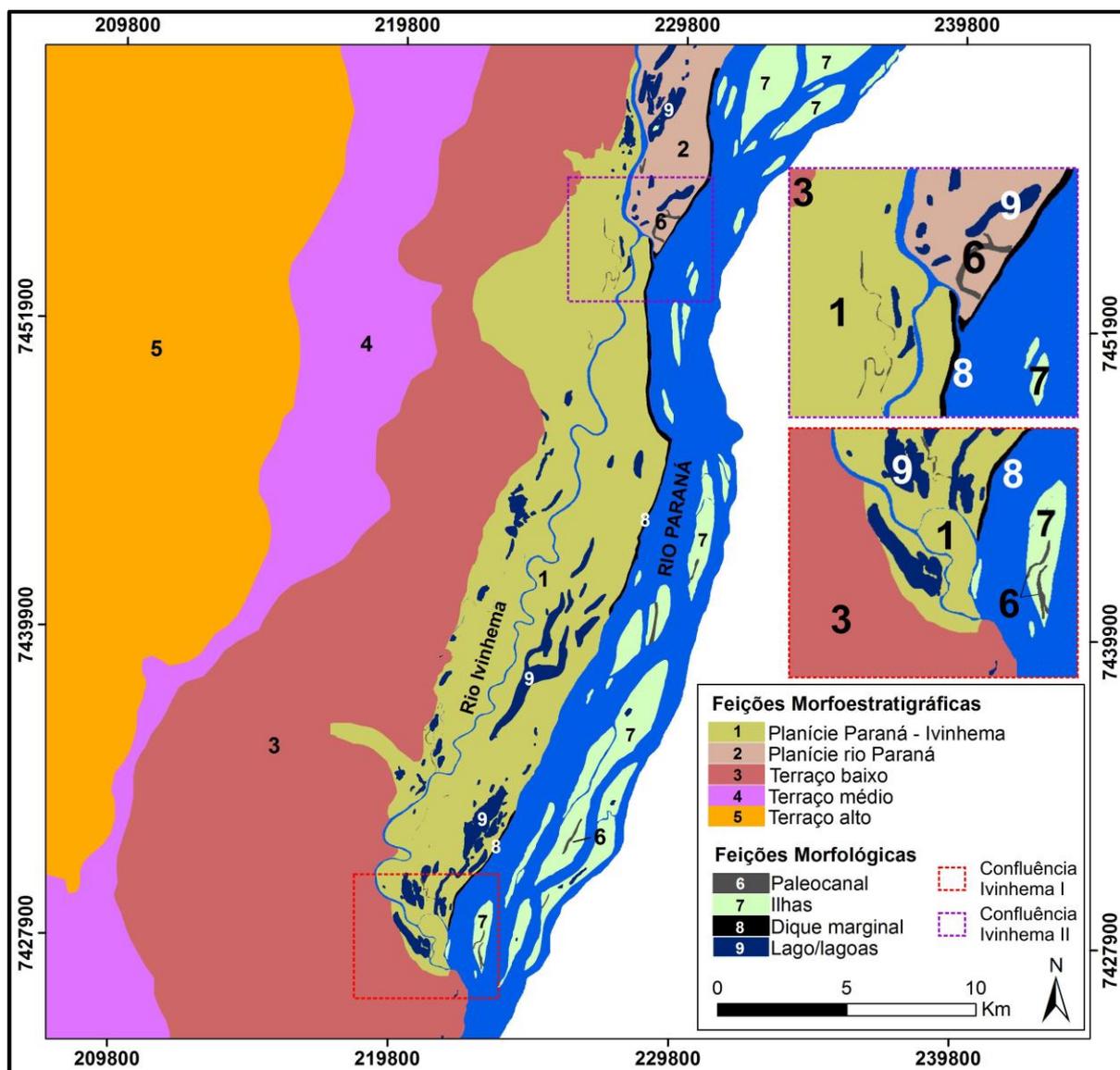
O rio Ivinhema-MS, no seu curso inferior, é capturado pela planície aluvial do rio Paraná seguindo a direção geral da mesma (SW-NE). Ocupa e retrabalha os aluviões do rio Paraná, construídos sobre as litogias areníticas da Formação Caiuá (Kr). Esta última apresenta afloramentos esparsos ao longo da margem direita do rio Paraná, na área de estudo. Sobre estes arenitos, o rio Paraná construiu seu sistema aluvial Quaternário, que apresenta em sua base conglomerados ferruginosos seguidos de uma sequência de areias e pelitos descritos por Santos (1997, 2005); Stevaux (1993); Stevaux, Santos e Souza Filho (2006); Souza Filho (1993, 1997); Fortes (2003).

Souza Filho e Stevaux (2004) produziram diversas pesquisas em que classificaram a gênese e geomorfologia desta região do rio Paraná entre Porto Primavera e o lago de Itaipu. Neste trabalho, utilizou-se de forma adaptada a classificação de Fortes (2003), realizada com base em outros estudos e levantamentos realizados na bacia do rio Ivinhema-MS no Estado do Mato Grosso do Sul, pois a mesma abrange em escala maior parte de nossa área de estudo (Figura 5.3).

O rio Ivinhema-MS, na área deste estudo, corre sobre duas unidades geomorfológicas arenopelíticas, aqui denominadas de planície Paraná e Planície Paraná-Ivinhema (Figura 5.3). Ambas construídas pelo rio Paraná ao longo do Pleistoceno, porém a segunda sofre o retrabalhamento do rio Ivinhema-MS e do próprio rio Paraná. Esta área está sobre o regime de cheias de ambos os rios. Nestas unidades, as geformas proximais mais comuns são os diques marginais e as áreas pantanosas da bacia de alagamento. Afastado dos canais, têm as lagoas

de diferentes dimensões, muitas delas são alongadas e alinhadas segundo a direção da planície, representando a colmatação de paleocanais. As geomorfologias de paleocanais e de paleodiques são distribuídas ao longo de toda esta unidade.

Figura 5.3 – Geomorfologia das confluências do rio Ivinhema-MS.



Fonte: Elaborado pelo autor, com colaboração de Carlos Henrique Graça, 2015 – adaptado de Fortes (2003).

O canal do rio Paraná é subdividido por inúmeras ilhas de diferentes dimensões, sendo um rio multicanal e que cada canal apresenta características próprias de hidrodinâmica, de transporte de sedimentos, de velocidade de fluxos e de processos geomorfológicos, por isso cada confluência tem suas próprias características.

Na área de estudo das confluências do Ivinhema, observou-se que na extremidade a oeste da calha do rio Paraná, encontram-se o Terraço Alto, seguido do Terraço Médio e o Terraço Baixo, este último contorna a planície Paraná-Ivinhema (FORTES, 2003).

Na região Norte da área de estudo, na área na confluência Ivinhema 03, próxima à cidade de Diamante do Norte no Paraná tem início a área denominada da planície Paraná-Ivinhema, cortada pelo rio Ivinhema-MS até a confluência Ivinhema 01. Esta planície foi construída pelo rio Paraná no passado e, atualmente, é trabalhada e retrabalhada em maior escala pelo rio Paraná e menor pelo rio Ivinhema-MS.

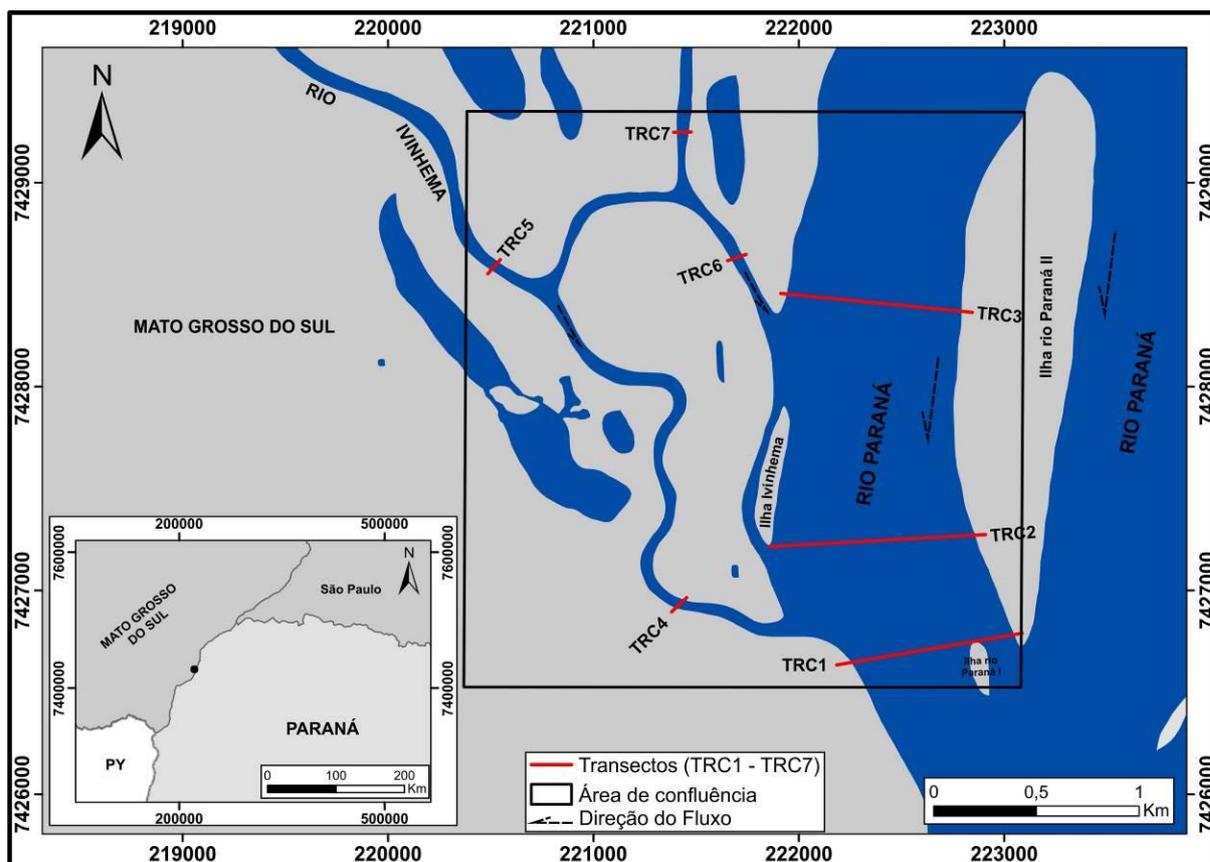
Nesta confluência, o rio Ivinhema-MS divide-se em dois canais, um deles segue a direção leste e percorre aproximadamente 1,3 km até desaguar nas águas do rio Paraná. O outro corta a planície Paraná-Ivinhema, no sentido sul/sudeste possuindo muitos meandros e percorrendo 40 km até desaguar na confluência Ivinhema 01 e Ivinhema 02. A distância entre a confluência Ivinhema 01 e Ivinhema 3 é de aproximadamente 30 km ao longo do rio Paraná. Esta diferença demonstra a importância do rio Ivinhema-MS na construção da planície Paraná-Ivinhema como agente de modificação da mesma.

Ao longo da planície ainda se encontra a presença de inúmeros canais, paleocanais, lagos e lagoas com sua origem do freático aflorante do rio Paraná ou abastecidos durante os períodos de cheia. Muitos destes podem secar durante períodos de estiagem.

5.2 ANÁLISE DA BATIMETRIA, PERFIS BATIMÉTRICOS, FLUXOS, VELOCIDADE E VAZÃO POR MEIO DO ADCP NA CONFLUÊNCIA DO RIO IVINHEMA-MS, COM O RIO PARANÁ – CONFLUÊNCIA IVINHEMA 01 E IVINHEMA 02

A Figura 5.4 mostra as localizações dos transectos na região das confluências Ivinhema 01 e 02. Este rio após percorrer a planície Paraná-Ivinhema, a aproximadamente 2,7 km, da sua Foz, divide-se em dois canais um deles origina o canal principal denominado confluência Ivinhema 01 (ao sul), o segundo, a confluência Ivinhema 02 (a norte), que é capturado por uma anomalia de drenagem.

Figura 5.4 – Localização dos transectos e coleta de parâmetros da confluência do rio Paraná com o rio Ivinhema-MS – confluência Ivinhema 01 e Ivinhema 02.

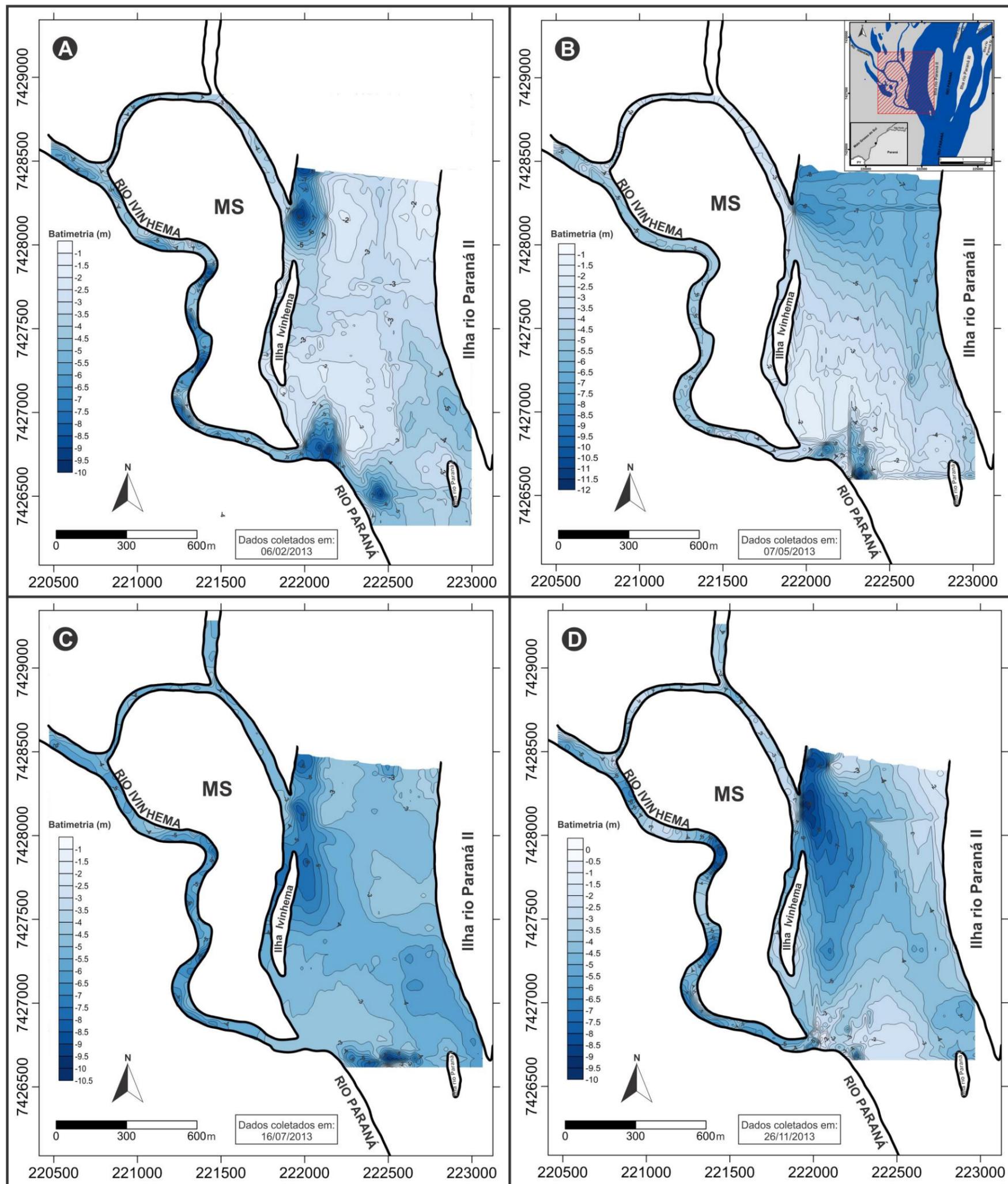


Fonte: Elaborado pelo autor, com colaboração de Carlos Henrique Graça, 2015.

A ecobatimetria da região das confluências Ivinhema 01 (ao sul) e Ivinhema 02 (ao norte), confeccionada com a integração das seções transversais levantadas nas quatro campanhas, com outras seções longitudinais entre as mesmas, é apresentada nas Figuras 5.5 (A, B, C e D) referentes às campanhas dos meses de fevereiro, maio, julho e novembro de 2013, respectivamente.

São encontradas cascalheiras da geração Calcedônia (SANTOS, 1997) na confluência Ivinhema 01, na margem direita e que se estende a jusante da confluência, favorecendo o surgimento de uma região resistente à erosão que direciona o fluxo para leste do rio Ivinhema-MS, quando este avança em direção ao rio Paraná. Estas cascalheiras ocorrem ao longo da calha do rio Paraná e seus formadores, assim como nos vales dos afluentes originadas das formações Mesozoicas, como as Formações Botucatu, Serra Geral e o Grupo Bauru, que fornecem parte do material que constitui as cascalheiras dessa geração, ou as da Geração Quartzítica (FORTES, 2003; SANTOS, 1997).

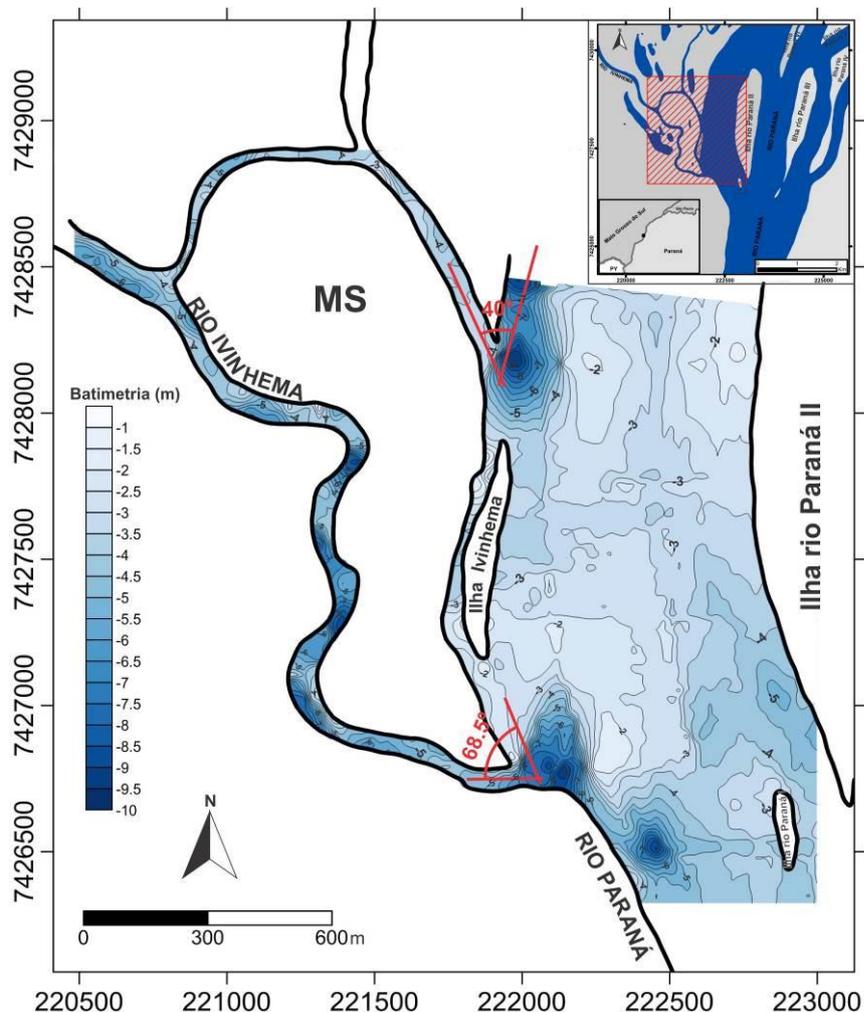
Figura 5.5 – Mapas batimétricos dos quatro campos da confluência do Ivinhema 01 e Ivinhema 02, 2013.



Fonte: Elaborado pelo autor, com colaboração de Carlos Henrique Graça, 2015.

O ângulo da confluência Ivinhema 01 é de $68,5^\circ$ e tem formato semelhante a de um “Y” (Figura 5.6). Estas características, combinadas com a resistência da margem, favorece o direcionamento do fluxo do Ivinhema-MS para leste em direção ao centro do canal do rio Paraná, fazendo com que a área de escavamento (BEST; ASHWORTH, 1997) ocorra deslocada para o meio do canal do rio no sentido norte/sudeste. O escavamento na confluência Ivinhema 01 inicia do contanto entre a margem direita do rio Paraná com a margem esquerda do rio Ivinhema-MS, chegando a 9 m de profundidade em relação ao nível do rio aproximadamente a 150 m do início do encontro das águas.

Figura 5.6 – Ângulo das confluências do Ivinhema 01 e Ivinhema 02 com o rio Paraná.



Fonte: Elaborado pelo autor, com colaboração de Carlos Henrique Graça, 2015.

A área de escavação da confluência Ivinhema 01 pode ser colmatada por depósitos de cargas de fundo arenosas, transportadas pelo rio Paraná, como ocorreu após o período de cheia verificada entre junho/julho de 2013 (Figura 5.5C).

Na campanha subsequente, no mês de novembro, estabelece-se neste local novamente a área de escavamento, mostrando que o sítio é sujeito a sensíveis e persistentes processos erosivos.

A confluência Ivinhema 02 (norte), resultado da captura da drenagem pelo rio Paraná, possui a área de escavação que começa na margem esquerda do rio Ivinhema-MS, com a margem direita do rio Paraná. Esta área aprofunda o talvegue do canal no rio Paraná que se encontra na margem direita (Figura 5.6). As profundidades médias neste perfil são de 8 a 9 m em relação ao nível do rio nos dias coletados.

O ângulo desta confluência (40°), na forma de “Y” fechado, que proporciona as águas do rio Ivinhema-MS, uma amplificação de forças no encontro com as águas do rio Paraná, aumentando localmente seu poder erosivo (Figura 5.6). O fluxo do rio Ivinhema-MS é mais forte na margem esquerda, possui velocidades de duas a três vezes superiores que a margem direita, quando próximo ao encontro com rio Paraná. Esta área da confluência busca o sentido sul/sudeste, pela existência de uma ilha localizada a jusante na margem direita do rio Paraná que desvia o fluxo.

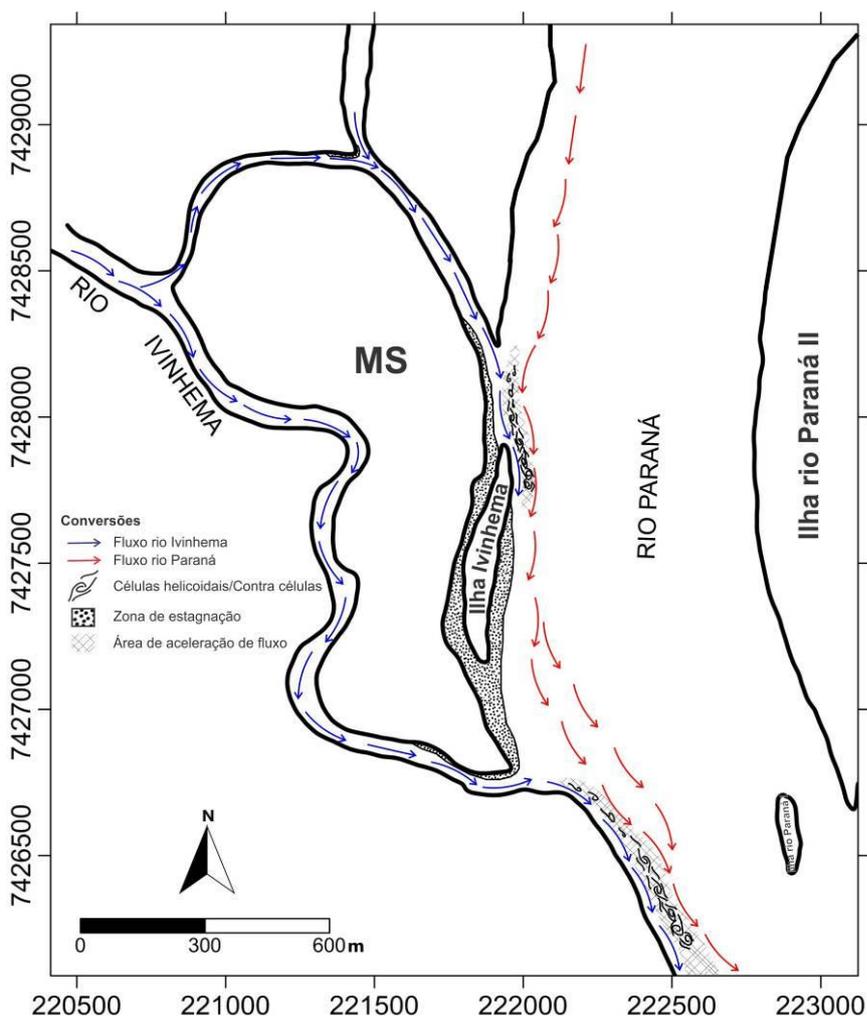
Na confluência Ivinhema 02, no mês de julho, ocorreu como na confluência Ivinhema 01, uma movimentação de carga de fundo na área de escavamento, gerando as menores profundidades nesta área de 6 m em relação ao nível do rio. Após o mês de junho - período de cheias, surgiram também dunas e barras no canal do rio Paraná. Apesar do transporte intenso da carga de fundo a área de escavamento se manteve. Este fato pode ser explicado pela velocidade dos fluxos do rio Ivinhema-MS e o do Paraná, que no canto superior da confluência se encontram com velocidades médias entre 1,0 m/s a 1,6 m/s, gerando atrito entre os fluxos, aumentando a capacidade de vórtices e limpeza do fundo na área de escavamento (BEST, 1986, 1987; BEST; ASHWORTH, 1997). Outro fator é que o talvegue do rio Paraná localiza-se na margem direita nesta confluência.

As células helicoidais aparecem junto com a área de escavamento e seguem o fluxo do canal em ambas as confluências. Visualmente o fluxo da água proveniente do rio Ivinhema-MS e fica condicionado próximo da margem direita do canal do rio Paraná. Em razão das diferenças químicas e, principalmente o ácido húmico, a imiscibilidade das duas águas é maior do que as verificadas nas outras confluências, Estas seguem separadas até 5 km a jusante da foz, apesar do volume bastante reduzido em comparação ao do rio Paraná.

A área de estagnação das confluências Ivinhema 01 e 02 localiza-se entre as duas confluências com início junto à margem direita da confluência Ivinhema 02 e término junto à margem esquerda da confluência Ivinhema 01; é uma região menos profunda pelas velocidades menores, favorece a deposição de carga de fundo, que impulsiona o fluxo em direção ao talvegue do canal. A formação da ilha Ivinhema auxiliou na ampliação da área de estagnação, no canal principal, pois diminui o fluxo junto à margem direita do rio Paraná.

Não foram encontrados muitos dos outros elementos descritos por Best (1987), na confluência Ivinhema 01 e Ivinhema 02. Como a área de deflação proposta por Best (1987) (Figura 5.7). Observa-se que o fluxo do canal do rio Ivinhema-MS entra nas águas do rio Paraná pela sua margem direita na confluência Ivinhema 01 e pela esquerda na confluência Ivinhema 02.

Figura 5.7 – Modelo proposto por Best (1987), adaptado para da confluência do Ivinhema 01 e Ivinhema 02.



Fonte: Elaborado pelo autor, com colaboração de Carlos Henrique Graça, 2015.

Uma das explicações é a largura do canal secundário do rio Paraná - dez vezes maior que a largura do rio Ivinhema-MS. As maiores velocidades e volume de água impedem o desenvolvimento das demais feições geomorfológicas encontradas nas demais confluências estudadas, como a área de deflação. Quanto à formação de barras a jusante e a montante não é possível atribuir as forças que atuam na confluência; esta é uma característica do rio Paraná no trecho estudado.

Observou-se ainda que as maiores profundidades no canal do rio Ivinhema-MS encontra-se no lado convexo das curvas, assim como as maiores velocidades na seção.

5.3 ANÁLISE DAS SEÇÕES TRANSVERSAIS DA CONFLUÊNCIA IVINHEMA 01 E IVINHEMA 02

As seções transversais números 1, 2 e 3, localizadas no canal secundário do rio Paraná entre o Mato Grosso do Sul (margem direita) e a ilha denominada nesta tese de Ilha Paraná (margem esquerda), estão representadas respectivamente nas Figuras 5.8 a 5.10. Analisando-se conjuntamente o mapa batimétrico (Figura 5.5) com estas três seções transversais, de montante para jusante, percebe-se que:

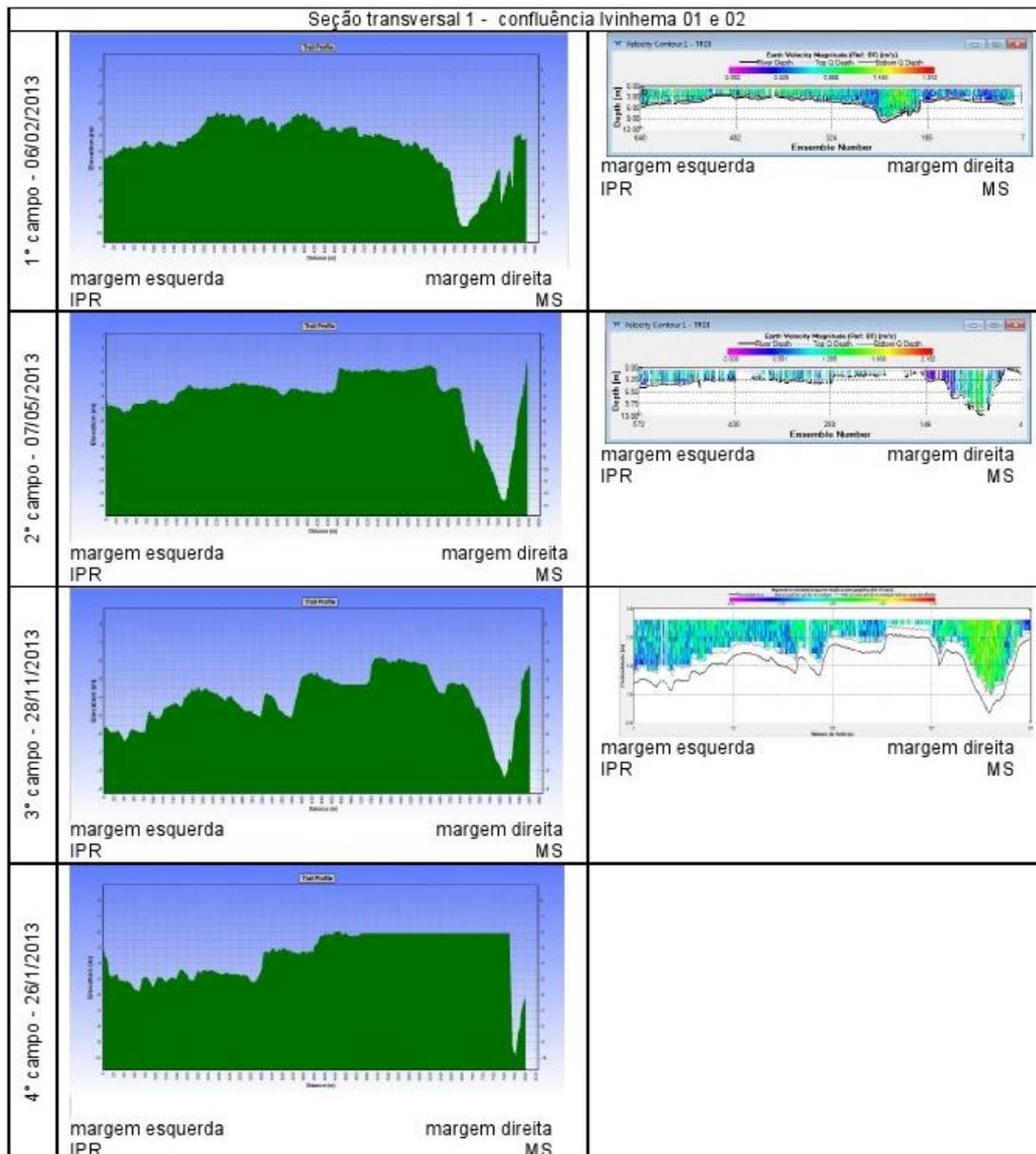
a) o rio Ivinhema-MS ao juntar-se ao canal secundário do Paraná na confluência 02 tem seu fluxo deslocado para dentro do canal principal. Isso gera a deposição da ilha Ivinhema (próximo da margem direita MS). O talvegue deste canal secundário do rio Paraná tem um traçado não retilíneo entre a seção 3 e a seção 1;

b) o talvegue do rio Paraná, a montante da confluência 02, está localizado próximo à margem direita (MS) (Figura, 5.10). No encontro do tributário, na confluência 02, o talvegue se aprofunda próximo à margem direita (MS) e se desloca com uma curvatura para o meio do canal. Posteriormente se subdivide em dois. Um talvegue mais raso próximo à margem esquerda (próximo à ilha Paraná II) e um talvegue mais profundo próximo à margem direita (MS). Isso gera zona deposicional, entre os dois talvegues que, a jusante da confluência 02, forma uma pequena ilha. A seção 2 (Figura 5.9) mostra a ocorrência destes talvegues. A jusante da confluência Ivinhema 01 está a zona deposicional contínua e o talvegue mais profundo continua próximo ao MS (margem direita), Figura 5.8. A seção transversal 1 localizada a jusante da confluência Ivinhema 01 tem aproximadamente 900 m, apresenta um

canal profundo próximo à margem direita. As profundidades podem atingir 8 a 9 m em relação ao nível do rio nos dias das coletas.

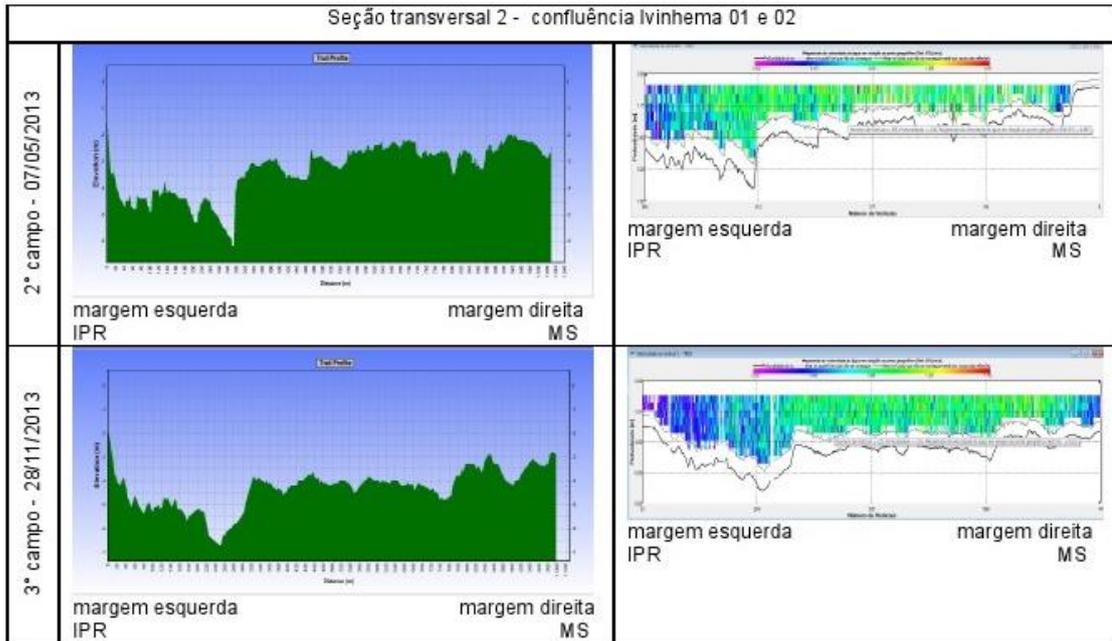
A velocidade média predominante foi entre 0,8 a 1 m/s nas seções e as maiores velocidades entre as seções 1 e 3 acontecem na área de aceleração dos fluxos gerados pelas confluências.

Figura 5.8 – Perfil do ecobatímetro e do ADCP, seção transversal 1, a jusante da confluência do Ivinhema 01 – (MS) e ilha Paraná (IPR II).



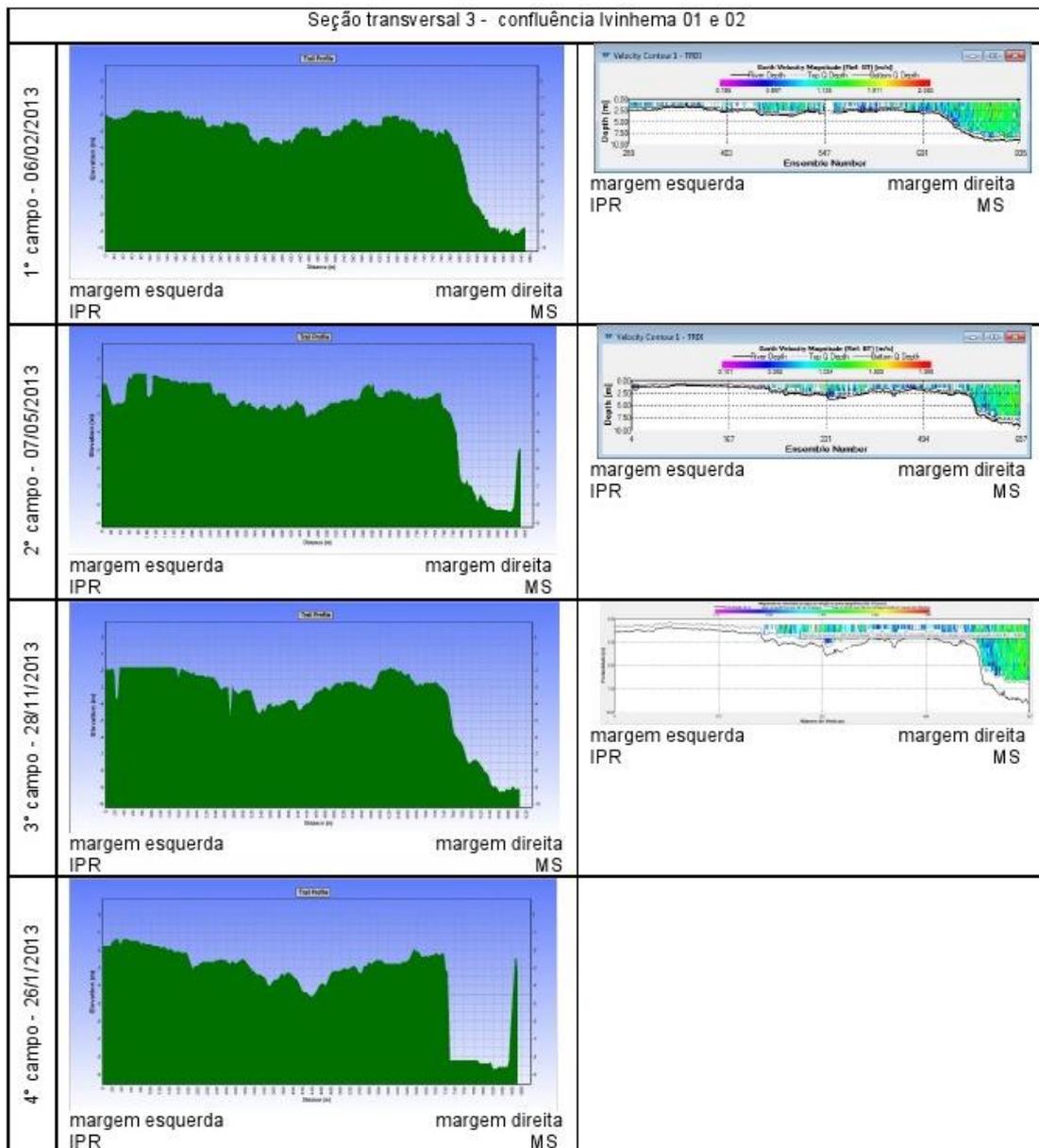
Fonte: Elaborado pelo autor, 2015.

Figura 5.9 – Perfil do ecobatímetro e do ADCP na seção transversal 2, entre a confluência do Ivinhema 01 e Ivinhema 02 – (MS) e Ilha Paraná (IPR II).



Fonte: Elaborado pelo autor, 2015.

Figura 5.10 – Perfil do ecobatímetro e do ADCP, seção transversal 3, a montante da confluência Ivinhema 02 – (MS) e Ilha Paraná (IPR II).



Fonte: Elaborado pelo autor, 2015.

No canal principal do rio Ivinhema-MS localizam-se as seções transversais 4 e 5 (Figuras 5.11 e 5.12). A seção 4 está a 100 m da confluência Ivinhema 01. Pela proximidade com a confluência sofre interferência direta das águas do rio Paraná, represando e favorecendo a deposição de sedimentos como lama e areia fina, principalmente na margem esquerda.

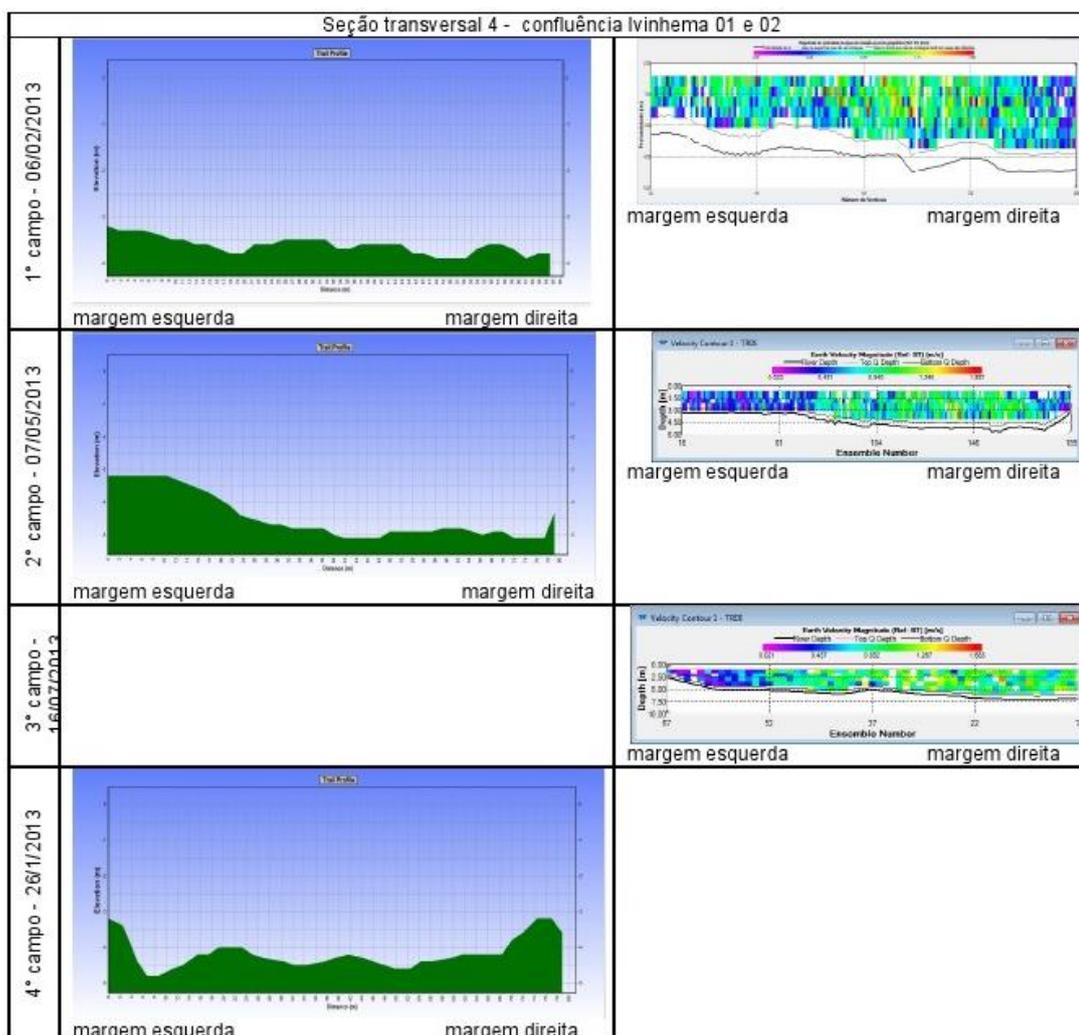
Nas seções 4 e 5, a profundidade média da margem esquerda é de 3,5 m a 4,5 m em relação ao nível do rio. A margem direita é mais profunda com médias de 4 m a 7 m. As profundidades menores próximas à margem esquerda resultam da

presença das cascalheiras junto à margem, resistentes à erosão que favorece o processo de aprofundamento do leito do rio Ivinhema-MS, próximo à margem direita.

As maiores velocidades de fluxo foram obtidas no meio do canal e em direção à margem direita, sendo que a montante, na seção 5, as médias de 1 e 1,2 m/s, na seção 4 as médias de 0,8 m/s. A exceção foi na campanha de julho de 2013 ainda sobre efeito das chuvas do mês anterior com áreas alagadas que se verificou a presença de velocidades de até 1,5 m/s.

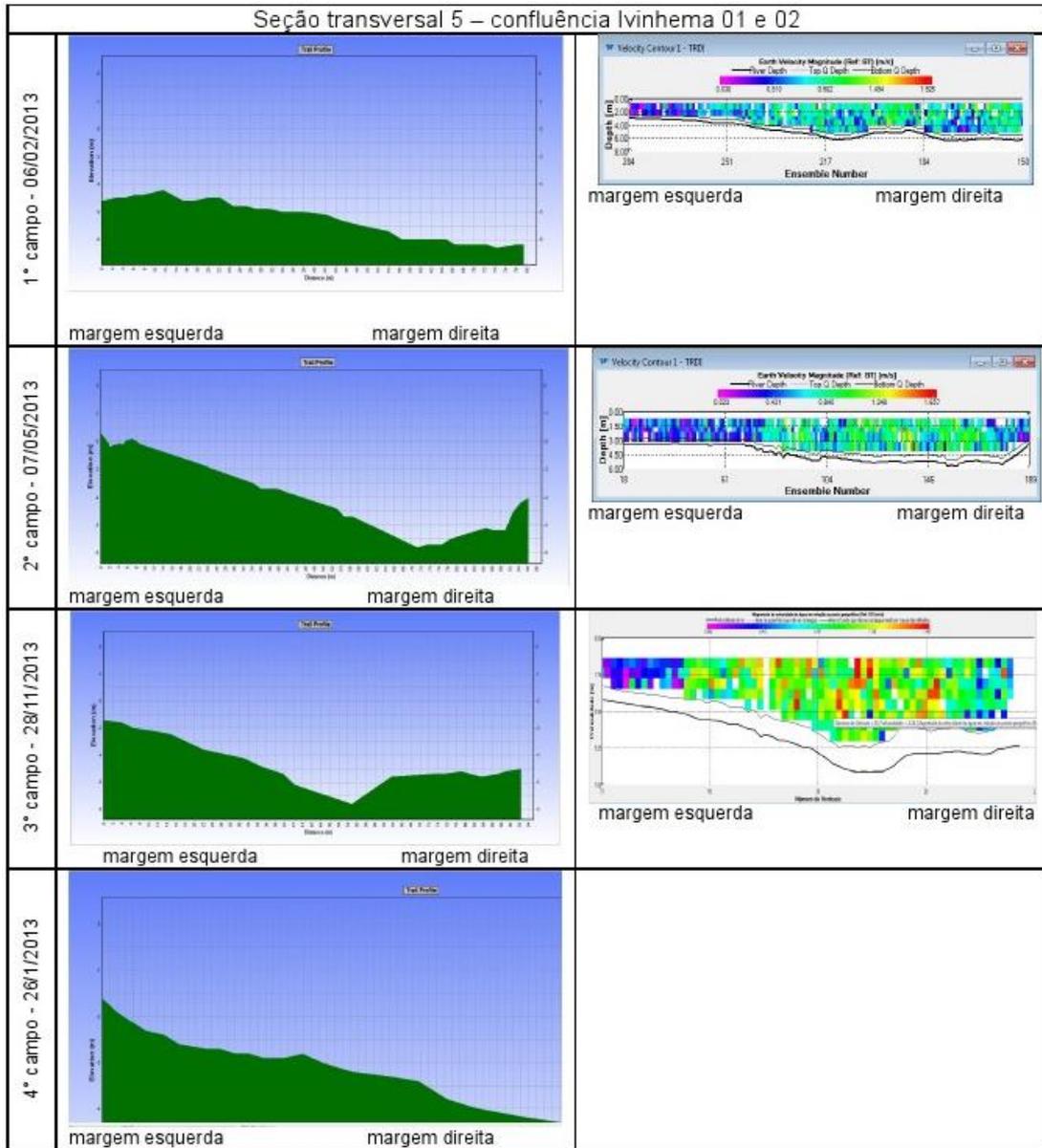
O deslocamento do talvegue em direção à margem direita e as maiores velocidades também nesta região se devem ao ângulo da confluência e a orientação da margem direita após entrada do rio Ivinhema-MS no canal principal. Note-se que no canal principal (rio Paraná) o fluxo do rio Ivinhema-MS fica concentrado próximo da margem direita.

Figura 5.11 – Perfil do ecobatímetro e do ADCP seção transversal 4, 100 m a montante da confluência do Ivinhema 01.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2015.

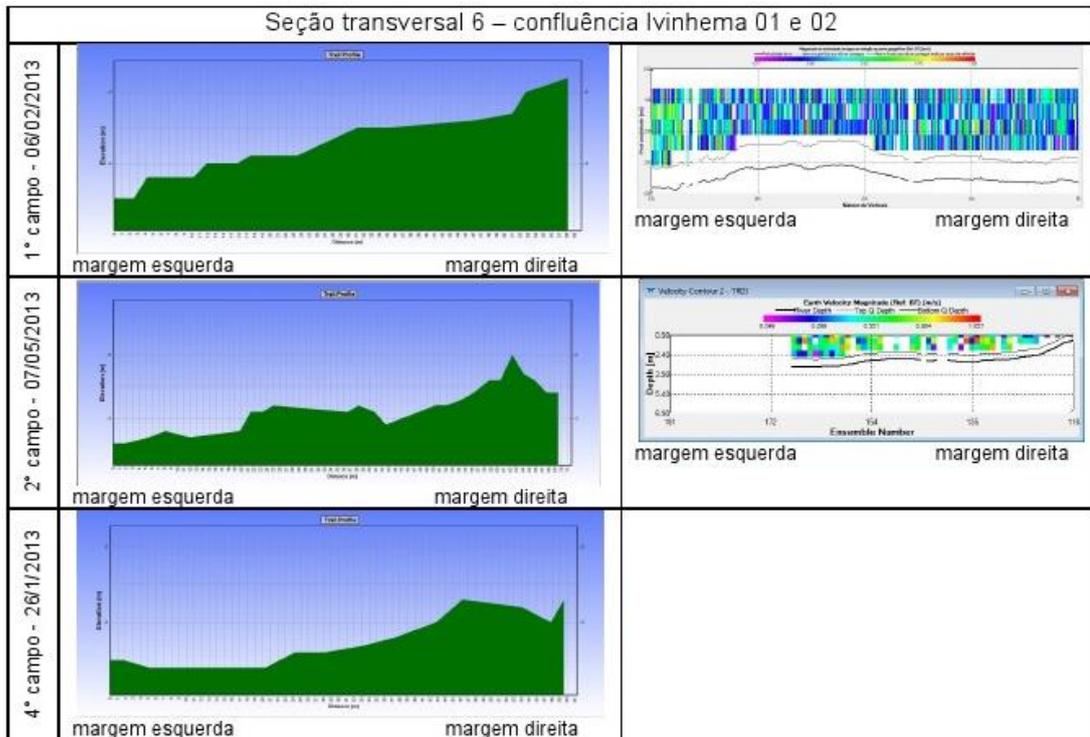
Figura 5.12 – Perfil do ecobatímetro e do ADCP seção transversal 5, no rio Ivinhema a montante da confluência Ivinhema 01.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2015.

A seção transversal 6 (Figura 5.13) localiza-se no rio Ivinhema a 150 m da confluência 02. A margem esquerda tem profundidades entre 3 e 4 m e 3 na margem direita. As velocidades maiores ocorrem na margem esquerda com média 1,1 m/s. enquanto que na margem direita e no meio do canal as margens são inferiores a média da seção; nesta região o fluxo mais lento se deve ao represamento do mesmo próximo à margem. O fluxo deste canal ao adentrar ao rio Paraná acelera os fluxos e inicia a área de escavamento da confluência Ivinhema 02.

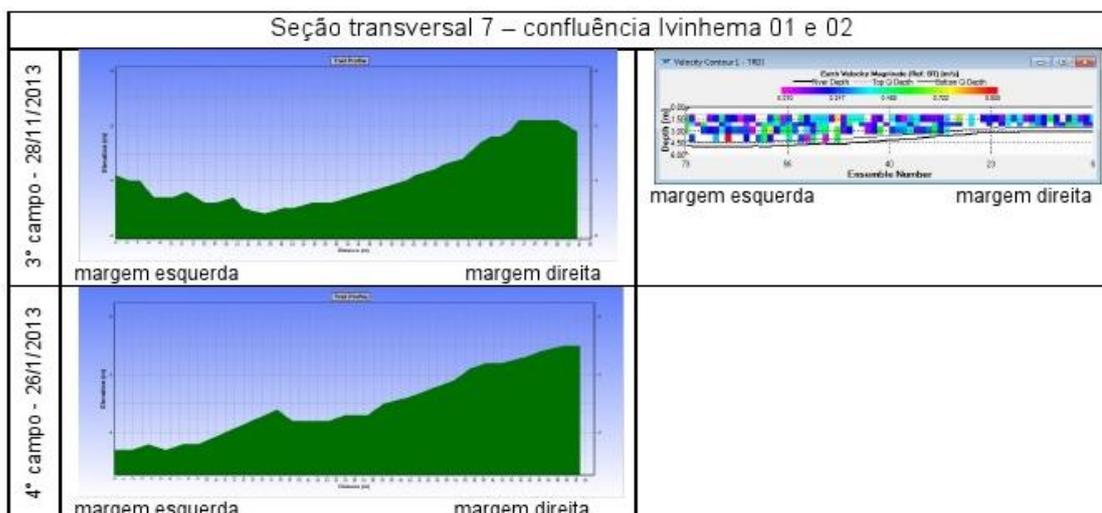
Figura 5.13 – Perfil do ecobatímetro e do ADCP seção transversal 6, no rio Ivinhema, a montante da confluência Ivinhema 02 – confluência Ivinhema 02.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2015.

A seção transversal 07 (Figura 5.14), a montante da confluência Ivinhema 02, foi analisada apenas em julho e novembro, após a cheia que limpou a vegetação que impedia acesso a este canal que liga uma lagoa localizada ao norte na planície Paraná-Ivinhema e recebe contribuições de paelocanais e outros cursos de água menores. Esta seção possui profundidade de 4 m na margem esquerda e 3 na margem direita, e baixa velocidade de fluxo, pela pequena diferença altimétrica entre as margens, apenas 4 cm. As velocidades dos fluxos são baixas, inferior a 0,1 m/s mesmo no período pós-cheia.

Figura 5.14 – Perfil do ecobatímetro e do ADCP seção transversal 7, no rio Ivinhema, montante da confluência Ivinhema 02.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2015.

5.4 ANÁLISE DOS DADOS DA VAZÃO DA CONFLUÊNCIA IVINHEMA 01 E 02

Os valores de vazão obtidos com o ADCP nas seções transversais localizadas nas confluências Ivinhema 01 e 02 indicam que o rio Ivinhema-MS acresce quantidades significativas à vazão do rio Paraná, não havendo perda para planície, sendo inclusive abastecido por ela durante os períodos de cheia (Tabelas 5.1, 5.2 e 5.3).

Quanto à velocidade dos fluxos, os maiores valores encontram-se no rio Paraná. A seção transversal 1 com média de 0,8 m/s, enquanto que a seções transversais 2 e 3 oscilam entre 0,6 e 1,0 m/s. Estas velocidades são influenciadas pelo nível do rio. As menores velocidades médias ocorreram no período de cheia simultânea dos dois rios em julho. Ao contrário do rio Paraná, o rio Ivinhema-MS teve aumento de velocidade atingindo os mesmos valores médios do rio Paraná.

Tabela 5.1 – Dados de vazão obtidos com o ADCP na campanha de 06/2/2013. Note-se que a perda de água verificada entre as TRC5 para a TRC4 se deve à subdivisão do canal do rio Ivinhema-MS para as duas confluências.

Campanha 06/2/2013	Vazão m ³ /s	Velocidade de fluxo m/s
TRC 1 (r. Paraná)	2.962,43	0,8
TRC 3 (r. Paraná)	2.685,40	1,0
TRC 4 (r. Ivinhema)	186,55	0,6
TRC 5 (r. Ivinhema)	257,22	0,7
TRC 6 (r. Ivinhema)	59,45	0,3

Tabela 5.2 – Dados de vazão obtidos com o ADCP na campanha de 07/5/2013.

Campanha 07/5/2013	Vazão m ³ /s	Velocidade de fluxo m/s
TRC 1 (r. Paraná)	2.330,08	0,8
TRC 3 (r. Paraná)	2.224,73	0,7
TRC 4 (r. Ivinhema)	196,01	0,9
TRC 6 (r. Ivinhema)	73,47	0,6

Tabela 5.3 – Dados de vazão obtidos com o ADCP na campanha de 16/7/2013.

Campanha 16/7/2013	Vazão m ³ /s	Velocidade de Fluxo m/s
TRC 1 (r. Paraná)	3.197,47	0,9
TRC 2 (r. Paraná)	2.919,55	0,6
TRC 3 (r. Paraná)	2.853,25	0,7
TRC 4 (r. Ivinhema)	218,68	0,8
TRC 5 (r. Ivinhema)	379,26	0,8
TRC 7 (r. Ivinhema)	5,96	0,03

Quando comparamos os valores e percentuais da Tabela 5.4, verificamos que o rio Ivinhema-MS, por meio das confluências Ivinhema 01 e 02, contribui em média com 10,6% do total de vazão da seção transversal 1 a jusante das confluências. Os menores valores foram obtidos em períodos de seca com 8,3% e os maiores no período de cheia (campanha de julho) 11,9%. Em relação à vazão total do rio Paraná medido na estação de Porto Caiuá a jusante da seção 1, os valores atingem na média 2,9 % de acréscimo sendo que o menor valor ocorreu em fevereiro com 2,1% e o maior no período de cheia.

O percentual de vazão do rio Ivinhema-MS em metros cúbicos aumenta mesmo em períodos de cheias simultâneas entre os dois rios como na campanha de julho. Em termos de valores totais o rio Ivinhema-MS tem contribuição significativa para a vazão do rio Paraná, sendo importante afluente do mesmo, pois após as cheias sua vazão permanece elevada por mais tempo, liberando gradativamente a água armazenada na planície durante o período durante semanas, diferente do que ocorre nos rios Ivaí-PR e Piquiri-PR que escoam em poucos dias.

Tabela 5.4 – Percentagem da vazão do rio Ivinhema em relação à TRC 1 do rio Paraná e a estação de Porto Caiuá, no rio Paraná, 2013.

Data	Ivinhema TRC 4 + TRC 6 m ³ /s	Dados seção TRC 1 vazão m ³ /s	Porto Caiuá vazão m ³ /s	Percentagem de vazão TRC 4 + 6 X TRC 1	Percentagem de vazão TRC 4 + 6 X p. Caiuá
08/2/2013	246,00	2.962,43	11.231,00	8,3%	2,19%
07/5/2013	269,48	2.330,08	8.375,68	11,6%	3,21%
16/7/2013	379,00	3.197,47	10.935,00	11,9%	3,46%
26/11/2013	n/d	n/d	9.597,00	n/d	n/d

A contribuição total em metros cúbicos do rio Ivinhema-MS na área da confluência é dividida entre as duas confluências. A confluência Ivinhema 01 representa 72% do volume durante a maior parte do ano. Durante o período pós-cheia (julho) a confluência Ivinhema 02 registrou aumento significativo representando 42% da vazão do rio Ivinhema-MS na área da confluência. A explicação pode ser encontrada no interior da planície Paraná/Ivinhema que liberava água retida na cheia e alimentava a drenagem da confluência Ivinhema 02, por meio de canais como a seção transversal 7, paleocanais e lagoas localizadas mais ao norte (Tabela 5.5).

Tabela 5.5 – Percentual da vazão do rio Ivinhema-MS por meio das confluências Ivinhema 01 e Ivinhema 02 para o rio Paraná.

Campanhas	Ivinhema 01 percentagem vazão	Ivinhema 02 percentagem vazão
08/2/2013	72,53%	27,47 %
07/5/2013	72,74%	27,20%
16/7/2013	57,7%	42,3%

Os dados de vazão das confluências Ivinhema 01 e 02 permitem afirmar que o fluxo dominante, segundo De Serres et al. (1999), sempre será no rio Paraná. Entre os motivos estão o canal mais largo, o volume e as velocidades superiores de água do rio Paraná.

5.5 VALORES DE CARGA DE SUSPENSÃO DAS CONFLUÊNCIAS IVINHEMA 01 E 02

As Tabelas 5.6, 5.7, 5.8 apresentam os valores de carga suspensa em Mg/L e totais em tonelada/dia para as seções coletadas nas confluências Ivinhema 01 e 02 nas respectivas campanhas. Os valores obtidos demonstram coerência e acréscimo de carga entre as seções transversais 01 e 03 com o acréscimo da carga sedimentar do rio Ivinhema-MS entre as duas seções.

Tabela 5.6 – Valores de vazão, Mg/L e tonelada dia campanha fevereiro 2013.

Campanha	Vazão (m ³ /s)	Carga suspensa Mg/L	Carga suspensa tonelada dia
06/2/2013			
TRC 1 - r. Paraná	2.962,43	0,01	2,23
TRC 3 - r. Paraná	2.685,40	0,011	2,09
TRC 4 - r. Ivinhema	186,55	0,008	0,13
TRC 5 - r. Ivinhema	257,22	0,01	0,91
TRC 6 - r. Ivinhema	59,45	0,013	0,67

Tabela 5.7 – Valores de vazão, Mg/L e tonelada dia campanha maio 2013.

Campanha 07/5/2013	Vazão (m ³ /s)	Carga suspensa Mg/L	Carga suspensa tonelada dia
TRC 1 - r. Paraná	2.330,08	0,014	2,8
TRC 3 - r. Paraná	2.224,73	0,011	2,1
TRC 4 - r. Ivinhema	196,01	0,012	0,2
TRC 6 - r. Ivinhema	73,47	0,017	0,1

Tabela 5.8 – Valores de vazão, Mg/L e tonelada dia campanha julho 2013.

Campanha 16/7/2013	Vazão (m ³ /s)	Carga suspensa Mg/L	Carga suspensa tonelada dia
TRC 1 - r. Paraná	3.197,47	0,005	46,51
TRC 3 - r. Paraná	2.853,25	0,005	38,31
TRC 4 - r. Ivinhema	218,68	0,005	4,46
TRC 5 - r. Ivinhema	379,26	0,011	6,03
TRC 6 - r. Ivinhema	160,58	0,070	2,93
TRC 7 - r. Ivinhema	5,96	0,007	0,030

As coletas de carga suspensa indicaram que os valores obtidos na margem direita nas seções 1, 2 e 3, do lado da planície Paraná/Ivinhema são superiores ao do canal e da margem esquerda, sugerindo que a mesma vem sendo erodida pelo rio Paraná, contribuindo com maior carga de sedimentos para o canal (Tabela 5.9).

Tabela 5.9 – Valores em Mg/L de carga suspensa nas seções transversais das confluências Ivinhema 01 e 02, 2013.

Valores em Mg/L de carga suspensa na confluência Ivinhema 01 e 02 - 2013

	PRIMEIRO CAMPO			SEGUNDO CAMPO			TERCEIRO CAMPO			QUARTO CAMPO		
	GRL= MAT.O+SED	GRL= MAR.O	GRL= SED	GRL= MAT.O+SED	GRL= MAR.O	GRL= SED	GRL= MAT.O+SED	GRL= MAR.O	GRL= SED	GRL= MAT.O+SED	GRL= MAR.O	GRL= SED
TRC 01 me	0,0087	0,0040	0,0047	0,0043	0,0013	0,003	0,1650	0,0484	0,1166	0,0075	0,0043	0,0032
TRC 01 canal				0,0044	0,0018	0,0026	0,2060	0,0652	0,1408	0,0121	0,0043	0,0078
TRC 01 md				0,0111	0,0032	0,0079	0,1622	0,0544	0,0978	0,0231	0,0059	0,0172
TRC 02 me	0,0065	0,0025	0,0040	0,005	0,0017	0,0033	0,0731	0,0232	0,0499	0,0131	0,0051	0,0080
TRC 02 canal				0,0039	0,0013	0,0026	0,1617	0,0513	0,1104	0,0090	0,0038	0,0052
TRC 02 md				0,0091	0,0025	0,0066	0,1892	0,0573	0,1319	0,0115	0,0035	0,0080
TRC 03 me	0,0088	0,0036	0,0053	0,004	0,0018	0,0022	0,0506	0,0118	0,0390	0,0114	0,0042	0,0072
TRC 03 canal				0,0032	0,0021	0,0011	0,1593	0,0501	0,1092	0,0107	0,0040	0,0067
TRC 03 md				0,0076	0,0022	0,0054	0,1974	0,0623	0,1351	0,0160	0,0050	0,0110
TRC 04 me	0,0125	0,0041	0,0084	0,0129	0,0024	0,0105	0,2791	0,0896	0,1893	0,0266	0,0053	0,0213
TRC 04 md				0,0111	0,0022	0,0089	0,1613	0,0669	0,0944	0,0214	0,0067	0,0147
TRC 04 canal				0,0108	0,0027	0,0081	0,2682	0,0748	0,1934	0,0236	0,0059	0,0177
TRC 05 me	0,0410	0,0046	0,0364	0,0427	0,008	0,0347	0,2063	0,0381	0,1682	0,0146	0,0049	0,0099
TRC 05 canal				0,0097	0,0024	0,0073	0,1940	0,0626	0,1314	0,0285	0,0074	0,0211
TRC 05 md				0,0091	0,0018	0,0073	0,1528	0,0283	0,1245	0,0329	0,0065	0,0264
TRC 06 me	0,0096	0,0034	0,0062	0,0091	0,0021	0,007	0,1361	0,0731	0,0630	0,0249	0,0055	0,0194
TRC 06 canal				0,0069	0,0024	0,0085	0,2649	0,0604	0,2045	0,0266	0,0061	0,0207
TRC 06 md				0,0136	0,0027	0,0109	0,2307	0,0781	0,1526	0,0222	0,0053	0,0169
TRC 07 me							0,0651	0,0229	0,0622	0,1035	0,0176	0,0657
TRC 07 canal							0,0253	0,0061	0,0192	0,0106	0,0026	0,0080
TRC 07 md							0,0617	0,0131	0,0466	0,0155	0,0036	0,0119

Os valores de carga suspensa do rio Paraná são menores em Mg/L que os coletados no rio Ivinhema-MS. Em valores totais, o rio Paraná transporta um volume de carga suspensa maior pela sua vazão muito superior. Pelas Tabelas

5.10 a 5.12, verifica-se que a contribuição da vazão do rio Ivinhema-MS é menor do que a sua contribuição de carga suspensa. Em média, o rio Ivinhema-MS contribui com 20,9% de carga suspensa, atingindo 16% no período de chuva na bacia dos dois rios. Mas o dado mais relevante foi na campanha de fevereiro, com o nível dos dois rios baixo e ausência de chuvas significativas na bacia hidrográfica, o rio Ivinhema atinge 35,9% de contribuição de carga suspensa. Na média das três coletas, o Ivinhema contribui com 20,9% o que reforça que o mesmo é um importante rio na incorporação de carga suspensa no canal secundário do rio Paraná.

Tabela 5.10 – Percentual de vazão e carga suspensa da confluência Ivinhema 01 e 02 – campanha de fevereiro de 2013.

	vazão	carga suspensa
Canal secundário do Rio Paraná	91,6%	64,1%
Rio Ivinhema-MS	8,4%	35,9%

Tabela 5.11 – Percentual de vazão e carga suspensa da confluência Ivinhema 01 e 02 – campanha de maio de 2013.

	Vazão	Carga suspensa
Canal secundário do rio Paraná	88,4%	89,3%
Rio Ivinhema-MS	11,6%	10,7%

Tabela 5.12 – Percentual de vazão e carga suspensa da confluência Ivinhema 01 e 02 – campanha de julho de 2013.

	Vazão	Carga suspensa
Canal secundário do rio Paraná	89,1%	84,1%
Rio Ivinhema-MS	11,9%	15,9%

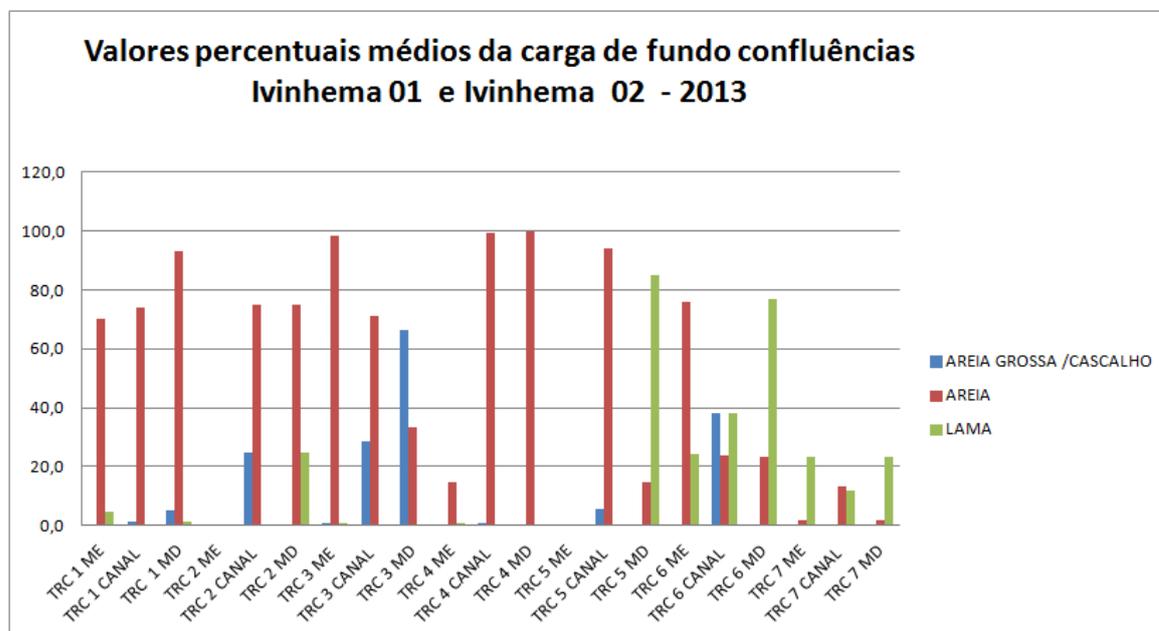
Outro dado relevante foi a terceira campanha, quando o volume de carga suspensa foi cinco vezes maior do que nos campos em períodos de pouca precipitação. Com o volume obtido chegou-se à marca de 46,51 toneladas/dia, o que assegura grande volume em carga transportada nos períodos de cheias e pós-cheias.

Observa-se que a carga suspensa transportada pelas confluências Ivinhema 01 e 02 chegam a ser duas vezes superiores à vazão nas médias das campanhas realizadas

5.6 DADOS GRANULOMÉTRICOS DO LEITO DA CONFLUÊNCIA IVINHEMA 01 E 02

As seções transversais de 1 a 3 possuí características geomorfológicas que interferem no padrão de distribuição da carga de fundo, como a da ilha localizada na margem direita, entre a confluência Ivinhema 02 e a Ivinhema 01, desviando o fluxo e a área de escavamento para o centro do canal. As velocidades maiores ocorrem na área de escavamento, aumentando a sinergia e a capacidade de transporte de material mais grosseiro, justificando a presença em valores significativos de areia grossa e cascalho na margem direita e canal central nas seções 1 e 2, respectivamente, nas áreas mais profundas do fluxo. A presença de lama na margem direita da seção 2 tem origem na área de estagnação localizada entre as confluências favorecendo a deposição de material em suspensão pela baixa energia. Mas o principal material encontrado entre as seções foi areia fina e média, sendo o principal material transportado pelo rio Paraná (Figura 5.15).

Figura 5.15 – Valores percentuais médios de carga de fundo nas seções transversais confluências Ivinhema 01 e 02.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2015.

A seção transversal 4, a montante da confluência Ivinhema 01 no tributário, apresenta areia fina e média ligada à dinâmica do rio Paraná, que invade com frequência estas águas por meio da margem esquerda deste canal e deposita este material nos períodos de cheia do mesmo.

A seção transversal 6, a montante da confluência Ivinhema 02, possui areia fina a média e lama nas margens. Na margem direita com baixa sinergia de fluxo ocorre o represamento frequente, o teor de lama aumenta neste local onde surge a área de estagnação de fluxo proposto por Best (1987). No meio do canal existe a interferência do fluxo do rio Paraná em épocas de cheia não há uma seleção granulométrica, pois encontramos areia, lama, areia grossa e cascalho. Na margem esquerda, encontramos a presença de areia fina e lama. A areia deve-se às velocidades de fluxos maiores nesta margem. A lama deposita quando o nível do rio Paraná sobe e represa esta confluência.

A seção transversal 5 possui fundo rochoso no meio do canal e na margem direita. Na campanha de julho de 2013, depois da cheia, é elevado o volume de areia fina no canal. À margem direita verificou-se a presença de lama e areia fina, a explicação deve-se ao barramento ocorrido com aumento do nível do rio Paraná e ao fundo rochoso irregular, com a presença de pequenos poços que favoreceram a deposição de sedimentos no fundo pela menor velocidade próxima da margem. A margem esquerda demonstrou-se mais dinâmica alternando as frações granulométricas.

A seção transversal 7 teve sua primeira coleta em julho de 2013, após a cheia, com vazão inferior a $6 \text{ m}^3/\text{s}$ e grandes quantidades de vegetação nas margens que favorecem a deposição de lama e areia muito fina.

Pelos valores obtidos com carga de fundo, o material predominante foi areia fina e média, com a presença de lama nas margens principalmente do rio Ivinhema-MS.

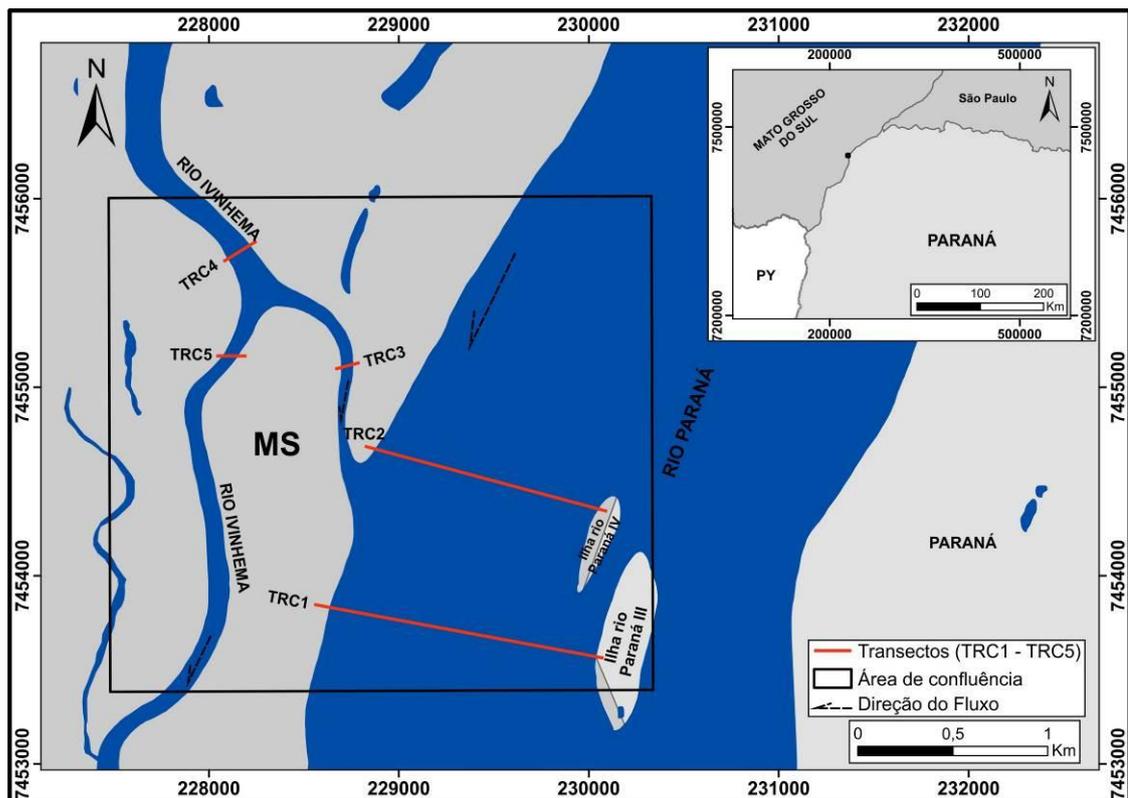
5.7 ANÁLISE DA BATIMETRIA, PERFIS BATIMÉTRICOS, FLUXOS, VELOCIDADE E VAZÃO POR MEIO DO ADCP NA CONFLUÊNCIA DO RIO IVINHEMA-MS, COM O RIO PARANÁ – CONFLUÊNCIA IVINHEMA 03.

A confluência Ivinhema 03, localizada a 28 km a montante da confluência Ivinhema 02, próximo ao município de Querência do Norte no Paraná, dentro do parque estadual do rio Ivinhema-MS. Tem como característica a divisão do curso de água do rio Ivinhema-MS em dois canais. Um deles segue a direção leste por cerca de 1.300 m desaguando no rio Paraná e formando esta confluência. O outro canal

continua em direção ao sul, drenando a planície Paraná/Ivinhema, até a confluência Ivinhema 01 e 02.

Nesta confluência foram escolhidas cinco seções transversais para análise de vazão e elaboração dos mapas batimétricos, duas no rio Paraná a montante e a jusante da confluência, e três no rio Ivinhema-MS a montante da divisão do canal e mais uma em cada canal a jusante após a divisão (Figura 5.16).

Figura 5.16 – Localização dos transectos e coleta de parâmetros da confluência Ivinhema-MS 03.



Fonte: Elaborado pelo autor, com colaboração de Carlos Henrique Graça, 2015.

Antes da divisão do rio Ivinhema-MS em dois canais nesta área o mesmo possui profundidades entre 4 a 6 m em média. As maiores profundidades ocorrem na margem direita; o canal que segue em direção ao sul possui profundidades de 5 a 6 m, o outro que segue em direção à confluência Ivinhema 03 é mais profundo, apresenta um talvegue sinuoso, alternando entre a margem direita e esquerda, com cerca de 90 m de largura, próximo à seção transversal 03 costuma ser represado pelas águas do rio Paraná quando o mesmo está com o nível mais elevado como na campanha de fevereiro de 2013.

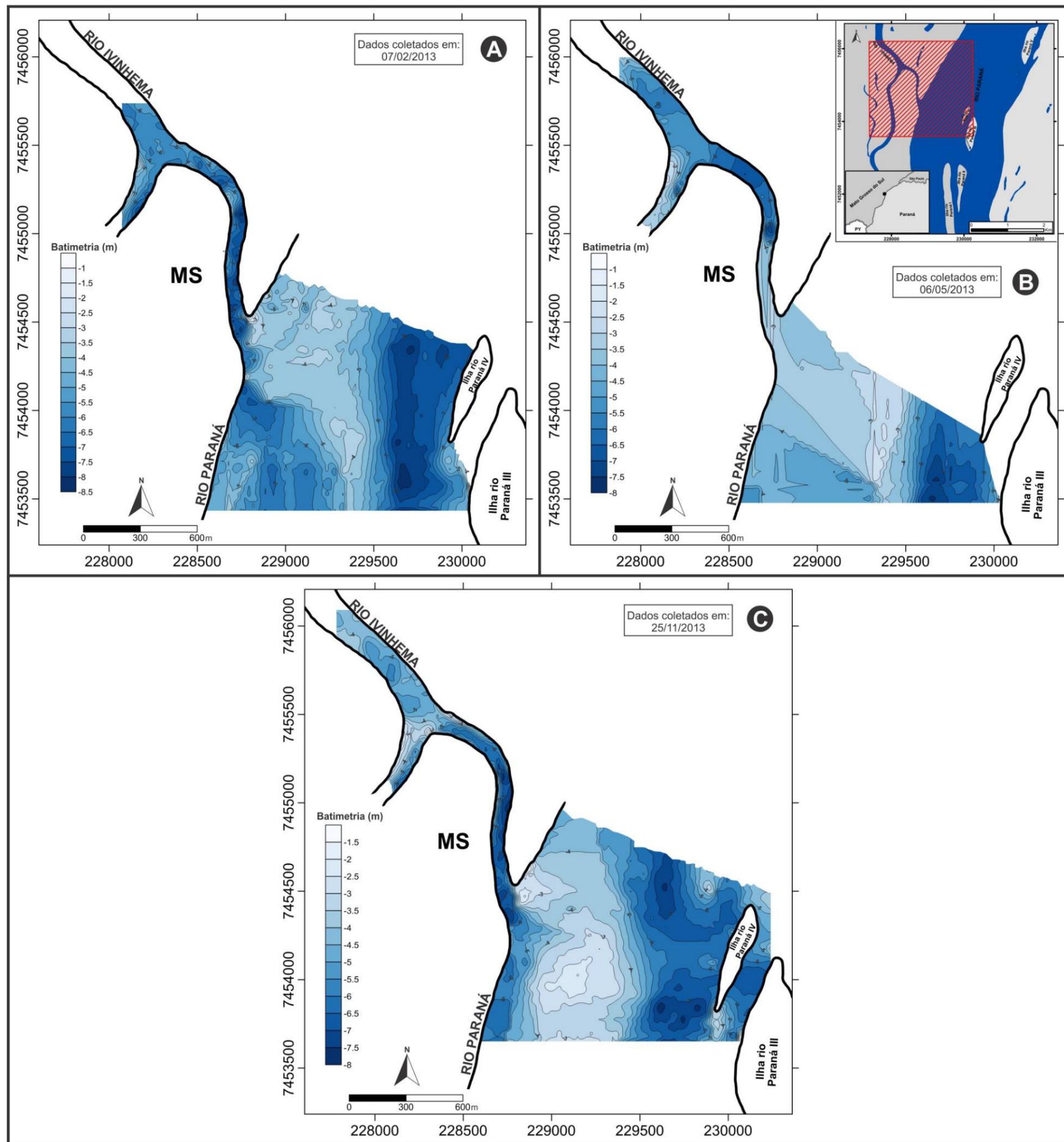
5.8 ANÁLISE BATIMÉTRICA DA CONFLUÊNCIA IVINHEMA 02

Pelos mapas batimétricos da confluência Ivinhema 03, verifica-se que os aspectos geomorfológicos do leito da confluência tiveram pequenas alterações entre as campanhas. A montante da confluência, iniciando na margem direita da seção 2 e seguindo a direção sul-sudeste (Figura 5.17), ocorre a área mais rasa do canal secundário do rio Paraná. A margem esquerda apresentou-se de forma geomorfológica mais uniforme entre as seções 01 e 02. O talvegue localiza-se nesta área com profundidades de até 8 m abaixo do nível do rio, mas na média as profundidades são de 6 a 7 m. A área central do canal possui as menores profundidades pela grande movimentação de carga de fundo.

A área de escavamento da confluência inicia-se após o encontro entre as águas dos rios, segue a margem direita e aumenta em direção ao canal central na direção sul/sudeste. Antes do encontro dos canais, as profundidades médias são de 4 a 5 m, após o encontro a profundidade aumenta para 6 a 8 m em relação ao nível do rio. Nota-se que as maiores profundidades na margem direita entre 6 a 8 m são dominantes apenas depois do início da área de escavamento da confluência, aumentando a largura desta área até as proximidades do meio do canal do rio Paraná, mesmo com vazão pequena do rio Ivinhema-MS, este encontro de canais gera atrito de forças que escavam a área do encontro.

Na seção transversal 5, a montante da divisão dos canais do rio Ivinhema-MS, com profundidades entre 4 a 6 m em média, sendo maiores na margem direita. Observa-se que após a divisão, o canal principal segue cortando a planície Paraná/Ivinhema até a confluência Ivinhema 01 e 02, e possui profundidades iniciais de 5 a 6 m. O outro canal já citado anteriormente segue em direção ao rio Paraná.

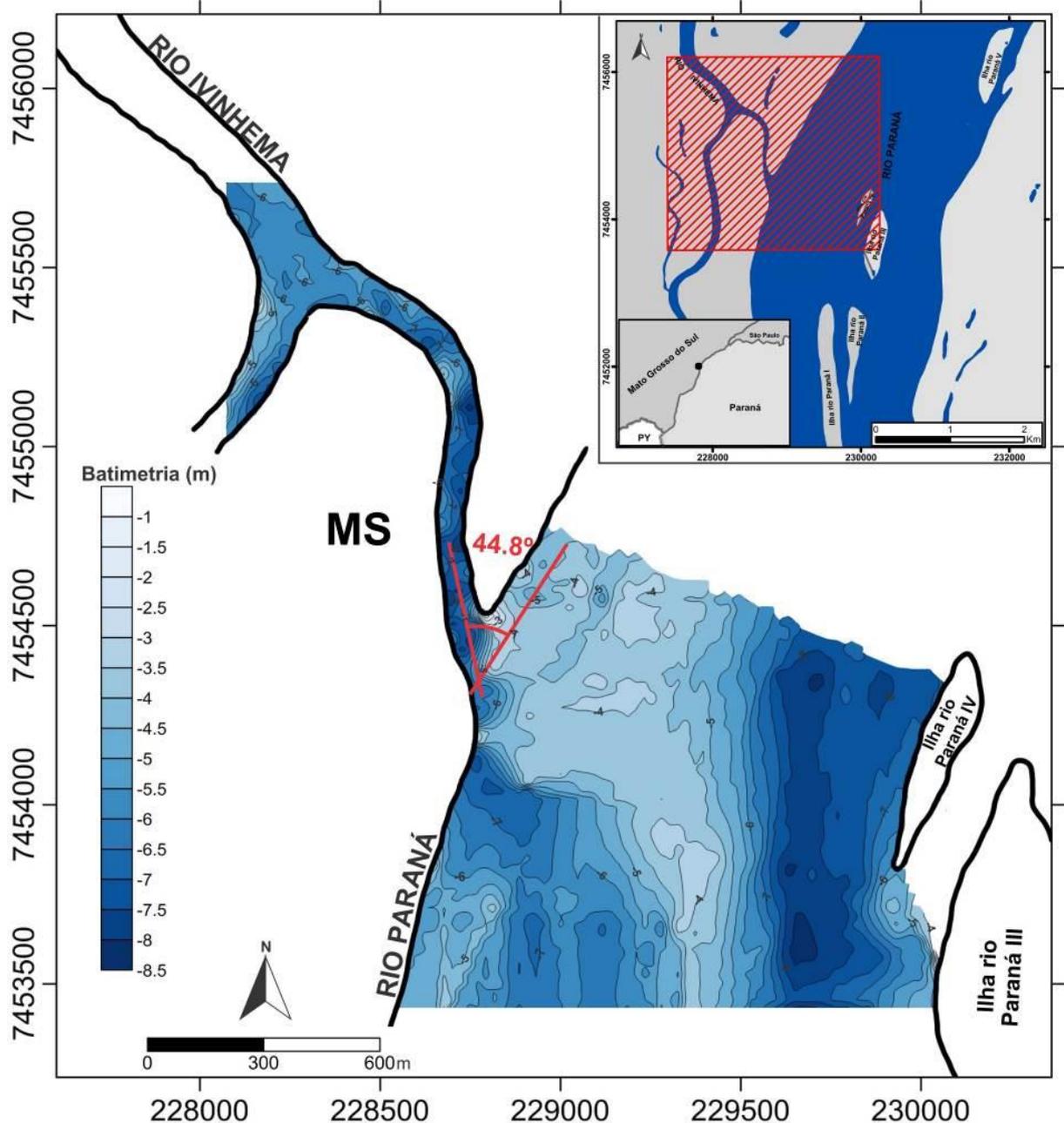
Figura 5.17 – Mapas batimétricos dos quatro campos da confluência do Ivinhema 03 – 2013.



Fonte: Elaborado pelo autor, com colaboração de Carlos Henrique Graça, 2015.

A confluência possui ângulo de $44,8^\circ$ (Figura 5.18), tem a forma de um “Y” inclinado, com a altitude menor na margem direita da confluência, sendo que seu talvegue localiza-se nesta área, favorecendo o avanço das águas do rio Ivinhema-MS, na direção do rio Paraná. O tributário não tem volume e nem força de fluxos para avançar sobre as águas do rio Paraná, o que limita as águas do rio Ivinhema-MS a poucas dezenas de metros da margem direita do canal principal até a mistura total dos fluxos.

Figura 5.18 – Ângulo da confluência Ivinhema 03 com o rio Paraná.



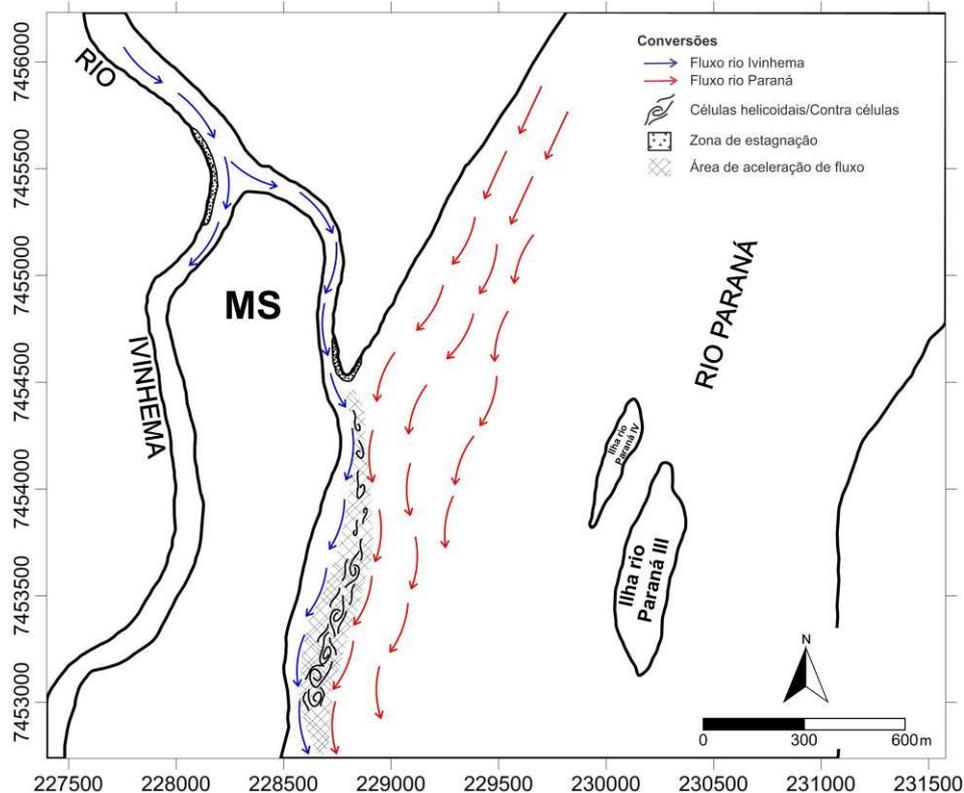
Fonte: Elaborado pelo autor, com colaboração de Carlos Henrique Graça, 2015.

A área de cisalhamento inicia-se junto à confluência direcionando paralelamente os fluxos dos dois canais a jusante, e suas águas permanecem imiscíveis por até vários quilômetros. Os vórtices superficiais entre os dois fluxos seguem por dezenas de metros após a confluência.

A confluência possui uma área de estagnação que abrange algumas dezenas de metros do tributário e no rio Paraná, no canto superior da confluência, (margem esquerda do tributário com a margem direita do canal principal). Não foi encontrada, nesta confluência nos levantamentos feitos, a área de deflação; as barras encontradas no canal do rio Paraná não podem ser atribuídas à confluência; elas estão presentes em todo o canal e próximo às ilhas, muitas vezes em processo de soldamento das mesmas.

A ausência de outros elementos comuns em confluência, descritos por Best (1987), se deve à largura, à vazão e às velocidades superiores do rio Paraná, cerca de 10 a 12 vezes (Figura 5.19).

Figura 5.19 – Modelo proposto por Best (1987), adaptado para a confluência do Ivinhema 03.



Fonte: Elaborado pelo autor, com colaboração de Carlos Henrique Graça, 2015.

5.9 ANÁLISES DOS PERFIS TRANSVERSAIS DA CONFLUÊNCIA DO RIO IVINHEMA 02

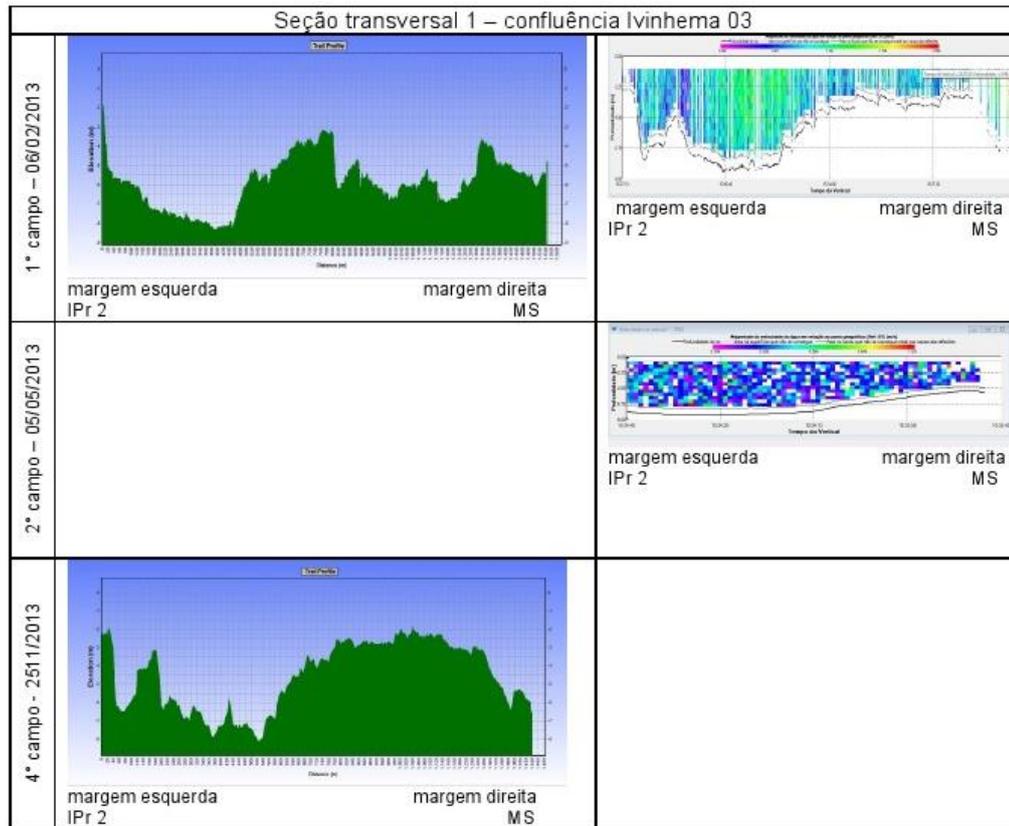
Quanto aos perfis transversais (Figuras 5.20 e 5.21) das seções transversais 1 e 2, verificou-se que a margem esquerda possui profundidades maiores. A seção 01, na margem direita, as profundidades elevadas formam um canal estreito e profundo. As velocidades de fluxo são maiores no centro do canal entre 1,1 a 1,6 m/s principalmente na seção 02. As menores velocidades ocorrem na margem esquerda justamente onde o canal é mais profundo entre as duas seções com velocidades médias de 0,6 m/s, a margem direita apresenta alternâncias de velocidades nas sessões de 0,6 a 1,6 m/s.

A seção transversal 3 localiza-se no rio Ivinhema-MS. À margem esquerda, as profundidades são maiores que na margem direita. Esta seção possui baixas velocidades de fluxos, sendo represada pelo rio Paraná, que adentra por sua margem esquerda como aconteceu na campanha de fevereiro, mantendo o escoamento lento por meio da margem direita até a área de escavamento (Figura 5.22).

A seção transversal 4 converge o fluxo principal para a planície Paraná/Ivinhema. O canal possui profundidades uniformes entre as margens, mas o canal é ligeiramente mais profundo e apresenta velocidades maiores de fluxos (Figura 5.23). Percebeu-se a presença de fundo rochoso no canal.

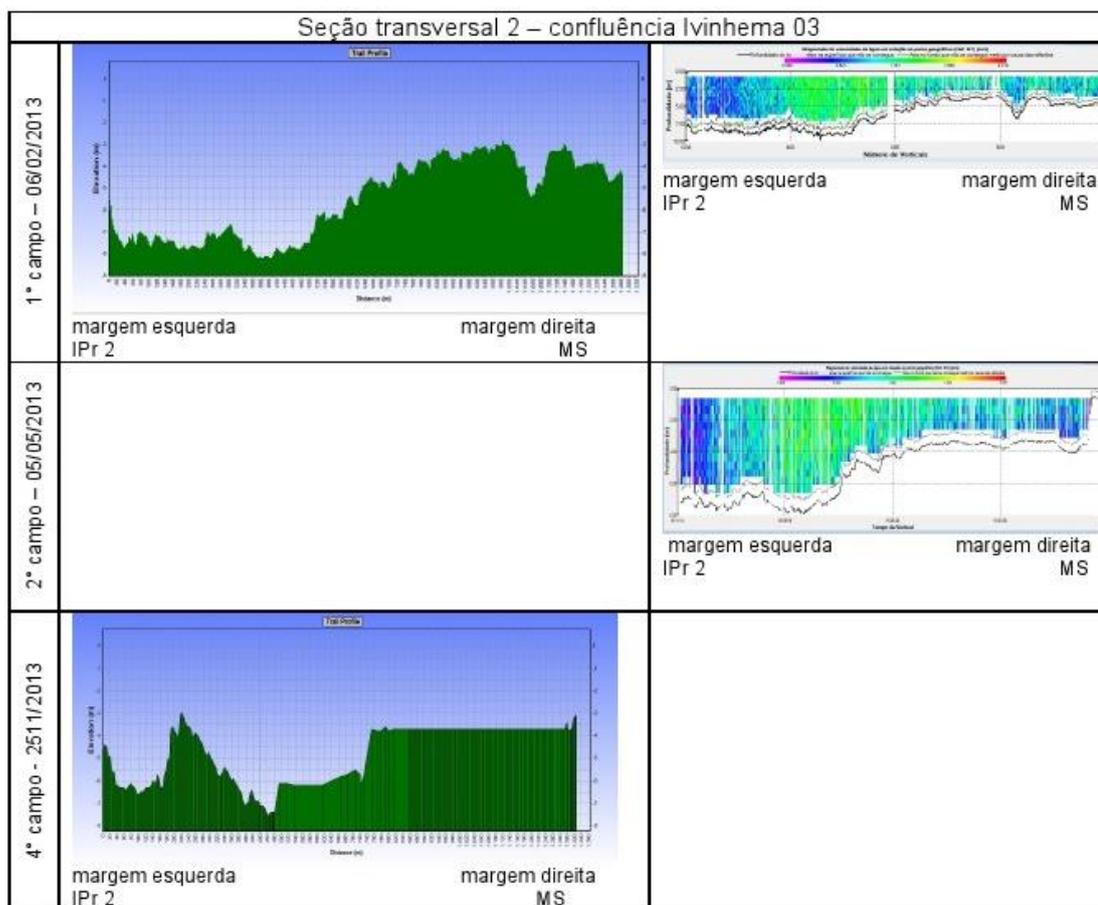
Na seção transversal 5, as maiores velocidades ocorrem no canal e margem esquerda. Este fluxo se divide em dois e pode-se observar que a margem direita possui baixa velocidade com características de uma área de deflação, até o início do canal que corta a planície Paraná/Ivinhema. As maiores profundidades e velocidades da seção 5 ocorrem na margem esquerda e no canal, (Figura 5.24). Percebeu a presença de fundo rochoso no canal e margem direita.

Figura 5.20 – Perfil do ecobatímetro e do ADCP da seção transversal 1, a jusante da confluência do Ivinhema 03.



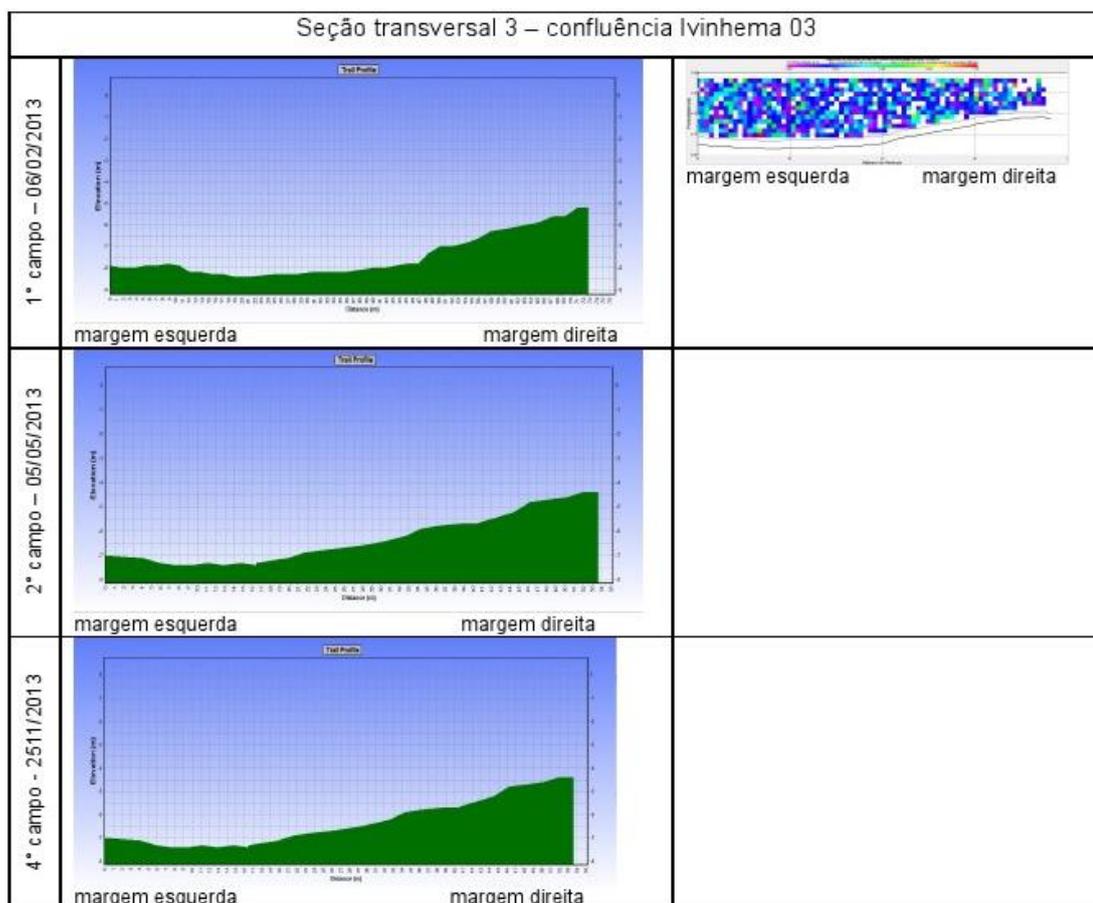
Fonte: Elaborado pelo autor, 2015.

Figura 5.21 – Perfil do ecobatímetro e do ADCP da seção transversal 2, a montante da confluência do Ivinhema 03.



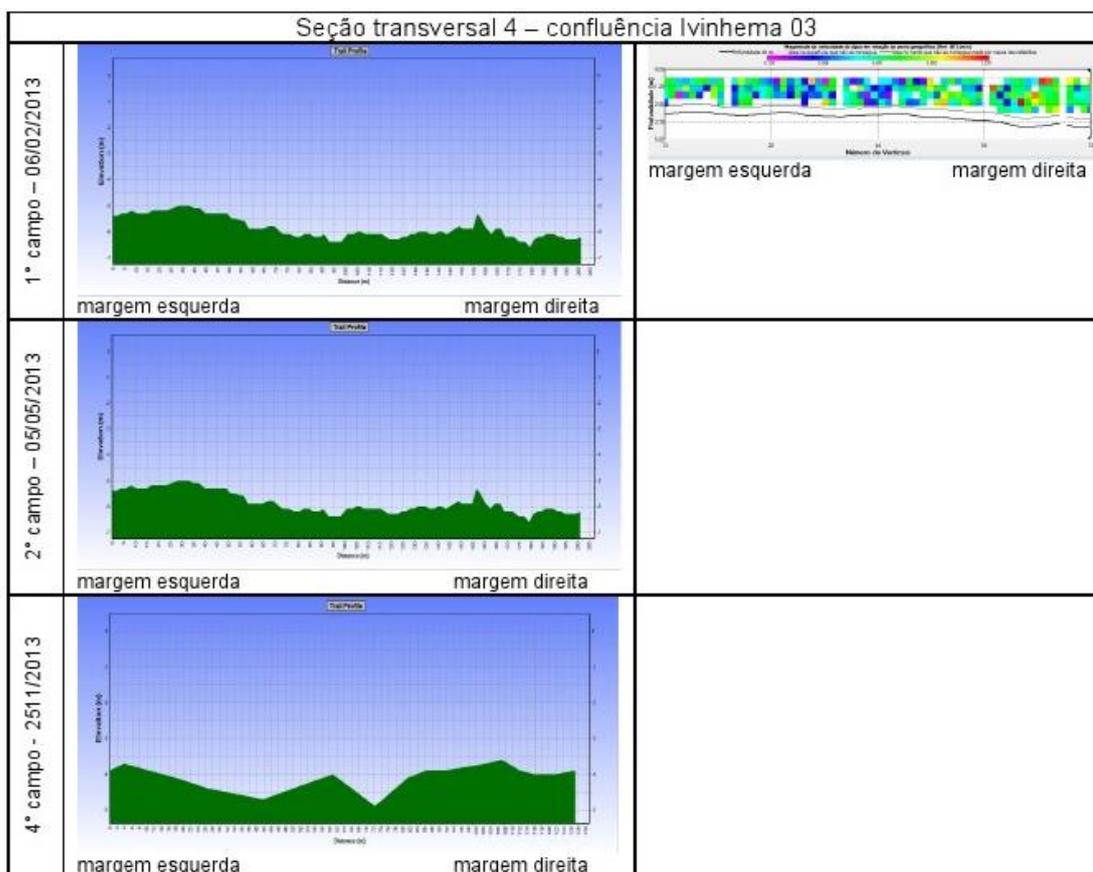
Fonte: Elaborado pelo autor, 2015.

Figura 5.22 – Perfil do ecobatímetro e do ADCP da seção transversal 3, rio Ivinhema-MS a montante da confluência do Ivinhema 03.



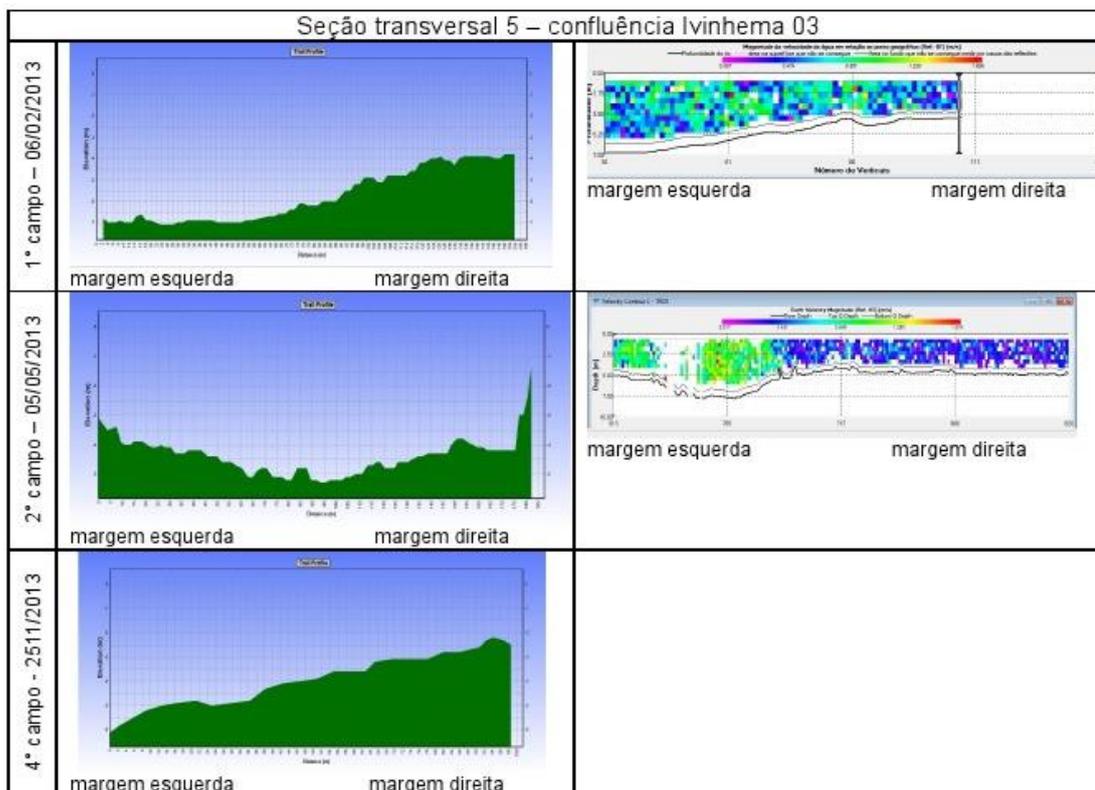
Fonte: Elaborado pelo autor, 2015.

Figura 5.23 – Perfil do ecobatímetro e do ADCP da seção transversal 4, canal principal do rio Ivinhema, confluência do Ivinhema 03.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2015.

Figura 5.24 – Perfil do ecobatímetro e do ADCP da seção transversal 5, a montante da confluência do Ivinhema 03.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2015

5.10 VALORES DE CARGA DE SUSPENSÃO DA CONFLUÊNCIA DA IVINHEMA 03

As Tabelas 5.13 e 5.14 demonstram os valores obtidos de carga suspensa e grama/litro e tonelada/dia nos dias de campanha nas confluências Ivinhema 03. As quantidades verificadas nas seções do rio Ivinhema-MS são duas a três vezes maiores que as seções do rio Paraná. Na seção 3, comparando com a primeira campanha em que as águas do rio Paraná a represava pela sua margem esquerda, apresentava nesta campanha valores próximos ao do rio Paraná.

Tabela 5.13 – Dados de vazão e da carga suspensa na confluência Ivinhema 03 fevereiro 2013.

PONTO	Vazão (m ³ /s)	Carga suspensa (Mg/L)	Carga suspensa (Ton. dia)
TRC 02 r. Paraná	6890,5	0,0062	3,70
TRC 03 r. Ivinhema	11,84	0,0056	0,006
TRC 04 r. Ivinhema	43,11	0,0115	0,042
TRC 05 r. Ivinhema	64,84	0,0169	0,094

Tabela 5.14 – Dados de vazão e da carga suspensa na confluência Ivinhema 03 maio 2013.

PONTO	Vazão (m ³ /s)	Carga suspensa (Mg/L)	Carga suspensa (Ton. dia)
TRC 01 r. Paraná	5579,0	0,0043	2,08
TRC 03 r. Ivinhema	12,00	0,0088	0,01
TRC 04 r. Ivinhema	162,1	0,0093	0,13
TRC 05 r. Ivinhema	174,1	n/d	n/d

Verificou-se ainda que a vazão no canal secundário do rio Paraná é de 99,99%, enquanto rio Ivinhema-MS atingiu em nossas coletas apenas 0,01%, do volume total da confluência, a maior parte do volume dele é direcionado para a planície Paraná/Ivinhema (Tabela 5.15). O canal que corta a planície Paraná/Ivinhema escoia aproximadamente de 80 a 90% do fluxo do rio Ivinhema-MS. Esta confluência deve estar relacionada a uma anomalia de drenagem, decorrente do sistema de falhas antitética na região estudada onde a margem direita do canal que corta a planície Paraná/Ivinhema é levemente rebaixada (FORTES, 2003), tornando a confluência Ivinhema 03 secundária em relação às confluências Ivinhema 01 e 02. Este abatimento explica o baixo volume de contribuição desta confluência ao rio Paraná (Figura 5.16).

Tabela 5.15 – Percentagem de contribuição na vazão da confluência Ivinhema 03.

	rio Paraná	rio Ivinhema
Vazão	99,99%	0,01%

Tabela 5.16 – Percentagem de contribuição na vazão dos canais da confluência Ivinhema 03, 2013.

	Fevereiro	Maio
TRC 03 r. Paraná	18,3%	6,9%
TRC 04 r. Ivinhema	81,7%	93,1%

Os valores da Tabela 5.17 demonstram que a carga suspensa coletada no rio Ivinhema-MS é superior em duas a três vezes a do rio Paraná em gramas por litro, porém a vazão do segundo é superior, sendo o principal responsável pela carga suspensa transportada.

Tabela 5.17 – Carga suspensa média Mg/L – seções transversais confluência Ivinhema 03, 2013.

		fevereiro	maio	julho	novembro
Ivinhema 03	Trc 1 r. Paraná	0,0062	0,0043	0,0139	0,0139
Ivinhema 03	Trc 2 r. Paraná	0,0062	0,0024	0,0081	0,0081
Ivinhema 03	Trc 3 r. Ivinhema	0,0056	0,0088	0,0176	0,0246
Ivinhema 03	Trc 4 r. Ivinhema	0,0115	0,0093	0,0221	0,0221
Ivinhema 03	Trc 5 r. Ivinhema	0,0169	n/d	0,0253	0,0253

Ainda com base nos dados de vazão adquiridos acima, pode-se afirmar que o rio Paraná determina o fluxo dominante (DE SERRES et al., 1999) na confluência durante o ano todo, decorrentes da vazão superior, velocidades e a largura do canal.

5.11 GRANULOMETRIA DO LEITO DA CONFLUÊNCIA DO IVINHEMA 03

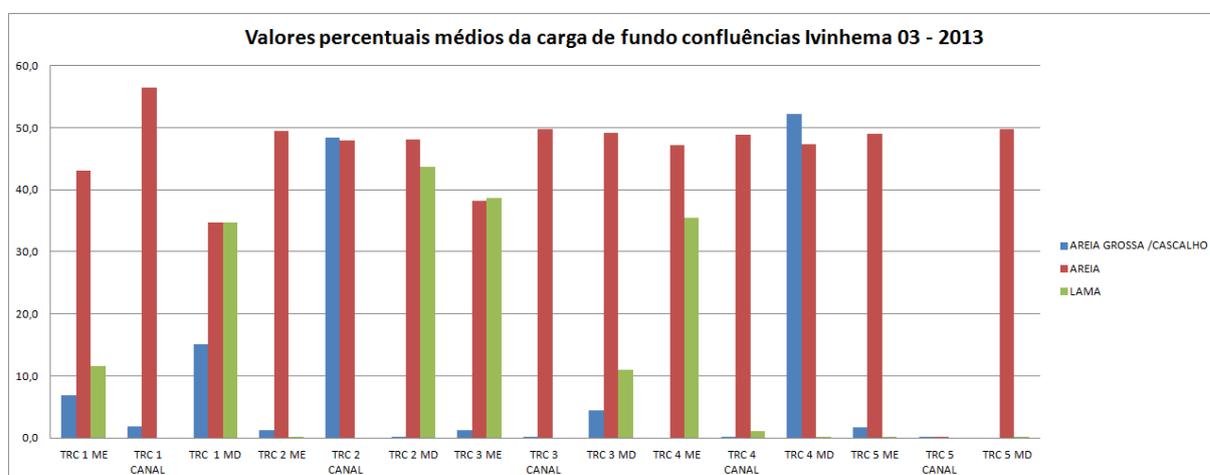
Analisando a Figura 5.25, verifica-se que a areia fina ou média é a principal fração granulométrica presente em quase todas as seções transversais da confluência Ivinhema 03.

A presença de lama e argila foi significativa nas margens direitas das seções transversais 1 e 2 e 5. As duas primeiras localizadas no rio Paraná margeiam a planície Paraná/Ivinhema. Nesta área predomina a presença de depósito de lâminas de argila nas margens e fundo do canal. Na seção 5, a montante a baixa velocidade fluxo relacionado à área com características de deflação indicada acima, com fundo rochoso no canal e margem esquerda favorece o depósito de material fino em suspensão.

Na seção transversal 4, o fundo é rochoso e existe aumento da velocidade de fluxo e predomínio de areia.

Na seção transversal 3, é possível encontrar areia grossa e cascalho na margem direita e canal; esta fração granulométrica está relacionada às grandes cheias do rio Paraná que transportam material para dentro do canal.

Figura 5.25 – Dados granulométricos da confluência do rio Ivinhema-MS.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2015.

6 CARACTERIZAÇÃO E ANÁLISE DA GEOMORFOLOGIA E DINÂMICA SEDIMENTAR DA CONFLUÊNCIA DO RIO IVAÍ-PR

6.1 GEOLOGIA E GEOMORFOLOGIA DA CONFLUÊNCIA DA CONFLUÊNCIA DO RIO IVAÍ-PR

O rio Ivaí-PR nasce no segundo planalto paranaense drenando as litologias Eo-paleozoicas da bacia sedimentar do Paraná (Figura 6.1). Ao ingressar no Terceiro Planalto começa a drenar as rochas vulcânicas básicas da Formação Serra Geral (Jr-Kr), em seu curso médio. No curso inferior escava os arenitos da Formação Caiuá (Kr) em curso inferior e somente nos últimos 150 km, antes de sua foz, a partir da corredeira do Ferro (Tapira-PR), surge um trecho aluvial, que retrabalha seus antigos depósitos aluvionares quaternários (Figura 6.2).

Figura 6.1 – Bacia hidrográfica do rio Ivaí-PR.

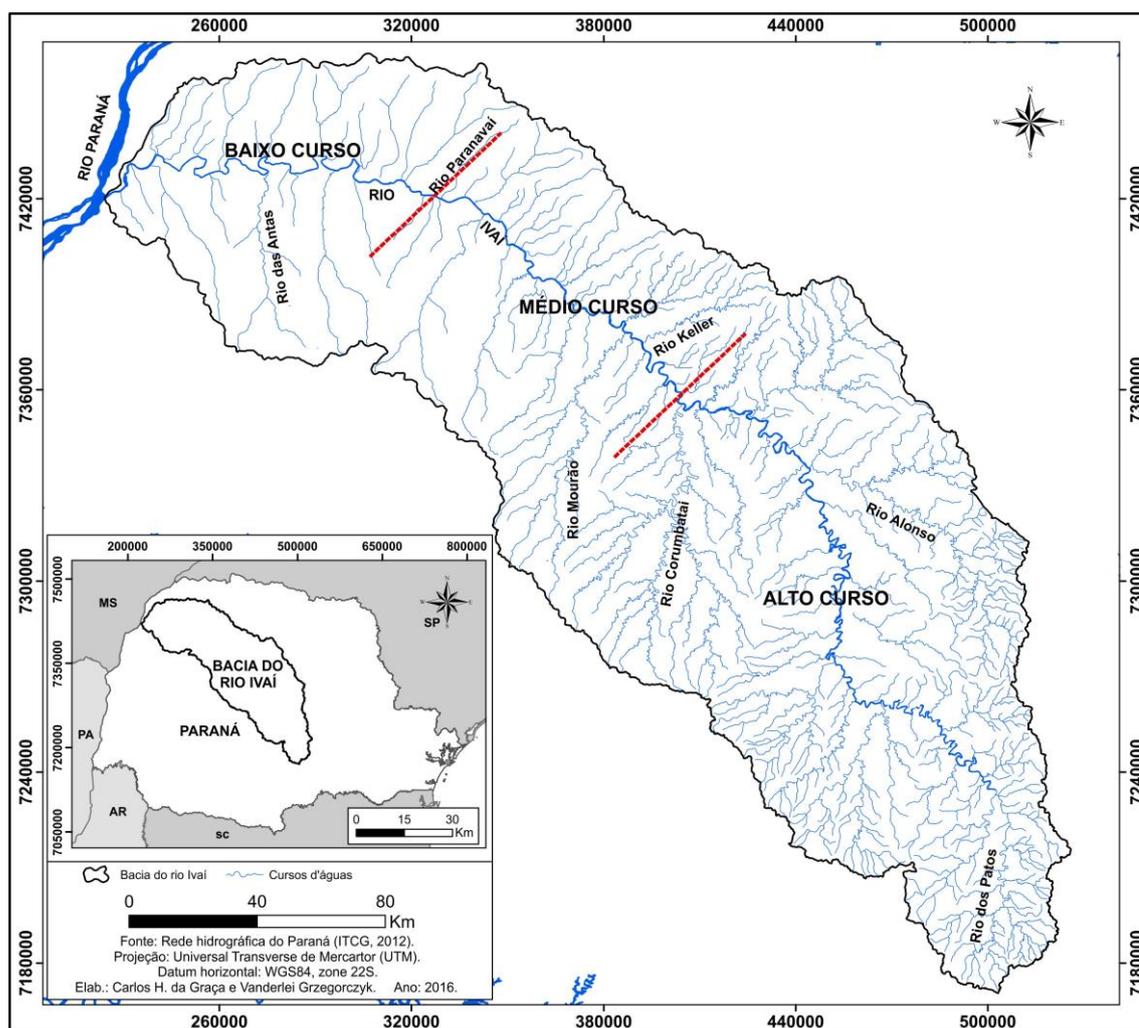
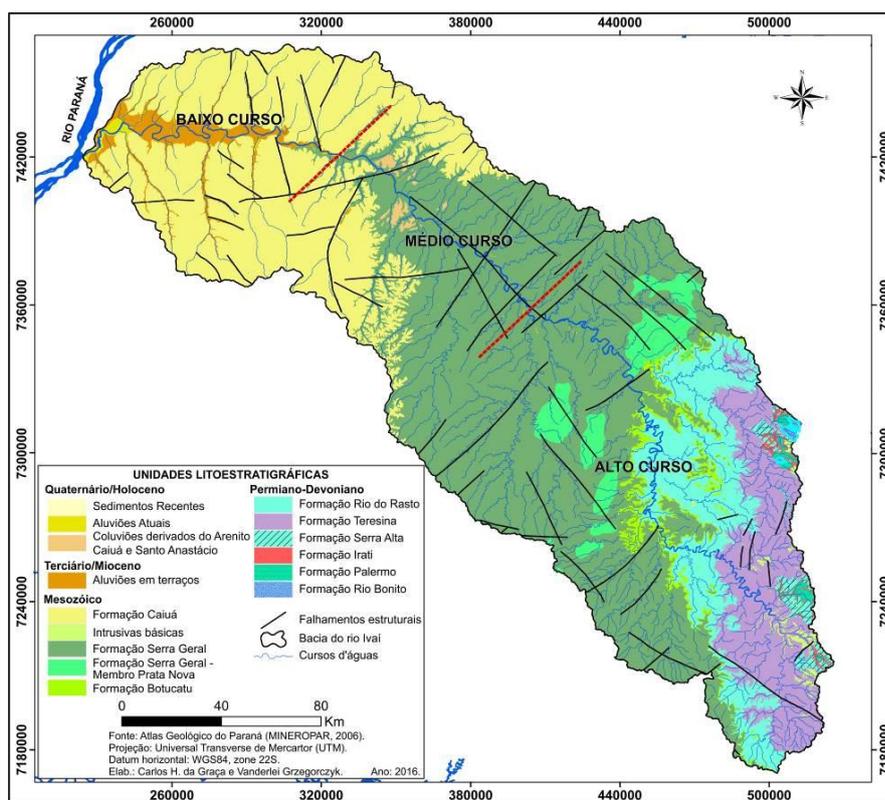


Figura 6.2 – Unidades geológicas da bacia hidrográfica do rio Ivaí-PR.



Fonte: Elaborado pelo autor, com colaboração de Carlos Henrique Graça, 2015.

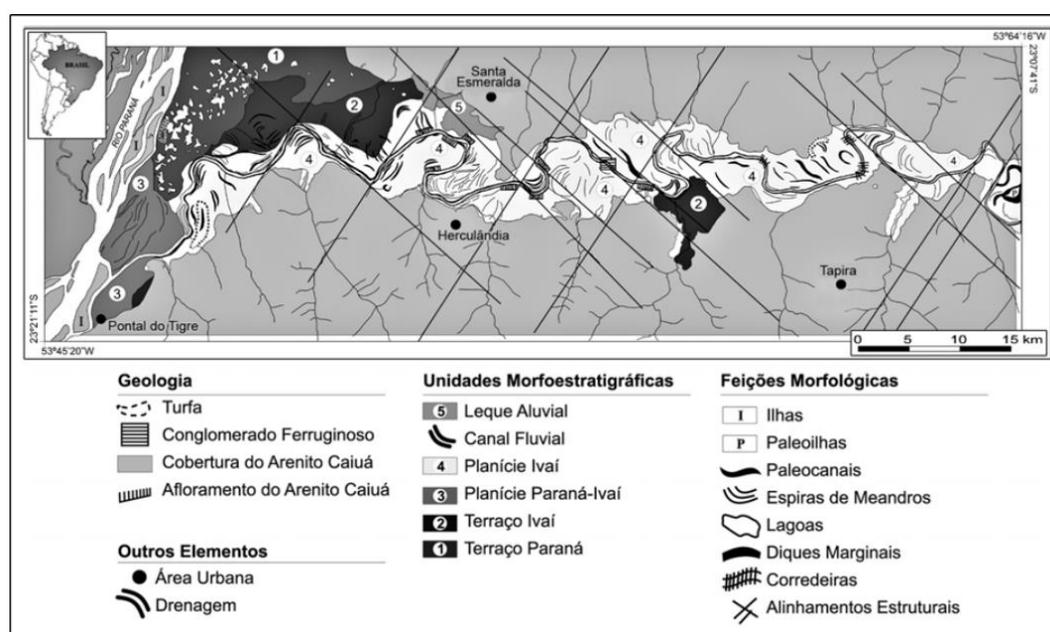
A geomorfologia da confluência do rio Ivaí-PR é importante na a compreensão dos processos hidrossedimentológicos que influenciam e são influenciados pela confluência. Esta se localiza na margem esquerda de um canal secundário do rio Paraná, próximo ao município de Icaraíma-PR, entre a latitude 23°21'01.4"S longitude 53°44'03.8"W.

Vários autores estudaram os aspectos hidrossedimentológicos da confluência do rio Ivaí-PR, entre eles destacam-se: Santos et al. (2008), Moraes (2010), Moraes e Santos (2011) e Moraes et al. (2014), sobre a confluência do rio Ivaí-PR, Barros (2006) e Franco (2007). Dentre os autores que estudaram a gênese da confluência do rio Ivaí-PR, com o rio Paraná, destaca-se: Santos et al. (2008), Moraes (2010), Moraes e Santos (2011) e Moraes et al. (2014). O estudo destes autores dividiu a área em quatro compartimentos e identificou diversos aspectos geomorfológicos como paleocanais e leques aluviais

A confluência dos rios Ivaí-PR e Paraná localiza-se no noroeste do Estado do Paraná, no limite entre os municípios de Querência do Norte e Icaraíma. Nessa região afloram arenitos da Formação Caiuá (Kr) que capeiam as eruptivas básicas da Formação Serra Geral (Jr-Kr) Figura 6.2.

Neste sistema aluvial são reconhecidas as unidades geomorfológicas de planícies e terraços com a presença de paleocanais, bacias de inundação, diques marginais, leques aluviais e lagoas Para Santos et al. (2008) a região da confluência, ora em análise, possui cinco unidades morfoestratigráficas: terraço do rio Paraná, terraço do rio Ivaí, planície Ivaí, Leque aluvial e planície Paraná-Ivaí (Figura 6.3). Nesta última unidade é onde se concentram os estudos aqui apresentados.

Figura 6.3 – Geomorfologia do baixo curso do rio Ivaí-PR.



Fonte: Santos et al. (2008, p. 25).

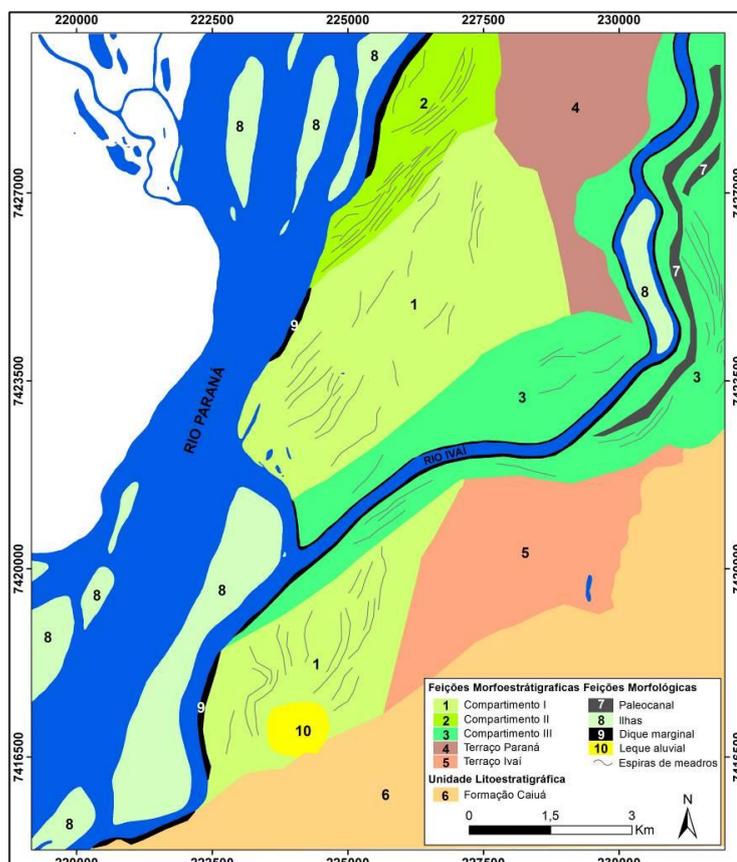
O rio desenvolve nos últimos 150 km (na área da planície Aluvial) um canal encaixado e sinuoso, com a presença de espirais de meandros abandonados no interior de sua planície, favorecendo a coesão das margens e manutenção dos diques marginais (BIAZIN, 2005; SANTOS et al., 2008; KURTEN; SANTOS; SILVA, 2009). Os depósitos sedimentares da planície aluvial, na região da foz, são predominantemente areno-pelíticos, alternando-se fácies de areia fina a média com fácies pelíticas. Nos paleocanais desenvolveram-se depósitos orgânicos e turfáceos.

Morais (2010) observou três compartimentos na planície aluvial do Ivaí, próximo a sua foz (Figura 6.4). No compartimento I, a planície tem sua gênese no sistema multicanal com a presença de paleobarras e apresenta a associação de paleocanais de formas retilíneas no sentido N-S. Segundo Morais (2010) esta área

está associada exclusivamente ao rio Paraná, localizada na planície Paraná-Ivaí e corresponde à antiga área de entrada de água do sistema abandonado pelo rio, resultando no desenvolvimento da planície de inundação.

O compartimento II corresponde a maior parte da planície e possui características únicas da planície Paraná-Ivaí. Segundo Santos et al. (2008), estes paleocanais do rio Paraná apresentam formas semelhantes a paleomeandros no sentido N-S. Esta característica está associada à formação de barras laterais, ligadas a mudanças ambientais que favoreceram a formação da planície, pela interrupção gradativa do fluxo do canal neste compartimento. Ainda segundo os autores acima, apesar desta área se apresentar na planície Paraná-Ivaí, a sua gênese está ligada exclusivamente aos processos do rio Paraná. Observa-se na Figura 6.4 que os paleocanais se localizam paralelamente ao canal atual do rio Ivaí-PR, com sua área diminuída em direção à confluência com o rio Paraná. Este compartimento é resultado do trabalho do rio Ivaí-PR, que retrabalhou os depósitos mais antigos na planície do Paraná.

Figura 6.4 – Geomorfologia da confluência do rio Ivaí-PR.



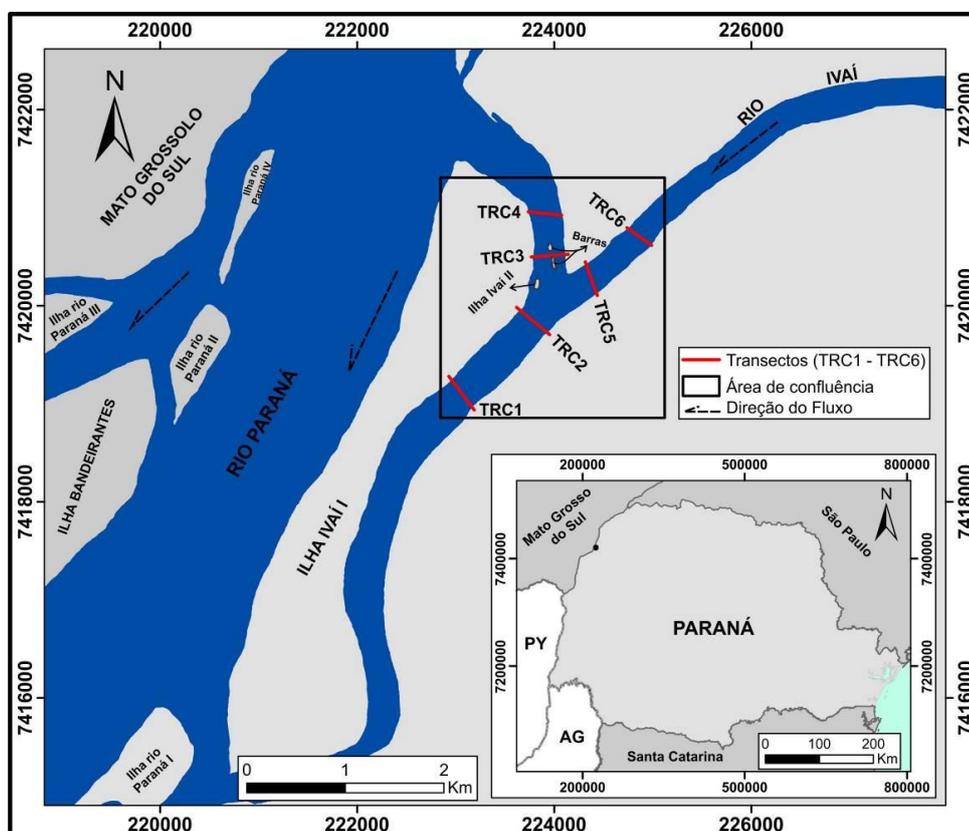
Fonte: Morais et al. (2014) – Adaptado pelo autor, com colaboração de Carlos Henrique Graça, 2015.

Segundo Moraes (2010), verificou-se que ocorreu o abandono dos canais que resultam da evolução e das formas e respectivos depósitos aluviais, e o processo de abandono dos canais deve a fatores como mudanças naturais, mudanças climáticas, influências tectônicas e intervenções antrópicas (SANTOS, 1997, STEVAUX; SOUZA FILHO; MARINS, 2004). Moraes (2010) postula que a antiga foz da confluência do rio Ivaí-PR, localizava-se a 6 km ao norte da atual, o que comprova que a confluência em questão está em processo de construção.

6.2 ANÁLISE DA BATIMETRIA, PERFIS BATIMÉTRICOS, FLUXOS, VELOCIDADE E VAZÃO POR MEIO DO ADCP NA CONFLUÊNCIA DO RIO IVAÍ-PR, COM O RIO PARANÁ – CONFLUÊNCIA DO RIO IVAÍ-PR

Na confluência do rio Ivaí-PR (Figura 6.5) foram feitas seis seções transversais para coleta de dados. As seções de 1 e 4 localizam-se no canal secundário do rio Paraná, sendo que as seções de 1 e 2 a jusante da confluência, as 3 e 4 a montante da confluência, as seções 5 e 6 localizam-se a montante no rio Ivaí-PR.

Figura 6.5 – Localização das seções transversais na confluência do rio Paraná com o rio Ivaí-PR.



Fonte: Elaborado pelo autor, com colaboração de Carlos Henrique Graça, 2015.

A seção 6 está localizada a 800 m da confluência e possui cerca de 270 m de largura, enquanto que a seção 5 encontra-se próximo à confluência e possui cerca de 320 m de largura. Na confluência a largura total do canal do rio Ivaí é 365 metros. As seções 3 e 4 a montante no canal do rio Paraná localiza-se a 150 e 800 m de distância (da confluência) enquanto as seções 1 e 2 localizam-se a jusante da confluência, com 380 m e 410 m de largura e 1.000 e 200 m de distância da confluência respectivamente.

Outros autores realizaram estudos na mesma área em seções próximas a que utilizamos. Estas informações serão mencionadas ao longo do texto para análise e comparação conforme Quadro (6.1) abaixo:

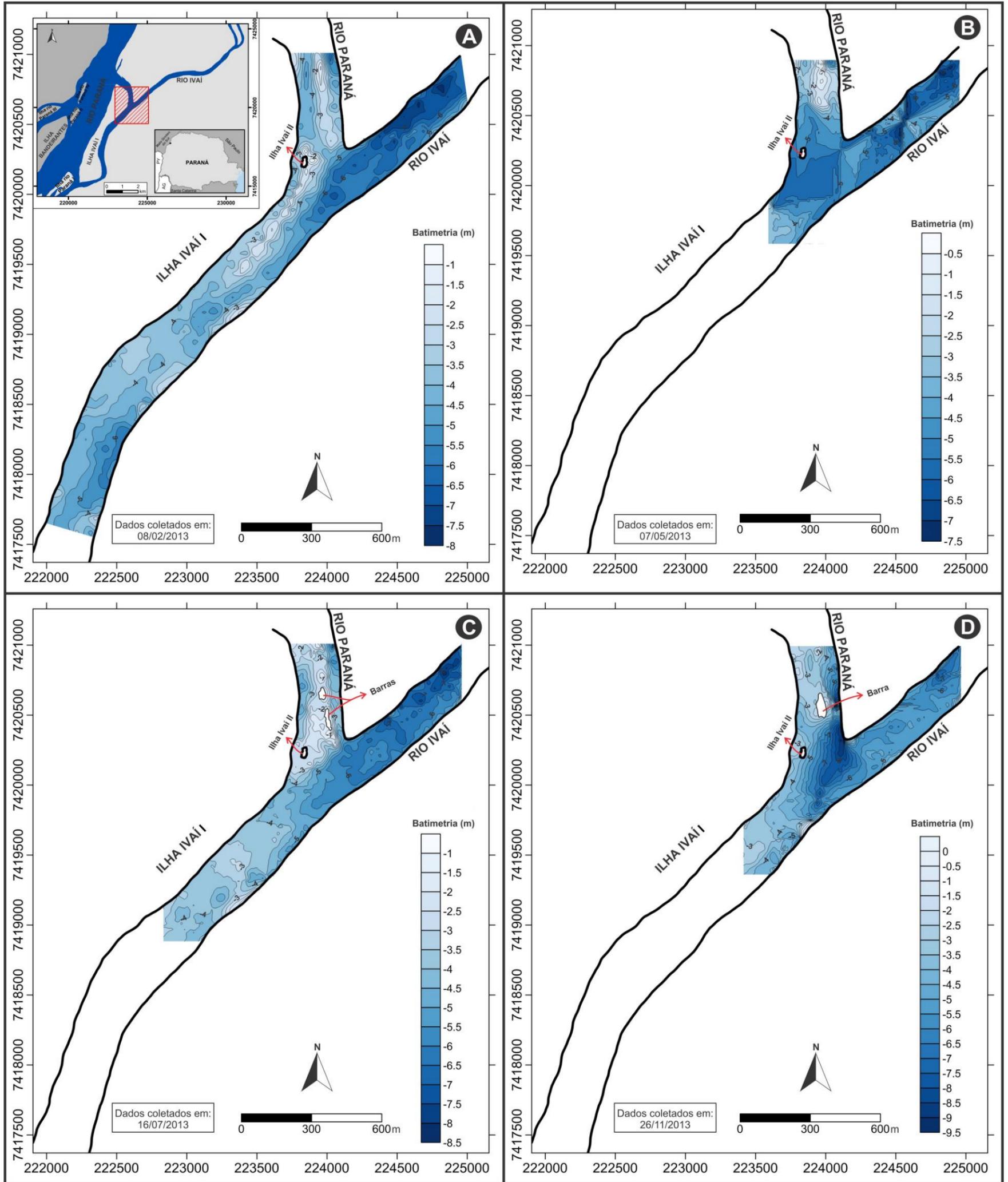
Quadro 6.1 – Seções transversais desenvolvidas neste trabalho comparadas com seções levantadas por outras pesquisas, na área da confluência do rio Ivaí-PR.

Grzegorzcyk	Barros (2006)	Franco (2007)	Biazan (2005)
TRC 01	Perfil 4	P 4	
TRC 02	Perfil 3	P 3	
TRC 03		P 1	
TRC 04	Perfil 2		
TRC 05	Perfil 1	I 5	
TRC 06		I 1	P 1 a 4 (D)

A confluência do rio Ivaí-PR com o rio Paraná é formada pela presença da ilha Ivaí, em frente à confluência com o sentido NNE/SSO e possui cerca de 6.800 m de comprimento. Esta característica desvia um dos canais do rio Paraná, que passa a localizar-se entre a margem esquerda do rio e a ilha Ivaí na margem direita, denominado neste trabalho de canal secundário do rio Paraná. Esta confluência possui características únicas, sendo fortemente influenciada pelos dois rios, pelas dimensões dos canais que são semelhantes em largura e vazão durante a maior parte do ano, diferente do que ocorre nas outras confluências aqui estudadas.

Nos mapas batimétricos (Figura 6.6), verifica-se que no tributário as profundidades são maiores do que as encontradas no canal secundário do rio Paraná, principalmente em sua margem direita. A profundidade do rio Ivaí-PR diminui ao se aproximar da confluência ao mesmo tempo em que a largura aumenta (BIAZIN, 2005; BARROS, 2006). Na região de encontro das águas, verifica-se uma região escavada, mais baixa, que se inicia próxima à margem direita do tributário e prolonga em direção ao centro da confluência, escavando a margem esquerda do rio Paraná a jusante. Barros (2006) e Franco (2007) também verificaram a presença desta área.

Figura 6.6 – Mapas batimétricos das quatro campanhas da confluência do Ivaí-PR, 2013.



Fonte: Elaborado pelo autor, com colaboração de Carlos Henrique Graça, 2015.

Quanto à profundidade ao longo da área estudada no rio Ivaí-PR, esta possui entre 8 a 9 m conforme o nível do rio na região da seção 6. Mas ao longo do canal até a confluência, predominam médias de 6 m. A profundidade, diminui em direção à confluência gradativamente e nos últimos 100 m, chega a 5 m de profundidade antes do início da área de escavamento.

Souza Junior (2012), analisando a região da confluência, observa que a planície Paraná-Ivaí ocupa uma área de 48 km² e possui baixo gradiente altimétrico (SANTOS et al., 2008), e atribuiu a morfogênese local à ação dos rios Ivaí-PR e Paraná, por intervenções neotectônicas. O pesquisador ressalta, ainda, que os depósitos fluviais nesta região são recentes da era quaternária. Com relação à construção dos terraços, observou que Fortes, Stevaux e Volkmer (2005) consideram que grande parte do compartimento local teria expressiva influência da tectônica recente, e a calha do rio Paraná estaria encaixada em modelo de falhas antitéticas.

A morfologia do fundo da confluência demonstrou retrabalhamento de sua carga de fundo no rio Ivaí-PR, na maior parte da área do canal, movimentando o talvegue entre o meio do canal e alguns momentos próximos da margem direita até próximo à confluência, quando ele se direciona para a margem esquerda. Este fato demonstra a assimetria do canal, por processos erosivos e deposicionais. As velocidades de fluxos dos perfis transversais demonstram também esta migração do talvegue.

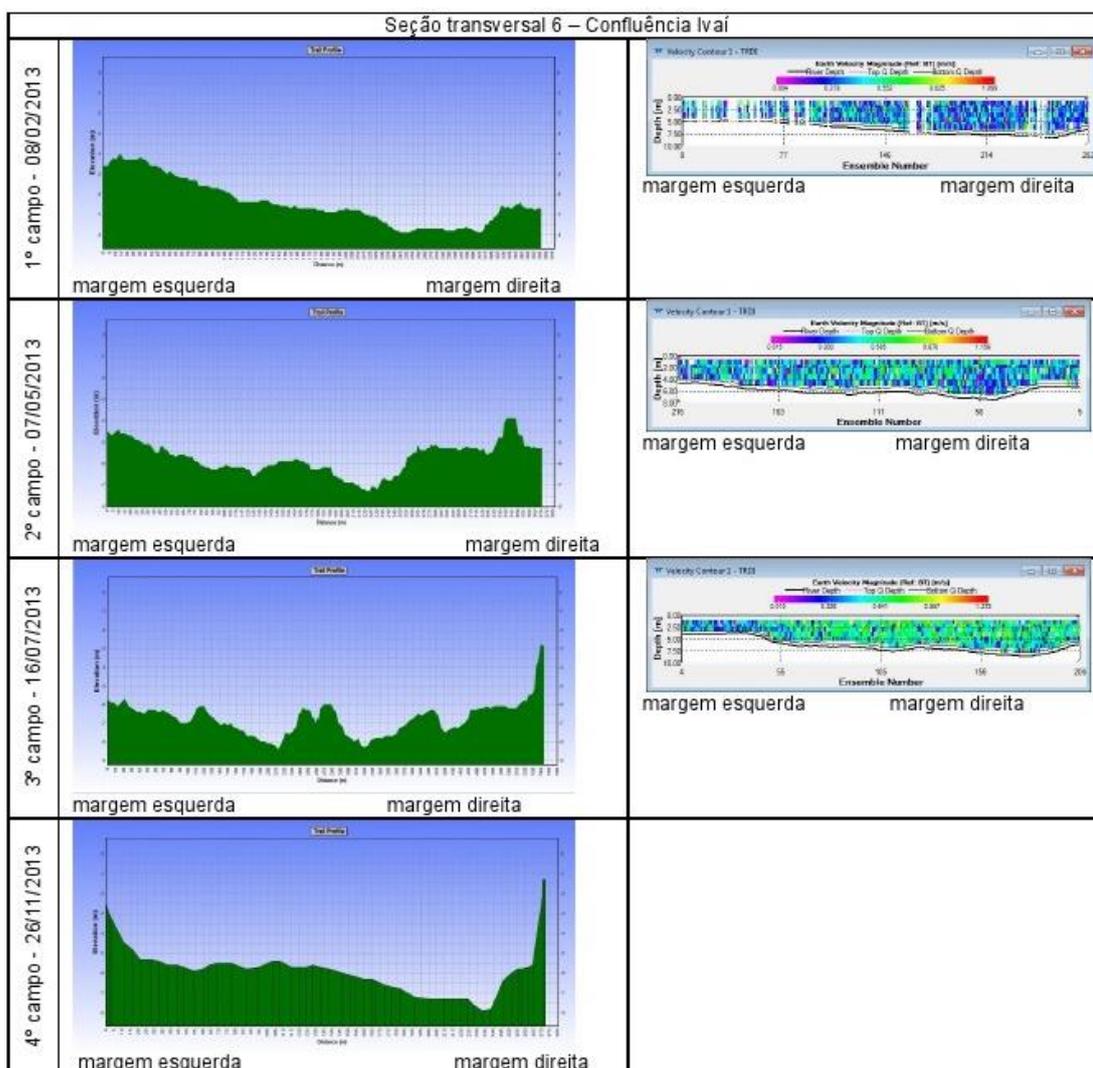
O canal secundário do rio Paraná mostra a ocorrência de um leito aluvial, formado pela deposição de dunas e barras de areia grossa, grânulo e seixo. Isto torna o canal mais raso e promove grande mobilidade das formas de leito. O mesmo apresentou grandes alterações ao longo do ano no leito, principalmente entre as seções 3 e 4 na margem direita e no meio do canal, com deposição de carga de fundo e a emersão de dunas submersas entre as duas seções.

A jusante da confluência, o canal é mais profundo evidenciando uma nítida zona de escavamento que promove a formação do talvegue no lado esquerdo do canal, de forma assimétrica, por onde seguem as águas lamosas do rio Ivaí-PR, demonstrando sua importância na construção desta confluência. As maiores velocidades a jusante são encontradas no meio do canal.

6.3 ANÁLISE DAS SEÇÕES TRANSVERSAIS DA CONFLUÊNCIA DO RIO IVAÍ-PR

As informações obtidas na seção 6 (Figura 6.7) demonstram que durante o ano que a margem esquerda do tributário nesta região possui profundidade e velocidades menores, mesmo quando o rio Ivaí-PR comanda o fluxo na confluência. A margem direita apresenta velocidades médias mais elevadas do que a esquerda, no canal é que encontramos as maiores velocidades de fluxos. A margem direita sofreu alterações em seu leito, havendo deposição durante os períodos de cheia e remoção durante os períodos de vazante. As maiores velocidades de fluxo encontradas nesta seção foram nas áreas mais profundas diferente das encontradas por Biazin (2005).

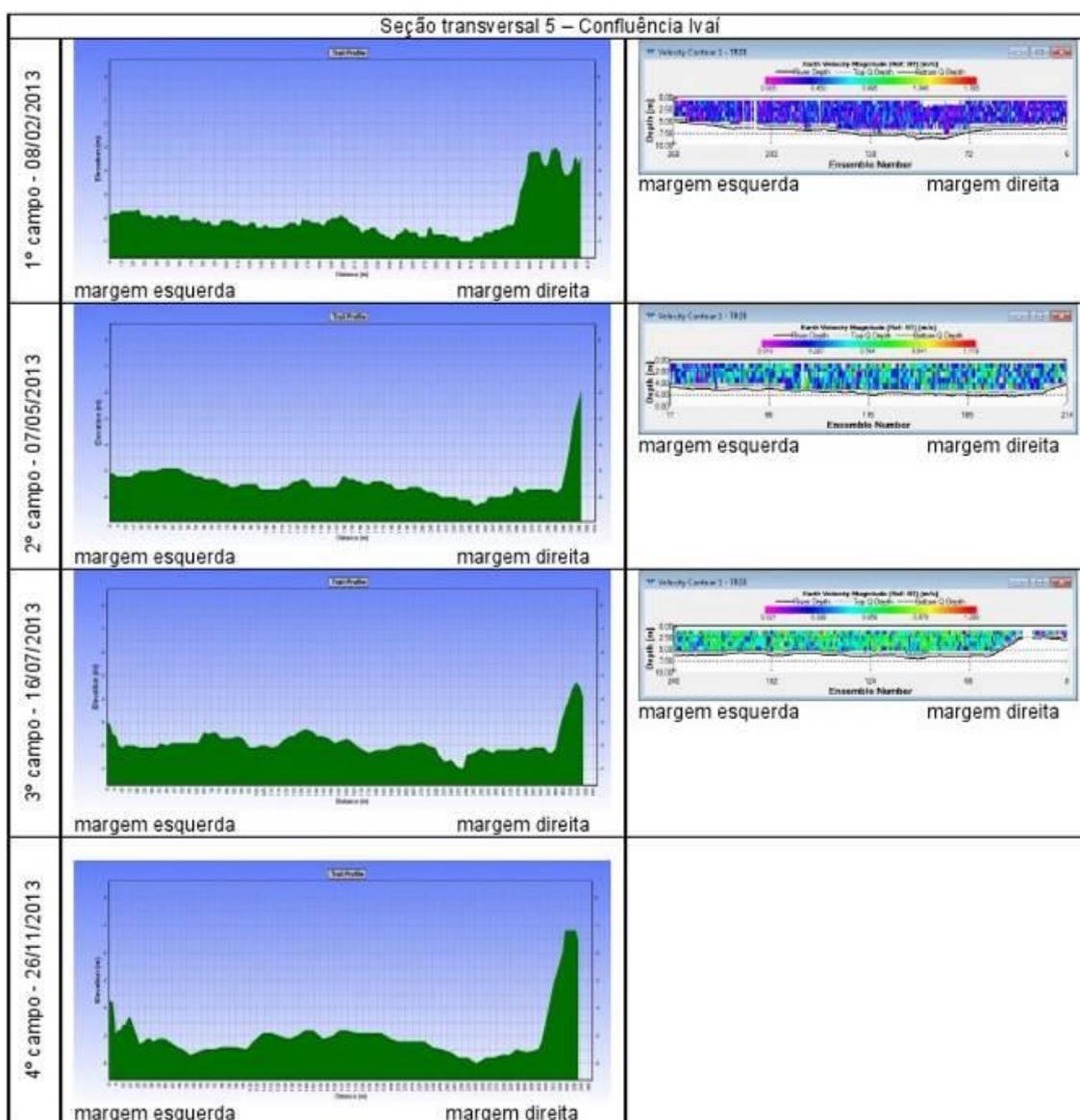
Figura 6.7 – Perfil do ecobatímetro e do ADCP, seção transversal 6, rio Ivaí a montante da confluência do Ivaí-PR, 2013.



Fonte: Elaborado e organizado pelo autor, 2015.

A seção transversal 5 (Figura 6.8), próximo à confluência apresenta velocidade do fluxo reduzida em sua extensão com o alargamento do canal e o barramento imposto pelo canal secundário do rio Paraná, que domina o fluxo durante a maior parte do ano, Conforme sugere a literatura sobre o assunto. Na margem direita ocorre uma estreita faixa de fluxos com velocidades menores em relação ao canal criando uma zona de estagnação. As velocidades maiores ocorrem no centro do canal e em direção à margem esquerda.

Figura 6.8 – Perfil do ecobatimento e do ADCP, seção transversal 5, rio Ivaí a 150m a montante confluência do Ivaí-PR, 2013.



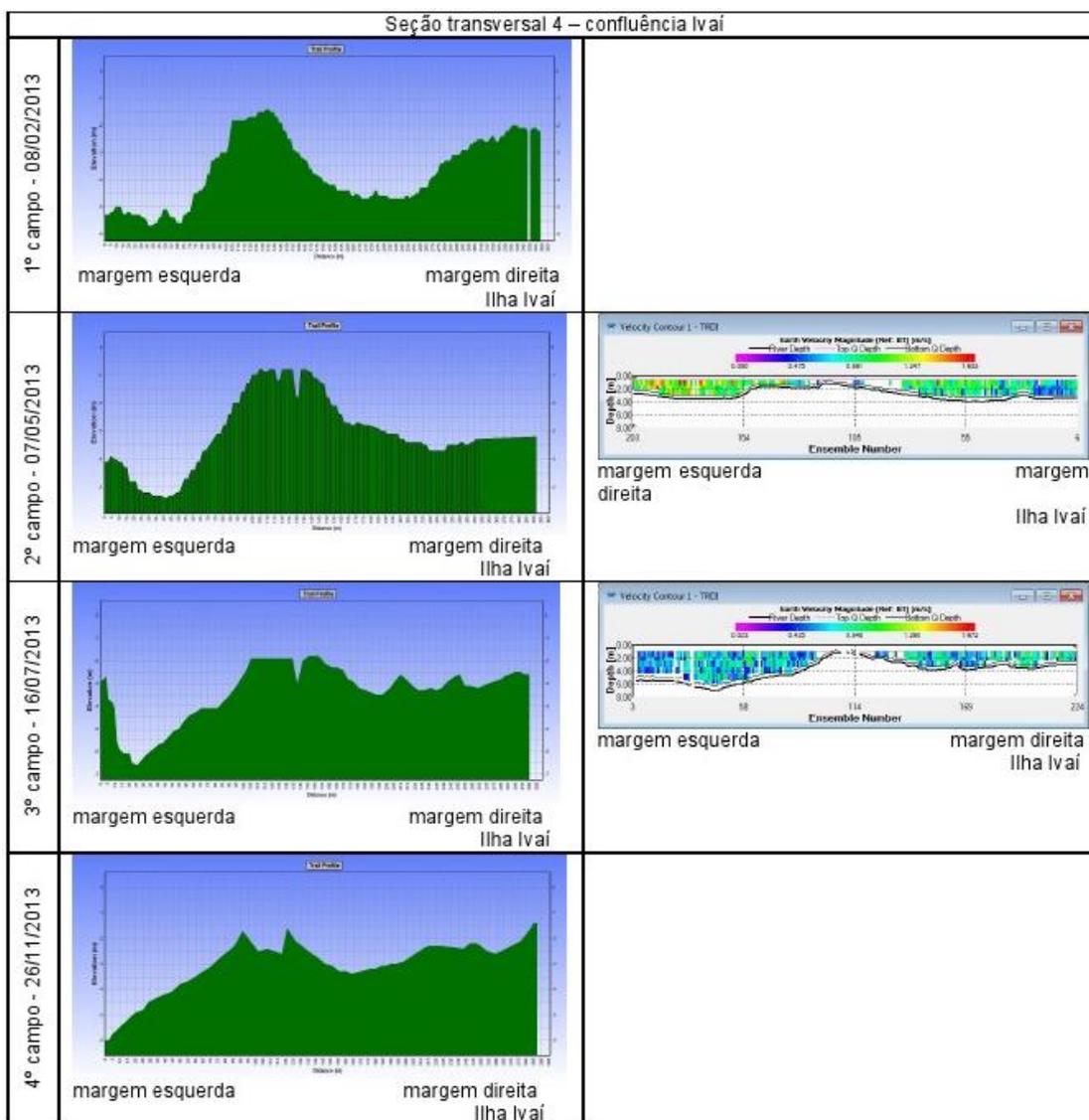
Fonte: Elaborado e organizado pelo autor, 2015.

A seção 5 tem seu fluxo fortemente influenciado pelos fluxos do rio Paraná. Observou-se grande variação na velocidade do fluxo entre as campanhas de fevereiro, maio e junho. A seção transversal do canal é estável sem grandes alterações na geometria, havendo pouca remoção ou deposição de carga de fundo. Esta estabilidade deve-se a ocorrência de leito rochoso.

A margem direita da seção transversal 5 apresenta uma área de estagnação dinâmica que sofre interferência de cheias dos dois canais, podendo ocorrer a deposição e a remoção de areia, mas durante a maior parte do ano, as velocidades menores promovem a deposição de lama na margem direita do tributário, sendo esta uma área de estagnação de fluxos.

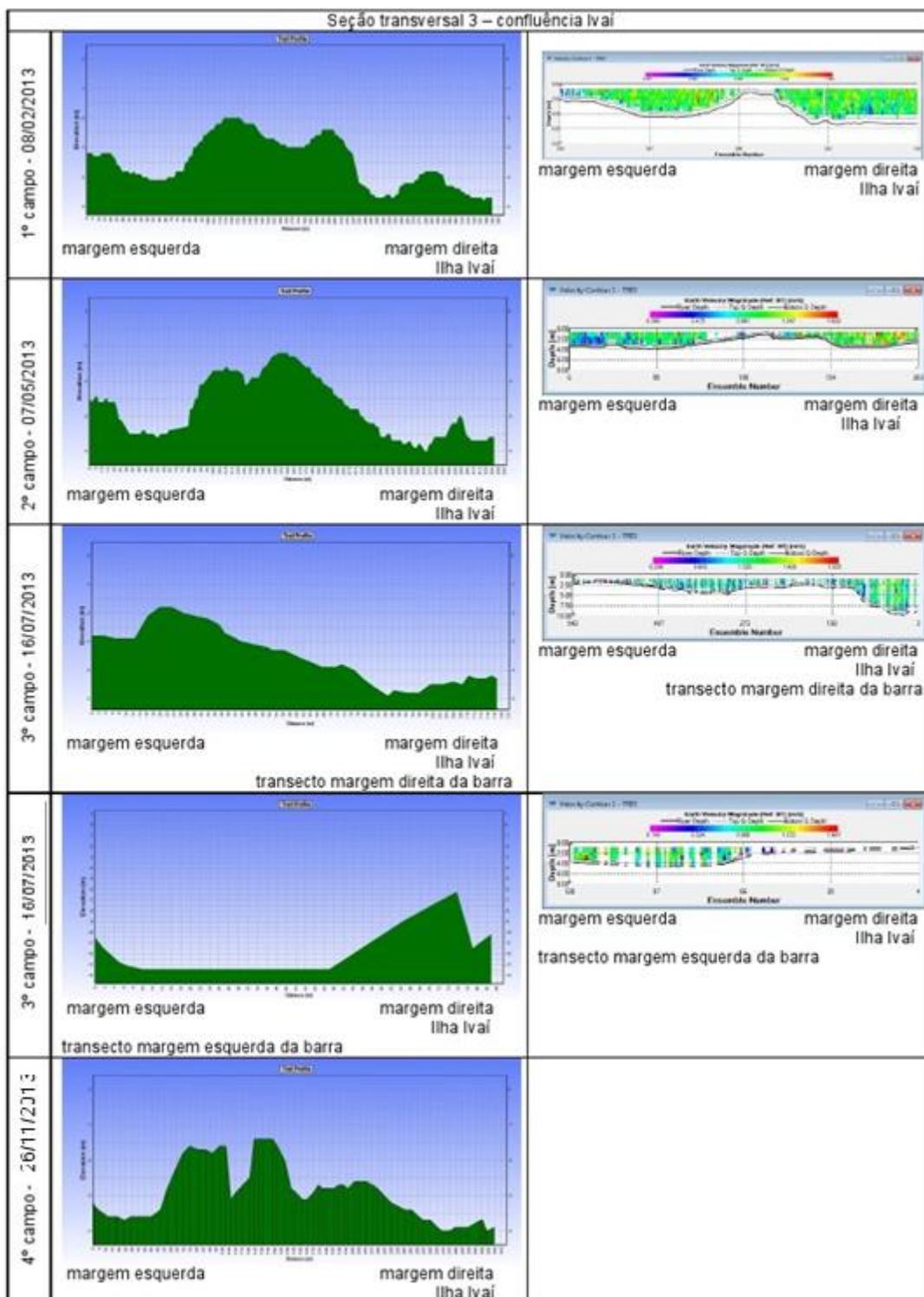
As seções transversais 3 e 4 (Figuras 6.9 e 6.10) localizadas a montante da confluência no rio Paraná mostram a ocorrência de um leito aluvial com a deposição de dunas, barras e areia grossa, grânulos e seixos; isso torna o canal raso e promove uma grande mobilidade das formas de leito, principalmente na seção 3. Este razeamento faz com que as velocidades dos fluxos no meio do canal sejam muito baixas tornando esta área um sítio de deposição.

Figura 6.9 – Perfil do ecobatímetro e do ADCP seção transversal 4, a montante da confluência do Ivai-PR, 2013.



Fonte: Elaborado e organizado pelo autor, 2015.

Figura 6.10 – Perfil do ecobatimento e do ADCP – seção transversal 3, a montante confluência do Ivaí-PR, 2013.



Fonte: Elaborado e organizado pelo autor, 2015.

A seção 4 possui profundidades entre 5 a 6 m na margem esquerda, apresenta menores alterações da carga de fundo ao longo do ano. Tais características que situam neste local é o talvegue do canal secundário do rio

Paraná. A margem direita apresenta profundidades de 2 a 3 m (em média), ocorrendo a deposição de areia entre a margem e o centro do canal. O centro do canal possui a presença de uma barra longitudinal de cascalhos, grânulos e areia grossa que se estende até a seção 3, com profundidades em torno de 0,50 a 1,50 m. Barros (2006) e Franco (2007) também identificaram a presença desta barra em suas pesquisas.

A seção transversal 3, localizada próxima da confluência (a montante), tem cerca de 310 m de largura. Após a cheia de junho de 2013, ocorreu a emersão da barra longitudinal, que apresentou um comprimento de 100 m e largura variável de 40 a 60 m, provocando a divisão da seção transversal nesta campanha (Figura 6.11). A barra já apresentava pequenas áreas de vegetação rasteira o que demonstra a rápida colonização destas geoformas pela vegetação, o que explica a formação de muitas das ilhas formadas a partir da evolução de barras, no rio Paraná, como descrito por Santos (1997). Na confluência ao lado da ilha Ivaí ocorre uma pequena ilha, a jusante da barra longitudinal que se estende até ela, trata-se de uma evolução desta barra que é colonizada por vegetação e atingiu o estágio de ilha, denominada de ilha Ivaí II (SANTOS et al., 2008). Portanto, esta é a evolução de uma barra de confluência (barra de desembocadura), sua menor altura em relação à ilha Ivaí e sua diferente faciologia atestam esta afirmação.

Quando o fluxo do rio Ivaí-PR é dominante o mesmo provoca o barramento no canal secundário do rio Paraná, com retenção da carga de fundo favorecendo a formação de barras a montante da confluência como também verificado por Atkinson (1987).

As maiores velocidades de fluxos na seção 03 foram encontradas nos canais que se formam entre as margens e a barra longitudinal, anteriormente descrita, nas coletas de 08/2/2013 e 07/5/2013. O canal secundário do rio Paraná comandava os fluxos; as velocidades oscilavam entre 0,9 m/s a 1,6 m/s; as menores velocidades ocorrem próximo ao fundo. No campo de 16/7/2013, o rio Ivaí (tributário) dominou o fluxo provocando a diminuição das velocidades do canal secundário do rio Paraná para 0,4 m/s a 0,8 m/s. Este evento favorece a diminuição do fluxo e consequentemente a mudança da geomorfologia do fundo com a deposição de carga de fundo na margem direita.

Figura 6.11 – Barra formada a montante da confluência Ivaí-PR, canal secundário do rio Paraná, 26/11/2013.



Fonte: O autor.

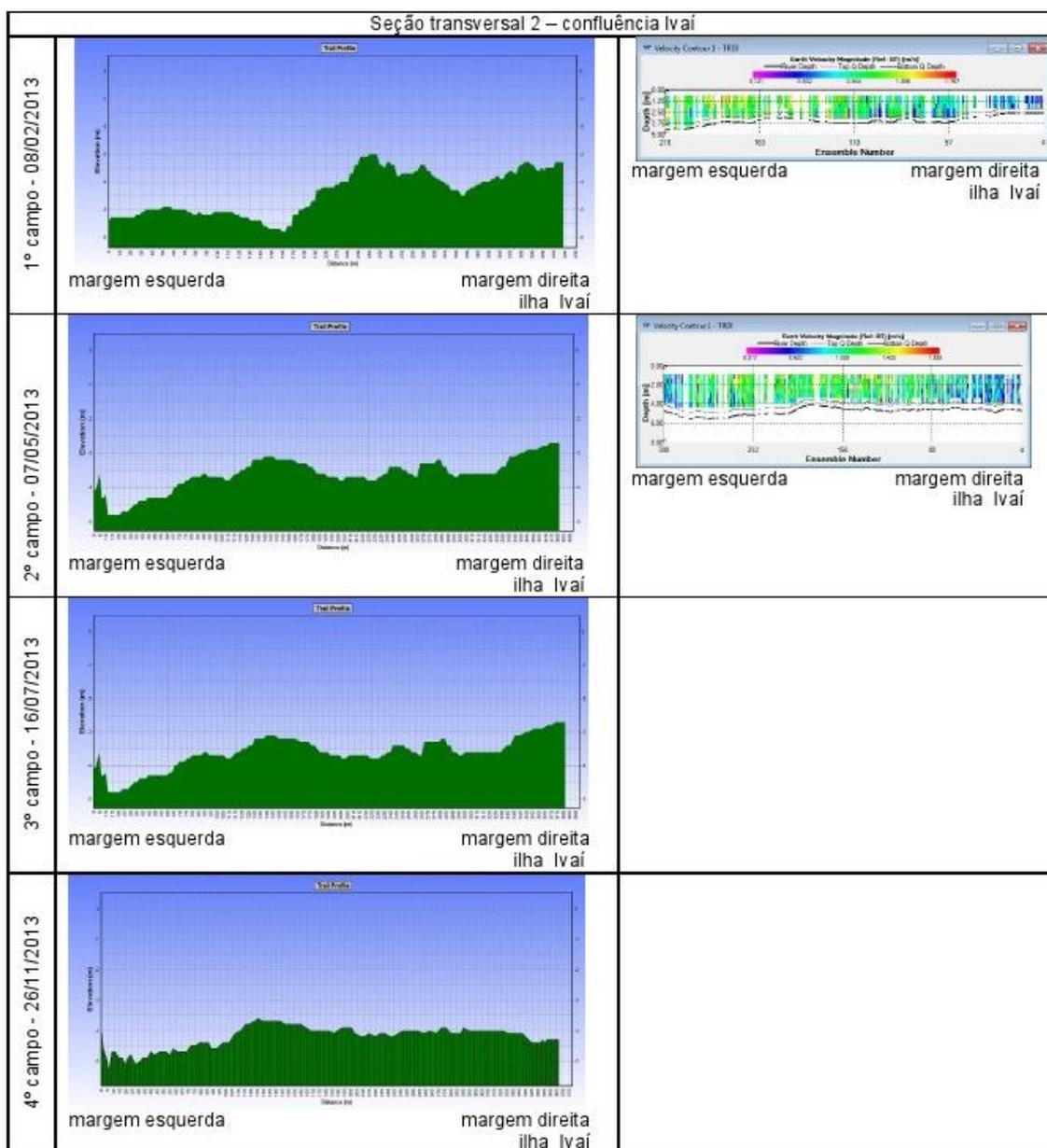
A margem direita entre a barra e a ilha Ivaí tem velocidade de fluxo entre 0,9 a 1,6 m/s no meio do canal e próximo à barra. Junto à margem a velocidade diminui, abaixo de 0,5 m/s. Quando o tributário domina o fluxo, a velocidade na margem chega próximo de 0 m/s. Esta condição deve-se além do barramento pelo tributário também a presença da ilha Ivaí II, que provoca o desvio de parte do fluxo para a direita. O canal formado próximo à margem esquerda tem velocidades constantes entre 0,9 a 1,6 m/s. Apenas pequenas áreas junto à margem ou ao fundo possuem baixas velocidades. A parte da barra que emergiu após a cheia migrou para próximo da confluência e se estabilizou entre as coletas de 16/7/2013 e 26/11/2013.

As seções transversais 01 e 02 localizadas a jusante da confluência (Figuras 6.12 e 6.13) com aproximadamente 380 m de largura, e características geomorfológicas similares, dando continuidade à área de escavamento, direcionando o talvegue entre o meio do canal e a margem esquerda com profundidade média de 5 m enquanto a margem direita possui médias de até 3 m.

A direção de fluxo da margem direita é difusa e converge para o centro do canal, principalmente na seção 2. As velocidades menores próximo de 0,5 m/s

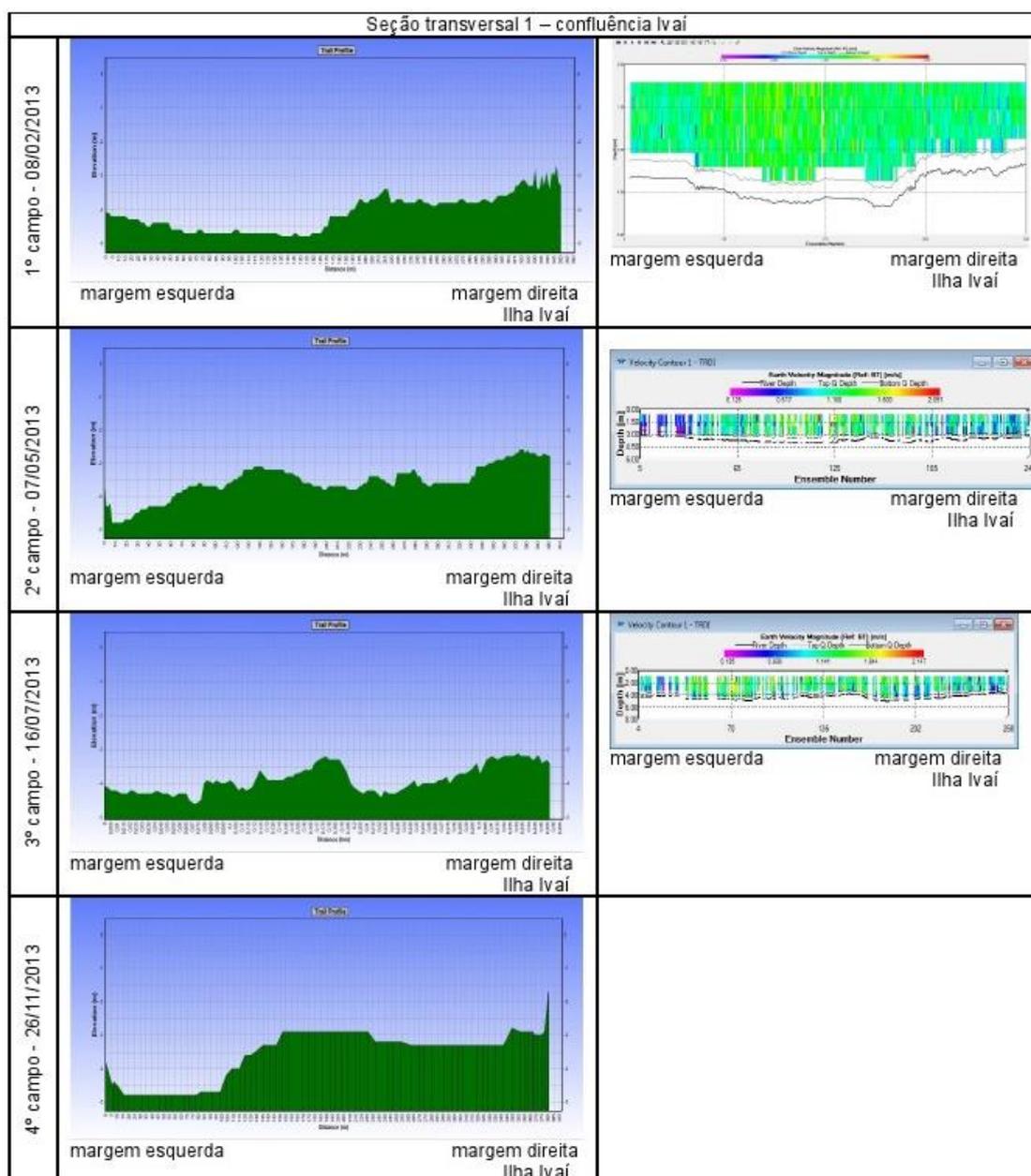
ocorrem na margem direita, ocupando $\frac{1}{4}$ de toda extensão do perfil transversal no canal, além de uma área em torno de 40 m, próxima à margem esquerda. As velocidades de corrente são ainda menores no fundo do canal, fato este amplamente relatado por vários dos autores anteriormente citados.

Figura 6.12 – Perfil do ecobatimento e do ADCP seção transversal 2, a jusante da confluência do Ivaí-PR, 2013.



Fonte: Elaborado e organizado pelo autor, 2015.

Figura 6.13 – Perfil do ecobatimento e do ADCP seção transversal 1, a jusante da confluência do Ivaí-PR, 2013.

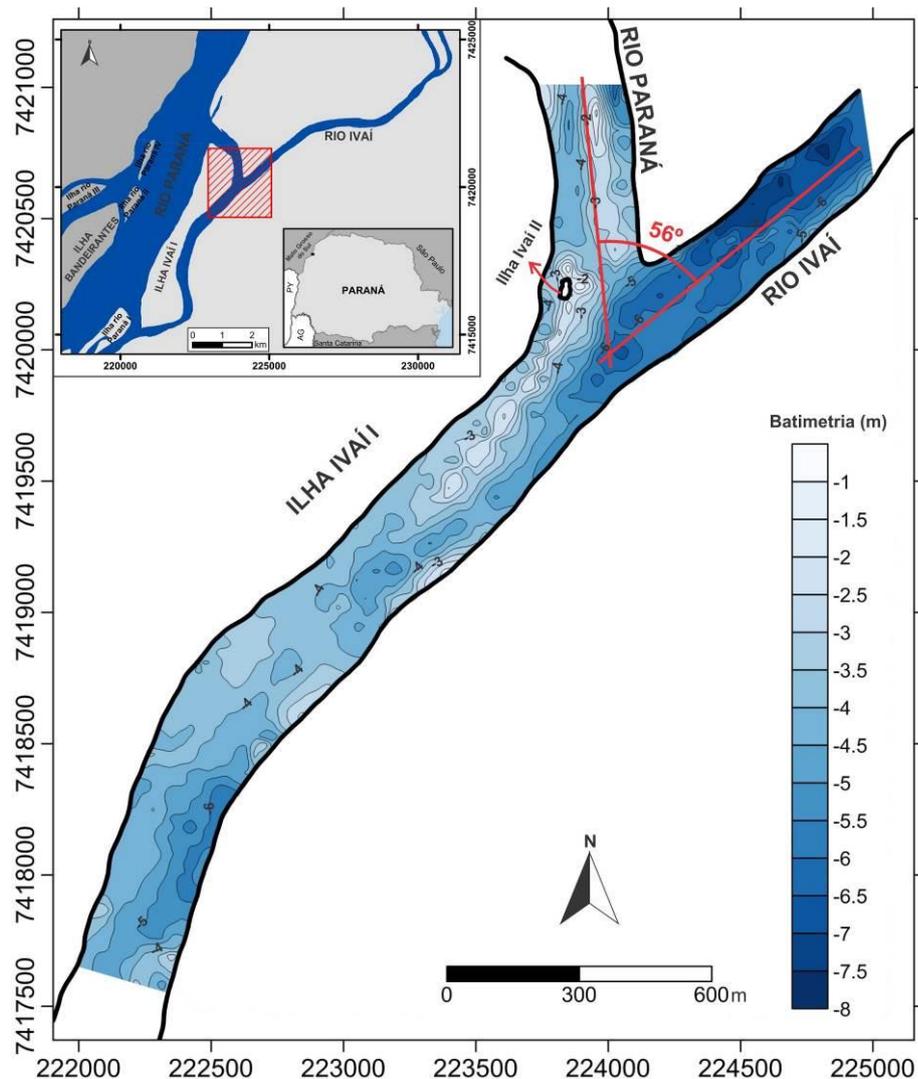


Fonte: Elaborado e organizado pelo autor, 2015.

O ângulo da confluência de 56° (Figura 6.14), forma uma junção em Y, com orientação SW/NE faz com que as águas do rio Ivaí-PR adentrem no rio Paraná em favor da orientação, aumentando a importância de seu fluxo na construção da confluência. A área de escavamento começa na junção da margem direita do tributário com a esquerda do canal do rio Paraná. Quando o rio Ivaí-PR domina o fluxo provoca o barramento e inverte o fluxo do canal secundário do rio Paraná, principalmente em sua margem direita criando condições para que as águas do rio Ivaí-PR adentrem para o rio principal e contornem a montante da confluência a ilha

Ivaí II criando o fenômeno do fluxo invertido. Fenômeno este já descrito por Rocha (2009) e Rocha e Souza Filho (2002) (Figura 6.15).

Figura 6.14 – Ângulo da confluência do rio Ivaí-PR com o rio Paraná.



Fonte: Elaborado pelo autor, com colaboração de Carlos Henrique Graça, 2015.

Douhy (2013) identificou o efeito do barramento e o fluxo negativo no canal secundário do rio Paraná em um levantamento de campo. O rio Ivaí-PR estava em período de cheia com régua em Porto Novo Taquara marcando 11,83 m, e em Porto Caiuá (no rio Paraná a montante da confluência) a cota marcava 3,19 m. O autor presenciou o efeito que apresentava fluxo turbulento, instável e não uniforme na seção transversal, presenciou também a ocorrência de vórtices na margem esquerda e verificou velocidades maiores na margem direita e menores na margem esquerda de que rio?

Em condições de cheias do rio Paraná, pode promover o fluxo invertido no canal do rio Ivaí-PR, sendo este represado e favorecendo o alagamento da planície de inundação.

Figura 6.15 – Fluxo invertido através de imagem de satélite, rio Ivaí-PR. Data de 19/06/2014 – Satélite: Landsat 8 – OLI Orbita/Ponto – 224/076.



Fonte: Organizado pelo autor em colaboração com Vitor Biff, 2016.

6.4 ANÁLISE DOS DADOS DA VAZÃO DA CONFLUÊNCIA DO RIO IVAÍ-PR

As Tabelas 6.1, 6.2 e 6.3 apresentam os dados de velocidade e vazão coletados com o ADCP, constata-se que a vazão e velocidade a montante da confluência do canal principal e do tributário possuem valor menor do que o apresentado na seção transversal 01 a jusante.

Quanto à vazão, a diferença é coerente, sendo crescente de montante para jusante e foi aumentada pela extrapolação das áreas não medidas pelo ADCP. Esta situação indica que não existe a perda de água para a planície na confluência em condições normais de fluxos.

As menores velocidades médias de fluxo foram encontradas no tributário. A velocidade aumenta com a vazão com médias de 0,2 a 0,5 m/s. O canal secundário do Paraná e as velocidades médias constantes são de 0,6 a 1 m/s. Na jusante do canal secundário as médias são mais elevadas entre 0,9 a 1,0 m/s pelo aumento do fluxo de água, e a provável diminuição da rugosidade do leito pela ocorrência de fundo rochoso que favorece o ganho de velocidade, promovendo a formação da área de aceleração de fluxo, comum em confluências.

Tabela 6.1 – Dados de vazão e velocidades obtidos com o ADCP campanha de 08/2/2013.

	Campo	Vazão m ³ /s	Velocidade de fluxo m/s
TRC 01	1	1.436,08	1,06
TRC 02	1	1.387,48	0,93
TRC 03	1	1.005,65	1,07
TRC 04	1	1.044,18	1,05
TRC 05	1	440,88	0,21
TRC 06	1	406,19	0,23

Fonte: Elaborado e organizado pelo autor, 2015.

Tabela 6.2 – Dados de vazão e velocidades obtidos com o ADCP campanha de 07/5/2013.

	Campo	Vazão m ³ /s	Velocidade de fluxo m/s
TRC 01	2	1.211,94	0,99
TRC 02	2	1.164,96	0,94
TRC 03	2	668,53	0,94
TRC 04	2	698,53	0,87
TRC 05	2	538,61	0,34
TRC 06	2	527,077	0,35

Fonte: Elaborado e organizado pelo autor, 2015.

Tabela 6.3 – Dados de vazão e velocidades obtidos com o ADCP campanha de 16/7/2013.

	Campo	Vazão m ³ /s	Velocidade de fluxo m/s
TRC 01	3	1.614,44	1,09
TRC 02	3	1.553,79	1,02
TRC 03	3	304,65	0,74
TRC 03	3	290,14	0,89
TRC 04	3	624,10	0,60
TRC 05	3	976,49	0,55
TRC 06	3	970,60	0,53

Fonte: Elaborado e organizado pelo autor, 2015.

Os dados de vazão adquiridos pelo ADCP (Tabela 6.4) em comparação à seção 01 comprovam que o maior volume de água na confluência origina-se no rio Paraná, 72,71% (8/02/2013) e 57,76% (07/5/2013). Esta situação só muda quando o rio Ivaí-PR comanda o fluxo da confluência. Em 16/7/2013, o tributário representou 62% do volume a jusante do canal do rio Paraná.

Tabela 6.4 – Valores em percentagem da vazão a montante da confluência e relação à jusante.

	Rio Ivaí	Rio Paraná
Campo 1	28,28 %	72,71 %
Campo 2	43,48 %	57,76 %
Campo 3	62,16 %	40,16 %

Os valores de vazão obtidos pelo ADCP determinam, segundo De Serres et al. (1999), que o canal secundário do rio Paraná domina o fluxo da confluência durante a maior parte do ano, obtendo Mc de 0,089 no dia 08/2/2013 e 0,311 no dia 07/5/2013. Apenas na campanha de 16/7/2013, com o aumento da vazão e da velocidade do tributário, sem que o mesmo ocorresse no canal do rio Paraná, o rio Ivaí-PR passou a comandar o fluxo com Mc de 1,364.

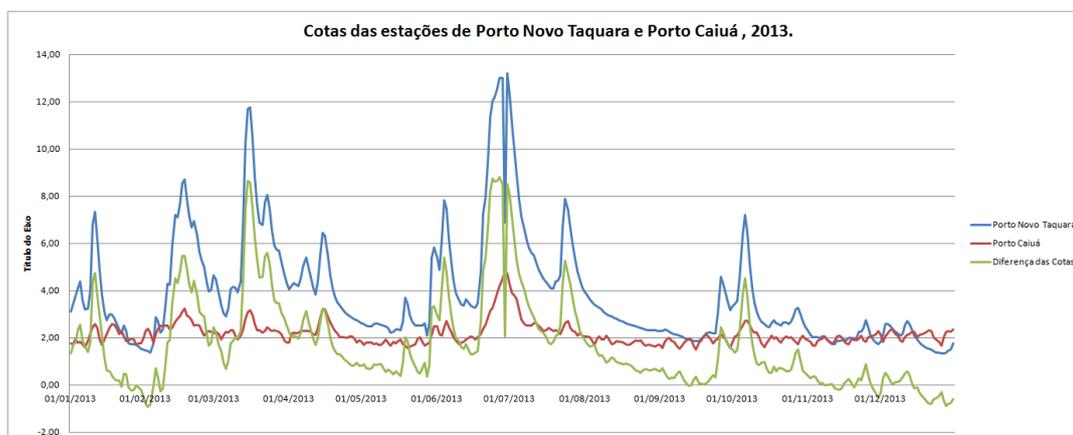
Baseando-se nos dados obtidos na fórmula de De Serres et al. (1999), verificou-se através de uma comparação das cotas da estação fluviométrica de Porto Caiuá (rio Paraná) e Novo Porto Taquara (rio Ivaí-PR), que o comando do fluxo pelo Ivaí-PR ocorreu quando a estação fluviométrica de Novo Porto Taquara estava 2 m acima da cota de Porto Caiuá no rio Paraná (Tabela 6.5). Tal situação ocorreu 117 vezes durante o ano de 2013, portanto cerca de 1/3 do ano o rio Ivaí-PR pode ter comandando o fluxo na confluência (Figura 6.15).

Tabela 6.5 – Dados de vazão em m/s e cotas em Porto Novo Taquara e Caiuá campos 1 a 4 de 2013.

Data	Porto Caiuá cota metros	Porto Novo Taquara cotas metros	Porto Caiuá vazão m/s	Porto Novo Taquara Vazão m/s
08/2/2013	2,49	2,35	11231,00 m/s	700,58 m/s
07/5/2013	1,78	2,62	8375,68 m/s	545,15 m/s
16/7/2013	2,31	4,34	10935,00 m/s	n/c
26/11/2013	2,02	2,44	9597,00 m/s	424,48 m/s

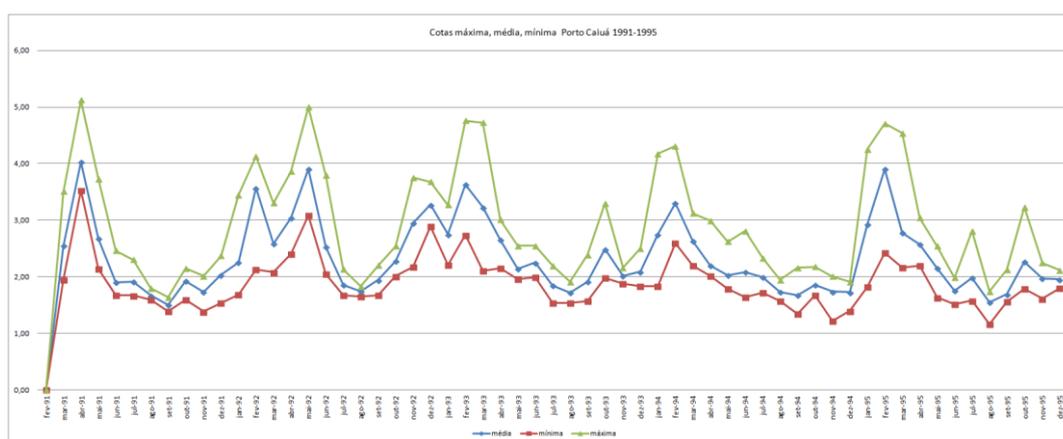
Verificando os valores das cotas da estação de Porto Caiuá, no rio Paraná, de 1991 a 2013, constatou-se que as cotas acima de 4 m eram comuns todos os anos no final do verão especialmente nos meses de fevereiro e março (Figuras 6.16 a 6.20). Com o fechamento do lago de Porto Primavera (SP), as cheias do rio Paraná passaram a ser controladas pela barragem. Entre março de 1999 a março 2005, não houve nenhum período que a cota ultrapassasse esta marca, apenas em anos com elevado índice pluviométrico, o Porto Caiuá voltou a atingir a cota de 4 m na região.

Figura 6.16 – Hidrógrafa das cotas das estações de Porto Novo Taquara e Porto Caiuá, ano de 2013.



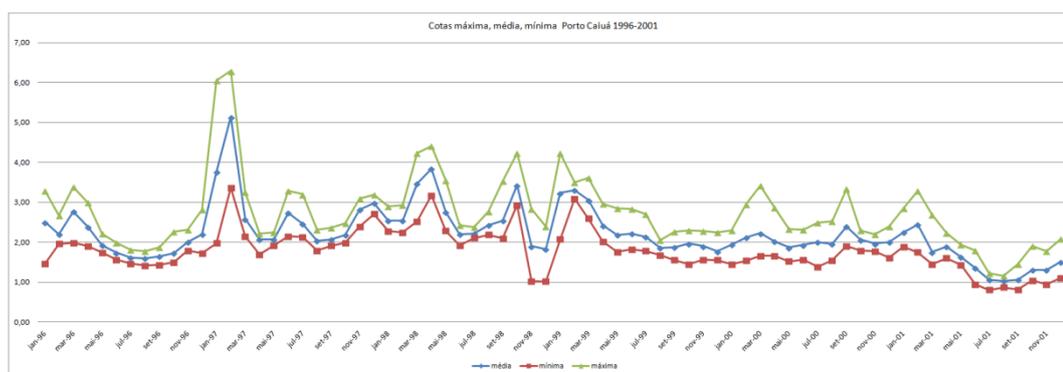
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 6.17 – Hidrógrafa das cotas das estações de Porto Novo Taquara e Porto Caiuá, ano 1991-1995.



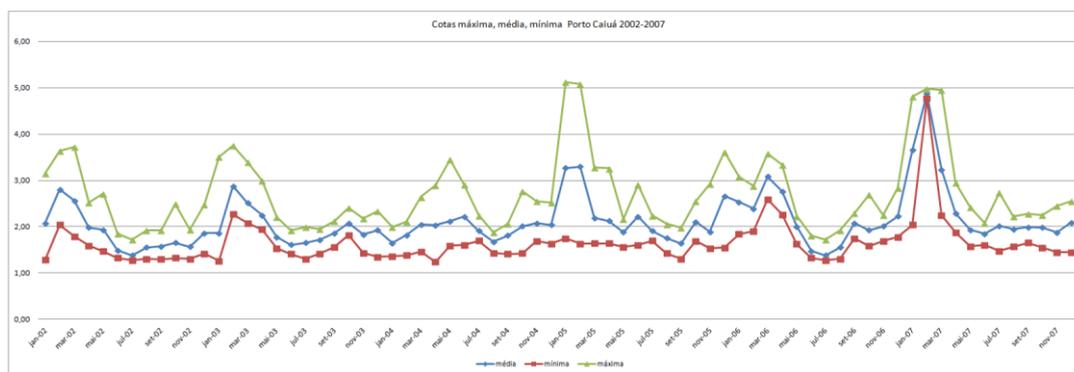
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 6.18 – Hidrógrafa das cotas das estações de Porto Novo Taquara e Porto Caiuá, ano 1996-2001.



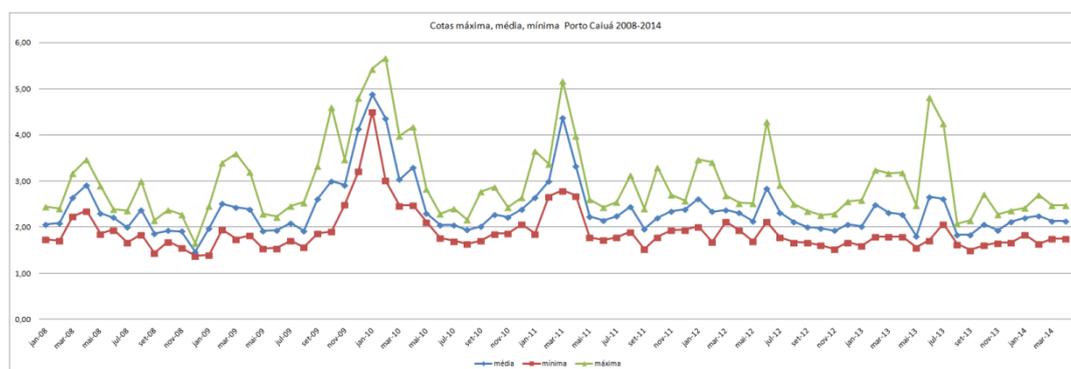
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 6.19 – Hidrógrafa das cotas das estações de Porto Novo Taquara e Porto Caiuá, ano 2002-2007.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 6.20 – Hidrógrafa das cotas das estações de Porto Novo Taquara e Porto Caiuá, ano 2008-2014.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Observando a Figura 6.21, adaptada do modelo proposto por Best (1986) para confluência do rio Ivaí-PR, verificamos bem demarcada a presença de elementos geomórficos comuns em outras confluências como zona de deflação, zona de estagnação, área de escavamento e a barra de desembocadura. Ressalta-se que nas outras confluências analisadas nesta tese não ocorreu a formação de barras de desembocadura. Isto provavelmente se deveu às relações de vazão, largura e profundidade entre o canal principal e os tributários (rios Piquiri-PR e Ivinhema-MS).

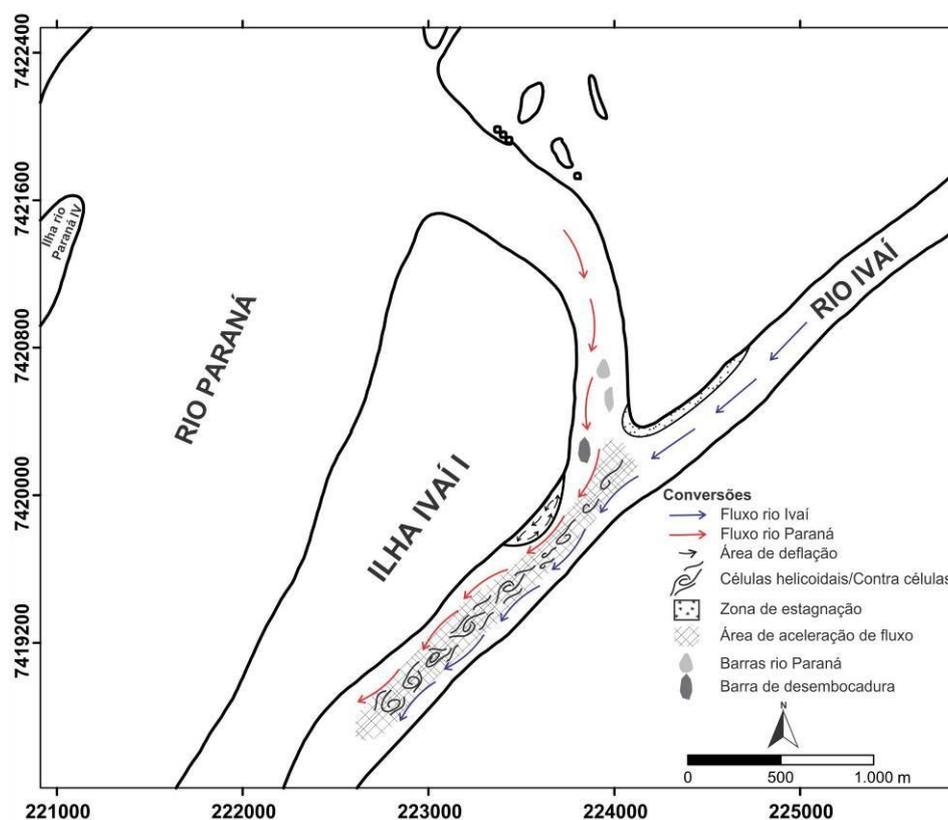
A área de deflação encontra-se na margem direita a jusante da confluência após a ilha Ivaí II, por ser um local abrigado pela presença desta pequena ilha, além do fato do talvegue dos rios e a aceleração de fluxos situarem-se na margem esquerda do rio Paraná.

A área de aceleração de fluxos inicia-se no meio do canal do tributário próximo da confluência. Com a interação entre águas dos dois canais, provocam-se

fluxos em diversas direções, dando início à área de escavamento e aceleração dos fluxos em direção à jusante.

A zona de escavamento possui cerca de 4 m abaixo do leito do rio Paraná a montante da confluência, (Figura 6.6) conforme descrito acima e por Barros (2006) e Franco (2007). A jusante da confluência segue a nítida zona de escavação, o acompanhando o talvegue no lado esquerdo do canal por onde seguem as águas lamosas do rio Ivaí-PR, demonstrando a influência do mesmo na construção desta confluência.

Figura 6.21 – Modelo proposto por Best (1987), adaptado para a confluência do rio Ivaí-PR.



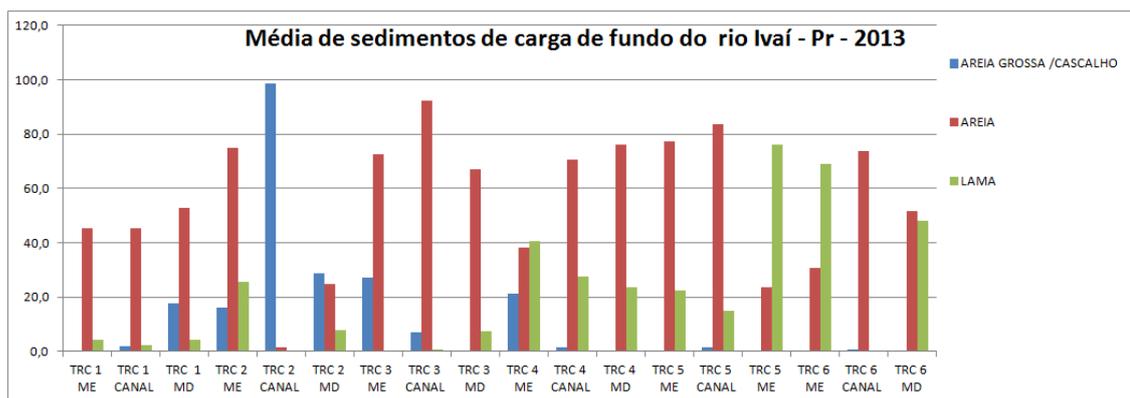
Fonte: Elaborado pelo autor, com colaboração de Carlos Henrique Graça, 2015.

6.5 GRANULOMETRIA DO LEITO DA CONFLUÊNCIA IVAÍ-PR

Os valores de carga de fundo (Figura 6.22) revelam a dinâmica geomorfológica das forças que atuam na confluência. Na margem esquerda da seção transversal 06 ocorre a deposição de lama, enquanto na mesma margem na seção transversal 05 ocorre a deposição de areia como carga de fundo. Próximo à margem direita da seção 06 ocorre a fração de areia fina nos períodos de mais

secos (campanhas 08/2/2013 e 26/01/2013) e lama nos períodos pós-cheias (campanhas 07/5/2013 e 16/7/2013). Na margem direita da seção 05 predomina lama, indicando uma área de baixa velocidade de fluxo. A fração areia ocorre no canal entre as duas seções do tributário.

Figura 6.22 – Valores percentuais médios de carga de fundo nas seções transversais confluência Ivaí-PR, 2013.



Fonte: Elaborado pelo autor.

A deposição de lama nas margens do tributário deve-se pela própria dinâmica fluvial, pois as menores velocidades foram encontradas próximas às margens; nos períodos de cheia a água invade a planície com um represamento de águas que favorecem a deposição da lama. Próximo à margem direita da seção 5 é a área de estagnação da confluência, criando condições para que ocorra o depósito da carga suspensa predominando a presença de lama o ano todo, já próximo à margem esquerda da seção existe a presença de areia. Sua gênese esta ligada às forças que escavam esta região da confluência jogando para margens próximas o material que chega ou a carga transportada pelo rio Paraná. A areia transportada através do canal tem sua origem principalmente na região cortada pelo arenito Caiuá. Nas seções transversais 3 e 4 predominam areia fina e média na carga fundo transportada pelo rio Paraná na seção 3 margem esquerda e no centro do canal também encontramos areia grossa/cascalho. As seções transversais 1 e 2 a jusante possuem fundo rochoso, com pequenas quantidades de carga de fundo, a areia fina e média representa a principal fração granulométrica, com pequenas quantidades de lama nas margem pela baixa velocidade de fluxo nestas áreas e areia grossa/cascalho no centro do canal, sendo este transportado pela velocidade de fluxo no centro do canal.

6.6 VALORES DE CARGA DE SUSPENSÃO CONFLUÊNCIA DO RIO IVAÍ-PR

As Tabelas 6.6, 6.7 e 6.8 informam os valores de carga suspensa transportadas em cada seção na confluência nas datas de campanha. Os valores do tributário e carga suspensa são maiores que o canal do secundário do rio Paraná a montante. A jusante os valores são próximos das médias entre os dois canais.

Tabela 6.6 – Valores de vazão, Mg/L e tonelada dia campanha de fevereiro, 2013.

PONTO	VAZÃO	Mg/L	Tonelada dia
TRC 01	1436,08	0,010	1,20
TRC 02	1387,48	0,011	1,34
TRC 03	1005,65	0,008	0,71
TRC 04	1044,18	0,010	0,87
TRC 05	440,88	0,013	0,48
TRC 06	406,19	0,012	0,41

Fonte: Elaborado e organizado pelo autor, 2015.

Tabela 6.7 – Valores de vazão, Mg/L e tonelada dia campanha de maio, 2013.

PONTO	VAZÃO	Mg/L	Tonelada dia
TRC 01	1211,94	0,014	1,42
TRC 02	1164,96	0,010	1,03
TRC 03	668,54	0,011	0,62
TRC 04	698,54	0,012	0,73
TRC 05	538,61	0,017	0,79
TRC 06	527,08	0,019	0,85

Fonte: Elaborado e organizado pelo autor, 2015.

Tabela 6.8 – Valores de vazão, Mg/L e tonelada dia campanha de julho, 2013.

PONTO	VAZÃO	Mg/L	Tonelada dia
TRC 01	1614,45	0,110	15,40
TRC 02	1553,80	0,118	15,78
TRC 03	594,80	0,100	5,16
TRC 04	624,11	0,068	3,66
TRC 05	976,49	0,147	12,37

Fonte: Elaborado e organizado pelo autor, 2015.

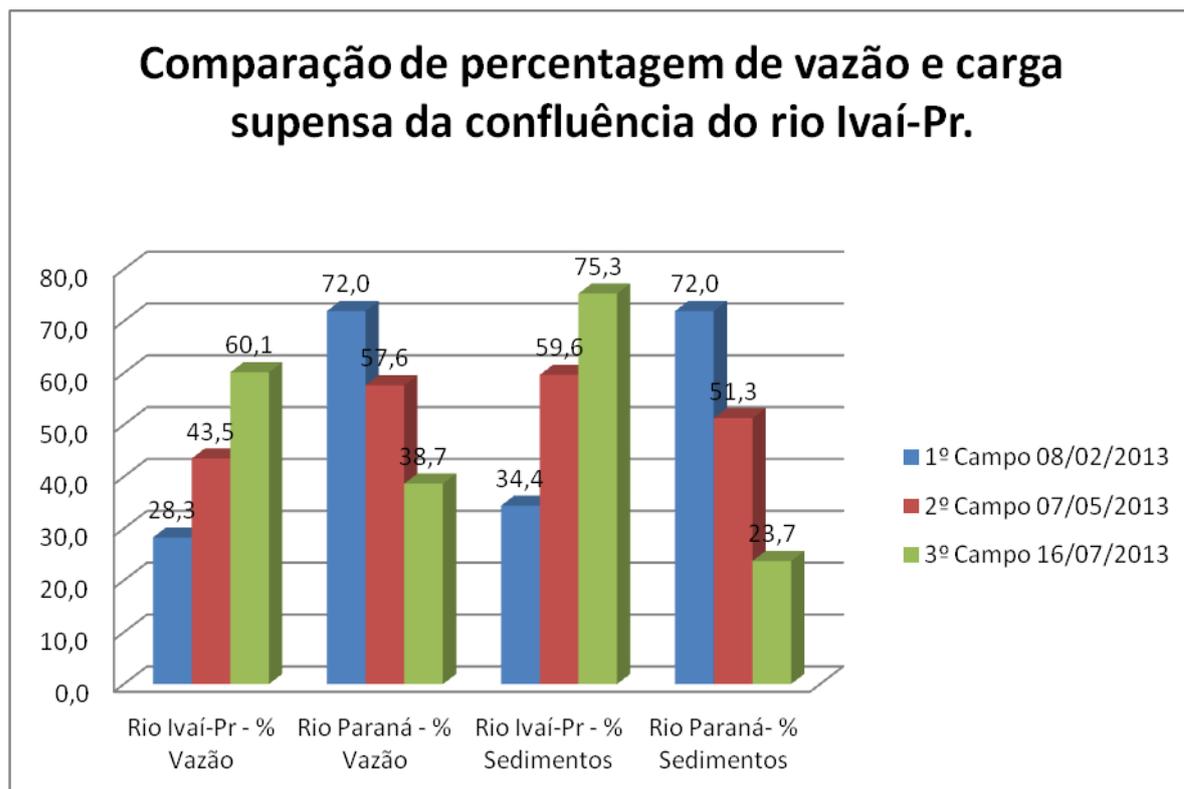
Os valores mais elevados de carga têm origem nos sedimentos transportados pelo rio Ivaí-PR. Este rio percorre ao Terceiro Planalto do Paraná, área de Formação da Serra Geral, que é intensamente ocupada pela agricultura, favorece o transporte de sedimentos finos como argila e silte para o rio.

Comparando as informações de vazão x carga suspensa entre os dois canais durante as coletas efetuadas em 2013 (Figura 6.23), verifica-se que a vazão do rio Ivaí-PR, em períodos de baixo índice pluviométrico alcança $\frac{1}{4}$ do volume do canal secundário do rio Paraná, no mesmo período o rio Ivaí-PR cresceu $\frac{1}{3}$ da carga

suspensa comparando com o canal do rio Paraná. A medida que a vazão aumenta no tributário cresce sua contribuição na carga suspensa.

Quando o rio Ivaí-PR alcança 40% da vazão total na confluência o mesmo transporta 50% de toda a carga suspensa. Na campanha de 16/7/2013, o tributário respondeu com 60% da vazão e $\frac{3}{4}$ da carga suspensa total.

Figura 6.23 – Percentagem entre vazão x carga suspensa na confluência Ivaí, 2013.



Fonte: Elaborado e organizado pelo autor, 2015.

Isso demonstra que o rio Ivaí-PR é um importante corredor de transporte de sedimentos em suspensão para o rio Paraná e quanto maior sua vazão maior será a sua capacidade de transporte de carga.

7 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

7.1 CONSIDERAÇÕES

Os estudos sobre as confluências estão se desenvolvendo em um ritmo acelerado nas últimas décadas nos países europeus e da América do Norte; recentemente tem surgido, em países asiáticos principalmente na Índia e China, um número crescente de pesquisas.

Nos países da América do Sul, África e maioria dos países asiáticos o interesse pela compreensão dos fenômenos ligados às confluências ainda são escassos, vem aumentando nos últimos anos sendo realizados na maioria das vezes por pesquisadores estrangeiros no desenvolvimento ou validação das hipóteses sobre os estudos de rios, em ambientes tropicais ou áridos.

No Brasil existem alguns estudos iniciais e pesquisas isoladas realizadas por pesquisadores ou grupos de pesquisa, mas a falta de recursos para a realização das pesquisas não criaram ainda uma tradição para o estudo de confluências locais. Muitos estudos hidrográficos abordam as confluências de forma secundária.

Estes estudos são realizados por pesquisadores estrangeiros, às vezes associados a pesquisadores nacionais, abrangendo principalmente os grandes rios da bacia Amazônica e a bacia do rio Paraná. Apesar de os esforços iniciais, estes estudos ainda não ganharam a dimensão e importância da comunidade científica brasileira e nem dos órgãos de incentivo à pesquisa ou dos grandes usuários das bacias hidrográficas brasileiras.

A Tabela 7.1 apresenta simplificada os dados relativos ao ângulo, área de escavamento, profundidade do tributário e do canal principal, que serão discutidos na sequência.

Tabela 7.1 – Ângulo de confluência versus profundidade dos canais e área de escavamento.

	Ângulo	Escavamento	Profundidade tributário	Profundidade canal principal
Confluência Ivinhema 01	68,5°	9 metros	4 metros	3 metros
Confluência Ivinhema 02	40°	10 metros	3 metros	7 metros
Confluência Ivinhema 03	44,8°	8 metros	7 metros	3 metros
Confluência Ivaí	56°	8 metros	6 metros	3 metros
Confluência Piquiri	81,3°	8 metros	6 metros	4 metros

Os rios abordados neste estudo apresentam diferentes ângulos de confluência. Segundo a literatura, as áreas de escavamento raramente se desenvolvem em ângulos inferiores a 15° , e quando maior for o ângulo maior será a tendência de que a área de escavamento seja mais profunda.

O ângulo da confluência é considerado pelos estudos como um dos componentes mais relevantes na compreensão das dinâmicas que envolvem esta área, como transporte de sedimentos, mistura de fluxos, formação de barras e área de escavamento nas confluências estudadas.

A confluência do rio Piquiri-PR possui o maior ângulo entre as confluências estudadas, com $81,3^\circ$, a área de escavamento aumenta entre duas a três vezes em relação ao canal do rio Paraná e apenas 50% em relação ao tributário. A confluência do rio Ivaí-PR possui um ângulo de 56° , apresenta características de profundidade da área de escavamento semelhante a da confluência do rio Piquiri-PR. Observou-se ainda que as confluências originam-se junto ao talvegue do rio Paraná.

Ambas as confluências possuem fundo rochoso, o canal tributário fica mais largo antes do encontro dos dois rios e as velocidades de fluxos diminuem. A largura do braço esquerdo do rio Paraná é três vezes maior do rio Piquiri-PR enquanto a largura do rio Ivaí-PR é bem próxima a do canal secundário.

O rio Ivinhema-MS possui três confluências conforme segue: confluência Ivinhema 01 com $68,5^\circ$ considerada a principal; Ivinhema 02 com 40° ; e Ivinhema 03 com $44,8^\circ$. Todas as confluências possuem profundidades próximas de 8 a 9 m na área de escavamento, apesar de apresentarem os menores volumes de descarga de água no rio Paraná comparado com as demais confluências deste estudo.

As confluências Ivinhema 02 e 03 possuem um ângulo pequeno e uma área de escavamento profunda. Nas confluências Ivinhema 01 e 03, esta área de escavamento aumenta em duas vezes sua profundidade em relação às áreas que antecedem ao canal secundário do rio Paraná, enquanto na confluência Ivinhema 02 apenas 50%. Com relação à profundidade do tributário a mesma aumenta em duas a três vezes em comparação com a área de escavamento e apenas 50% com relação à confluência Ivinhema 03.

Utilizando-se os valores obtidos de vazão, velocidade e ângulo e localização do talvegue nos canais e tributários, produziram-se algumas respostas aos questionamentos sobre a importância dos ângulos das confluências na construção de sua morfologia.

O ângulo da confluência foi menos relevante na direção da área de escavamento do que no direcionamento do talvegue do tributário que se estende em direção ao canal secundário do rio Paraná orientando a direção da área de escavamento.

O leito dos rios Ivaí-PR e Piquiri-PR, no seu curso inferior, localizados no Estado do Paraná, corre sobre um fundo rochoso, enquanto o rio Ivinhema-MS corre sobre depósitos da planície do rio Paraná, mais propenso à erosão. As confluências são assimétricas, pois as áreas de escavamento seguem a direção do encontro dos dois canais que formam o ângulo da confluência.

Entre os elementos característicos que podem estar presentes em uma confluência proposto pelos autores já citados, constata-se que em todas as confluências ocorrem a área de escavamento, a zona estagnação, a linha do fluxo (stream line), as células helicoidais e vórtices, a área de aceleração de fluxo. Em ambas as confluências, a mistura da água levou centenas de metros a quilômetros para ocorrer a mistura.

A presença da área de deflação ocorreu apenas nas confluências do rio Piquiri-PR e Ivaí-PR, sendo ausentes nas confluências do rio Ivinhema-MS. A ausência desta área nestas confluências deve-se à largura do canal principal de 9 a 10 superiores e volume de fluxo muito superior.

A única confluência que possui área de estagnação na margem oposta à área de escavamento projetada é o Ivinhema 02, que se deve ao talvegue do tributário localizado na margem esquerda que encontra o talvegue do canal principal na margem direita do mesmo; com o encontro das águas muito próximo da margem a área de escavamento projeta-se na direção do fluxo de entrada do tributário que direciona para o centro do canal e criando uma margem de sobra na margem oposta fazendo surgir esta área de estagnação do lado oposto se estende até a confluência Ivinhema 01.

As barras a jusante de confluências atribuídas ao transporte de sedimentos não foram identificadas nas confluências do rio Ivinhema-MS e Piquiri-PR. O rio Paraná movimenta grande volume de carga de fundo e barras são encontradas em todo trecho estudado.

A formação de barras de confluência no rio Ivaí-PR já foi apontada por Biazin (2005), Barros (2006), Santos et al. (2008), e Biazin e Santos (2008). Esta surge a montante da confluência, tendo como causa a interação das forças entre os canais

das duas confluências, devido, principalmente, à participação do tributário no comando da confluência em determinados momentos do ano. Esta afirmação é válida porque nas outras confluências não ocorrem este tipo de barra, sendo que o rio Paraná, em toda a área de pesquisa, tem a mesma carga de fundo e a mesma quantidade de suprimento, portanto não é o volume de carga de fundo que faz com que essa geoforma ocorra.

A barra formada a montante da confluência Ivaí é atribuída à dinâmica gerada pelas forças que atuam na confluência. Este foi o único tributário a comandar o fluxo em determinadas ocasiões além de apresentar o fenômeno do fluxo invertido que ocorre com certa frequência em períodos de cheia do rio Ivaí-PR, represando e invertendo o fluxo no canal do rio Paraná, proporcionando a deposição de sedimentos e a formação da barra. O surgimento da barra a montante não foi encontrado por nós na literatura revisada.

O alargamento pelo barramento do canal secundário do rio Paraná dos tributários nas proximidades da confluência foi relevante nas confluências Ivaí e Piquiri, e inexpressível nas confluências do rio Ivinhema-MS.

Os tributários contribuem com um volume expressivo de fluxos para o rio Paraná; apenas na confluência Ivinhema 03 o valor é reduzido, chegando a ser inexpressível. Estes valores chegam a acréscimos médios acima de 10% da vazão total do rio Paraná. O rio Ivaí-PR é o único a apresentar percentagens de vazão superiores ao canal do rio Paraná de 50% em cheias, pois o canal secundário do rio Paraná tem quase as mesmas dimensões que ele em largura.

O rio Ivinhema-MS se destaca no acréscimo de carga suspensa no rio Paraná, com vazões inferiores às outras confluências; nas campanhas aferidas nesta tese o mesmo acrescentou cerca de 8,5 toneladas com média de 2,9 toneladas dias, só perde para o rio Ivaí-PR, que acrescentou 13,6 toneladas média diária de 4,5 toneladas dia. O rio Piquiri apesar de ser o segundo em volume de água acrescentou apenas 2,3 toneladas com média de 0,77 tonelada dia. A carga suspensa dos tributários tem contribuição relevante, mesmo após períodos de cheias ainda mantém sua contribuição elevada por um longo tempo, principalmente o rio Ivinhema-MS, que escoar mais lentamente a água represada na planície.

A carga de fundo é composta principalmente de areia fina e média transportadas pelo rio Paraná. Os tributários transportam principalmente argila e silte em suspensão e contribuem com areia fina proveniente do baixo curso dos mesmos

onde a presença da Formação Caiuá produz este material que é transportado pelos rios.

Finalmente, colocam-se aqui algumas sugestões a serem contempladas por pesquisa futuras:

a) o fluxo invertido acontece em todas as confluências, quando o nível do rio Paraná sobe levando ao represamento dos tributários. O fluxo invertido que ocorre no rio Ivaí-PR, que resulta da inversão do fluxo no canal secundário do rio Paraná é uma questão que merece novos estudos analisando-se: as diferenças altimétricas locais, as vazões dos rios no momento deste fenômeno, as implicações que este fenômeno traz para os processos de erosão e sedimentação entre outros;

b) devem-se aprofundar os estudos sobre as estruturas e hipóteses tectônicas observadas por outros autores que a formação das confluências decorre de movimentos recentes que resultaram em falhamentos. Estes movimentos explicariam a evolução e migração das confluências em períodos recentes. Deve-se também investigar mais os movimentos climáticos que proporcionaram um período mais seco com a diminuição do volume de água do rio Paraná e, conseqüentemente, o razeamento do mesmo. Estes fatores combinados podem ter levado as alterações no equilíbrio fluvial promovendo um reajustamento do modelo;

c) a confluência do rio Piquiri-PR precisa ser melhor estudada quanto aos seus depósitos, com datações e um mapeamento detalhado para compreender sua evolução, a sua localização antiga e a sua migração para o local atual para comparar se, a exemplo do que aconteceu com o rio Ivaí-PR, há evidências neotectônicas ou climáticas;

d) as confluências do rio Ivinhema-MS precisam ser melhor compreendidas e os seus depósitos podem conter as respostas além das hipóteses tectônicas, pois o rio apresenta três confluências em áreas distintas ao longo do curso com comportamento diferente entre elas.

REFERÊNCIAS

- ANA – Agência Nacional de Águas. *Bacias hidrográficas*. Disponível em: <<http://www2.ana.gov.br/Paginas/portais/bacias/default.aspx>>. Acesso em: 20 mar. 2016.
- AGUIAR, A. M. *Análises hidrogeomorfológicas para comparação de duas bacias hidrográficas contribuintes do reservatório de Itaipu*. 2009. 142 f. Dissertação (Mestrado em Geografia)–Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.
- ASHMORE, P. E. Laboratory modelling of gravel braided stream morphology. *Earth Surface Processes and Landforms*, Malden, v. 7, no. 3, p. 201-255, 1982.
- ASHMORE, P. E. How do gravel-bed rivers braid? *Canadian Journal of Earth Sciences*, Ottawa, v. 28, no. 3, p. 326-341, 1991.
- ASHMORE, P. E.; PARKER, G. Confluence scour in coarse braided streams. *Water Resources Research*, Malden, v. 19, no. 2, p. 392-402, 1983.
- ASHMORE, P. E. et al. Secondary flow in coarse-grained braided river confluences. *Earth Surface Processes and Landforms*, Malden, v. 17, no. 3, p. 299-312, 1992.
- ASHWORTH, P. J. Mid-channel bar growth and its relationship to local flow strength and direction. *Earth Surface Processes and Landforms*, Malden, v. 21, no. 2, p. 103-123, 1996.
- ASHWORTH, P. J.; FERGUSON, R. I.; POWELL, D. M. Bedload transport and sorting in braided channels. In: BILLI, P. et al. (Eds). *Dynamics of Gravel-Bed Rivers*. New York: John Wiley, 1992. p. 497-513.
- ASHWORTH, P. J. et al. Measurements in a braided river chute and lobe. 2. Sorting of bedload during entrainment, transport, and deposition. *Water Resources Research*, [S.l.], v. 28, no. 7, p. 1887-1896, 1992.
- ATKINSON, B. K. *Mechanics of Rock*. London: Academic Geology Series, Academic Press, 1987.
- BARROS, C. S. *Dinâmica sedimentar e hidrológica na confluência do rio Ivaí com o rio Paraná, município de Icaraíma-PR*. 2006. 53 f. Dissertação (Mestrado em Geografia)–Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2006.
- BENDA, L. et al. Confluence effects in rivers: interactions of basin scale, network geometry, and disturbance regimes. *Water Resources Research*, [S.l.], v. 40, no. 5, 2004.
- BEST, J. L. The morphology of river channel confluences. *Progress in Physical Geography*, [S.l.], v. 10, n. 2, p. 157-174, 1986.

BEST, J. L. Flow dynamics at river channel confluences: implications for sediment transport and bed morphology. *Recent Developments in Fluvial Sedimentology*, [S.I.], v. 39, n. 1, p. 27-35, 1987.

BEST, J. L. Sediment transport and bed morphology at river channel confluences. *Sedimentology*, [S.I.], v. 35, n. 3, p. 481-498, 1988.

BEST, J. L.; ASHWORTH, P.J. Scour in large braided rivers and the recognition of sequence stratigraphic boundaries. *Nature*, [S.I.], v. 387, p. 275-277, 1997.

BEST, J. L.; ROY, A. G. Mixing-layer distortion at the confluence of channels of different depth. *Nature*, [S.I.], v. 350, p. 411-413, 1991.

BEST, J. L.; REID, I. Separation zone at open-channel junctions. *Journal of Hydraulic Engineering*, Reston, v. 110, no. 11, p. 1588-1594, 1984.

BIAZIN, P. C. *Característica sedimentar e hidrológica do rio Ivaí em sua foz com o rio Paraná, Icaraíma-PR*. 2005. 73 f. Dissertação (Mestrado em Geografia)– Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2005.

BIAZIN, P. C.; SANTOS, M. L. Características geomórficas do canal e das formas de leito do rio Ivaí em seu curso inferior, Icaraíma-Pr. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, Porto Alegre, v. 1, p. 45-52, 2008.

BIRON, P. M.; LANE, S. N. Modelling hydraulics and sediment transport at river confluences. In: RICE, S. P.; ROY, A. G.; RHOADS, B. L. (Eds.). *River confluences, tributaries and the fluvial network*. London: John Wiley & Sons, 2008. p. 17-44.

BIRON, P.; BEST, J. L.; ROY, A. G. Effects of bed discordance on flow dynamics at open channel confluences. *Journal of Hydraulic Engineering*, Reston, v. 122, no. 12, p. 676-682, 1996.

BIRON, P.; ROY, A. G.; BEST, J. L. Turbulent flow structure at concordant and discordant open-channel confluences. *Experiments in Fluids*, [S.I.], v. 21, no. 6, p. 437-446, 1996.

BIRON, P. et al. Shear layer turbulence at unequal depth channel confluence. In: CLIFFORD, N. J.; FRENCH, J. R.; HARDISTY, J. (Eds.). *Turbulence: Perspectives on Flow and Sediment Transport*. New York: John Wiley, 1993a. p. 197-213.

BIRON, P. et al. Bed morphology and sedimentology at the confluence of unequal depth channels. *Geomorphology*, Amstredam, v. 8, no. 2-3, p. 115-129, 1993b.

BITTENCOURT, A. V. L. Sobre a quantificação do intemperismo na Bacia do Rio Piquiri-PR. *Boletim Paranaense de Geociências*, Curitiba, n. 41, p. 35-51, 1993.

BRADBROOK, K. F.; LANE, S. N.; RICHARDS, K. S. Numerical simulation of three-dimensional, time averaged flow structure at river channel confluences. *Water Resources Research*, [S.I.], v. 36, n. 9, p. 2731-2746, 2000.

CARVALHO, N. de O. *Hidrossedimentologia prática*. Rio de Janeiro: CPRM, 1994.

CARVALHO, N. de O. et al. *Guia de práticas sedimentométricas*. Brasília, DF: ANEEL, 2000. 154 p.

CARVALHO, T. R. Técnicas de medição de vazão por meios convencionais e não convencionais. *Revista Brasileira de Geografia Física*, Recife, v. 1, n. 1, p. 73-85, 2008.

CHRISTOFOLETTI, A. *Geomorfologia fluvial: o canal fluvial*. 2. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1981.

COELHO, A. R. *Dinâmica fluvial e qualidade da água da bacia de drenagem do ribeirão Maringá: contribuição para o planejamento e gestão ambiental*. 2007. 124 f. Dissertação (Mestrado em Geografia)—Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2007.

CUNHA, S. B. Geomorfologia fluvial. In: CUNHA, S. B.; GUERRA, A. J. T. (Orgs.). *Geomorfologia, técnicas e aplicações*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1996. p. 157-189.

DE SERRES, B. et al. Three-dimensional structure of flow at a confluence of river channels with discordant beds. *Geomorphology*, Amsterdam, n. 26, n. 4, p. 313-335, 1999.

DOUHY, N. *Regime e sistemas de controle da cheias do baixo Ivaí e cartografia das áreas inundáveis*. 2013. 131 f. Tese (Doutorado em Geografia)—Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2013.

DUNNE, T. et al. Exchanges of sediments between the flood plain and channel of the Amazon River in Brazil. *Geological Society of America Bulletin*, [S.l.], v. 110, n. 4, p. 450-467, 1998.

ETTEMA, R.; MUSTE, M. Laboratory observations of ice jams in channel confluences. *Journal of Cold Regions Engineering*, [S.l.], v. 15, no. 1, p. 34-58, 2001.

FERGUSON, R. I. Understanding braiding processes in gravel-bed rivers: progress and unresolved problems. *Geological Society*, London, v. 75, Special Publication, p. 73-87, 1993.

FERNANDEZ, O. V. Q. *Mudanças no canal fluvial do rio Paraná e processos de erosão nas margens: região de Porto Rico, PR*. 1990. 96 f. Dissertação (Mestrado em Geociências)—Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 1990.

FERNANDEZ, O. V. Q.; SANTOS, M. L. dos; STEVAUX, J. C. Evolução e características faciológicas de conjunto de ilhas no Rio Paraná, região de Porto Rico, (PR). *Boletim de Geografia*, Maringá, ano 1, n. 1, p. 5-15, 1993.

FORTES, E. *Geomorfologia do baixo curso do rio Ivinhema, MS: uma abordagem morfogenética e morfoestrutural*. 2003. 199 f. Tese (Doutorado em Geociências) – Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2003.

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*, Amstrerdam, v. 70, p. 325-338, 2005.

FORTES, E.; VOLKMER, S. Cascalheiras do baixo curso do rio Ivinhema, MS-Brasil. In: CONGRESSO DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ESTUDOS DO QUATERNÁRIO, 9., 2003, Recife. *Anais...* São Paulo: ABEQUA, 2003. p. 40.

FRANCO, A. A. *Análise da dinâmica de fluxo e morfologia na confluência dos rios Ivaí e Paraná, PR/MS*. 2007. 82 f. Dissertação (Mestrado)–Universidade Guarulhos, Guarulhos, 2007.

FRANZINELLI, E. Características morfológicas da confluência dos rios Negro e Solimões (Amazonas, Brasil). *Revista Brasileira de Geociências*, São Paulo, v. 41, n. 4, p. 587-596, 2011.

FUJITA, R. H. *Geomorfologia e evolução quaternária da Calha do Alto Rio Paraná, no segmento livre de barramentos, entre os reservatórios de Porto Primavera e Itaipu*. 2014. 110 f. Tese (Doutorado em Geociências e Meio-Ambiente)–Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Rio Claro, 2014.

GAUDET, J. M.; ROY, A. G. Effect of bed morphology on flow mixing length at river confluences. *Nature*, [S.l.], v. 373, p. 138-139, 1995.

GRISON, F. *Geometria hidráulica de bacias hidrográficas paranaenses*. 2010. 160 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental)–Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2010.

HORTON, R. E. Erosional development of streams and their drainage basins: Hydrophysical approach to quantitative morphology. *Geological Society of America Bulletin*, [S.l.], v. 56, no. 3, p. 275-370, 1945.

IAP – Instituto Ambiental do Paraná. *Avaliação ambiental integrada: bacia do rio Piquiri*. Disponível em: <<http://www.iap.pr.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=1074>>. Acesso em: 13 fev. 2014.

IRIONDO, M. H.; SUGUIO, K. Neotectonic of the Amazon flood plain. *Bulletin of the INQUA Neotectonic Commission*, [S.l.], v. 4, p. 72-78, 1981.

KENWORTHY, S. T.; RHOADS, B. L. Hydrologic control of spatial patterns of suspended sediment concentration at a stream confluence. *Journal of Hydrology*, v. 168, no. 1-4, p. 251-263, 1995.

KUERTEN, S. *Variação longitudinal das características sedimentares e hidrológicas do rio Ivaí-PR em seu curso inferior*. 2006. 67 f. Dissertação (Mestrado em Geografia)– Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2006.

KUERTEN, S. ; SANTOS, M. L. Características hidrosedimentares e variação da geomorfologia do canal do rio Ivaí PR em seu baixo curso. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA, 6.; ENCONTRO LATINO AMERICANO DE GEOMORFOLOGIA, 2., 2008, Belo Horizonte. *Anais...* Belo Horizonte: Tec Art, 2008. v. 1. p. 18.

KUERTEN, S.; SANTOS, M. L.; SILVA, A. Variação das características hidrosedimentares e geomorfologia do leito do rio Ivaí PR, em seu curso inferior. *Geociências*, São Paulo, v. 28, p. 143-151, 2009.

LATRUBESSE, E.; RANCY, A. Neotectonic influence on tropical rivers of southwestern Amazon during the late Quaternary: the Moa and Ipixuna river basins, Brazil. *Quaternary International*, [S.l.], v. 72, n. 1, p. 67-72, 2000.

LATRUBESSE, E.; STEVAUX, J. C. Geomorphology and Environmental Aspects of Araguaia Fluvial Basin, Brazil. *Zeitschrift für Geomorphologie*, Berlin, v. 129, p. 109-127, 2002.

LECLAIR, S. F.; ROY, A. G. Variability of bed morphology and sedimentar structures at adiscordant river confluence during low flows. *Geographie Physique et Quaternaire*, [S.l.], v. 51, no. 2, p. 125-139, 1997.

LIMA, J. E. F. W. et al. Diagnóstico hidrossedimentológico da Bacia do rio Piquiri. Planaltina, DF: Embrapa Cerrado, 2004 (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 134).

MAACK, R. *Geografia física do estado do Paraná*. 4. ed. Ponta Grossa: Ed. UEPG, 2012.

MATO GROSSO DO SUL. *Diagnóstico da Bacia hidrográfica dop rio Ivinhema: subsídio a elaboração do plano de recursos hídricos da bacia hidrográfica do rio Ivinhema*. Mato Grosso do Sul: IMASUL; SEMAC, 2010.

MERTEN, G. H.; MINELLA, J. P. Qualidade da água em bacias hidrográficas rurais: um desafio atual para a sobrevivência futura. *Revista Agroecologia e Desenvolvimento Rural Sustentável*, Porto Alegre, v. 3, n. 4, p. 33-38, 2002.

MINEROPAR – Serviço Geológico do Paraná. *A Geologia da Bacia*. 2006. Disponível em: <<http://www.mineropar.pr.gov.br/>>. Acesso em: 5 maio 2016.

MORAIS, E. S. *Evolução da planície de inundação e confluência do rio Ivaí e rio Paraná na região do Pontal do Tigre, Icaraíma-Pr: uma abordagem geomorfológica*. 2010. 64 f. Dissertação (Mestrado em Geografia)–Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2010.

MORAIS, E. S.; SANTOS, M. L. Aplicação de modelo matemático para estimativa de erosão de solos nas vertentes da bacia hidrográfica do Ribeirão Maringá-PR. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA, 6.; ENCONTRO LATINO AMERICANO DE GEOMORFOLOGIA, 2., 2008, Belo Horizonte. *Anais...* Belo Horizonte: Tec Arte, 2008. p. 110.

MORAIS, E. S.; SANTOS, M. L. dos. Uso de técnicas de sensoriamento remoto para identificação de paleocanais na região da confluência entre os rios Ivaí e Paraná, noroeste do estado do Paraná. In: CONGRESSO DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ESTUDOS DO QUATERNÁRIO, 13., 2011, Armação dos Búzios. *Anais...* São Paulo: Abequa, 2011.

- MORAIS, E. S. et al. Significado paleoambiental e relações geomorfológicas dos leques aluviais na calha do alto rio Paraná. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA, 9., 2012, Rio de Janeiro. *Anais...* Rio de Janeiro: UFRJ, 2012. Disponível em: <<http://www.sinageo.org.br/2012/trabalhos/2/2-560-203.html>>. Acesso em: 30 jul. 2015.
- MORAIS, E. S. et al. Morfogênese da planície aluvial na região da confluência entre os rios Ivaí e Paraná e evidência de sua paleoconfluência. *Revista Geonorte*, Manaus, v. 10, n. 1, p. 361-367, 2014.
- MORAIS, E. S. et al. Floodplain evolution in a confluence zone: Paraná and Ivaí rivers, Brazil. *Geomorphology*, Amsterdam, v. 257, p. 1-9, 2016.
- MOSLEY, M. P. An experimental study of channel confluences. *Journal of Geology*, Chicago, v. 84, no. 5, p. 535-562, 1976.
- PAES, R. J. *Análise de dinâmica do fluxo na confluência dos rios Paraná e Paranapanema*. 2007. 53 f. Dissertação (Mestrado em Análise Geoambiental)– Universidade de Guarulhos, Guarulhos, 2007.
- PAES, R. J. et al. Dinâmica e morfologia do canal de confluência dos rios Paraná e Paranapanema pelo método de mapeamento temporal. *Geografia*, Londrina, v. 17, n. 2, p. 37-47, jul./dez. 2008.
- PAOLA, C. When streams collide. *Nature*, [S.l.], v. 387, p. 232-233, 1997.
- PLAYFAIR, J. *Illustrations of the Huttonian Theory of the Earth*. London: Dover, 1802.
- PORTO, M. F. A.; PORTO, R. L. Gestão de bacias hidrográficas. *Estudos Avançados*, São Paulo, v. 22, n. 63, p. 43-60, 2008.
- RHOADS, B. L. Changes in stream channel characteristics at tributary junctions. *Physical Geography*, [S.l.], v. 8, p. 346-361, 1987.
- RHOADS, B. L. Mean structure of transport-effective flows at an asymmetrical confluence when the main stream is dominant. In: ASHWORTH, P. J. et al. (Eds). *Coherent flow structures in open channels*. Chichester: John Wiley & Sons, 1996. p. 491-517.
- RHOADS, B. L.; KENWORTHY, S. T. Field measurements of flow structure at a high-angle asymmetrical stream confluence. *Geomorphology*, Amstrerdam, v. 11, p. 273-293, 1995.
- RHOADS, B. L.; KENWORTHY, S. T. Time-averaged flow structure in the central region of a stream confluence. *Earth Surface Processes and Landforms*, Malden, v. 23, no. 2, p. 171-191, 1998.
- RHOADS, B. L.; SUKHODOLOV, A. N. Field investigation of three-dimensional flow structure at stream confluences: 1: Thermal mixing and time-averaged velocities. *Water Resources Research*, [S.l.], v. 37, n. 9, p. 2393-2410, 2001.

- RHOADS, B. L.; SUKHODOLOV, A. N. Spatial and temporal structure of shear layer turbulence at a stream confluence. *Water Resources Research*, [S.l.], v. 40, n. 6, 2004. DOI 10.1029/2003WR002811.
- RICE, S. P.; RHOADS, B. L.; ROY, A.G. Introduction: river confluences, tributaries and the fluvial network. In: RICE, S. P.; ROY, A. G.; RHOADS, B. L. (Eds.). *River confluences, tributaries and the fluvial network*. London: John Wiley & Sons, 2008. p. 1-10.
- RICE, S. P.; ROY, A. G.; RHOADS, B. L. (Eds.). *River confluences, tributaries and the fluvial network*. London: John Wiley & Sons, 2008.
- RICHARDS, K. S. A note on change in geometry at tributary junctions. *Water Resources Research*, [S.l.], v. 16, n. 1, p. 241-244, 1980.
- ROCHA, P. C. Os processos geomórficos e o estado de equilíbrio fluvial no alto rio Paraná, centro-sul do Brasil. *Geosul*, Florianópolis, v. 24, n. 48, p. 153-176, 2009.
- ROCHA, P. C.; SOUZA FILHO, E. E. Considerações sobre a geomorfologia do sistema rio planície fluvial no rio Paraná. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, Porto Alegre, v. 3, n. 1, p. 86-101, 2002.
- ROY, A. G. Introduction to Part I: river channel confluences. In: RICE, S. P.; ROY, A. G.; RHOADS, B. L. (Eds.). *River confluences, tributaries and the fluvial network*. London: John Wiley & Sons, 2008. p. 13-16.
- ROY, A. G. BERGERON, N. Flow and particle paths at a natural river confluence with coarse bed material. *Geomorphology*, Amstredam, v. 3, no. 2, p. 99-112, 1990.
- ROY, A. G. WOLDENBERG, M. J. A model for changes in channel form at a river confluence. *Journal of Geology*, Chicago, v. 94, no. 3, p. 402-411, 1986.
- ROY, A. G.; ROY, R.; BERGERON, N. Hydraulic geometry and changes in flow velocity at a river confluence with coarse bed material. *Earth Surface Processes and Landforms*, Malden, v. 13, n. 7, p. 583-598, 1988.
- ROY, N. G.; SINHA, R. Alluvial geomorphology and confluence dynamics in the Gangetic plains, Farrukhabad-Kannauj area, Uttar Pradesh, India. *Current Science*, Bangalore, v. 88, no. 12, p. 2000-2006, 2005.
- SANDER, C. et al. Características do transporte de sedimentos em suspensão na bacia do rio Branco, Estado de Roraima. *ACTA Geográfica*, Boa Vista, v. 8, n. 17, p. 71-85, abr./agos. 2014.
- SANTOS, M. L. dos. *Faciologia e evolução de Barras de canal do rio Paraná na região de Porto Rico (PR)*. 1991. 125 f. Dissertação (Mestrado em Geociências)– Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Rio Claro, 1991.
- SANTOS, M. L. dos. *Estratigrafia e evolução do sistema siliciclástico do rio Paraná no seu curso superior: ênfase a arquitetura dos depósitos, variação longitudinal das fácies processos sedimentares*. 1997. 246 f. Tese (Doutorado em Geociências)– Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1997.

SANTOS, M. L. dos. Unidades Geomorfológicas e depósitos sedimentares associados no sistema fluvial do rio Paraná no seu curso superior. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, Porto Alegre, v. 6, n. 1, p. 85-95, 2005.

SANTOS, M. L. dos; STEVAUX, J. C. Facies and Architectural analysis of channel sandy macroforms in the upper Paraná river. *Quaternary International*, Londres, v. 72, n. 1, p. 87-94, 2000.

SANTOS, M. L. dos; KUERTEN, S.; GASPARETTO, N. V. L. Variação longitudinal da hidrodinâmica, morfologia do canal e carga sedimentar do baixo curso do rio Ivaí Paraná, Brasil. In: CONGRESSO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA, 5., 2010, Porto. *Proceedings...* Porto: Associação Portuguesa de Geomorfologia, 2010. v. 1. p. 151-156.

SANTOS, M. L. dos; LENZI, E.; COELHO, A. Ocorrência de metais pesados no curso inferior do rio Ivaí, em decorrência do uso do solo em sua bacia hidrográfica. *Acta Scientiarum. Technology*, Maringá, v. 30, n. 1, p. 99-107, 2008.

SANTOS, M. L. et al. Geologia e geomorfologia da planície aluvial do rio Ivaí em seu curso inferior. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, Porto Alegre, v. 9, n. 1, p. 23-34, 2008.

SANTOS, M. L. et al. Estudo do escoamento superficial na bacia hidrográfica do rio Ivaí. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, Porto Alegre, v. 14, p. 259-267, 2013.

SOUZA, O. C. et al. Forms and processes along the Taquari River alluvial fan, Pantanal, Brazil. *Zeitschrift für Geomorphologie*, Berlin, v. 129, suppl., p. 73-107, 2002.

SOUZA FILHO, E. E. *Aspectos da geologia e estratigrafia dos depósitos sedimentares do rio Paraná entre Porto Primavera (MS) e Guaira (PR)*. 1993. 214 f. Tese (Doutorado em Geociências)–Universidade de São Paulo, São Paulo, 1993.

SOUZA FILHO, E. E. Geologia e Geomorfologia do complexo rio Baía-Curutuba-Ivinheima. In: VAZZOLER, A. E. A. M.; AGOSTINHO, A. A.; HAHN, N. S. (Orgs.). *A planície de inundação do alto rio Paraná*. Maringá: Eduem, 1997. p. 1-45.

SOUZA FILHO, E. E.; STEVAUX, J. C. Geology and Geomorphology of the Baía – Curutuba – Ivinheima River Complex. In: THOMAZ, S. M.; AGOSTINHO, A. A.; HAHN, N. S. (Eds.). *The Upper Paraná River and its Floodplain*. Leiden: Backhuys Publishers, 2004. p. 1-29.

SOUZA JUNIOR, M. D. *Efeitos tectônicos na formação da paisagem da bacia hidrográfica do rio Ivaí, curso Inferior*. 2012. 99 f. Dissertação (Mestrado em Geografia)–Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2012.

SOUZA JUNIOR, M. D. et al. Análise morfotectônica da bacia hidrográfica do rio Ivaí-PR, curso inferior. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, Porto Alegre, v. 14, n. 2, p. 213-220, 2013.

STEVAUX, J. C. *O Paraná: geomorfogênese, sedimentação e evolução quaternária do seu curso superior (região de Porto Rico, PR)*. 1993. 242 f. Tese (Doutorado em Geociências)–Universidade de São Paulo, 1993.

STEVAUX, J. C. The upper Parana river (Brazil): geomorphology, sedimentology and paleoclimatology. *Quaternary International*, Londres, v. 21, p. 143-161, 1994.

STEVAUX, J. C.; SANTOS, M. L. dos. Palaeohydrological changes in the upper Parana river, during the Late Quaternary. In: BENITO, G.; BAKER, V. J.; GREGORY, K. (Eds.). *Plaeohydrology and environmental change*. Londres: John Wiley & Sons, 1998. p. 273-285.

STEVAUX, J. C.; SANTOS, M. L.; SOUZA FILHO, E. E. Alluvial System and Quaternary evolution of Paraná River in the Souther - Central Brazil. In: GLOBAL CONTINENTAL PALAEOHYDROLOGY PROJECT – GLOCOPH, 2006, Guarulhos. *Anais...* Guarulhos: UNG, 2006. v. 1. p. 1-32.

STEVAUX, J. C.; SOUZA FILHO, E. E.; MARINS, D. P. Characteristics and dynamics of de the Paraná river Chanel bedform: na approach to study the influences of de Porto Primavera Dam, Sand mining, and channel construction. In: AGOSTINHO, A. A. et al.(Eds.). *Structure and functioning of the Paraná River*. Maringá: Eduem, 2004. p. 97-100.

STEVAUX, J. C. et al. Flow structure and dynamics in large tropical river confluence: example of the Ivaí and Paraná rivers, Southern Brazil. *Geociências*, São Paulo, v. 28, n. 1, p. 5-13, 2009a.

STEVAUX, J. C. et al. Morphodynamics in the Confluence of large regulated Rivers: the case of Paraná and Paranapanema Rivers. *Latin American Journal of Sedimentology and Basin Analysis*, Buenos Aires, v.16, n. 2, p. 101-109, 2009b.

SUGUIO, K. *Introdução à sedimentologia*. São Paulo: Ed. Edgard Blocher, 1973.