

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

EDUARDO SOUZA DE MORAIS

**EVOLUÇÃO DA PLANÍCIE DE INUNDAÇÃO E CONFLUÊNCIA DO RIO
IVAÍ E RIO PARANÁ NA REGIÃO DO PONTAL DO TIGRE, ICARAÍMA -
PR: UMA ABORDAGEM GEOMORFOLÓGICA**

Maringá
2010

EDUARDO SOUZA DE MORAIS

**EVOLUÇÃO DA PLANÍCIE DE INUNDAÇÃO E CONFLUÊNCIA DO RIO
IVAÍ E RIO PARANÁ NA REGIÃO DO PONTAL DO TIGRE, ICARAÍMA -
PR: UMA ABORDAGEM GEOMORFOLÓGICA**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia, área de concentração Análise Ambiental, do Centro de Ciências Humanas, Letras e Artes da Universidade Estadual de Maringá, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Geografia.

Orientador: Prof. Dr. Manoel Luiz dos Santos
Co-orientador: Prof. Dr. José Cândido Stevaux

Maringá
2010

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
(Biblioteca Central - UEM, Maringá – PR., Brasil)

M827e Moraes, Eduardo Souza de
Evolução da planície de inundação e confluência
do rio Ivaí e rio Paraná na região do Pontal do
Tigre, Icaraíma-PR: uma abordagem geomorfológica. /
Eduardo Souza de Moraes. -- Maringá, 2010.
64 f. : il. color., figs., tabs., retrs., mapas

Orientador : Prof. Dr. Manuel Luiz dos Santos
Co-orientador : Prof. Dr. José Cândido Stevaux
Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de
Maringá, Programa de Pós-Graduação em Geografia,
área de concentração: Análise Ambiental, 2010.

1. Rio Ivaí - Rio Paraná - Geomorfologia -
Quaternário. 2. Rio Ivaí - Planície de inundação. 3.
Rio Ivaí - Rio Paraná - Sistemas fluviais. 4. Rio
Ivaí - Rio Paraná - Confluência fluvial -
Paleocanais. I. Santos, Manuel Luiz, orient. II.
Stevaux, José Cândido, co-orient. III. Universidade
Estadual de Maringá. Programa de Pós-Graduação em
Geografia. Área de concentração: Análise Ambiental.
IV. Título.

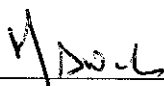
CDD 21.ed.551.4

**“EVOLUÇÃO DA PLANÍCIE DE INUNDAÇÃO E CONFLUÊNCIA DO RIO IVAÍ E
RIO PARANÁ NA REGIÃO DE PONTAL DO TIGRE, ICARAÍMA – PR: UMA
ABORDAGEM GEOMORFOLÓGICA”.**

Dissertação de Mestrado apresentada a Universidade Estadual de Maringá, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Geografia, área de concentração: Análise Regional e Ambiental.

Aprovada em 28 de abril de 2010.

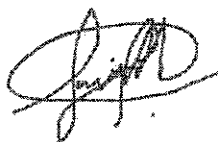
BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Manoel Luiz dos Santos
Orientador - UEM
Universidade Estadual de Maringá



Prof. Dr. Edvard Elias de Souza Filho
Membro convidado
Universidade Estadual de Maringá



Prof. Dr. Paulo Cesar Rocha
(membro convidado)
UNESP – Presidente Prudente

*Dedico aos meus pais,
Edisio e Erci.*

AGRADECIMENTOS

A Deus por uma vida de tantos prazeres;

Ao incentivo e apoio incondicional da minha família que em tantos momentos foi privada do nosso convívio e nunca mediu esforços para me ajudar e fortalecer essa caminhada, meus queridos pais Edisio e Erci e minha irmã Nadeje;

A amizade e paciência nos ensinamentos transmitidos pelo Prof. Dr. Manoel Luís dos Santos nos seis anos de orientação durante a graduação e o mestrado;

A minha namorada Daniela Gumieiro que me apoiou com muito carinho e incentivo;

Ao CNPq pela concessão de bolsa de mestrado e o apoio com financiamento dos projetos coordenados pelos Prof. Dr. José Cândido Stevaux através do processo nº 473253/2007-0 e Prof. Dr. Nelson Lovatto Gasparetto através do processo nº 482545/2007-0;

Aos muitos amigos do Grupo de Estudos Multidisciplinares do Ambiente (GEMA) que durante o período de graduação e mestrado compartilhamos aprendizado e produção científica, pelo qual sou muito grato ao harmonioso convívio. Em especial aos amigos e geógrafos que contribuíram diretamente para o apoio e realização deste trabalho com discussões, levantamentos em campo e análises: Hiran Zani, Vladimir de Souza, Édipo Cremom, Otávio Montanher, João Vitor, Isabel Leli, Rafaela Harumi, Sidney Kuerten, Maria Estela Casale, Maurício Meurer, Renato Guerreiro e ao Sr. Irineu, motorista da UEM;

Ao incentivo e apoio dos amigos e geógrafos Bruno Rigon e Danilo Serrano;

Aos familiares e amigos de Minas Gerais que mesmo distantes foram fundamentais;

Ao Prof. Dr. José Cândido Stevaux pela co-orientação deste trabalho com valiosos ensinamentos e viabilização de recursos para a logística e equipamentos através do projeto apoiado pelo CNPq;

Ao Prof. Dr. Nelson Lovatto Gasparetto pelos ensinamentos transmitidos, amizade e a viabilização de recursos para as datações realizadas através do projeto apoiado pelo CNPq;

Ao gentil atendimento e empréstimo de materiais agradeço aos Professores Doutores Edvard Elias Souza Filho, Marta Luzia de Souza, Edison Fortes, Sérgio Luiz Thomaz e Paulo Nakashima;

Aos amigos e agregados que formaram a República Café com Leite, anos inesquecíveis 2004-2010;

Ao Departamento de Estradas de Rodagem (DER) de Cruzeiro do Oeste (PR) pela gentileza no empréstimo da casa em Pontal do Tigre, Icaraíma, que serviu de base de pesquisa durante os levantamentos de campo.

*“O objetivo da ciência natural não é simplesmente
aceitar as afirmações feitas pelos outros,
mas investigar as causas que fazem
a natureza funcionar.”*

Santo Alberto Magno (1206-1280).

RESUMO

O entendimento dos processos geomorfológicos pode revelar importantes aspectos da evolução da paisagem fluvial durante o período Quaternário. As mudanças ocorridas nos sistemas fluviais mantêm os registros preservados em planícies e terraços fluviais. O trecho do Alto rio Paraná na região da confluência com o rio Ivaí possui um expressivo conjunto de paleocanais que denotam a evolução de ambos os sistemas fluviais. Nesse sentido este estudo propôs-se a investigar as formas e os processos geomorfológicos atuantes na evolução da planície utilizando-se de informações de Sensoriamento Remoto, levantamentos em campo, análises sedimentológicas e datações de depósitos aluviais. A aplicação de índices em imagens multiespectrais demonstrou valiosos ganhos visuais, realçando a paleodrenagem. A associação de fácies sedimentares relacionadas aos depósitos aluviais analisados no interior da planície remete a ambientes com mudanças graduais entre o momento de abandono dos canais até o desenvolvimento da planície. As informações obtidas com datações por Luminescência Opticamente Estimulada (LOE) revelaram que os depósitos do terraço que margeia a planície se formaram há pelo menos 23.400 anos A. P. e que o leque aluvial presente sobre os depósitos da planície data de 1.600 anos A. P.. A associação de áreas homogêneas quanto a gênese da planície e períodos de formação possibilitou a compartimentação geomorfológica em 4 unidades. Os resultados permitem inferir que a junção dos sistemas fluviais estaria até 23.400 anos A. P. localizada a 6 km do modelo atual.

Palavras-Chave: Paleocanais Fluviais, Planície de Inundação, Confluência Fluvial, Rio Ivaí.

ABSTRACT

The understanding of geomorphological processes can reveal important aspects of the evolution fluvial landscape during the Quaternary period. The changes in fluvial systems contend the records preserved in the alluvial plains and terraces. The reach of the Upper Parana River in the region of the confluence with the river Ivaí has a significant set of paleochannels that show the evolution of both fluvial systems. In this way this study aimed to investigate the forms and the geomorphological processes operating in the evolution of the plain using information from remote sensing, field data sampling, sedimentological analysis and dating of alluvial deposits. The use of index in multispectral images showed valuable gains for enhancing paleodrainage. The association of sedimentary facies related to alluvial deposits analyzed within the plain environments refers to the gradual changes between the time of abandonment of the channels to the development of the plain. The information obtained from Optically Stimulated Luminescence (OSL) dating method revealed that the terrace deposits bordering the plain formed at least 23,400 years B. P. and the alluvial fan deposits present on the plain date of 1,600 years B. P.. The combination of homogeneous areas as the genesis of the plain and periods of formation allowed the geomorphological mapping in 4 units. Results shows that the junction of the fluvial systems would be up to 23,400 years B. P. located 6 km from the current model.

Key-Words: Fluvial Paleochannel, Floodplain, Fluvial Confluence, Ivaí River.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localização da área em estudo.....	15
Figura 2. Mapa Geomorfológico da planície aluvial do rio Ivaí de SANTOS et. al. (2008).....	22
Figura 3. Modelo Digital de Elevação obtido a partir dos dados SRTM.	37
Figura 4. Representação cartográfica da paleodrenagem dos rios Ivaí e Paraná, na área da Planície Paraná-Ivaí.	39
Figura 5. Imagem orbital CBERS 2B/HRC com demarcação da área da paleoconfluência dos sistemas fluviais Ivaí e Paraná.....	40
Figura 6. Imagem orbital CBERS 2B/HRC na qual é possível a identificação visual das feições relativas aos paleocanais conjunto a localização de pontos com fotos oblíquas obtidas no reconhecimento em campo dos paleocanais.....	42
Figura 7. Imagem TM/ Landsat 5 do trecho da Planície Paraná-Ivaí com operações visando o reconhecimento de feições: NDVI, NDWI, MNDWI e “Tasseled Cap - Wetness.....	44
Figura 8. Localização das sondagens e datações realizadas na planície.....	46
Figura 9. Fácies sedimentares dos depósitos da Planície Paraná-Ivaí.....	47
Figura 10. Mapa Geomorfológico da Planície Paraná-Ivaí.....	48
Figura 11. Associação fáciofísica encontrada na Unidade II.....	51
Figura 12. Associação de fácies presente em paleocanal da Unidade III.....	52
Figura 13. Fotografia oblíqua com vista do canal em direção à planície.....	53
Figura 14. Fotografia oblíqua do barranco exposto na Unidade IV em que se nota o preenchimento arenoso do Leque Aluvial do Córrego Dourado	54
Figura 15. Esquema com representação dos depósitos da planície.....	57

Figura 16. Esquema com evolução da planície dos rios Ivaí e Paraná.....	58
---	----

LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Fontes de dados para pesquisa de mudanças no sistema fluvial.....	25
Quadro 2. Características das operações com dados TM para realce de feições.....	34

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
2. LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EM ESTUDO.....	14
2.1 Hidrologia	16
2.2 Geomorfologia	18
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	23
3.1 Sistema Fluvial e Planície de Inundação.....	23
3.2 Confluências	28
4. MATERIAIS E MÉTODOS	31
5. RESULTADOS	35
5.1 Aplicações de Sensoriamento Remoto na Identificação de Aspectos da Geomorfologia Fluvial.....	38
5.2 Associações de Fácies e Gêneses dos Depósitos Fluviais	45
5.3 Geomorfologia e Evolução da Planície Paraná-Ivaí	48
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	58
7. REFERÊNCIAS	60

1. INTRODUÇÃO

A importância dos recursos hídricos tem sido fundamental no desenvolvimento da sociedade, levando em consideração seus diversos usos como alimentação, transporte, indústria, energia e irrigação. A disponibilidade de 18% de água doce do mundo em território nacional expressa bem o potencial hídrico brasileiro (BRASIL, 2007). A partir da análise de dados hidrológicos, sedimentológicos e geomorfológicos, nota-se que significativos avanços têm sido alcançados no gerenciamento desse recurso.

As pesquisas sobre sistemas fluviais tropicais tem tido grande expressão nas últimas décadas, fornecendo importantes resultados sobre a evolução dos grandes rios (LATRUBESSE et. al. 2005). Desse modo a Geomorfologia Fluvial tem-se utilizado de uma abordagem multidisciplinar (MURRAY et. al., 2003) valendo-se do apoio em dados de sedimentologia, hidrologia, palinologia, sensoriamento remoto e datações para a interpretação da evolução dos sistemas fluviais.

A caracterização dos depósitos e morfologias fluviais constitui-se em importantes registros de mudanças ambientais (SUGUIO, 1999) e registros da adaptação do sistema fluvial às condições hidrológicas e climáticas (BULL, 1991). No Brasil o regime hidrológico dos sistemas fluviais possui indícios de diversas flutuações no decorrer do período Quaternário (LATRUBESSE et. al. 2005). O modo como essas mudanças ambientais transcorreram proporcionou uma série de registros que atualmente permanecem preservados na paisagem fluvial. As planícies aluviais, que compõem parte dessa paisagem, são áreas de grande importância na compreensão dos processos geomorfológicos atuantes no sistema fluvial. A recorrência de cheias em algumas partes do sistema fluvial e a morfogênese dessas áreas relacionada à dinâmica dos processos de erosão e/ou deposição do regime hidrológico caracteriza a planície de inundação a partir de um ponto de vista geomorfológico (NANSON & CROOKE, 1992). Distribuídas ao longo das margens dos canais fluviais em grande parte da superfície terrestre e com diferentes tamanhos, essas áreas assumem grande importância no desenvolvimento econômico, ecológico e agropecuário. Ambas as atividades sintonizadas com a frequência com que as águas ocupam essa superfície.

O trecho do rio Paraná se localiza no estado homônimo, representa a maior porção de áreas úmidas interioranas, sendo habitualmente reconhecido pelas suas várzeas. Compreendendo uma área de 891.000 km² situada entre os paralelos 21° e 24° Sul a

bacia hidrográfica do Alto rio Paraná recebe vazões com significativas contribuições dos rios Grande e Paranaíba (os quais formam o rio Paraná), assim como os rios Tiête, Paranapanema, Piquiri e Iguaçu (afluentes da margem esquerda) e Ivinhema e Baía na margem direita.

2. LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EM ESTUDO

Estudos na planície do rio Paraná, no trecho entre o rio Ivaí e Paranapanema, têm contribuído para o conhecimento da dinâmica do rio Paraná sobre suas condições atuais e dos impactos em decorrência de barramentos em seu curso (ROCHA, 2002; FERNANDEZ, 1990). No curso superior do rio Paraná diversos estudos têm demonstrado os processos geomorfológicos na relação canal-planície na evolução do sistema fluvial, permeado por intervenções de mudanças climáticas e neotectônicas em seu desenvolvimento (SOUZA FILHO, 1993; SANTOS, 1997; STEVAUX, 1997).

Dentre seus importantes tributários destaca-se o rio Ivaí que drena diferentes litologias e compartimentos geomorfológicos ao longo de seu canal com 632 km de extensão. A área de sua bacia hidrográfica possui 38.200 km² e está localizada no interior do estado do Paraná abrangendo a região de sua formação no município de Prudentópolis, sudoeste do estado, seguida com uma forma alongada em direção a sua foz no noroeste do estado. A confluência entre o rio Ivaí e Paraná proporcionou a formação de uma planície de inundação, área em estudo deste trabalho (Fig. 1), denominada por SANTOS et. al. (2008), como Planície Paraná-Ivaí. Anteriormente Souza Filho (1993) em uma abordagem regional sobre a cartografia dos depósitos do rio Paraná delimitou a área com a divisão entre os terraços e planícies pertencentes aos rios Ivaí e Paraná.

A Planície Paraná-Ivaí possui uma área de 48 km² com baixo gradiente altimétrico, feições morfológicas de paleocanais e uma morfogênese atribuída preliminarmente a ação conjunta entre os rios Ivaí e Paraná sob intervenções neotectônicas (SANTOS, 2008). Essa área apresenta expressiva presença de depósitos fluviais recentes que possibilitam uma melhor compreensão a respeito da evolução do rio Ivaí durante o Quaternário.

A composição morfológica da planície apresenta-se bastante retrabalhada pelos sistemas fluviais Ivaí e Paraná. Morfologias como paleocanais e terraços fluviais evidenciam a construção e a evolução do sistema fluvial durante o Holoceno e o

Pleistoceno recente, com o abandono de uma série de canais (SANTOS et. al. 2008). Portanto este trabalho tem como *objetivo* apresentar a distribuição espacial de formas e os processos associados aos sistemas fluviais dos rios Ivaí e Paraná, bem como a caracterização e interpretação morfogênética de alguma dessas formas aluviais, com a pretensão de elucidar a evolução da confluência do rio Ivaí e Paraná a partir da morfogênese de sua respectiva planície.

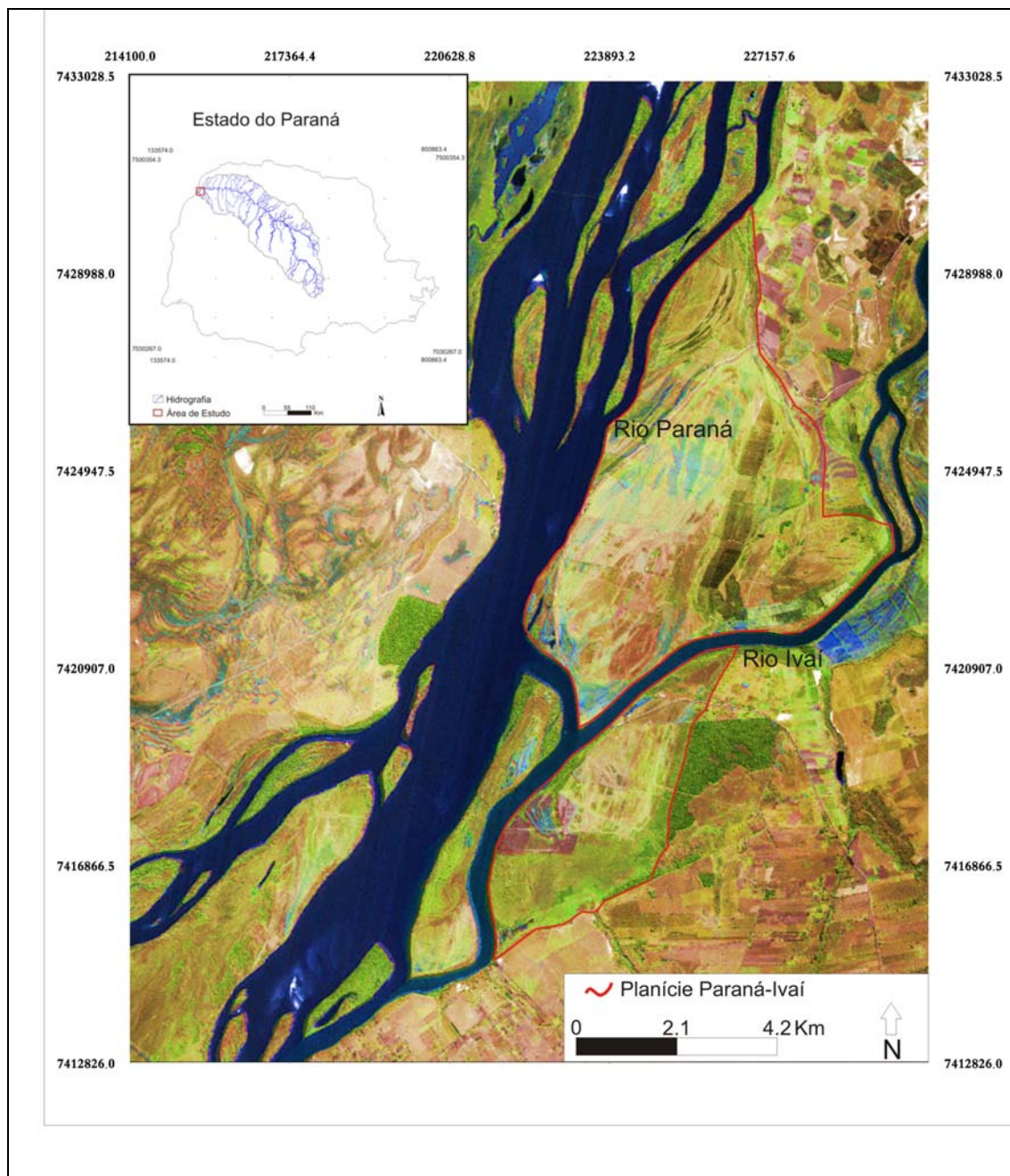


Figura 1. Localização da área em estudo, Planície Paraná-Ivaí. Imagem resultante da fusão Landsat/TM 5R 4G 3B e banda pancromática do CBERS 2/HRC.

2.1 Hidrologia

Os processos que caracterizam a dinâmica da água em ambiente continental apresentam uma marcante variabilidade ao longo do tempo. Tais mudanças hidrológicas no sistema fluvial estão diretamente relacionadas à parâmetros geomorfológicos, climatológicos, de uso e ocupação do solo e entre outros presentes na bacia hidrográfica (NAGHETTINI & PINTO, 2007). Contudo o conhecimento do regime hidrológico também pode prestar-se como importante ferramenta na compreensão dos processos que modelaram a paisagem fluvial, como através de técnicas que se utilizam de analogias paleogeográficas (SIDORCHUK & BORISOVA, 2000).

Rinaldo & Rodrigues-Iturbe (1996) ao relacionar a geomorfologia das vertentes e o regime hidrológico do canal fluvial demonstraram a variação da vazão de acordo com cada forma de vertente. Segundo esses autores características como a largura e conexões da drenagem implicam diretamente no tempo de resposta do escoamento da água ao longo da vertente, consentindo assim em uma relação direta entre a morfologia da vertente e o fluxo do canal fluvial. Nesse sentido os resultados encontrados por Destefani (2005) validam o conceito acima, a partir de uma relação entre a Geomorfologia e a caracterização hidrológica do rio Ivaí atestado em seu trabalho. A autora apontou que não se pode definir um evidente período de vazante e cheia no regime hidrológico do rio Ivaí e que há a ausência da permanência da onda de cheia no canal. Estes processos estão relacionados à morfologia da bacia que possui uma forma alongada e também as litologias e os solos que proporcionam um rápido escoamento pelas vertentes.

Já Paiva (2008) propôs-se a investigar a possível correlação da alteração no fluxo de base de uma bacia do baixo curso do rio Ivaí com o desflorestamento ocorrido na região, entre as décadas de 1970 e 1980. Apesar dos resultados não terem sido satisfatórios, é notório o possível impacto do desmatamento da cobertura vegetal sobre o ciclo hidrológico na região diminuindo assim o tempo de permanência da água na circulação das vertentes da bacia hidrográfica.

A área do baixo curso do rio Ivaí ou também denominada como curso inferior está localizada no trecho entre a cidade de Tapira e a sua foz com rio Paraná, e compreende um trecho de 150 km. O canal do rio Ivaí neste trecho apresenta uma profundidade média de 5,95 metros, uma vazão média de $727\text{m}^3/\text{s}$ e na medida em que segue em

direção a confluência com o rio Paraná observa-se uma diminuição da velocidade do fluxo no canal (DESTEFANI, 2005; BIAZIN, 2005).

Destefani (2005) descreve o rio Ivaí como um canal sinuoso, com curvas irregulares formando “cotovelos” em inflexões do canal. Apesar da prolongação das formas do canal em meandros o rio apresenta margens estáveis e leito rochoso que proporciona atualmente ao canal a ausência da mobilidade na planície aluvial, sendo creditado ao rio Ivaí o padrão de canal meandrante encaixado. Próximo a sua foz nota-se a diminuição das corredeiras e o entalhe do canal sobre seus depósitos aluviais, contudo o canal permanece estável com progressiva diminuição da altura de suas margens.

Kuerten (2006) afirma que para a planície aluvial do rio Ivaí possui uma dinâmica em que a granulometria da carga de fundo diminui com a proximidade da foz assim como ocorre a diminuição da granulometria da carga suspensa. Possivelmente em decorrência das complexas interações hidrodinâmicas nas zonas de confluências (BEST, 1988), já próximo a cidade de Icaraíma o rio Ivaí apresenta em seu leito a presença de material argiloso.

A desembocadura do rio Ivaí ocorre no estado do Paraná - após o rio Paraná já receber importantes tributários como os rios Tiête e Paranapanema - entre as cidades de Icaraíma e Querência do Norte. A região denominada de alto curso do rio Paraná desenvolve-se desde a confluência dos rios Grande e Paranaíba até o município de Guaíra. O rio Paraná em seu alto curso apresenta múltiplos canais com presença de ilhas vegetadas e barras. Apesar de abrigar margens coesas, os processos de avulsão são recorrentes no canal fomentando a separação dos canais e formações de extensas morfologias, como exemplo a ilha Grande com 75 km de comprimento.

Ao contrário do rio Ivaí, as cheias e as vazantes no rio Paraná são marcantes e atingem as maiores cotas fluviométricas entre os meses de dezembro e março e as menores cotas entre abril e novembro (STEVAUX, 1993; MARTINS, 2003). A determinação do padrão entrelaçado, do termo em inglês *braided*, para o rio Paraná por Orfeo & Stevaux (2000) deve-se, sobretudo à forma de transporte dos sedimentos (25% transportado como carga de fundo) e o grau de entrelaçamento dos canais. No entanto Stevaux (1993) afirma que apesar de o rio Paraná possuir uma configuração multicanal, o seu padrão não se encaixa aos conhecidos modelos propostos na literatura. O que reforça a definição do estágio de desequilíbrio entre o padrão atual e a morfologia

presente na planície, relativa a um sistema anastomosado pretérito (ROCHA et. al. 2001).

O alto curso do rio Paraná possui uma vazão média anual de 10.241 m³/s medidos na estação fluviométrica de Porto São José (SILVA, 2007) e segundo Martins (2004) detém uma taxa de transporte de sedimentos de fundo de 1,09 x 10² t/ ano com predominância de material arenoso. A área monitorada deste estudo está localizada na seção Porto São José, 100 km à montante da confluência com o rio Ivaí e a jusante da usina hidrelétrica Engenheiro Sérgio Mota.

Na confluência do rio Ivaí e Paraná destacam-se os estudos realizados por Barros (2006) e mais tarde Franco et. al. (2008). Ambos os trabalhos contemplam a hidrodinâmica da zona de confluência com a caracterização através de amostragens de dados hidrosedimentológicos e descrições sedimentológicas, a montante e a jusante da confluência. A junção dos cursos fluviais na confluência ocorre em um canal secundário do rio Paraná com o rio Ivaí formando uma confluência com ângulo de 60° e a presença na área de duas ilhas.

2.2 Geomorfologia

O modelado impresso na superfície terrestre é resultante da atuação de forças tectônicas, climáticas e em limitadas proporções do uso e ocupação da terra. O conhecimento dessas formas e processos através da geomorfologia tem viabilizado diferentes aplicações no planejamento do território, na gestão ambiental bem como na compreensão dos processos de evolução da paisagem e na dinâmica dos sistemas fluviais.

No Brasil os diferentes níveis topográficos da paisagem são relacionados às áreas de aplainamento correspondentes a alternância de processos erosivos permeados por flutuações paleoclimáticas. As seqüências de estudos geomorfológicos sobre estas superfícies são representadas por King (1952) que propõe inicialmente modelos de evolução gerados a partir das superfícies: Sul-Americana, Velhas e Paraguaçu ou os pediplanos Pd₁, Pd₂, Pd₃ (BIGARELLA e MOUSINHO, 1965), e Justus (1985) posteriormente identifica a superfície Pd₀. O desenvolvimento desta última superfície, de acordo com Justus op. cit., se deve ao nível de coberturas aluviais produzidas pela instalação da paleodrenagem no rio Paraná. Recentemente Sallun et. al. (2007) denominou as unidades estratigráficas quaternárias da bacia do alto rio Paraná de

Alogrupo Alto Rio Paraná. Estes autores dividem o Alogrupo Alto Rio Paraná em i) Aloformação Paranavaí constituída de depósitos coluviais e rudáceos e; ii) Aloformação Paraná composta pelo agrupamento dos terraços fluviais produzidos pela paleodrenagem do rio Paraná, sendo a última de menor extensão que a primeira.

Os relevos mais acidentados da bacia hidrográfica do Alto Rio Paraná são identificados na serra de Maracaju e no reverso da escapa da Serra Geral. Por outro lado o embasamento de rochas basálticas da Formação Serra Geral e os arenitos Cretáceos do Grupo Bauru, proporcionaram o desenvolvimento de vertentes suaves com topos aplainados recobertas de solos espessos, com indicação de maior fragilidade para aqueles oriundos de rochas sedimentares (STEVAUX, 1993). Segundo Sallun & Suguiu (2007) a Bacia do Alto Rio Paraná possui diversos compartimentos com importantes depósitos aluviais e coluviais que registram importantes fases de evolução quaternária, acrescido de um intenso processo intempérico sob diferentes condições paleoambientais.

A bacia do rio Paraná é controlada por estruturas Pré-Cambrianas que na configuração de sua forma assumem delineações em direção N e NW (SAADI, et. al. 2002). Há também a presença de vários lineamentos estruturais na bacia hidrográfica do Alto Rio Paraná (SANTOS, 1997), inclusive junto a confluência do rio Ivaí proposto por Pires Neto et. al. (1994) como alinhamento estrutural Amanbaí-Ribeirão do Veado. Em uma abordagem de maior escala do rio Ivinhema, um importante tributário da margem direita do rio Paraná, Fortes et. al. (2005) associou a ocorrência de eventos neotectônicos na formação de conglomerados e leques. E mais recentemente (Holoceno), em conjunto às mudanças climáticas e motivação tectônica, associou a transição do padrão de canal entrelaçado para meandrante.

Ab'Saber & Bigarella (1969) apontam que a planície do rio Paraná apresenta-se com características mistas, oriunda de diferentes padrões de canais. Apesar de seu sistema de multicanais comportar ilhas e barras, o autor afasta a aproximação com o padrão aluvial do tipo *braided*. Os trabalhos de Souza Filho (1993), Stevaux (1993) e Santos (1997) apresentam sistemáticas contribuições no campo da Geomorfologia Fluvial para o rio Paraná, com análises dos depósitos, morfologias associadas, a gênese e evolução do sistema fluvial e relações com processos atuais que compõe o curso superior do alto rio Paraná. Souza Filho op. cit. ao analisar o trecho entre a foz do rio Paranapanema e a foz do rio Piquiri por intermédio de sondagens e dados orbitais

descreve os depósitos relacionados ao rio Paraná representados como uma seqüência de terraços colúvio-aluviais somados à planície fluvial, inclusive com o mapeamento da área em estudo deste trabalho. Já Stevaux *op. cit.* optou por estudar um trecho menor, entre a foz do rio Paranapanema e a foz do rio Ivinhema, com um enfoque dos processos de evolução geomorfológica da área e uma análise atual dos processos (hidrologia, limnologia, mineralogia), possibilitando uma correspondência paleoclimática e a compartimentação do trecho analisado em 5 unidades geomorfológicas. Santos (1997) apresenta contribuições acerca da gênese dos depósitos desenvolvidos na bacia hidrográfica do Paraná, desde Paranaíba (MS) até a cidade de Porto Rico (PR), estudando a evolução e arquitetura dos depósitos aluviais, principalmente com elucidações sobre a distinção das cascalheiras associadas às vertentes e a calha do sistema fluvial do alto rio Paraná.

No estado do Paraná os estudos elaborados por Reinhard Maak (1981) tiveram grande relevância para a Geomorfologia. As características geomorfológicas discutidas e denominadas como zonas de paisagem do estado do Paraná são sintetizadas e apresentadas através de seis unidades: Planície Litorânea, Serra do Mar, Primeiro Planalto, Segundo Planalto e Terceiro Planalto Paranaense. A área da bacia hidrográfica do rio Ivaí abrange as duas últimas unidades, com uma menor parte sobre o Segundo Planalto, que alcança desde as suas nascentes até o início da cobertura Juro-Cretáceo de derrames basálticos. No Segundo Planalto com um terreno formado por litologias sedimentares de idades Paleozóicas da borda da Bacia do Paraná, a área possui declividades acentuadas que favorecem a formação de solos rasos e incipientes, mesetas isoladas e cadeias de mesetas e ainda extensos espigões de diques diabásicos. O Terceiro Planalto, no interior da bacia, é representado por rochas vulcânicas basálticas que se originaram em um relevo com topos ligeiramente alongados e solos bem desenvolvidos como Latossolos e Argissolos em vertentes convexas.

A seqüência de estudos regionais da geomorfologia do estado do Paraná é retomada com Santos *et. al.* (2006) que apresentam um mapeamento geomorfológico do estado com maior número de divisões em relação ao de Maack (1956), no entanto claramente fundamentado em sua compartimentação geomorfológica. O relevo do estado do Paraná foi delimitado a partir de unidades morfoestruturais e morfoesculturais. A referida compartimentação relaciona a área em estudo como

pertencente à sub-unidade morfoescultural Planície Fluvial, agregada a planície aluvial do rio Paraná e restritas ocorrências do rio Iguaçu.

Bittencourt (1982) descreve as litologias presentes na bacia hidrográfica do rio Ivaí através de três agrupamentos. Em seu trecho superior o rio corre sobre uma seqüência de rochas Paleozóicas, no trecho médio sobre a cobertura de basalto da Formação Serra Geral, e por último no trecho inferior corre sobre as rochas sedimentares da Formação Caiuá. O agrupamento geológico preconizado por Bittercourt op. cit. somado a características geomorfológicas, permitiu que Destefani (2005) organizasse uma compartimentação mais detalhada dos segmentos do rio Ivaí. Neste estudo a autora apresenta delimitações geográficas para os segmentos superior, médio e inferior, e contribui com referência às formas de relevo, declividade e altimetrias predominantes na bacia do Ivaí.

Como anteriormente citado, a área em estudo possui duas referências de cartografia geomorfológica com diferentes escalas e objetivos de abordagem. Souza Filho (1993) com o objetivo de estudo da bacia hidrográfica do alto curso do rio Paraná delimitou a área entre depósitos denominados de Terraço Baixo e de Planície Fluvial. Os depósitos de Terraço Baixo foram designados como Zona de Leque, Zona Retrabalhada e Zona Reliquiar. Já os depósitos pertencentes à Planície Fluvial foram divididos em Zona de Paleobarras, Zona de Bacia de Inundação e Zona de Diques e Canais.

O segmento inferior do rio Ivaí que compreende um trecho de 150 km entre a sua foz e a cidade de Tapira corresponde à planície aluvial. Os estudos nessa região têm recebido atenção no que se refere aos parâmetros hidrosedimentológicos do rio Ivaí (BARROS, 2005; BIAZIN, 2006; KUERTEN, 2006). Santos et. al. (2008) apresentou um mapeamento geomorfológico em que se identificam seis unidades morfoestratigráficas na planície aluvial: Terraço Paraná, Terraço Ivaí, Planície Ivaí, Leques Aluviais, Canal Fluvial e a área em estudo Planície Paraná-Ivaí (Fig. 2). Esse conjunto apresenta depósitos com mais de 20 metros de espessura, presença descontínua de camadas de cascalho, com contato abrupto entre a planície e o terraço.



Figura 2. Mapa Geomorfológico da planície aluvial do rio Ivaí de SANTOS et. al. (2008) em que é delimitada a Planície Paraná-Ivaí e demais unidades.

A área denominada como Planície Paraná-Ivaí comporta uma distribuição de paleocanais permeados por paleobarras com amplitude altimétrica entre as cotas 231 e 235 metros. A dinâmica de inundação na área é dependente dos sistemas fluviais Ivaí e Paraná, com aumento do nível de água no interior da planície através da elevação do freático, uma vez que não se conhece o rompimento de diques ou processo semelhante. Os paleocanais que compõem as áreas mais baixas possuem a presença de material turfoso. Na foz do rio Ivaí com o canal secundário do rio Paraná Barros (2006) descreve a ilha Ivaí I como resultado da construção do padrão anastomosado do rio Paraná, reconhecendo-a como uma forma erosiva do sistema fluvial. A ilha Ivaí II, de menor porte, é decorrente da estrutura hidrossedimentológica local na qual há o barramento do canal secundário do rio Paraná favorecendo o aporte deposicional e a construção dessa morfologia. Por outro lado, Franco et. al. (2008) assume que a ilha possui um caráter deposicional, sendo que a ilha Ivaí II corresponde a uma forma reliquiar da ilha Ivaí I próxima a ela, concluindo que ambas provêm do caráter erosivo do trecho do rio Paraná. O autor apresenta a confluência como uma área em que o barramento é efetuado pelo rio Paraná, ou seja, o rio Ivaí na região apresenta seu fluxo confinado ao regime do rio Paraná.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 Sistema Fluvial e Planície de Inundação

A idéia de sistema como conjunto de elementos interconectados e que se mantêm estruturados em um ambiente, abrange disciplinas de diferentes áreas como a economia, engenharia e a biologia. No campo da Geomorfologia, os estudos contemplando os ciclos de formação da paisagem foram desenvolvidos sobre uma ótica sistêmica, na qual há a relação entre “processos-respostas” da superfície terrestre, produto de um ambiente comum com distinção temporal, favorecendo contínua auto-regulação (MATTOS & PEREZ FILHO, 2004). Importantes contribuições são advindas do tradicional trabalho de Davis (1899) a partir da preposição do Ciclo de Erosão ou Ciclo Geográfico. Mais tarde foi incrementado com a consideração sobre a atuação tectônica por Penck (1924), King (1956) com a incorporação de um modelo de evolução de vertentes, e ainda Büchel (1977) com o desenvolvimento das superfícies planas a partir de alteração geoquímica (GROHMANN, 2008).

O conceito de sistema fluvial compreende a relação na qual o modelo de evolução da paisagem fluvial é produzido através dos processos e formas entre elementos interconectados, como os canais fluviais, vertentes e planícies. O entendimento do sistema fluvial como um sistema físico capaz de se desenvolver e evoluir, e ao mesmo tempo um sistema histórico em que abriga os dados de sua evolução, possibilitou que grandes avanços fossem feitos na compreensão da dinâmica fluvial (SCHUMM, 1977). As características do sistema fluvial são definidas e indicadas espacialmente por Souza Filho (1993) a partir da entrada, transferência e saída de energia do sistema. A definição dessas áreas é proposta com a entrada de energia na bacia hidrográfica, responsável pela produção de sedimentos e captação da água. A transferência dessa energia dá-se pelos canais fluviais que transportam o sedimento, que escoam à água e também pelo estoque temporário de sedimentos na planície, que permitem o registro de dados *proxy* das mudanças ambientais preservadas nos depósitos fluviais.

Para Charlton (2008) o principal ambiente de análise do sistema fluvial é a bacia hidrográfica. O ajuste desses sistemas fluviais através dos processos erosivos e deposicionais são atribuídos a atividades tectônicas, mudanças climáticas, alterações no nível de base, atividades antrópicas e a própria dinâmica do sistema fluvial. No entanto algumas formas têm sua gênese atrelada a processos que não refletem e não são significativos em toda a bacia hidrográfica. Vandenbergue (2003) acrescenta ainda que

o clima é responsável também por fatores coadjuvantes de interações fluviais, como no caso da vegetação que é principalmente derivada do regime climático regional.

No entanto a evolução dos sistemas fluviais ainda permanece apoiada sobre trabalhos desenvolvidos no hemisfério norte, sobre diferentes condições climáticas de áreas tropicais (LATRUBESSE et. al. 2005). Thomas & Thorp (1994) reforçam essa idéia ao sugerirem que os sistemas fluviais tropicais analisados na Austrália, África, Indonésia e algumas áreas da Amazônia respondem as mudanças climáticas, porém apresentam maior resistência e requerem um maior período de ajuste do sistema quando comparados a de outros ambientes.

A área reconhecida como zona tropical detém oito dos dez maiores rios do mundo em termos de vazão (entre as latitudes 22°N e 22S) sob próximas condições climáticas. Essa importante conjuntura espacial intertropical apresenta uma variabilidade de parâmetros hidrológicos, geomorfológicos e geológicos que produzem processos que ainda carecem de estudos. Dentre as mudanças ambientais do período Quaternário, a ciclicidade climática entre as épocas glaciais e inter-glaciais tem sido constantemente relacionada como propulsora de características do desenvolvimento fluvial (VANDENBERGUE, 2003), contudo são questionadas por outros pesquisadores sobre sua capacidade de atuação no desenvolvimento e padrão do sistema fluvial (BRIDGE, 2006).

O ajuste do sistema fluvial às mudanças climáticas pode não coincidir em escalas temporais com o desenvolvimento do sistema fluvial. Deste modo, formas relictas, derivadas de padrões paleohidrológicos ainda permanecem sobre desgaste de condições climáticas e hidrológicas atuais, como correspondência desse fato a presença de uma planície de inundação discordante do padrão atual do sistema fluvial (BRIDGE, 2006). No caso do rio Paraná, Ab'Saber & Bigarella (1969) apontam primariamente o fato dele possuir diferentes domínios morfoclimáticos com revestimentos biogeográficos também diversos. Neste caso sucessões quaternárias de ritmos independentes implicaram diretamente em características hidrológicas, sedimentológicas e geomorfológicas. Rocha (2002) e Santos et. al. (2003) ao analisarem a planície do rio Paraná a classificaram na condição de planície em *desequilíbrio passivo persistente*, conforme os modelos propostos por Nanson & Crooke (1992). Segundo Rocha op. cit. essa condição deve-se a persistência de características naturais do sistema pretérito,

preservando assim processos fluviais relacionados a antigos controles hidrológicos e sedimentológicos.

Desse modo a transferência de energia de um sistema fluvial caracterizado pelas variáveis água e sedimentos permite que as mudanças no sistema sejam compreendidas a partir das atividades que são propulsoras desses processos. O modo como as mudanças nos sistemas fluviais repercutem podem ser analisadas através de distintas feições geomórficas. Essas características relictas mantêm-se na paisagem com a preservação de seqüências sedimentares revelando um complexo registro de mudanças ambientais do período Quaternário. Os depósitos e as morfologias fluviais formadas, fornecem assim um dos mais representativos registros desses processos durante o Quaternário continental no qual acaba por favorecer o conhecimento dos dados *proxy* nesses ambientes, possibilitando o uso de diferentes abordagens na evolução dos sistemas fluviais (KINGHTON, 1998).

Quadro 1. Fontes de dados para pesquisa de mudanças no sistema fluvial (KNIGHTON, 1998).

Observações diretas	Registros com instrumentos; Registros fotográficos; Amostragem do terreno;
Registros históricos	Mapas e fotografias de diferentes datas; Documentos históricos;
Evidências sedimentares	Morfologias e paleocanais;
Técnicas de datação	Métodos relativos; Métodos absolutos;

Atribuídos geomorfologicamente às planícies abandonadas pelo sistema fluvial, os terraços fluviais possuem sua morfologia e origem atrelada às alterações do fluxo de água e sedimentos em decorrência de mudanças climáticas e atividades tectônicas (SUGUIU & BIGARELLA, 1971). A formação de terraços fluviais está presente nas principais calhas de drenagem do Brasil (LATRUBESSE & FRANZINELLI, 2005; SOUZA FILHO, 1997; ASSINE & SILVA, In Press; BIGARELLA & SUGUIU, 1979). Essa morfologia é constituída de área relativamente plana, quando presente em série apresenta-se escalonado, limitados por escarpas com inclinação em direção ao canal. Essas formas atestam importantes significados paleoambientais associados a gênese de lagoas em suas superfícies (STEVAUX & KRAMER, 1998) e atribuídos geneticamente a processos de erosão ou deposição fluvial.

Já no caso das planícies de inundação, a acumulação dos sedimentos possui uma resposta direta a energia do sistema fluvial correspondente a dinâmica hidrológica. Desenvolvida no interior do vale aluvial, a planície de inundação acomoda uma série de morfologias fluviais como diques, crevasses, lagoas, aladiços, paleocanais que estabelecem uma relação entre o sistema rio-planície nos períodos de cheias. No entanto apesar do comportamento hidrológico do canal e da planície estabelecer ligações, ambos os sistemas possuem dinâmicas hidrológicas particulares. A definição da planície de inundação requer um entendimento que essa morfologia fluvial possui uma relação além da dinâmica hidrológica como área inundada próxima ao canal tendo também sua natureza morfogenética atrelada a variados tipos de processos geomorfológicos (ROCHA, 2002).

O conhecimento dos períodos de recorrência de cheia que ativa o sistema rio-planície, pode ajudar a entender melhor a composição e os modos de formação da planície de inundação. Wolman & Leopold (1952) admitem que a frequência de cheias responsável pelo extravasamento do canal (nível de margens plenas) pode variar amplamente entre regiões. No entanto esses autores ao compararem rios localizados nos Estados Unidos e na Índia puderam perceber uma uniformidade na frequência de cheias (1,58 anos) apesar das diferentes condições climáticas. No caso do rio Paraná admite-se um intervalo de 1,09 anos (ROCHA, 2002) determinado a partir da altura do topo das barras e também o período de 5,6 anos considerado pela vazão que atinge a altura dos diques marginais também referida como descarga de margens plenas naturais (FERNANDEZ & SOUZA FILHO, 1995).

Lewin (1996) admite que o conhecimento morfogenético das planícies de inundação, através de suas características e desenvolvimento possui três importantes razões. Primeiro a relação entre as feições morfológicas com os fluxos superficiais do sistema rio-planície e a dinâmica dessas feições. Outro fator deve-se a intensidade dos processos de erosão e deposição no ambiente do canal e também na planície que afeta as propriedades físico-químicas que incidem nas relações ecológicas desses ambientes. E, em decorrência dos registros preservados nesses ambientes.

Os processos deposicionais responsáveis pela morfogênese da planície de inundação são atribuídos a modelos de deposição por acreção lateral e vertical. Apesar da complexidade em definir os processos desses tratos deposicionais na construção da planície admite-se que há a predominância de materiais finos. Contudo em decorrência

de diferentes processos a composição pode apresentar-se bastante variada (LEWIN, 1996). Primariamente atribuiu-se a construção das planícies a depósitos muito próximos do canal com a formação de barras de pontal (LEOPOLD, 1994). Iniciada assim por processos de acresção lateral, esse processo representa na planície um modelo deposicional com a maior diversidade em relação ao tamanho e a textura dos sedimentos (WOLMAN & LEOPOLD, op. cit.).

Contudo Nanson & Crooke (1992) minimizam a importância da acresção lateral nos processos de formação da planície e organizam três principais processos de construção da planície: acresção lateral barra de pontal, acresção vertical resultante de cheias e acresção de canais entrelaçados. E ainda outros três processos menos comuns: acresção oblíqua, acresção em contrapontal e abandono de canais.

Com relação ao suprimento de sedimentos na planície de inundação Lewin (1996) apresenta condições fundamentais para o preenchimento da área. A análise do material quanto ao tamanho e a textura são indicativas da província geológica onde está situado o sistema fluvial, bem como as alterações impulsionadas por interferência, como exemplo: antrópica. A configuração morfométrica da planície aluvial representa as áreas onde o sistema teve competência de depositar em momentos pretéritos. Sendo assim a configuração espacial desse arcabouço está diretamente relacionada ao contexto deposicional, com presença de superfície para o preenchimento ou não dos depósitos de cheia. E, por fim a geometria hidráulica do canal que responde pela competência do canal em transportar e depositar os sedimentos.

De acordo com Lewin (op. cit.) a sedimentação na planície de inundação reflete diferentes processos combinados no sistema fluvial. Neste contexto, o autor admite seis ambientes deposicionais caracterizados em função da sedimentologia e suas respectivas associações faciológicas.

- *Depósitos de fluxo*: referente aos depósitos do leito do canal ativo, superfície linear da erosão basal produzida pela migração do canal. Em decorrência da variação da profundidade do canal a superfície pode ser ondulada.
- *Depósitos de canal*: variedade de geometrias dependendo inicialmente da geometria da barra ativa. Podem ser classificados conforme a posição da barra no canal (médio, lateral, barra de pontal), de acordo com a dimensão (longitudinal ou transversa) ou com a forma (linguóide, crescente, lombada).

Com o tempo essas barras podem progredir lateralmente ou a jusante do canal integrando de diversos modos a planície.

- *Preenchimento de canal*: a forma do depósito e sua seção transversal podem seguir a dimensão do canal formado. Materiais de preenchimento podem ser muito variados, com efêmero acréscimo de material arenoso decorrente da reativação do canal e também podem apresentar material orgânico em ambientes com pouca concentração de minerais ou ainda lâminas de argila decorrentes de ondas de cheia.
- *Canal marginal*: incluem os depósitos de diques e crevasseas. Presença dominante de material arenoso, com decréscimo da granulometria. Os processos também estão relacionados a áreas de acreção por barras.
- *Bacia de inundação* materiais finos com granodecrescência a partir do canal. Relacionados permanentemente ou temporariamente com lagoas. Farrel (1987) determina ainda quatro fatores que são cruciais para a sedimentação nessa superfície: carga suspensa de cheia, a geometria da planície de inundação, a seqüência de desenvolvimento de canais e a natureza da vegetação que cresce na planície.
- *Coluvial ou não fluvial*: podem apresentar-se como importantes coberturas superficiais principalmente nas áreas em que bordejam a planície. Apresenta distinção granulométrica e o material de deflação produzido pela atividade eólica apresenta importante contribuição.

Desse modo a abordagem sedimentológica das feições geomórficas presentes no ambiente aluvial, através de perfis litológicos, possibilita uma melhor compreensão morfogênética do ambiente pretérito em que os depósitos foram formados. A sistematização de fácies através das contribuições de Andrew Miall (MIALL, 1977; 1978) deu suporte ao desenvolvimento de uma seqüência de modelos fluviais adaptados também ao ambiente tropical (STEVAUX & SANTOS, 2000).

3.2 Confluências

O estudo da dinâmica das confluências possui registro de clássicos trabalhos até o ano de 1980, porém credita-se após essa década um grande impulso na qual as confluências tomam maior importância e foco principal dos trabalhos com o emprego de

levantamentos *in locu*, experimentos em laboratório e modelos numéricos, em grande parte combinados. As pesquisas a partir de 1980 desenvolveram-se de forma exponencial baseadas inicialmente no estudo de pequenas confluências e posteriormente na confluência de grandes sistemas (ROY, 2008). Atendendo ao objetivo deste trabalho, a maior ênfase é dada aos aspectos sedimentológicos e morfológicos em zonas de confluência, principalmente em grandes canais. Considerando que é possível obter uma melhor compreensão dos processos morfológicos e sedimentares das confluências atingindo um entendimento da evolução geomorfológica da área em estudo.

As confluências exercem um importante papel no sistema fluvial, desenvolvendo a rede de drenagem através da ligação do fluxo hidrológico entre um ou mais canais fluviais. Desse modo a representação das confluências na rede de drenagem apresenta um importante significado do ambiente em que o sistema fluvial está inserido. Segundo Dingman (2008) pode-se expressar essa característica através de uma abordagem qualitativa na qual a junção dos canais, denominadas de nós, expressa a densidade da drenagem. Esses segmentos representam a ligação entre os canais, materializados pela confluência, possibilitando assim a análise da magnitude da rede de drenagem através do total de ligações entre os canais na bacia de drenagem.

Através dos padrões de canais importantes características do sistema fluvial como morfologia, hidrologia e sedimentologia do ambiente fluvial podem ser relacionados a zona de confluência. As zonas de confluências freqüentemente estão associadas a planícies de inundação que em razão de sua dinâmica de cheias apresentam-se como importantes áreas de retrabalhamento e mudança de curso do canal relacionado também com a geometria que compõe a planície. Os trabalhos sobre confluências nos grandes rios (canais > 100 metros largura) ainda são poucos explorados nas pesquisas. Essa motivação pode diferenciar-se de forma substancial a partir da escala de análise, devido à existência de confluências que possuem bacias hidrográficas com distintos regimes hidrológicos. Acrescida da variabilidade hidrológica dos canais, tem-se também a distinção de litologias e o clima que abrangem as áreas contribuintes de sedimentos para o canal (PARSONS et. al. 2008).

Neste contexto as confluências apresentam uma importante dinâmica em sua configuração espacial podendo através de processos geomorfológicos se estabelecerem em momentos pretéritos tanto a jusante como a montante da configuração atual (ROY & SINHA, 2005; ROY & SINHA, 2007). A junção de canais modelando a rede de

drenagem para a presença de um único leito fluvial implica em uma complexa dinâmica e variadas mudanças nas escalas temporais e espaciais na morfologia do leito fluvial, no fluxo hidrológico e sedimentológico (BEST, 1988). O modelo de transporte de sedimentos na área de confluência é bastante variável, podendo se comportar com diferente capacidade granulométrica do material transportado e alteração entre processos erosivos e deposicionais (BEJESTAN & HEMMATI, 2008; ROCHA & SOUZA FILHO, 2005). A dinâmica sedimentar desse modo passa a responder não somente ao fluxo - expresso diretamente pelo volume da vazão - mas também pela morfologia do canal que mantém restrições sobre a estrutura do fluxo e a direção do transporte de sedimentos (BEST, 1988).

Os fatores responsáveis pela construção das formas no leito fluvial respondem ao ambiente que está inserida a bacia hidrográfica (REID et. al 1989). No caso do fluxo do canal, a precipitação apresenta-se como a principal fonte mantenedora do volume do canal (vazão). Assim, a geração de diferentes ondas de cheias nos canais demonstra a complexidade no entendimento da dinâmica das confluências.

Todavia a morfologia expressa no leito do canal segundo Best (1988) apresenta formas e processos relacionados tanto a montante quanto a jusante da junção dos canais, controladas principalmente pelo fluxo do canal e o ângulo da confluência. A primeira referência decorre da formação de fácies de avalanche na desembocadura do canal na qual se estrutura a barra de desembocadura, sendo de rara ocorrência nos grandes canais. Previamente nota-se o aparecimento de poços profundos desenvolvidos em função da concentração do fluxo. E finalmente ocorrência de barras de desembocadura no canal decorrentes da zona de separação de fluxo (BEST, 1987). No entanto morfologias de leito como essas, podem estar ausentes em confluências, como no caso de poços profundos (BARROS, 2006), ainda constituírem-se de formas desiguais em função dos leitos dos canais serem discordantes e possuírem diferentes proporções em função do tamanho do sistema fluvial (BEJESTAN & HEMMATI, 2008).

Recentemente Best (2008) organizou uma revisão da morfologia de canais em zonas de confluências na qual reconhece a presença ou a ausência de cinco formas. Essa compilação de morfologias do leito fluvial segundo o autor está baseada no resgate de estudos sobre confluências e deve-se a dinâmica hidrosedimentológica do próprio sistema fluvial. Essas definições estão estruturadas quanto à procedência morfogenética que da origem as formas, assim classificadas em: *poços profundos*, *barras de*

desembocaduras, barras centrais, barras laterais a jusante da confluência e zonas de acumulação de sedimento próximo a confluência.

O estudo das confluências pautado em dados sedimentológicos e hidrológicos tem proporcionado a análise da dinâmica de sistemas fluviais em diferentes escalas temporais (GREGÓRIO & MENDES, 2009; ROCA et. al. 2009; SOARES, 2007; BEST, 1988). Desse modo a variação das taxas de sedimentos, em volume e tamanho do material, compõe importantes indicadores das mudanças ocorridas durante a evolução das confluências no sistema fluvial. Tais pressupostos permitem que o estudo do desenvolvimento paleoambiental da zona de confluência, no interior das planícies, registrem as alterações das morfologias do leito fluvial descrita por Best (2008; 1988), o que possibilita compreender melhor a relação entre essas morfologias e os diferentes regimes paleoidrológicos.

Baseado no entendimento das feições presentes na morfologia dos canais, o ambiente em torno das confluências comumente está relacionado às áreas de planícies dos sistemas fluviais que apresentam três distintos ambientes deposicionais. Correspondente a formação de poços profundos tem-se o desenvolvimento de superfícies erosivas que representam os poços e sua distribuição espaço-temporal, a presença de estruturas sedimentares com estratificação cruzada e por último sedimentos associados à formação de barras (BEST, 2008). Baseado nessas estruturas Bristow (1993) propõe uma série de modelos esquemáticos de fácies de sedimentação nas zonas de confluências.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

Com o intuito de se conhecer a evolução quaternária da planície e da confluência, utilizou-se de estratégias e técnicas de abordagens que viabilizassem uma análise geomorfológica de acordo com a escala de estudo (KOHLE, 2001). Primariamente as análises se procederam a partir de informações cartográficas como imagens de satélite e fotografias aéreas, seguido do reconhecimento em campo de algumas morfologias identificadas previamente, e seleção preliminar dos locais para sondagem. Desse modo em uma segunda etapa, com produtos cartográficos e em campo buscou-se identificar os pontos mais representativos para a amostragem dos depósitos e por fim realizar um levantamento de campo com coleta de material para datações e análise de fácies. Considerando as análises de datações realizadas, a escala temporal no

estudo da evolução da paisagem fluvial abrange desde o Pleistoceno Recente até o presente. Já a escala espacial com a interpretação de imagens orbitais e fotografias aéreas constou de bases com escalas de 1: 25.000, 1:100.000 e 1:250.000, sendo os produtos cartográficos gerados com escala de 1:100.000.

O reconhecimento da área em estudo realizou-se com o uso preliminar de produtos de Sensoriamento Remoto. O estudo teve início com a análise das morfologias presentes na planície Paraná-Ivaí, previamente identificadas por intermédio de dados orbitais a partir da construção de um banco de dados no Sistema de Informações Geográficas (SIG) SPRING 5.1.3 e o processamento digital de imagens no software Envi 4.2. Foram utilizados dados da missão SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) e as imagens orbitais dos satélites CBERS 2/HRC, Landsat 5/ TM, Landsat 7/ETM+ e TERRA/ASTER, todos agrupados e georreferenciados em um banco de dados no Sistema de Informação Geográfica (SIG) em projeção UTM e datum WGS 84. As técnicas de Processamento Digital de Imagens (PDI) com os dados de Sensoriamento Remoto utilizadas neste trabalho com a finalidade de discriminação das feições dos paleocanais constituem-se de técnicas amplamente difundidas na literatura.

Diferentes abordagens com dados de Sensoriamento Remoto têm possibilitado a cartografia da paleodrenagem e da drenagem atual em distintas áreas do Brasil. Recentemente, Zani (2008) ao mapear os canais abandonados e a drenagem atual responsável pela construção do megaleque do rio Taquari na região do Pantanal utilizou-se de um amplo banco de dados de imagens multiespectrais para o delineamento dessas feições. Já Mantelli (2008) ao estudar os paleocanais presentes na evolução da Ilha do Marajó obteve no Modelo Digital de Elevação SRTM uma fonte de informação para cartografia dessas feições. Segundo este autor o uso de imagens multiespectrais nessa região Amazônica não permitiu a distinção dessas morfologias em razão da ausência de diversidade fitogeográfica entre as áreas do interior e adjacente dos paleocanais. Há ainda de se destacar a utilização de imagens de radar de abertura sintética (SAR) no reconhecimento da paleodrenagem, dados como esses permitem o reconhecimento através da penetração de ondas por diversos metros na superfície em ambientes áridos, como o deserto do Saara no continente africano (PAILLOU et. al., 2009).

Para a Planície Paraná-Ivaí em razão da escala de trabalho e do tamanho dos paleocanais encontrados a cartografia foi realizada com base na interpretação visual das

imagens HRC/Cbers 2 B, fotografias aéreas e resultados encontrados nos índices descritos mais adiante.

A análise da resposta espectral dos objetos em diferentes intervalos espectrais tem possibilitado a caracterização e o reconhecimento das bandas dos multisensores que melhor representam temas como a vegetação, a água e o solo. O uso de diferentes bandas com a composição de operações aritméticas tem proporcionado a criação e o aperfeiçoamento de índices destinados a realçar características nas imagens como: solo, água, umidade, vegetação e entre outros.

O mais conhecido índice é que possui uma ampla aplicação é o Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), a partir dele estudos da vegetação tem fornecido importantes resultados para o monitoramento da agricultura, florestas e meio ambiente. Esse índice é baseado na razão normalizada dos canais vermelho e infravermelho próximo conforme a equação 1. Já a proposição do Normalized Difference Water Index (NDWI) segue a mesma analogia do índice anterior, contudo aplicado para o delineamento de corpos d'água, com o uso dos canais verde e do infravermelho próximo, respectivas bandas 2 e 4 do sensor TM (GAO, 1996). Com o objetivo de melhorar os resultados eliminando-se os ruídos apresentados através da mistura espectral do solo com a água obtidos através do NDWI, Xu (2006) apresentou um modo alternativo com a modificação desse índice através da substituição da banda do infravermelho próximo usado no NDWI pelo infravermelho médio (banda 5) do sensor TM, passando se assim ao Modified Normalized Difference Water Index (MNDWI).

Outra proposta foi o uso do algoritmo “Tasseled Cap”. Essa operação consiste na transformação das seis bandas TM/Landsat (a banda 6 não é utilizada devido sua resolução espacial de 80 metros) através de uma matriz de covariância calibrada para cada tipo de sensor, nesse caso o sensor TM. Essa transformação produz três novos componentes: “greenness”, “brightness” e o “wetness”, sendo o último considerado em aplicações com o uso do fator umidade (JIN & SADER, 2005). Com a potencialidade dessas operações no emprego da distinção da vegetação, no delineamento dos corpos da água e umidade, buscou-se utilizá-los com o objetivo de ressaltar feições geomorfológicas na área da planície.

Quadro 2. Características das operações com dados TM para realce de feições.

Operação	Canais Espectrais	Bandas do TM	Realce
NDVI	Vermelho e Infra-Vermelho Próximo	3 e 4	Vegetação
NDWI	Verde e Infra-Vermelho Próximo	2 e 4	Água
MNDWI	Verde e Infra-Vermelho Médio	2 e 5	Água
“Tasseled Cap - Wetness”	Todos (exceto o canal Termal)	2, 3, 4, 5 e 7	Umidade

A cena utilizada para o cálculo dos índices é referente a data de 11/09/1998 do satélite Landsat 5/ sensor *Thematic Mapper*, as transformações dos valores digitais em valores de refletância seguiu a proposição utilizada por GÜRTLER, et. al. 2005. O processamento dos dados gerou índices compostos por divisões normalizadas (Eq. 1, 2 e 3) que por sua vez corresponderam a dados matriciais normalizados com informações espectrais entre -1 e 1 (ex. Ponzoni & Shimabukuro, 2008).

$$1. \text{NDVI} = \frac{R_{IVP} - R_V}{R_{IVP} + R_V} \quad (1)$$

$$2. \text{NDWI} = \frac{R_{VE} - R_{IVP}}{R_{VE} + R_{IVP}} \quad (2)$$

$$3. \text{MNDWI} = \frac{R_{VE} - R_{IVM}}{R_{VE} + R_{IVM}} \quad (3)$$

Onde: R_{IVP} = Reflectância no infravermelho próximo;

R_V = Reflectância no vermelho;

R_{VE} = Reflectância no verde;

R_{IVM} = Reflectância no infravermelho médio.

Cada produto de Sensoriamento Remoto analisado no SIG contribuiu conforme a sua escala, pois a maioria diverge em resolução espacial. Os trabalhos de campo permitiram a coleta de amostras sedimentológicas, tomada de fotografias oblíquas e o reconhecimento de formas na planície. Em conjunto ao banco de dados geográficos adicionaram-se pontos coletados com informações coletadas em campo a partir de um Sistema de Posicionamento Global (GPS) de navegação.

Os dados sedimentológicos amostrados foram coletados com o uso do equipamento de vibração denominado *vibro core*, contudo também foi utilizado

primariamente ao equipamento, trado mecânico em razão da dificuldade do primeiro em conseguir atravessar o início de alguns depósitos com camadas de argila. A análise sedimentológica dos dados foi interpretada a partir do código de fácies proposto por Miall (1977), porém com a finalidade adotada por Santos (1997). Esse último autor adota o conceito de fácies como “um corpo de sedimentos com características físicas (granulometria, estrutura, paleocorrente, geometria e matéria orgânica) próprias, porém distintas dos corpos adjacentes”. O uso do modelo de fácies visa identificar os processos atuantes na construção dos depósitos analisados e assim associá-los a morfologias características.

Para análise da idade dos depósitos foram encaminhadas duas amostras de sedimentos arenosos à empresa Datação, Comércio e Serviço Ltda. sob coordenação do Dr. Silvio Luiz Miranda Brito. As amostras são referentes à base do Terraço Fluvial coletadas a 1,5 metros e a outra amostra do Leque Aluvial do córrego Dourado coletada a 1,8 metros. Ambas as amostras foram adquiridas com o uso de tubo PVC precavendo-se de conservar a amostra de possível contato com a radiação solar. O método de datação utilizado foi o de Luminescência Opticamente Estimulada (LOE) em que se determina quando um material foi exposto à luz solar pela última vez durante um período mínimo de 6-8 horas. Acrescenta-se ainda o fato de não haver datações em depósitos dos paleocanais em razão da ínfima quantidade de material orgânico encontrada não suprir a demanda necessária para a datação por radiocarbono (^{14}C).

5. RESULTADOS

O Alto Rio Paraná na porção que segue até a confluência com o rio Ivaí possui a maior parte de sua planície de inundação localizada em sua margem direita (ROCHA, 2002), contudo a área denominada como Planície Paraná-Ivaí localiza-se na margem esquerda e registra importantes aspectos geomorfológicos da evolução da planície e confluência dos rios Ivaí e Paraná. Apesar de abrigar uma única unidade na proposição do mapeamento geomorfológico da planície aluvial do rio Ivaí de SANTOS et. al. (2008) a área possui uma dinâmica singular, em razão dos processos de construção da planície serem relacionados à dinâmica da confluência dos rios Ivaí e Paraná. Nessa área a recorrência das cheias dos sistemas fluviais potencializa a manutenção de áreas

úmidas e alagadiças em parte do ano e também colabora para a ocupação da área e para certas atividades agrícolas em função das características de áreas úmidas.

O uso do solo da planície com atividades agrícolas foi possível graças às adaptações efetuadas na morfologia do terreno. Em decorrência da constante saturação do solo, houve a construção de drenos que favoreceram a agricultura e também a pecuária. A rizicultura, muito presente na região é favorecida devido aos períodos de inundação e à umidade presente na planície. Essa cultura apresenta-se como uma questão polêmica por contrariar em alguns momentos a legislação que protege as Áreas Úmidas no Brasil e também pela possível ausência de regularização dessas áreas conforme a legislação que trata do assunto em caráter estadual, p. ex. SEMA/IAP, 2008.

A área até meados da década de 1950 possuía abundante formação florestal denominada como Floresta Estacional Semi-Decidual Aluvial (IBGE, 1992), que posteriormente, cedeu espaço as ocupações agropastoris. Um fato que chama bastante atenção, constatado através dos levantamentos de campo, é a construção de um extenso dreno sobre trecho do canal Córrego Dourado que é um afluente de primeira ordem do rio Ivaí próximo a confluência. Segundo agricultores locais a motivação maior para tal fato “deve-se a uma rede de canais desorganizados que se formava no local e que mantinha a área toda úmida”. Posteriormente a levantamentos realizados no local e análises de dados de Sensoriamento Remoto constatou-se que isto ocorria devido a formação de um leque aluvial construído pelo canal acima, que ao transportar suas águas espalhava sobre a planície formando a respectiva morfologia.

A planície é bordejada em seus setores sul e norte por dois níveis de terraços sendo que em um pequeno segmento o contato ocorre diretamente com a cobertura pedológica da Formação Caiuá, trecho onde há a formação do leque (Fig. 3). Conforme a figura abaixo, pode-se notar que o primeiro trecho do terraço recobre as adjacências ao norte e ao leste da planície perfazendo um contato abrupto com a área dela. A topografia é relativamente plana com o desenvolvimento de lagoas associados a essas morfologias.

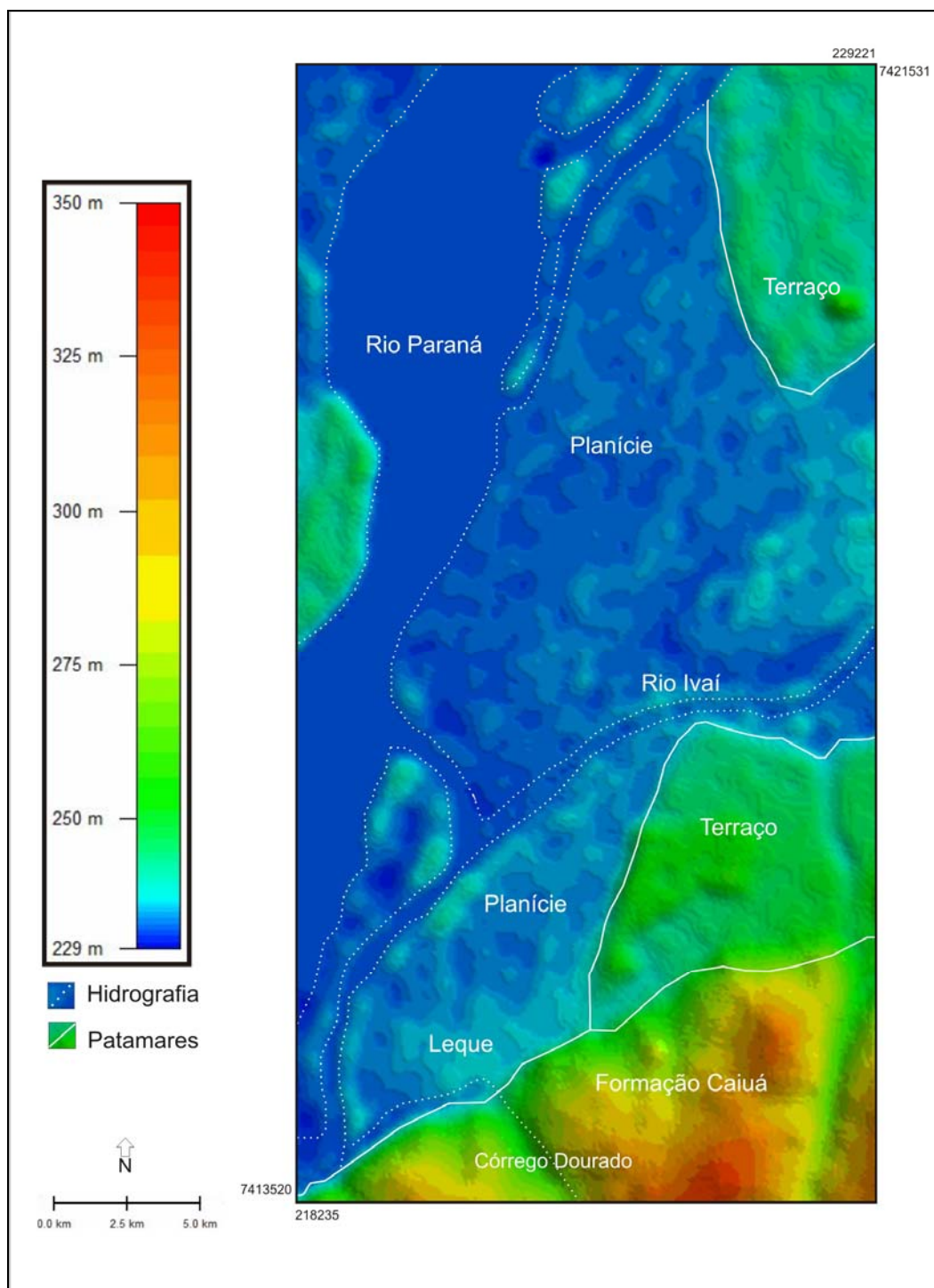


Figura 3. Modelo Digital de Elevação obtido a partir dos dados SRTM.

Na base do terraço junto a planície ocorre um horizonte de cascalhos polimíticos com matriz arenosa, dotados de seixos de calcedônia, arenito e sílex imbricados (SANTOS et. al. 2008). Já na porção sul da planície ocorre outro nível de terraço de menor área que o primeiro, provavelmente associado à continuidade do terraço anterior. Essa sequência de terraços reproduz importantes evidências para a temática do trabalho

uma vez que contribui para a hipótese, que, durante a evolução dos sistemas a confluência tenha migrado a montante do modelo atual. O reconhecimento da paleodrenagem do sistema Paraná e Ivaí em momento pretérito durante o Quaternário favoreceu o alinhamento com os terraços ali presentes. Sendo posteriormente abandonada a paleodrenagem do rio Paraná promovendo a formação da planície (atual Planície Paraná-Ivaí) e assim a favorável condição para a instalação da confluência atual, acompanhada do ajuste dos canais.

5.1 Aplicações de Sensoriamento Remoto na Identificação de Aspectos da Geomorfologia Fluvial

O uso de informações remotas como fotografias aéreas e imagens de satélite tem contribuído extensivamente para os estudos de Geomorfologia Fluvial (HARDY, 2005) uma vez que permitem o levantamento de grandes extensões e a “observação” em locais de difícil acesso. Assim características como a vegetação e a umidade do solo respondem como importantes indicadores geomorfológicos que podem ser analisados com o apoio de dados de Sensoriamento Remoto (GILVEAR & BRYANT, 2003). No caso do curso superior do rio Paraná, Meurer (2004) ao analisar em conjunto dados orbitais e cotas fluviométricas da região de Porto Rico, propôs limites das áreas de inundação. Já Andrade (2006) com o apoio deste recurso estudou a mesma área e utilizou de tais ferramentas e levantamentos em campo para o mapeamento de morfologias e processos fluviais atuantes na planície de inundação.

A compilação de um banco de dados orbitais e a pesquisa bibliográfica sobre as cheias experimentadas pelo rio Paraná permitiram a identificação das diferentes respostas da planície frente aos momentos de vazante e jusante do sistema Paraná-Ivaí. Vale destacar ainda a intenção preliminar de utilizar o Modelo Digital de Elevação constituído a partir da missão SRTM. Porém mesmo com o emprego de melhorias na resolução desses dados com o método proposto por Valeriano (2001), na qual se obtém uma melhoria na resolução de 90 metros para 30 metros, os resultados obtidos se mostraram pouco relevantes para a escala de detalhe utilizada nesse trabalho. Ainda estes dados foram úteis na distinção das unidades canal-planície-terraço, contudo pouco eficientes na discriminação das feições dos paleocanais. Ressalta-se ainda que as feições dos paleocanais através dos dados topográficos tomados no ano de 2001 foram em maioria, deturpadas pelas intervenções agropastoris na área.

A feição geomorfológica mais proeminente e de maior contribuição para o entendimento da evolução da planície são os paleocanais. Essa forma apresenta-se em tamanhos variados, contudo menores que os canais que compõe o sistema atual Paraná e Ivaí. Sua topografia é deprimida passível de reconhecimento em campo e freqüentemente associada à vegetação característica das áreas mais úmidas da planície. A representação cartográfica dessas feições permitiu a identificação de antigos cursos tanto do rio Ivaí e do Paraná e o reconhecimento da direção assumida por esses canais em momentos pretéritos ao modelado fluvial atual, demonstrando a intensa dinâmica dos canais na área da confluência desses sistemas (Fig. 4).

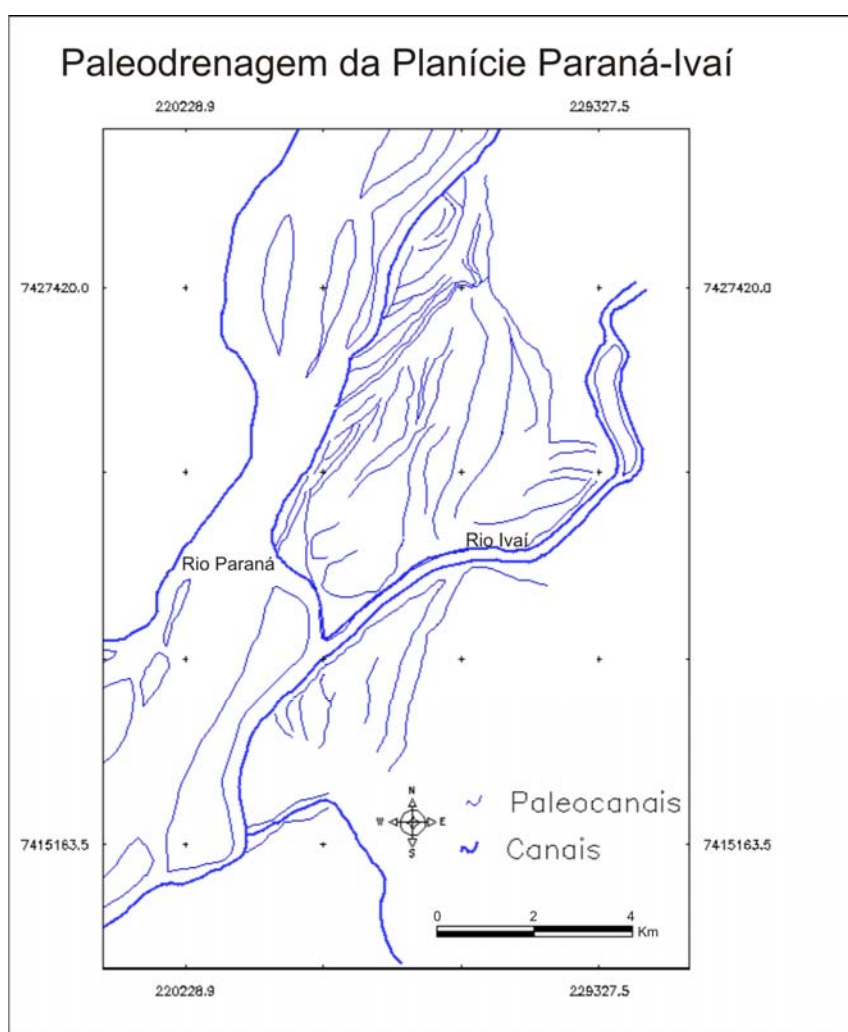


Figura 4. Representação cartográfica da paleodrenagem dos rios Ivaí e Paraná, na área da Planície Paraná-Ivaí.

Ao norte do rio Ivaí, próximo ao rio Paraná nas adjacências do Terraço Fluvial ocorre uma série de paleocanais que são relacionados a um mesmo desenvolvimento. A forma do conjunto desses paleocanais apresenta-se em espiral, algo semelhante a

mobilidade e abandono de canais meandantes e diferente da forma dos demais paleocanais que compõem a planície. Ainda ao norte do rio Ivaí, mas já próximo a confluência há a presença de paleocanais orientados em direção N-S, paralelos ao desenvolvimento do sistema atual e inferiores à largura dos que compõe o sistema atual. Nas margens do canal atual do rio Ivaí, ocorre paleocanais referentes a esse mesmo sistema. Uma importante característica e resultado nessa área é a identificação da antiga junção dos canais dos rios Ivaí e Paraná (Fig.5). Esta paleoconfluência dista aproximadamente 6 km da atual confluência e era formada por um paleocanal da margem direita do rio Ivaí. Próximo nota-se ainda os ressaltos na área provavelmente relacionados à paleobarras ou paleoilhas que compunham o antigo sistema fluvial.

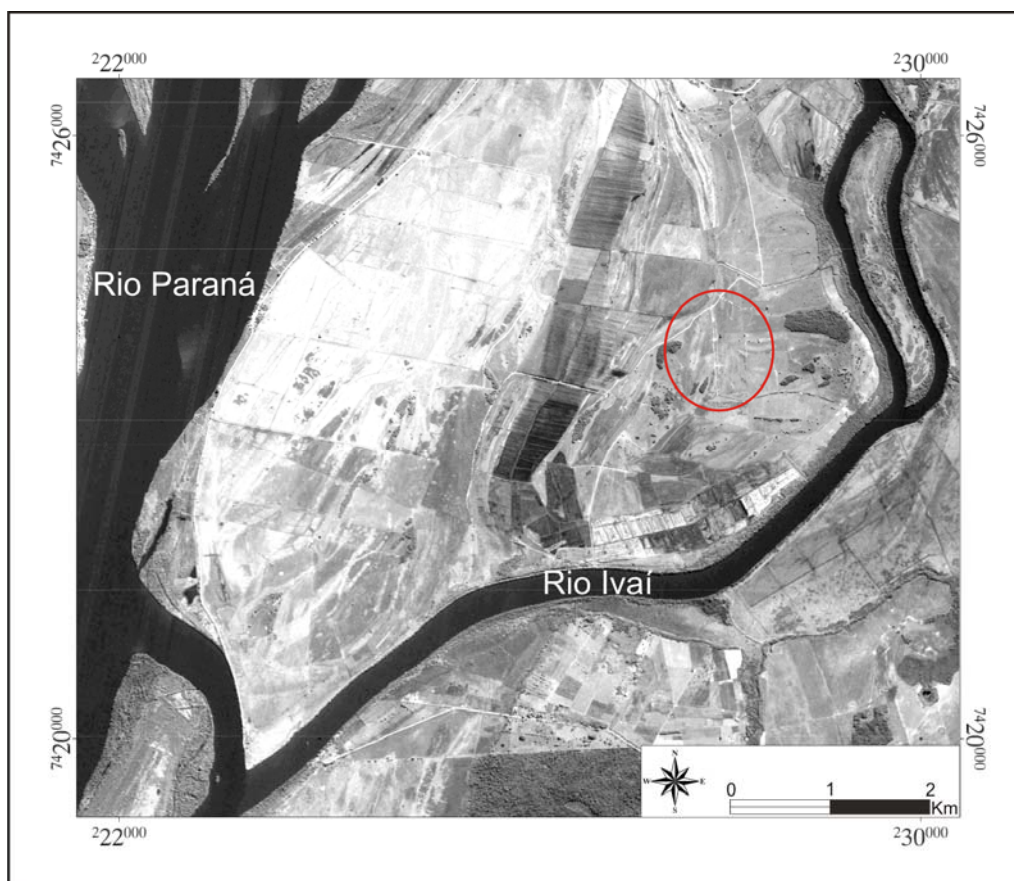


Figura 5. O círculo em vermelho evidência a área da paleoconfluência. Resultados de datação por LOE no terraço fluvial revelaram a idade de 23.400 A. P. o que permite inferir que até esse momento a confluência estava nessa região.

Além dos resultados apresentados pelas imagens orbitais que atestam as respostas atuais da planície também se contou com o uso de fotografias aéreas do ano de 1970. O uso das fotografias apresentou-se vantajoso por dois motivos: a data da tomada das fotos em que pode se analisar a planície sem a interferência da ocupação humana e a relação dos detalhes oferecidos pela escala aproximada de 1: 25.000. Esses dados

também contribuíram para análise multitemporal da paisagem fluvial da planície entre esse período até o momento presente, através dos dados HRC/CBERS 2B tomados em 24/05/2008.

A análise multitemporal da planície de inundação entre os anos de 1970 e 2008 mostra a ausência de formas ou processos fluviais que tenham sido desenvolvidos durante esse período. Contudo, nota-se o incremento de atividades agrícolas e ao analisar imagens correspondentes a períodos de cheia encontram-se possíveis ocorrências de rompimento de diques marginais, processos denominado de crevasseas o qual favorece a entrada de fluxo do rio Paraná em direção a planície, próxima a confluência.

O reconhecimento das respostas espectrais do solo se deve em função de fatores como: quantidade de matéria orgânica, umidade, tamanho da partícula do solo, composição mineral e a cor do solo. O fator umidade é comumente associado às feições da topografia dos paleocanais o que torna uma importante marca da área. A presença de água na planície ocorre de modo gradual e predominantemente através da elevação do nível do lençol freático, encharcando assim primeiramente os paleocanais na planície, o que proporciona também a presença de vegetação distinta nessa morfologia (Fig. 6). Os paleocanais presentes na área são parcialmente identificados nas imagens HRC/CBERS 2B e TM/Landsat e ainda em fotografias aéreas. Contudo, propôs-se por experimentar técnicas de Sensoriamento Remoto que possibilitasse maior realce dessas feições em imagens Landsat 5/TM. Assim as imagens orbitais podem contribuir com a discriminação espectral entre áreas úmidas e não úmidas na planície de inundação podendo eventualmente contribuir no tocante a espacialização dos paleocanais.

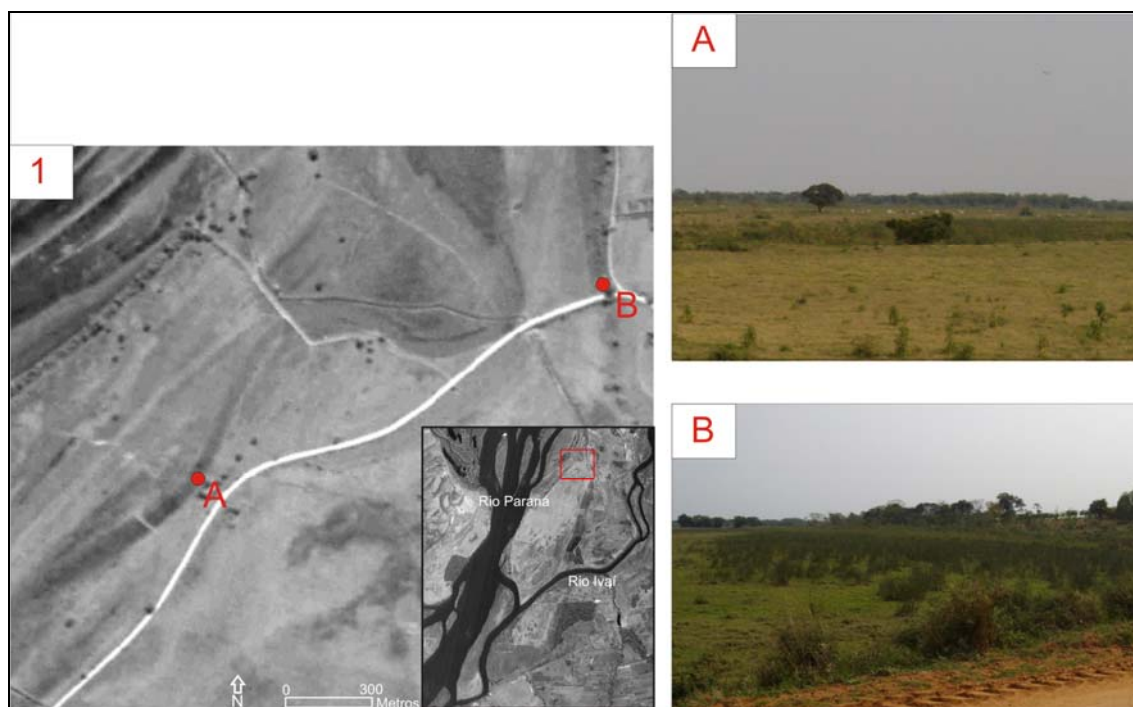


Figura 6. Imagem orbital (1) CBERS 2B/HRC na qual é possível a identificação visual das feições relativas aos paleocanais; A e B referem-se a fotos oblíquas obtidas no reconhecimento em campo, notar a correspondência da vegetação com as feições dos paleocanais delineada em azul.

Nesse sentido o intervalo espectral da banda 5 da série de satélites LANDSAT 5 e 7 proporciona as informações mais detalhadas a respeito da umidade do solo. O maior destaque das áreas úmidas deve-se a progressiva absorção da refletância nas áreas com maior umidade (Jensen, 2009). As informações presentes na banda 5/TM mostraram-se muito valiosas para a cartografia dos paleocanais. Primeiro por esses dados apresentarem um amplo contexto multitemporal (1983-2009), e também em razão do menor intervalo espectral dos dados, por exemplo da banda 5/TM (0,45-0,52 μm), do que os dados pancromáticos HRC/CBERS (0,50-0,80 μm), característica que viabiliza uma melhor representação dos dados. Com isso é possível mapear feições que somente eram definidas com os dados Landsat, por razões da temporalidade dos dados (feições em imagens HRC do ano de 2008 aparecem deturpadas com a agricultura).

Os índices obtidos por intermédio das operações aritméticas com as bandas do satélite Landsat 5 demonstraram uma distinção clara entre os ambientes na planície e também no terraço. Nos terraços os resultados obtidos com os índices ressaltam a ocorrência das lagoas. Há também a direta intervenção das atividades agrícolas na deturpação dessas formas e conseqüentemente alteração da umidade devido ao comum uso de drenos artificiais para a prática da rizicultura. Notou-se que a parte norte da planície, na margem direita do rio Ivaí, apresenta a maior concentração de áreas úmidas,

importante aspecto provavelmente quanto ao momento de abandono desses canais. Contudo entende-se que as partes norte e sul da planície (margem direita e esquerda do rio Ivaí) constituíam uma paleodrenagem interligada.

Quando comparada a imagem original sem nenhuma técnica de processamento digital ou mesmo a imagem reflectância com os resultados encontrados nos índices pode-se perceber que os resultados dos índices atestam valores com transições nas áreas de ambientes úmidas de modo gradual enquanto que nas imagens o limite não contém grandes diferenciações de valores.

A Figura 7 mostra o uso dos índices em uma mesma área da planície. O índice NDVI (Fig. 7. A) apresentou as áreas com vegetação mais exuberante com os maiores valores do índice, como de seu propósito, sendo a representação dos paleocanais identificada como áreas de menores resultados de vegetação. Já a Figura 7. B apresenta um resultado com baixo contraste das feições na planície. O índice MDWI (Fig. 7. C) apresenta valores muito próximos ao NDVI com baixo alcance para o delineamento das feições dos paleocanais. Contudo a relevância no tratamento dos dados Landsat deve-se ao emprego do “Tasseled Cap”, Figura 7. D. A componente “Wetness” gerada por essa transformação apresentou um expressivo realce, permitindo uma ampla distinção dos canais que formam a paleodrenagem na área da Planície Paraná-Ivaí. Provavelmente pelo uso de seis bandas do Landsat (três vezes mais a quantidade de informações utilizada nos outros três índices) o ganho de realce foi superior.

Vale destacar que mesmo os índices NDVI, NDWI e MNDWI não apresentando resultados como o encontrado com Tasseled Cap, os ganhos de informação com a aplicação dessas operações possibilitou melhor qualidade na identificação dos paleocanais que o uso das imagens originais. Outra importante questão é que na área da planície Paraná-Ivaí (Fig. 6) o resultado com os índices possibilitou identificar visualmente paleocanais que não são encontrados em imagens de alta resolução HRC/CBERS e também nas fotografias aéreas que constituem o SIG.

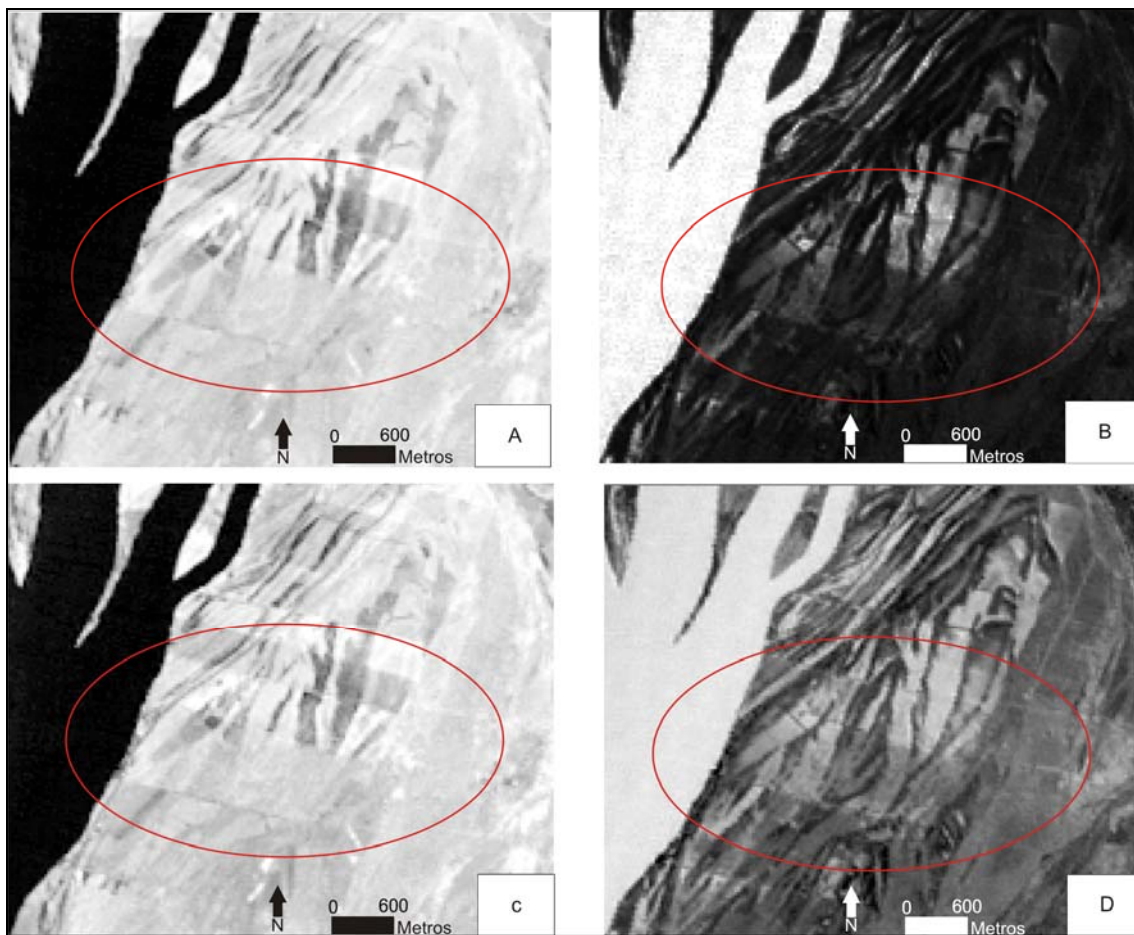


Figura 7. Trecho da Planície Paraná-Ivaí: (A) NDVI, (B) NDWI, (C) MNDWI e (D) “Tasseled Cap - Wetness”, notar na área circulada em vermelho a diferença de realce nas feições paleocanais encontrado com a aplicação dos índices.

Os aspectos hidrodinâmicos dos canais dos rios Ivaí e Paraná na região da confluência apresentam significativa variabilidade em razão do tipo, tamanho e quantidade de carga transportada. As diferentes características climáticas e geomorfológicas das duas bacias promovem diferente oferta de sedimentos para os respectivos canais fluviais. Contudo um resultado encontrado no processamento da cena Landsat tomada no ano de 1998 chamou atenção para a identificação da possível tese de barramento do rio Paraná sob o rio Ivaí (FRANCO et. al. 2008) e do barramento do rio Ivaí sobre o rio Paraná (BARROS, 2007).

No resultado do índice NDWI nesta data, as características de transporte de carga suspensas do rio Ivaí e do rio Paraná foram ressaltadas. O índice demonstrou que neste momento a dinâmica do rio Ivaí atuava sob o “braço” do rio Paraná, condicionando a ele um barramento de suas águas, contrário ao pressuposto por Franco et. al. 2008 e de acordo com o resultado de Barros 2007. Contudo este resultado é pontual e não é objetivo deste trabalho. Sugere-se assim para maiores esclarecimentos

um prolongamento da investigação de séries temporais de dados de Sensoriamento Remoto em conjunto com dados hidrológicos nas pesquisas sobre a hidrodinâmica da confluência dos rios Ivaí e Paraná.

5.2 Associações de Fácies e Gênese dos Depósitos Fluviais

As mudanças ambientais que transcorreram durante o período Quaternário sobre o sistema fluvial do rio Paraná resultaram em alterações na rede de drenagem. Essas mudanças, no caso do rio Paraná, favoreceram o desenvolvimento de sua planície de inundação, em que até a sua fase de formação atual progrediu com diferenciado grau de deposição sedimentar, refletindo desse modo, o montante de energia do sistema regido pela evolução dos padrões de canal do rio Paraná (STEVAUX & SOUZA, 2004). No caso dos depósitos constituintes da planície do rio Ivaí, Santos et. al. (2008) apresentaram uma caracterização geral do segmento aluvial desse sistema, porém ainda são escassos os estudos locais que pontuam a evolução da planície como objeto de estudo. A planície do rio Ivaí, segundo estes autores, está entre o trecho de 150 km desde a confluência até a Corredeira de Ferro, próximo ao município de Tapira. Essa área apresenta um conjunto de paleomeandros bem marcados desenvolvidos no Pleistoceno Tardio, compostos predominantemente por espesso pacote argiloso.

O canal do rio Ivaí possui importante controle tectônico, encaixado com proeminentes diques marginais que dificultando o extravasamento de águas para a planície durante o regime de cheias. A composição desses diques é bastante coesa em decorrência do material argiloso que o compõe. Apesar de não possuir uma mobilidade atual ou qualquer processo similar o sistema possui um expressivo conjunto de paleomeandros no interior de sua planície. O modelado sinuoso do canal é atribuído a estrutura geológica e lineamentos regionais reconhecidos na literatura geológica e que na região controlam a forma da planície e também dos meandros do rio Ivaí.

As análises sedimentológicas realizadas na planície com uso de sondagens proporcionaram o conhecimento do material que compõe a planície aluvial na confluência do rio Ivaí com o rio Paraná. As sondagens realizadas nos paleocanais com o uso do *vibro core* e o trado mecânico permitiram reconhecer diferentes depósitos sedimentares associados ao desenvolvimento da planície. Os testemunhos foram obtidos nas porções norte e sul da Planície Paraná-Ivaí na qual foram coletadas amostras para datação (Fig. 8).

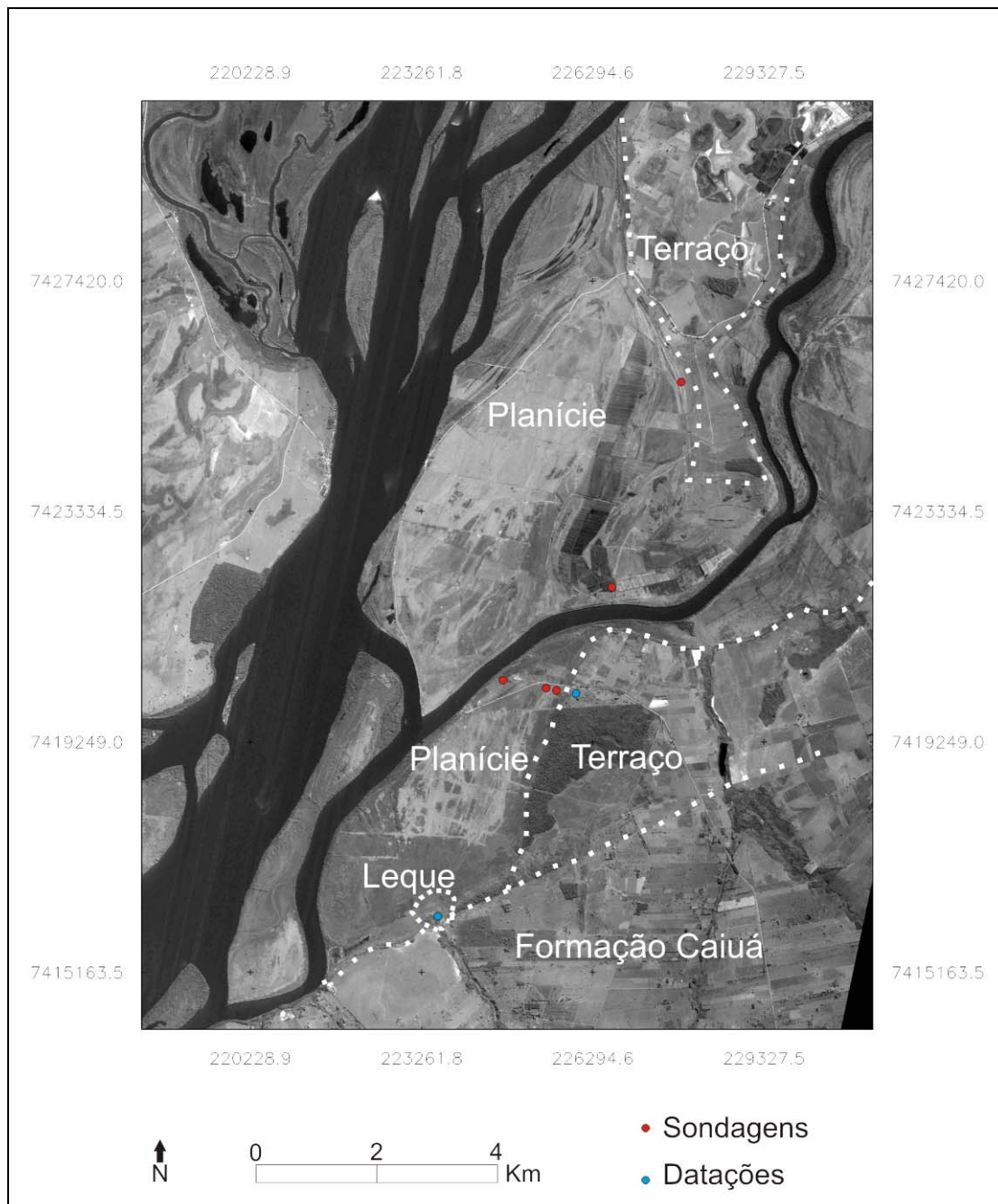


Figura.8. Localização das sondagens e datações realizadas na planície. A datação ao sul refere-se aos depósitos do Leque Aluvial do Córrego Dourado.

A análise da faciologia dos depósitos aluviais permitiu reconhecer 4 tipos de fácies sedimentares predominantes no desenvolvimento da planície (Fig. 9). Essas fácies desenvolveram-se em diferentes estágios do sistema fluvial, com diferenciados graus de energia. Estas fácies e suas associações representam depósitos de canal e depósitos desenvolvidos em ambientes lóticos na planície aluvial, como em lagoas e pântanos.

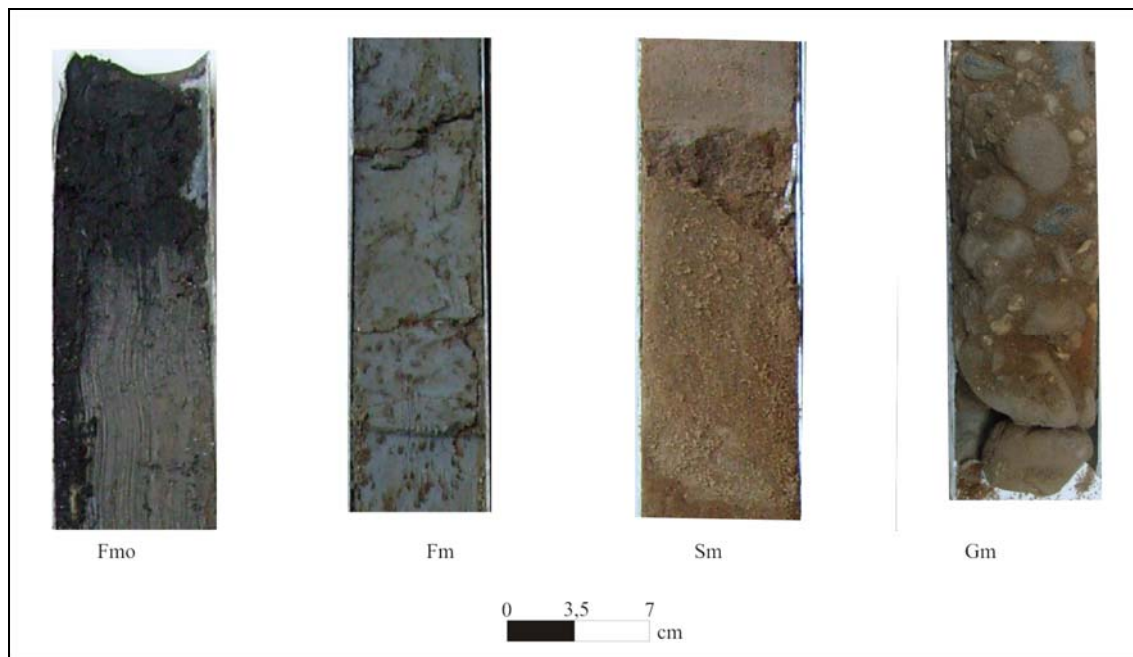


Figura 9. Fácies sedimentares dos depósitos da Planície Paraná-Ivaí.

Fácies de matéria orgânica em decomposição –Turfa –(fácies Tr)

Essas fácies são compostas de material orgânico parcialmente decomposto como folhas e galhos e possuem coloração negra. Sua coloração se deve a grande quantidade de material em lento processo de decomposição ocasionado pela constante umidade nas áreas que se encontram essas fácies. Ocorrem na planície associadas às áreas de baixios que preservam certo grau de umidade. Está associada a topografia rebaixada próximo a lagoas, ocorrendo de modo superficial alcançando aproximadamente 1 metro de espessura. As áreas que matém esse tipo de fácies estão localizadas próximo aos canais do rio Ivaí.

Fácies de argila com presença ou não de matéria orgânica – (fácies Fm/Fmo)

Composta de partículas de sedimentos finos da fração argila em camada maciça. Em algumas sondagens não se encontrou material orgânico no topo das fácies. Contudo com o prolongamento da sondagem notou-se que, as que possuíam matéria orgânica apresentam granodecrescência ao longo da amostra. Os contatos entre as fácies adjacentes tanto no topo quanto na base ocorrem de modo gradual. São as mais comuns na superfície da planície de inundação dispostas sub-superficialmente quando há fácies Tr. A deposição de pelitos evidência um ambiente de baixíssima energia relacionado a pântanos e lagoas durante as fases de abandono dos canais.

Fácies de areia maciça com presença ou não de matéria orgânica – (Sm/Smo)

Essas fácies são compostas por areia fina e em alguns pontos são associadas à concentração de matéria orgânica. Sendo ausente de estruturas e constituídas de camada maciça e com contato gradual entre a fácies Fm e abrupto quando precedida da fácies Gm. Sua ocorrência deve-se ao transporte de sedimentos pelo canal em ambientes com média a alta energia. Nas sondagens realizadas aparece com nítida granodecrescência, demonstrando a perda de energia ao longo do perfil. Ocorre também de forma intercalada às fácies Fm/Fmo, demonstrando descontinuidade no processo de abandono do canal.

Fácies de cascalho com matriz arenosa – (Gm)

Os cascalhos encontrados em todas as sondagens realizadas na planície também foram observados no afloramento que ocorre no contato do terraço com a planície e no fundo do canal do rio Paraná. Essa camada apresenta-se com suporte de material arenoso e em único caso encontrou-se suportado por material argiloso. Remete a ambientes com alta energia relacionada a eventos torrenciais com capacidade de remobilização de material grosseiro. Na bacia do rio Paraná essa faciologia é discutida em SANTOS (1999), que organiza duas diferentes denominações de depósitos rudácios: poligomíticos e os olígomiticos, sendo na planície as fácies Gm associadas aos depósitos poligomítica de baixa vertente.

5.3 Geomorfologia e Evolução da Planície Paraná-Ivaí

Para a interpretação dos processos e formas fluviais o uso da cartografia geomorfológica torna-se uma importante ferramenta. Introduce a possibilidade de sintetizar às variáveis analisadas em um estudo e representa melhor a representação dos processos através da distribuição espacial dos eventos (ANDERSON & BURT, 2005). A representação das informações pode ser dividida entre qualitativas e quantitativas. No caso de estudos morfogenéticos da paisagem atenta-se para respostas sobre os materiais, idades e processos que compõem determinada área.

Neste estudo considerou-se para o mapeamento geomorfológico informações oriundas de produtos cartográficos gerados por intermédio dos dados de Sensoriamento Remoto, levantamentos em campo, análises sedimentológicas e faciológicas. Esta análise resultou em uma divisão da planície em 4 unidades agrupadas por intermédio de

sua correspondência morfológica e genética e em conjunto com a similaridade de processos que formaram a área (Fig. 10).

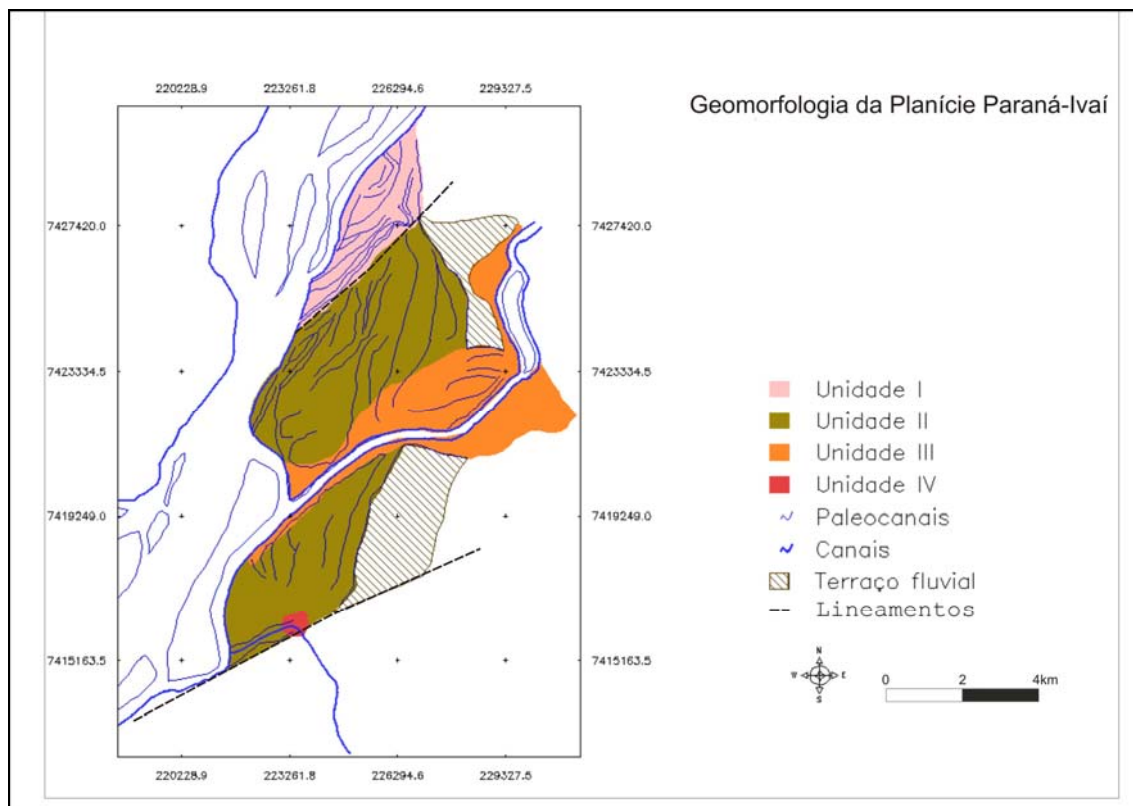


Figura 10. Mapa geomorfológico da área em estudo.

Unidade I- apesar de situar no interior da Planície Paraná-Ivaí, essa área tem sua gênese associada exclusivamente ao rio Paraná. A área é de suma importância por abrigar o local de abandono da paleodrenagem do rio Paraná e assim a antiga zona de entrada de água no sistema, sendo o abandono dos canais dessa área, motivação para o desenvolvimento da planície de inundação. Essa área comporta quase que exclusivamente paleocanais com características únicas na planície. Em planta esses paleocanais apresentam-se em forma próxima a de paleomeandros. Tais características provavelmente são decorrentes da formação de barras laterais às margens dos canais, que com a dinâmica do sistema foram sedimentadas e retrabalhadas pelo rio Paraná interrompendo a entrada de água nos antigos canais.

Unidade II - compreende a maior área da planície e possui expressivo conjunto de paleocanais do rio Paraná orientados em sentido N-S. Abrange tanto ao norte da planície quanto o sul, em relação ao canal do rio Ivaí. A paleodrenagem apresenta um sistema multicanal envolto de peleobarras identificadas nos produtos de Sensoriamento Remoto como as áreas de maior altimetria, o que provavelmente deve ter favorecido a

fixação da vegetação de maior porte na planície. Essas características já foram anteriormente pormenorizadas por Souza Filho (1993) que atribuiu a essas áreas a denominação de Zonas Retrabalhadas e Zonas Reliquiars, pertencentes ao Terraço Baixo. Outra unidade geomorfológica assumida por este autor é a Planície Fluvial que abriga a Zona de Paleobarras, descrita pela presença de feições fusiformes com até 10 km de extensão por 2 ou 3 km de largura, semelhante as características da planície nessa área.

O conjunto de paleocanais selecionados para amostragem sedimentológica foi escolhido a priori pela relação com a dinâmica do rio Paraná, do rio Ivaí e do ambiente da paleoconfluência. Em razão da topografia e da consequente manutenção da umidade a presença de turfa (fácies Tr) é assegurada somente em alguns pontos dessa unidade em que as feições do paleocanais preservaram um terreno levemente mais rebaixado. A fácies Fmo alcança até 205 cm, sendo identificada em todas as sondagens realizadas nessa unidade. O depósito que compõe essa fácies é de um material argiloso rico em matéria orgânica. Sua coloração negra varia de acordo com a profundidade do depósito e também com a distância do material analisado em relação aos (paleo)canais. A presença desse material e a sua descontinuidade fornecem indicações do preenchimento depositado em ambientes de baixa energia, como lagoas, durante o abandono do canal e o desenvolvimento da planície. A análise da associação faciológica das sondagens em paleocanais mostra uma granodecrescência com a sucessão das fácies Gm-Sm-Fm, Figura 11. Esta perda de energia revela o abandono dos paleocanais analisados. Simultaneamente ao que foi visualizado por Santos (1997) para o rio Paraná na região de Porto Rico, Pr.

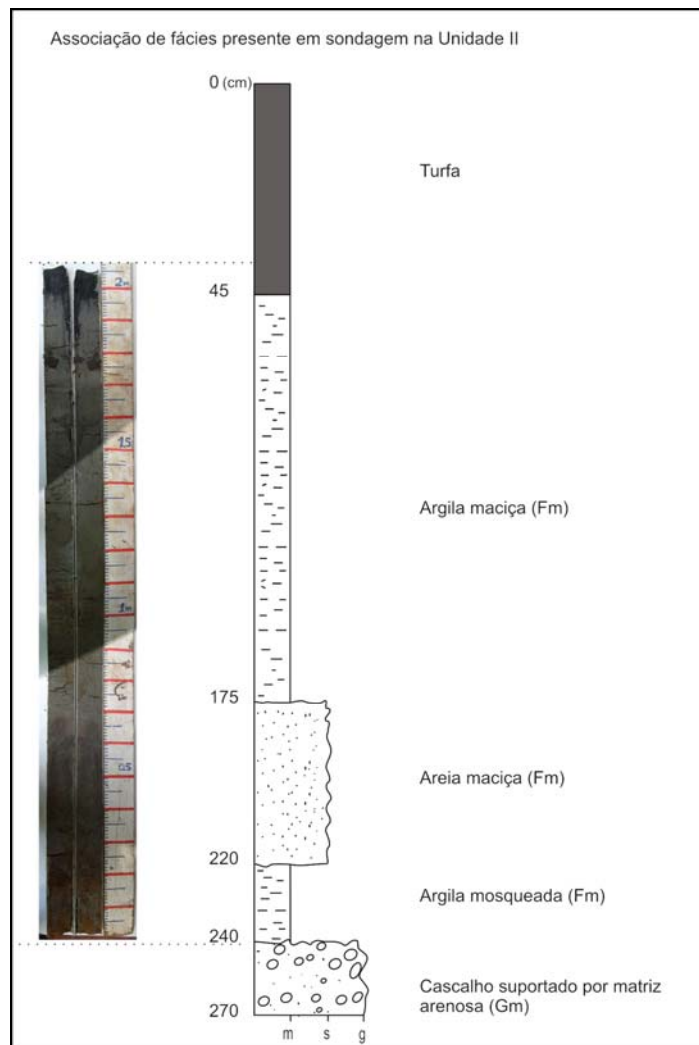


Figura 11. Associação fácies encontrada na Unidade II.

Unidade III – Essa unidade apresenta grande importância por concentrar a zona da paleoconfluência dos rios Ivaí e Paraná, expressa de forma bastante evidente pelo encontro dos paleocanais ali presentes. A unidade preserva os depósitos mais recentes decorrentes da dinâmica do rio Ivaí durante a construção de sua planície sobre os antigos depósitos do rio Paraná. Este contexto promoveu a formação de uma área úmida com elevada concentração de matéria orgânica seguida por uma camada de argila com uma topografia suavemente abaulada na adjacência dos diques que bordejam o canal do rio Ivaí.

O ambiente mais próximo ao canal é comumente associado a áreas com certo grau de umidade e que mantêm o maior nível de retrabalhamento dos depósitos pelo sistema fluvial do rio Ivaí. Nessa área está preservada a maior quantidade de turfas, fácies Tr, ocorrente na planície podendo ocorrer até 90 cm dessa associação. A fácies mantém alta concentração de material orgânico em lenta decomposição. Sendo que a fácies é

subordinada a turfa, fácies Fmo é a associação predominante nessa unidade. Nas sondagens realizadas nessa unidade notou-se o prolongamento de argila rica em matéria orgânica em contato abrupto com cascalho granocrescentes envolto de matriz arenosa (Gm). Diferente da seqüência da unidade anterior a presença de material arenoso nessa unidade é de pouca expressão e até mesmo ausente em alguns locais. Contudo quando presente a fácies arenosa (Sm) mostra-se com grande quantidade de matéria orgânica (Fig. 12).

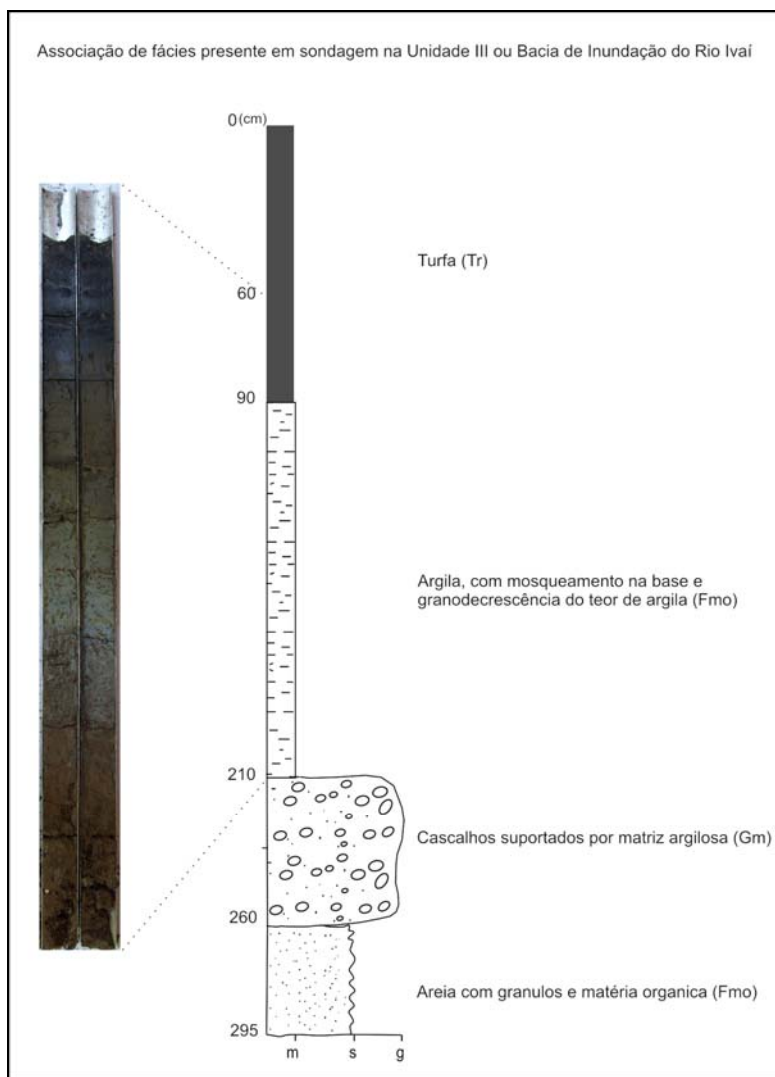


Figura 12. Associação de fácies presente em paleocanal da Unidade III.

A dinâmica de cheia é controlada pelos sistemas fluviais Ivaí e Paraná, podendo ou não ser coincidente o regime de cheias de ambos os sistemas. Essa área é localizada junto à conexão dos canais e participa ativamente da dinâmica atual de cheias destes sistemas, sendo a área em que concentra os maiores indicies de umidade da planície. A entrada inicial de águas na planície nos momentos de cheia acontece inicialmente com

rompimento de dique marginais. Essa área é associada a denominação de bacia de inundação ou *backswamp* caracterizada pelo preenchimento de depósitos finos de cheia e proximidade do canal (Fig. 13).

O calibre da carga de sedimentos transportada pelo canal que preenche a planície de inundação determina a coesão das margens dos canais (HICKIN & NANSON, 1984 apud NANSON & CROOKE, 1992). No rio Ivaí que possui alta concentração de carga suspensa constituída de argila e silte essa relação favorece a coesão das margens do canal mantendo-o encaixado com proeminentes diques marginais (KUERTEN, 2006; BIAZIN, 2005).

Na porção que margeia o lado direito do rio Ivaí há proeminentes diques marginais que bordejam depósitos de turfa alcançando até 1 metro. Nessa porção a morfologia é constituída pela dinâmica do rio Ivaí que trunca a direção da paleodrenagem do rio Paraná que outrora construiu a planície. Contudo pressupõe-se que tal atividade erosiva atribuída ao rio Ivaí só foi possível após o abandono da paleodrenagem do rio Paraná. Concomitantemente o rio Ivaí apresentou maior mobilidade e fixação da estrutura atual de sua planície e confluência sobre os antigos depósitos do rio Paraná.



Figura 13. Vista do canal em direção à planície. A casa ao lado direito está sobre o dique marginal e cerca de quatro metros do canal do rio Ivaí. Ao fundo nota-se a bacia de inundação (Unidade III) alagada durante cheia no mês de janeiro de 2010. Foto cedida gentilmente por Sidney Kuerten.

Unidade IV – Área do leque aluvial sobreposto aos depósitos da planície, referentes à bacia de drenagem do córrego Dourado. Em seu aspecto sedimentológico essa morfologia apresenta-se diferenciada do restante da planície devido a ocorrência de espessa fácies arenosa esbranquiçada à acinzentada, sem estruturas visuais, fácies Sm (Fig. 14). A coloração esbranquiçada e a ausência de estrutura deve-se à posterior bioturbação pela vegetação com a consequente remobilização de óxido de ferro do material arenoso da Formação Caiuá (área fonte do leque). Esse preenchimento sedimentar é similar ao descrito por Souza Filho (1993), em que também registra a coloração acinzentada para demais leques da calha do rio Paraná.



Figura 14. Barranco exposto da Unidade IV em que se nota o preenchimento arenoso do leque aluvial do córrego Dourado sobre o qual desenvolve uma vegetação densa de baixo porte.

A geometria em forma aproximada de círculo deve-se ao padrão de drenagem distributário responsável pelo transporte dos depósitos que compõem a área do leque. O córrego Dourado, drenagem fonte do leque aluvial, ao adentrar a planície forma o leque e muda a direção do canal bruscamente devido ao fluxo do canal interceptar um paleocanal. A construção de leques aluviais associados a calha do rio Paraná está relacionada a duas principais motivações: períodos de aridez e/ ou controle tectônico. A ocorrência de períodos secos relacionados a feições de leques aluviais na região do Alto Rio Paraná é apontada no Holoceno entre 3.000 a 2.000 anos antes do presente

(STEVAUX, 1993; JABUR, 1992; SANTOS, 1997) e ainda 3.500 e 1500 anos antes do presente (STEVAUX, 2000).

Cremon (2009) analisou características morfométricas de bacias no Alto Curso do rio Paraná que produziam feições de leques aluviais e bacias que não possuíam tal feição. Os resultados demonstraram que os leques estão relacionados ao desnível de patamares entre os terraços e a planície e que os leques estão relacionados aos cursos com menores descargas fluviais. No caso do Leque Aluvial do Córrego Dourado a bacia de captação possui uma área relativamente pequena e a acomodação dos sedimentos ocorrem em um desnível de aproximadamente 15 metros entre a Formação Caiuá e a Planície. Ressalta-se ainda o favorecimento da área de acomodação dos sedimentos do leque estar em partes sobrepostas aos paleocanais do antigo sistema Ivaí-Paraná.

Souza Filho (1993) delimita a área do desnível topográfico, responsável pela construção leque, como o limite de um dos sete blocos estruturais identificados em seu trabalho. Segundo este autor esses rejeitos são decorrentes de falhas sobre os depósitos do rio Paraná e de seus afluentes. Evidências neotectônicas também são apontadas por Fortes et. al. (2005) que identificou controle tectônico associado a formação de leques aluviais no sistema do rio Paraná. A orientação do alinhamento destes leques, NE-SW corresponde a mesma direção do lineamento que possivelmente deu origem ao Leque Aluvial do Córrego Dourado (Fig. 10).

As formas de abandono dos canais expressos de modo heterogêneo na planície denotam a evolução do sistema fluvial com as formas e os respectivos depósitos aluviais. Os processos geomorfológicos que envolvem o abandono de canais com a construção da planície de inundação podem ser ocasionados por diversas razões dentre elas as mudanças naturais, mudanças climáticas, influências tectônicas e intervenções antrópicas (SANTOS, 1997; STEVAUX & SOUZA, 2004). A evolução do modelo fluvial de multicanais do rio Paraná entrelaçado-anastomosado-atual (SOUZA FILHO 1993; SANTOS, 1997) atestado pelo registro de um ambiente paleoidrológico com graus de energia diferente do presente e pela seqüência de abandono de canais e processos deposicionais do rio Paraná, se desenvolveram concomitante com a evolução do sistema fluvial do rio Ivaí e a Planície Paraná-Ivaí.

Apontamentos sobre a evolução da paisagem fluvial na região da confluência foram descritos por Franco et. al.(2008). Ao analisar a área da confluência os autores propuseram três estágios para o desenvolvimento da foz. Essa seqüência de estágios tem

início com a *Fase A* em que a planície aluvial do rio Ivaí está sobre condições de um clima úmido e um padrão meandrante. Durante a *Fase B* a atuação de processos neotectônicos levaram ao abaixamento do talvegue do rio Paraná e a incisão do rio Ivaí em seu substrato cretáceo. Por fim na *Fase C* em que o rio Paraná recebeu expressiva carga arenosa durante um período árido por volta de 3.500 e 1.500 anos atrás tornando o mais raso.

A planície de inundação Paraná-Ivaí pode ser observada sobre a perspectiva de dois *Estágios* de desenvolvimento, denominados de *Estágio I* e *Estágio II*. Os momentos de evolução da paisagem fluvial apontados aqui neste trabalho propõem modelos que deram origem a *Fase A* citada acima, ou seja, abrangem como foi formada a planície do rio Ivaí. Portanto considerou-se uma maior escala temporal e espacial de desenvolvimento da planície para o entendimento dos processos geomorfológicos que modelaram a confluência. Nessa análise é apontada a evolução da planície sob a atuação do rio Paraná na construção dos depósitos e morfologias, conseguindo os aspectos geomorfológicos da planície e da confluência do rio Ivaí.

No *Estágio I* o rio Paraná configurava uma rede de canais que drenavam a maior parte da planície atual, com estabelecimento de ilhas e barras fluviais entre os canais. Stevaux & Souza (2004) ao estudarem uma porção da planície do rio Paraná 120 km a montante da área em estudo, em compartimento geomorfológico similar ao da planície em estudo encontraram resultados com datações de radiocarbono que atestam que a planície começou a ser preenchida há pelo menos 4.910 A. P.. Já Santos et. al. (2008) ao analisar os restos orgânicos em um paleocanal presente na planície do rio Ivaí indicou que a área estaria ativa a pelo menos 14.307 A. P..

A interpretação de mudanças paleoclimáticas por Stevaux (1993; 2000) e Stevaux & Santos (1998) atribui entre 40.000 A. P. até o presente um ciclo descontínuo de 4 fases climáticas atuantes na região estudada do rio Paraná. O primeiro episódio seco é definido entre 40.000 e 8.000 A. P. O primeiro episódio úmido entre 8.000 e 3.500 A. P., o segundo episódio seco entre 3.500 e 1.500 A. P. e o segundo episódio úmido de 1.500 anos até o presente. Concomitante a definição dessas fases climáticas o autor identifica unidades geomorfológicas correspondentes a esses períodos.

A datação por LOE do Terraço que bordeja a planície revelou uma atividade do sistema fluvial a pelo menos 23.400 A. P.. Desse modo pode-se presumir que nesse período os paleocanais que atualmente constituem a planície estavam ativos, sendo

responsáveis pela construção do terraço. No período em questão o terraço funcionava como a planície do pretérito sistema fluvial. Nos estudos de Fortes et. al. (2005) depósitos do rio Ivinhema e Paraná, em um terraço denominado como Terraço Médio, situado em mesmo nível topográfico do analisado revelaram idade idêntica de 23.000 A. P., reforçando a dinâmica deposicional dessas feições nesse período.

Durante a manutenção dessa paleodrenagem o rio Ivaí e Paraná possuíam uma paleoconfluência a montante da confluência atual. O paleocanal do rio Ivaí mantinha o fluxo na margem direita do canal atual em simetria ao modelo meândrico do canal atual, promovendo também o desenvolvimento da atual planície no restante do seu curso inferior. Na Figura 15 podemos observar que os paleocanais identificados com as sondagens são formas produzidas pelos rios Ivaí (S5) e Paraná (S1 e S4), porém em níveis topográficos distintos.

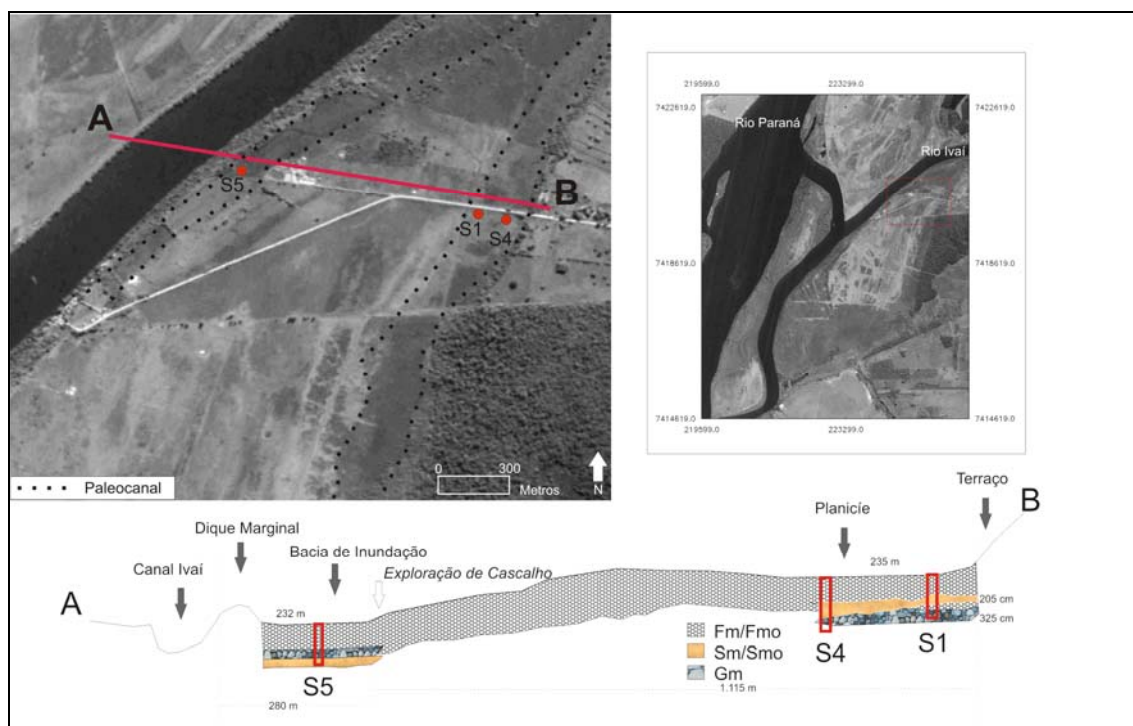


Figura 15. Esquema com representação dos depósitos da planície. É possível notar que há paleocanais em diferentes níveis. A sondagem (S5) demonstra os depósitos da planície do rio Ivaí (Unidade III) enquanto que as sondagens S4 e S1 representam os depósitos da paleodrenagem do rio Paraná (Unidade IV).

O *Estágio II* registra a seqüência de abandono de canais do sistema Paraná que mantinha ativa a drenagem na área da planície, representada na Unidade I. Nessa área é possível notar o desdobramento de paleocanais que promoveram a interrupção do fluxo na planície, sendo a mudança gradual registrada na forma atípica dos demais

paleocanais da planície que essa unidade registra. Com o prolongamento do abandono dos canais do rio Paraná ao norte da planície, o rio Ivaí escava o canal atual com mobilidade de suas margens formando paleocanais adjacente as margens atuais (Fig. 16).

A construção da Unidade III, provavelmente a unidade mais moderna da planície é escavada pelo rio Ivaí sobre os depósitos do rio Paraná (Fig. 14), inclusive com o sentido dos paleocanais do rio Ivaí truncando a antiga drenagem do rio Paraná. Essa unidade também preserva o maior preenchimento de depósitos de turfa e a manutenção das áreas mais úmidas da planície.

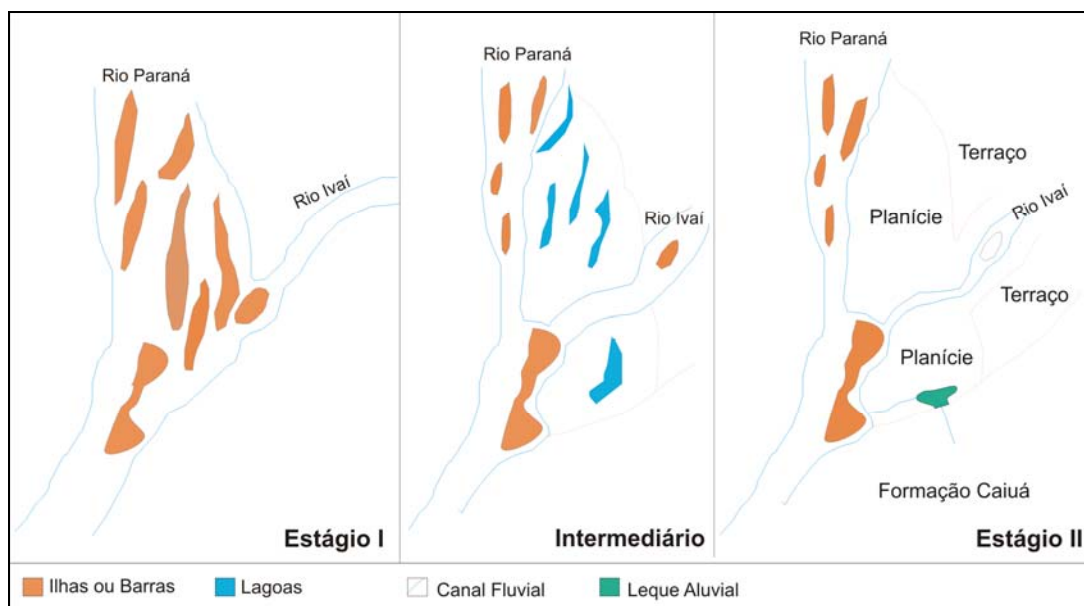


Figura 16. Desenvolvimento da planície e confluência dos rios Ivaí e Paraná, observar que entre os Estágios I e II ocorre o estreitamento dos canais, seguido da formação de lagoas e conseqüente formação da planície acompanhada também do terraço e leque aluvial.

A construção sobre a planície de um leque aluvial demonstra a diversidade de ambientes na área. Datações por Luminescência Opticamente Estimada (LOE) revelaram que os depósitos do leque situados a 1,5 metros de profundidade possuem 1.600 anos, corroborando para o período de aridez e datação de outros leques já sugeridos na região.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados encontrados atestam uma diversidade de ambientes na construção da Planície Paraná-Ivaí e uma dinâmica espacial da confluência durante o Pleistoceno

Recente. As informações de Sensoriamento Remoto integradas em ambiente SIG, levantamentos de campo, sondagens e associações faciológicas dos depósitos da planície permitiram delimitar e conhecer unidades geomorfológicas com singularidade de gêneses e processos relativos aos sistemas fluviais Ivaí e Paraná.

O uso de imagens multiespectrais através da aplicação de índices de Sensoriamento Remoto demonstraram boa capacidade de ressaltar os paleocanais em áreas úmidas. Informações sobre estes paleocanais não aparecem tão nítidas ou são até mesmo ausentes em fotografias aéreas ou imagens pancromáticas.

Morfologias como diques e paleocanais são passíveis de reconhecimento em campo na área da planície o que facilitou a interpretação em campo dos processos ocorridos na área. As informações obtidas com sondagens e levantamentos em barrancos promoveram o reconhecimento dos depósitos que recobre cada unidade da planície. A interpretação dos eventos em conjunto aos resultados obtidos com a datação por Luminescência Opticamente Estimulada (LOE) de sedimentos do Leque Aluvial do Córrego Dourado e do Terraço Fluvial permitiu conhecer intervalos temporais da atividade do sistema fluvial na região e relacionar com outros estudos que abordam a evolução do rio Paraná e Ivaí.

Durante o Pleistoceno Recente concomitante a construção da planície houve a evolução da confluência decorrente do regime paleoidrológico. Atestando, portanto que a área da planície estaria ativa há pelo menos 23.400 A. P.. Isso também implica no funcionamento da confluência dos sistemas fluviais Ivaí e Paraná em uma área distante 6 km da confluência atual durante esse período.

Diante das contribuições o estudo realizado com abordagem qualitativa abre possibilidades para a continuidade de investigações na área. A área em estudo possui fácil acesso e seus aspectos geomorfológicos podem ser facilmente reconhecidos em campo. Em razão do exposto podemos ressaltar potenciais abordagens para futuros trabalhos como:

- ✓ Monitoramento das áreas com maior umidade e implicações aos aspectos geomorfológicos e ecológicos dos sistemas fluviais Ivaí e Paraná;
- ✓ Caracterização da paleoconfluência quanto ao ambiente sedimentar, datação dos depósitos e evolução detalhada da confluência até o momento atual;
- ✓ Estudo paleoidrológico com caracterização quantitativa dos paleocanais.

7. REFERÊNCIAS

- AB'SABER, A. N., BIGARELLA, J. **Uma revisão do quaternário paulista: do presente para o passado**. Rev. Brás. De Geografia, 1969, p. 1-50.
- ANDERSON, M. G.; BURT, T. P. **Process determination time and space**. In: Geomorphological Technical. GOUDIE, A. John Willey and Sons, 2005.
- ANDRADE, I. R. A. **O uso de técnicas de Sensoriamento Remoto na identificação de formas na região de Porto Rico, planície de inundação do Alto rio Paraná, MS/PR**. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual de Maringá, 2008.
- ASSINE, M. L.; SILVA, A. **Contrasting fluvial styles of the Paraguai River in the northwestern border of the Pantanal wetland, Brazil**. Geomorphology, no prelo.
- BARROS, C. S. **Dinâmica sedimentar e hidrológica na confluência do rio Ivaí com o rio Paraná, município de Icaraíma-PR**. Dissertação de Mestrado. Maringá: DGE, 2005.
- BEST, J.L., RHOADS, B. L. **Sediment transport, bed morphology and the sedimentology of river channel confluences**. In: Rivers confluences, tributaries and the fluvial network. RICE, S. P.; ROY, A. G.; RHOADS, B. L. John Willey and Sons, Ltd. Chichester, 2008.
- BEST, J.L. **Sediment transport and bed morphology at river channel confluences**. Sedimentology, 35: 481-498, 1988.
- BEJESTAN, M. S.; HEMMATI, M. **Scour depth at river confluence of unequal bed level**. Journal Applied Science, 8:1766-1770, 2008.
- BITTENCOURT, A. V. L. **Transporte de sólidos na bacia hidrográfica do rio Ivaí**. Boletim Paranaense de Geociências, Curitiba, n 35, 1982.
- BRASIL. MMA. ANA. **Geo Brasil: recursos hídricos**. Brasília, 2007
- BRIDGE, J. S. **Fluvial facies models: recent developments**. In: Facies models revisited, org: POSAMENTIER, H. W.; WALKER, R. G. Tulsa, SEPM, 2006
- BRIDGE, J. S. **Rivers and floodplain**. Blackwell science, Oxford, 2003.
- BRISTOW, C. S.; BEST, J. L.; ROY, A. G. **Morphology and facies models of channel confluence**. Spec. Publ. Int. Ass. Sediment, 17: 91-100, 1993.
- BÜDEL, J. **Climatic geomorphology**. Princeton, Princeton University Press, 1977.
- BULL, W. B. **Geomorphic response to climate change**, Oxford University Press, New York, 1991.
- CHARLTON, R. **The fundamentals of fluvial geomorphology**. New York, Taylor & Francis Group, 2008.
- CREMON, É. H. **Leques aluviais na calha do rio Paraná: morfometrias e relações geomorfológicas**. Monografia do curso de Geografia. UEM. Maringá-PR, 2009.
- DAVIS, W. M. **The geographical cycle**. Geographical Journal, 14: 481-504, 1899.
- DESTEFANI, E. V. **O regime hidrológico do rio Ivaí - PR**. Dissertação de Mestrado. UEM/PGE. Maringá-PR, 2005.

- DIGMAN, S. L. **Fluvial hydraulics**. Oxford University Press. New York, 2009.
- FARREL, K.H. 1987. **Sedimentology and facies architecture of overbank deposits of the Mississippi river, False River region, Louisiana**. In: ETHRIDGE, F.G FLORES, R.M. & HARVEY, M.D. Recent Developments in Fluvial Sedimentology. Soc.Econ. Paleont. Min. Special .Publication 39:111-120, 1987.
- FRANCO, A. L. M.; ETCHEBEHERE, M. L. C.; STEVAUX, J. C. **Hipótese sobre os condicionantes neotectônicos do barramento natural da foz do rio Ivaí (PR/MS) com base em levantamento ecobatimétrico**. Revista de Geociências, V. 7, Ano 7: 78-86, 2008.
- FERNANDEZ, O.V.Q.; SOUZA FILHO, E.E. **Efeitos do regime hidrológico sobre a evolução de um conjunto de ilhas no rio Paraná**. Boletim Paranaense de Geociências. Curitiba, 43, p161-171, 1995.
- GAO, B. **NDWI – A normalized difference index for remote sensing of vegetation liquid water from space**. Remote Sensing of Environment, 58: 257-266: 1996.
- GILVEAR, D. J.; BRYANT, R. **Aerial photography and other remotely sensed data. Tools in Fluvial Geomorphology**. John Wiley and Sons, Chichester, 2003.
- GREGÓRIO, A. M. S.; MENDES, A. C. **Characterization of the sedimentary deposits at confluence of two tributaries of the Pará river estuary (Guajará Bay, Amazon)**. Continental Shelf Research, 29: 609-618, 2009.
- GROHMANN, C. H. **Análise de terreno do centro-leste brasileiro**. Tese de doutorado. USP. São Paulo, 2008.
- GÜRTLER, S.; EPIPHANIO, J. C. N.; LUIZ, A. J. B.; FORMAGGIO, A. R. **Planilha eletrônica para cálculo de reflectância em imagens TM e EMT+ Landsat**. Revista Brasileira de Cartografia, n 57: 162-167, 2005.
- HARDY, R. J. **Fluvial Geomorphology**. Progress in Physical Geography, 29: 411-425, 2005.
- HICKIN, E. J.; NANSON, G. C. **Lateral migration rates of river bends**. Journal of Hydraulic Engineering, 110: 1557–1567, 1984.
- IBAMA; SEMA; IAP. **Resolução n 5, de 28 de março de 2008**. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente; Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manual técnico da vegetação brasileira**. Rio de Janeiro: IBGE (série de manuais técnicos de geociências I), 1992.
- JUSTUS, J. **Subsídios para a interpretação morfogenética através da utilização de imagens de radar**. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal da Bahia, 1985.
- LATRUBESSE, E. M.; FRAZINELLI, E. **The late Quaternary evolution of Negro River, Amazon, Brazil: implication for island and floodplain formation in large anabranching tropical systems**. Geomorphology, 70: 372-397, 2005.
- LATRUBESSE, E. M.; STEVAUX, J. C.; SINHA, R. **Tropical Rivers**. In: Geomorphology, 70: 187-206, 2005.
- LEOPOLD, L. B. **A view of the river**. Harvard University Press, 1994.
- LEWIN, J. **Floodplain construction and erosion**. In: Rivers flow and channel form. GEOFFREY, P.; CALOW, P. Blackwell science. Oxford, 1996.

- KING, L. C. **Geomorfologia do Brasil oriental**. Revista Brasileira de Geografia, 18: 147-265, 1956.
- KNIGHTON, D. **Fluvial forms and process**. Arnold, London, 1998.
- KRAMER, V. M. S.; STEVAUX, J. C. **Mudanças climáticas na região de Taquaruçu (MS) durante o Holoceno**. Boletim Paranaense de Geociências, Curitiba, 49: 79-91, 2001.
- KOHLER, H. C. **A escala na análise geomorfológica**. Revista Brasileira de Geomorfologia. V.2, N 1, 21-33, 2001.
- KUERTEN, S. **Variação longitudinal das características sedimentares e hidrológicas do rio Ivaí-PR em seu curso inferior**. Dissertação de Mestrado. Maringá: DGE, 2006.
- MAACK, R. **Geografia física do estado do Paraná**. Banco do Desenvolvimento do Paraná, Universidade Estadual do Paraná e Instituto de Biologia e Pesquisas Tecnológicas. Curitiba, 1968.
- MANTELLI, L. G. **Análise do modelo de elevação do terreno com base em dados SRTM na região de Breves, sudoeste da Ilha do Marajó**. Dissertação de Mestrado. INPE, 2007.
- MARTINS, D. P. **Dinâmica das formas de leito e transporte da carga de fundo no alto rio Paraná**. Dissertação de Mestrado. Maringá: DGE, 2004.
- MATTOS, S. H. V. L.; PERES FILHO, A. **Complexibilidade e estabilidade em sistemas geomorfológicos: uma introdução ao tema**. Revista Brasileira de Geomorfologia 5, 11-18, 2004.
- MEURER, M. **Regime de cheias e cartografia de áreas inundáveis no Alto rio Paraná, na região de Porto Rico-Paraná**. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual de Maringá, 2004.
- MIALL, A. D. **A review of the braided-river depositional environmental**. Earth Science Reviews, 13: 1-62, 1977.
- MIALL, A. D. **Lithofacies types and vertical profile models in braided river deposits: a summary**. Fluvial Sedimentology. A. D. MIAL (Org.) Canadian Soc. Of Petrol. Geol. Memoir, 5: 597-604, 1978.
- MURRAY, A. B.; LAZARUS, E.; ASHTON, A.; BASS, A.; COCO, G.; COULTHARD, T.; FONSTAD, M.; HAFF, P.; McNAMARRA, D.; PAOLA, C.; PELLLETIER, J.; RENHARDT, L. **Geomorphology, complexity, and the emerging science of the Earth's surface**. Geomorphology, 103: 496-505, 2009.
- NAGUETTINI, M.; PINTO, E. J. A. **Hidrologia estatística**. Belo Horizonte: CPRM, 2007.
- NANSON, G. C.; CROOKE, J. C. **A genetic classification of floodplains**. Geomorphology, 4: 459-486, 1992.
- ORFEO, O.; STEVAUX, J. C. **Hydraulic and morphological of the middle and upper reaches of the Paraná River (Argentina and Brazil)**. Geomorphology 44, 309-322, 2002.

- PAILLOU, P.; SCHUSTER, M.; TOOTH, S. FARR, T.; ROSENQVIST, A.; LOPEZ, S.; MALEZIEUX, M. **Mapping of a major paleodrainage system in Eastern Libya using orbital imaging radar: The Kufrah River.** Earth and Planetary Science Letters, 277: 327-333, 2009.
- PAIVA, D. **Análise do índice de relação entre o fluxo de base e o desflorestamento por meio de imagens orbitais e análise hidrológica: baixo curso do rio Ivaí-PR.** Dissertação de Mestrado. UEM/PGE. Maringá-PR, 2008.
- PENCK, A. **Climatic features in the land surface.** American Journal of Science, 19: 165-174, 1905.
- PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E. **Sensoriamento remoto no estudo da vegetação.** São José dos Campos, SP: A. Silva Vieira Ed., 2007.
- REID, I.; BEST, J. L.; FROSTICK, L. E. **Floods and flood sediment at river confluences.** In: Floods Hydrological, Sedimentological and Geomorphological Implications. BEVEN, K.; CARLING, P. London, John Wiley and Sons Ltd, 1989.
- RINALDO, A.; RODRIGUEZ-ITURBE, I. **Geomorphological therory of the hydrologycal response.** Hydrological Process 10, 803-829, 1996.
- ROCA, M., MARTIN-VIDE, J. P.; MORETO, P. J. M. **Modelling a torrential event a river confluence.** Journal of Hydrology, 364: 207-215, 2009.
- ROCHA, P. C. **Dinâmica dos canais no sistema rio-planície fluvial do alto rio Paraná, nas proximidades de Porto Rico-PR.** Tese de doutorado. UEM/PEA. Maringá-PR, 2002.
- ROCHA, P. C.; SOUZA FILHO, E. E. **Interações dinâmicas entre os materiais do leito de um canal secundário com o canal principal no trecho multicanal do Alto Rio Paraná, Brasil.** Revista Brasileira de Geomorfologia, ano 6, n 1: 19:32, 2005.
- ROY, A. G. **River channel confluences.** In: Rivers confluences, tributaries and the fluvial network. RICE, S. P.; ROY, A. G.; RHOADS, B. L. John Willey and Sons, Ltd. Chichester, 2008.
- ROY, A. G.; SINHA, R. **Understanding confluence dynamics in the alluvial Ganga-Ramganga valley, India: an integrated approach using geomorphology and hydrology.** Geomorphology, 92: 182-197, 2007.
- ROY, N., SINHA, R. **Alluvial geomorphology and confluences dynamics in the Gangetic plains, Farrukhabad–Kannauj area, Uttar Pradesh, India.** Current Science, 88: 2000–2006, 2005.
- SAADI, A.; MACHETTE, M. N.; HALLER, K. M.; DART, R. L. BRADLEY, L. A.; SOUZA, A. M. P. D. **Map and database of quaternary faults and lineaments in Brazil.** USGS. Colorado, USA, 2002.
- SALLUN, A. E. M.; SUGUIO, K.; AZEVEDO SOBRINHO, J. M. **Sedimentologia da aloformação Paranavaí, bacia hidrográfica do rio Paraná (SP, MS e PR).** Pesquisas em Geociências, submetido.
- SANTOS, L. J. C.; OKA-FIORI, C.; CANALI, N. E.; FIORI, A. P.; SILVEIRA, C. T.; SILVA, J. M. F; ROSS, J. L. S. **Mapeamento geomorfológico do estado do Paraná.** Revista Brasileira de Geomorfologia, 2006.

- SANTOS, M. L. **Estratigrafia e evolução dos sistemas siliclásticos do rio Paraná em seu curso superior: ênfase a arquitetura dos depósitos, variação longitudinal das fácies e arquitetura dos depósitos.** Tese de Doutorado. UFRGS, 1997.
- SANTOS, M. L.; STEVAUX, J. C.; GASPARETTO, N. V. L.; SOUZA FILHO, E. E. **Geologia e Geomorfologia da planície do rio Ivaí-PR.** Revista Brasileira de Geomorfologia, 2008.
- SIDORCHUK, A. Y.; BORISOVA, O. K. **Method of paleogeographical analogues in paleohidrologycal reconstruction.** Quaternary International, 72: 2000.
- SCHUMM, S. A. **The fluvial system.** Willey-Interscience, New York, 1977.
- SOARES, E. A. A. **Depósitos pleistocenos da região de confluência dos rios Negro e Solimões, Amazonas.** Tese de Doutorado. USP, 2007.
- SOUZA FILHO, E. E. **Aspectos da geologia e estratigrafia dos depósitos sedimentares do rio Paraná entre Porto Primavera (MS) e Guaíra (PR).** Tese de doutorado. USP, 1993.
- STEVAUX, J. C.; SANTOS, M. L. **Fácies and architectural analysis of channel sandy macroforms in the upper Parana river.** Quaternary International, 72: 87-94, 2000.
- STEVAUX, J. C. **O rio Paraná: geomorfogênese, sedimentação e evolução quaternária do seu curso superior (Região de Porto Rico, PR).** Tese de doutorado. USP. São Paulo-SP, 1994.
- SUGUIO, K. **Geologia do Quaternário e mudanças ambientais.** São Paulo: Editora Paolo's, 1999.
- THOMAS, M. F.; THORP, M. B. **Geomorphic response to rapid climatic and hydrologic change during the late Pleistocene and early Holocene in the humid and sub-humid tropic.** Quaternary Science Reviews, 14:193-207, 1995.
- VANDENBERGUE, J. **Climatic forcing of fluvial system development: an evolution of ideas.** Quaternary Science Reviews, 22: 2053-2060, 2003.
- WOLMAN, M. G.; LEOPOLD, L. B. **River floodplains: some observation on their formation.** Geological Survey Professional Paper 282-C, United States Government Printing Office, Washington, 1952.
- XU, H. **Modification of normalized difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery.** International Journal of Remote Sensing, 27: 3025-3033, 2006.
- ZANI, H. **Mudanças morfológicas na evolução do megaleque do Taquari: uma análise com base em dados orbitais.** Dissertação de Mestrado. UNESP, 2008.