

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ
Centro de Ciências Humanas, Letras e Artes
Departamento de Geografia
Programa de Pós-graduação Mestrado em Geografia

**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**

ISMAR RENAN ALVES DE ANDRADE

Sob Orientação de
Prof. Dr. Edvard Elias de Souza Filho

MARINGÁ, PR
Março de 2008

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ
Centro de Ciências Humanas, Letras e Artes
Departamento de Geografia
Programa de Pós-graduação Mestrado em Geografia

**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,
apresentado ao Programa de
Pósgraduação Mestrado em
Geografia como parte dos
requisitos para a obtenção do
título de “Mestre em Análise
Ambiental e Regional”.*

ISMAR RENAN ALVES DE ANDRADE

Sob Orientação de
Prof. Dr. Edvard Elias de Souza Filho

MARINGÁ, PR
Março de 2008.

DEDICO:

Aos meus pais, Paulo de Andrade e Maria Zélia Alves de Andrade, e aos meus irmãos Paulo Rogério Alves de Andrade e Zeila Fernanda Alves de Andrade.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente aos meus pais, **Paulo de Andrade** e **Maria Zélia Alves de Andrade**, por mais uma vez terem acreditado, por todo apoio prestado principalmente nos momentos mais difíceis

Ao meu orientador **Edvard Elias de Souza Filho**, por ter me acolhido como orientando, pela amizade e confiança depositada para a realização do trabalho

Aos Professores **Manoel Luis dos Santos**, **José Candido Stevaux**, **Marta Luzia de Souza** e **Nelson Vicente Gasparetto** os quais sempre estiveram dispostos ajudar, esclarecendo as dúvidas quando estas surgiram, emprestando materiais, pelas sugestões e críticas, o convívio com esses professores foi fundamental nessa caminhada.

Aos companheiros de pesquisa **José Antonio Arenas Ibarra (Pepe)** e **Édipo Henrique Cremon** pelo auxílio prestado em campo e pelas inúmeras críticas e sugestões feitas ao longo da construção do trabalho

A **Hiran Zani** (Mestrando IGCE/UNESP – Rio Claro) pelo auxílio no trato com as imagens SRTM e na aquisição das imagens ASTER

A **Ericson Hideki Hayakawa** (Doutorando INPE – São José dos Campos) pelo auxílio dado com a pós-classificação das imagens ASTER.

Ao **GEMA – Grupo de Estudos Multidisciplinares do Ambiente** pela estrutura disponibilizada

Aos alunos integrantes do **Grupo de Estudos Multidisciplinares do Ambiente** com os quais tive a oportunidade de conviver, e com os quais aprendi muito ao longo desses dois anos.

À **CAPES** pelo auxílio financeiro através de bolsa de estudos

Ao **CNPq**, pelo auxílio financeiro através de projeto, tornando possível a aquisição de matérias e a realização de saídas a campo.

RESUMO

Planícies de inundação são formas oriundas da ação fluvial e podem ter definições diferentes de acordo com o enfoque do estudo. Nanson e Croke (1992), em sua classificação genética, acrescentam que se trata de uma forma aluvial, separada de seus canais por margens e construída por sedimentos transportados pelo rio, esses ambientes se caracterizam pela diversidade de ambientes que os compõem (lóticos, lênticos, terrestres), esses ambientes são submetidos periodicamente a condições distintas (aquáticas e terrestres).

A necessidade de aumentar o conhecimento sobre a Planície de Inundação do Alto Rio Paraná passa por questões conceitualmente simples, como a necessidade de se ter um referencial nítido, ou seja, uma fonte de informações a respeito das características topográficas da planície para a avaliação de seu funcionamento hidrodinâmico.

Dessa forma, o que se pretende com o presente estudo é a identificação das formas de relevo da planície de inundação do rio Paraná nas proximidades de Porto Rico, por meio de modelos topográficos obtidos a partir de geoprocessamento.

A unidade de estudo localiza-se mais precisamente na região de Porto Rico, e compreende a área situada na margem esquerda do rio Paraná, entre a foz do Rio Paranapanema e a primeira foz do Rio Ivinhema (Canal Ipoitã). As localidades mais próximas são a cidade de Porto Rico e o distrito de Porto São José, do lado paranaense, do lado sul-mato-grossense, as comunidades distam mais de 15 KM da margem do rio.

Para a realização do estudo, foram utilizadas técnicas de Sensoriamento Remoto, que permitiram inferir sobre a área de estudo. A identificação das formas na planície foi possível através da geração de produtos como a Modelos Digitais de Elevação (SRTM e ASTER), classificação de cenas orbitais, geração de cartas de superfície de tendência e resíduos, além das observações em campo.

A aplicação do método permitiu fazer considerações a respeito da eficiência dos produtos de Sensoriamento Remoto para a identificação de formas em áreas como a do presente estudo. Os Modelos Digitais de Elevação se mostraram satisfatórios na identificação de forma em escala geral e de detalhe, porém alguns cuidados devem ser tomados para que não se trabalhe em escalas demasiadamente pequenas, principalmente quando se utiliza os MDE SRTM.

A associação dos produtos com as observações realizadas em campo, permitiu identificar formas distintas (crevasses, diques marginais, baixios e alagadiços) e posteriormente representa-las através da Carta de Feições da Planície.

As cartas de tendência e resíduos permitiram ainda que fossem feitas considerações a respeito do comportamento da planície frente aos pulsos de inundação. As análises dos produtos permitiram verificar que a planície é recortada por um conjunto de blocos estruturais, e que blocos baixos criam ambientes de maior facilidade de penetração de água na planície, como é o caso da área do rio Curutuba e do rio Ivinhema. Os blocos altos criam áreas de maior dificuldade para a entrada de água, restringindo as inundações às áreas muito baixas.

Palavras chave: planície de inundação; modelo digital de elevação; rio Paraná

ABSTRACT

Floodplains are forms originated by the fluvial action and can have different definitions according the approach of the study. Nanson and Croke (1992), in their genetic classification say that it is a alluvial form, separated from its channels by margins and constructed by river's transported sediments, this environment are characterized by the diversity of environments the complete them (lóticos, lenticos, and terrestriais), this environments are submitted periodically

to distinct conditions (aquatic and terrestriais).

The need grow up the knowledge about the Upper Paraná River Floodplain goes through matters of simply concept, like a need to have a clear referential, that is, an information source regardless the topographic features to evaluate of its hidrodinamic operation

Thus, the aim of this study is to identify the landforms at the Upper Paraná River Floodplain in the neighborhoods of Porto Rico, by the using of topographic models get from geoprocessing techniques.

The study unity is located at the Porto Rico region and comprises the are situated at the left margin of Paraná River, between the mouth of Paranapanema River and the first mouth of Ivinheima River (Ipoitã channel). The nearby localities are the city of Porto Rico and the district of Porto São José, at Paraná's side, at Mato Grosso do Sul side, the communities are more than 15 Km away distant from the margin of Paraná River.

To do this work, was used Remote Sensing techniques that allowed inferred on the study area. The identification of landforms at the floodplain was possible through the generation of products like Digital Elevation Models (SRTM and ASTER) classification of orbital images, and generation of the trend surface and the residuals o the study area furthermore, fields observations were maded

The application of the method allowed to do some considerations regarding the efficiency of the products of Remote Sensing for identifying landforms in areas such as the present study. The Digital Elevation Models were satisfactory in the identification of forms in general and detail scales, but some care should be taken not to and work in too small scales, especially when using the SRTM DEM.

Maps of trend surface and residuals also allowed that considerations were made about the behavior of plain against of flooding. Analyses of products allowed finds that the plain is cut by a series of structural blocks and low blocks that create environments for easier penetration of water in the plains, such as the area of the rivers Curuuba and Ivinheima. The blocks create high areas of greatest difficulty for the entry of water, restricting the floods to the lowest areas.

Keywords: floodplain; digital elevation model; fluvial geomorphology

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1	Unidades Geológicas e Geomorfológicas.....	20
Figura 2	Localização da Unidade de Estudo.....	24
Figura 3	Fluxo de tratamento dos dados SRTM para a elaboração do MDE.....	35
Figura 4	Equações dos parâmetros estatísticos utilizados para avaliar a classificação.....	39
Figura 5	Divisões da planície para a aplicação da análise de tendência.....	41
Figura 6	<i>MDE SRTM, corrigida (30 metros) e original (90 metros e seus respectivos perfis)</i>	44
Figura 7	Diferença entre ao MDE SRTM e o MDE ASTER.....	47
Figura 8	Imagem Classificada.....	51
Figura 9	Cartas de Tendências dos MDE's SRTM e ASTER – Planície Alta.....	52
Figura 10	Cartas de Tendência dos MDE's SRTM e ASTER – Planície Baixa.....	53
Figura 11	Cartas de Resíduos – Planície Alta.....	54
Figura 12	Cartas de Resíduos – Baixa Planície.....	55
Figura 13	Paleocanais Identificados na Planície.....	56
Figura 14	Crevasses Identificadas na Planície.....	57
Figura 15	Baixios e Alagadiços Identificados na Planície.....	58
Figura 16	Pontos Visitados na Segunda Missão de Campo (Alta Planície – Terraço).....	59
Figura 17	Pontos Observados da Alta Planície (Início da Planície Atual).....	60
Figura 18	Pontos Observados do Alto da UHE de Porto Primavera (Vista da Planície).....	61
Figura 19	Carta de Feições da Planície.....	64

LISTA DE QUADROS

Quadro 1	Altitude dos marcos geográficos (COUTO, 1995) e valores do MDE ASTER para ajuste.....	37
Quadro 2	Tabulação cruzada com os dados de campo e da classificação não supervisionada.....	40
Quadro 3	Pontos de observação na planície, forma e características.....	49
Quadro 4	Pontos de observação na planície, forma e características.....	50

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.	Limites do índice Kappa utilizados para avaliar o grau de concordância da classificação.....	40
-----------	--	----

LISTA DE ABREVIATURAS

ASCII	<i>American Standard Code for Information Interchange</i>
ASTER	<i>Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer</i>
ATTZ	<i>Aquatic/terrestrial transition zone</i>
CBERS	<i>China Brazil Earth Resources Satélite</i> (Satélite Sino Brasileiro de Sensoriamento Remoto)
CCD	Charge Coupled Device (Dispositivo de Carga Acoplada)
IFSAR	Interferometric Synthetic Aperture Radar
MDT	Modelo Digital do Terreno
MNT	Modelo Numérico do Terreno
MS	Mato Grosso do Sul
PR	Paraná
SIG	Sistema de Informação Geográfica
SRTM	<i>Shuttle Radar Topography Mission</i>
TM	<i>Thematic Mapper</i>
UHE	Usina Hidrelétrica
MDE	Modelo digital de Elevação
UEM	Universidade Estadual de Maringá

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	13
1.1	A Bacia Hidrográfica do rio Paraná.....	15
1.2	Objetivos.....	17
2	GEOLOGIA E GEOMORFOLOGIA DA BACIA SEDIMENTAR DO PARANÁ.....	19
3.	CARACTERIZAÇÃO DA UNIDADE DE ESTUDO.....	24
4.	APLICAÇÃO DE TÉCNICAS DE SENSORIAMENTO REMOTO EM ESTUDOS AMBIENTAIS.....	28
4.1	Modelagem Numérica do Terreno.....	30
4.2	A Missão SRTM.....	31
4.3	Imagens ASTER.....	32
5	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	34
6	RESULTADOS.....	44
7	CONCLUSÕES.....	65
	REFERÊNCIAS.....	67

1. INTRODUÇÃO

Os estudos de natureza geomorfológica tem reconhecida importância por gerar informações relevantes ao planejamento territorial. Essa importância refere-se não somente ao homem e sua apropriação do território, mas também aos fatores naturais, à vida das espécies vegetais e animais, à evolução da paisagem.

Dentre os ramos da Geomorfologia, a Geomorfologia Fluvial, ocupa um local de destaque pelo seu caráter condicionante da própria vida humana. A ação fluvial, alterando a dinâmica dos rios e modelando as formas do relevo determinou, por exemplo, os locais de ocupação das civilizações antigas. (Cunha, 1995).

Planícies de inundação são formas oriundas da referida ação fluvial e podem ter definições diferentes de acordo com o enfoque do estudo. Christofolletti (1980) traz algumas definições para planícies de inundação: *Topograficamente*, pode-se dizer que planície constitui-se numa superfície relativamente uniforme, próxima ao rio; *hidrologicamente* é definida como uma superfície sujeita a inundação periódica; *geologicamente*, é a área do vale fluvial recoberta com materiais depositados pelas cheias; *Geomorfologicamente* trata-se de uma forma de terreno composta de material inconsolidado depositado pelo rio em épocas distintas.

Nanson e Croke (1992), em sua classificação genética, acrescentam que se trata de uma forma aluvial, separada de seus canais por margens e construída por sedimentos transportados pelo rio. Para esses autores, tendo em vista a perspectiva geomórfica, as planícies de inundação são melhores categorizadas geneticamente, em função da sua inter-relação entre os processos referentes ao rio e a planície que eles constroem.

Do ponto de vista ecológico Junk *et. al.* (1989) definem as planícies de inundação como sendo integrantes do sistema de drenagem do rio adjacente, formando um sistema rio-planície de inundação, os autores se referem à planície como sendo uma zona de transição aquática/terrestre (*aquatic/terrestrial transition zone – ATTZ*).

Os sistemas rio-planície de inundação se caracterizam pela diversidade de ambientes que os compõem (lóticos, lênticos, terrestres), esses ambientes

são submetidos periodicamente a condições distintas (aquáticas e terrestres). Os pulsos de inundação (JUNK *et. al*, 1989) são o principal mecanismo de conexão entre os ambientes da planície, influenciando tanto os ambientes quanto as espécies e seus processos biológicos característicos.

Em função desta conexão ocorre a permuta de nutrientes e material biológico, o que permite que os organismos adentrem em corpos antes isolados para se alimentar e se reproduzir. Esses processos devem ser mantidos, afim de que se assegure a manutenção do sistema, e o conhecimento dos mesmos se faz necessário para que se possa identificar e até mesmo quantificar os impactos que porventura estejam ocorrendo na planície. Essa interação rio-planície também é responsável pela construção/destruição do ambiente através do trabalho de erosão/deposição realizado pelo rio.

Para Leopold *et. Al.* (1995), além da já referida importância ecológica, a questão dos pulsos de inundação é importante por razões econômicas e de engenharia. É importante conhecer a probabilidade de recorrência dos pulsos de inundação, os estudos de recorrência de pulsos são uma importante ferramenta geomorfológica, em função do significado geomórfico desses fenômenos.

Contudo, conforme já verificado por Comunello (2001), a dinâmica da água na planície não é uniforme quando da ocorrência de um pulso de inundação, e tais eventos não estão relacionados apenas ao rio Paraná, mas também aos rios Ivinheima e Baía. Além disso, os fluxos de água sofrem um forte controle das formas topográficas da planície, o que torna difícil a análise de seu funcionamento hidrodinâmico sem um referencial preciso.

Dessa forma, o que se pretende com o presente estudo é a identificação da formas de relevo da planície de inundação do rio Paraná nas proximidades de Porto Rico, por meio de modelos topográficos obtidos a partir de geoprocessamento.

1.1. A Bacia Hidrográfica do rio Paraná

O Rio Paraná, principal rio da Bacia do Prata, nasce da confluência dos rios Grande e Paranaíba, ambos com suas nascentes no Estado de Minas Gerais, é o décimo maior rio do mundo em descarga e o quarto em área de drenagem. De sua nascente, (lat. 20°S), até a sua foz, no estuário da Prata, próximo a Buenos Aires, Argentina (lat. 34°S), o rio Paraná percorre cerca de 3780 km, e sua bacia de drenagem ocupa todo o centro-sul da América do Sul, estendendo-se dos Andes até a Serra do Mar (AGOSTINHO & ZALEWSKI, 1996; AGOSTINHO, 1995).

O vale aluvial do rio Paraná é dividido ainda em três principais partes: o alto curso vai de sua nascente até a Usina Hidrelétrica de Itaipu, próximo a Foz do Iguaçu, PR; o médio curso ao longo dos limites entre Paraguai e Argentina; e o baixo curso, desde a confluência do rio Paraguai até o estuário do rio da Prata (STEVAUX 1994).

O trecho superior do rio Paraná localiza-se totalmente em território brasileiro e drena uma área de 891.000 km² (cerca de 10,5% do país) (ROCHA, 2002), com uma declividade média de 0,18 m/km, o alto Paraná, no trecho a partir de Três Lagoas (MS), apresenta uma ampla planície alagável que pode chegar a 20 km estendendo-se por cerca de 480 km, principalmente em sua margem direita (AGOSTINHO & ZALEWSKI, 1996).

O alto curso do rio Paraná tem seu regime hidrológico bastante alterado, devido à construção de seguidas barragens no período entre meados da década de 1960 e 2000. As barragens existentes no próprio rio e em seus afluentes são responsáveis pelo controle da descarga fluvial na área de estudo (SOUZA FILHO et. al. 2004).

Ainda segundo os autores, é difícil até mesmo precisar o número de barragens existentes na bacia hidrográfica do rio Paraná, em função da existência de uma série de pequenas barragens construídas para diversos fins. Contudo, sabe-se que aproximadamente 60 hidrelétricas controlam o sistema de drenagem principal. Essa situação torna a bacia hidrográfica do rio Paraná, a bacia que tem mais barragens na América do Sul.

Tendo em vista este panorama pode-se dizer que o alto curso do rio Paraná encontra-se totalmente barrado, com exceção do trecho entre a foz do

rio Paranapanema e a cidade de Guaira, onde o rio está em condições naturais. (SOUZA FILHO & STEVAUX, 2004).

Quanto ao seu padrão de drenagem, o rio Paraná apresenta características particulares. Para Stevaux (1994), no trecho entre a foz do Paranapanema e a cidade de Guaíra, o rio apresenta um padrão de canal entrelaçado (*braided*), porém uma análise mais precisa mostra que o canal tem um padrão misto, de forma que o canal principal tem um padrão entrelaçado, porém os canais secundários na margem direita são anastomosados (Souza Filho 1993, 1994).

O trecho brasileiro da bacia do Rio Paraná tem a maior densidade demográfica do país. A densidade é maior no trecho que passa pelo Estado de São Paulo, onde as grandes cidades são mais numerosas. Dessa forma, o uso da água, para diversos fins (irrigação, abastecimento da população, indústria) é bastante elevado, além disso, deve-se ressaltar o uso de agentes químicos agrícolas e a eliminação da vegetação ciliar, que contribui significativamente para degenerar a qualidade da água nos principais afluentes do Rio Paraná (AGOSTINHO *et. al.*, 1995).

O trecho que se estende desde a foz do Rio Paranapanema até o remanso do reservatório da Usina de Itaipu, não é muito povoado, mesmo assim não está livre de impactos de caráter sócio-ambiental. Agostinho & Zalewski (1996) realizaram um importante trabalho onde relatam diversas formas de impacto sobre a várzea, mesmo esta não sendo muito ocupada.

Tais impactos são relativamente recentes, e podem ser ligados a três principais grupos: extração de recursos naturais, exploração agropecuária e principalmente barramentos, uma vez que as Usinas Hidrelétricas de Porto Primavera, localizado a 35 km a montante e de Rosana, localizada a 40 km a montante no rio Paranapanema influenciam diretamente a área de estudos.

Em relação à exploração agropecuária, pode-se dizer que os principais impactos são referentes ao pastoreio, uma vez que essa prática tem implementado medidas extremamente degradantes, como por exemplo, a execução de queimadas para renovar pastagens ou mesmo a construção de canais de drenagem que acabam por mudar o hidroperíodo de alguns canais (COMUNELLO, 2001).

O uso das ilhas para a criação de gado é feito no período de águas baixas (seca), época em que os fazendeiros da região encontram dificuldades na manutenção do gado em suas pastagens. Apesar de não haverem estudos específicos acerca dos impactos causados por esta atividade, estima-se que essa prática leva à compactação do solo, à erosão das margens destas ilhas e à destruição da vegetação arbórea emergente.(COMUNELLO *op. Cit*).

Os impactos relativos à extração de recursos naturais são ligados principalmente à sobre-pesca, a extração de essências vegetais quando estas são feitas mediante o uso de práticas impactantes, como as queimadas utilizadas na localização do *Pfaffia* (tubérculo usado na indústria de cosmético), ainda à mineração (extração de areia) e a navegação (COMUNELLO, 2001, AGOSTINHO & ZALEWSKI, 1996).

Porém os impactos mais significativos são aqueles ligados à construção de barramentos no canal principal do Rio Paraná, que alteram o regime hidrológico do rio nesta área Agostinho & Zalewski (1996) apontam que a construção de tais empreendimentos altera as vazões do canal, reduzindo as médias mínimas e aumentando as máximas. Em decorrência de tais alterações ocorrem: limitações na rota de migração dos peixes anádromos pela barreira física representada pela barragem; mortalidade de formas juvenis nas lagoas mais rasas da planície; redução nos criadouros naturais pelo alagamento a montante da barragem e atenuação dos extremos hidrológicos à jusante.

1.2. Objetivos

A necessidade de aumentar o conhecimento sobre a Planície de Inundação do Alto Rio Paraná passa por questões conceitualmente simples, como a necessidade de se ter um referencial nítido, ou seja, uma fonte de informações a respeito das características topográficas da planície para a avaliação de seu funcionamento hidrodinâmico. Dessa forma, o que se pretende com o presente estudo é:

- Gerar Modelos Digitais de Elevação, afim de que se possa fazer a identificação de formas de planície na área de estudo.

- Avaliar os Modelos gerados para verificar qual técnica utilizada apresenta melhor resultado quando aplicada em planícies de inundação.
- Realizar o mapeamento das formas da planície por meio de produtos de sensoriamento remoto e verificações de campo.

Uma vez que as informações topográficas detalhadas das planícies de inundação são escassas, espera-se que este estudo possa contribuir para o entendimento da dinâmica das inundações na planície, e para o entendimento das conexões que ocorrem entre os diversos corpos de água ali presentes. Além disso espera-se também que a contribuição metodológica seja útil para o estudo de áreas semelhantes.

2. GEOLOGIA E GEOMORFOLOGIA DA BACIA SEDIMENTAR DO PARANÁ

Há uma série de trabalhos que retratam a situação geológica da bacia hidrográfica do Alto Rio Paraná, implantada principalmente sobre a Bacia Sedimentar do Paraná, tais como Souza Filho (1993); Stevaux (1993, 1994); Souza Filho & Stevaux (1997, 2004); Santos (1997); SOUZA, (1999), entre outros. A sua configuração atual foi definida pelo soerguimento das Serras do Mar, Mantiqueira Canastra, Caiapó e Maracajú. (SOUZA FILHO & STEVAUX, 1997, 2004).

A Planície de Inundação do Alto Rio Paraná localiza-se na porção central da Bacia Sedimentar do Paraná, área que corresponde aos afloramentos dos arenitos da Formação Caiuá, unidade basal do Grupo Bauru (K), assentada sobre basaltos da Formação Serra Geral (JK), que aflora na parte montante e jusante do segmento fluvial. Essas formações estão recobertas por depósitos de sedimentos arenosos cenozóicos e sedimentos aluviais recentes, (Souza Filho, 1993).

Os diferentes tipos litológicos exercem um controle sobre a morfologia fluvial condicionando características morfológicas distintas conforme eles ocorrem. Onde ocorre basalto, o vale é mais confinado, havendo a ocorrência de quedas, como as de Urubupungá (montante) e Sete Quedas (jusante), que foram cobertas pela formação dos lagos das usinas Jupia e de Itaipu respectivamente. Em trechos onde há a ocorrência dos arenitos do grupo Bauru, o vale se caracteriza por ser mais aberto (SOUZA FILHO & STEVAUX, 2004).

De acordo com Santos (1997), os arenitos das Formações Caiuá e Santo Anastácio, são quartzosos, com textura bimodal fina e média, e estratificados. Na região de Porto Rico é encontrada apenas a Formação Caiuá, que aflora ao longo da margem esquerda do Rio Paraná.

Os depósitos de sedimentos ocorrem em toda a bacia hidrográfica, e foram classificados em dois conjuntos por Fúlfaro & Perinotto, (1996) *apud* Souza (1999): as coberturas coluviais e aluvionais mais antigas, do Terciário Superior ao Quaternário Inferior, e os depósitos aluviais relacionados às calhas do Rio Paraná e de seus tributários. Os últimos teriam sido originados por processos fluviais durante o Quaternário Superior e o Holoceno.

No rio Paraná, os depósitos ocorrem ao longo da calha fluvial desde as proximidades da cidade de Três Lagoas (MS) e Guaira, distribuídos de diferentes formas em três grandes blocos estruturais (SOUZA FILHO & STEVAUX, 2007). Os referidos autores denominaram tais blocos por Compartimento Lagoa São Paulo, entre a cidade de Três Lagoas/MS e a foz do Rio do Peixe; Compartimento Rio Baía, até a cidade de Porto Camargo/PR; e Compartimento Ilha Grande, até a cidade de Guaíra/PR.

A área de estudo situa-se portanto na parte inferior da porção média do Compartimento Rio Baía, onde os depósitos ocupam sua maior área de ocorrência. Nesse local os depósitos de sedimentos ocorrem em terraços com origem fluvial e coluvial, na planície fluvial e no leito do rio, e foram denominados de diversas formas por autores como Suguio et al. (1984), Justus (1985), Nogueira Jr. (1988), Souza Filho (1993) Stevaux (1993).

Tais depósitos foram mapeados por Souza Filho (1993), que os denominou por *depósitos de terraço alto, de terraço médio e de terraço baixo (depósitos da zona de leque, da zona reliquiar e da zona retrabalhada); depósitos da planície fluvial e depósitos do leito do rio*. Tais unidades foram denominadas por Stevaux (1993) como *Unidade Porto Rico, Unidade Taquaruçu, Unidade Fazenda Boa Vista (Leque, Alta e Baixa) e Unidade Rio Paraná (Várzea e Canal)*, (FIGURA 1). Essa nomenclatura é adotada pelos demais autores que trabalharam na área.

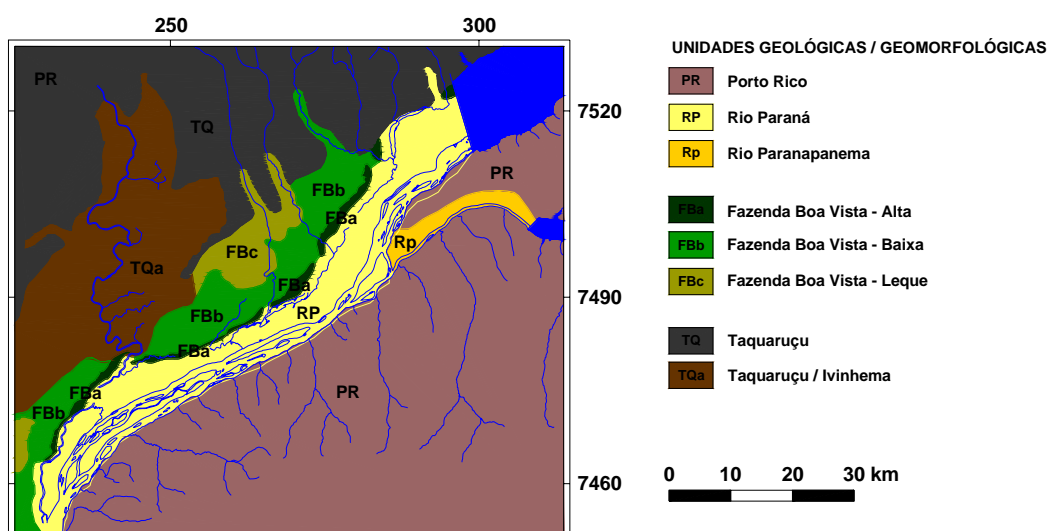


Figura 1. Unidades Geológicas e Geomorfológicas. Modificado de Stevaux (1994)

Unidade Porto Rico: Localizada no Estado do Paraná, à margem esquerda do Rio Paraná, caracteriza por seu relevo suave de colinas achatadas com caimento sutil em relação ao rio. Os cursos d'água que ali ocorrem são pequenos, não sendo superiores a 20km de extensão, tais cursos desembocam no rio Paraná e apresentam em seu curso, cachoeiras e corredeiras.

Unidade Taquaruçu: Marcada pela ocorrência de um grande número de lagoas de tamanho variado, esta unidade e conta com uma área de 2300km². Nas proximidades de porto Primavera a unidade encontra-se cerca de 7 km da margem direita do Rio Paraná, mas conforme se caminha à jusante, tal distancia pode chegar a 20km. O caimento geral da superfície é em direção ao Rio Paraná, porém é menos acentuada que a já citada Unidade Porto Rico. A drenagem apresenta rios mais extensos, com amplos vales e várzeas extensas. A incidência maior de lagoas ocorre na *Sub-unidade Rio Ivinheima*, que tem o Rio Ivinheima no seu eixo principal, essa sub-unidade foi identificada por suas características foto-texturais, sendo que é impraticável fazer tal identificação em campo.

Unidade Fazenda Boa Vista: Com uma área de 610km², e definida entre as cotas de 232 e 245m esta unidade se subdivide em *Sub-unidade Fazenda Boa Vista Alta*, sendo esta a que se identifica mais facilmente nas imagens de satélite, fotografias aéreas, ou ainda nas imagens de radar; *Sub-unidade Fazenda Boa Vista Baixa*, esta está cerca de 2 metros abaixo da unidade alta, o autor ainda conclui que esta sub-unidade é resultado do retrabalhamento da sub-unidade alta por um sistema meandrante que se instalou ali, e que, possivelmente tenha sido captado pela drenagem do Rio Ivinheima.; *Sub-unidade Fazenda Boa Vista Leque*, esta sub-unidade é facilmente reconhecida em fotos e imagens por sua forma característica de leque desenvolvida a partir dos córregos Baile e Esperança, ocorre na porção central da Unidade Fazenda Boa Vista. Aparentemente esta sub-unidade constitui-se de um leque colúvio-aluvional, mais recente que as outras duas sub-unidades, estando o sistema atualmente desativado.

Unidade Rio Paraná: A área foco deste estudo encontra-se nesta unidade, que consiste na planície aluvial do próprio Rio Paraná, ocupando uma área de 600 km². Na Carta Geomorfológica, esta unidade também se subdivide. *Sub-unidade Rio Paraná Canal*, corresponde ao canal principal do Rio Paraná. A *Sub-unidade Rio Paraná-Várzea*, compreende a planície do Rio Paraná, esta sub-unidade ainda divide-se em várzea alta e várzea baixa, a primeira referindo-se a maior parte da unidade, estando em média 4m acima do nível normal das águas, sendo inundada apenas nos eventos maiores de cheia, já a segunda, é aquela inundada pelas cheias anuais, sua altitude não passa de 1,5m do nível normal das águas. A várzea do Rio Paraná está em quase sua totalidade na margem direita do canal (MS) sendo que na margem esquerda (PR) aparecem apenas algumas pequenas áreas. O Rio Baía, o Canal Curutuba, e a parte mais baixa do Rio Ivinheima percorrem a área.

Na unidade rio Paraná Várzea ocorrem a “*Zona de Paleocanais do Rio Paraná*”, e a “*Zona de Planície de Inundação do Sistema Curutuba Ivinheima*”. A primeira mostra-se bem desenvolvida na parte mais a montante da área, onde os paleocanais se mostram claros e passíveis de mapeamento. A forma alongada de um grande número de lagoas que ocorrem na área é um indicativo da sua gênese ligada ao abandono de canais. A Zona de Planície de Inundação do Sistema Curutuba Ivinheima compreende a área de maior influencia da dinâmica do canal do Curutuba e do Baía.

A morfologia da Unidade Rio Paraná Várzea foi atribuída por Souza Filho (1993) e por Souza Filho et al (1996), como o resultado da atuação de um sistema anastomosado que esteve ativo até cerca de 1500 anos atrás. Na parte situada a montante da área tal sistema deixou formas anteriores a descoberto (paleo-barras), e possui canais bem definidos a partir dos quais ocorrem depósitos de crevasses (fase inicial do sistema).

Nas ilhas fluviais ocorrem formas relacionadas á fase de implantação dos canais. Na parte média e baixa ocorrem formas relacionadas à fase madura do sistema, com canais, diques marginais e bacia de inundação bem definidos (rio Baía, canal de Curutuba, e baixo rio Ivinheima). Na área do canal de Curutuba a bacia de inundação encontra-se bem definida em uma faixa separada do curso do rio Paraná por uma área mais elevada, marcada também

por depósitos de crevasse. As feições relacionadas ao sistema anastomosado em estágio senil são encontradas em uma parte da planície situada á margem esquerda (canal cortado).

3. CARACTERIZAÇÃO DA UNIDADE DE ESTUDO

O trecho da planície de inundação em que se desenvolveu este trabalho, está localizada no alto curso do rio Paraná, entre o Noroeste Paranaense e o Sudeste Sul-Mato-Grossense, e ao norte a área limita-se com o Estado de São Paulo.

A unidade de estudo localiza-se mais precisamente na região de Porto Rico, e compreende a área situada na margem esquerda do rio Paraná, entre a foz do Rio Paranapanema e a primeira foz do Rio Ivinheima (Canal Ipoitã), conforme (FIGURA 2). As localidades mais próximas são a cidade de Porto Rico e o distrito de Porto São José, do lado paranaense, do lado sul-mato-grossense, as comunidades distam mais de 15 KM da margem do rio (SOUZA FILHO & STEVAUX, 2004).

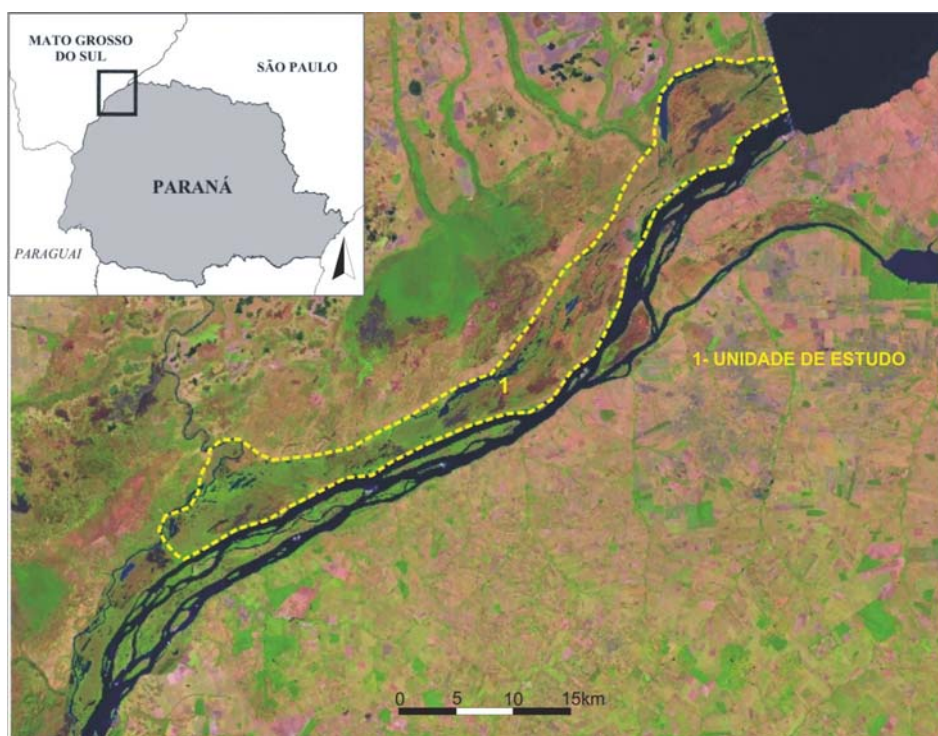


Figura 2. Localização da Unidade de Estudo

A planície de Inundação do Alto Rio Paraná é caracterizada por Comunello (2001) como um grande complexo paisagístico, formado por diferentes ecossistemas dinâmicos que se conectam e se interagem causando

diferenças sazonais marcantes. O fenômeno da inundação ganha um papel de destaque neste cenário, por permitir a conexão entre ambientes lóticos e lânticos no interior da planície.

O Alto Rio Paraná e sua planície de inundação vêm sendo estudados desde a década de 1980 pelo Núcleo de Pesquisas em Ictiologia, Limnologia e Aquicultura (NUPÉLIA) e também pelo Grupo de Estudos Multidisciplinares do Ambiente (GEMA), ambos da Universidade Estadual de Maringá (UEM), as pesquisas que se desenvolvem no nível de graduação e pós-graduação, contribuíram grandemente para a construção do conhecimento da região, e faz com que hoje haja um considerável material bibliográfico da área de estudos.

O Rio Paraná apresenta em quase todo seu trecho superior uma ampla planície que se desenvolvia da região de Três Lagoas (MS) até as proximidades de Guaira (PR) mas hoje se encontra interrompido pela construção da UHE de Porto Primavera. No segmento situado entre Porto Primavera e a ilha dos Bandeirantes , ela ocupa principalmente a margem direita , mas tem significativa expressão sob a forma de grandes conjuntos de ilhas. (Souza Filho, 1994).

Ao longo de toda a extensão da planície são encontradas diferentes feições com características particulares. As formas identificadas já foram previamente descritas por Souza Filho (1994), Souza Filho e Stevaux (1997) Rocha (2002) e Santos (2005). As principais feições são descritas a seguir:

Diques marginais: São bastante característicos na região estudada margeando o Rio Paraná e os seus afluentes. Suas dimensões são variadas , os menores corpos possuem largura de 20 a 30 m e chegam a 4 m acima das áreas secas , os maiores podem se estender por mais de 300 m e com altura superior a 5 m em relação às áreas secas. Distribuem-se ao longo do rio Paraná e de seus afluentes e também ocorrem bordejando os paleocanais.

Os diques são formas deposicionais formadas basicamente de areia fina, com contribuição de silte e argila. São identificadas na paisagem pela sua posição mais alta na planície e também pela sua vegetação arbórea bem

desenvolvida, formam assim o conjunto de partes altas da planície de inundação.

Leques de rompimento de dique (crevasses): São as feições que se formam quando o dique marginal se rompe não resistindo à força imposta pela água do canal adjacente, caracterizando o processo de avulsão. Dessa forma ocorre a entrada de água do canal para a planície antes do nível de transbordamento, nos locais onde o dique marginal foi interrompido pelo processo de avulsão. Eles são facilmente inidentificáveis em fotografias aéreas pela sua forma em “pata de ave”, sendo mais altos próximos aos canais de origem, e diminuem de altura conforme avançam para a planície, confundindo-se com a áreas mais baixas. Nos locais onde essas formas ocorrem observa-se uma série de pequenos canais que indicam a posição da entrada e do fluxo de água. Tais canais podem se transformar em cursos permanentes, se a incisão de seu leito for suficientemente profunda.

As formas podem ocorrer em diferentes estágios de evolução, e são marcadas por depósitos arenosos pouco vegetados.

Paleocanais, baixios e alagadiços: correspondem aos pontos mais baixos da planície, muitas vezes essas partes são reativadas formando lagoas (temporárias e perenes), esses pontos são comumente bordejados por diques, o que facilita sua identificação, a presença de vegetação típica de brejo é também um bom indicativo na identificação dessas formas.

As zonas de baixios são normalmente alagadas, formando brejos, com uma vegetação bem particular. Nas lagoas, ou mesmo em alguns brejos é comum encontrarmos a presença de macrófitas.

Uma parte dessas formas é mais antiga, e está relacionada ao desenvolvimento do sistema anastomosado pré-atual. Outra parte está relacionada à dinâmica atual (SOUZA FILHO, 1993). De acordo com o referido autor os canais, os paleocanais, e os diques marginais que ocorrem no interior da planície são antigos, assim como as *crevasses* a eles relacionadas. Os diques marginais e paleocanais (ressacos) situados ao lado e em posição

paralela ao rio Paraná são recentes, assim como as *crevasses* que tem origem em suas margens, e ainda preservam a forma de “pé de pato”.

O conhecimento atual a respeito da evolução da Planície de Inundação do Alto Rio Paraná, mostra que a origem da mesma teria sido em função de mudanças climáticas ocorridas no quaternário, que fez com que o Rio Paraná mudasse seu padrão de canal de anastomosado (*anastomosed*) para entrelaçado (*braided*), nesse processo o rio foi abandonando seu antigo leito e migrando para o lado esquerdo, deixando abandonada uma série de canais e ilhas. Assim, a superfície descontínua apresentada pela planície é o resultado de todo esse processo (SOUZA FILHO & STEVAUX, 1997).

4. APLICAÇÃO DE TÉCNICAS DE SENSORIAMENTO REMOTO EM ESTUDOS AMBIENTAIS

A identificação de formas de terreno normalmente é feita através de análises qualitativas baseado nas descrições feitas no momento da interpretação. Os métodos paramétricos também representam uma alternativa de grande interesse na identificação de sistemas terrestres, pois fornecem informações mais objetivas acerca das feições observadas, porém esse tipo de trabalho requer a medição e mapeamento de uma série de variáveis do relevo (altitude, declividade, curvaturas vertical e horizontal, orientação das vertentes, etc), o que torna essa alternativa mais demorada e mais custosa. (VALERIANO, 2004). No entanto, o Sensoriamento Remoto e o Geoprocessamento podem reduzir significativamente estes custos.

A utilização de técnicas como o Sensoriamento Remoto e o Geoprocessamento aumentou significativamente nas últimas décadas, isso em função de que as mencionadas técnicas são bastante eficazes para as ciências do ambiente, especialmente as que trabalham com os fenômenos ligados a superfície terrestre.

Em países mais extensos, onde há uma carência de informações fundamentais para a tomada de decisões sobre problemas urbanos e ambientais, o geoprocessamento se apresenta como alternativa, principalmente se for baseado em tecnologias com custo relativamente baixo, em que o conhecimento é adquirido localmente. (CÂMARA & MEDEIROS, 1998).

As ferramentas existentes hoje em dia permitem reunir uma série de informações relativamente precisas mesmo nas áreas onde os dados são exíguos. Essas ferramentas são de extrema importância para a obtenção de dados geomorfológicos em estudos que abrangem área ampla e de difícil acesso.

Os estudos de grandes áreas normalmente são custosos, uma vez que exigem grande apoio logístico e de pessoal, um outro fator complicador é o fato de se não se conseguir observações pontuais quando não se tem uma visão geral do conjunto paisagístico. As dificuldades de acesso e deslocamento aumentam quando se trata de planícies de inundação, uma vez que os

problemas transcendem a extensão da área, a ela devem ser somadas a presença de terrenos alagados, lagoas, e vegetação densa ou espinhenta a ser transposta (COMUNELLO, 2001).

Uma série de autores contribuem significativamente no tocante ao uso de sistemas sensores em estudos ambientais. Muller *et al.* (1993); Smith (1997); Merters (2002), fazem considerações acerca do uso de tais ferramentas na avaliação de sistemas fluviais e na determinação de áreas inundáveis por meio de uma série de variáveis observáveis em produtos do sensoriamento remoto.

Tais autores apontam como ferramentas eficazes o uso de sensores ativos e passivos, que podem ser utilizados na determinação espacial das cheias, assim como para fazer medidas altimétricas através do uso de radares e de fotogrametria. Outros trabalhos de relevante importância são os de Jardim-Lima *et al.* (2005) e França *et al.* (2005), que trabalham com a avaliação dos pulsos de inundação na região Amazônica, com uma ênfase maior sendo dada aos sistemas lacustres.

O trabalho de Townsend & Walsh (1998), busca através da construção de um MDT (Modelo Digital de Elevação) e sua associação com imagens de satélite Landsat (TM), fazer a modelagem de uma planície de inundação. Para os autores, os MDT's oriundos de radares são uma saída eficaz para se inferir sobre áreas onde os dados são escassos. Além disso, no trabalho são lembrados também os problemas com custos e logística quando se trabalha em áreas amplas.

Comunello (2001) aponta dois grupos principais de métodos para se trabalhar com sensoriamento remoto na análise de inundações: a) observação de imagens em situação de inundação distintas, correlacionando a área inundável com os níveis fluviométricos dados por medição em hidrógrafa; b) construção de modelo altimétrico da superfície (Modelo Numérico de Terreno) para posterior inferência da área inundada por meio da análise da altitude e adjacência das áreas em relação ao rio.

Ainda segundo o mesmo autor, uma combinação dos dois métodos ofereceria as melhores condições para se inferir sobre a área de estudo. A construção de um modelo numérico do terreno, assim como a análise de imagens em diferentes períodos e de diferentes níveis altimétricos, possibilitará

a geração de produtos que auxiliarão no entendimento do comportamento da várzea frente aos pulsos de inundação, e poderão ser utilizados como um referencial para que se identifique e quantifique os impactos e os processos naturais que ocorrem na região.

4.1. Modelagem Numérica do Terreno

Um modelo numérico do terreno - MNT (ou DTM - Digital Terrain Model, ou ainda MDT – modelo digital do terreno) é uma representação matemática da distribuição espacial de uma determinada característica vinculada a uma superfície real. A superfície é em geral contínua e o fenômeno que representa pode ser variado. Mesmo sendo mais comumente associados a altimetria, a partir da construção de um MNT também é possível calcular diretamente volumes, áreas, desenhar perfis e secções transversais, gerar imagens sombreadas ou em níveis de cinza, gerar mapas de declividade e aspecto, gerar fatiamento nos intervalos desejados e perspectivas tridimensionais (CÂMARA, 1996; CÂMARA & MEDEIROS, 1998).

Um fator complicador na geração de produtos como um MNT, é a dificuldade de levantamento dos dados para construção do mesmo. Essa dificuldade é agravada quando se trata de planícies de inundação em função da extensão da área e também pela pequena variação altimétrica nelas existentes. Tais variações não são facilmente identificáveis em alguns dos produtos disponíveis, tais como as cartas topográficas, e um levantamento preciso de pontos cotados consumiria um tempo significativo da pesquisa, tornando a mesma inviável.

Felizmente, o desenvolvimento de técnicas de sensoriamento remoto, proporciona algumas alternativas para suprir a carência dos dados. Nos países da América do Sul a construção de um MNT em dia pode ser realizada com a utilização das imagens de missão SRTM (Shuttle Radar Topography Mission), sendo as mesmas distribuídas gratuitamente. Além disso, uma outra base bastante interessante são as imagens do satélite ASTER, que através de suas bandas com visada lateral, permitem a montagem de um Modelo Digital de Elevação, essas imagens também podem ser adquiridas gratuitamente através

de encaminhamento de pedido. O acesso gratuito e qualidade dos produtos foram fundamentais para a escolha dos mesmos para o presente estudo.

4.2 – A missão SRTM

A missão SRTM, iniciada em 11 de fevereiro de 2000 e necessitou de 11 dias para concluir a varredura do globo terrestre entre as latitudes 60° N e 57° S, o que equivale a 80% da área total da terra. O sobrevôo da missão coletou dados através do radar IFSAR (Interferometric synthetic aperture radar) acoplado ao ônibus espacial *Endeavour* da NASA. Foram coletados os dados para a geração dos MDE's (Modelo Digital de Elevação) com uma cobertura global disponível ao público e a comunidade científica.

Os dados altimétricos do território dos Estados Unidos têm uma resolução de 30 metros e para o restante do globo a resolução é de 90 metros (SHORTRIDGE, 2006; NÓBREGA et al., 2005; JARVIS et.al. 2004; VALERIANO, 2004).

De acordo com Valeriano (2004, 2005), a utilização de Modelos Digitais de Elevação (MDE), como aqueles fornecidos pela missão SRTM, obtidos por sensores orbitais representa uma alternativa de grande interesse para suprir a carência de mapeamentos, sobretudo na África, Oceania e América do Sul. Grande parte do território nacional é provida de mapeamento em escalas demasiadamente generalizadas para várias utilizações da informação topográfica. Por este aspecto, a resolução de 90m dos dados SRTM representa um avanço importante em relação as alternativa até então disponíveis.

Apesar de ser um avanço, as imagens ainda não apresentam a resolução ideal, uma série de estudos é feita hoje no Brasil onde se buscam refinar os dados brutos da missão SRTM. Nóbrega et. al. (2005) realizaram um trabalho comparativo buscando estabelecer limites para o uso das imagens oriundas da missão SRTM. No referido trabalho foi observado que as imagens são muito fiéis quando comparadas a outros produtos como aerofotos, e as restrições aparecem quando da realização de análise quantitativa de áreas muito íngremes e/ou de áreas em uma escala muito grande. Nesses casos deve-se tomar um cuidado muito grande para não se trabalhar com dados inapropriados.

Para a construção de um MNT em planícies de inundação, o uso dos produtos da missão SRTM não apresenta grandes restrições, mesmo assim, o uso dessas imagens deve ser sempre acompanhado de outras fontes de dados (aerofotos, imagens de satélite, perfis topo-batimétricos e outros) para que se estabeleça um paralelo, e dessa forma, identifique-se possíveis limitações quanto ao uso dessas imagens.

Valeriano (2004), apresenta uma maneira interessante de se trabalhar com os dados SRTM, através de sua interpolação por krigeagem. Com a aplicação desse método estatístico, é possível aumentar a resolução das imagens SRTM de 3 arcos de segundo (~90m), para 1 arco de segundo (~30m), Esta mesma técnica foi adotada por Silva e Candeias (2006) para refinar a resolução dos dados SRTM.

Considerando o exposto até aqui, permite-se reconhecer o Sensoriamento Remoto e o Geoprocessamento como ferramentas bastante eficazes para a realização de um trabalho como foi proposto, que visa a identificação de formas de planície através das técnicas mencionadas. A seguir serão descritos os procedimentos metodológicos realizados no trabalho.

Em um trabalho dessa natureza, o cruzamento das diversas fontes de informação são realizados através de um SIG (Sistema de Informação Geográfica). Esses instrumentos computacionais do geoprocessamento, além trabalhar como um banco de dados geográficos, com função de armazenamento e recuperação da informação espacial, são um suporte na análise espacial dos fenômenos, e tornam possível também a automatização da produção de mapas (CÂMARA & MEDEIROS, 1998).

4.3. Imagens ASTER

O satélite ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer) é um satélite imageador multiespectral que foi lançado a bordo da espaçonave Terra em dezembro de 1999 (FUJISADA *et.al.* 2005). Com 14 bandas o satélite ASTER cobre um grande faixa espectral, do visível ao infra-vermelho termal, os seus três sensores VNIR, SWIR e TIR possuem resoluções espaciais de 15, 30 e 90m respectivamente.

O equipamento produz dados em dois níveis chamados de Nível 1A e Nível 1B. Os produtos em nível 1A são usados como fonte de dados para gerar Modelos Digitais de Elevação (MDE). Os MDE's oriundos desses produtos são de alta qualidade (FUJISADA *et. al. Op. Cit*) mesmo sem a utilização pontos de controle no solo para correção de cenas.

O Modelo Digital de Elevação do satélite ASTER, baseia-se nos princípios da fotogrametria, que vem sendo empregados a mais de 70 anos (WELCH *et. al.*, 1998). O satélite possui em seu sensor VNIR uma banda com visada lateral (3N), ou seja, posicionada na posição vertical. Adicionalmente à visada vertical, o sistema possui um segundo sensor (3B) visando para trás da mesma órbita, que registra só no espectro do infravermelho próximo (IVP), a qual permite gerar por estereoscopia, junto à banda nadiral no IVP, o MDE. (PARMA, 2007).

Existem dois tipos de Modelos Digitais que podem ser extraídos dessas imagens: o relativo e o absoluto (HIRANO *et. al.*, 2003). No primeiro, os valores não são ajustados a pontos de controle no solo, dessa forma, são calculados os desníveis e se estabelece a relação base/altura das formas. Assim, os modelos relativos não possuem necessariamente um ajuste altimétrico ao nível do mar, mas os mesmos podem ser ajustados posteriormente.

Nos MDE's absolutos, é necessário que hajam pontos de controles com valores altimétricos relativamente precisos para o ajuste do MDE, nesse caso os valores são ajustados ao nível do mar.

5. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Para a realização do proposto para esta pesquisa, foi utilizada uma série de produtos obtidos por sensoriamento remoto além de um SIG para tratamento desses produtos. Os referidos produtos e o sistema de informação foram utilizados para a construção de modelos para a planície que posteriormente seriam associados a outros produtos já existentes, e também às observações realizadas em campo.

Os trabalhos de campo realizados serviram para a que fossem feitas observações mais detalhadas nas formas de planície, através da constatação dos tipos de depósitos existente para cada forma, dessa forma, os modelos gerados com os produtos de sensoriamento remoto, puderam ser validados, uma vez que tinham uma base para comparação.

Dessa forma, a pesquisa pode ser dividida em etapas: a) tratamento de produtos de sensoriamento para geração de cartas e modelos para a planície; b) a segunda etapa foi a de levantamento de dados no campo; c) a terceira, foi a etapa de associação dos produtos gerados com os levantamentos realizados. As três etapas serão mais detalhadamente descritas a seguir.

a) Geração de Modelos para a planície e Inundação

Modelagem Numérica do Terreno

Nessa etapa foram utilizados os dados oriundos da missão SRTM, e do satélite ASTER. Os procedimentos empregados diferem para cada uma das fontes de dados, uma vez que, são imageadores diferentes.

Modelo Digital de Elevação SRTM

O MDT SRTM original, com resolução de 90 metros foi tratado de acordo com o proposto por Valeriano (2004). Foi feita a interpolação por krigeagem para que obtivesse ganho na qualidade desses produtos, gerando um novo MDT.

Os dados SRTM foram adquiridos na rede mundial de computadores através do endereço *ftp://e0srp01u.ecs.nasa.gov*. Os dados para a América do Sul são disponibilizados com uma resolução de 90 metros. De acordo com a metodologia proposta por Valeriano (op.cit.), os dados devem ser interpolados por krigagem.

Para a realização dessa etapa do trabalho, foram utilizados os *softwares ENVI 4.0* (conversão dos dados SRTM para ASCII x,y,z), *SURFER 8.0* (geração da superfície de tendência, resíduos, ajuste do variograma e krigagem), como é mostrado no fluxograma (FIGURA 3).

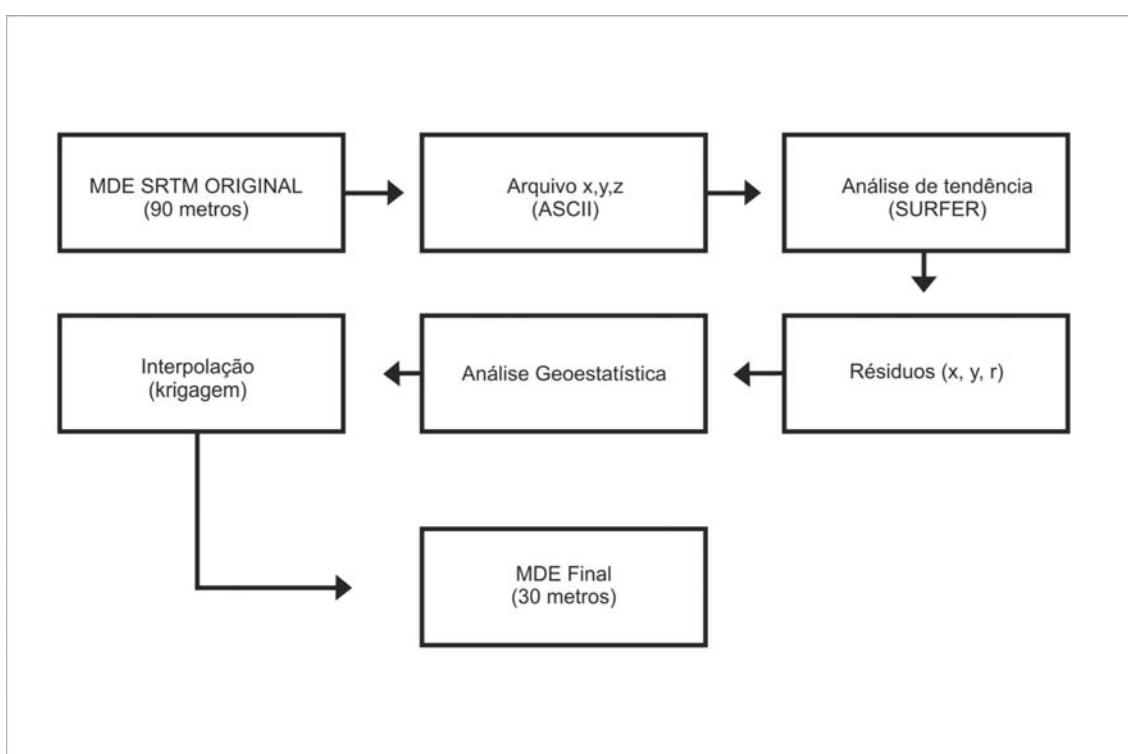


Figura 3. Fluxo de tratamento dos dados SRTM para a elaboração do MDE

Modelo Digital de Elevação ASTER

A geração do MDE ASTER seguiu conforme o proposto por Toutin (2002), Fujisada *et. al.* (2005), Hirano *et. al.* (2003), Cuartero *et. al.* (2005) e Parma (2007). As imagens ASTER forma adquiridas gratuitamente, para isso, foi encaminhado um pedido à USGS (United States Geological Survey) através do site *http://lpdaac.usgs.gov/aster/afd/index.php*, após a liberação

(aproximadamente 40 dias) as imagens foram obtidas no site <http://edcimswww.cr.usgs.gov/pub/imswelcome/>.

Assim, foram adquiridas duas cenas para que se contemplasse toda a unidade de estudo. As cenas são do Nível 1A (que possui as bandas nadirais 3N e 3B) e datam de 29/03/07. O MDE gerado das cenas foi relativo, ou seja, não foi associado à pontos de controle no solo, dessa forma os valores altimétricos das cenas não eram absolutos e precisaram ser devidamente ajustados posteriormente.

A escolha MDE relativo ao invés de absoluto se deve ao fato que, a coleta de um número suficiente de pontos de controle se tornaria inviável devido à extensão da área de estudo e suas dificuldades de acesso, além disso, por se tratar de uma planície, a pequena declividade da área exigiria um número infinitamente grande de pontos de controle, e de aparelhos de precisão muito alta para que as diferenças fossem realmente representadas.

O ajuste posterior a pontos de controle já existentes na área torna-se a alternativa mais interessante para transformar os valores relativos do MDE em valores altimétricos reais. Para o ajuste do MDE aos valores reais, foram utilizado como base a rede básica GPS levantada por Couto (1995) São ao todo 29 marcos geodésicos levantados para a aquisição de dados hidrológicos dos quais foram utilizados 25. Os dados dos marcos geodésicos encontram-se no (QUADRO 1).

Foram então calculadas as diferenças altimétricas entre os 25 marcos na planície e os valores representados pelo MDE relativo gerado, assim, chegou-se à diferença média simples entre os pontos.

Para a geração do MDE ASTER, foi utilizados o “software” *ENVI 4.0* para a montagem do mosaico ASTER com as bandas 3N e 3B, o “software” *Global Mapper* para a visualização e extração de uma grade x,y,z do MDE relativo, e o “software” *Surfer 8.0* para o cálculo das diferenças altimétricas, e geração da nova grade x,y,z com valores reais.

PONTO	COORDENADAS NO SISTEMA WGS-84(em relação ao nível do mar)			
	LATITUDE (S)	LONGITUDE (W)	ALTITUDE (m)	DADOS (MDE)
P01	22° 53' 26"	53° 31' 41"	233.342	41,9
P02	22° 51' 50"	53° 28' 47"	245.403	65,5
P03	22° 54' 58"	53° 33' 21"	230.528	31,4
P04	22° 56' 21"	53° 34' 26"	230.071	52
P05	22° 57' 59"	53° 36' 09"	228.670	50,2
P06	22° 55' 31"	53° 36' 34"	230.687	55,1
P07	22° 51' 46"	53° 33' 57"	231.032	47,2
P08	22° 50' 27"	53° 34' 44"	230.446	52,8
P09	22° 49' 50"	53° 34' 01"	231.149	36,5
P10	22° 47' 29"	53° 31' 29"	230.115	46,6
P11	22° 51' 20"	53° 32' 33"	231.735	53,3
P12	22° 49' 06"	53° 28' 23"	230.876	46,2
P13	22° 50' 31"	53° 29' 34"	229.833	48,7
P14	22° 49' 36"	53° 27' 09"	231.463	54,6
P15	22° 49' 09"	53° 25' 11"	231.582	50,1
P16	22° 45' 23"	53° 14' 07"	253.448	65,7
P17	22° 52' 38"	53° 35' 08"	230.638	49,6
P18	22° 48' 40"	53° 26' 51"	232.762	55,7
P19	22° 47' 42"	53° 25' 07"	232.132	53,1
P20	22° 46' 43"	53° 22' 13"	231.830	51,6
P21	22° 45' 37"	53° 19' 45"	232.508	55,5
P22	22° 44' 11"	53° 20' 24"	230.810	43,7
P23	22° 45' 00"	53° 17' 54"	232.825	48,2
P24	22° 44' 08"	53° 11' 57"	246.356	64,9
P25	22° 46' 26"	53° 16' 47"	241.687	63,3

Quadro 1. Altitude dos marcos geográficos (COUTO, 1995) e valores do MDE ASTER para ajuste

Classificação das Áreas da Planície

As imagens de satélite são outra fonte importante de informação na identificação de formas. Partindo da idéia de que, com características diferentes (tipo de vegetação, presença de água, ou ausência de vegetação), cada forma de planície deve ter uma resposta espectral distinta podendo ser identificadas nas imagens de satélite.

As imagens orbitais foram classificadas pelo método da classificação não-supervisionada (*unsupervised classification*) (LILLESAND & KIEFER, 1994). Nesta operação são agrupados na imagem os pixels de valores similares, em classes determinadas de acordo com os parâmetros oferecidos ao software.

O emprego da técnica da classificação não-supervisionada foi realizado também sobre as cenas ASTER já adquiridas. Outras alternativas seriam as cenas LANDSAT/TM e CBERS/CCD que também são distribuídas gratuitamente na rede mundial de computadores nos endereços <http://glcf.umiacs.umd.edu/data/landsat/> e www.dgi.inpe.br, respectivamente.

A escolha pelas cenas ASTER para esta etapa se deve ao fato de que as mesmas possuem uma resolução espacial de 15 metros (sensor VNIR), enquanto as imagens LANDSAT e CBERS possuem resoluções de 30 e 20 metros respectivamente, além disso, foi levado em consideração também a maior disponibilidade de cenas ASTER.

Para esta etapa foi utilizado os *softwares ERDAS IMAGINE 9.1* para a montagem do mosaico com as cenas ASTER e aplicação da classificação não supervisionada.

Pós-Classificação

O procedimento de classificação não-supervisionada é realizado baseando-se nos valores de pixel, sendo os mesmos agrupados em classes considerando suas semelhanças. Os produtos gerados através desse método devem então ser avaliados, associando os mesmos às observações realizadas em campo.

Uma maneira interessante de se avaliar a matematicamente a acurácia da classificação é através da elaboração do índice *Kappa*. Para isto é necessário que se faça uma tabulação cruzada e que se verifique a concordância entre os dados obtidos em campo e o mapa temático produto da classificação (LOBÃO *et. al.* 2005; PONZONI e ALMEIDA, 2007) (FIGURA 4) Além do índice *Kappa* (Equação 1), pode-se avaliar variáveis como: desempenho da classificação para cada uma das classes (Equação 2), erros

de inclusão (Equação 3), erros de omissão (Equação 4) e acurácia global geral para a classificação (Equação 5), (Jensen, 2005).

$\hat{K} = \frac{N \sum_{i=1}^k x_{ii} - \sum_{i=1}^k (x_{i+} \cdot x_{+i})}{N^2 - \sum_{i=1}^k (x_{i+} \cdot x_{+i})} \quad (1)$	
$Pr\ ecis\tilde{a}o_{\text{ classe } x} = \left(\frac{x_{ii}}{x_{+i}} \right) \quad (2)$	$Erros_{\text{ omiss\~{a}o}} = 1 - \left(\frac{x_{ii}}{x_{+i}} \right) \quad (3)$
$Erros_{\text{ inclus\~{a}o}} = 1 - \left(\frac{x_{ii}}{x_{i+}} \right) \quad (4)$	$Acur\tilde{a}cia_{\text{ global}} = \left(\frac{\sum_{i=1}^k x_{ii}}{N} \right) \quad (5)$

Figura 4: Equações dos parâmetros estatísticos utilizados para avaliar a classificação

onde:

\hat{K} : valor estimado *Kappa*

k : número de linhas

x_{ii} : número de observações na linha i e coluna i

$\sum_{i=1}^k x_{ii}$: soma dos elementos da matriz em sua diagonal principal

x_{i+} : soma total das observações para as linhas

x_{+i} : soma total das observações para as colunas

N : número de observações total

A confrontação dos dados de campo com as classes geradas, pode ser avaliado matematicamente. Landis e Koch (1977) estabelecem limiares do índice *Kappa*, para avaliar a classificação (TABELA 1).

Tabela 1: Limiares do índice Kappa utilizados para avaliar o grau de concordância da classificação

Índice Kappa	Concordância
0.00	Péssima
0,01 a 0,20	Ruim
0,21 a 0,40	Razoável
0,41 a 0,60	Boa
0,61 a 0,80	Muito Boa
0,81 a 1,00	Excelente

Fonte: Landis e Koch (1977)

A tabulação cruzada dos dados e o cálculo do índice *Kappa* é realizada toda em ambiente no editor de planilhas *Excel* como apresentado no (QUADRO 2)

REFERÊNCIA/CAMPO						
CLASSIFICAÇÃO		Veg. Arbórea	Veg. Arbustiva/Gramínea	Baixios/Alagadiços	Solo Exposto	Rios/Lagoas
	Veg. Arbórea	6		1		
	Veg. Arbustiva/Gramínea		7	2	1	
	Baixios/Alagadiços			12	2	
	Solo Exposto				13	
	Rios/Lagoas					1

Quadro 2. Tabulação cruzada com os dados de campo e da classificação não supervisionada

Superfície de Tendência e Resíduos

A superfície de tendência, é o método pelo qual uma superfície contínua é ajustada aos valores de “z”. A aplicação do modelo estatístico da análise da superfície de tendência é de grande valia na análise geomorfológica. Essa técnica tem grande aceitação na literatura acerca da geografia das formas do relevo, uma vez que permite detectar um padrão regional das formas. (PAWLING, 1973; RHOADS *et. al*, 1984). Além disso, através da aplicação dessa técnica, são obtidas as anomalias positivas e negativas do padrão geral da área estudada. De acordo com Landim & Corsi (2001), com a aplicação dessa análise, consegue-se separar dados mapeáveis em duas componentes:

uma de natureza regional, representada pela própria superfície, e outra que revela as flutuações locais, representadas pelos valores residuais.

Os mapas de superfície de tendência e resíduos foram confeccionados utilizando o *software SURFER 8.0*, de acordo com o proposto por Landim & Corsi (op. cit.). Foi utilizado o MDT gerado a partir dos dados SRTM e ASTER como base de informações, com esses dados, foi elaborada uma superfície média ajustada aos valores de altimetria (Z), como uma função linear das coordenadas X-Y. A partir dos dados da superfície de tendência foram encontrados os resíduos (anomalias), ou seja, dados que se encontram acima ou abaixo do padrão geral da área.

A elaboração da superfície de tendência não pode ser feita a partir dos dados de toda a área de estudo porque sua disposição acompanha uma mudança de direção do curso fluvial. Dessa forma a área total foi dividida em dois conjuntos dispostos cada qual em uma única direção. Os dois conjuntos foram denominados por alta e baixa planície, conforme (FIGURA 5).

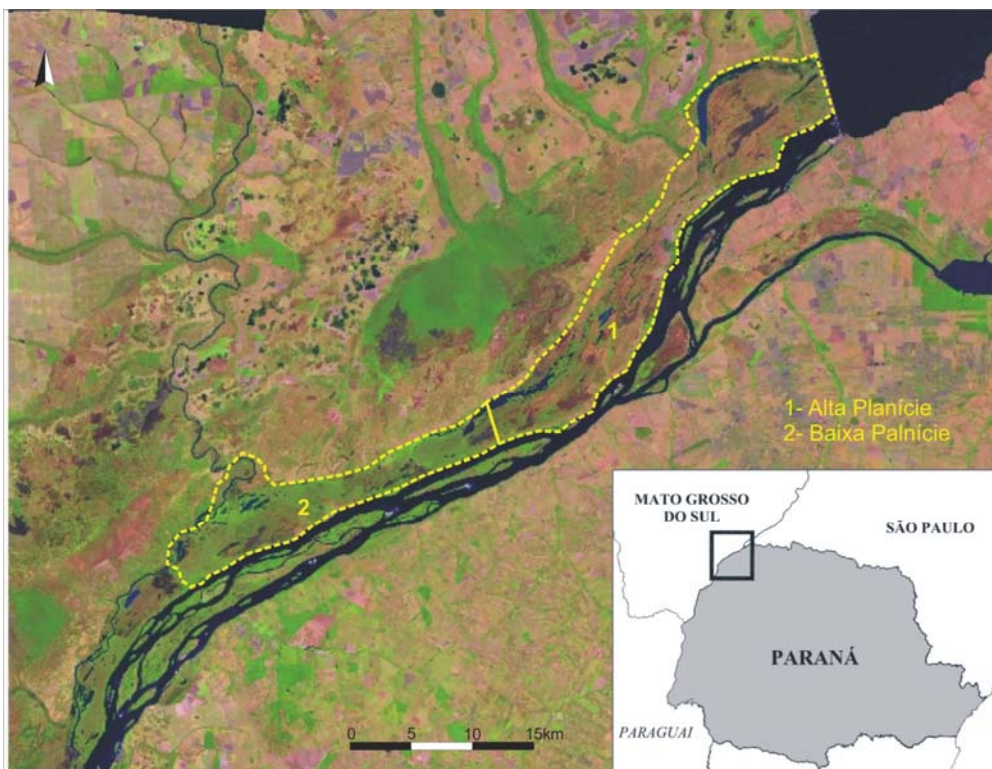


Figura 5. Divisões da planície para a aplicação da análise de tendência

Fotografias Aéreas

As fotografias aéreas foram utilizadas no auxílio para a extração de formas na planície. A idéia inicial era a de construir um Modelo Digital de Elevação orientado através de fotogrametria digital utilizando tais produtos, contudo, algumas dificuldades não permitiram que assim se procedesse, dessa forma, as fotografias foram utilizadas apenas para a montagem de pares estéreos onde as formas puderam ser mais bem visualizadas.

As dificuldades encontradas assemelham-se àquelas encontradas na construção de um MDE absoluto com as imagens ASTER, pois seria necessário também o levantamento de um número infinitamente grande de pontos de controle para a construção do modelo. Além disso, seriam necessários uma série de parâmetros para a calibração interna da câmera, que não se encontraram disponíveis. Vale lembrar também que a pequena altimetria da área de estudo e sua extensão também são complicadores, uma vez que exigiriam um grande número de fotografias com escala de detalhe grande para que se obtivesse êxito.

Os procedimentos para esta etapa foram realizadas no *software LPS (Leica Photogrammetry Suite)*, onde, os pares fotográficos (não orientados) foram montados, e as formas foram extraídas. As fotografias utilizadas datam de 1970 e cobrem parcialmente a planície.

Levantamento de dados no campo

Foram realizadas duas missões de campo, onde foram feitas observações em 45 pontos ao longo da planície no trecho correspondente entre a primeira foz do Rio Ivinheima (Canal Ipoitã) e a UHE de Porto Primavera. Foram visitados pontos identificados nas imagens de satélite como tendo características distintas. No campo, buscou-se observar características que pudessem distinguir cada tipo de forma (vegetação, posicionamento na planície, altimetria de cada forma).

As observações serviram como base para atestar os modelos gerados, tornando possível a identificação das formas. É importante lembrar que, apesar

de todas as possibilidades realizáveis através dos SIG's, uma pesquisa dessa natureza não seria possível sem o trabalho de campo. O Sensoriamento Remoto permite que a necessidade de campo seja minimizada, porém não pode ser excluída do trabalho.

6. RESULTADOS

Modelo Digital do Terreno para a Planície de Inundação

O trabalho com os dados de Geoprocessamento permitiu gerar uma série de produtos, a partir dos quais se pode inferir sobre a área de estudo. Eles foram a base para que as primeiras observações a respeito da identificação das formas pudessem ser feitas.

A aplicação da interpolação por *krigagem* trouxe ganhos significativos de informação ao MDE da missão SRTM (FIGURA 6) No MDE corrigido há um realce das formas, permitindo que as mesmas fossem identificadas com mais facilidade. Contudo, há alguns pontos que devem ser observados quando se trabalha com esses dados.

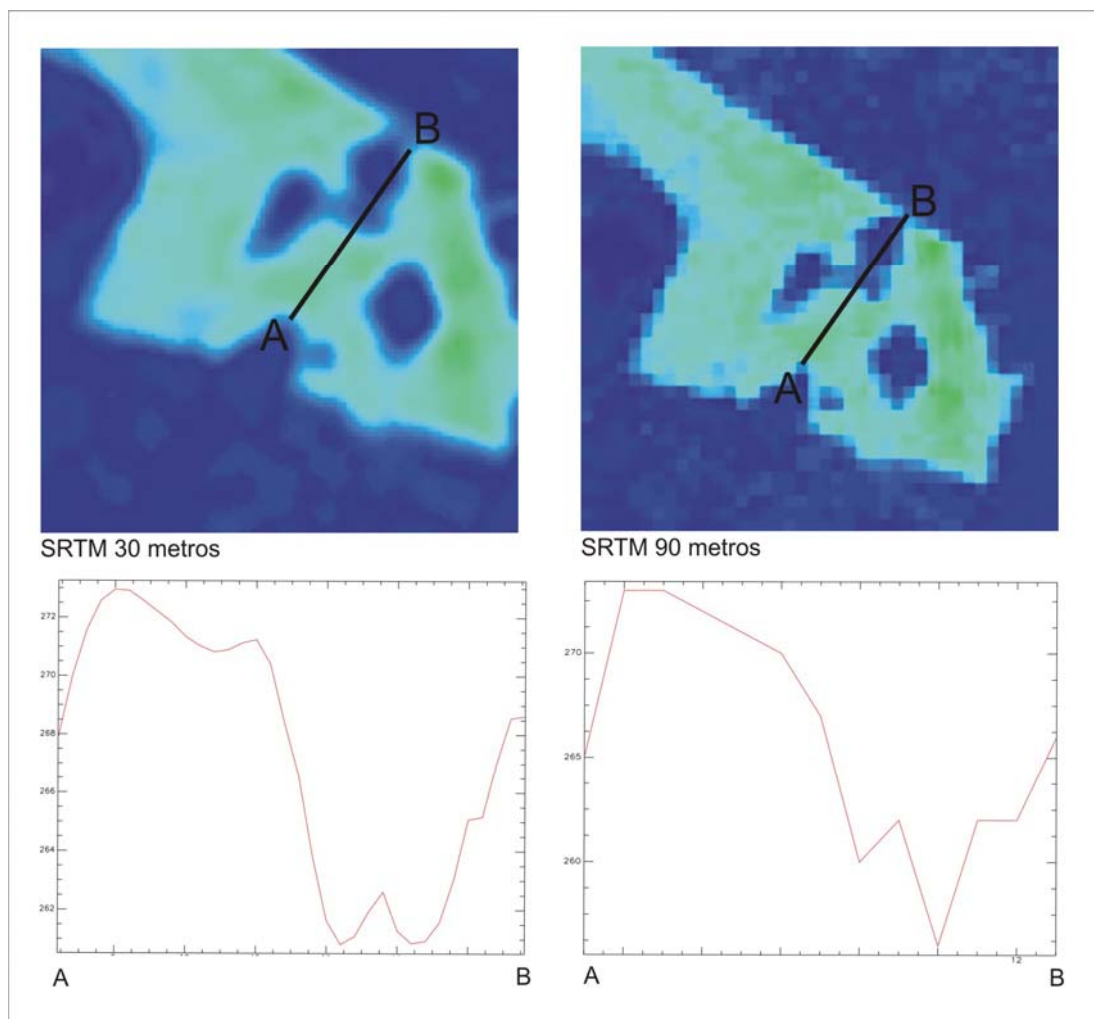


Figura 6. MDE SRTM, corrigida (30 metros) e original (90 metros e seus respectivos perfis).

Para os dados SRTM corrigidos, Valeriano (2004), sugere que a interpretação visual dos dados pode ser feita nas escalas de 1:50 000, podendo avançar para 1:10 000. No presente estudo, foram feitas observações na escala de 1:50 000, contudo, a superfície de tendência, os mapas de resíduos, e carta hipsométrica da planície foram geradas em escalas menores em função do tamanho da área.

Os modelos gerados a partir das imagens ASTER trouxeram ganhos significativos de detalhe em relação ao modelo SRTM reamostrado, conforme pode ser observado na figura 7, que mostra a diferença de detalhe entre os dois produtos.

A diferença de qualidade dos dois modelos já era esperada, uma vez que o método de aquisição de dados pelas imagens ASTER é conhecidamente mais preciso, seguindo o mesmo princípio de fotografias aéreas. Além disso as imagens ASTER possuem uma resolução espacial de 15 metros, o que permite o trabalho em escalas maiores.

Vale lembrar que foi extraído das cenas ASTER um MDE relativo, dessa forma, o que foi conseguido foi apenas o cálculo dos desníveis, sendo que os valores altimétricos reais foram inseridos posteriormente utilizando-se de pontos cotados, conforme já foi descrito. Esses valores não foram estatisticamente testados para que precisasse a acurácia dos mesmos, contudo, para os fins deste trabalho, onde o objetivo principal é a identificação das formas, os desníveis fornecidos pelo MDE foram satisfatórios.

Classificação das áreas de planície

A classificação das cenas ASTER, por seus valores de pixel (*unsupervised classification*) permitiu dividir a planície em diferentes zonas, isso contribuiu bastante na identificação das formas de planície. Através da aplicação desse método, foi possível distinguir áreas com coberturas diferentes (vegetação arbórea, vegetação gramínea, áreas alagadas) (FIGURA 8).

Na imagem classificada, os diques marginais e as *crevasses* aparecem em maior destaque em relação às outras feições. A presença de vegetação arbórea nos diques, contribui para realçar essa feição, no caso das *crevasses*, ausência de vegetação, sua forma característica (pata de ave) além da

quantidade de areia disposta superficialmente, o que representa na imagem um alto nível de reflectância, são os fatores de realce para estas formas.

A identificação das outras feições necessitou de maior esforço interpretativo, uma vez que, no interior da planície as formas são mais homogêneas, apresentando um menor gradiente altimétrico, além disso, em muitas delas ocorre a presença de água. Porém, algumas formas alongadas com uma maior concentração de água evidenciam a presença de paleocanais.

Esses são os principais conjuntos passíveis de serem identificados através do método da classificação não supervisionada, o restante da planície apresenta-se como uma área homogênea, com maior ou menor presença de vegetação e água.

A escolha das cenas do mês de março/2007 contribuiu significativamente para a qualidade da classificação, levando em conta que, as cenas são de um período imediatamente posterior a uma grande cheia que afetou a planície.

A utilização do índice kappa, permitiu que se verificasse matematicamente o resultado da qualificação, o resultado apresentado foi bastante satisfatório. O índice alcançado foi o de **0,8193**, o que, de acordo com os critérios estabelecidos por Landis e Koch (1977) pode ser considerado excelente.

Análise da superfície de tendência e resíduos

Os dados de superfície de tendência e resíduos permitiram fazer importantes observações, e contribuíram significativamente na identificação das formas. Conforme mencionado, a aplicação dessa análise estatística exigiu a subdivisão da área de estudo em duas partes, conforme a figura 5. Assim, foram geradas duas cartas de tendência e duas de resíduos tanto para a alta como para a baixa planície. Um dos conjuntos (tendência e resíduos) foi baseado em dados SRTM, e o outro em dados ASTER.

A superfície de tendência, além de nos mostrar a declividade média da planície, permitiu a obtenção dos resíduos positivos e negativos (anomalias) que são as áreas que estão acima e abaixo da média representada na tendência. As cartas de Superfície de Tendência estão representadas nas figuras 9 e 10, e as de resíduos nas figuras 11 e 12.

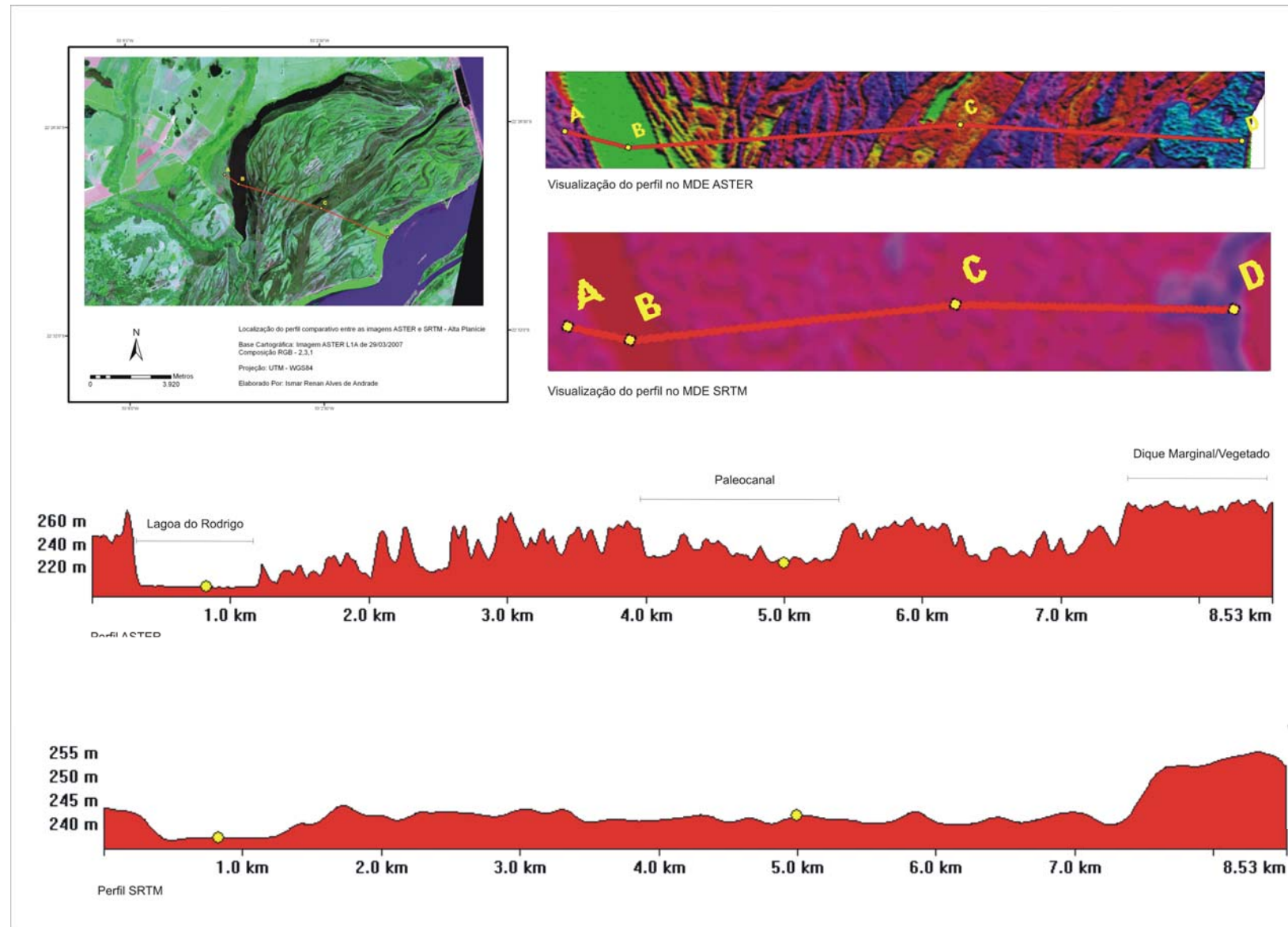


Figura7. Diferença entre ao MDE SRTM e o MDE ASTER

A partir da análise dos resíduos, algumas associações com formas foram feitas. As áreas com valores negativos representam as partes baixas da planície, ou seja os paleocanais, baixios, alagadiços e lagoas, distinguíveis entre si pela sua forma. As áreas valores positivos representam as partes altas da planície, ou seja os diques marginais e crevasses, também distinguíveis pela sua forma, e pelo fato da vegetação arbórea exagerar os valores positivos em boa parte da área de ocorrência dos diques marginais.

Para a *baixa planície* algumas considerações têm que ser feitas. A área apresenta dois conjuntos principais. Adjacente ao canal do Paraná, ocorre um conjunto mais alto (provavelmente uma peleo-ilha), enquanto que ao lado, adjacente ao canal do Ivinheima, ocorre um outro conjunto mais baixo (provavelmente antigo canal principal do Paraná), em ambas as áreas ocorrem paleocanais, porém, estas feições serão representadas por valores residuais diferentes em função da diferença altimétrica entre os dois conjuntos citados.

Associação dos dados

De posse dos produtos gerados, procurou-se associar os produtos com as observações realizadas em campo, nesse sentido, os pontos observados na missão de campo foram agrupados nos grupos de formas em maior evidencia nos produtos gerados. Além do tipo de forma que cada ponto se associa, a localização e as características do mesmo estão descritas no quadro.

Ao longo dos 45 pontos de observação, procurou-se observar formas distintas que pudessem ser identificadas nas imagens. (QUADROS 3 e 4).

FEIÇÃO	PONTO DE OBSERVAÇÃO	COORDENADA	CARACTERÍSTICA
Paleocanal	2,	53° 19' 47" 22° 45' 34" S	Forma alongada mais baixa em relação às áreas adjacentes, bordejada por diques marginais, muitas vezes com vegetação típica de brejo, essas características facilitam a identificação das formas nas imagens. (FIGURA 13)
	7	53° 21' 49" 22° 46' 40"	
	10	53° 24' 10" 22° 47' 05"	
	12	53° 25' 14" 22° 47' 28"	
	13	53° 25' 14" 22° 47' 25"	
	15	53° 26' 39" 22° 48' 2"	
	16	53° 26' 36" 22° 48' 18"	
Crevasse	3	53° 19' 51" 22° 45' 40"	As crevasses são encontradas em pontos às margens do canal principal do Rio Paraná, apresentam pouca vegetação e uma série de pequenos canais por onde se dá a entrada de água para a planície, dando a estas feições uma forma bem característica. Nas imagens, aparecem como manchas claras devido à quantidade de areia presente superficialmente nessas formas (FIGURA 14)
	6	53° 21' 10" 22° 46' 15"	
	9	53° 24' 12" 22° 47' 12"	
	11	53° 25' 02" 22° 47' 38"	
	14	53° 26' 03" 22° 48' 12"	
	18	53° 30' 29" 22° 49' 56"	
Baixios e Alagadiços	4	53° 19' 54" 22° 45' 40"	Os baixios são encontrados conforme se avança para a planície, permanecem com água mesmo na estação seca do ano, nesses pontos, a água e a vegetação de brejo bem desenvolvida, impediu o avanço para além desses pontos. Nas imagens a identificação se torna mais dificultosa por haverem pontos onde predomina água, e pontos onde predominam a vegetação, nesses casos os dados altimétricos auxiliaram na identificação. (FIGURA 15)
	5	53° 19' 56" 22° 45' 36"	
	8	53° 21' 48" 22° 46' 33"	
	17	53° 26' 35" 22° 48' 17"	
	24	53° 17' 37" 22° 43' 10"	
	25	53° 17' 39" 22° 43' 06"	
	26	53° 17' 38" 22° 43' 01"	
	31	53° 16' 09" 22° 42' 26"	
	32	53° 16' 06" 22° 42' 32"	
	33	53° 16' 04" 22° 42' 38"	
Quadro 3. Pontos de observação na planície, forma e características			

FEIÇÃO	PONTO DE OBSERVAÇÃO	COORDENADA	CARACTERÍSTICA
Terraço	34	22° 23' 37" 52° 59' 37"	Os pontos visitados no terraço permitiram verificar sua distinção em relação à planície, além de serem topograficamente mais elevadas, essas áreas apresentam vegetação característica (arbórea predominantemente), além de que ocorrem canais mais encaixados (FIGURA 16)
	35	22° 23' 30" 52° 59' 30"	
	36	22° 23' 29" 52° 59' 26"	
	37	22° 25' 06" 52° 58' 42"	
	38	22° 26' 18" 52° 58' 15"	
Planície	39	22° 26' 44" 52° 58' 07"	Os pontos observados no início da planície de inundação, logo à jusante da UHE de Porto Primavera, permitiram observar grandes conjuntos de paleocanais, e paleodiques, além de lagoas relativamente grandes que ocorrem na região (FIGURA 17)
	40	22° 27' 17" 52° 57' 49"	
	41	22° 26' 35" 52° 58' 01"	
UHE Porto Primavera	42	22° 25' 54" 52° 58' 12"	Foram feitas observações do alto da UHE de Porto Primavera, nesses pontos a planície pode ser observada pelo alto, obtendo-se uma visão mais geral da mesma, de modo que os conjuntos de formas e a transição planície/terraço podem ser bem observados (FIGURA 18)
	43	22° 24' 31" 52° 58' 36"	
	44	22° 23' 08" 52° 58' 59"	
	45	22° 23' 13" 52° 58' 58"	

Quadro 4. Pontos de observação na planície, forma e características

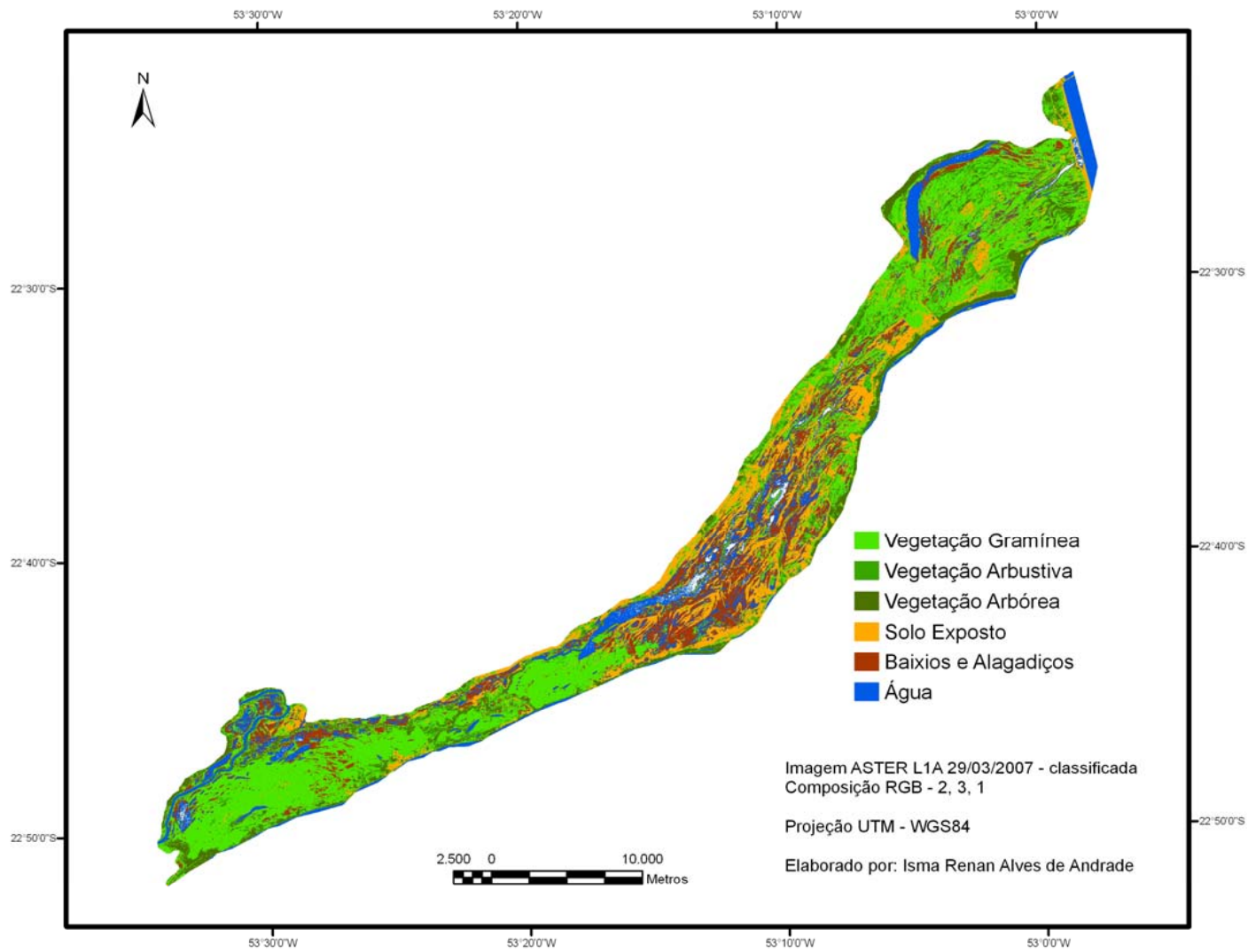


Figura 8. Imagem Classificada

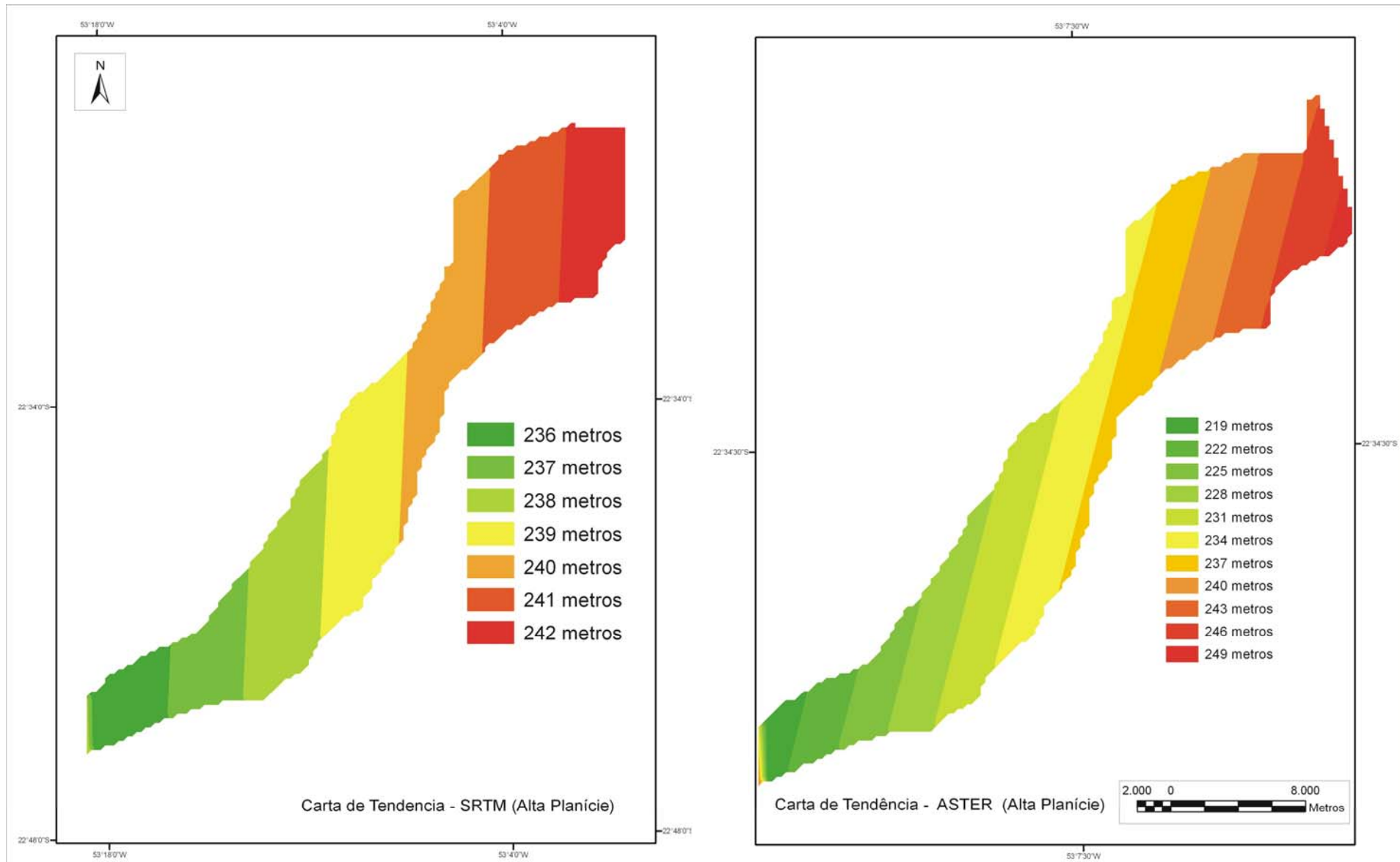


Figura 9. Cartas de Tendências dos MDE's SRTM e ASTER – Planície Alta

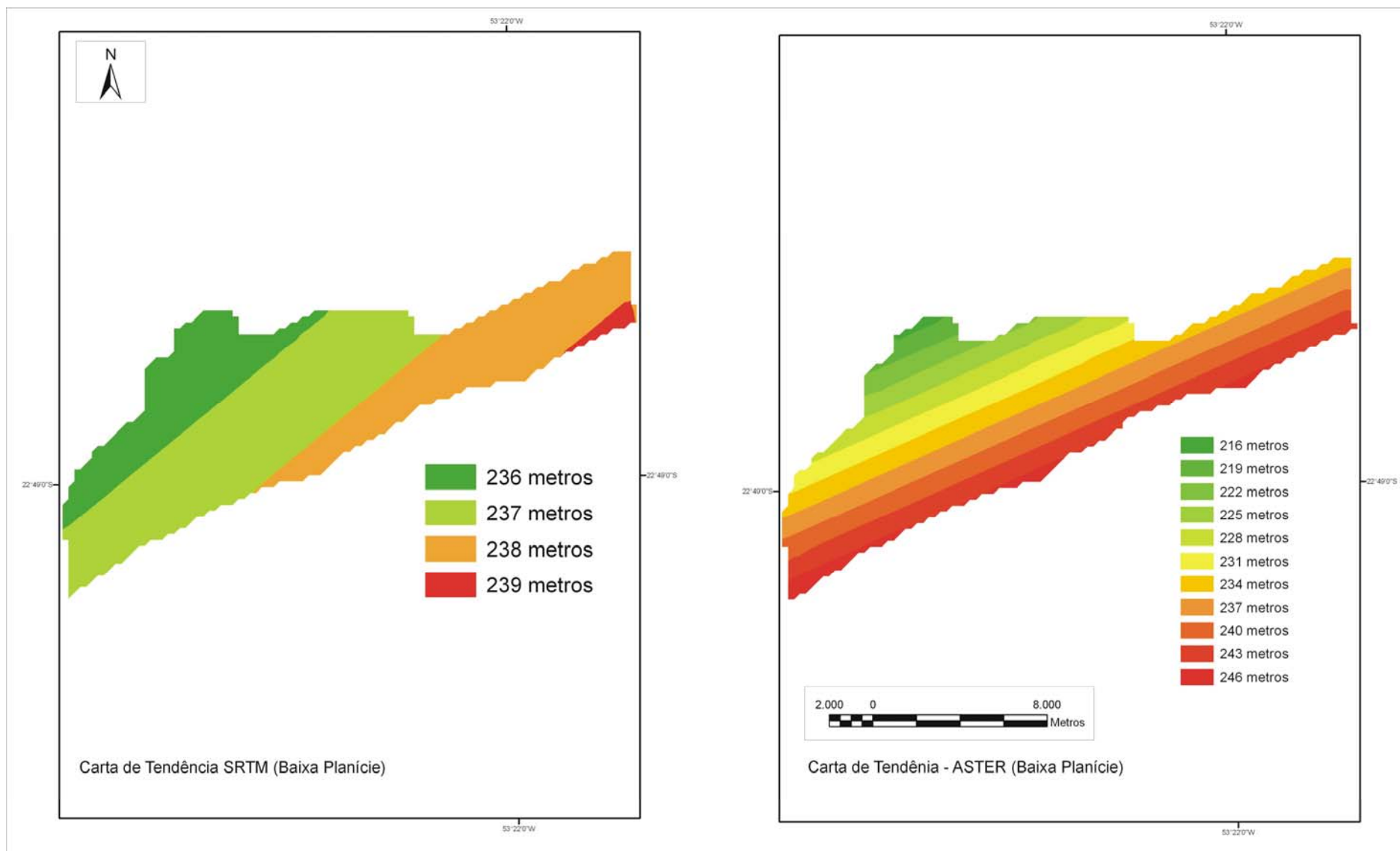


Figura 10. Cartas de Tendência dos MDE's SRTM e ASTER – Planície Baixa

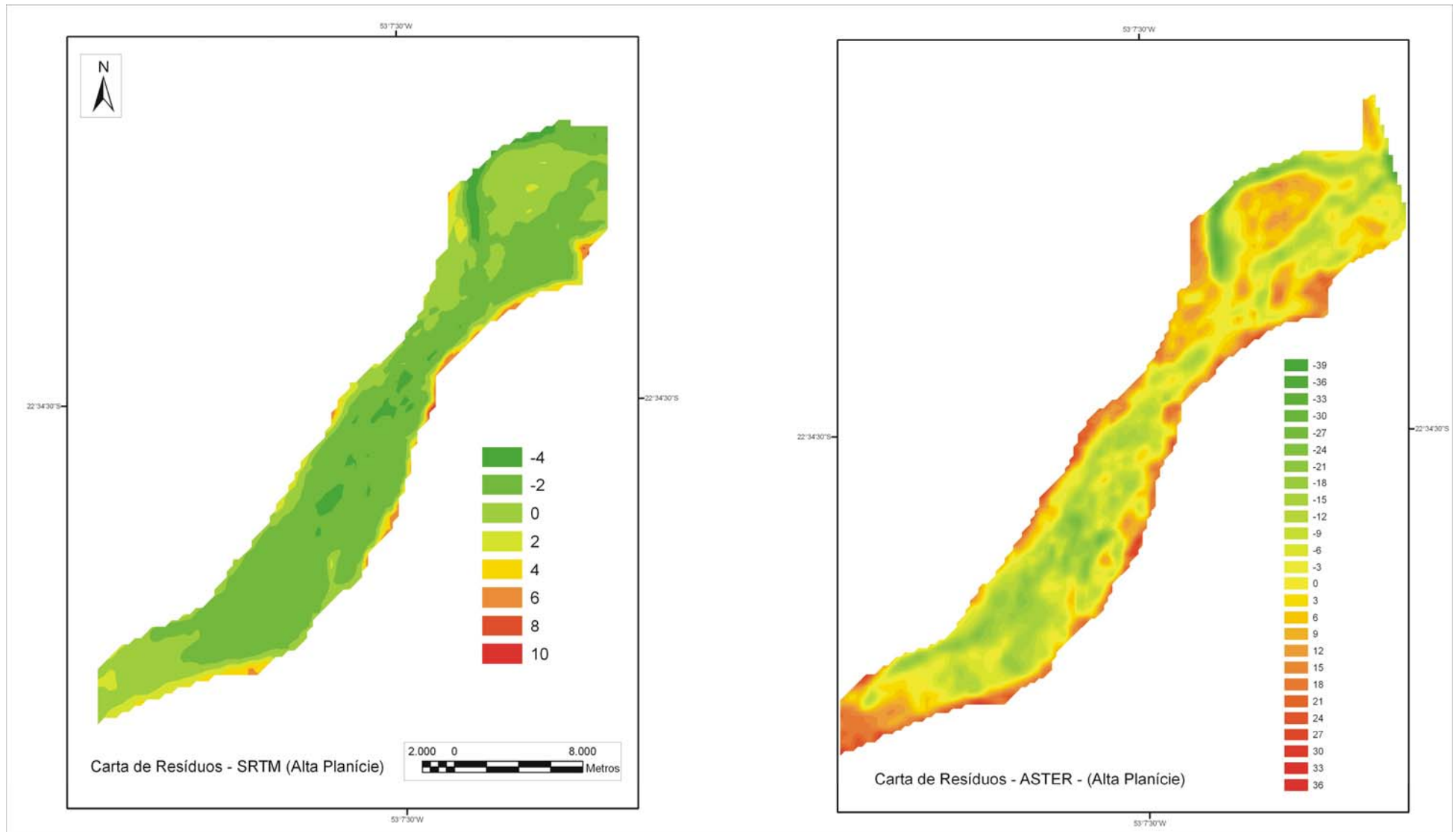


Figura 11. Cartas de Resíduos – Planície Alta

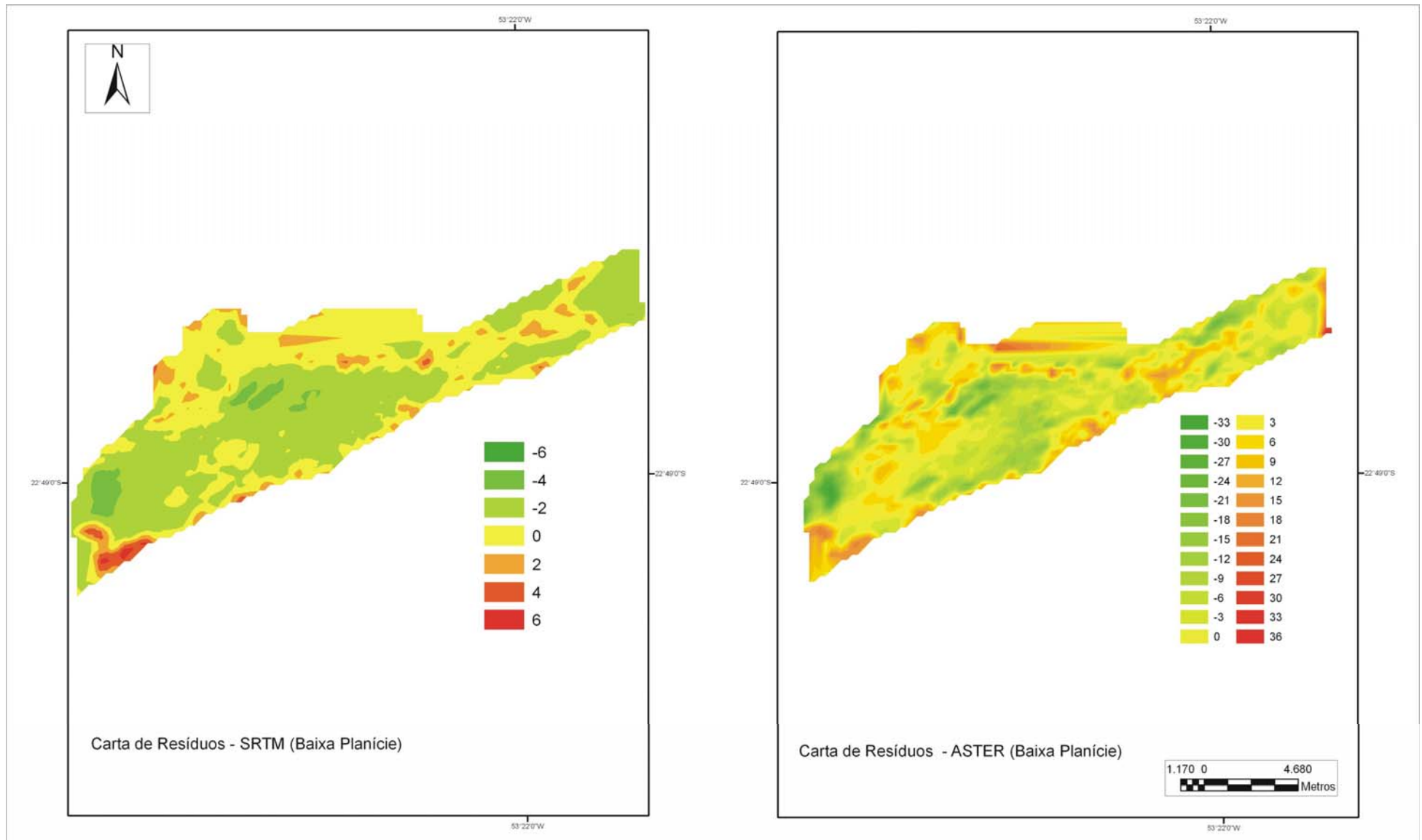
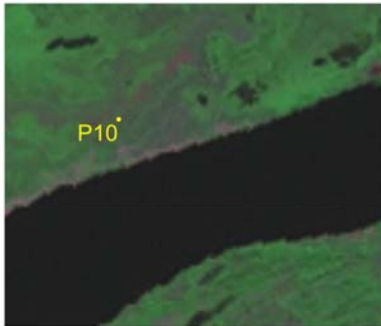


Figura 12. Cartas de Resíduos – Baixa planície



P10 - Paleocanal próximo a uma crevasse com grande presença de água e macrófitas, essa feição provavelmente permanece alagada grande parte do ano



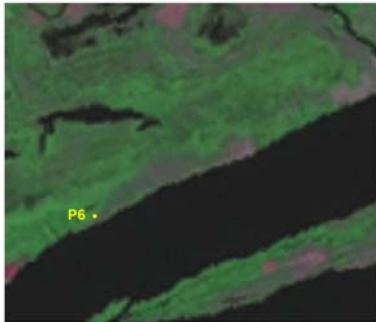
P10

P12 - Área alongada e rebaixada em relação as adjacentes observa-se nesta feição vegetação típica de brejo, o que indica a presença de água nessa área periodicamente, os diques próximos indicam que essa forma é um paleocanal



P12

Figura 13. Paleocanais identificados na planície



P6- entrada de crevasse, a entrada de água nesses locais forma pequenos canais que em certos períodos, permanece com água



P18 - Nesse ponto a crevasse esta bem desenvolvida formando grandes canais que avançam em direção a planície

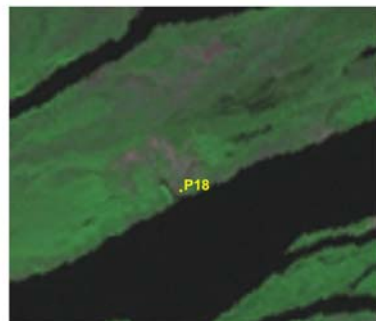


Figura 14. Crevasses identificadas na planície



P17- Neste ponto, ocorre a transição de uma área de seca, de paleocanais, para uma área de baixios e alagadiços, a vegetação presente (*Panicum Pernambucoensis*) indica essa situação



P25 - Área bastante plana, ocorre ao lado do canal do Baía, área bastante úmida com vegetação do tipo *turfosa*, há grande presença de matéria orgânica morta provavelmente nos períodos de cheias.

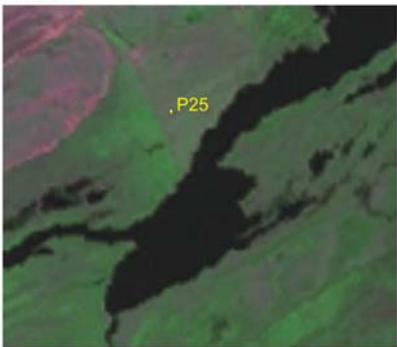


Figura 15. Baixios e alagadiços identificados na planície



Pontos Visitados no Terraço: **P34)** Área de vegetação fechada, onde ocorre um pequeno curso d'água (Ribeirão Combate). **P35)** Área onde pode-se observar a presença de vegetação arbórea, propriedade rural, essa área é utilizada também para a criação de gado. **P36)** Estrada no terraço bem caracterizada nas imagens, nota-se aqui também a presença de vegetação arbórea.



Figura 16. Pontos visitados na segunda missão de campo (Alta Planície – Terraço)



Início da Planície de lundação observada de seu início logo a jusante da UHE de Porto Primavera. P38) Observa-se a Lagoa do Combate, que ocupa um dos vários canais abandonados que ocorrem nas proximidades. P39) área de ocorrência de um canal abandonado do rio Paraná, observa-se ao fundo vegetação arbórea caracterizando um paleodique.

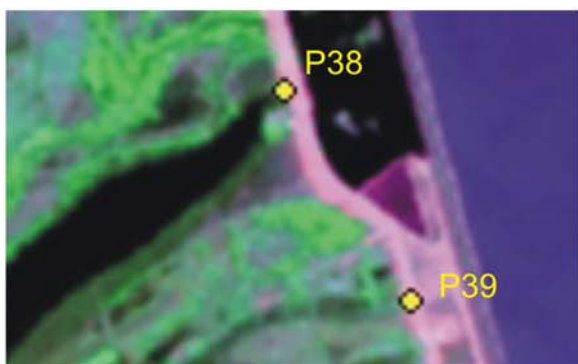


Figura 17. Pontos observados da Alta Planície (Início da Planície atual)



Planície visualizada do alto da UHE de Porto Primavera. **P42 e 43)** Observa-se do alto grandes paleocanais, que podem ser identificados pela presença de paleodique que são caracterizados pela vegetação arbórea presente e pela sua posição topográfica mais elevada

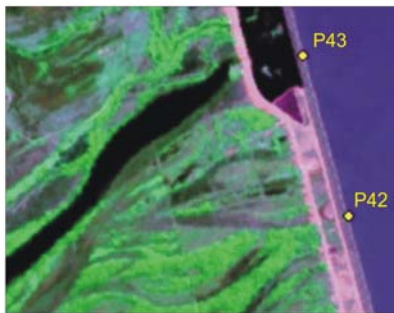


Figura 18. Pontos Observados do Alto da UHE de Porto Primavera (Vista da Planície)

Mapa de Feições Morfológicas da Planície de Inundação

Como parte final desse estudo, foi elaborada uma carta de feições morfológicas da planície, onde, foram identificadas e classificadas as distintas formas que ocorrem na área. A classificação utilizou os critérios de altimetria, tipo de vegetação, presença ou ausência de água, forma da feição, e posicionamento na planície.

Para a elaboração desta carta final, foram utilizados todos os produtos gerados posteriormente (MDE's, imagem ASTER, imagem classificada), além das observações realizadas em campo. As diferentes feições foram agrupadas em 6 classes diferentes, que representam os diferentes sub-ambientes da planície fluvial. A distribuição espacial das classes encontra-se na figura 19, e sua descrição está apresentada a seguir:

- a) *Diques Marginais/Vegetação arbórea*: aqui foram agrupadas esses dois tipos de feições, pois as mesmas se confundem ao longo da área. Dentro da planície, os únicos locais de ocorrência concentrada de vegetação arbórea são os diques marginais, em função de sua posição altimétrica mais elevada, tornando-as mais dificilmente alagáveis. No interior da planície os diques margeiam canais inativos (paleodiques), mas mesmo nestes casos permitem o crescimento de vegetação arbórea.
- b) *Leques de Rompimento de Dique (Crevasses)*: ao longo da planície foram identificadas 2 *crevasses* que puderam ser cartografadas devido às suas características particulares (proximidade do canal do Rio Paraná, formato em pata de ave, presença de areia, formação de pequenos canais). Em diversos outros pontos da planície o rompimento de diques marginais acusa a possível formação de *crevasses*, mas ainda sem forma características para que pudessem ser representadas em mapa.
- c) *Áreas intermediárias vegetadas*: trata-se de áreas na com altimetria menor que a dos diques marginais, porém maior que a dos baixios e alagadiços. Nessas áreas há predominância de vegetação de gramíneas e de arbustos, não diferenciáveis entre si devido á resolução das

imagens. A vegetação arbórea pode existir, mas encontra-se restrita a agrupamentos localizados.

- d) *Áreas intermediárias não vegetadas*: são áreas que ocorrem na alta planície, e são semelhantes às classificadas no item anterior, mas não apresentam vegetação porque estão sendo cultivadas. Encontram-se cortadas por drenos, que apesar de permitirem a retirada de água da planície não impedem a ocorrência de “brejos” ricos em matéria orgânica.
- e) *Baixios e Alagadiços*: são as áreas relativamente mais baixas na planície, e permanecem a maior parte do tempo encharcadas de água. Nessa unidade a ocorrência de lagoas é freqüente, principalmente na “baixa planície”. Não possuem forma bem definida e seus limites não são claros.
- f) *Paleocanais*: eles são similares aos baixios e alagadiços em termos topográficos. Contudo, são facilmente identificados pela sua forma alongada e com margens bem definidas, marcadas pela presença de elevações com vegetação arbórea (paleodiques marginais).

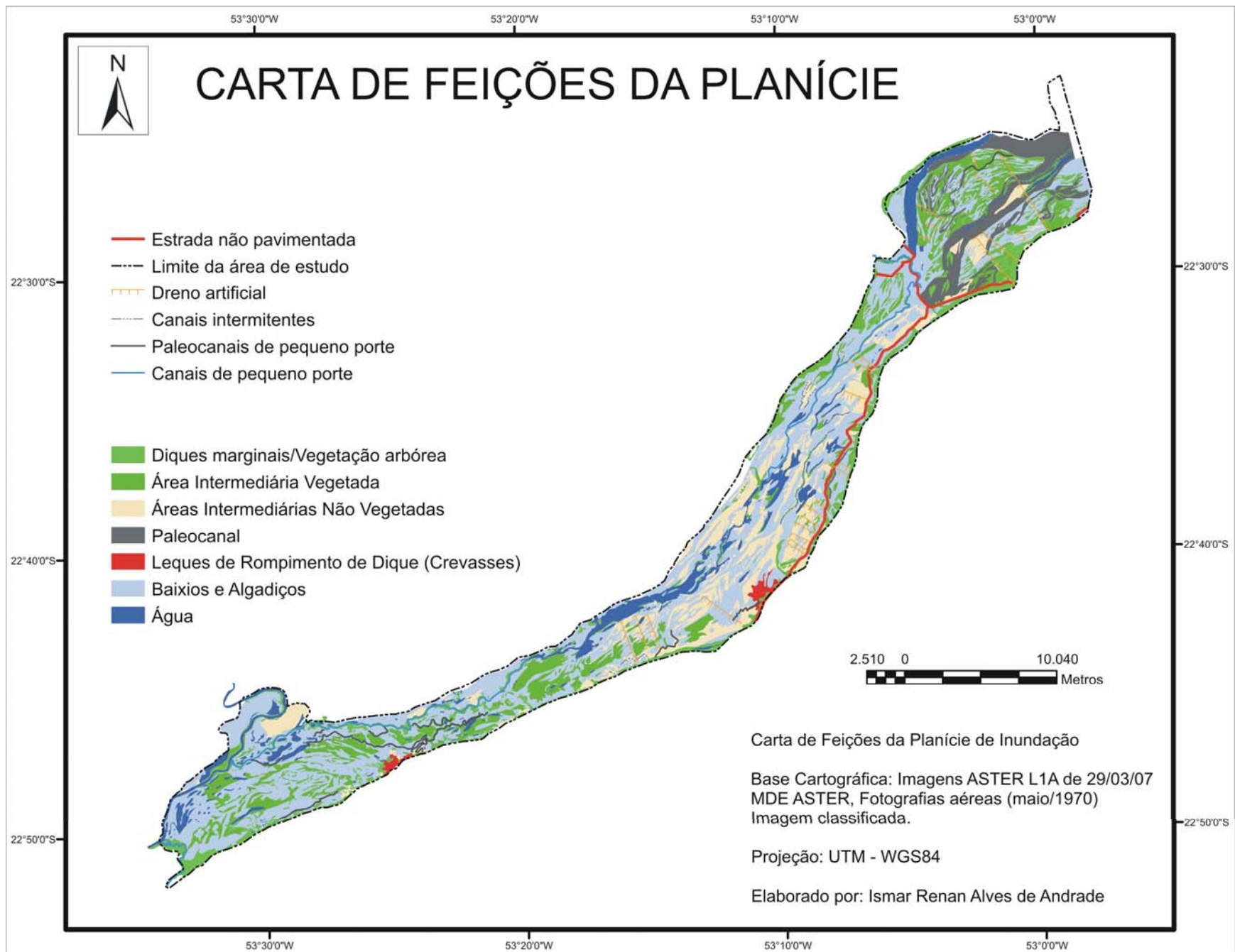


Figura 19. Carta de Feições da Planície

7. CONCLUSÕES

O emprego de técnicas de Sensoriamento Remoto para a identificação de formas de planície mostrou ser uma ferramenta bastante eficaz na identificação das formas em uma escala geral e de detalhe.

A modelagem numérica do terreno e a técnica de reamostragem por Krigagem foram eficientes, e possibilitaram produtos confiáveis, com resultados confirmados por verificação de campo.

Os dados do SRTM levam desvantagem em relação aos dados ASTER quando em trabalhos mais detalhados devido á sua menor resolução espacial.

Também é importante levar em consideração que as imagens SRTM, assim como ASTER possuem erros em seus valores altimétricos, a acurácia desses produtos deve ser avaliada estatisticamente, porém, neste trabalho essa análise não foi realizada por não ser escopo desse trabalho. Existem alguns trabalhos que buscam a avaliação da acurácia do MDE ASTER, porém os mesmos divergem em seus resultados e não são voltados para áreas de baixa altimetria.

A classificação de imagens orbitais é uma técnica já bastante usada, principalmente para mapeamentos de uso do solo. A classificação permitiu distinguir as formas de maneira satisfatória, porém, com algumas limitações. Os diques marginais, crevasses, zonas alagadas, foram distinguidos com maior clareza em função da sua vegetação e formas serem bem peculiares. As áreas de baixios e paleocanais tiveram sua identificação dificultada pelo misto de água e vegetação gramínea/arbustiva encontrada nesses pontos.

O emprego da classificação, auxiliada pelo cálculo do índice kappa, contribuiu fundamentalmente para a elaboração de uma carta com formas de planície, considerando que, as características que são identificadas na classificação, são determinantes de formas de planície. Apesar de não ser muito utilizados em planície de inundação, a classificação não supervisionada é uma técnica bastante eficaz também para este tipo de ambiente.

A reunião de todos os produtos permitiu que se elaborasse uma carta de formas de planície de maneira satisfatória. As dificuldades que antes existiam (falta de dados altimétricos e dificuldade de acesso) são hoje supridas pelos produtos existentes para a pesquisa, inclusive gratuitamente. Existe ainda a

possibilidade de se tratar de maneira mais aprofundada algumas das técnicas aqui utilizadas.

As análises dos produtos permitiram verificar que a planície é recortada por um conjunto de blocos estruturais, e que blocos baixos criam ambientes de maior facilidade de penetração de água na planície, como é o caso da área do rio Curutuba e do rio Ivinheima. Os blocos altos criam áreas de maior dificuldade para a entrada de água, restringindo as inundações às áreas muito baixas.

Estes dados indicam que a abrangência das cheias dependem dos níveis hidrométricos, das formas deposicionais do antigo sistema anastomosado, e da posição relativa dos blocos estruturais.

8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGOSTINHO, A. A; ZALEWSKI, M. *A planície alagável do alto rio Paraná: importância e preservação*. Maringá: EDUEM, 1996.

CAMARA, G. *et al.* *SPRING: Interating remote sensing and GIS by object-oriented data molding*. J. Computers & Graphics, 20: (3) 395-403, May-Jun 1996.

CÂMARA, G.; MEDEIROS, J.S.; Princípios Básicos do Geoprocessamento. In : Assad, E.; Sano, E.E.(eds.), *Sistema de Informações Geográficas. Aplicações na Agricultura*. Brasília, DF, EMBRAPA., 1998 (2a. edição, revista e ampliada).

COMUNELLO, E. *Dinâmica de inundação de áreas sazonalmente alagáveis na planície aluvial do alto rio Paraná*. Dissertação de Mestrado – UEM/PEA. Maringá-PR, 2001

COUTO, N. B. *A utilização do GPS na aquisição de dados hidrológicos*. Dissertação de Mestrado – UEM/PEA. Maringá-PR, 1995

CUARTERO, A. *et. al.* Accuracy, realibility, and depuration of SPOT HRV and Terra ASTER digitalelevation models. *IEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*. V.43. n. 2. 404-407, 2005

FRANÇA, A. M. S. *et. al.* A dinâmica do pulso de inundação: aplicações de sensoriamento remoto na estimativa da área de expansão dos sistemas lacustres da planície aluvial do rio Amazonas. *Anais do XI Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada – 05 a 09 de setembro de setembro de 2005 – USP*. São Paulo: 2005

FRANÇA, V; *et al.* Composição de múltiplas bandas espectrais nos domínios do infravermelho para identificação de zonas inundáveis na sub-bacia do alto curso do rio Paraná In: FONSECA, T. M; SALVI, R. F; ARCHELA, R. S. *Dimensões do espaço paranaense*. Londrina: Editora da Uel, 2002.

FUJISADA, H. *et. al.* ASTER dem performance. *IEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*. V.43. n. 12. 2707-2713, 2005

GOLDEN SOFTWARE. *Surfer Version 8.0 – Surface Mapping System*. Golden: Golden Software, Inc.,2002

HIRANO, A. *et. al.* Mapping from ASTER stereo image data: DEM validation and accuracy assessment. *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*. N. 57. 356-370, 2003

JARDIM-LIMA, D. *et. al.* A dinâmica do pulso de inundação: aplicações de sensoriamento remoto na avaliação da área de águas abertas e morfologia dos lagos de várzea da reserva de desenvolvimento sustentável Mamirauá -

Amazônia Central. *Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, Goiânia, Brasil, 16-21 abril 2005, INPE, p. 3069-3076. Goiânia: 2005

JARVIS, A. *et. al.* *Practical use of SRTM data in the tropics: comparison with digital elevation model generated from cartographic data*. Cali CO: Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), 2004. 32 p. (Working document nº98)

JENSEN, J.R. *Introductory digital image processing: A remote sensing perspective*. 3. ed. Upper Saddle River, Prentice Hall, 2005

JUNK, W. J. *et al.* The flood pulse concept in river-floodplain systems. *In: Proceedings of the International Large River Symposium*. Can. Spec. Publ. Fish. Aquat. Sci. 106 p. 110-127, 1989

LANDIM, P.M B; CORSI, A. C. *Cálculos de superfície de tendência, por regressão polinomial, pelo SURFER 6*. DGA,IGCE,UNESP/Rio Claro, Lab. Geomatemática, Texto Didático 05, 11 pp. Disponível em: <<http://www.rc.unesp.br/igce/aplicada/textodi.html>>. Acessado em: 23 jan. 2007.

LANDIM, P.M. B; *et. al.* O estudo morfo-estrutural pela análise de superfícies de tendência. *In: Geociências*, São Paulo, 3: 77-89, 1984

LANDIS, J.R.; Kock, G. G. The measurement of observer agreement for categorical data. *In: Biometrics*, v. 33, n. 1, p. 159-174, 1977.

LILLESAND, T.M; KIEFFER, R. W. *Remote sensing and image interpretation*. 3. ed. Wiley, USA, 1994

MEURER, M. *Regime de cheias e cartografia de áreas inundáveis, no alto rio Paraná, região de Porto Rico – PR*. Dissertação de Mestrado – UEM/DGE. Maringá – PR, 2004

MERTES, L.A.K. Remote sensing of riverine landscapes. *In: Freshwater Biology* 47: 799-816, 2002

MIALL, A. D. *Fluvial Sedimentology*. Calgary, CA: geological survey of Canadá, 1978

MIALL, A. D. *Principles of sedimentary basin analysis*. 2.ed. New York: Springer-Verlag, 1985

MÜLLER, E. *et. al.* Contribution of space remote sensing to river studies. *In: Freshwater Biology* 29. 301-312, 1993

NANSON, G. C.; CROKE, J. C. A genetic classification of floodplain. *Geomorphology*, n.4, p.459-486, 1992.

PAWLING, J. P. Trend surface analysis of a local relief in the southern peninsula of Michigan. *In: The Professional Geographer*. 25(3).p. 226-232. Association of American Geographers. Ago, 1973

PONZONI, F. J.; ALMEIDA, E. S. A estimativa do parâmetro Kappa (k) da análise multivariada discreta no contexto de um SIG. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 8, 1996, Salvador, Brasil. Anais...São José dos Campos, INPE, 1996. p. 729-733

RHOADS, B. L; *et. al.* Trend Surface Analysis of a Glacially buried Pleistocene organic deposits in central Michigan. *In: Professional Geographer* 36 (1).p 64-73. Association of American Geographers: fev, 1984

ROCHA, P.C. *Morfogênese e hidrodinâmica nas planícies de inundação e seus sistemas fluviais*. Exame geral de qualificação – UEM/PEA. Maringá-PR, 2001

ROCHA, P. C; *et al.* Evolução hidrodinâmica e processos erosivos marginais nos canais do sistema de inundação do alto rio Paraná, região Centro-Sul do Brasil. *In: Pesquisa em Geociências*, 28 (2) p. 161 – 170. Porto Alegre: Instituto de Geociências – UFRGS, 2001

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

TOUTIN, T. Three-dimensional topographic mapping with ASTER stereo data in rugged topography. *In: IEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*. V.40. n. 10. 2241-2247, 2002

TOWNSEND, P. A; WALSH, S. J. Modeling floodplain inundation using a integrated GIS with radar and optical remote sensing. *In: Geomorphology* 21: 295-312, 1998

SANTOS, M. L. *Estratigrafia e evolução do sistema siliclástico do rio paraná no seu curso superior: ênfase a arquitetura dos depósitos, variação longitudinal das fácies e arquitetura dos depósitos*. Tese de Doutorado. UFRGS – Rio Claro, 1997

SANTOS, M. L.. Unidades Geomorfológicas e depósitos Sedimentares Associados no sistema Fluvial do rio Paraná, no seu Curso Superior. *In: Revista brasileira de geomorfologia*, Uberlandia, v. 1, p. 85-96, 2005.

SANTOS, M. L; STEVAUX, J. C. Fácies and architectural analysis of channel sandy macroforms in the Upper Paraná River. *In: Quaternary international*. Vol 72. p. 87-94, 2000

SELLEY, R. *Ancient sedimentary environments*. Ithaca, NY: Corenell University Press, 1978

SHORTRIDGE, A. Shuttle radar topography mission elevation data error and its relationship to land cover. *In: Cartography and Geography Information Science*, vol 33. nº 1. p. 65-75, 2006.

SMITH, L. C. *Satellite remote sensing of river inundation area, stage, and discharge: a review. In: Hydrological Process 11: 1427-1439, 1997*

SOUZA, I. A. *Mudança no canal do rio Paraná durante o holoceno. Dissertação de Mestrado – UNESP. Rio Claro – SP, 1999*

SOUZA FILHO, E. E. . Aspectos da geologia e estratigrafia dos depósitos sedimentares do rio Paraná entre Porto Primavera e Guaíra. *In: Revista Brasileira de Geociências*, São Paulo, v. 23, n. 2, p. 174-174, 1993.

SOUZA FILHO, E. E. . Feições do sistema anastomosado pré-atual do rio Paraná. *In: 38 CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 1994, CAMBURIÚ, SC. Anais...Camburiú : SBG,. v. 1. p. 407-409, 1994*

SOUZA FILHO, E. E; STEVAUX, J. C. Geologia e geomorfologia do complexo rio Baía, Curutuba, Ivinheima.. *In VAZOLLER, A. E. A. M.; AGOSTINHO, A. A; HAHN, N. S. (Org.). A planície de inundação do alto rio Paraná. Maringá: EDUEM, 1997.*

SOUZA FILHO, E. E. ; SANTOS, Manoel Luiz dos ; TOMAZZELI, L. J. . Evolução do sistema fluvial anastomosado: estudo do sistema pré atual do rio Paraná na região do Cortado. *In: 39º CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 1996, SALVADOR. Anais... Salvador: SBG, 1996. v. 2. p. 235-237.*

SOUZA FILHO, E. E. ; STEVAUX, José Cândido . Geology and geomorphology of the Baía-Curutuba-Ivinheima River Complex. *In: Sidney Magela Thomaz; Ângelo Agostinho; Norma Segati Hahn. (Org.). The Upper Parana River and its floodplain: Physical aspects, Ecology and Conservation. 1 ed. Leiden: Backhuys Plubshers, 2004, v. 1, p. 1-29.*

STEVAUX, J. C. The upper Paraná river (Brazil): geomorphology, sedimentology and paleoclimatology. *In: Quaternary International. Vol 21. p. 143 – 161, 1994*

VALERIANO, M.M. *Modelo digital de elevação com dados SRTM disponíveis para a América do Sul. São José dos Campos: INPE, 2004. Disponível em: < <http://delmonio.ecologia.ufrgs.br/labgeo/downloads/SRTM/publicacao.pdf> > Acesso em: 08 out. 2006*

VALERIANO, M. M. . Modelo digital de variáveis morfométricas com dados SRTM para o território nacional: o projeto TOPODATA. *In: XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2005. Anais ... Goiânia, GO, 2005. p. 1-8.*

WALKER, R.G *Fácies models. 4 ed. Toronto: Geoscience Canada, 1981*

WELCH, R. *et. al.* ASTER as a source for topographic data in the late 1990's.
In: IEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing. V.36. n. 4. 1282-1289, 1998

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
(Catalogado na fonte pelo próprio autor, São Paulo-SP., Brasil)

Andrade, Ismar Renan Alves de
A553 O uso de técnicas de sensoriamento remoto na identificação de formas na planície de inundação do alto rio Paraná, região de Porto Rico, MS/PR / Ismar Renan Alves de Andrade. - - Maringá : [s.n.], 2008
71 fls. il. figs., tabs.

Orientador : Prof. Dr. Edvard Elias de Souza Filho
Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Maringá. Programa de Pós-Graduação em Geografia, 2008.

1. Geomorfologia fluvial. 2. modelagem Numérica de Terreno. 3. Planície de Inundação. 4. Sensoriamento Remoto. I. Universidade Estadual de Maringá. Programa de Pós-Graduação em Geografia. II. Título.

CDD 21.ed. 551.483