

### RESUMO

O rio Paraná vem tendo sua descarga fluvial controlada por barragens desde o início da década de setenta, e a construção da UHE de Porto Primavera aumentou este controle e cortou o suprimento de carga detrítica. A partir disso, o rio iniciou um processo de ajuste fluvial que se propaga de montante para jusante por meio de modificações que ocorrem em diferentes velocidades. Os trabalhos que vêm sendo realizados tiveram o objetivo de realizar uma nova análise do regime de descarga fluvial e verificar se ele aproxima-se da vazão ecológica do rio. Verificar a situação das barras fluviais, compará-las às de outros grandes rios Sul Americanos, e verificar sua velocidade de deslocamento. Analisar a geometria da superfície da planície e do terraço baixo para verificar quais as prováveis rotas de entrada de água. Por fim, verificar as modificações que o canal e a planície vem sofrendo seja em sua morfologia, seja em sua cobertura vegetal. Para a realização desses objetivos, foram realizados levantamentos bibliográficos, análises das séries históricas das estações fluviométricas, análise de dados altimétricos e de imagens orbitais, e levantamentos de campo. Os resultados demonstraram que a barragem efetua um forte controle da descarga, e diminua a conexão entre o rio e a planície. A primeira avaliação de valores de vazão ecológica demonstrou que os métodos utilizados não são adequados para a indicação de valores de descarga que mantenham o sistema em condições funcionais. As barras fluviais existentes sua origem relacionada ao acúmulo de formas de leito gigantes, à semelhança do que ocorre em outros grandes rios Sul Americanos. Sua velocidade de deslocamento é de cerca de 25 metros por mês, varia no espaço e no tempo, condicionada por fatores locais, e sem influência da descarga fluvial. A entrada de água na planície é controlada pelas áreas tectonicamente rebaixadas, sob influência das formas geomorfológicas quando a cheia encontra-se em valores baixos. Assim, a entrada de água inicia-se pelas proximidades do rio Ivinheima e segue a montante pela faixa ocupada pelo rio Baía. O canal fluvial tem aumentado sua área de água graças à redução da área das formas deposicionais, e a planície vem sofrendo modificações morfológicas durante as grandes cheias.

## INTRODUÇÃO

Os estudos que vêm sendo desenvolvidos na Planície do rio Paraná demonstram que a partir da construção da barragem de Porto Primavera a descarga fluvial está completamente controlada, a velocidade média de fluxo aumentou, as taxas erosivas diminuíram; e a carga suspensa encontra-se muito baixa.

Alem disso, o material do leito vem sendo transportado para jusante, e não há reposição, fazendo com que o canal torne-se mais profundo e com talvegue fixo. A remoção de areia fina do fundo tem avançado a uma taxa de 10,6 km/ano, a redução da altura das formas de leito vem avançando a uma velocidade de 7 km/ano, a remoção total dos sedimentos do leito avança a cerca de 0,5 km/ano, e as barras fluviais remanescentes deslocam-se a 0,36 km/ano.

O aporte de sedimentos provenientes dos afluentes poderia minimizar este processo, mas a contribuição dos tributários é muito pequena, seja no que diz respeito à atenuação do controle da descarga, seja no que diz respeito ao aporte sedimentar. O quadro que vem sendo obtido demonstra que o rio tende a tornar-se erosivo e abandonar a sua atividade na planície, e não há medidas mitigadoras a serem recomendadas.

A transformação do canal deve influenciar a abrangência das cheias tornando a planície fluvial mais seca e menos inundável. Tal situação pode ser agravada face ao controle de descargas imposto pela operação da UHE de Porto Primavera.

O efeito do controle de descargas já se manifesta por meio da redução da frequência, da duração, da magnitude e da elasticidade dos episódios de potamofase (ARENAS-IBARRA, 2008), um claro indicativo da redução dos graus de conectividade entre canal e planície.

O quadro descrito levanta um conjunto de questões, e entre elas foram destacadas as seguintes:

- 1- Qual a situação do controle de descargas fluviais?
- 2- Qual é o regime de descarga ecológico para o segmento fluvial?
- 3- Qual a situação das barras fluviais?
- 4- Quais são as rotas de entrada de água na planície?
- 5- Quais modificações estão ocorrendo na planície?

Portanto, os objetivos das pesquisas realizadas foram: a realização de uma nova análise do regime de descarga fluvial e verificar se ele aproxima-se da vazão ecológica do rio. Verificar a situação das barras fluviais, compará-las às de outros grandes rios Sul Americanos, e verificar sua velocidade de deslocamento. Analisar a geometria da superfície da planície e do terraço baixo para verificar quais as prováveis rotas de entrada de água. Por fim, verificar as modificações que o canal e a planície vem sofrendo seja em sua morfologia, seja em sua cobertura vegetal.

## METODOLOGIA

O trabalho foi realizado com a participação de uma doutoranda, de um mestrando, e de quatro alunos de iniciação científica. Cada um dos orientandos desenvolveu diferentes atividades dentro do projeto. A verificação da vazão ecológica foi realizada pela doutoranda MsC Cristhiane Michiko Passos Okawa, a avaliação das formas da Planície foi realizada pelo então mestrando Ismar Renan Alves de Andrade, a avaliação das formas do Terraço Baixo foi realizada pelo aluno graduando Édipo Henrique Cremon (bolsista PIBIC), o levantamento das modificações do canal fluvial e da velocidade de deslocamento das barras fluviais foi realizado pelos então alunos de graduação Lorena Lucas Puerta (bolsista IC) e por Bruno Tiago Condessoto Rigon (bolsista PIBIC). Por fim, o então graduando Edivando Vitor do Couto realizou uma avaliação da variação temporal da vegetação, corpos de água e de áreas úmidas da planície fluvial.

Para a obtenção dos objetivos propostos, foram adotadas diversas abordagens. A análise das modificações do regime de descargas foi realizada por meio da utilização dados bibliográficos disponíveis a respeito da dinâmica de descargas do rio Paraná, e as séries históricas de cota fluviométrica e de descarga fluvial das Estações Fluviométricas de Porto São José e de Porto Caiuá.

A análise da literatura foi realizada obedecendo à ordem temporal dos artigos, uma vez que cada um deles trabalhou dados fluviométricos anteriores à sua elaboração. Os dados fluviométricos foram obtidos junto à ANA (HidroWeb) e atualizados com dados obtidos junto à ITAIPÚ Binacional.

Os dados de cota fluviométricos foram analisados para permitir a obtenção da cota média anual de todo o período entre 1964 e 2007, e depois agrupados em diferentes intervalos

de tempo de acordo com o grau de controle efetuado pelas barragens (1964 a 1971; 1972 a 1981; 1982 a 1998; e 1999 a 2007).

Os dados de cota fluviométrica também foram ordenados de forma a permitir a verificação da permanência da descarga fluvial nos diferentes intervalos fluviométricos definidos por Rocha (2002), como forma de verificar a ação geomorfológica das águas sobre a planície e a intensidade da conexão dos corpos lânticos com o canal fluvial.

Por fim, para verificar as modificações da relação cota-vazão da Estação Fluviométrica de Porto São José foi realizada uma comparação entre os dados desta estação e os da estação de Porto Caiuá. Como abordagem inicial foi realizada uma análise de correlação entre os dados de cota fluviométrica e de vazão da série de porto São José (1964 a 2007), para verificar as alterações que ocorreram ao longo do período.

A análise de correlação foi realizada por meio do uso de regressão polinomial dos dados dos intervalos de tempo com diferentes graus de controle da descarga. O mesmo procedimento foi realizado para a verificação da curva chave utilizada no período posterior a 1998.

A comparação dos dados de ambas as estações utilizou os dados compreendidos entre 1990 e 2006. Tal intervalo foi utilizado porque os dados de cota fluviométrica da Estação de Porto Caiuá estão limitados a este período de tempo. Foi realizada a análise de correlação para os dados de cota fluviométrica e de descarga de ambas as estações, por meio de regressão polinomial.

A análise dos regimes de fluxo e a determinação da vazão ecológica foram realizadas por meio da utilização de métodos hidrológicos, no caso o de “Tennant” (OKAWA, 2008). Procedeu-se inicialmente a uma revisão da literatura e a uma análise preliminar da curva de descarga na estação de Porto São José. Para isto, foi traçada a curva de descarga para todo o período de dados e curvas de descarga obedecendo à divisão por períodos descrita em Rocha (2002).

A caracterização do regime de fluxos foi baseada em estudos anteriores e na manipulação dos dados de vazão média diária e cota, sendo calculadas as vazões médias, máximas e mínimas de longo termo e por períodos. Calculou-se a curva de permanência de vazões utilizando-se a série histórica de vazões médias diárias medida na estação fluviométrica de Porto São José. Os registros de vazão média diária são classificados em ordem decrescente e a permanência de cada vazão é expressa como uma porcentagem do tempo em que a vazão considerada é igualada ou superada (Pinto *et al.*, 1976).

A determinação da vazão ecológica por percentagem da curva de permanência utilizou a mesma curva confeccionada para caracterização do regime de fluxos. A vazão média mínima de 7 dias de duração com tempo de retorno de 10 anos ( $Q_{7,10}$ ) foi determinada por ajuste com a distribuição de probabilidades de Gumbel para mínimos, conforme Mendes (2007) e Naghettini e Pinto (2007). A investigação para verificar existência de *outliers* foi realizada por método gráfico do tipo *Box Plot* (Mendes, 2007). A aderência dos valores ajustados à série observada foi verificada pelo teste de Kolmogorov-Smirnov conforme Naghettini e Pinto (2007).

No método das vazões anuais mínimas de 7 dias de duração, as mínimas das médias móveis das vazões diárias com janelas de sete dias ao longo do ano foram retidas e o valor adotado como vazão ecológica foi a média dos valores retidos, conforme Benetti *et al.* (2003). Para aplicação do método de Tennant, foi calculada a vazão média de longo termo (QMLT) e a vazão ecológica foi determinada a partir de percentagens desta vazão, de acordo com o critério estabelecido no método, que indica diferentes níveis de qualidade de hábitat para peixes (Benetti *et al.*, 2003).

Para o estudo da situação das barras fluviais foram utilizadas imagens de alta e média resolução que podem ser visualizadas no site “Google Earth”, e imagens HRC obtidas pelo satélite CBERS 2B (SOUZA FILHO & STEVAUX, 2009). Foi realizada uma navegação no referido site ao longo da área de estudo, e ao longo da calha fluvial dos rios Paraná, Paraguai, Amazonas, Juruá, Madeira, Tapajós, Xingu, Araguaia, Tocantins, Negro, e São Francisco. Nos pontos de interesse foram obtidos recortes de imagem em diferentes escalas de forma a permitir a análise das barras fluviais e das formas de leito, e foram adquiridas as imagens HRC disponíveis.

A obtenção das imagens HRC foi realizada junto ao site do INPE, na página da Divisão de Geração de Imagens (DGI). As imagens sem cobertura de nuvens foram baixadas, analisadas e comparadas com os recortes anteriormente existentes.

Para a avaliação da velocidade de deslocamento das barras foram utilizadas imagens CCD/CBERS2 e 2B, no intervalo entre 2004 a 2007 (SOUZA FILHO & RIGON, 2009). A hipótese de trabalho que deu origem a este estudo é que a velocidade de deslocamento das formas de leito depende da velocidade de fluxo a que elas estão submetidas. De forma geral, em canais livres, a velocidade de fluxo é diretamente proporcional à descarga fluvial, portanto, a velocidade de deslocamento das barras deve ser proporcional à descarga fluvial.

Contudo, o corte do suprimento detrítico faz com que as formas de leito percam sua fração mais fina, e sofram cominuição (SOUZA FILHO & STEVAUX, 2008). Nesse caso há a possibilidade de que a velocidade de deslocamento diminua ao longo do tempo, e a proporção entre descarga fluvial e a velocidade de deslocamento seja modificada. Essa possibilidade teve de ser testada antes do desenvolvimento do trabalho.

Para isso, foi elaborada uma análise de correlação entre os dados de velocidade de deslocamento das formas de leito já disponíveis, e a descarga fluvial média e máxima do período em que as medidas foram feitas, por meio do uso do “software” “Statistica 7”.

Uma vez que o deslocamento das barras fluviais é mais complexo do que o das formas de leito, foram escolhidas quatro barras situadas a diferentes distâncias da barragem de Porto Primavera. Tal escolha foi baseada na hipótese de que o ajuste fluvial ocorre de montante para jusante, e dessa forma, a alteração do leito móvel atingiria as barras em tempos diferentes.

O passo seguinte foi a seleção das quatro barras fluviais. A escolha das barras a serem monitoradas foi realizada com base em dois critérios: seu porte e sua persistência ao longo do período analisado. A escolha de barras de grandes proporções deveu-se à maior facilidade de visualização em imagens orbitais, enquanto que a escolha de barras que se mantiveram emersas ao longo do período deveu-se à necessidade da comparação das variações de velocidade entre todas as formas ao longo do período estudado.

O intervalo de tempo a ser utilizado entre as passagens dependeu de duas variáveis: a existência de imagens sem cobertura de nuvens, e o tempo mínimo necessário para que a resolução espacial do produto permitisse a avaliação do deslocamento com menor margem de erro.

O intervalo de tempo mínimo entre as passagens poderia ser estimado por meio do uso dos menores valores observados para o deslocamento das formas de leito, no caso, entre 40 e 50 metros por mês. Mas, considerando a possibilidade de que as barras tivessem um deslocamento mais lento do que as dunas sub-aquosas, foi realizada uma estimativa preliminar com dados de campo e fotografias aéreas.

Considerando a estimativa preliminar da velocidade de deslocamento das barras e a resolução espacial das imagens a serem utilizadas, foi realizada a escolha das imagens de forma a permitir verificar o deslocamento em intervalos próximos a um ano. O intervalo de tempo escolhido permitiu a minimização da margem de erro do posicionamento das barras e cobre o intervalo de vazante cheia vazante. Dessa forma foram selecionadas as imagens CCD

da órbita 161, ponto 125 do satélite CBERS-2 com passagem em: 24/03/04, 09/06/05, 04/07/06, e 07/06/07.

A disponibilidade de imagens sem cobertura de nuvens possibilitou a escolha de outros dois conjuntos de 4 imagens, que foram utilizados para aumentar a confiabilidade da avaliação das velocidades de deslocamento das barras. As datas escolhidas para o segundo conjunto foram: 22/09/04, 26/08/05, 25/08/06, e 19/09/07. As datas do terceiro conjunto foram: 13/11/04, 12/11/05, 11/11/06, e 29/10/07, sendo que a imagem da última passagem foi obtida pelo satélite CBERS-2B.

As imagens foram baixadas a partir de solicitação feita ao “site” do INPE ([www.dgi.inpe.br/CDSR](http://www.dgi.inpe.br/CDSR)), e registradas com base na imagem 223/076 do LANDSAT 7/ ETM de 12/05/2000, obtida no “site” do USGS, já georreferenciada e adequada ao sistema de projeção UTM e *datun* WGS84. O registro das imagens foi feito por meio do uso do “software” SPRING 4.3, assim como os demais procedimentos realizados com as imagens.

As imagens georreferenciadas foram verificadas para a averiguação da existência de deslocamento originário de erro de registro, e a área de estudo foi recortada. O trabalho utilizou as imagens da banda 2 (0,45 - 0,52  $\mu\text{m}$  - azul), que apresentou melhor contraste entre a reflectância da água do rio e a da superfície das barras. Em seguida, foi obtido o posicionamento de cada barra selecionada, e medido o deslocamento ocorrido entre as datas sucessivas de cada conjunto, por meio da superposição das imagens das diferentes datas.

O posicionamento de cada barra foi efetuado tendo como base sua extremidade situada mais à jusante, uma vez nessa parte a forma termina abruptamente, e a ausência de transição permite um forte contraste entre a areia e a água profunda do rio.

A velocidade de deslocamento foi obtida por meio da divisão da distancia percorrida por cada barra pelo tempo (em meses) transcorrido entre a obtenção das imagens. Os dados obtidos foram correlacionados à descarga média e máxima de cada intervalo analisado por meio do uso do “software” “Statistica 7”.

O estudo das Paleoformas da Planície Fluvial foi desenvolvido por meio da utilização de dados altimétricos SRTM, ASTER, e fotogramétricos obtidos a partir de fotografias aéreas de 1996 (ANDRADE, 2008). Após o tratamento desses dados foram realizados levantamentos de campo para a confirmação de posicionamento, e verificação da interpretação preliminar.

Os dados altimétricos foram utilizados para a elaboração da modelagem numérica do terreno. Os procedimentos empregados foram diferentes para cada uma das fontes de dados, uma vez que os produtos são originários de imageadores distintos.

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

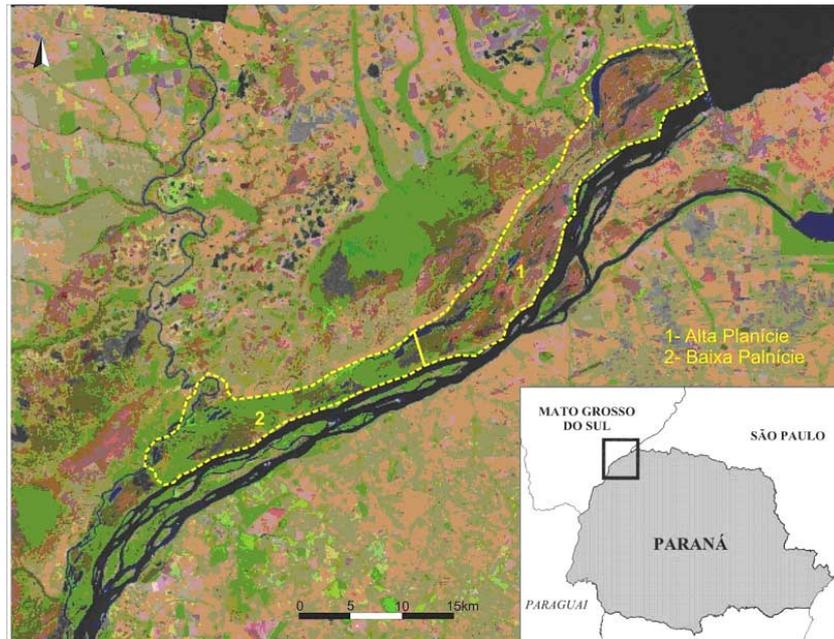
A geração do MDE ASTER seguiu conforme o proposto por Toutin (2002), Fujisada *et. al.* (2005), Hirano *et. al.* (2003), Cuartero *et. al.* (2005) e Parma (2007). Foram utilizadas duas cenas do Nível 1A (que possui as bandas nadirais 3N e 3B) de 29/03/07. O MDE gerado das cenas foi relativo, ou seja, não foi associado à pontos de controle no solo, dessa forma os valores altimétricos das cenas não eram absolutos e precisaram ser devidamente ajustados.

A escolha MDE relativo ao invés de absoluto deveu-se 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.

As imagens orbitais foram classificadas pelo método da classificação não-supervisionada (*unsupervised classification*) (LILLESAND & KIEFER, 1994). O procedimento de classificação não-supervisionada foi realizado baseando-se nos valores de pixel, sendo os mesmos agrupados em classes considerando suas semelhanças. A acurácia da classificação foi avaliada por meio da elaboração do índice *Kappa*. Para isto foi necessária a realização de uma tabulação cruzada e a verificação da concordância entre os dados obtidos em campo e o produto da classificação (LOBÃO *et. al.* 2005; PONZONI e ALMEIDA, 2007).

Os mapas de superfície de tendência e resíduos dos dados altimétricos foram confeccionados de acordo com o proposto por Landim & Corsi (2001). Em todos os casos, foi elaborada uma superfície de primeiro grau ajustada aos valores de altimetria (Z), como uma função linear das coordenadas X-Y. A partir dos dados da superfície de tendência foram calculados os resíduos.

Após a realização de uma primeira análise, os dados foram separados em dois conjuntos, uma vez que a área estudada dispõe-se em uma curva, o que resultava em dados falsos. Para contornar este problema, a área da planície foi dividida em dois segmentos denominados de Planície Alta (parte montante) e Planície Baixa (parte jusante), figura 1.



**Figura 1** – Distribuição espacial da Planície Alta e da Planície Baixa. (ANDRADE, 2008)

O estudo das paleoformas do Terraço Baixo abordou duas questões: a identificação das formas, e a determinação da posição espacial do Terraço (CREMON & SOUZA FILHO, 2009). Foi escolhida a área de ocorrência dos leques. Para o desenvolvimento da pesquisa foram utilizados os dados altimétricos SRTM, e imagens Terra/ASTER de 29/03/2007, bandas 1 (0,52  $\mu\text{m}$ ), 2 (0,63-0,69  $\mu\text{m}$ ) e 3N (0,76-0,86  $\mu\text{m}$ ), obtidas pelo sensor WNIR de 15 m de resolução espacial.

O dados altimétricos SRTM foram re-amostrados para a resolução de 30 metros por meio de Krigeagem, e tratados por meio da utilização da Análise de Superfície de Tendência. A superfície de primeiro grau foi utilizada para a obtenção da altitude média do terraço, e os resíduos foram utilizados para a identificação das formas. O procedimento e os softwares utilizados foram semelhantes àqueles aplicados para o estudo da planície fluvial.

As imagens ASTER foram tratadas por meio dos *softwares ENVI 4.0 e ERDAS IMAGINE 9.1*, por meio de classificação supervisionada. As classes obtidas foram comparadas ao mapa de resíduos, distinguindo-se assim as formas deposicionais (leques e paleocanais) e as formas erosivas (depósitos reliquias do Terraço Médio).

O trabalho prosseguiu por meio da seleção dos dados altimétricos das áreas de leques e de paleocanais, e seu tratamento por meio da Análise de Superfície de Tendência. Tal abordagem permitiu o detalhamento das informações de ambos os conjuntos, visto que desta forma não haveria influência dos dados das demais classes obtidas.

O levantamento das modificações do canal, e das alterações da planície, foi realizado por meio de imagens orbitais tratadas por meio do uso dos *softwares ENVI 4.0, ERDAS IMAGINE 9.1*. O objetivo do levantamento das modificações do canal foi verificar as alterações da superfície de água ao longo do tempo na área de estudo.

As modificações do canal fluvial foram estudadas utilizando-se imagens MSS (cena 240/76), de 02/04/1976 e de 16/01/1982; imagem TM (cena 223/076) de 15/05/2000, e CCD/CBERS 2 (cena 161/125) de 24/03/2004, 13/11/2004, e 21/03/2007.

As imagens foram registradas, e classificadas por meio dos algoritmos de Máxima Distância Paralela e ISOSEG, para o recorte da área do canal e medida da área ocupada pela água. As imagens MSS foram re-amostradas para 30 metros de resolução por meio do uso de Krigeagem antes da classificação.

Os planos de informação contendo a superfície da água em cada data foram superpostos em ordem cronológica de forma a permitir verificar as áreas de deposição e de erosão em cada intervalo de tempo. A área ocupada pela água em cada data foi comparada com o nível fluviométrico exibido pelo rio na Estação de Porto São José.

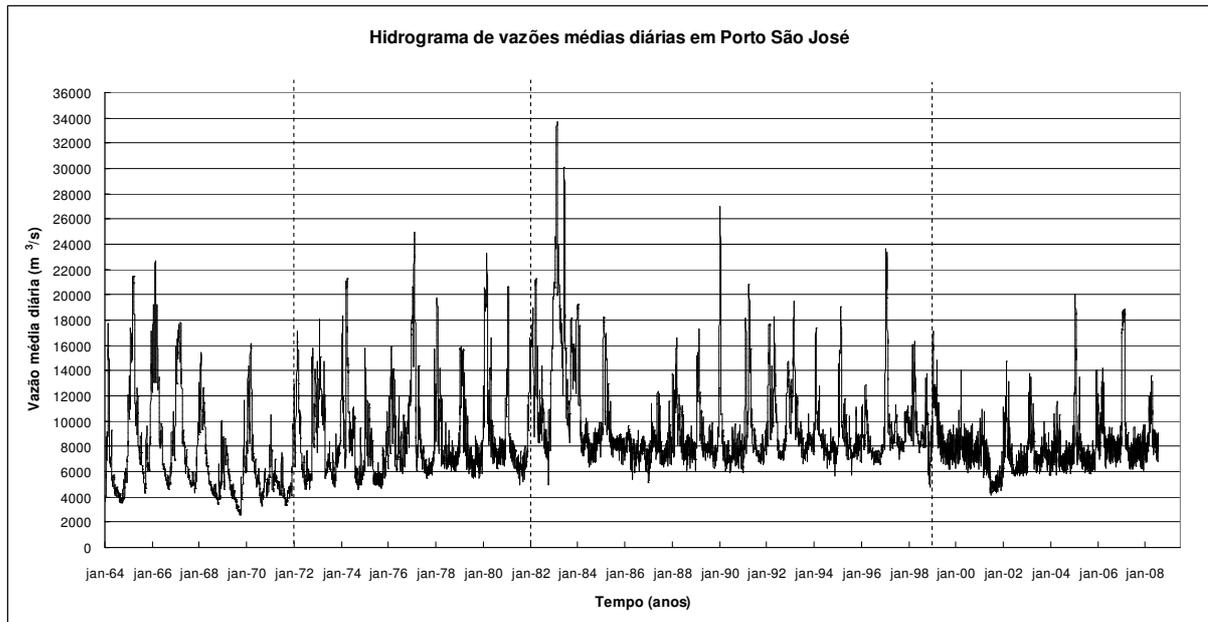
A avaliação das modificações da superfície da Planície Fluvial foi realizada por meio da utilização de imagens MSS, TM, ETM e CCD/CBERS2b. O objetivo da pesquisa foi a verificação das variações da cobertura vegetal, dos corpos de água e das áreas úmidas da planície no período entre 1973 e 2007.

Para a realização do estudo foram utilizadas as cenas 240/76 obtidas em 23/02/1973, em 04/02/1976 e em 23/11 1981; as cenas 223/076 de 30/07/1985, de 14/03/1987, de 24/05/1990, e de 12/05/2000 (ETM); e a cena 161/125 de 24/08/2007.

As imagens foram registradas, segmentadas e classificadas utilizando-se o algoritmo de Battacharya. A classificação foi analisada quanto à sua acurácia por meio de dados de campo e de fotografias aéreas, e as classes tiveram sua distribuição e área avaliadas.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os registros de cota fluviométrica da Estação de Porto São José mostram que as alterações podem ser detectadas a partir do ano de 1972, quando o valor médio do nível fluviométrico aumentou (figura 2).



**Figura 2** - Hidrograma de vazões médias diárias da estação de Porto São José. (OKAWA, 2008)

A análise efetuada por Rocha *et al* (1998), demonstrou que antes de 1972 a média anual dos níveis de descarga média diária registrados na estação de Porto São José era de 2,34 metros (6.501 m<sup>3</sup>/s) e que no período entre 1972 e 1998, o valor passou a 3,48 metros (9.150 m<sup>3</sup>/s). Os autores verificaram que no referido período houve uma redução da permanência das descargas mais baixas e que entre 1982 e 1993 (último ano analisado pelos autores), a permanência das descargas baixas diminuiu ainda mais, enquanto a permanência das descargas médias, altas e das cheias aumentou consideravelmente.

Em trabalho posterior, Rocha (2002) refinou sua análise, e tendo observado o comportamento da magnitude, duração, periodicidade, frequência e taxa de mudança dos fluxos, definiu quatro diferentes intervalos de tempo com diferentes condições de controle. O intervalo de tempo anterior a 1972 foi denominado de Período do Regime Natural, e o intervalo posterior a 1972 recebeu o nome de Período de Regime Alterado (ou controlado/impactado). Neste último período o autor subdividiu outros três intervalos denominando-os por Período Transicional (1972 a 1981), Período Regulado pelo Efeito Cascata dos Reservatórios (1982 a 1998) e Período Regulado pela UHE Porto Primavera (de 1999 a 2001, último ano analisado).

Os três últimos períodos foram re-analisados por Silva (2007) que avaliou a variabilidade e a distribuição temporal dos fluxos fluviais no período compreendido entre 1976 e 2006. A autora observou que a descarga média anual durante o Período Transicional

foi de 9144 m<sup>3</sup>/s (nível de 3,47 m), de 9772 m<sup>3</sup>/s durante o Período Regulado pelo Efeito Cascata (nível de 3,73 m), e de 7816 m<sup>3</sup>/s no Período Regulado pela UHE de Porto Primavera (nível de 2,94 m).

Os valores médios de descargas mínimas e máximas obtidos pela autora para os três períodos indicam que no primeiro período as águas oscilaram entre o nível de 1,91 m e 6,90 m, enquanto que no segundo período a oscilação foi entre 2,10 e 6,34 m, e, por fim, no terceiro período foi de 1,90 a 5,24 m. Tais dados são indicativos do progressivo controle das barragens, que reduziram o intervalo de variação do nível das águas de forma significativa.

A avaliação realizada por OKAWA (2008) demonstrou que no Período Natural (período anterior a 1972), as vazões apresentavam forte sazonalidade, com períodos bem definidos de cheias e vazantes e com duração, periodicidade e frequência, tanto de cheias quanto de vazantes, similares inter-anualmente, com hidropériodo maior. O hidropériodo pode ser visualizado graficamente observando-se a base do pico de descarga, que neste primeiro período apresenta-se larga (Figura 2).

No Período Transicional (1972 a 1981), com o aumento da precipitação média e aumento da infiltração no solo, aumentou a magnitude das vazões, tanto das máximas quanto das mínimas, com frequência maior e com duração menor do que no período anterior, o que pode ser constatado pela existência de picos com base mais estreita. Ocorre a presença de picos secundários de curta duração (Figura 2).

No Período Regulado pelo Efeito Cascata dos Reservatórios (1982 a 1998), ocorreu a cheia de 1983, influenciada pelo fenômeno *El Niño*, em que se observou um valor máximo de vazão de 33.698 m<sup>3</sup>/s com a cota correspondente de 8,74 m. A tendência de aumento da precipitação média permaneceu neste período, e o comportamento da vazão é similar ao período anterior, com aumento da magnitude das vazões mínimas e existência de muitos picos secundários de curta duração (Figura 2).

No Período Regulado pela Usina Hidrelétrica de Porto Primavera (1999 a 2008), observa-se nitidamente um decréscimo nas vazões máximas, com apenas dois picos significativos (2005 e 2007), ambos em anos de *El Niño*. No ano de 2001 ocorreu a crise no setor elétrico brasileiro, evidenciado no hidrograma por uma forte recessão, o que causa decréscimo nas vazões médias mínimas no período (Figura 2).

## Relação cota vazão

Os estudos hidrológicos apresentados neste trabalho baseiam-se na série histórica de vazões diárias médias, que por sua vez é obtida utilizando-se a curva-chave da estação de Porto São José. Por essa razão é OKAWA (2008) realizou uma breve explanação a respeito do assunto:

As condições de escoamento são definidas pela forma e pela rugosidade do leito; pela mobilidade dos materiais no fundo do leito; pela declividade do fundo e pela declividade da superfície livre da água. Todas estas características são variáveis no tempo, e um dos problemas para a definição da curva-chave é o desconhecimento desta variabilidade (Jacon e Cudo, 1989).

A facilidade do uso da curva-chave deve vir acompanhada da ciência de sua aplicação, no sentido de que a curva-chave funciona bem para valores intermediários, e quando for necessária a extrapolação para valores máximos ou mínimos, tal extrapolação deve ser feita de forma bastante criteriosa (Pereira Filho *et al.*, 2003; Gomes *et al.*, 2001).

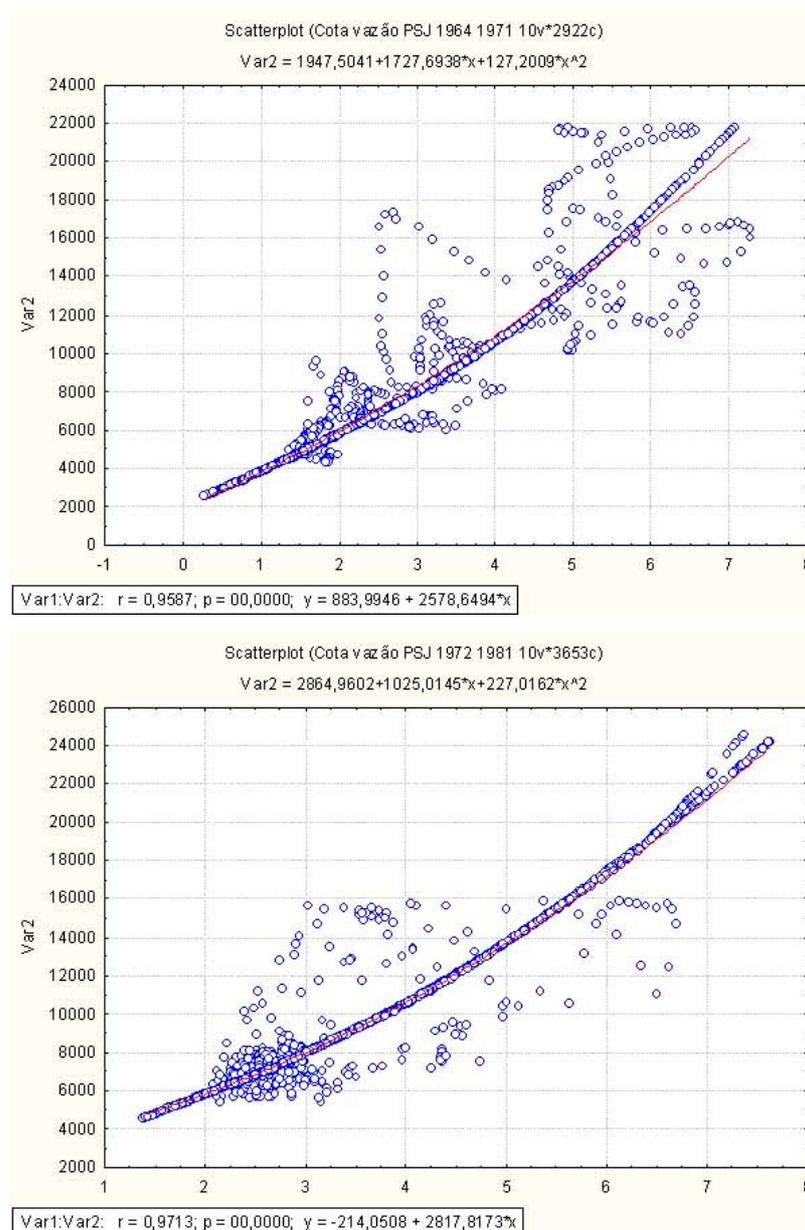
A série de vazões é não-estacionária, e para cada alteração significativa na geometria da seção transversal deve ser traçada uma nova curva-chave, que seja representativa da situação (Tucci, 1997). Quando os dados de vazão média diária são solicitados a um órgão gestor, deve-se ter a ciência de que o órgão gestor elabora uma única curva-chave para todo o período de dados, independente das alterações ocorridas. O pesquisador é responsável pela análise da confiabilidade da curva-chave no que concerne a ocorrência de alterações significativas durante o período de dados e, se necessário, pelo traçado de curvas-chave por períodos.

A análise da curva chave efetuada por SOUZA FILHO (2009) foi realizada por meio da comparação entre os dados da estação de Porto São José com a de Porto Caiuá. Os resultados da análise de regressão polinomial dos dados de cota fluviométrica e de descarga média diária de cada intervalo mostraram altos valores de  $r$ , mas a dispersão dos pontos nos dois primeiros períodos demonstra que a aplicação da curva chave não foi feita adequadamente em um grande número de ocasiões (Figuras 3 e 4).

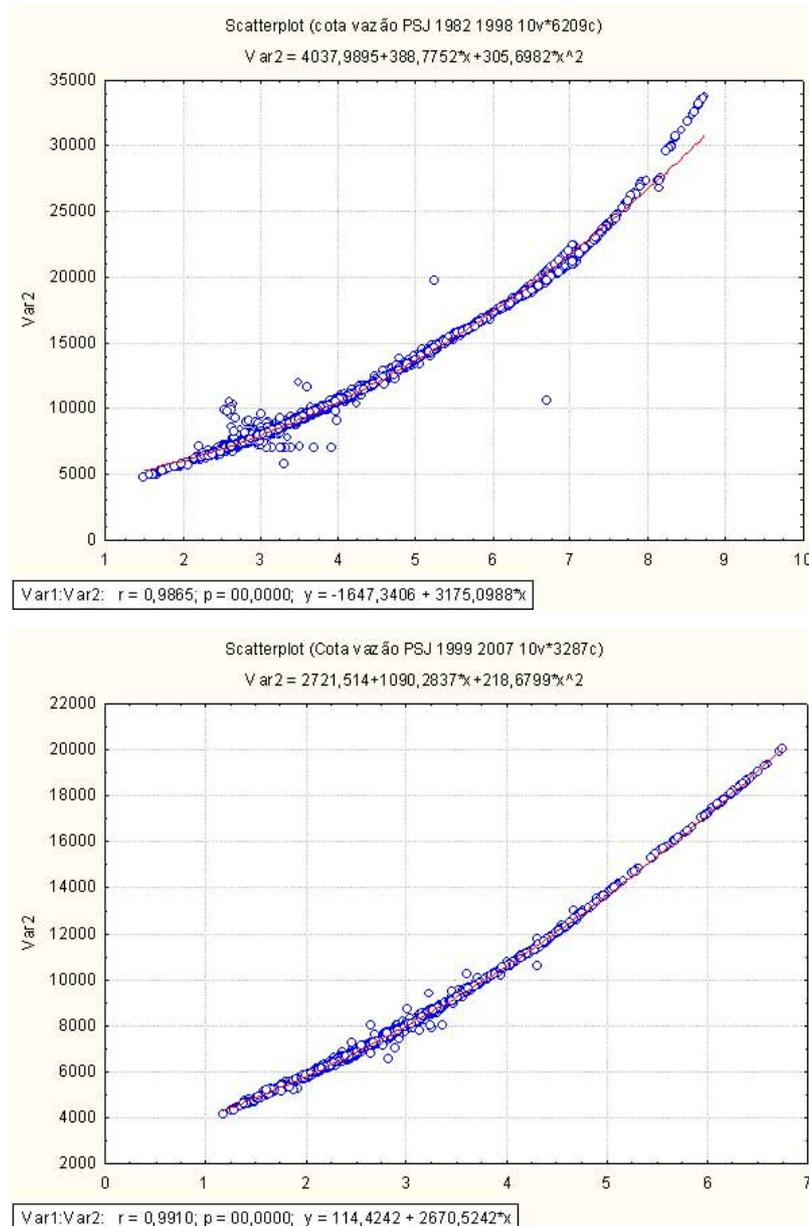
As diferenças entre as curvas de regressão mostram que a seção fluvial modificou-se ao longo do tempo, e dessa forma, as relações entre a cota fluviométrica e a descarga fluvial também se alteraram. Tal modificação pode ocorrer naturalmente, ou pode ser causada por modificação antrópica, mas uma vez que elas são esperadas, as seções fluviais que dispõem

de monitoramento de nível de água são reavaliadas periodicamente para que sua curva-chave seja atualizada.

Dessa forma, as diferenças entre as curvas de regressão demonstram que houve modificação na curva chave ao longo do tempo de registro, e que os níveis fluviométricos considerados nesse trabalho correspondem a diferentes valores de descarga nos intervalos de tempo considerados.



**Figura 3** – Gráficos resultantes da análise de regressão polinomial dos dados de cota fluviométrica e descarga média diárias da Estação de Porto São José, no Período Natural (acima) e no Período Transicional (abaixo). (SOUZA FILHO, 2009).



**Figura 4** – Gráficos resultantes da análise de regressão polinomial dos dados de cota fluviométrica e descarga média diárias da Estação de Porto São José, no Período Controlado pelo Efeito Cascata (acima) e no Período Controlado por Porto Primavera (abaixo). (SOUZA FILHO, 2009).

A variação temporal dos valores de descarga fluvial correspondentes a cada nível fluviométrico pode ser observada na tabela 1. Quando considerados os níveis de 3,5 e 4,6 metros, os valores indicam que a descarga necessária para que estes níveis sejam atingidos diminuiu sucessivamente do primeiro para o terceiro período, e aumentou no quarto. Porém, quando considerado o nível de 6,0 metros, verifica-se que o valor da descarga diminuiu do primeiro para o segundo período, aumentou deste para o terceiro período e por fim diminuiu

no quarto intervalo de tempo. Por sua vez, a descarga relativa a 7,0 metros mostrou aumento de valor nos três primeiros períodos e diminuição após 1999.

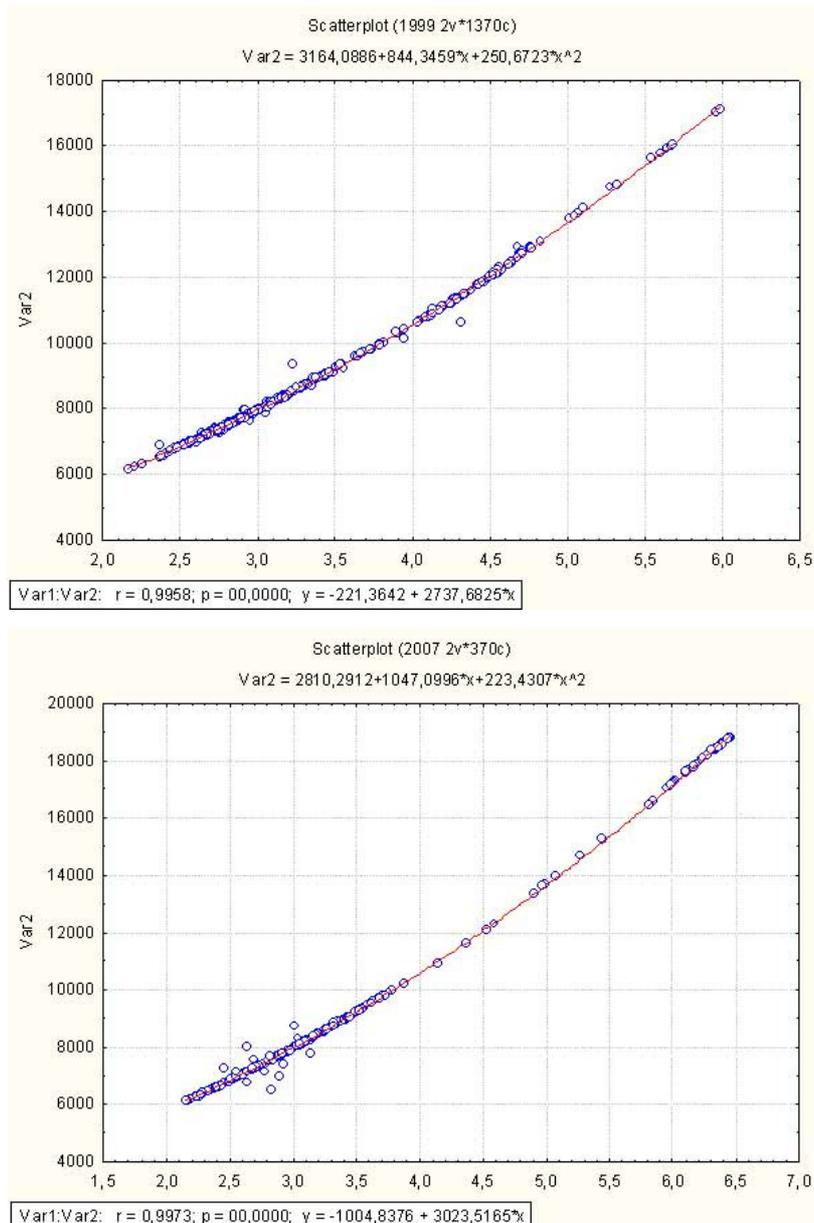
**Tabela 1** Valores de descarga fluvial em cada nível fluviométrico nos diferentes períodos de tempo. (SOUZA FILHO, 2009).

Cota (m)	Descarga fluvial (m <sup>3</sup> /s)			
	1964 a 1971	1972 a 1981	1982 a 1998	1999 a 2007
3,5	9553	9233	9140	9217
4,6	12587	12384	12295	12370
6,0	17893	17188	17376	17140
7,0	20274	21164	21739	21100

Os dados apresentados na tabela 1 indicam que após a barragem de Porto Primavera a seção de Porto São José necessitaria de descargas mais elevadas para atingir os níveis fluviométricos iguais ou inferiores a 4,6 metros e de descargas mais baixas para atingir os níveis iguais ou superiores a 6,0 metros. Contudo, a barragem cortou o suprimento detrítico do rio, e a seção de Porto São José vem sendo modificada, conforme relatado por Souza Filho *et al.* (2004).

Uma vez que a seção fluvial está sendo modificada, a relação entre o nível fluviométrico e a descarga fluvial também pode ter sido alterada, e a curva chave da seção pode não ser mais válida. Para verificar esta situação, foi realizada uma análise da relação entre cota e vazão dos anos de 1999 a 2007.

A análise de regressão dos dados de cota e vazão de cada ano no período entre 1999 e 2007 demonstrou que as curvas são estatisticamente semelhantes, conforme pode ser observado na figura 5, demonstrando que os valores de descarga de todo o período foram obtidos por meio da mesma curva chave.



**Figura 5** – Gráficos resultantes da análise de regressão polinomial dos dados de cota e descarga média diárias da Estação de Porto São José, em 1999 (acima) e em 2007 (abaixo). (SOUZA FILHO, 2009)

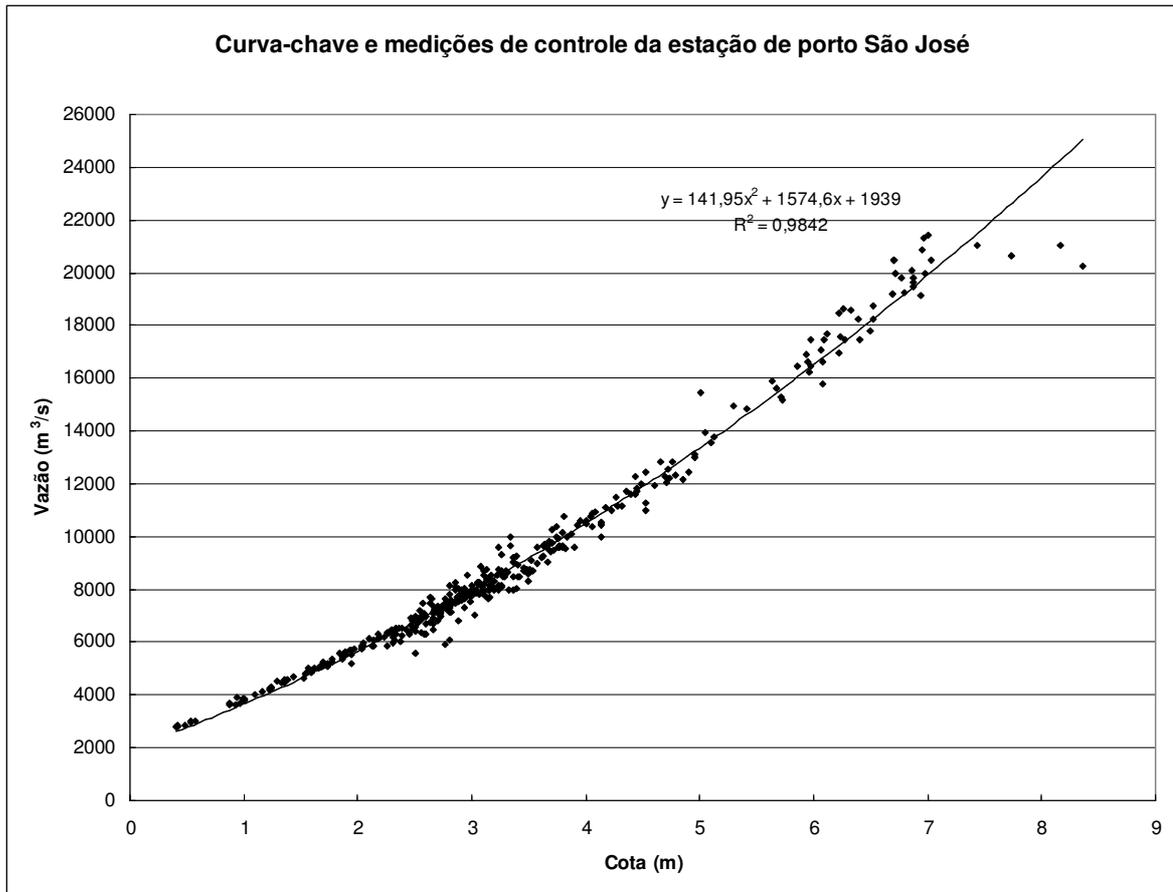
A correlação entre os dados de cota fluviométrica de Porto São José e de Porto Caiuá mostra que o valor de  $r$  é maior no período de 1990 a 1998 do que no período entre 1999 a 2006, e o mesmo pode ser afirmado com relação à correlação entre a descarga fluvial de ambas as estações (tabela 2). A diminuição do valor de  $r$  é uma indicação de que a relação entre ambas as estações foi modificada, e os dados de cota fluviométrica e de descarga confirmam esta possibilidade, uma vez que os valores referentes à mesma cota são diferentes nos dois períodos de tempo.

**Tabela 2** Comparação entre os valores de nível fluviométrico e de descarga das Estações Fluviométricas de Porto São José e de Porto Caiuá nos períodos de 1990 a 1998 e 1999 a 2007. (SOUZA FILHO, 2009).

Estação de Porto São José			Estação de Porto Caiuá			
Nível	descarga		Nível (m)		Descarga (m <sup>3</sup> /s)	
	1990-1998	1999-2007	1990-1998	1999-2007	1990-1998	1999-2007
			r 0,9566	r 0,9247	r 0,9569	r 0,9284
3,5	9140	9217	2,38	2,43	10713	10986
4,6	12300	12370	3,28	3,25	14108	14099
6,0	17400	17140	4,48	4,40	19305	18691
7,0	21700	21100	5,37	5,28	23417	22420

A variação dos valores de nível fluviométrico e descarga fluvial da estação Porto Caiuá referentes ao nível de 3,5 metros em Porto São José (Tabela 2) é coerente com o aumento de descarga registrado na estação de Porto São José, mas o mesmo não ocorre no caso dos demais níveis de referência. Nesse caso, os dados de Porto Caiuá indicam que a curva chave de Porto São José subestima os valores de descarga para os níveis fluviométricos iguais ou superiores a 4,6 metros.

A curva chave da estação de Porto São José também foi verificada por OKAWA (2008) por meio dos dados obtidos em campo pelo DENAE, sob responsabilidade da ANA. A curva chave obtida para o período de existência da estação encontra-se na figura 6.



**Figura 6** - Curva-chave e medições de controle da estação de Porto São José para todo o período de observações. (OKAWA, 2008).

A apresentação da relação cota-descarga foi realizada por representação gráfica e formulação matemática, sendo adotada a forma polinomial (polinômio de segundo grau), por calibragem unívoca de seção estável com um só controle, e geometria considerada regular nos períodos (Tucci, 1997). A equação (1) representa o ajuste de traçado da curva-chave para todo o período considerado, com seus respectivos coeficientes de determinação ( $r^2$ ) e de correlação ( $r$ ). A variável “y” equivale à vazão (Q) e a variável “x” equivale à cota (h).

$$Q = 141,95 \cdot h^2 + 1.574,6 \cdot h + 1.939, \quad r^2 = 0,9842 \quad \text{e} \quad r = 0,9921 \quad (1)$$

A análise da figura 6 mostra uma grande dispersão dos pontos com relação ao ajuste, tanto para a região de baixas quanto para a região de altas vazões. Esta dispersão se deve, em grande parte, à geometria da seção transversal, que tem se modificado ao longo do tempo, por influência de ações antropogênicas e por mudanças climatológicas, tanto mais após o início da operação da usina hidrelétrica de Porto Primavera.

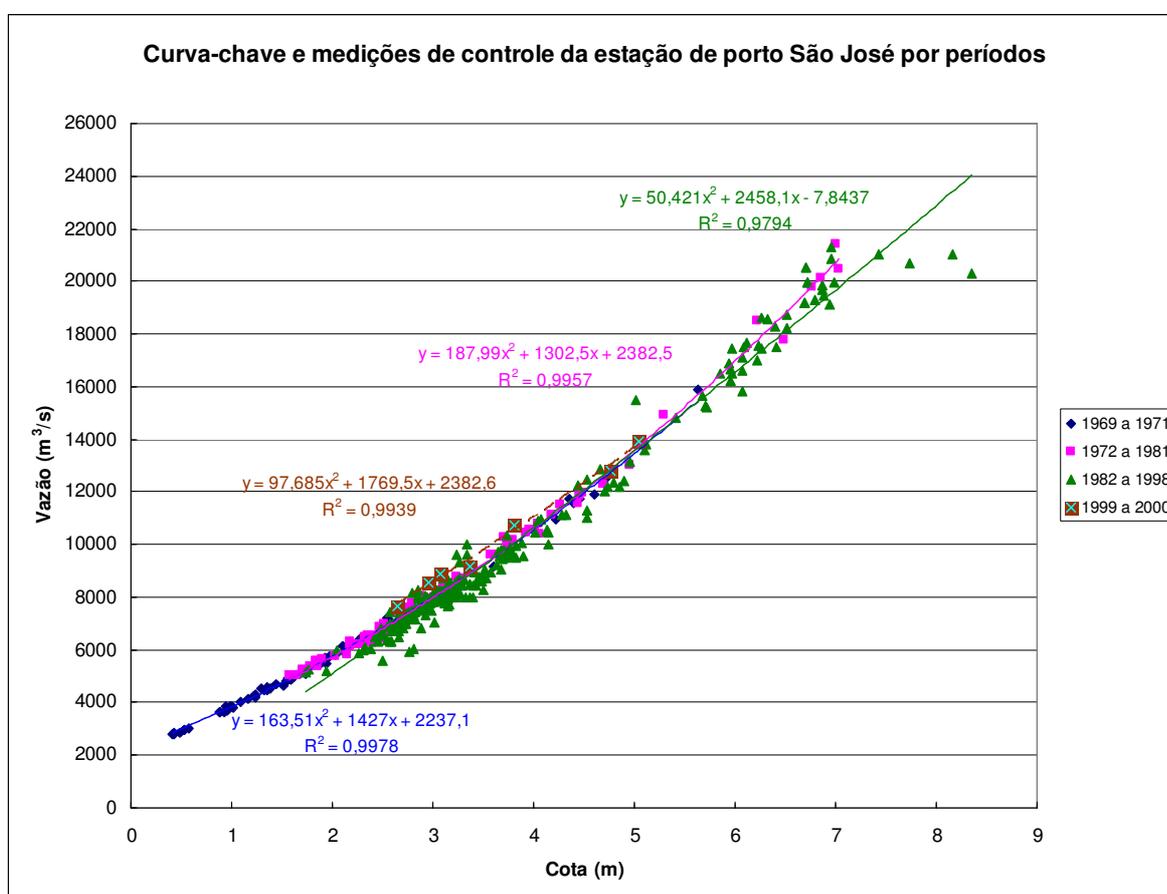
As modificações da seção transversal exigiram a elaboração de uma curva chave para cada período (Figura 7). As equações (2) a (5) representam os ajustes de traçado da curva-chave por período, com seus respectivos coeficientes de determinação ( $r^2$ ) e de correlação ( $r$ ). A variável “y” equivale à vazão (Q) e a variável “x” equivale à cota (h).

$$Q = 163,51 \cdot h^2 + 1.427,0 \cdot h + 2.237,1, r^2 = 0,9978 \text{ e } r = 0,9989 ; 1969 \text{ a } 1971 \quad (2)$$

$$Q = 187,99 \cdot h^2 + 1.302,5 \cdot h + 2.385,5, r^2 = 0,9957 \text{ e } r = 0,9979 ; 1972 \text{ a } 1981 \quad (3)$$

$$Q = 50,421 \cdot h^2 + 2.458,1 \cdot h - 7,8437, r^2 = 0,9794 \text{ e } r = 0,9897 ; 1982 \text{ a } 1998 \quad (4)$$

$$Q = 97,685 \cdot h^2 + 1.769,5 \cdot h + 2.382,6, r^2 = 0,9939 \text{ e } r = 0,9970 ; 1999 \text{ a } 2000 \quad (5)$$



**Figura 7** - Curvas-chave e medições de controle da estação de porto São José por períodos. (OKAWA, 2008).

As curvas exibidas na figura 7 levaram OKAWA a tecer as seguintes considerações: No período de 1969 a 1971, encontram-se as menores vazões observadas. Analisando as medições, nota-se que todas as cotas inferiores a 1,0 m correspondentes às vazões mínimas observadas foram obtidas no ano de 1969, o que condiz com estudos que mostram que houve aumento de precipitações médias após 1970, e que o aumento da vazão observado a partir de

1970 é decorrente do efeito conjunto de: aumento da precipitação média, diminuição da evapotranspiração provocada pela retirada da mata nativa e aumento da infiltração da chuva, facilitada pelas técnicas de manejo do solo adotadas (Müller *et al.*, 1998).

No período de 1982 a 1998, de uma maneira geral, verifica-se que, para uma mesma cota, a vazão correspondente é menor neste período do que nos períodos anteriores, o que indica provável mudança na geometria da seção transversal por depósito de sedimento.

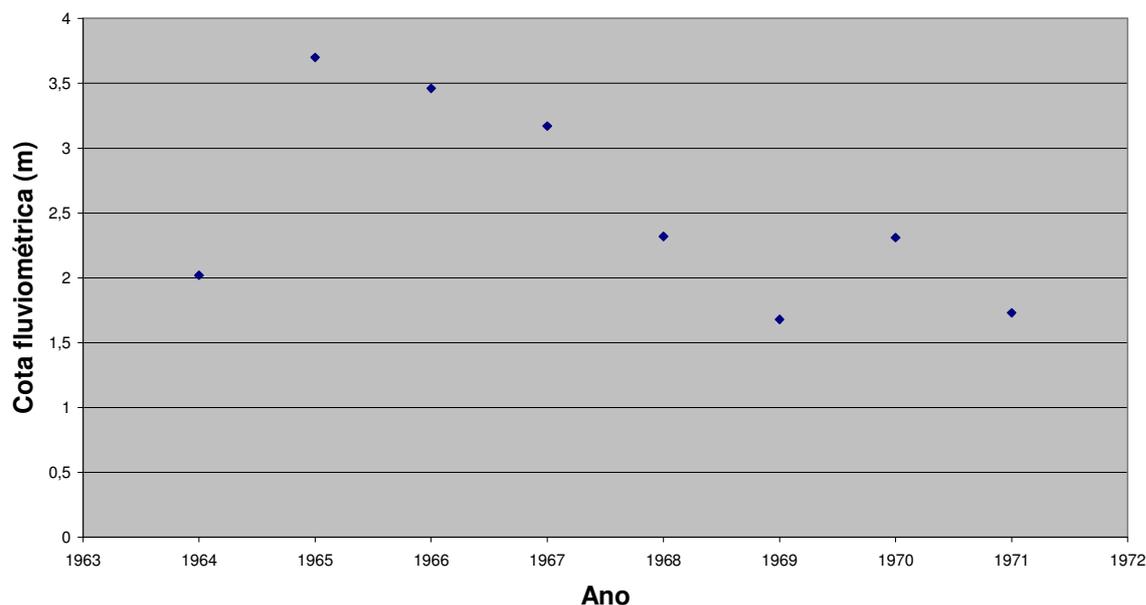
No período de 1999 a 2000, devido ao funcionamento da usina hidrelétrica de Porto Primavera, ocorreram profundas modificações na geometria da seção, com mobilidade dos materiais do fundo do leito para jusante, aumentando a eficiência hidráulica do canal, o que se reflete em uma elevação da curva-chave do período, ou seja, para uma mesma cota, a vazão tornou-se parecida com a dos dois primeiros períodos e maior do que a do período anterior. Interessante notar que, após o início de operação da usina, a vazão neste controle tornou-se parecida com a vazão do Período Natural, embora não se tenham medições para as vazões mínimas e nem para as vazões máximas para este último período. Salienta-se ainda a falta de medições no intervalo de tempo posterior a 2000.

### **Os níveis fluviométricos médios anuais e permanência das descargas fluviais**

A análise das descargas fluviais realizada por SOUZA FILHO (2009) mostrou que as diferenças entre os diversos períodos são mais notáveis quando são comparados os números de dias em que o nível da água atingiu ou ultrapassou as cotas fluviométricas com significado geomorfológico e limnológico.

Durante o Período Natural (1964 A 1971), a série da Estação de Porto São José apresentou uma cota fluviométrica média de 2,55 m (6952 m<sup>3</sup>/s), ou seja, foi um período de descargas relativamente baixas. Os anos de 1965 a 1967 foram os de maiores descargas, e os anos de 1969 e de 1971 foram os de menores médias anuais (figura 8).

### Cota média anual (PSJ) 1964 a 1971



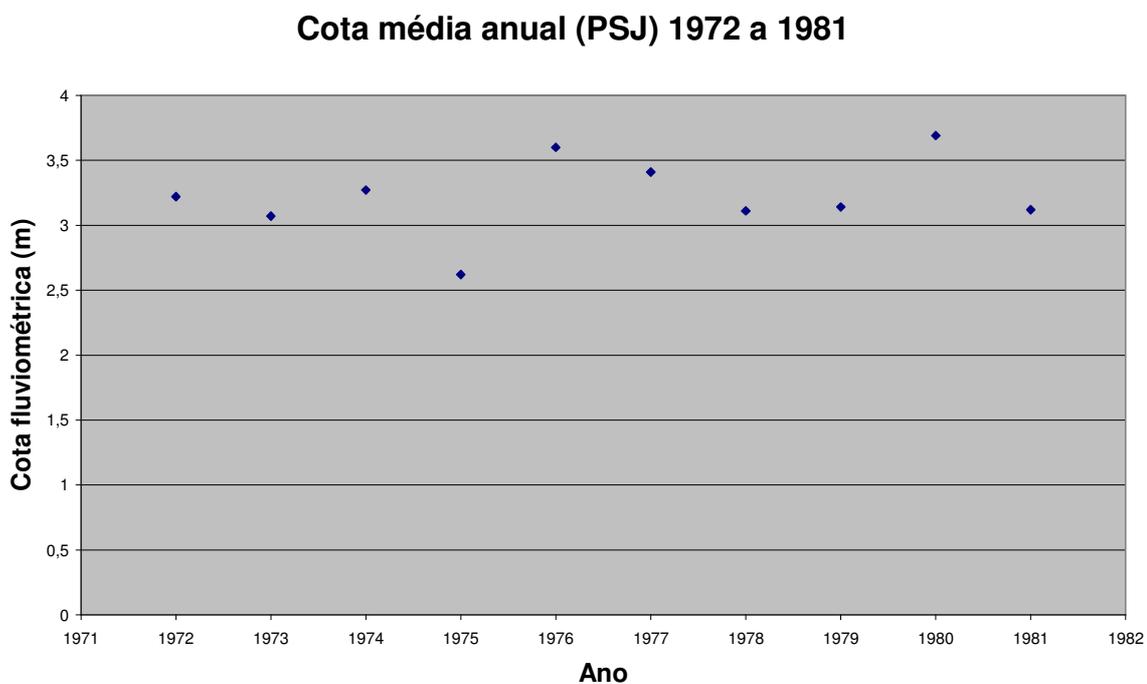
**Figura 8** – Cotas fluviométricas médias anuais registradas na Estação de Porto São José no período entre 1964 e 1971. (SOUZA FILHO, 2009).

A permanência da descarga nos diversos intervalos fluviométricos está apresentada na tabela 3, onde podem ser destacados os anos de 1965 e 1966, face à ocorrência de descargas com nível superior a 7 metros, e o ano de 1969, devido à ausência de cheia significativa.

**Tabela 3** Permanência do nível do rio em cada intervalo fluviométrico durante o Período Natural (número de dias). (SOUZA FILHO, 2009).

	Maior 3,5	Maior 4,6	Maior 6,0	Maior 7,0
1964	33	20	2	0
1965	173	100	36	19
1966	140	110	32	8
1967	120	95	6	0
1968	68	21	0	0
1969	10	0	0	0
1970	64	31	0	0
1971	21	2	0	0

Durante o Período Transicional a cota fluviométrica média foi de 3,22 metros (8500 m<sup>3</sup>/s), resultado das médias anuais elevadas (figura 9), com destaque para 1976 e 1980. O ano de 1975 foi o de menor descarga média anual, mas ainda assim o nível médio anual superou 2,5 m.



**Figura 9** – Cotas fluviométricas médias anuais registradas na Estação de Porto São José no período entre 1972 e 1981. (SOUZA FILHO, 2009).

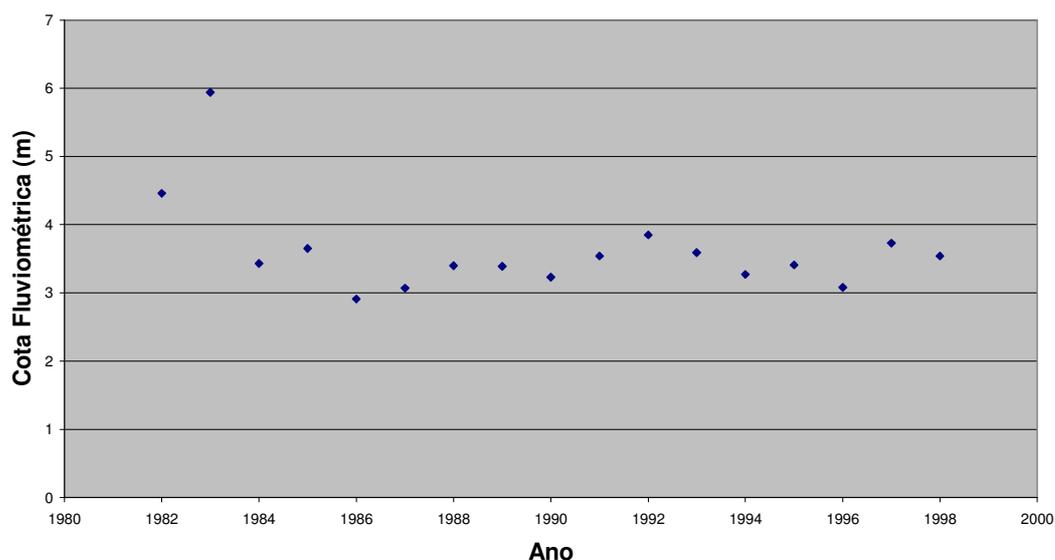
A permanência da descarga nos diferentes níveis fluviométricos encontra-se na tabela 4. Neste período, os anos de 1974, 1977, e 1980 apresentaram cheias superiores a 7 metros, enquanto que nos anos de 1972, 1975, e 1979 as cheias não atingiram 6 metros, embora tivessem superado o nível de 4,6 metros.

**Tabela 4** Permanência do nível do rio em cada intervalo fluviométrico durante o Período Transicional (número de dias). (SOUZA FILHO, 2009).

	Maior 3,5	Maior 4,6	Maior 6,0	Maior 7,0
1972	151	74	0	0
1973	125	43	3	0
1974	139	67	23	8
1975	52	13	0	0
1976	177	66	4	0
1977	113	72	45	20
1978	80	30	12	0
1979	86	58	0	0
1980	137	71	45	7
1981	82	51	16	0

Durante o Período Regulado pelo Efeito Cascata dos Reservatórios o nível médio foi bastante elevado (3,62 metros, equivalente a 9550 m<sup>3</sup>/s), e isso se deveu em parte às altas descargas fluviais registradas em 1982 e 1983, período da maior cheia já registrada no rio Paraná. Além disso, as médias anuais dos outros anos também se mostraram elevadas (figura 10).

**Cota média anual (PSJ) 1982 a 1998**



**Figura 10** – Cotas fluviométricas médias anuais registradas na Estação de Porto São José no período entre 1982 e 1998. (SOUZA FILHO, 2009).

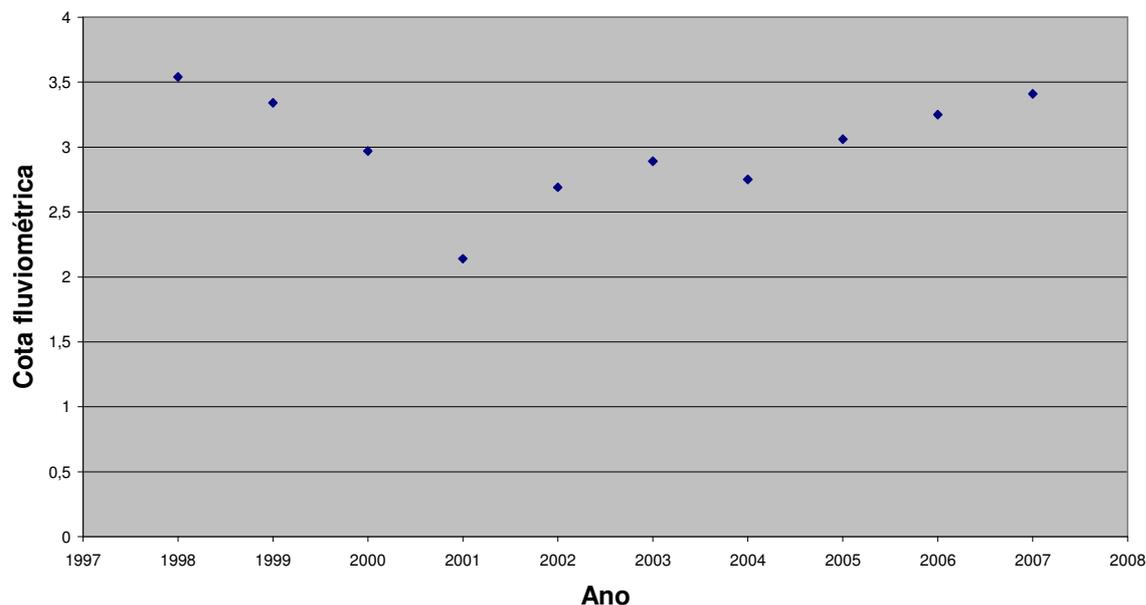
O tempo de permanência em cada intervalo encontra-se na tabela 5, e o destaque é o ano de 1983, pela razão já mencionada. Durante o ano de 1986 não ocorreu cheia expressiva seja em termos de magnitude ou de permanência de águas altas, apesar de ter uma descarga média anual com nível médio próximo a 3 metros.

**Tabela 5** Permanência do nível do rio em cada intervalo fluviométrico durante o Período Regulado pelo Efeito Cascata dos Reservatórios (número de dias). (SOUZA FILHO, 2009).

	Maior 3,5	Maior 4,6	Maior 6,0	Maior 7,0
1982	253	148	53	4
1983	359	309	148	75
1984	81	36	16	0
1985	115	55	11	0
1986	7	0	0	0
1987	49	1	0	0
1988	124	30	0	0
1989	102	41	41	0
1990	55	33	24	15
1991	114	64	18	0
1992	196	99	6	0
1993	113	40	16	0
1994	86	25	0	0
1995	111	34	14	0
1996	68	2	2	0
1997	157	45	24	17
1998	168	42	0	0

Por fim, durante o Período Regulado pela UHE de Porto Primavera a cota fluviométrica média foi de 2,94 metros (7974 m<sup>3</sup>/s). Neste período as cotas médias anuais decresceram até 2001 (crise do setor energético) e voltaram a subir até 2007, mantendo-se, contudo, abaixo de 3,5 metros (figura 11).

### Cota média anual (PSJ) 1998 a 2007



**Figura 11** – Cotas fluviométricas médias anuais registradas na Estação de Porto São José no período entre 1999 e 2007. (SOUZA FILHO, 2009).

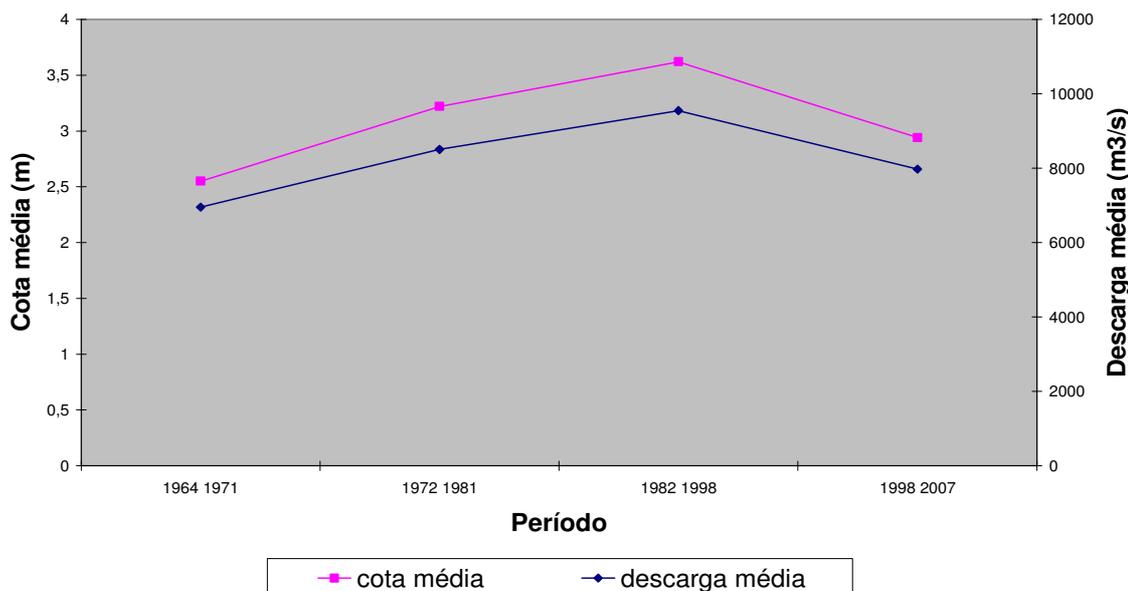
A permanência das descargas encontra-se na tabela 6, e os valores indicam a ausência de cheias significativas, uma vez que em nenhum ano o nível das águas superou 7 metros, e apenas em 2005 e 2007 foram registrados valores superiores a 6 metros.

**Tabela 6** Permanência do nível do rio em cada intervalo fluviométrico durante o Período Regulado pela UHE de Porto Primavera (número de dias). (SOUZA FILHO, 2009).

	Maior 3,5	Maior 4,6	Maior 6,0	Maior 7,0
1999	159	42	0	0
2000	26	3	0	0
2001	11	0	0	0
2002	51	11	0	0
2003	40	9	0	0
2004	24	0	0	0
2005	66	36	15	0
2006	88	13	0	0
2007	77	55	43	0

As análises efetuadas a partir dos dados de cota fluviométrica e descarga fluvial demonstram que o nível médio e a descarga aumentaram período a período, até que no último intervalo, os valores reduziram, embora tenha sido significativamente superior ao valor do primeiro período (figura 12).

### Cota média e descarga média nos diferentes períodos

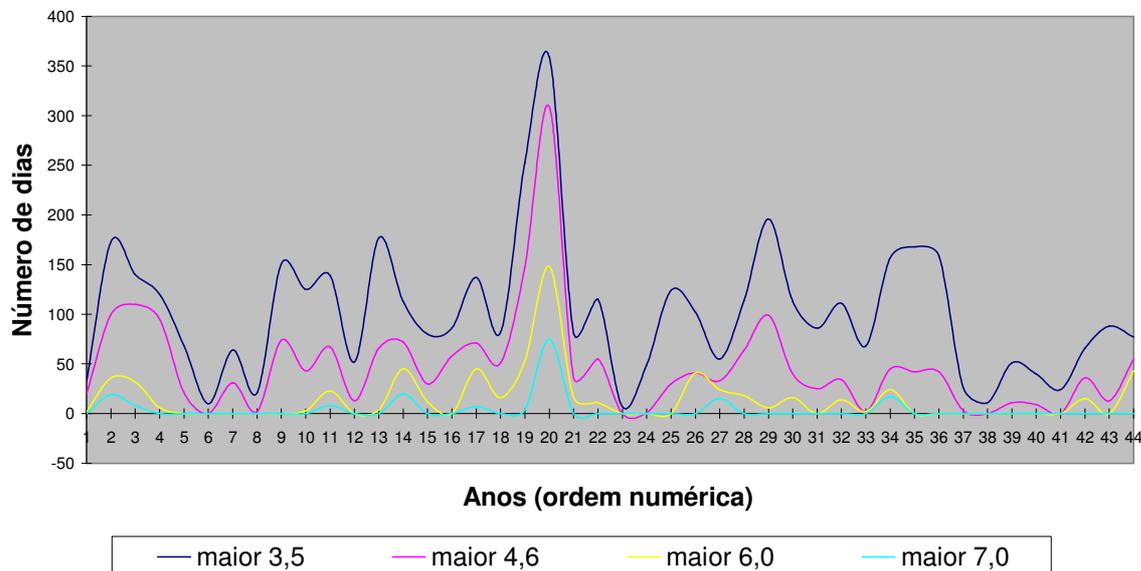


**Figura 12** – Variação temporal da cota fluviométrica média dos quatro diferentes períodos. (SOUZA FILHO, 2009).

O aumento dos valores já havia sido observado por Rocha *et al.* (1998), mas como os autores trabalharam com dados de descarga, os valores de cota fluviométrica média não são coincidentes. Contudo apenas a mudança da descarga média anual ou do período não indica que haja influência das barragens, pois a variação da descarga poderia ser natural, provocada por um aumento da precipitação.

Uma evidência mais forte é o tempo de permanência em cada intervalo fluviométrico (figura 13 e tabela 7). Nesse caso, o tempo de permanência em descargas superiores à da cota de 3,5 metros foi sendo gradativamente aumentado, e sofreu uma considerável diminuição após o fechamento da barragem de Porto Primavera. Os dados do último período chamam a atenção pelo valor reduzido da permanência em cotas superiores a 6 metros e pela ausência de cheias superiores a 7 metros. Além disso, não deve ser esquecido que a descarga média deste período foi superior à do Período Natural, tanto no que diz respeito ao nível fluviométrico, como em valores de vazão (figura 12).

### Tempo de permanência em diferentes cotas fluviométricas no intervalo 1964 e 2007



**Figura 13** - Tempo de permanência nos diferentes níveis fluviométricos (1=1964), (9=1972), (18=1981), (36=1999), (44=2007). (SOUZA FILHO, 2009).

**Tabela 7** Tempo de permanência média anual das descargas nos diferentes níveis fluviométricos em cada período. (SOUZA FILHO, 2009).

	> 3,5 m	> 4,6 m	> 6,0 m	> 7,0 m
1964-1971	79	47	10	3
1972-1981	114	55	15	4
1982-1998	127	59	22	7
1999-2007	60	19	6	0

A barragem de Porto Primavera proporcionou uma diminuição do tempo de permanência de todas as descargas com cotas superiores a 3,5 metros (figura 13, tabela 7). Isso comprova que o canal tem atuado menos na planície, e que os diferentes graus de conexão entre os canais fluviais e os corpos lânticos diminuíram.

Esta situação pode estar sendo agravada pelas modificações do canal, que alteraram a relação entre os níveis fluviométricos e a descarga fluvial no segmento situado à montante. Considerando que a seção de Porto Caiuá não tenha sido modificada de forma significativa, é possível simular a descarga provável que deveria ter sido registrada em Porto São José. A

tabela 8 mostra os valores obtidos em Porto São José por meio da curva-chave, e os valores calculados a partir dos dados da estação de Porto Caiuá.

**Tabela 8** Descarga fluvial registrada em Porto São José, e os respectivos valores calculados a partir de inferência realizada a partir dos dados da estação de Porto Caiuá. (SOUZA FILHO, 2009).

Nível (m)	Descarga registrada (m <sup>3</sup> /s)	Descarga calculada (m <sup>3</sup> /s)
3,5	9217	9320
4,6	12370	12330
6,0	17140	17215
7,0	21100	21278

A comparação entre os valores da tabela 8 indica que a curva chave da Estação de Porto São José subestima os valores de descarga da seção fluvial, e se for considerado que os dados referem-se ao intervalo de tempo em que o canal vem sendo modificado, é muito provável que os valores mais atuais estejam ainda mais subestimados. Tais dados indicam que as modificações do canal tornaram o escoamento mais eficiente, e dessa forma, é necessária uma descarga mais elevada para que determinado nível seja atingido.

Tal quadro é um indício de que a frequência com que a água atinge os níveis mais elevados e a permanência de descargas nesses níveis seja menor, agravando ainda mais as condições de conectividade entre o rio e a planície.

A análise dos dados fluviométricos da estação de Porto São José indica que embora as barragens existentes na parte montante da bacia já controlassem a descarga fluvial do rio Paraná, a operação da barragem de Porto Primavera proporcionou a diminuição da magnitude da descarga fluvial e a redução da permanência das descargas mais elevadas que ocorreram no período posterior à 1998.

A comparação entre os dados das estações de Porto São José e de Porto Caiuá demonstrou que as modificações da seção de Porto São José alteraram as relações entre as cotas fluviométricas e a descarga fluvial, e que atualmente é necessário uma descarga mais elevada para que um determinado nível de água seja atingido.

Ambas as situações afetam a dinâmica das inundações, e reduzem as condições de conectividade entre o rio e a planície, desde os estágios iniciais de entrada de água em níveis relativamente baixos, mas principalmente as condições de homogeneização em cheias de alta magnitude.

Caso a eficiência do escoamento superficial continue a melhorar, e a operação da barragem não aumente a liberação de água no período de cheia, a conexão entre a planície fluvial e o canal do rio Paraná tenderá a diminuir cada vez mais.

### A vazão ecológica

A obtenção dos valores de vazão ecológica realizada por OKAWA (2008) foi iniciada por meio da análise das descargas médias mensais (Tabela 9). Para o período de 1999 a 2007, analisando os dados das vazões médias mensais para a época de águas altas (novembro a abril), nota-se que as mesmas têm diminuído neste intervalo de tempo com relação a todo o período anterior, exceto para os meses de novembro e abril, em que as vazões foram um pouco maiores do que as do Período Natural. Apesar do efeito de regularização das vazões ocasionado pela operação das comportas do reservatório da usina hidrelétrica de Porto Primavera, ainda não existem estudos que verifiquem se o aumento da precipitação média foi transitório, e se existiriam outras causas desta diminuição das vazões.

**Tabela 9** – Vazões médias mensais ( $m^3/s$ ) calculadas por períodos – estação de Porto São José. (OKAWA, 2008).

Mês/Período	1964 a 1971	1972 a 1981	1982 a 1998	1999 a 2007
Janeiro	10.635	13.275	12.091	9.442
Fevereiro	12.078	13.245	13.739	10.442
Março	12.091	10.863	11.466	9.583
Abril	8.014	9.762	10.178	8.677
Maiο	6.631	7.252	9.416	7.499
Junho	5.661	7.099	9.269	7.310
Julho	5.185	7.011	8.395	7.036
Agosto	4.377	6.396	7.880	7.027
Setembro	4.261	6.537	8.213	7.083
Outubro	5.147	7.501	8.600	7.267
Novembro	6.193	7.759	8.890	7.039
Dezembro	8.340	9.684	9.536	7.637

Nota-se ainda que, para a época de águas baixas (maio a outubro), as vazões médias mensais aumentaram neste último período com relação aos dois primeiros períodos, ou seja, as vazões médias mínimas não atingem mais os menores valores como antes, conforme já mencionado quando da análise do hidrograma da figura 2.

As vazões médias anuais, vazões máximas anuais e vazões médias mínimas anuais para cada período são mostradas na tabela 10, com as cotas correspondentes. Não foram considerados os anos de 1963 e 2008, por não apresentarem dados de janeiro a dezembro. Percebe-se que, no período regulado pela UHE de Porto Primavera, todas as médias das vazões (média, máxima e mínima) foram inferiores aos dois períodos anteriores.

**Tabela 10** - Vazões médias, máximas e mínimas anuais – valores médios e cotas correspondentes, por período. (OKAWA, 2008).

Período	Vazões máximas anuais – valores médios no período (m <sup>3</sup> /s)	Cota correspondente às vazões máximas anuais (m)	Vazões médias anuais – valores médios no período (m <sup>3</sup> /s)	Cota correspondente às vazões médias anuais (m)	Vazões mínimas anuais – valores médios no período (m <sup>3</sup> /s)	Cota correspondente às vazões mínimas anuais (m)
1964 a 1971	16.958	5,94	7.364	2,75	3.672	0,92
1972 a 1981	19.522	6,64	8.846	3,36	5.242	1,72
1982 a 1998	18.003	6,23	9.286	3,48	5.710	1,96
1999 a 2007	15.230	5,43	7.967	3,01	5.591	1,89

As oscilações no nível d'água variaram de 0,92 m a 5,94 m para o Período Natural (5,02 m de diferença na oscilação); de 1,72 m a 6,64 m para o Período Transicional (4,92 m de diferença na oscilação); de 1,96 m a 6,23 m para o Período Regulado pelo Efeito Cascata

dos Reservatórios (4,27 m de diferença na oscilação) e de 1,89 m a 5,43 m para o Período Regulado pela Usina Hidrelétrica de Porto Primavera (3,54 m de diferença na oscilação).

Esta redução na vazão bem como as oscilações no nível d'água no último período podem ser explicadas pela regularização promovida pelo reservatório de Porto Primavera (decréscimo nos picos de descarga e incremento nas descargas mínimas); para quantificar a causalidade, deve-se proceder estudos hidrológicos quanto ao comportamento da precipitação média sobre a área de estudo no período posterior a 1998 para verificar se houve reversão de tendência de aumento, bem como estudos quanto ao comportamento da evaporação no reservatório.

No entanto, como o reservatório deveria funcionar a fio d'água, havendo reversão da tendência de aumento da precipitação média, ou seja, registro de precipitações significativamente mais baixas no período, e aumento na evaporação devido à formação do lago, os valores de vazões mínimas observados deveriam ser bem menores do que os dois períodos anteriores, e não maiores. Portanto, mais uma vez conclui-se que o reservatório de Porto Primavera atua como um regularizador da vazão.

Além disso, salienta-se que, embora o regime de precipitações tenha aumentado a partir da década de 70, o que gerou maiores vazões observadas, a maior diferença na oscilação dos níveis encontra-se no Período Natural. Além das modificações nos picos de descargas máximas (intensidade, duração e frequência), a regularização fez com que as vazões mínimas observadas não sejam mais tão baixas, o que pode implicar em consequências ecológicas.

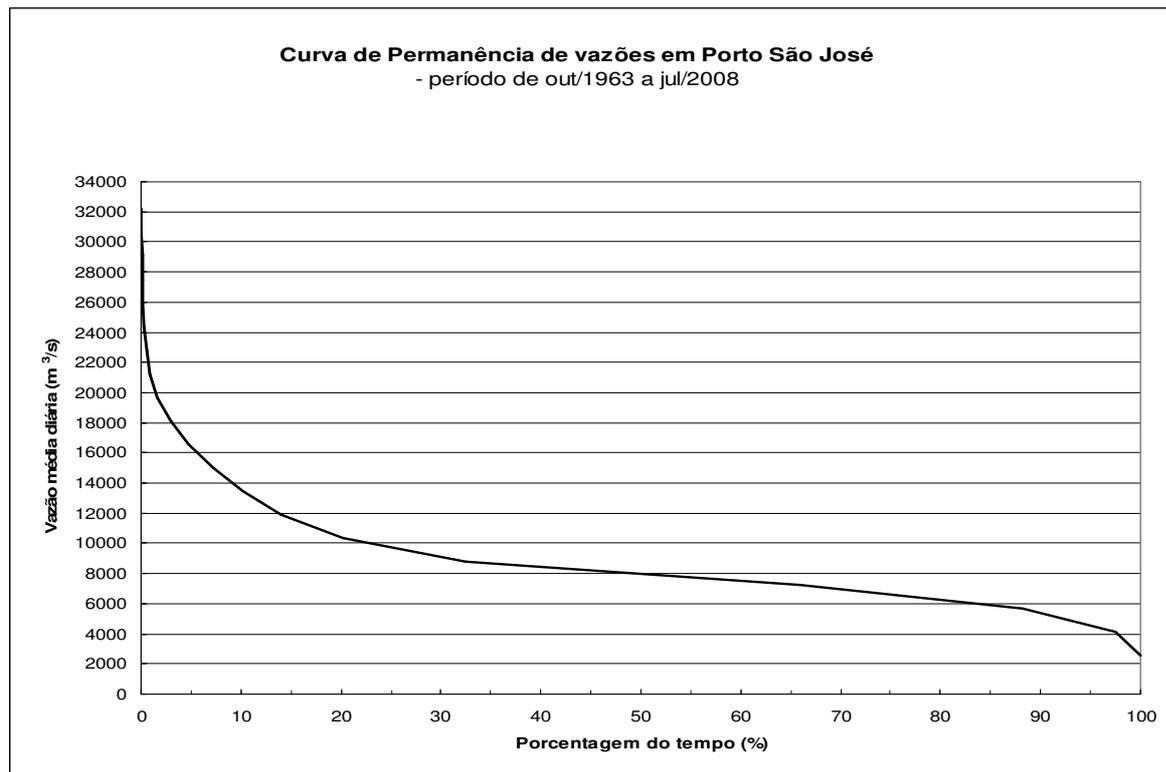
Arenas-Ibarra (2008) avaliou o comportamento hidrológico do rio Paraná no período de 1964 a 2007, aplicando o programa PULSO com dados da estação fluviométrica de Porto São José e dividindo a série histórica por períodos da mesma forma que Rocha (2002). Seus resultados mostraram que a quantidade de pulsos completos aumentou progressivamente ao longo do período estudado, chegando ao seu máximo valor no último período, devido ao aumento dos picos de menor intensidade e curta duração.

O nível de conectividade considerado por Arenas-Ibarra (2008) foi o equivalente a  $15.000 \text{ m}^3/\text{s}$  (cota de 5,37 m), e os resultados mostraram que o período pós-fechamento de Porto Primavera apresentou sempre os menores valores na duração média de potamofases, na quantidade de pulsos completos, na frequência anual de potamofases, e que a conectividade foi fortemente influenciada pelos anos de evento El Niño. Houve ainda aumento progressivo na intensidade de limnofase. Os resultados obtidos pelo referido autor corroboram os estudos realizados até então.

Para a análise das frequências das vazões máximas ou mínimas, define-se tempo de retorno como o tempo médio, em anos, para que haja a recorrência (em um ano qualquer) de uma vazão de valor estabelecido, e é igual ao inverso da probabilidade de que tal evento de referência ocorra (Naghattini e Pinto, 2007). Por exemplo, uma vazão que tenha a probabilidade de 4% de ser igualada ou excedida em qualquer ano apresenta tempo de retorno de 25 anos; ou uma vazão que tenha a probabilidade de 10% de ser igualada ou excedida em qualquer ano possui tempo de retorno de 10 anos.

Com relação ao tempo de retorno, Silva (2007) avaliou os tempos de retorno para as vazões correspondentes às cotas com significado geomorfológico e concluiu que, para a estação de Porto São José, a probabilidade de que a planície seja completamente inundada diminuiu consideravelmente, o que faz com que a frequência de ocorrência de inundação diminua. Isto pode ser melhor percebido se tomarmos a vazão de 17.200 m<sup>3</sup>/s (cota de 6,0 m) como referência: no período de 1982 a 1998, o tempo de retorno, estimado pela distribuição de probabilidade de Gumbel para máximos feita por Silva, para esta vazão era de 2 anos; no período de 1999 a 2006, o tempo de retorno para a mesma vazão passou a ser de cerca de 10 anos, o que equivale a uma diferença de probabilidade de superação da cota de 6,0 m de 50% para 10%.

Outro indício de regularização de vazões é a curva de permanência, que relaciona a vazão com sua probabilidade de ocorrência ao longo do tempo. Foi traçada a curva de permanência para o rio Paraná na estação de Porto São José para o período de 1963 a 2008, conforme mostrado na figura 14. A vazão correspondente a 10% é, neste caso, 13.000 m<sup>3</sup>/s, o que equivale a dizer que em 10% do tempo a vazão  $Q_{10\%} = 13.000 \text{ m}^3/\text{s}$  é igualada ou superada. As vazões com significado geomorfológico são as referentes aos níveis fluviométricos de 3,5 m, 4,6 m, 6,0 m e 7,0 m, ou seja, as vazões de 9.200, 12.300, 17.200 e 21.000 m<sup>3</sup>/s, respectivamente. A permanência desses valores encontra-se na tabela 11.

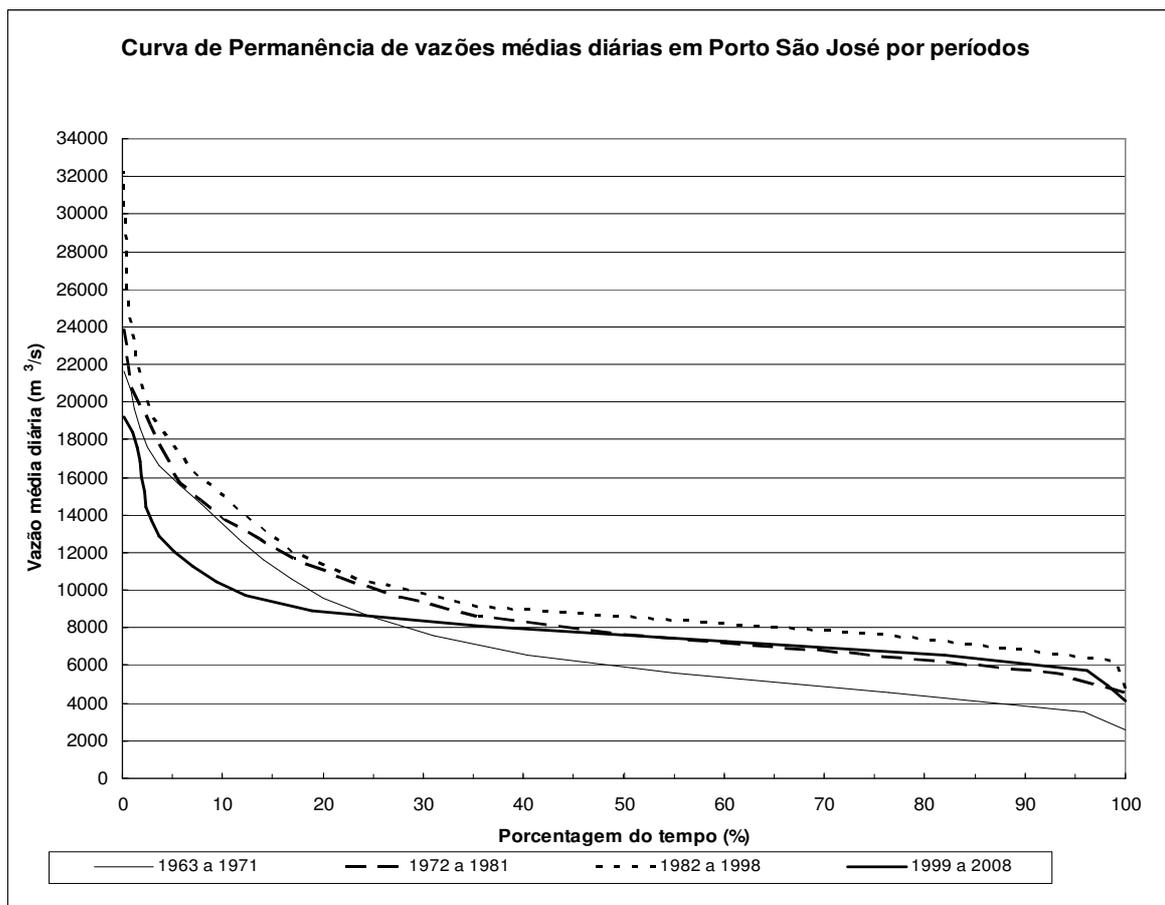


**Figura 14** - Curva de permanência de vazões da estação de Porto São José para todo o período de observações. (OKAWA, 2008).

**Tabela 11** - Vazão com significado geomorfológico e porcentagem de tempo de ocorrência de acordo com a curva de permanência traçada para todo o período observado. (OKAWA, 2008).

Nível fluviométrico (m)	Vazão (m <sup>3</sup> /s)	Porcentagem do tempo (%)
3,5	9.200	28,5
4,6	12.300	13,0
6,0	17.200	4,0
7,0	21.000	1,5

A curva de permanência por períodos individualizados também nos fornece informações interessantes (Figura 15) e os valores correspondentes às vazões com significado geomorfológico são mostrados na tabela 12.



**Figura 15** - Curva de permanência de vazões da estação de Porto São José por períodos. (OKAWA, 2008).

**Tabela 12** - Vazão com significado geomorfológico e porcentagem de tempo de ocorrência de acordo com a curva de permanência traçada para cada período. (OKAWA, 2008).

Nível Fluviom. (m)	Vazão (m <sup>3</sup> /s)	Porcentagem do tempo (%) – 1963 a 1971	Porcentagem do tempo (%) – 1972 a 1981	Porcentagem do tempo (%) – 1982 a 1998	Porcentagem do tempo (%) – 1999 a 2008
3,5	9.200	21,0	28,5	32,5	14,0
4,6	12.300	12,8	15,0	16,0	4,8
6,0	17.200	3,0	5,0	6,9	1,8
7,0	21.000	1,0	1,5	2,8	0

Comparando as tabelas 11 e 12, percebe-se que a tabela 11 apresenta valores parecidos ao período de 1972 a 1981, já que a curva de permanência total é parecida com a curva de permanência deste período. No entanto, o traçado da curva de permanência para todo o período provoca uma distorção da realidade, pois analisando o último período, percebe-se que

as vazões mais altas praticamente não mais ocorrem, sendo que o nível de 7,0 m não foi atingido nenhuma vez. Além disso, a vazão de 9.200 m<sup>3</sup>/s, correspondente a 3,5 m, é igualada ou superada apenas 14% do tempo, ou seja, em 86% do tempo o nível encontra-se abaixo de 3,5 m.

Algumas considerações sobre estas últimas afirmações: o período analisado, de 1999 a 2007, é de apenas 9 anos, sendo recomendado, para o traçado da curva de permanência, intervalos de tempo maiores. Os níveis com significado geomorfológico foram determinados por Rocha em 2002, ou seja, quando a geometria da seção transversal considerada estava em transição, sendo necessário novo levantamento para determinar os níveis atuais. A dificuldade da realização deste novo levantamento está justamente na regularização da vazão, já que as vazões mais elevadas (as que superam os níveis de 6,0 m e 7,0 m) praticamente não mais ocorrem.

### **Determinação da vazão ecológica por métodos hidrológicos estatísticos**

A determinação da vazão ecológica foi realizada por OKAWA (2008) pelos métodos estatísticos para cálculo da  $Q_{7,10}$ , da curva de permanência de vazões médias diárias, do valor médio das vazões anuais mínimas de 7 dias de duração e pelo método de Tennant.

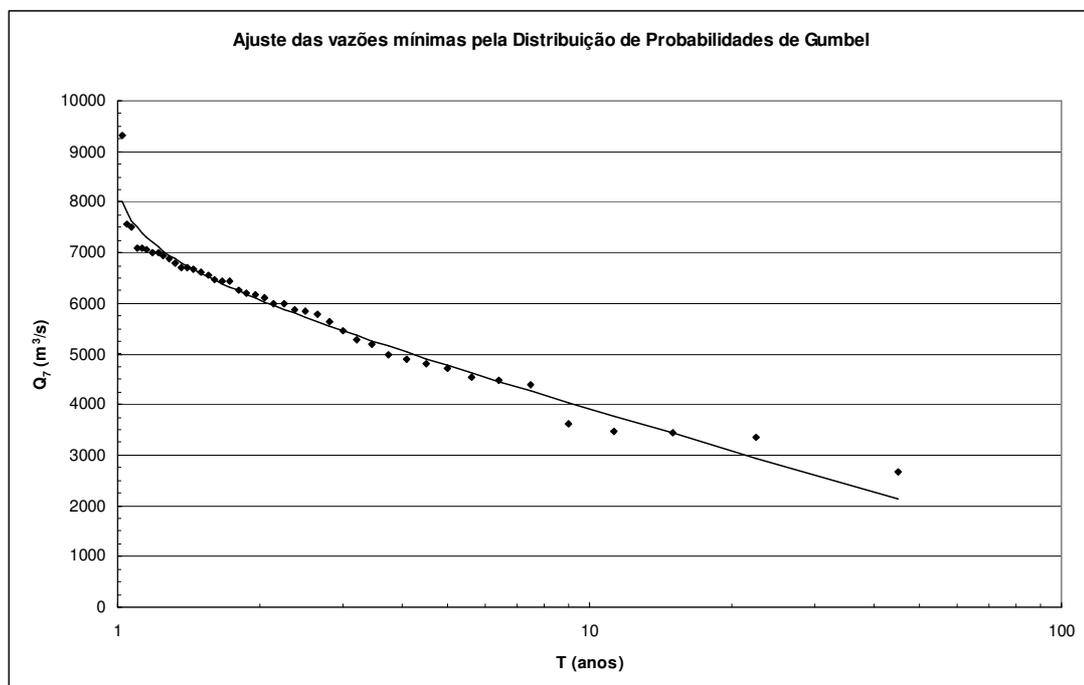
#### *$Q_{7,10}$ PELA DISTRIBUIÇÃO DE PROBABILIDADES DE GUMBEL (PARA MÍNIMOS)*

Os registros de vazões médias diárias em Porto São José totalizam 44 anos de dados (1964 a 2007); os anos de 1963 e 2008 não foram considerados por não serem completos. Como os dados são consistidos, não há falhas de leitura. A partir da série histórica de vazões, a vazão  $Q_{7,10}$  foi obtida computando-se as médias móveis com janelas de sete dias ao longo do ano e retendo o valor mínimo para cada ano.

A série das vazões mínimas é apresentada na tabela 13. A figura 16 mostra o ajuste obtido pela distribuição de Gumbel, relacionando cada vazão com o período de retorno. A vazão correspondente ao período de retorno de 10 anos foi calculada analiticamente e obteve-se o valor de:  $Q_{7,10}$  pela distribuição de Gumbel = 3.913,99 m<sup>3</sup>/s, correspondente à cota de 1,05 m. Este é o critério utilizado, por exemplo, pelo estado de São Paulo como vazão ecológica a jusante de barramentos.

**Tabela 13** - Série das vazões mínimas de sete dias ( $m^3/s$ ) da estação de Porto São José. (OKAWA, 2008).

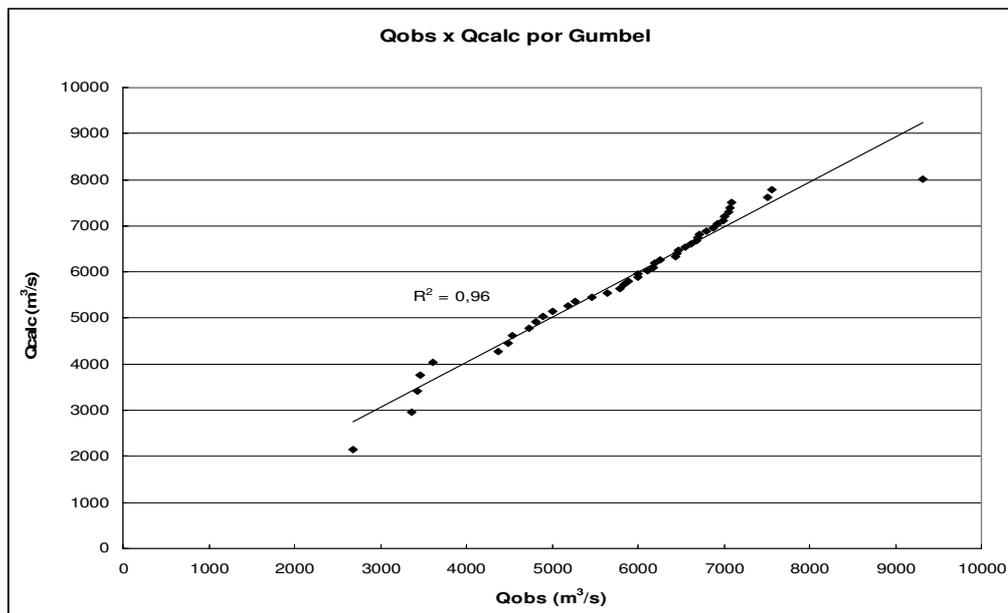
ano	mín Q <sub>7</sub>	ano	mín Q <sub>7</sub>						
1964	3.612,80	1973	5.271,43	1982	6.007,14	1991	6.688,57	2000	6.796,43
1965	4.380,00	1974	4.725,71	1983	9.317,14	1992	7.064,29	2001	4.494,29
1966	4.811,43	1975	5.182,86	1984	7.082,14	1993	7.001,43	2002	5.835,71
1967	4.540,00	1976	6.202,86	1985	7.558,57	1994	6.878,57	2003	5.790,00
1968	3.470,57	1977	5.885,71	1986	6.265,00	1995	6.612,50	2004	6.108,57
1969	2.684,86	1978	6.435,00	1987	5.460,00	1996	6.700,71	2005	5.992,86
1970	3.432,00	1979	6.175,71	1988	6.452,86	1997	7.514,64	2006	6.990,71
1971	3.360,00	1980	6.720,00	1989	6.932,86	1998	5.000,00	2007	6.554,29
1972	4.888,57	1981	5.645,71	1990	6.463,93	1999	7.078,93	-----	-----



**Figura 16.-** Ajuste das vazões anuais mínimas pela distribuição de probabilidades de Gumbel. (OKAWA, 2008).

A verificação da existência de *outliers* e a aderência dos valores ajustados foi realizada por meio da análise da correlação entre as vazões observadas e as vazões calculadas,

conforme mostrado na figura 17. O índice que representa a correlação  $r^2$  foi de 0,96 e, ainda que este índice tenha se mostrado alto, uma análise visual da figura 17 parece sugerir a existência de *outliers* no ponto máximo e no ponto mínimo.

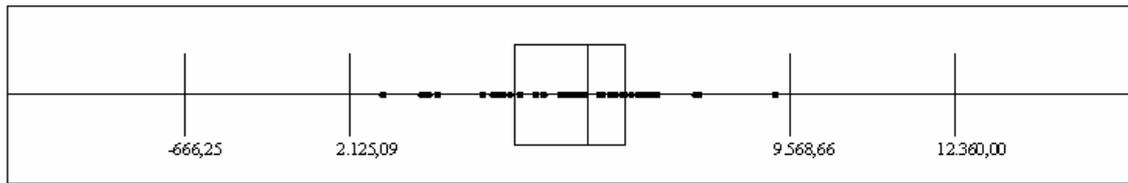


**Figura 17** - Correlação entre as vazões observadas e as vazões calculadas pelo ajuste de distribuição de probabilidades de Gumbel. (OKAWA, 2008).

Esta suspeita foi verificada procedendo-se uma investigação pelo método gráfico tipo *Box Plot*. Os resultados encontram-se na tabela 14 e a *Box Plot* é mostrada na figura 18, de onde se conclui, por este método, que os valores observados não possuem *outliers*.

**Tabela 14** - Percentis e intervalo interquartil da série amostral. (OKAWA, 2008)

Percentis	Vazão (m <sup>3</sup> /s)
25%	4.916,43
50%	6.142,14
75%	6.777,32
IIQ	1.860,89
1,5 IIQ	2.791,34
3 IIQ	5.582,68
25% - 1,5 IIQ	2.125,09
25% - 3 IIQ	-666,25
75% + 1,5 IIQ	9.568,66
75% + 3 IIQ	12.360,00



**Figura 18** - *Box Plots* para as vazões mínimas anuais de 7 dias de duração – estação de Porto São José. (OKAWA, 2008).

Foi também aplicado o teste não paramétrico de Kolmogorov-Smirnov para verificar a aderência dos valores ajustados à série observada e os resultados são mostrados na tabela 15. Percebe-se que, para os níveis de significância testados de 1% a 20%, não se pode rejeitar a hipótese de que a série de vazões mínimas  $Q_7$  siga a distribuição de Gumbel.

**Tabela 15** - Resultados do teste de Kolmogorov-Smirnov – ajuste de Gumbel. (OKAWA, 2008)

$\alpha$	$D\alpha$	$D_{max}$	$D\alpha > D_{max}$
1%	0,246	0,105	Sim
5%	0,205	0,105	Sim
20%	0,184	0,105	Sim

#### *Vazão ecológica por porcentagem da $Q_{95}$ da curva de permanência de vazões*

A curva de permanência de vazões médias diárias foi apresentada na figura 14. O valor correspondente a  $Q_{95}$  é de cerca de  $4.200 \text{ m}^3/\text{s}$ . Pelo critério adotado pelo órgão gestor que concede outorga no estado do Paraná, a SUDERHSA, a vazão ecológica a ser mantida a jusante de barramentos é a correspondente a 50% da  $Q_{95}$ , ou seja,  $2.100 \text{ m}^3/\text{s}$ , o que corresponde a uma cota de cerca de 0,10 m.

#### *Vazão ecológica por vazões anuais mínimas de 7 dias de duração*

No método das vazões anuais mínimas de 7 dias de duração, foram retidas as mínimas das médias móveis das vazões diárias com janelas de sete dias ao longo do ano e tomou-se a média dos valores retidos como o valor adotado para a vazão ecológica, que foi de  $5.865,17 \text{ m}^3/\text{s}$  correspondente à cota de 2,03 m.

### Vazão ecológica pelo Método de Tennant

Para determinação da vazão ecológica pelo método de Tennant, foi calculada a vazão média de longo termo (QMLT), de 1964 a 2007, resultando em 8.778,02 m<sup>3</sup>/s. Na tabela 16 são mostrados os critérios estabelecidos no método com os resultados para a QMLT obtida.

**Tabela 16** - Recomendação de vazões pelo método de Tennant (para peixes, vida aquática e recreação) e resultados para o rio Paraná – estação de Porto São José. Fonte: modificado de Benetti *et al.*, 2003

Condição do rio	Vazão recomendada em percentagem de QMLT		Vazão recomendada em percentagem de QMLT (m <sup>3</sup> /s)	
	Período seco	Período chuvoso	Período seco	Período chuvoso
Máxima	200%		17.556,05	
Faixa ótima	60 a 100%		5.266,81 a 8.778,02	
Excepcional	40%	60%	3.511,21	5.266,81
Excelente	30%	50%	2.633,41	4.389,01
Boa	20%	40%	1.755,61	3.511,21
Regular ou em degradação	10%	30%	877,80	2.633,41
Má ou mínima	10%	10%	877,80	877,80
Degradação severa	10% a zero		Zero a 877,80	

Este método é o critério adotado pela ANA para vazão ecológica a jusante de barramentos. Geralmente, adota-se um valor constante e 10% como sendo a condição mínima a ser atendida, 30% representando uma condição boa e 60% como sendo excelente (Richter *et al.*, 1997). Como a vazão de 10% é muito baixa, pode-se adotar a vazão correspondente a 30% da QMLT como vazão ecológica por esse método, ou seja, 2.633,41 m<sup>3</sup>/s e cota de 0,32 m.

### Comparação entre os métodos hidrológicos

O menor valor encontrado para a vazão ecológica foi obtido pelo método de percentagem da curva de permanência e o maior valor foi determinado pelo método de vazões mínimas anuais com sete dias de duração; a diferença entre os dois métodos foi de 280%. Os valores mais próximos foram obtidos pelos métodos de Tennant e percentagem da curva de permanência, com diferença de 25% entre os métodos, sendo o método de Tennant mais conservador.

O valor de vazão ecológica determinada pelo método das vazões anuais mínimas com sete dias de duração, embora maior do que os valores encontrados pelos outros métodos, também sugere um valor constante de vazão, o que é insatisfatório.

Analisando os dados de vazão média diária da estação fluviométrica de Porto São José, nota-se que em nenhum momento o valor observado de vazão é inferior aos valores obtidos pelos métodos aqui apresentados. Por outro lado, percebe-se que, qualquer que seja o método empregado, um valor constante de vazão mínima remanescente no rio conduz a cotas que não permitem o extravasamento das águas do rio para a planície de inundação nem a conexão dos ambientes lênticos existentes na planície com o ambiente lótico.

Embora alguns autores recomendem que a vazão ecológica seja determinada como uma série temporal de vazão que considere as necessidades das espécies ao longo do ciclo de vida, considerando as características sazonais do sistema, os empecilhos à definição dessa série temporal são a falta de um método que seja de fácil aplicação, a dificuldade e o tempo necessário para obtenção dos dados requisitados pelos métodos existentes, a falta de conhecimento do ecossistema considerado e a falta de recursos financeiros para proceder aos estudos necessários para superar a falta de conhecimento.

Os métodos utilizados para determinação da vazão ecológica pelos órgãos gestores resumem-se em obter valores quantitativos de vazão residual; salienta-se, no entanto, a necessidade de aderência entre o valor quantitativo e o valor qualitativo da água. No caso em estudo, a retenção de sedimentos no reservatório de Porto Primavera acarretou uma série de modificações nas características físicas da água, com impactos sobre a biota aquática, conforme Thomaz et al. (2004). Novos métodos para determinação da vazão ecológica devem ser desenvolvidos para considerar não apenas o aspecto quantitativo como também o qualitativo.

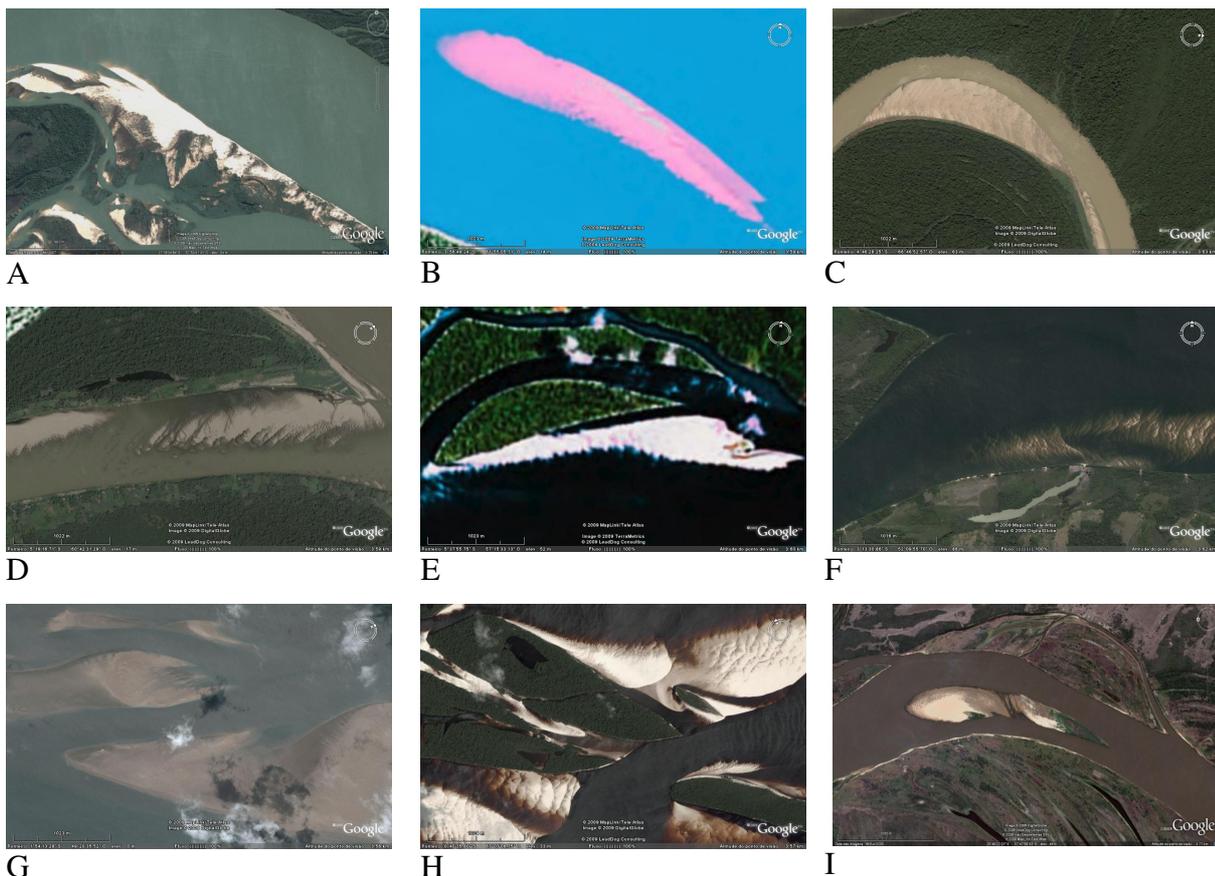
### **As barras fluviais**

As barras fluviais existentes no intervalo entre Porto Primavera e Guaíra foram re-analizadas por SOUZA FILHO & STEVAUX (2009). A maior parte das barras possui área superior a dezenas de hectares, superando em muito o tamanho das formas descritas em rios de pequeno porte, como aquelas citadas por MIALL (1977), COLLINSON (1986) e por muitos outros autores. Tais formas possuem tamanho similar àsquelas encontradas no rio São Francisco ou no rio Araguaia (Figura 19).



**Figura 19** – Recorte de imagem IKONOS de barras fluviais do rio Paraná nas proximidades da foz do rio Paranapanema (esquerda), do rio São Francisco nas proximidades da cidade de Xique–Xique (centro), e do rio Araguaia próximo a São Félix. Retirado do site Google Earth. (SOUZA FILHO & STEVAUX, 2009).

Apesar de seu grande porte, as barras fluviais do rio Paraná são consideravelmente menores que aquelas encontradas em sua própria parte média, ou ainda àquelas encontradas nos rios Amazonas, Juruá, Madeira, Tapajós, Xingu, Tocantins, Negro e no baixo Paraguai (Figura 20).



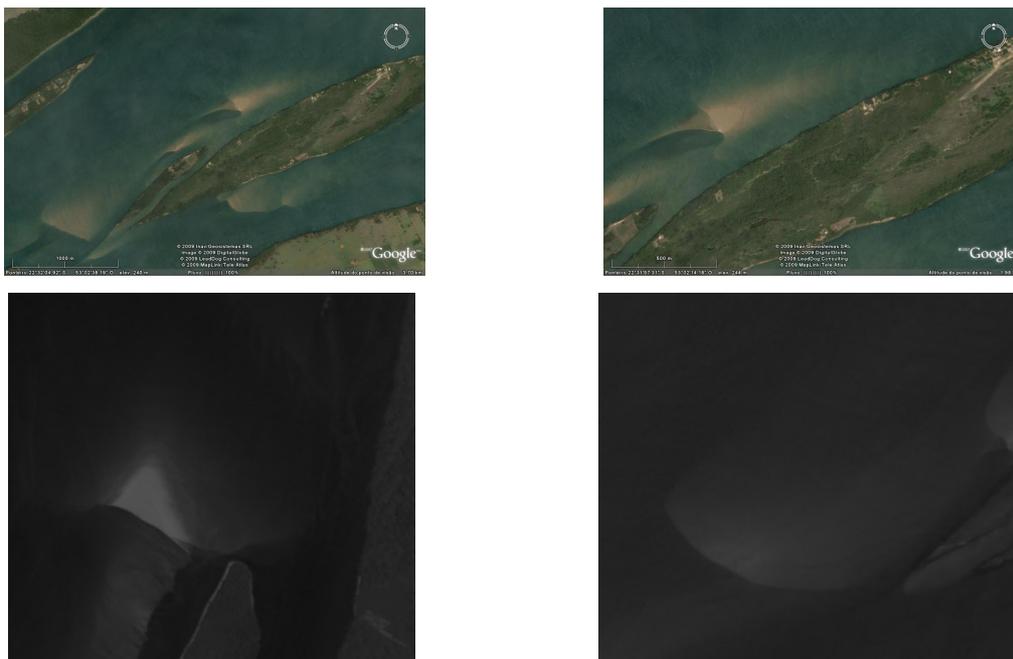
**Figura 20** – Recortes de imagens IKONOS mostrando barras fluviais do médio rio Paraná (A), no médio Amazonas (B), no baixo Juruá (C), no médio Madeira (D), no médio Tapajós (E), no médio Xingu (F), no baixo Tocantins (G), no baixo Negro (H), e no baixo Paraguai (I). Retirado do site Google Earth. (SOUZA FILHO & STEVAUX, 2009).

As formas de leito encontradas no rio Paraná também podem atingir grandes proporções (SOUZA FILHO, 1993; STEVAUX, 1993), superando em muito o tamanho das mega-ôndulas formadas em regime de fluxo superior, conforme descrito por SIMONS & RICHARDSON (1966), mas menores que as formas descritas por STRASSER (2008) para o rio Amazonas.

Os estudos de SANTOS et al. (1989), SANTOS (1991), SANTOS et al. (1992), e SANTOS & STEVAUX (2000) foram desenvolvidos em duas barras fluviais localizadas nas proximidades de Porto Rico (PR), consideradas como típicas para o rio Paraná. Os autores as consideraram como macro-formas de leito de dois tipos: Barras Centrais e Barras Laterais.

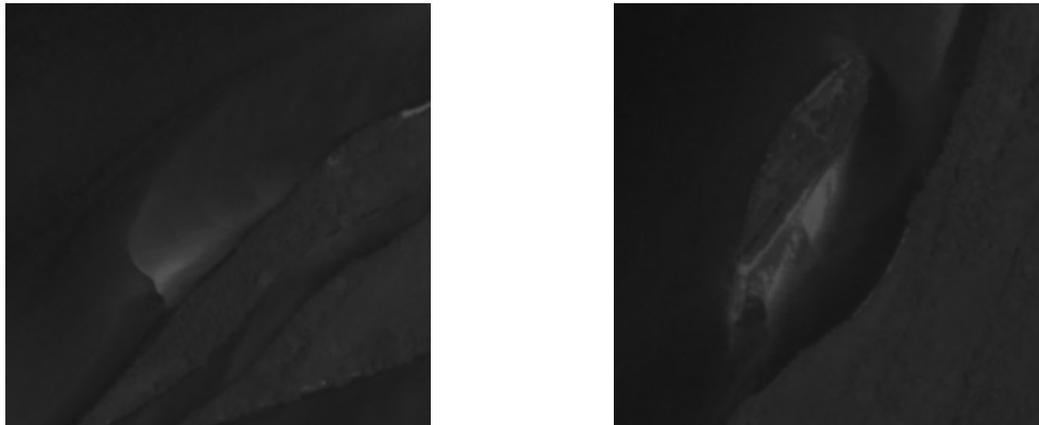
A Barras Centrais (Figura 21) foram descritas pelos referidos autores como formas instáveis situadas em locais com alta energia de fluxo, compostas por “sets” de areia média a grossa com estratificação cruzada planar ( fácies Sp) e acanalada ( fácies St). SOUZA FILHO (1993) as denominou por Barras Centrais ao Canal, e descreveu-as como formas isoladas, com até 20 hectares de área emersa, tricúspides, com a parte frontal (“lee side”) íngreme, os flancos e a parte montante (“stoss side”) com baixa inclinação.

Segundo o autor, sua base é constituída por camadas de areia média a grânulos com estratificação cruzada tabular ( fácies Sp), superpostas por camadas de areia média a fina com estratificação cruzada acanalada (St). Sua parte superior é constituída por camadas de areia com estratificação cruzada tabular e acanalada (Sp e St) com domínio de granulação fina à média, mas que às vezes pode chegar a termos mais grossos.



**Figura 21** – Imagens de barras centrais. Acima: imagens extraídas do Google Earth (cena IKONOS de 19/11/04), vista geral e detalhe; abaixo: recortes de imagens HRC (161-D 125-4, de 18/12/08 esquerda; e 161-C 125-4 de 22/11/08). (SOUZA FILHO & STEVAUX, 2009).

As Barras Laterais (Figura 22) foram descritas por SANTOS et al. (1989), SANTOS (1991), SANTOS et al. (1992), SANTOS & STEVAUX (2000), que as consideraram como formas estáveis situadas em áreas de fluxo de baixa energia, constituídas por areia fina com marcas de onda (Sr) areia com matéria orgânica (So) e argila laminada ou maciça (Fl e Fm). De acordo com SANTOS (1991), tais formas podem vir a ser incorporadas às margens (barras de soldamento). A respeito desse processo, SANTOS & STEVAUX (2000) consideraram que ele seria responsável por um padrão de acreção lateral da planície fluvial.



**Figura 22** – Recortes de imagens de barras laterais. (HRC 161-D 125-4, de 18/12/08). (SOUZA FILHO & STEVAUX, 2009).

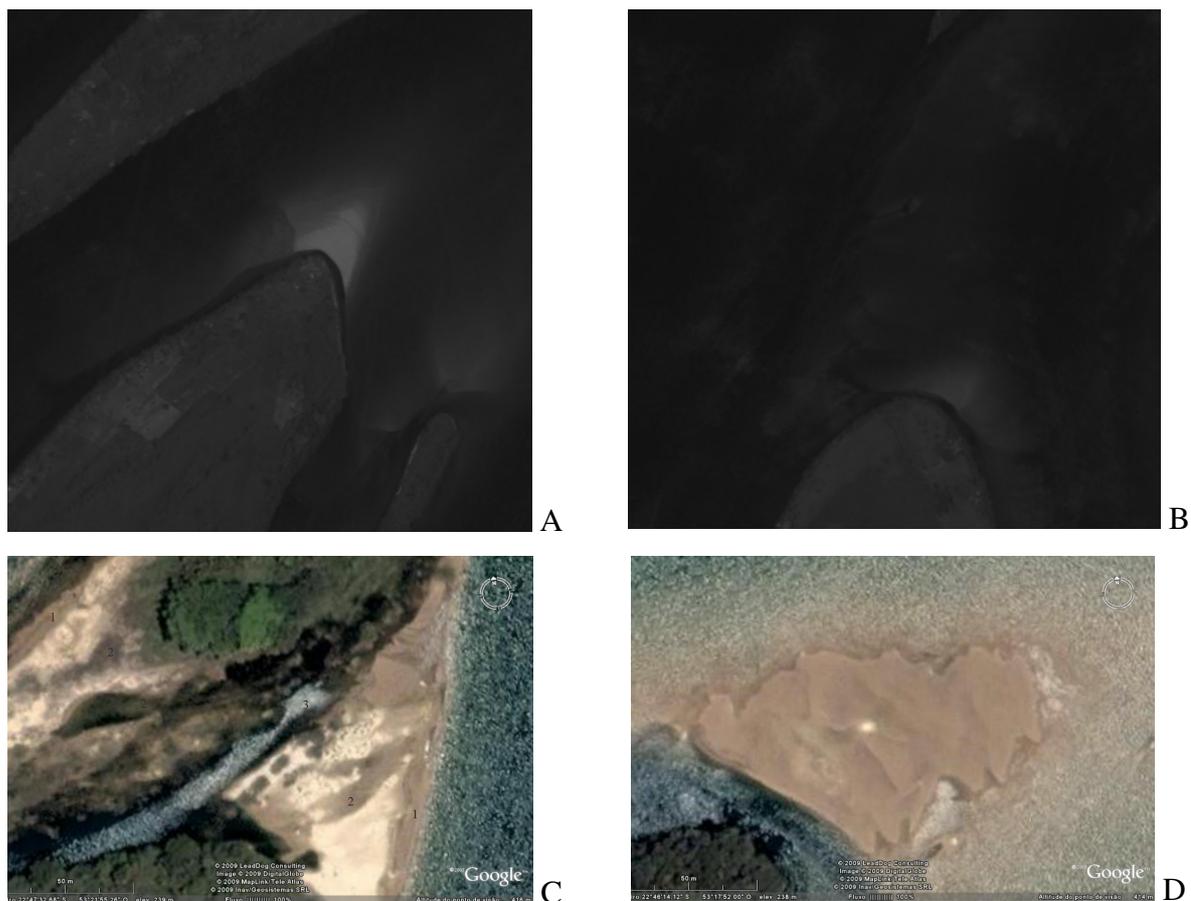
Tais barras foram denominadas por Souza Filho (1993) como Barras Laterais às Margens e descritas como formas alongadas, com bordas com declive suave, com até 30 hectares de área emersa, situadas junto às margens do rio, com as quais mantêm um ângulo de 20 a 30°. Teriam constituição semelhante à das Barras Centrais ao Canal, mas apresentariam corpos constituídos de por argila maciça, laminada e orgânica ( fácies Fm, Fl, Fo) depositados no remanso formado entre a parte arenosa e a margem, localmente denominado de ressaco (Figura 23).



**Figura 23** – Recortes de imagem IKONOS mostrando área de remanso (esquerda) e ressaco. (direita). Extraído do Google Earth (cena IKONOS de 10/05/04). (SOUZA FILHO & STEVAUX, 2009).

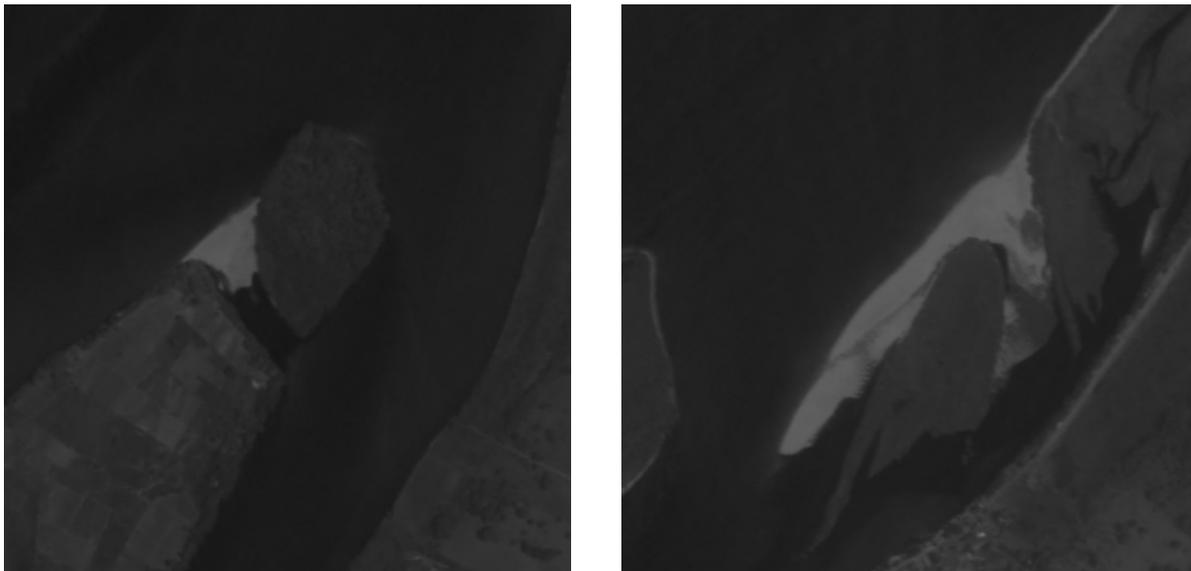
Alem dos dois tipos mencionados, SOUZA FILHO (1993) distinguiu ainda duas outras categorias de barras: as Frontais às Ilhas, e as de Coalescência. As Barras Frontais às Ilhas (Figura 24) são formas estáveis semelhantes às Barras Centrais ao canal tanto em forma, extensão e composição faciológica. A principal diferença com relação às barras centrais é a existência de depósitos que se preservam graças à estabilidade da forma. Dentre estes se destacam os depósitos lineares compostos de areia argilosa com estratificação sigmoidal e plano-paralela ( fácies Ss), dispostos ao longo das margens da barra, correspondendo a diques marginais.

Os diques marginais permitem o acumulo de água sobre a barra durante as cheias e a decantação dos finos formando depósitos de argila maciça e laminada (Fm e Fl). Alem deles, o limite entre a barra e a ilha permite a formação de remansos (Figura 24 C). Outra ocorrência comum são os depósitos de areia fina a muito fina com estratificação cruzada de alto ângulo (St(e)) formados por dunas subaéreas (Figura 24 D).



**Figura 24** – Imagens de barras frontais. Acima: recortes de imagens HRC (161-D 125-4, de 18/12/08) mostrando barras frontais às ilhas (A e B). Abaixo: recorte de imagens Google Earth mostrando diques marginais (C1), depósitos de inundação (C2) e remanso (C3), e dunas subaéreas (D) (cena IKONOS de 10/05/04). (SOUZA FILHO & STEVAUX, 2009).

As Barras de Coalescência (figura 25) foram assim denominadas porque elas ocupam canais secundários, fazendo uma ligação temporária entre duas ilhas, ou uma ilha e a margem. Sua forma depende do canal onde ela está instalada, e sua área pode superar sessenta hectares. Sua seqüência faciológica é similar à das Barras Laterais, mas os depósitos de finos são bem desenvolvidos e situam-se na parte jusante do canal por ela bloqueado.



**Figura 25** – Recortes de imagens de barras de coalescência e as áreas de remanso formadas por elas. A imagem da esquerda mostra também uma barra lateral. (imagem HRC 161-D 125-4, de 18/12/08). (SOUZA FILHO & STEVAUX, 2009).

Alem dos quatro tipos mencionados, Turra et al. (1999) descreveram as formas situadas junto à foz de pequenos afluentes do rio Paraná, e as denominaram de Barras de Confluência. Contudo, dado ao pequeno porte dessas formas, e as características de sua formação, elas não serão discutidas.

### *A GÊNESE DAS BARRAS*

Todos os quatro tipos de barras foram considerados por SOUZA FILHO (1993) como barras cruzadas ao canal (“cross channel bars”) e seriam formadas por uma sucessão de depósitos de sandwaves e de dunas sub-aquosas cujos tamanhos diminuem para o topo. A diferença entre eles estaria relacionada aos processos particulares aos locais em que elas se encontram.

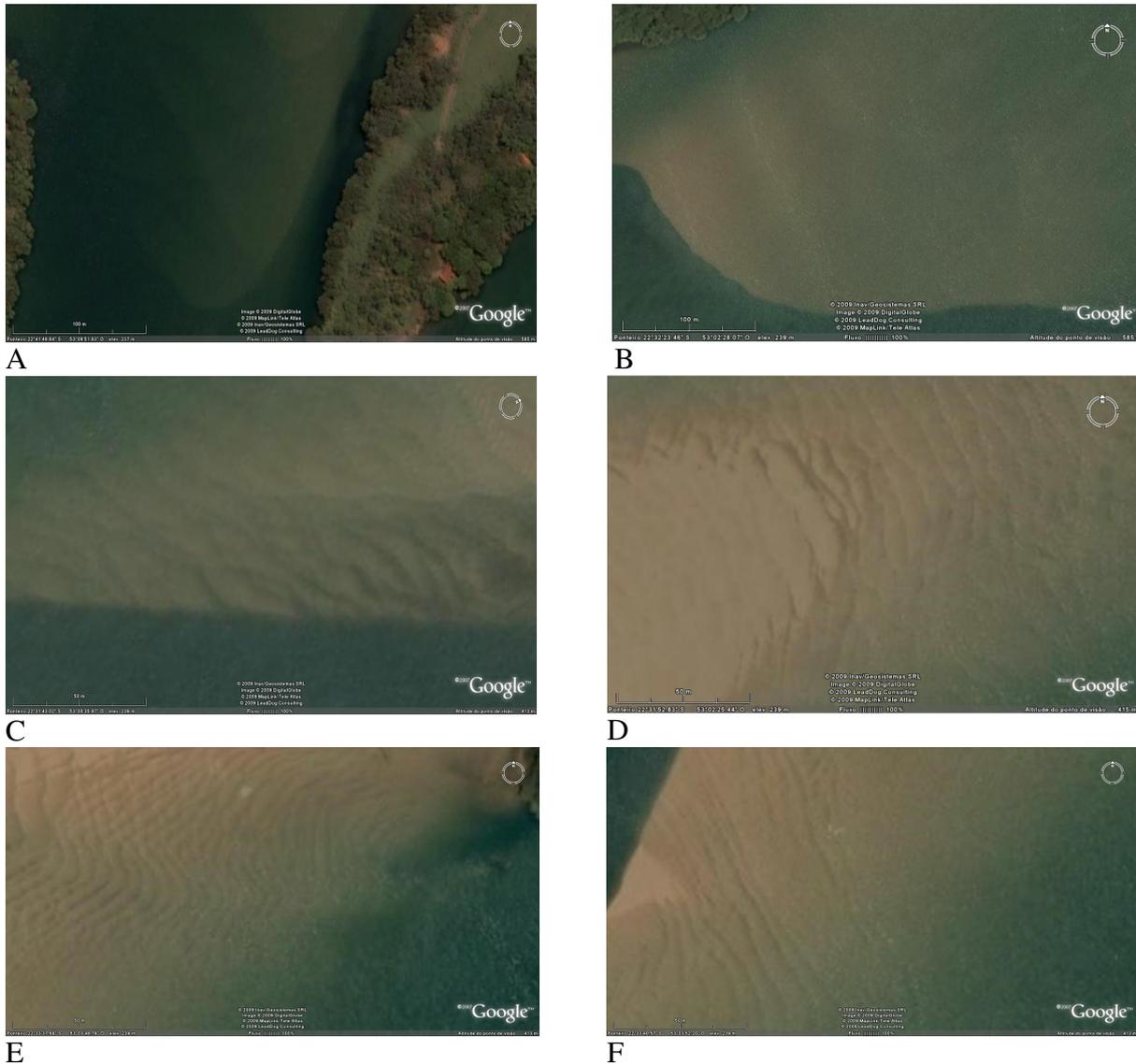
Utilizando essa abordagem, SOUZA FILHO & STEVAUX (1997) consideraram que as barras fluviais seriam formadas em grandes cheias, nas quais a profundidade da água

superasse 17 metros no talvegue principal. A esta profundidade existiriam as condições necessárias para a formação de grandes ondas de areia na parte profunda do canal e de grandes dunas subaquosas em sua parte rasa. Tais formas seriam núcleos imóveis das barras, e o deslocamento delas em descarga normal seria feito pelas formas de leito de menor porte.

As cheias com tais características (21 000 m<sup>3</sup>/s) teriam recorrência de 3,3 anos no período entre 1964 e 1991 (SOUZA FILHO, 1993), e de 5,75 anos no período entre 1964 e 2002 (MEURER, 2004). Dessa forma, durante as grandes cheias haveria uma modificação significativa das barras fluviais, e o controle de descargas imposto pela barragem de Porto Primavera faria com que o deslocamento para jusante fosse minimizado.

Entretanto, o estudo da velocidade de deslocamento das barras fluviais (SOUZA FILHO & RIGON, 2009) demonstrou que a velocidade de deslocamento dessas formas não apresenta correlação com a descarga fluvial, e sim está sob controle da dinâmica do local em que ela está instalada. Dessa maneira, a hipótese de que as barras seriam formadas e teriam grande deslocamento em grandes cheias deve ser reavaliada.

A análise das imagens orbitais permitiu a identificação das formas de leito de grande porte associadas às barras fluviais. As formas submersas identificadas foram dunas subaquosas e as ondas de areia com tamanhos distintos. As maiores superam de 100 m de comprimento de onda, as intermediárias possuem entre 25 e 50 m e as menores entre 10 e 15 m (Figura 26). Todas elas são superpostas por formas de leito ainda menores, que, contudo, ocorrem apenas na parte próxima à superfície.

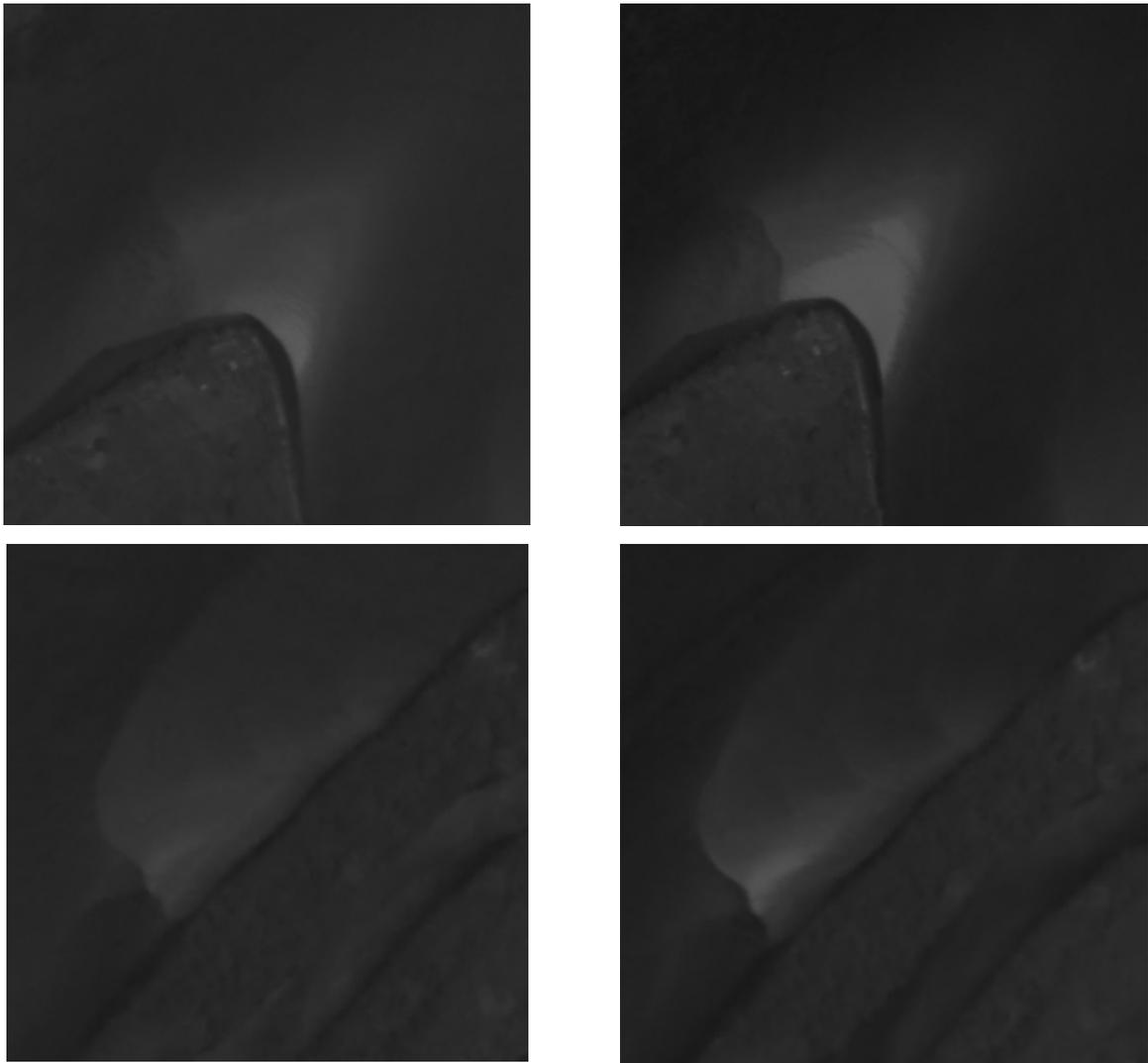


**Figura 26** – Imagens de dunas subaquosas (esquerda) e de ondas de areia (direita) com comprimento de onda superior a cem metros (A e B), entre 25 e 50 metros (C e D) e entre 10 e 15 metros (E e F). (extraído do Google Earth, cena IKONOS de 19/11/04 à esquerda e de 25/10/04 à direita). (SOUZA FILHO & STEVAUX, 2009).

Ao longo de todo o segmento, as dunas subaquosas de maior porte são mais frequentes que as ondas de areia, e encontram-se predominantemente no lado mais raso do canal. As ondas de areia de maior porte ocorrem apenas no lado mais profundo da calha fluvial.

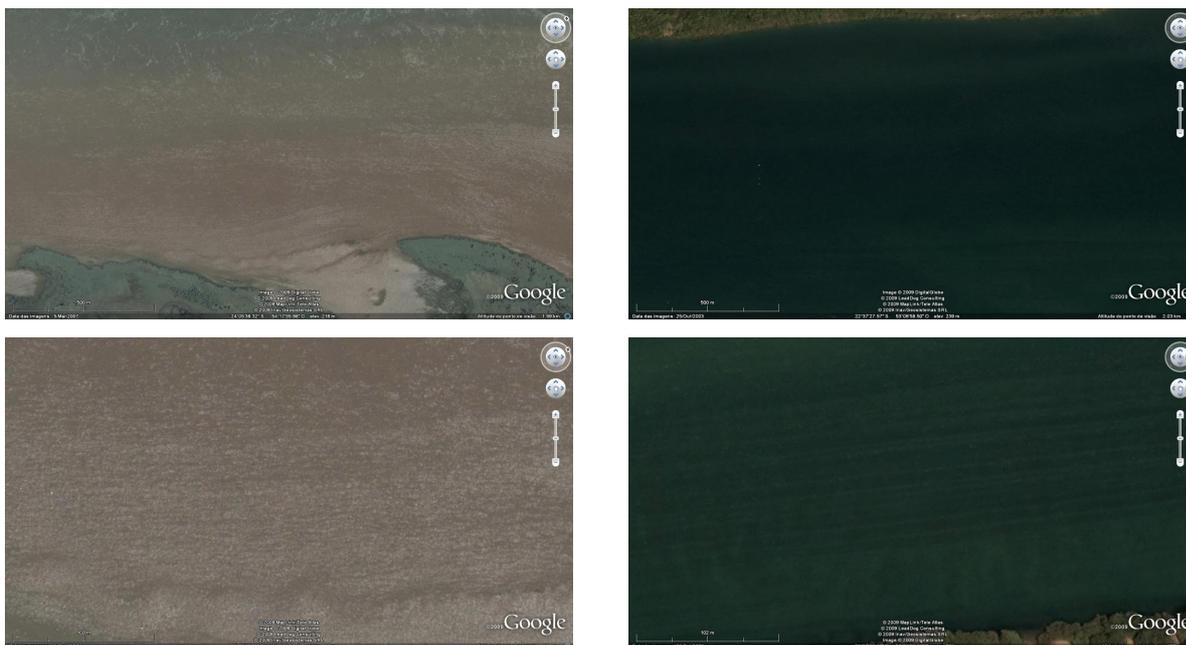
O deslocamento das barras é feito por meio da movimentação das formas sejam as ondas de areia na parte profunda, seja pelas dunas subaquosas na parte mais rasa (Figura 27). Da mesma forma, o crescimento vertical das barras ocorre pela superposição das ondas de areia e das dunas subaquosas situadas à montante.

Aparentemente, a forma situada mais a jusante reduz sua velocidade de deslocamento e as formas situadas à jusante iniciam um processo de cavalgamento fazendo com que a altura do conjunto aumente de montante para jusante. Provavelmente, durante as grandes cheias há espaço vertical para as formas maiores cavalgarem uma sobre as outras, proporcionando assim um aumento de altura suficiente para a emersão da parte jusante da barra.



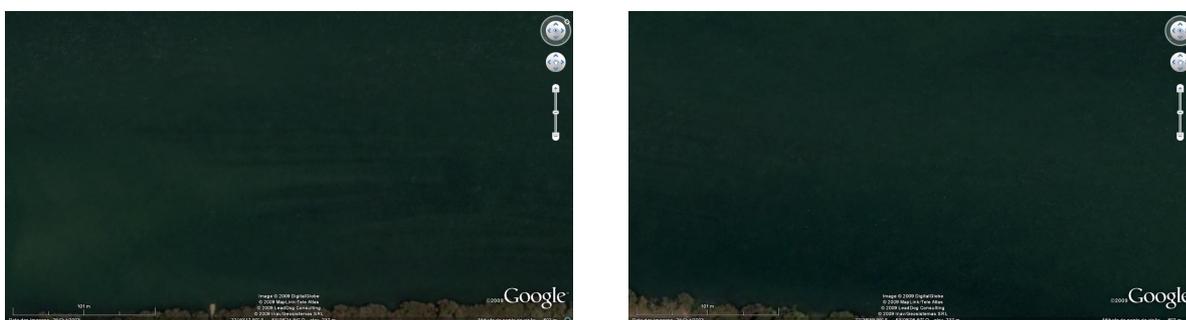
**Figura 27** – Recortes de imagem HRC (CBERS 2B) de 22/11/08 (esquerda, órbita 161 C ponto 125 4) e de 18/12/08 (direita, órbita 161 D ponto 125 4) mostrando a diferença de posição das ondas de areia de uma barra frontal à ilha (acima) e das dunas subaquosas em uma barra lateral (abaixo). (SOUZA FILHO & STEVAUX, 2009).

Um outro tipo de forma de leito pode ser observado em pelo menos três locais distintos. Elas são corpos alongados dispostos paralelamente às linhas de fluxo, com comprimento de vários quilômetros e largura variando de poucos metros até dezenas de metros (Figura 28). A altura dessas formas ainda é desconhecida.



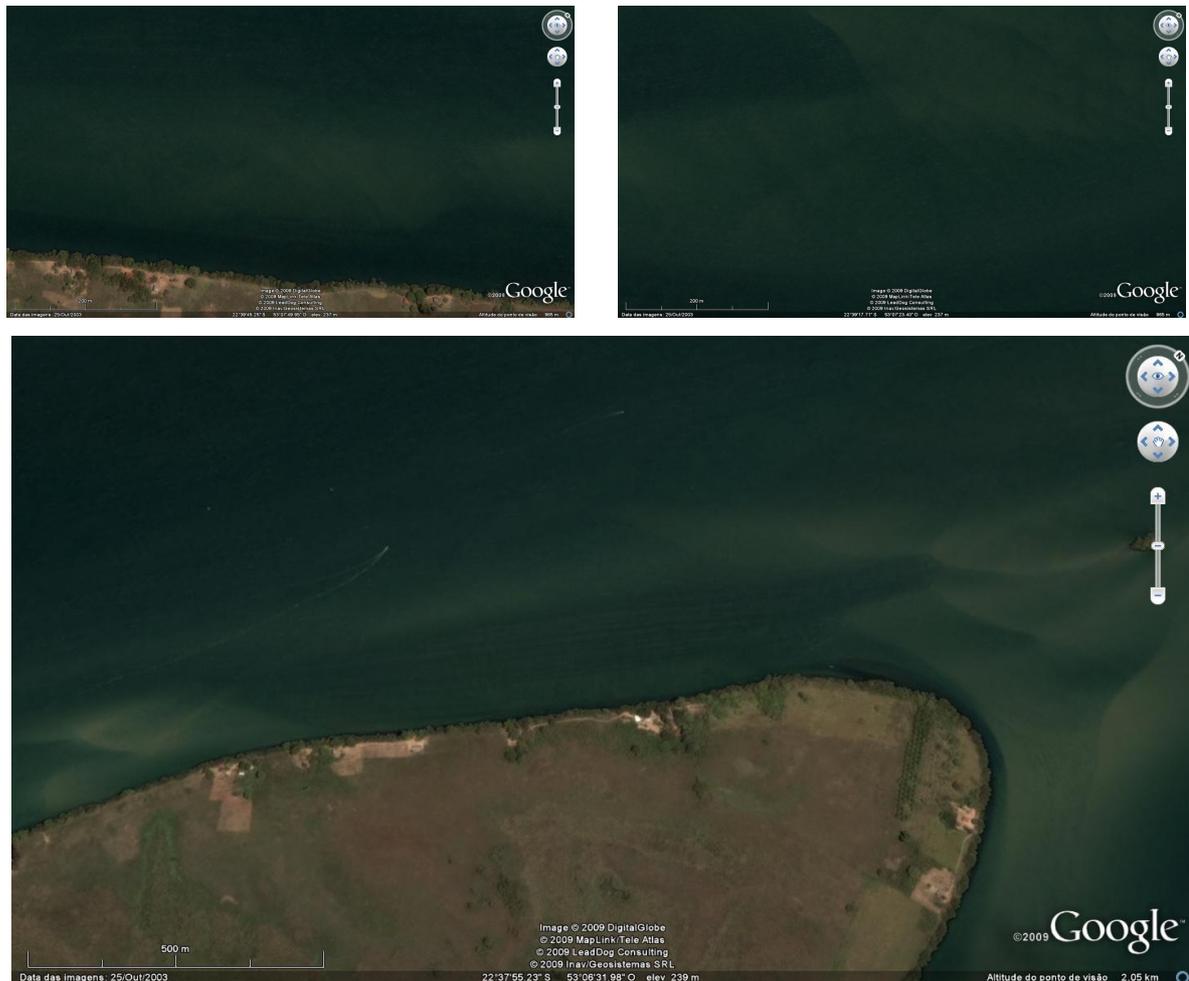
**Figura 28** – Recorte de imagens Ikonos mostrando formas de leito alongadas observadas nas proximidades de Guaíra (esquerda), e nas proximidades da foz do rio Paranapanema (direita), Acima a visão geral, e abaixo em detalhe. Extraído do Google Earth. (SOUZA FILHO & STEVAUX, 2009).

Tais formas mantêm uma relação espacial diferente dos demais conjuntos, pois em sua parte montante elas fazem transição para depósitos de leito plano, e em sua parte jusante passam para dunas subaquosas (Figura 29). É possível que elas sejam depósitos residuais deixados durante o avanço das dunas subaquosas, e que, sob a ação do fluxo de água acabam por ter sua configuração mudada para leito plano por meio da redistribuição dos sedimentos.



**Figura 29** – Recorte de imagem IKONOS mostrando a passagem das formas alongadas para dunas subaquosas na parte a jusante (esquerda), e a passagem para leito plano na parte situada a montante (direita). Extraído do Google Earth. (SOUZA FILHO & STEVAUX, 2009).

Os depósitos de leito plano mencionados passam a montante para dunas subaquosas, e essas passam para barras submersas (Figura 30 A e B). Outra situação observada é a sucessão de barras fluviais, dunas subaquosas, formas alongadas, dunas subaquosas e barras fluviais (Figura 130 C).

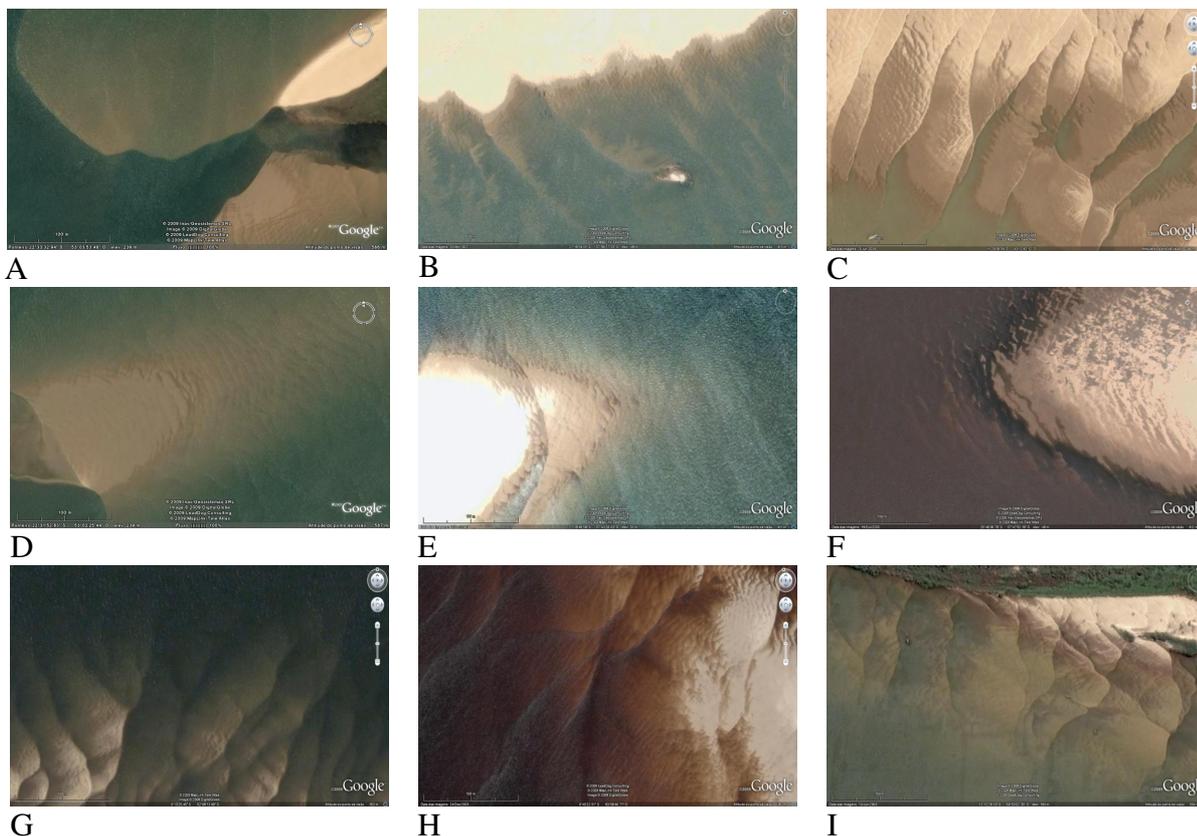


**Figura 30** – Recorte de imagem IKONOS mostrando a passagem de jusante para montante entre uma barra fluvial, dunas subaquosas, formas alongadas, dunas subaquosas e barras fluviais. (SOUZA FILHO & STEVAUX, 2009).

A princípio, as seqüências mencionadas podem representar a alternância entre os locais de acumulação (barras fluviais) e os locais de dissipação de sedimentos (formas alongadas).

Embora seja necessário identificar em campo tais conjuntos, e determinar as condições hidrodinâmicas de cada situação, é possível que o entendimento do funcionamento desses conjuntos permita compreender a origem das barras fluviais e de suas relações com as formas de leito.

A análise das formas de leito associadas às barras fluviais de outros grandes rios da América do Sul mostrou uma associação semelhante à encontrada no rio Paraná (Figura 31). As formas são de porte semelhante ou ainda maior, e em todos eles, há um aumento da altura das barras de montante para jusante.



**Figura 31** – Recortes de imagens IKONOS mostrando as formas de leito associadas às barras fluviais em diversos rios da América do Sul. Na parte superior, ondas de areia do rio Paraná na área de estudo (A), nas proximidades de Itatí (B), e no médio São Francisco (C). Na parte média e inferior, dunas subaquosas do rio Paraná na área de estudo (D) e em Itatí (E), no baixo rio Paraguai (F), no rio Xingu (G), no rio Negro (H) e no rio Araguaia (I). Extraído do Google Earth. (SOUZA FILHO & STEVAUX, 2009).

As ondas de areia e as dunas subaquosas de proporções de centenas de metros não são exceções, mas sim a regra nos grandes rios da América do Sul. Sua associação com as grandes barras demonstra que a origem destas está relacionada ao acúmulo das grandes formas de leito.

Contudo, as condições hidrodinâmicas da formação das grandes formas de leito e das grandes barras fluviais ainda não são conhecidas. Sem dúvida, este é um tema que merece a atenção das pesquisas desenvolvidas no rio Paraná, especialmente porque as formas de leito encontram-se em processo de cominuição e tendem a desaparecer.

## A velocidade de deslocamento das barras fluviais

A velocidade de deslocamento das barras fluviais foi realizada por SOUZA FILHO & RIGON (2009). Os autores inicialmente analisaram os dados existentes a respeito da velocidade de deslocamento das formas de leito. Os resultados mostraram que houve uma redução dessa velocidade ao longo do tempo, conforme indicado na tabela 17.

**Tabela 17** - Velocidade de deslocamento das formas de leito em Porto São José, de acordo com os referidos autores. (SOUZA FILHO & RIGON, 2009).

	STEVAUX & TAKEDA, 2002	CRISPIM, 2001	MARTINS, 2004	STEVAUX 2007	
	1994-95	2000	12/2003	07/2005	05/2006
Velocidade média (m/mês)	67	62	48	43,2	51,2

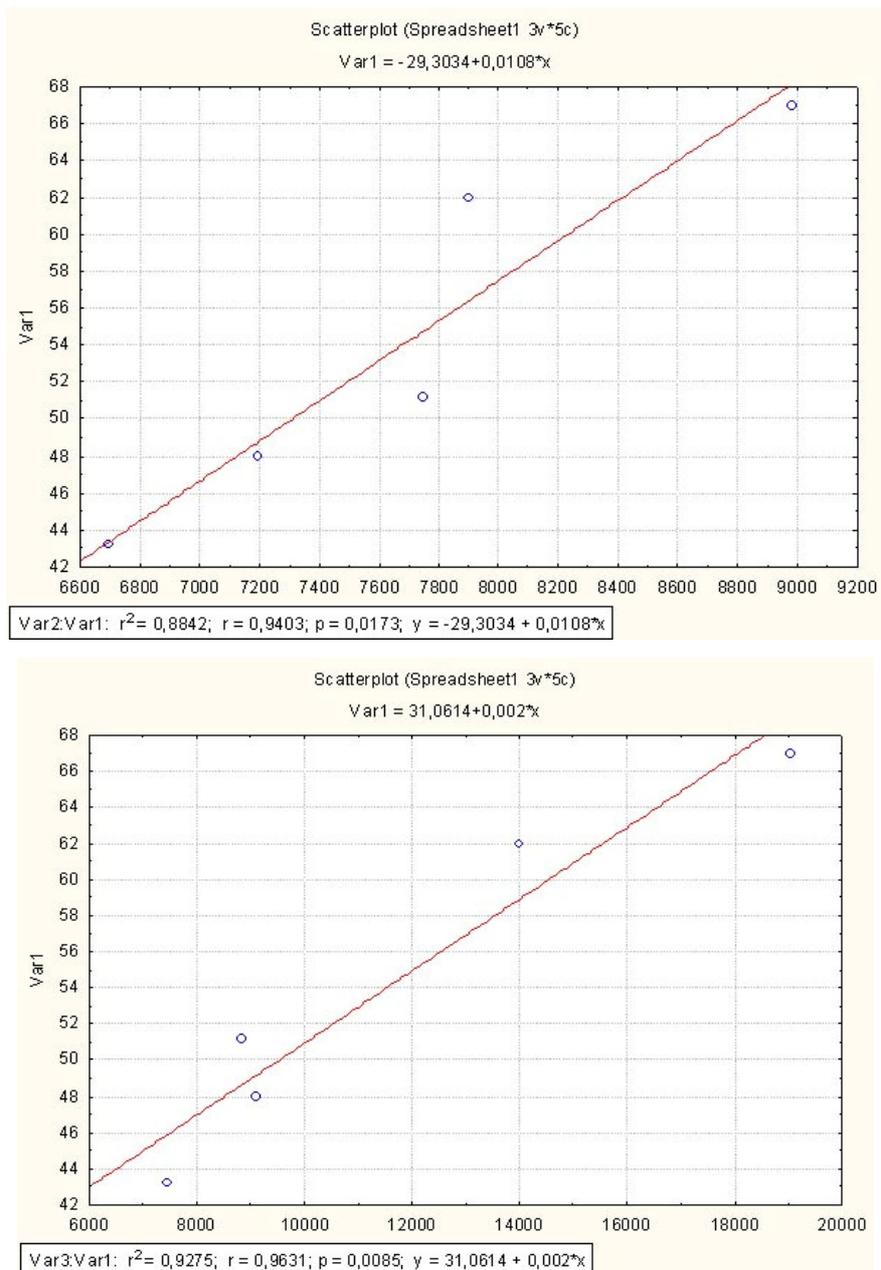
Contudo, quando os dados são analisados em conjunto com os respectivos valores de descarga média e a descarga máxima, observa-se que a redução ou aumento da velocidade de deslocamento das formas coincide com a diminuição ou aumento dos valores de descarga (Tabela 18). Entretanto, a coincidência entre diminuição e aumento dos valores por si não mostra qual a relação existente entre a descarga fluvial e o deslocamento das formas de leito.

**Tabela 18** - Velocidade de deslocamento das formas de leito em Porto São José, e valores de descarga média e máxima no período. (SOUZA FILHO & RIGON, 2009).

	1994-95	2000	12/2003	07/2005	05/2006
Velocidade média (m/mês)	67	62	48	43,2	51,2
Descarga Média (m <sup>3</sup> /s)	8.983	7.903	7.196	6.695	7.748
Descarga Máxima (m <sup>3</sup> /s)	19.037	13.993	9.096	7.444	8.825

Tal relação pode ser obtida por meio do uso da análise de correlação entre as variáveis. A análise de correlação obtida entre os dados de velocidade de deslocamento e a descarga fluvial encontra-se na figura 32, assim como os valores de  $r^2$ . Os valores obtidos para  $r^2$  são elevados, indicando a existência de forte correlação entre a descarga fluvial e a velocidade de deslocamento das barras. O maior valor de  $r^2$  apresentado pela correlação entre a velocidade de deslocamento das barras e a velocidade máxima observada reforça ainda mais a afirmação anterior.

A estimativa preliminar da velocidade de deslocamento das barras utilizou a posição da barra 4 (Figura 33) em setembro de 1996, registrada em fotografias aéreas na escala 1:50.000 obtidas pela COPEL, e a posição da mesma barra observada em campo em setembro de 1997. Ambas as informações permitiram verificar que a barra 4 havia se deslocado por uma distância de 300 metros em um período de 12 meses, ou seja, a uma velocidade de 25 metros por mês.



**Figura 32** – Correlação linear entre a velocidade de deslocamento das formas de leito do rio Paraná na seção de Porto São José e a descarga média (acima) e máxima (abaixo). (SOUZA FILHO & RIGON, 2009).

As barras monitoradas podem ser observadas na figura 33, a distância que elas percorreram nos diferentes intervalos de tempo encontram-se na tabela 19, e a velocidade de deslocamento está apresentada na tabela 20.



**Figura 33** – Localização das barras estudadas em imagem CBERS2B CCD. (SOUZA FILHO & RIGON, 2009).

**Tabela 19** – Deslocamento de cada barra fluvial em cada intervalo de tempo. (SOUZA FILHO & RIGON, 2009). (continua)

		Barra 1	Barra 2	Barra 3	Barra 4
Intervalo de tempo	meses	Distância (m)	Distância (m)	Distância (m)	Distância (m)
24/03/04 a 09/06/05	14,5	362	354	310	448
09/06/05 a 04/07/06	12,8	316	356	199	460
04/07/06 a 07/06/07	11,1	354	240	218	310
22/09/04 a 26/08/05	11,1	342	352	311	446

**Tabela 19** – Deslocamento de cada barra fluvial em cada intervalo de tempo. (SOUZA FILHO & RIGON, 2009). (conclusão)

		Barra 1	Barra 2	Barra 3	Barra 4
Intervalo de tempo	meses	Distância (m)	Distância (m)	Distância (m)	Distância (m)
26/08/05 a 25/08/06	12	269	284	167	420
25/08/05 a 19/09/07	12,8	388	243	238	260
13/11/04 a 12/11/05	12,0	381	381	341	520
12/11/05 a 11/11/06	12,0	269	249	132	337
11/11/06 a 29/10/07	11,6	303	206	196	220

**Tabela 20** – Velocidade de deslocamento das barras fluviais em cada intervalo de tempo utilizado. (SOUZA FILHO & RIGON, 2009). (continua)

	Barra 1	Barra 2	Barra 3	Barra 4	
Intervalo de tempo	Velocidade (m/mês)	Velocidade (m/mês)	Velocidade (m/mês)	Velocidade (m/mês)	Média (m/mês)
24/03/04 a 09/06/05	25	24,4	21,4	30,9	25,4
09/06/05 a 04/07/06	24,7	27,8	15,6	36	26
04/07/06 a 07/06/07	31,9	21,6	19,6	27,9	25,3
média	27,2	24,6	18,9	31,6	25,6
22/09/04 a 26/08/05	30,8	31,7	28	40,2	32,7

**Tabela 20** – Velocidade de deslocamento das barras fluviais em cada intervalo de tempo utilizado. (SOUZA FILHO & RIGON, 2009). (conclusão)

	Barra 1	Barra 2	Barra 3	Barra 4	
Intervalo de tempo	Velocidade (m/mês)	Velocidade (m/mês)	Velocidade (m/mês)	Velocidade (m/mês)	Média (m/mês)
26/08/05 a 25/08/06	22,4	23,7	13,9	35	23,8
25/08/05 a 19/09/07	30,3	19	18,6	20,3	22,1
média	27,8	24,8	20,2	31,8	26,2
13/11/04 a 12/11/05	31,8	31,8	28,4	43,3	33,8
12/11/05 a 11/11/06	22,4	20,8	11	28,1	20,6
11/11/06 a 29/10/07	26,1	17,8	16,9	19	20
média	26,8	23,5	18,8	30,1	24,8
Média final	27,3	24,3	19,3	31,2	25,5

Os dados permitiram verificar que a velocidade média de deslocamento de todas as barras no período entre março de 2004 e outubro de 2007 foi de 25,5 metros por mês, com valor máximo de 43,3 m/mês (barra 4 no período entre novembro de 2004 a novembro de 2005), e valor mínimo de 11 m/mês (barra 3, no período entre novembro de 2005 e novembro de 2006).

A velocidade média de cada barra para todo o intervalo de tempo mostram que a barra 4 é a que se deslocou mais rapidamente (31,4 m/mês), seguida pela barra 1 (27,3 m/mês), e pela barra 2 (24,3 m/mês), enquanto a barra 3 foi a que teve deslocamento mais lento (19,3 m/mês).

Tais velocidades de deslocamento demonstram que a cominuição das barras não controla seu deslocamento, uma vez que a barra 1 deslocou-se mais rapidamente que as barras 2 e 3. Caso o processo de cominuição estivesse influenciando o movimento das barras, as velocidades deveriam ser crescentes no sentido de montante para jusante, pois a cominuição estaria mais avançada na barra 1, e seria menos intensa na barra 4.

A comparação da velocidade de deslocamento com os dados de vazão média e máxima do período (Tabela 21) demonstra que não há relação entre os valores de descarga e os valores de velocidade de deslocamento das barras.

**Tabela 21** – Descarga média e máxima registrada na Estação de Porto São José nos intervalos de tempo. (SOUZA FILHO & RIGON, 2009).

Intervalo de tempo	Descarga média	Descarga máxima
24/03/04 a 09/06/05	8233	20030
09/06/05 a 04/07/06	8280	14288
04/07/06 a 07/06/07	9600	18800
22/09/04 a 26/08/05	8373	20030
26/08/05 a 25/08/06	8546	14288
25/08/06 a 19/09/07	9238	18800
13/11/04 a 12/11/05	8169	20030
12/11/05 a 11/11/06	8772	14288
11/11/06 a 29/10/07	9407	18800

Os dados de velocidade de deslocamento das barras demonstram que elas não são formas de leito que se tornaram expostas, e sim conjuntos mais complexos, com uma dinâmica que está relacionada às condições do local em que se encontram. Embora as velocidades apuradas mostrem variação temporal e espacial, o conjunto movimentou-se à uma velocidade média de 25 metros por mês, e a tendência à redução de velocidade deve ser verificada por meio da continuidade do monitoramento.

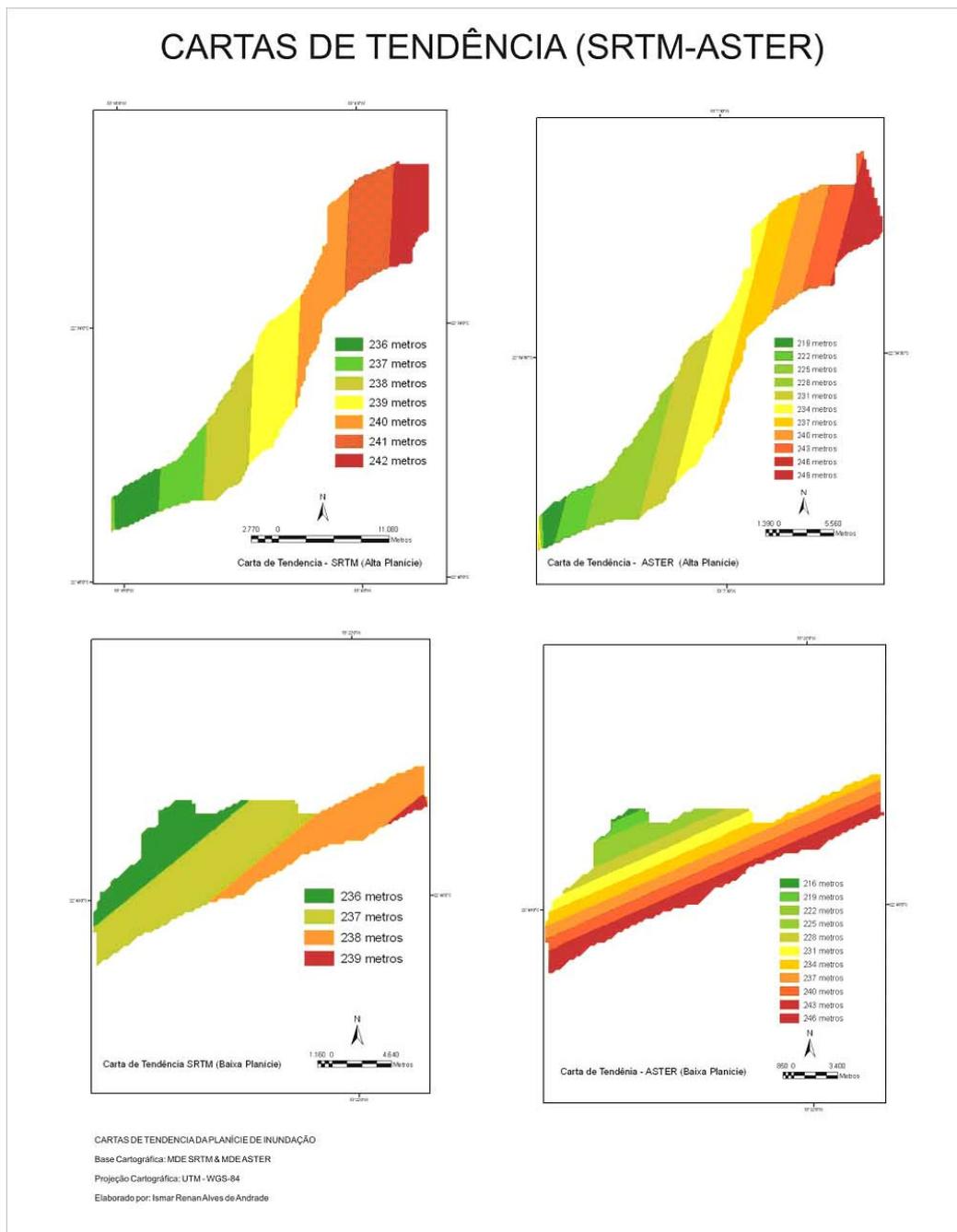
### **As formas da planície fluvial**

A aplicação da superfície de primeiro grau para o tratamento dos dados altimétricos da Planície Fluvial permitiu a obtenção da posição média de sua superfície (Figura 33). As posições obtidas a partir das diferentes fontes mostram que a planície não apresenta um gradiente que acompanha a declividade do rio, como seria esperado no caso de uma forma aluvial ativa.

Em sua parte montante (alta planície), o canal fluvial dispõe-se de NNE para SSW, e a superfície aluvial dispõe-se de leste para oeste (dados SRTM) ou de ESSE para WNW (dados ASTER). Na parte jusante (baixa planície), o canal orienta-se de ENE para WSW, e a

superfície da planície mostra um gradiente disposto de SE para NW (dados SRTM) ou de SSE para NNW.

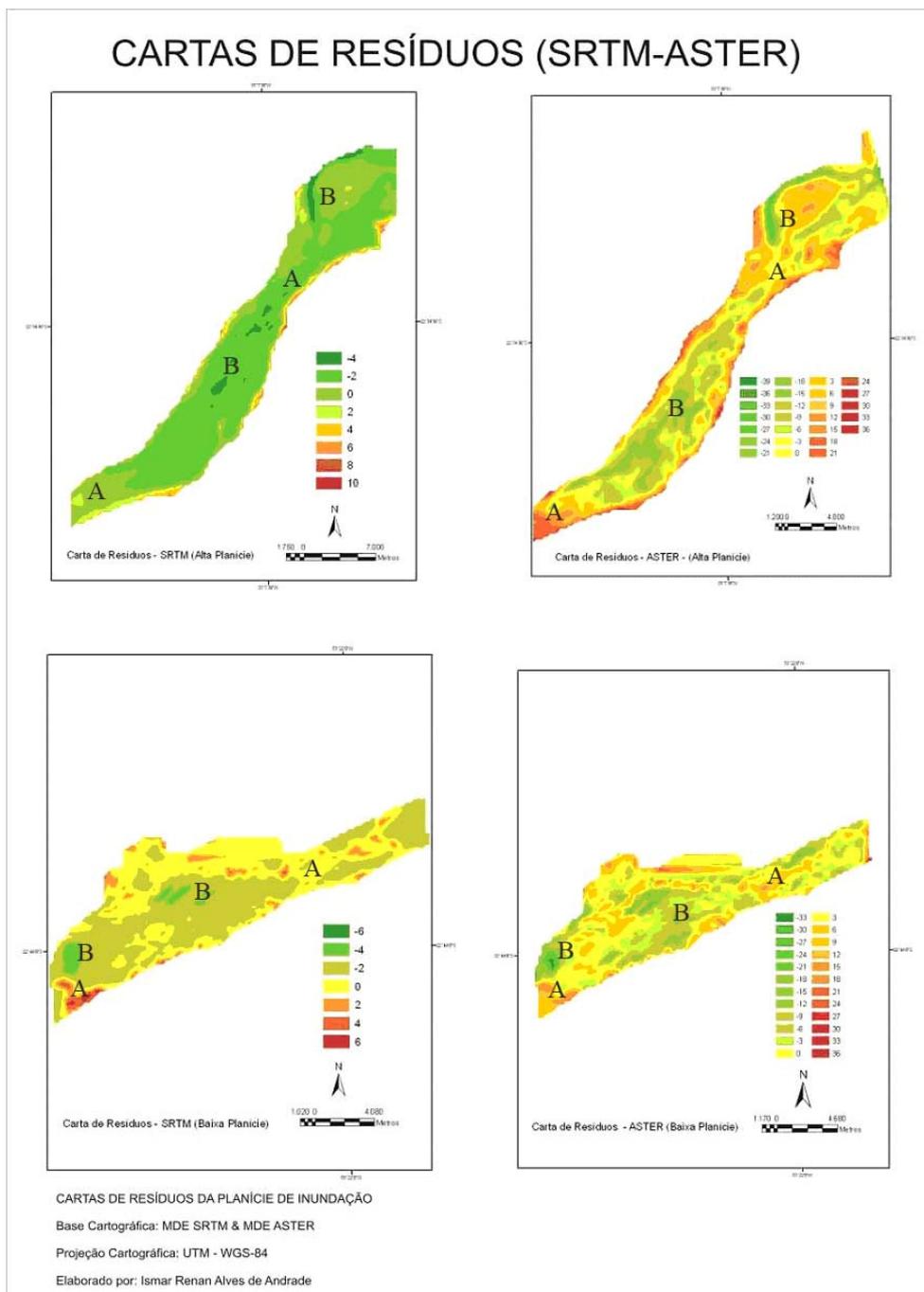
Em todos os casos, a planície mostra uma inclinação para a parte interna indicando um possível basculamento recente, compatível com o arranjo estrutural descrito por Souza Filho (1993) e por Fortes (2003). Por outro lado, a inclinação da planície condiciona a existência da faixa inundável ocupada pelo rio Baía.



**Figura 33** – Superfícies de primeiro grau obtidas a partir dos dados SRTM e ASTER para a Planície Fluvial. (Andrade, 2008).

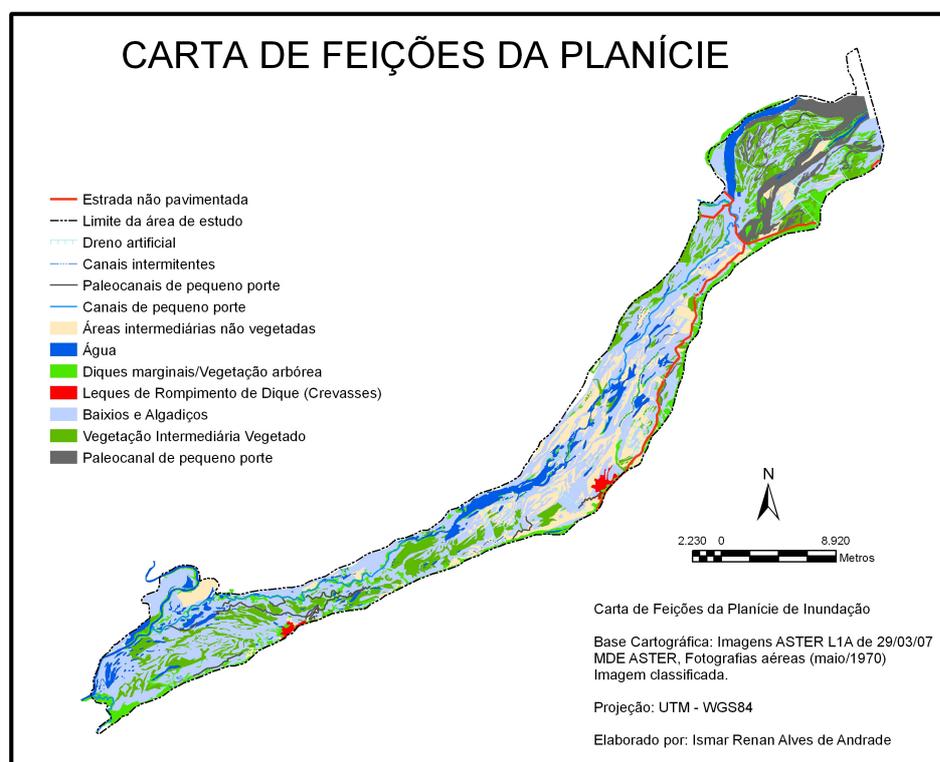
Os mapas de resíduos obtidos (Figura 34) mostram que as áreas mais baixas ocorrem em faixas longitudinais à planície, limitadas por áreas altas próximas ao rio e ao Terraço Baixo, e que tais faixas são interrompidas por áreas altas que cruzam a planície (A na figura 34).

As faixas mais baixas correspondem às áreas mais facilmente inundáveis, e são interrompidas por áreas que provavelmente tiveram movimentação positiva ao longo de falhas transversais à planície.



**Figura 34** – Mapas de resíduos obtidos a partir dos dados SRTM e ASTER para a Planície Fluvial. (Andrade, 2008).

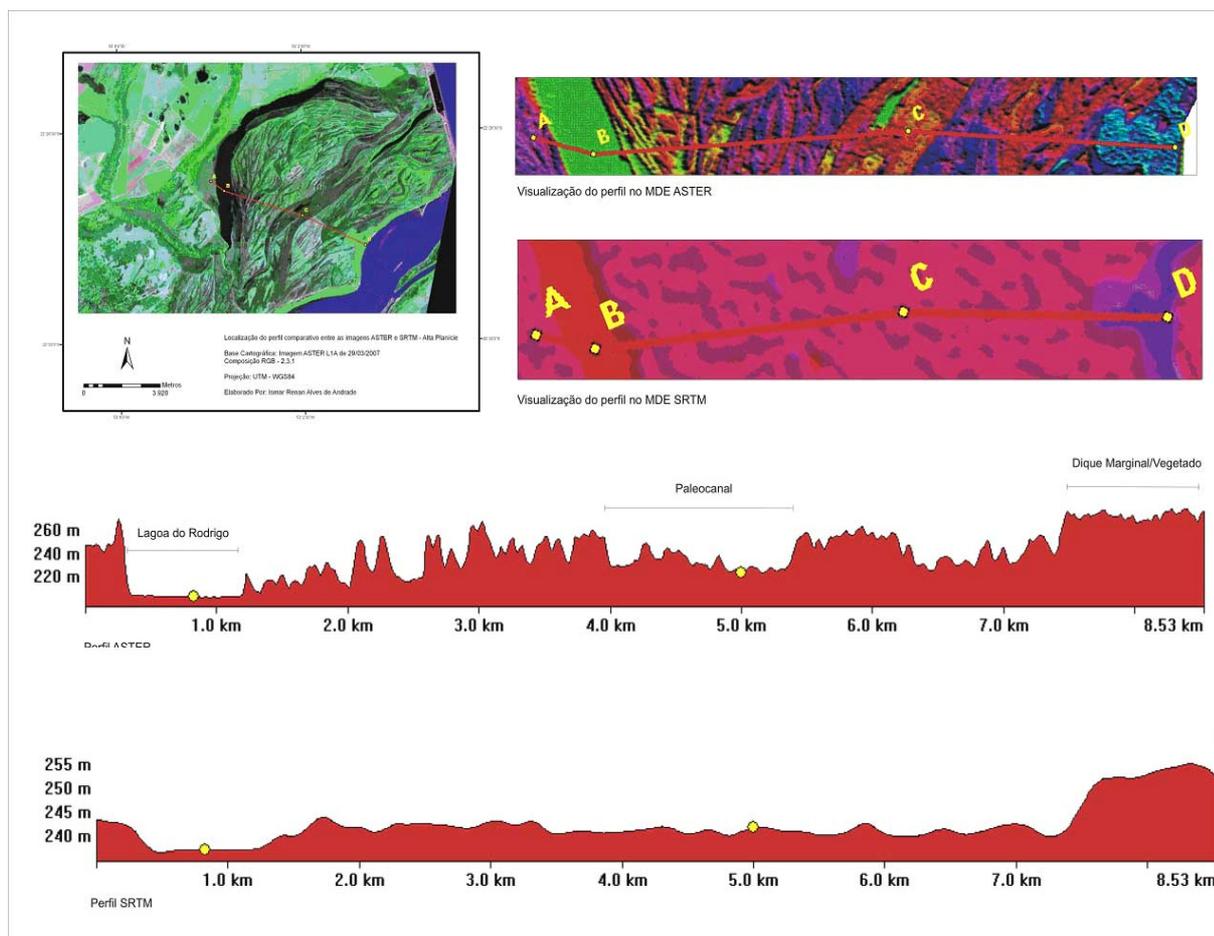
O tratamento digital das imagens ASTER e os trabalhos de campo permitiram confirmar o significado geomorfológico das áreas altas e baixas identificadas nos mapas de resíduos. A figura 35 mostra o mapa geomorfológico obtido. Pelo que pode ser observado, as áreas altas alongadas são resultado da construção de diques marginais, as áreas intermediárias vegetadas ou não são o resultado da deposição de antigas crevasses do sistema anastomosado anteriormente vigente (Souza Filho, 1993; 1995).



**Figura 35** – Mapa das feições superficiais da Planície Fluvial do rio Paraná (Andrade, 2008).

As áreas baixas são ocupadas pelos corpos de água, paleo-canais e áreas úmidas. É interessante observar que os locais em que as áreas de resíduos negativos estão próximas ao rio são aqueles em que há o desenvolvimento de crevasses.

O perfil topográfico transversal à planície (Figura 36) mostra a configuração das formas da planície em sua parte situada à montante, consideravelmente mais detalhada nos dados oriundos das imagens ASTER. O conjunto exibido na referida figura é resultado da evolução de um conjunto de crevasses do sistema pré-actual. A existência de diques marginais bem desenvolvidos indica que os canais já estavam fixos quando a evolução do sistema anastomosado parou. Tais canais controlam a entrada de água nesta parte da planície.

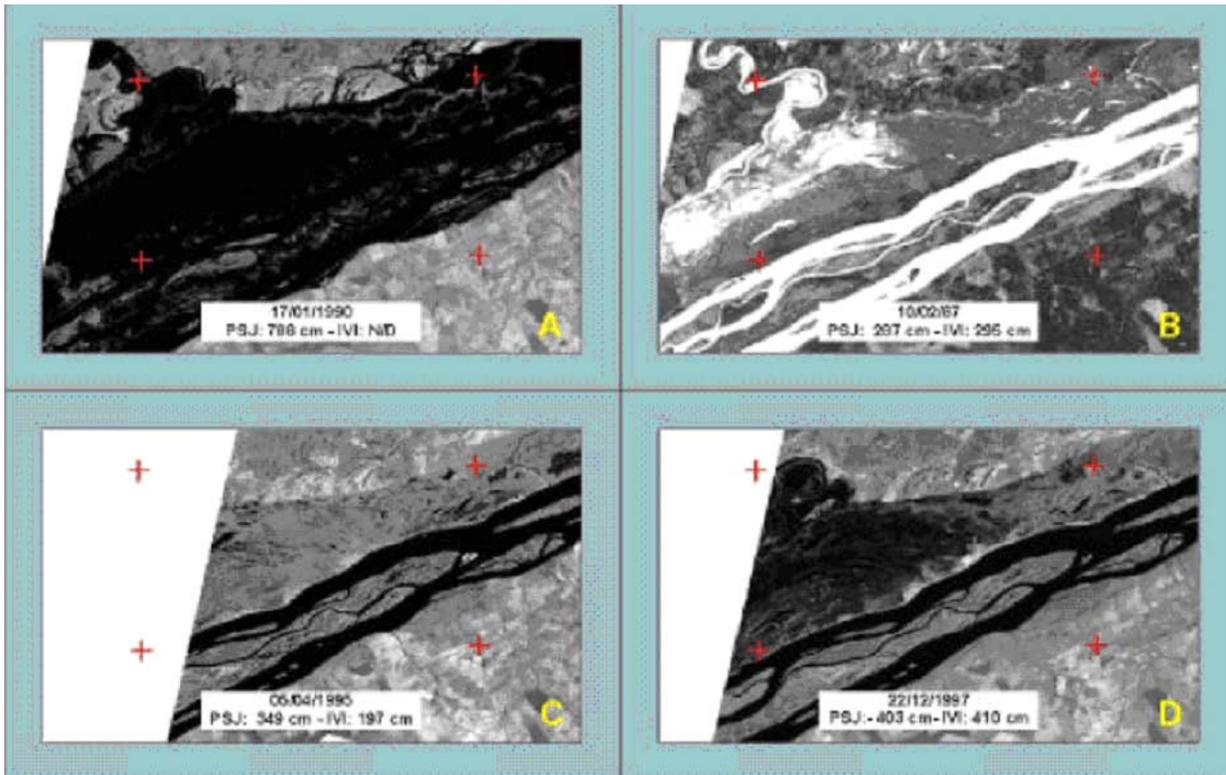


**Figura 36** – Perfis transversais à Planície Fluvial. (Andrade, 2008).

A dinâmica de entrada de água na planície já havia sido discutida por Comunello (2001), e a distribuição das áreas mais baixas explicam a razão pela qual a entrada de água é feita pela ligação do rio Ivinheima com o rio Paraná.

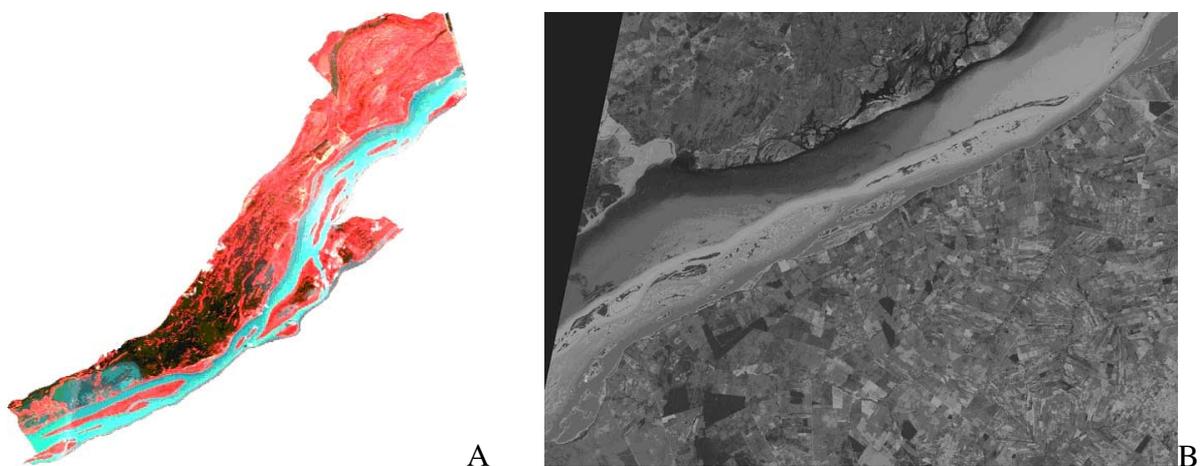
Em níveis fluviométricos mais baixos, as áreas altas da planície impedem a entrada da água superficial, e dessa forma, os canais são a principal forma de ligação rio planície (Figura 37). Além disso, as proximidades do rio Ivinheima são os locais mais baixos na área de estudo, e dessa forma é a principal área de inundação.

Por outro lado, a área inundável do rio Ivinheima tem uma limitação à montante, (figura 37 B e C), imposta exatamente pelo alto mostrado nos mapas inferiores da figura 34. Ou seja, a atuação das falhas transversais à planície também impõe controle ao alcance das cheias.



**Figura 37** – Imagens mostrando diferentes níveis fluviométricos e a distribuição de água na planície. (Comunello, 2001).

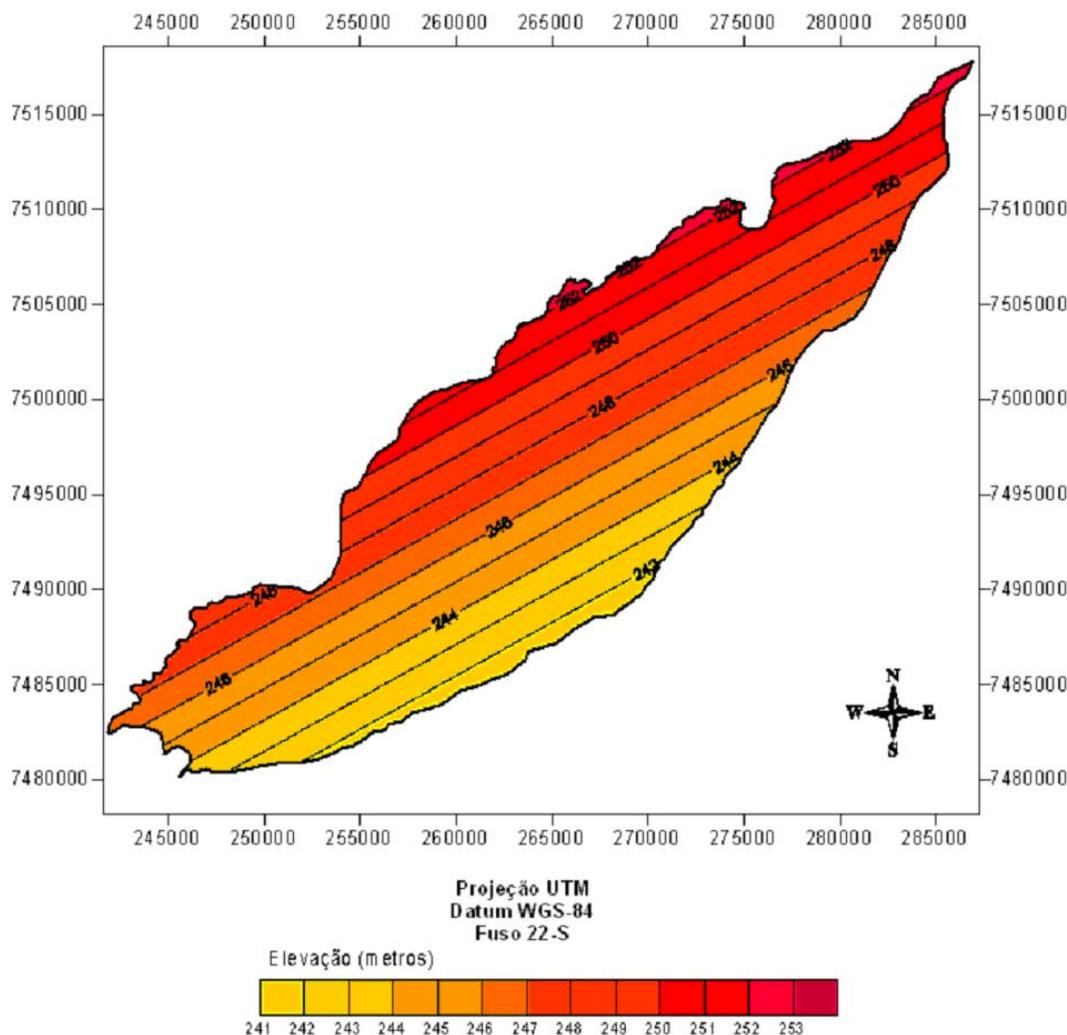
Dessa forma, a planície é inundada de jusante para montante. Conforme o nível fluviométrico do rio Paraná aumenta, o controle das formas deposicionais diminui (figura 38 A) e deixa de existir quando a intensidade da cheia é muito grande. Nesse caso, o controle é tectônico, pois as principais áreas de entrada de água são definidas pelas áreas baixas (Figura 38 B), as mesmas onde ocorrem as crevasses ativas.



**Figura 38** – Imagens mostrando a calha fluvial. Em A, o nível do rio Paraná em 644 cm (Hayakawa *et al.*, 2008), e em B em 7,88 cm (Comunello, 2001).

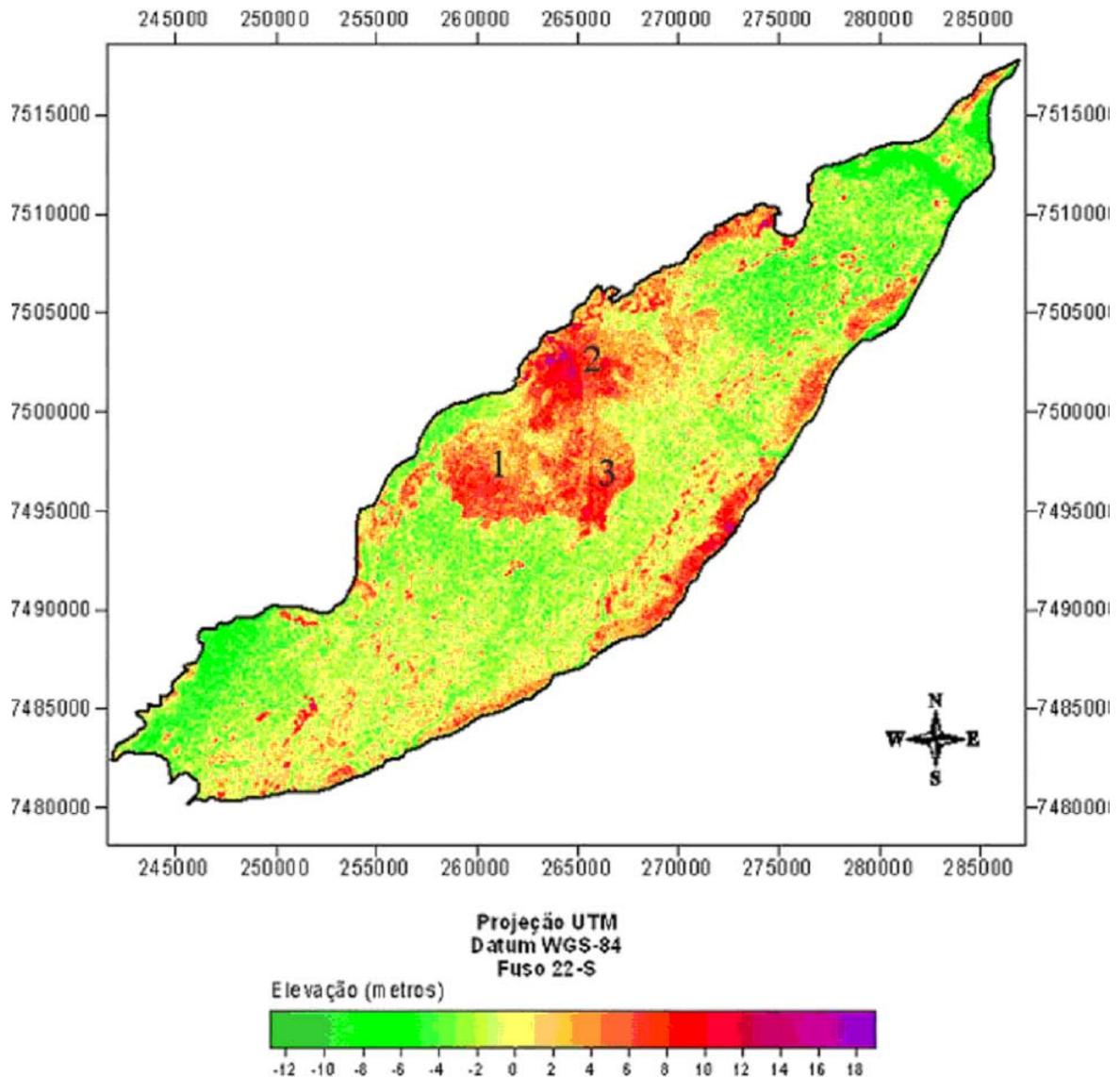
## As formas do Terraço Baixo

A aplicação da superfície de primeiro grau aos dados altimétricos do Terraço Baixo permitiu avaliar a posição média dessa forma (Figura 39). Como pode ser observado, a superfície do terraço apresenta um caimento no sentido do Terraço Médio para a calha fluvial, ou seja de NW para SE.



**Figura 39** - Mapa da superfície de tendência de primeiro grau obtido para o Terraço Baixo. (Cremon & Souza Filho, 2009).

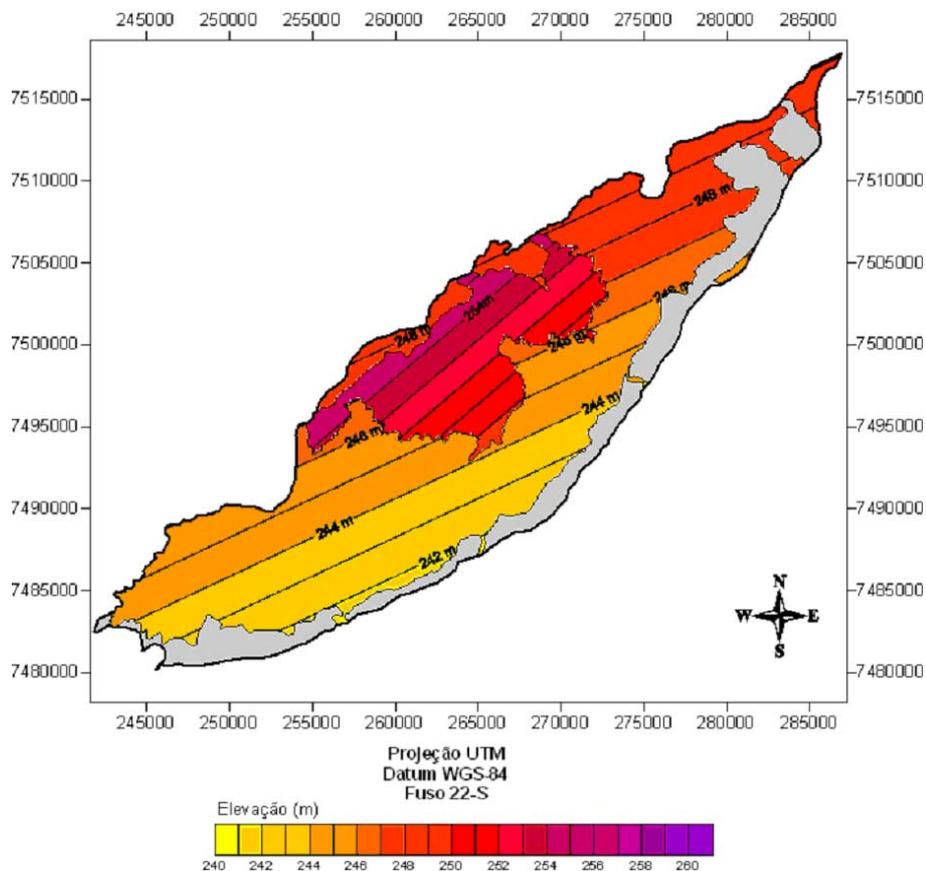
O mapa de resíduos permitiu identificar os principais conjuntos de formas do terraço (figura 40). Os resíduos positivos foram interpretados como leques aluviais (lobos 1, 2 e 3 na figura 40), e relíquias do Terraço Médio (resíduos positivos ao longo da borda SE do terraço). Os resíduos negativos foram interpretados como a Zona Retrabalhada do Terraço Baixo. A classificação das imagens ASTER, e os trabalhos de campo confirmaram a interpretação.



**Figura 40** – Mapa de resíduos do Terraço baixo. (Cremon & Souza Filho, 2009).

As superfícies de primeiro grau obtidas para os dados altimétricos da Zona Retrabalhada e da Zona de Leque mostram que ambos os conjuntos dispõem-se de maneira diferente (figura 41). A superfície obtida para a Zona Retrabalhada possui direção N 67° E, com gradiente de 46 cm/km no rumo SSE (N 157°), enquanto a superfície da Zona de Leque possui direção N 50° E, com caimento de 66 cm/km para o rumo SE (N 140°).

A posição da superfície obtida para a Zona Retrabalhada indica que seu caimento original (N 215°) foi modificado para N 67°. Tal modificação indica influência tectônica, já que tal disposição não tem influência dos leques. Uma vez que os paleocanais dispunham-se de NE para SW, a mudança de posição deve ter ocorrido depois do desenvolvimento desses canais.



**Figura 41** – Mapa de superfície de primeiro grau da Zona Retrabalhada e da Zona de Leques. Em cinza está representada a Zona Reliquiar. (Cremon & Souza Filho, 2009).

Por outro lado, a superfície obtida para os leques não tem a mesma direção da superfície da Zona Retrabalhada (figura 41), indicando que o desenvolvimento dos leques iniciou-se antes do basculamento. É provável que a deposição dos leques tenha sido iniciada no rumo SW (lobo 1), acompanhando a declividade original da Zona Retrabalhada, e após o basculamento o desenvolvimento da forma aluvial passou a se fazer no rumo sul (lobos 2 e 3 da figura 40), que mais tarde, sob condições úmidas, viria a ser o sentido de fluxo dos córregos Baile e Esperança.

Uma vez que o desenvolvimento dos depósitos aluviais mais novos não foi feito no rumo sul-sudeste, é provável que os depósitos do lobo aluvial mais antigo tenham influenciado a sua deposição. Da mesma forma, a disposição dos rios ativos, fluindo no rumo N 135° também é diferente do rumo da atual inclinação da Zona Retrabalhada (N 157°), indicando que a deposição dos leques também condicionou o arranjo fluvial atual.

A definição da data do basculamento é incerta: os depósitos dos leques não dispõem de datação. O que existe disponível é a idade dos sedimentos da base do Terraço Baixo, cujos

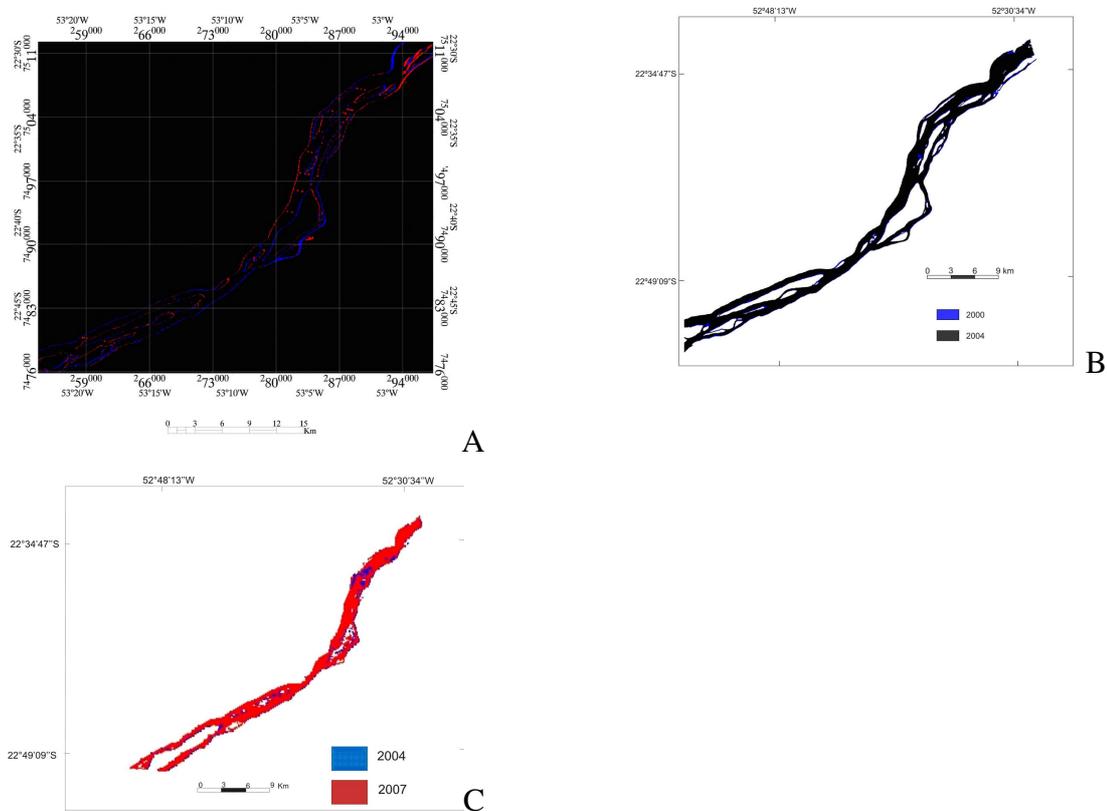
valores estão situados entre 42.580 e 31.140 anos BP (STEVAUX *et al.*, 2004), e um conjunto de datações que abrangem dunas da Zona Reliquiar (2.190 a 3.700 anos BP) e depósitos aluviais (11.570, 9.710 e 4.010 anos BP), obtidas por Parolin & Stevaux (2006).

As idades obtidas para as dunas são compatíveis com o intervalo denominado Segundo Evento Árido (3.500 a 1500 BP, STEVAUX *et al.*, 2004), quando os leques devem ter se desenvolvido. Se assim for, o basculamento pode ter ocorrido a menos de 3.500 anos, durante a vigência do Segundo Evento Árido.

O basculamento do Terraço Médio permitiu que a Zona Retrabalhada ficasse em uma posição altimétrica tal que pode ser atingida pelas grandes cheias. Nesses casos, a água avança pelas passagens dos riachos na Zona Reliquiar, os bloqueia e avança no sentido noroeste.

### As modificações de área do canal

O tratamento das imagens para a verificação da variação de área do canal permitiu a avaliação das modificações ocorridas nos intervalos entre 1976 e 1982, entre 2000 e 2004, e entre 2004 e 2007 (Figura 42).



**Figura 42** – Resultado da superposição da área do canal em 1976 e 1982 (A), em 2000 e 2004 (B) e em 2004 e 2007 (C). (Puerta & Souza Filho, 2007).

O cálculo da área ocupada pelas águas em cada data e a utilização dos valores já obtidos por Santos & Souza Filho (2006) permitiu verificar o domínio dos processos no canal em cada intervalo de tempo (Tabela 22). Pelos dados obtidos, o canal fluvial vinha mantendo uma fraca tendência ao alargamento até o ano 2000, passou por um período de domínio de sedimentação a taxas mais intensas entre 2000 e 2004, e a partir desse ano retomou o domínio dos processos erosivos, mas a taxas mais altas.

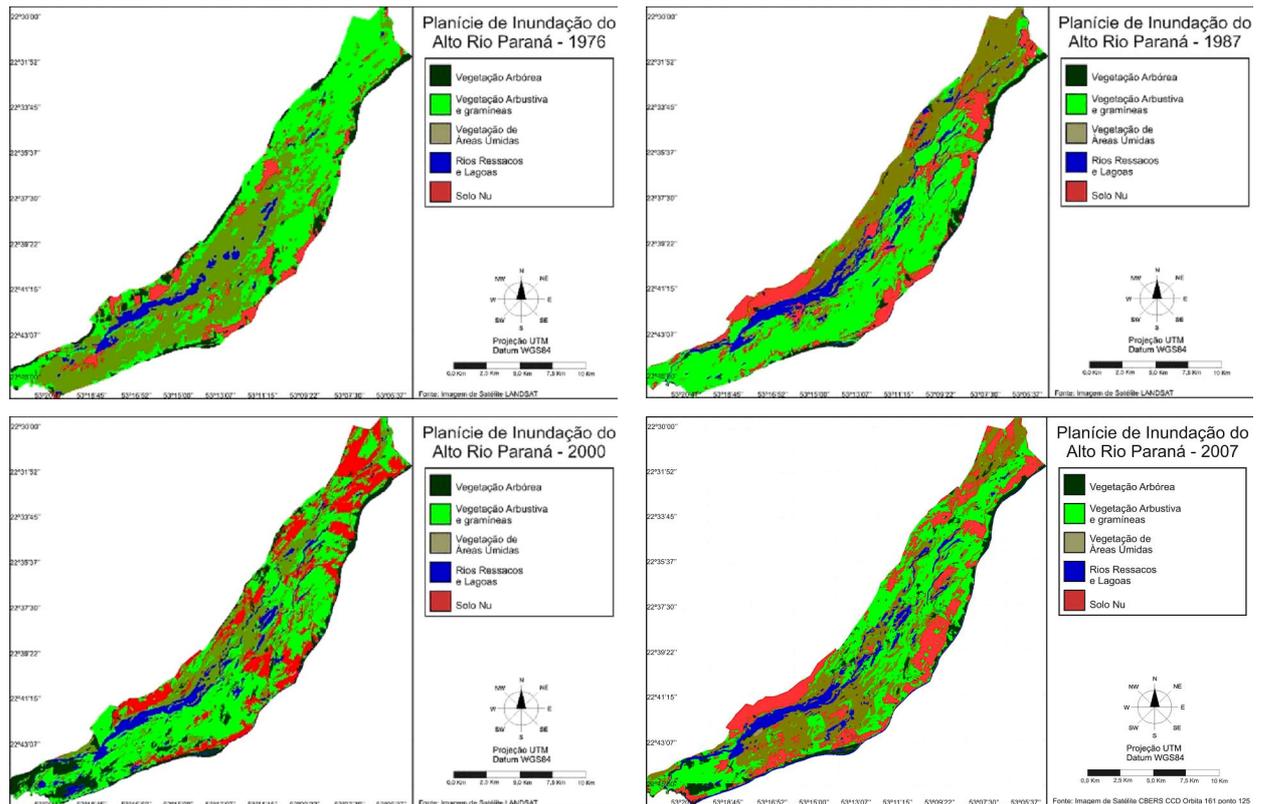
**Tabela 22** – Área de água do rio Paraná nas diversas datas. (Puerta & Souza Filho, 2007; Santos & Souza Filho, 2006).

	1976	1982	1987	1995	2000	2004	2007
<b>Área (km<sup>2</sup>)</b>	124,05	125,01	125,06	126,07	126,32	118,63	132,00
<b>Diferença (km<sup>2</sup>)</b>		0,6	0,5	1,01	0,25	-7,69	13,37
<b>Taxa (km<sup>2</sup>/ano)</b>		0,1	0,1	0,13	0,05	-1,92	4,46
<b>Processo dominante</b>		erosão	erosão	erosão	erosão	sedimentação	erosão

Tal comportamento pode ser explicado pelo ajuste fluvial provocado pela regulação da descarga fluvial e pelo corte de suprimentos detríticos provocado pela barragem de Porto Primavera (Souza Filho & Stevaux, 2008; Souza Filho, 2009).

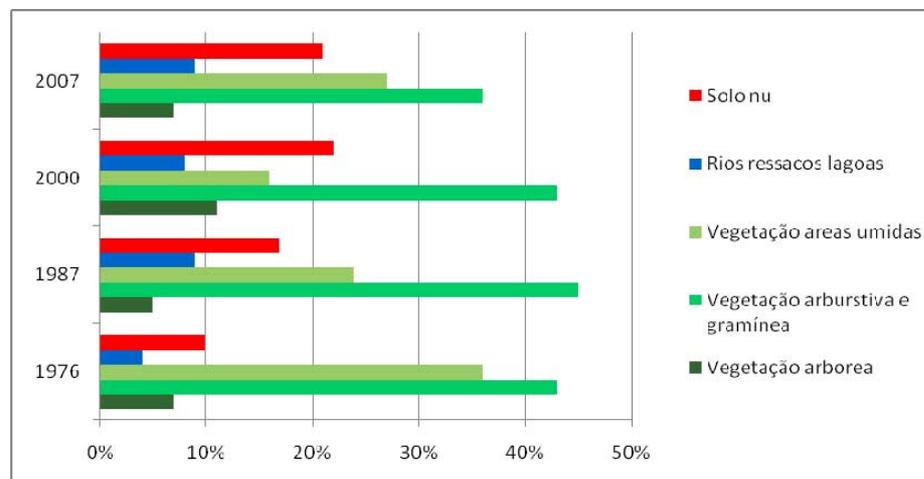
### **As modificações da superfície da planície fluvial**

O estudo das modificações da superfície da planície permitiu a verificação da área e do local ocupado pela vegetação arbórea (sobre diques marginais), pela vegetação arbustiva e de gramíneas (áreas de altura intermediária), pela vegetação de áreas úmidas, pelos corpos de água, e pelo solo exposto (Figura 43).



**Figura 43** – Distribuição das classes de uso do solo na Planície Fluvial nas diversas datas. (Couto, *et al.*2009).

O cálculo das áreas ocupadas por cada classe permitiu estabelecer a distribuição relativa de cada categoria em cada ano (Figura 44). Uma vez que a área dos corpos de água e da vegetação de áreas úmidas depende do nível do rio Paraná, esses valores foram analisados à luz do nível fluviométrico registrado na estação de Porto São José na data das passagens dos satélites (Tabela 23), e nos dias que as antecederam.



**Figura 44** – Dominância relativa da área ocupada pelas diversas classes em cada data. (Couto, *et al.*2009).

**Tabela 23** - Níveis fluviométricos registrados na Estação de Porto São José na data da obtenção das imagens utilizadas. (Couto, *et al.*2009).

data	Nível (m)	Tendência
04/02/1976	3,98	aumento
14/03/1987	3,63	aumento
12/05/2000	2,74	diminuição
24/08/2007	3,27	aumento

A área dos corpos de água aumentou entre o ano de 1976 e o ano de 1987, embora na passagem de 1987 o nível da água estivesse mais baixo do que na passagem de 1976. Essa situação indica uma modificação da morfologia da planície nesse intervalo de tempo. Se for o caso, é possível que a cheia de 1982/1983 tenha sido responsável.

As áreas de ocorrência de charcos mostram uma boa relação com o nível do rio Paraná nos anos de 1976, 1987 e 2000, porém, isso não ocorre no ano de 2007, indicando que no período entre 1987 e 2007 tenha ocorrido uma nova modificação da planície. As diferenças entre as distribuições das áreas úmidas em 1987 2000 e 2007 aparentemente corroboram esta afirmação.

As modificações de distribuição dos corpos de água e de áreas úmidas indicam que a geometria da Planície Fluvial é variável ao longo do tempo. Dessa forma, as áreas atingidas pelas cheias também devem sofrer alterações.

## CONCLUSÕES

A análise da curva chave da estação de Porto São José demonstra que a ela foi modificada, e que há necessidade da realização de levantamentos hidrológicos para determinar qual é a relação cota-vazão atual. Os dados da estação de Porto São José indicam que após a barragem de Porto Primavera ocorreu um corte das descargas excepcionais, e uma diminuição da permanência de todas as vazões com cotas superiores a 3,5 m. Ou seja as cheias tem atuado com menor intensidade na planície, e os graus de conexão entre os corpos fluviais e os corpos lênticos diminuiram.

A avaliação da vazão ecológica realizada por diferentes métodos demonstrou que a utilização da  $Q_{7,10}$ , da curva de permanência de vazões médias diárias, do valor médio das vazões anuais mínimas de 7 dias de duração e do método de Tennant resultaram em valores de descarga

muito baixos, e como são valores unitários, não podem ser aplicados para que o rio mantenha-se funcional.

A avaliação das barras fluviais demonstrou que elas tem porte menor do que as barras presentes em outros grandes rios Sul Americanos, e que sua origem está associada a formas de leito de proporções gigantescas, que se acumulam em condições hidráulicas ainda não conhecidas. Seu deslocamento ocorre a uma velocidade média de 25 metros por mês, e não é controlado pela descarga fluvial, mas sim pelas condições do local em que a barra se encontra.

A posição espacial da planície e do terraço permitiu inferir que ambas as unidades ocupam blocos estruturais distintos, que provavelmente sofreram basculamento durante o Segundo Evento Árido (3.500 a 1500 BP). Tal movimentação teria modificado o sentido de fluxo da água no Terraço Médio, mudando o sentido de desenvolvimento dos leques, e posteriormente condicionado a direção dos canais atuais ali existentes. Além disso, teria proporcionado a existência de uma faixa mais baixa na parte interna da planície, ocupada pelos rios Baía e Ivinheima.

A movimentação ao longo de falhas transversais à planície teria criado áreas mais altas e mais baixas ao longo da unidade, e são responsáveis pela forma com que as águas a ocupam durante as cheias. Tais altos e baixos provavelmente influenciaram o desenvolvimento do sistema anastomosado então vigente, mas a análise desse efeito ainda deve ser verificada.

Os cursos de água ativos são os responsáveis pela entrada de água na planície, e à medida que o nível do rio Paraná aumenta, este controle passa para os canais inativos e áreas alagáveis. À medida que a cheia é intensificada, o controle da distribuição das águas passa a ser feito pelas áreas tectonicamente rebaixadas. Tal controle persiste até mesmo nas cheias que ultrapassam os diques marginais.

A posição espacial da planície não é o único controle existente, porque a avaliação das modificações da superfície da planície demonstrou que os canais ativos e as áreas úmidas podem ser modificados em grandes cheias. Neste caso, há necessidade de detalhamento dessas variações, e do monitoramento das modificações do próprio rio.

Tal monitoramento torna-se mais importante face ao ajuste que o rio vem passando, que é demonstrado pelas modificações do comportamento do balaço entre sedimentação e erosão marginal, e pela alteração da velocidade de deslocamento das barras fluviais, entre outros efeitos.

## Referências Bibliográficas

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). 2005. Diagnóstico da outorga de direito de uso de recursos hídricos no país – Diretrizes e prioridades. Disponível em <http://www.ana.gov.br/sprtew/recursoshidricos.asp>. Acessado em 15 ago 2008.

Alves, M. G. & Henriques, A. G. 1994. O caudal ecológico como medida de minimização dos impactos nos ecossistemas lóticos. Métodos para a sua determinação e aplicações. In: Simpósio de Hidráulica e Recursos Hídricos dos Países da Língua Oficial Portuguesa, 1, Actas, p. 177.

ANDRADE, I. R. A. (2008) 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 junto ao Programa de Pós-Graduação em Geografia, UEM, Maringá (inédita).

Arenas-Ibarra, J.A. 2008. Alterações na hidrologia da planície de inundação do alto rio Paraná (1964-2007): influência dos reservatórios a montante. Tese de Doutorado, Programa de Pós-graduação em Ecologia de Ambientes Aquáticos Continentais, Universidade Estadual de Maringá, 41 p.

Benetti, A. D., Lanna, A. E., Cobalchini, M. S. 2003. Metodologias para determinação de vazões ecológicas em rios. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, 8: 149-160.

Bovee, K. D., Lamb, B. L., Bartholow, J. M., Stalnaker, C. B., Taylor, J., Henriksen, J. 1998. Stream habitat analysis using the instream flow incremental methodology. Disponível em <http://www.fort.usgs.gov/Products/Publications/3910/3910.pdf>. Acessado em 17 ago 2008.

COLLINSON, J.D. -1986- Alluvial sediments. Sedimentary Environment and Facies. Reading, H.G. (Ed), 2 ed. Collischonn, W., Agra, S.G., Freitas, G.K., Priante, G.R., Tassi, R., Souza, C.F. 2005. Em busca do hidrograma ecológico. In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, XVI, Anais, 21 p.

COMUNELLO, E. (2001) Dinâmica de inundação em áreas sazonalmente alagáveis na planície de inundação do alto rio Paraná. Dissertação de mestrado apresentada junto ao PEA, UEM. (inédito).

COMUNELLO, E., SOUZA FILHO, E. E., ROCHA, P. C., & NANNI, 2003. Dinâmica de inundação de áreas sazonalmente alagáveis na planície aluvial do Alto Rio Paraná: estudo preliminar. ANAIS do XI Congresso Brasileiro de Sensoriamento Remoto, p 2459-2466.

CORRADINI, F. A., 2006. Processos de conectividade e a vegetação ripária do alto rio Paraná – PR. Dissertação de mestrado. Pós-graduação em Geografia, Universidade Estadual de Maringá/UEM. Maringá, Brazil.

Crispim, J. Q. 2001. Alterações na hidrologia do canal após a construção do reservatório Engenheiro Sérgio Motta (Represa de Porto Primavera) Rio Paraná. Dissertação de Mestrado,

Programa de Pós-graduação em Ecologia de Ambientes Aquáticos Continentais, Universidade Estadual de Maringá, 25 p.

FERNANDEZ, O.V.Q. & SOUZA FILHO, E.E. - 1995- Efeitos do regime hidrológico sobre a evolução de um conjunto de ilhas no rio Paraná, PR. Boletim Paranaense de Geociências, Ed. UFPR, Curitiba, PR, 43: 161-171

FORTES, E., 2003. Geomorfologia do baixo curso do rio Ivinhema, MS: uma abordagem morfogenética e morfoestrutural. Tese de Doutorado, UNESP, Rio Claro, 200pp.

FORTES, E., STEVAUX, J. C. e VOLKMER, S. (2005) Neotectonics and channel evolution of the Lower Ivinhema River: A right-bank tributary of the upper Paraná River, Brazil. In: *Geomorphology*, 70:325-338.

Garcia, L.A.V. & Andreazza, A.M.P. 2004. Estabelecimento de vazões ambientais efluentes de barragens – sugestão metodológica. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 9: 5-18.

Gomes, J., Favoreto, R.S., Ercoli, F.H. 2001. Investigação de métodos de extrapolação da curva de descarga: análise simultânea de um conjunto de estações fluviométricas. [http://www.lactec.org.br/OInstituto/downloads/Biblioteca/2001/048\\_2001.pdf](http://www.lactec.org.br/OInstituto/downloads/Biblioteca/2001/048_2001.pdf). Acessado em 20 de agosto de 2008.

HAYAKAWA, E.H. – 2007 – Análise da variabilidade espacial e temporal dos sedimentos suspensos do Alto rio Paraná via imagens orbitais: região de porto São José – PR. Dissertação de mestrado defendida junto ao Programa de Pós-Graduação em Geografia, UEM, (inédito), 81 pp.

LANDIM, P.M.B. (2003) Análise estatística de dados geológicos. Editora UNESP, São Paulo, 2° ed.

Jacon, G. & Cudo, K. J. 1989. Hidrologia, curva-chave: análise e traçado. Brasília: DNAEE. 273 p.

Junk, W.J.; Bayley, P.B.; Sparks, R.E. 1989. The Flood Pulse Concept In River-Floodplain Systems. In: Doge, D.P.(Ed.). Proc. Int. Large River Symp (Lars) – Can. Spec. Publ. Fish. Aquat. Sci., 106: 110-127.

Junk, W.J. & Wantzen, K.M. 1995. The Flood Pulse Concept: new aspects, approaches and applications – an update. Disponível em [www.fao.org/docrep/007/ad526e/ad526e00.htm](http://www.fao.org/docrep/007/ad526e/ad526e00.htm). Acessado em 26 de agosto de 2008.

LANDIM, P.M B e CORSI, A. C. (2001) Cálculo 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: 9 nov. 2007.

MARTINS, D.P. & STEVAUX, J.C. 2005 - Formas de leito e transporte de carga de fundo do Alto Rio Paraná. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, 6, 2: 43-50.

Mendes, L.A. 2007. Análise dos critérios de outorga de direito de usos consuntivos dos recursos hídricos baseados em vazões mínimas e em vazões de permanência. Dissertação de Mestrado, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 187 p.

MEURER, M., -2004- Regime de Cheias e Cartografia de Áreas Inundáveis no Alto Rio Paraná, na Região de Porto Rico – PR. Maringá: Universidade Estadual de Maringá – UEM. 54 p. (Dissertação de Mestrado).

MEURER, M. Análise dos Regimes de Cheias dos Rios Paraná e Ivinhema, na Região de Porto Rico/PR. In.: **Geografia**, 28 (2), 2003, pp.185 – 195.

MIALL, A.D. -1977- A review of the braided-river depositional environment. *Earth Science Reviews*, 13:1-62.

Müller, I.I., Krüger, C.M., Kaviski, E. 1998. Análise de estacionariedade de séries hidrológicas na bacia incremental de Itaipu. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 3: 51 - 71.

Naghetini, M.& Pinto, E.J.A. 2007. *Hidrologia Estatística*. Belo Horizonte: CPRM. 552 p.

PAROLIM, M. 2001. Clima seco e formação de dunas eólicas durante o Holoceno Médio em Taquaruçu, MS. Master dissertation, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, Brazil, 27p.

Paulo, R.G.F. 2007. Ferramentas para a determinação de vazões ecológicas em trechos de vazão reduzida: destaque para aplicação do método do perímetro molhado no caso de Capim Branco I. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Universidade Federal de Minas Gerais, 114 p.

Pereira Filho, D., Santos, I., Fill, H. D. 2003. Sistema de ajuste e extrapolação de curva de descarga – Stevens. In: *Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, XV, Anais*, 12 p.

Pinto, N. L. S., Holtz, A. C. T, Martins, J. A., Gomide, F. L. S. 1976. *Hidrologia Básica*. 2ª ed. Editora Edgard Blücher Ltda. Rio de Janeiro, RJ. 278 p.

Richter, B.D., Baumgartner, J.V., Powell, J., Braun, D.P. 1996. A method for assessing hydrologic alteration within ecosystems. *Conservation Biology*, 10:1163-1174.

Richter, B.D., Baumgartner, J.V., Wigington, R., J., Braun, D.P. 1997. How much water does a river need?. *Freshwater Biology*, 37:231-249.

ROCHA, J. A. da (2001) As características geomorfológicas do canal do rio Paraná no segmento imediatamente a jusante da Usina Hidrelétrica de Porto Primavera. Dissertação de Mestrado defendida junto ao PEA, UEM (inédito).

ROCHA, P. C. Dinâmica dos Canais no Sistema Rio-Planície Fluvial do Alto Rio Paraná, nas proximidades de Porto Rico – PR, Maringá, 2002, 169 p. Tese (Doutorado em Ecologia de Ambientes Aquáticos Continentais) – Núcleo de Pesquisas em Limnologia, Ictiologia e Aquicultura, Universidade Estadual de Maringá.

ROCHA, P.C., SOUZA FILHO, E.E & FERNANDEZ, O.V.Q., 1998. Aspectos do controle de descargas efetuado por barramentos no alto rio Paraná. Boletim Paranaense de Geociências 46. Curitiba-Pr-Brasil, pp 117-122.

ROCHA, P.C., SANTOS, M.L. & SOUZA FILHO, E.E., 2001. Alterações no regime hidrológico do alto rio Paraná como resposta ao controle de descargas efetuado por grandes barramentos a montante. VIII Encuentro de Geógr. de América Latina, Santiago-Chile, pp 28-39.

SANTOS, M.L. dos -1991- Faciologia e evolução de barras de canal do rio Paraná na região de Porto Rico, PR. UNESP, dissertação de mestrado.

SANTOS, M.L. dos -2005- Unidades geomorfológicas e depósitos sedimentares associados no sistema fluvial do rio Paraná no seu curso superior. Revista Brasileira de Geomorfologia, 6,1: 85-96.

SANTOS, M.L. dos; FERNANDEZ, O.V.Q. & STEVAUX, J.C. -1989- Aspectos morfogenéticos das barras de canal do rio Paraná na região de Porto Rico, PR. ABEQUA. Congr. Assoc. Bras. de Est. do Quat., 2, Rio de Janeiro.

SANTOS, Manoel Luiz dos ; FERNADEZ, O. V. Q. ; STEVAUX, J. C. . Faciologia e morfologia de barras de canal no rio Paraná. Boletim de Geografia, Maringá, PR, v. 10, n. 1, p. 11-24, 1992.

SANTOS & STEVAUX (2000) Facies and architectural analysis of channel sandy macroforms in the upper Parana river.

SILVA, S. A. – 2007 – Características do regime hidrológico do alto rio Paraná: modificações e aspectos ambientais. Artigo integrante da tese de Doutorado defendida junto ao PEA, UEM. (inédito), 36 pp.

SIMONS, D. B. & RICHARDSON, E. V. -1966-. Resistance to Flow in Alluvial Channels. Geological Survey Professional Paper, 422-J.

SOUZA FILHO, E. E.- 1993- Aspectos da geologia e estratigrafia dos depósitos sedimentares do rio Paraná entre Porto Primavera (MS) e Guaira (PR). Inst. Geoc., USP, tese de doutorado, São Paulo, SP, 214 pp. (inédito).

SOUZA FILHO, E.E.- 1994-Feições do sistema anastomosado pré atual do rio Paraná. XXXVIII Congresso Brasileiro de Geologia, Anais, Camburiú, v.2:407-409.

SOUZA FILHO, E. E. (1999) Diagnóstico do meio físico e condições emergentes da planície do rio Paraná em Porto Rico (PR). GEONOTAS, DGE/UEM, 12 pp.

Souza Filho, E.E. & Arenas-Ibarra, J.A. 2005. Aspectos geológicos e geomorfológicos. Disponível em [http://www.peld.uem.br/Relat2005/pdf/01\\_aspectosgeom2005.pdf](http://www.peld.uem.br/Relat2005/pdf/01_aspectosgeom2005.pdf). Acessado em 12 de agosto de 2008.

SOUZA FILHO, E.E. & RIGON, B.T.C. -2009- Avaliação da velocidade de deslocamento de barras fluviais do rio Paraná por meio de imagens CBERS/CCD. Encaminhado para a Revista Brasileira de Geomorfologia, inédito, 17 pp.

SOUZA FILHO, E.E. & STEVAUX, J.C.- 1997- Geologia e geomorfologia do complexo rio Baía, Curutuba, Ivinheima. In: A Planície de Inundação do Alto Rio Paraná. A.E.A. de M. VAZZOLER, A.A. AGOSTINHO, & N.S. HAHN, (Eds.), EDUEM NUPÉLIA, Maringá, 460 pp.

SOUZA FILHO, EE. & STEVAUX, JC. -1997- As barras fluviais da parte média do alto rio Paraná. VI Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário -ABEQUA, Curitiba, Boletim de Resumos Expandidos, p. 265-269.

SOUZA FILHO, E.E. e STEVAUX, J. C. (2002) A Geomorfologia da Área Ribeirinha ao Rio Paraná no Segmento entre os Rios Paranapanema e Ivinheima (PR e MS). Relatório PELD - EDUEM, Maringá.

SOUZA FILHO, EE., ROCHA, PC., COMUNELLO, E. and STEVAUX, JC. -2004- Effects of the Porto Primavera Dam on physical environment of the downstream floodplain, p. 55-74. In THOMAZ, SM., AGOSTINHO, AA. and HAHN, NS. (eds.), The Upper Paraná River and its floodplain: Physical aspects, Ecology and Conservation, Backhuys Publishers, Leiden, 393p.

SOUZA FILHO, E. E. e STEVAUX, J. C. (2004) Geology and Geomorphology of the Baía-Curutuba-Ivinheima Complex. In: THOMAZ, S. M., AGOSTINHO, A. A. e HAHN, N. S. (org.) The Upper Parana River and its floodplain: Physical aspects, Ecology and Conservation. Backhuys publishers, Leiden, The Netherlands, 1 ed.:01-29.

STEVAUX, J.C. (1993) O rio Paraná: geomorfogênese, sedimentação, e evolução quaternária do seu curso superior (região de Porto Rico, PR). Inst. Geoc., USP, tese de doutorado, São Paulo, SP, 242 pp. (inédito).

STEVAUX, J. C., SOUZA FILHO, E. E., MEDEANIC, S. e YAMSKIKH, G. (2004) The Quaternary history of the Upper course of the Parana River. In: THOMAZ, S. M., AGOSTINHO, A. A. e HAHN, N. S. (org.) The Upper Parana River and its floodplain: Physical aspects, Ecology and Conservation. Leide The Upper Parana River and its floodplain: Physical aspects, Ecology and Conservation. Backhuys publishers, Leiden, The Netherlands, 1 ed.:31-53.

THOMAZ, S. M.; PAGIORO, T. A.; BINI, L. M.; ROBERTO, M. C.; ROCHA, R. R. A. Limnological characterization of the aquatic environments and the influence of hydrometric levels. In: THOMAZ, S. M.; AGOSTINHO, A. A; HAHN, N. S. (Org.). The Upper Parana river floodplain physical aspects, ecology and conservation. Leiden, The Netherlands: Backhuys publishers, 2004. p. 75-102

STRASSER, M.A. -2008- Dunas fluviais no rio Solimões-Amazonas – dinâmica e transporte de sedimentos. Tese de Doutorado defendida junto ao Programa de Engenharia da UFRJ. 160 pp (inédito).

Tucci, C.E.M. 1997. Hidrologia: ciência e aplicação. Editora da UFRGS/ABRH, Porto Alegre. 943 pp.

TURRA, T. M. ; MARQUES, V. V. ; STEVAUX, J. C. . Confluence bar of th São Pedro Brook in the Paraná River: Genesis and environmental importance. Boletim Goiano de Geografia, Goiânia, v. 19, n. 1, p. 50-54, 1999.

VALERIANO, M. M. (2004) Modelo digital de elevação com dados SRTM disponíveis para a América do Sul. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos: 72 p. (INPE-10550-RPQ/756). Disponível na biblioteca digital URLib: <<http://mtcm12.sid.inpe.br/rep-/sid.inpe.br/sergio/2004/06.30.10.57>>. Acesso em: 12 set. 2007

VALERIANO, M. M. ; ABDON, M. M. (2007). Aplicação de dados SRTM a estudos do Pantanal. RBC. Revista Brasileira de Cartografia, v. 59, p. 63-71.

Vanotte, R. L., Minshall, G. W., Cummins, K. W., Sedell, J. R., Cushing, C. E., 1980. The River Continuum Concept. Can. J. Fish. Aquat. Sci., 37:130-137.

Ward, J. V., Stanford, J. A. 1983. System concepts- The serial discontinuity concept. In: Fontaine, T. D. and Bartell, S. M. Dynamics of Lotic Ecosystems. Ann. Arbor.Science, p. 29-42.

Ward, J. V., Stanford, J. A. 1995. The serial discontinuity concept: extending the model to floodplain river.

