

O componente físico da Planície Alagável do Alto Rio Paraná

RESPONSÁVEIS: DR EDVARD E. SOUZA FILHO & DR JOSÉ CÂNDIDO STEVAUX

Resumo

As atividades desenvolvidas nos anos de 2000 e 2001 priorizaram a avaliação dos impactos sobre o meio físico decorrentes da formação do reservatório de Porto Primavera. A atenção principal esteve voltada aos aspectos da dinâmica fluvial, ou seja, os efeitos sobre o débito fluvial, as áreas inundáveis, o transporte de sedimentos, e a erosão marginal. Os efeitos sobre o débito fluvial foram estudados a partir da análise das variações da magnitude, das frequências e duração dos débitos, no período anterior às barragens, no período de instalação, e no período posterior à formação da maior parte dos reservatórios. As variações da magnitude foram marcadas pela diminuição das vazões baixas, a elevação das médias mais elevadas, e o deslocamento temporal dos débitos mais altos. As modificações da frequência e duração dos débitos foram marcadas pelo aumento do número de eventos de alto débito, que passou de dois por ano para sete, enquanto a duração média de cada evento diminuiu de mais de quarenta dias para pouco mais de vinte dias. A alteração da duração dos débitos foi avaliada também pelo valor dos diferentes níveis fluviométricos e sua frequência. Neste caso as vazões mínimas tornaram-se duas vezes maiores após a construção das barragens, e as vazões máximas também se tornaram mais elevadas, embora o incremento não tenha a mesma significância. A amplitude anual dos níveis hidrométricos foi diminuída por meio da eliminação dos débitos de valores mais baixos. Além disso, a frequência da ocorrência de ondas de cheia aumentou, embora a duração de cada evento tenha diminuído. A barragem de Porto Primavera eliminou também os débitos mais elevados, modificando ainda mais o quadro apresentado. A avaliação da abrangência das cheias foi realizada por meio do tratamento de imagens de satélite de diferentes datas, quando o rio Paraná e o rio Ivinheima encontravam-se em diferentes níveis fluviométricos. Os dados obtidos permitem a identificação de um sistema inundável complexo em que há dois conjuntos que além de serem inundados pelo rio Paraná apresentam outras influências. O conjunto a montante (subsistema rio Baía) aparentemente é afetado por precipitação local na bacia de drenagem do rio Baía, e a compreensão dos efeitos e abrangência deste fenômeno exige o monitoramento da precipitação local e/ou do nível do subsistema. O conjunto da parte média (subsistema Ivinheima) que inclui a metade jusante do canal do Curutuba é influenciado pelas cheias do rio Ivinheima (chuvas de cabeceira) que podem ser minimizadas ou ampliadas de acordo com o nível do rio Paraná. A área afetada é controlada a montante por um degrau situado na parte média do canal do Curutuba, a jusante pelo canal do Ipitã, e em sua porção esquerda pelas áreas altas da planície. O subsistema do rio Paraná é controlado pelos níveis deste rio, que dependem das precipitações na bacia e da operação das barragens situadas a montante. As áreas inundáveis incluem as ilhas fluviais, os segmentos de planície situados na margem esquerda, e a porção da planície cortada pelo baixo rio Ivinheima, a jusante do canal do Ipitã. As cheias do rio Ivinheima não afetam este conjunto graças ao escoamento proporcionado pelo referido canal, e também pela presença de diques marginais contínuos e bem desenvolvidos situados ao longo do rio Ivinheima. A área inundável está sujeita à influência do regime de cheias do rio Paraná, parte dela depende também das cheias do rio Ivinheima, e pelas chuvas locais que alimentam o rio Baía. Como os três subsistemas estão sujeitos a regimes de precipitação diferentes, é necessário conhecer quando e quanto cada um dos conjuntos influencia a área de inundação. A primeira avaliação mostrou que o sistema Baía necessita de monitoramento de chuva e de nível para que possa ser estabelecida a frequência e o débito necessário para que ocorra alagamento. O sistema

Paraná tem sido responsável pela inundação em 40% das ocorrências, o sistema Ivinheima por 28%, e ambos por 30%. Para concluir, quando o rio Paraná encontra-se em 3,5 m na estação de Porto São José, as lagoas com alto grau de conexão são influenciadas por entrada de água passiva. Quando o rio chega a 4,6 m inicia-se o afogamento do rio baía e do rio Ivinheima, e a entrada passiva de água nas lagoas com menor grau de conexão ou separadas dos sistemas lóticos por meio de margens baixas. Quando o rio chega a 6,1 m, inicia-se o alagamento da planície por meio da entrada passiva de água pelas partes baixas das margens, e a interconexão dos corpos de água. Por fim, quando o rio chega a 7,0 m, ele ultrapassa os diques marginais e cobre toda a planície, e permite a existência de fluxos ativos sobre ela. As modificações introduzidas pelos barramentos podem tornar mais comuns as inundações relacionadas ao rio Ivinheima porque a vazão média das cheias e as vazões mais baixas passaram a ter valores mais elevados, e porque as ondas de cheia tornaram-se mais freqüentes. Por consequência, as conexões entre os corpos léticos e o sistema lótico podem ser mais freqüentes, mas a duração delas deve diminuir. No caso específico dos três últimos anos, a maneira com que foi realizada a formação do reservatório de Porto Primavera, fez com que houvesse diminuição do número de conexões. O advento da crise de energia, e a necessidade de recuperação dos reservatórios que foram depletados podem prolongar esta situação, e agravar os efeitos sobre a biota. Os estudos a respeito do transporte de sedimentos foram realizados em duas seções do rio Paraná, uma delas situada à cerca de seis quilômetros a jusante da barragem de Porto Primavera, e outra a trinta, em Porto São José. As coletas de sedimento de fundo demonstraram que os depósitos estão sendo removidos, na seção a montante. O talvegue principal (P2) está desprovido de sedimentos, o talvegue secundário (P3) apresentou a passagem ocasional de formas de leito isoladas, e que a parte lateral direita do canal (P4) possui formas mais contínuas em curso, mas ainda assim apresenta momentos em que está livre de sedimentos. A parte esquerda do canal (P1) é a única que possui sedimentos, mas isso ocorre porque ela está protegida por uma ilha situada a montante. Na seção a jusante, todo o leito está coberto por sedimentos dispostos em formas de tamanhos diferentes, que são ondas de areia, pseudo-dunas, mega ondulações e ondulações, com amplitude de 13 a 0,3 metros. As diferenças foram encontradas no tamanho dos grãos, que demonstraram afinamento sucessivo ao longo do período de amostragem, variando de areia fina para muito fina. Os trabalhos de erosão marginal estão sendo desenvolvidos no segmento compreendido desde as proximidades da barragem de Porto Primavera (ilha Óleo Cru) até o arquipélago das ilhas Floresta e Japonesa. Os pontos estão sendo monitorados por meio da combinação do método dos pinos e do método de perfilagens sucessivas. As taxas de erosão média mensal foram relativamente baixas, sendo que o conjunto a jusante (Floresta e Japonesa) foi ligeiramente mais elevado, com 4,3 cm/mês, seguido do conjunto central (3,86 cm/mês), enquanto que o conjunto a montante registrou apenas 1,47 cm/mês. As margens estáveis (<1cm/mês) estão situadas em canais secundários, ou fora dos fluxos mais velozes. As margens com baixa (de 1 a 5 cm/mês) e média (de 5 a 10 cm/mês) erosão não possuem situação clara, e as margens com altas taxas de erosão (mais de 10 cm/mês) estão todas situadas em locais de alta velocidade de fluxo. Os dados hidrológicos mostram que o conjunto de barragens eliminou os débitos baixos, o que contribui para a elevação dos índices de erosão anual. Por outro lado, o enchimento de Porto Primavera cortou a ocorrência das cheias, e a restrição de débito imposta pela crise de energia contribuem para a redução das taxas erosivas. A operação do reservatório de Porto Primavera proporcionou uma variação de débito considerável durante o dia, com diferenças de 20 cm a mais de um metro entre o período da manhã e o início da noite. Uma das consequências deste fenômeno é o aparecimento de orifícios circulares nas margens, que são decorrentes de “pipping”, provocado por mudanças rápidas no nível da água. Mesmo as margens argilosas estão sendo afetadas por este processo, e ainda não há metodologia desenvolvida para a quantificação de seus efeitos.

Introdução

As atividades desenvolvidas nos anos de 2000 e 2001 estiveram centradas na avaliação dos impactos da formação do reservatório de Porto Primavera sobre o meio físico relativos. A atenção principal esteve voltada a aspectos da

dinâmica fluvial como os efeitos sobre o débito fluvial, sobre as áreas inundáveis, sobre o transporte de sedimentos, e a erosão marginal. Além disso as atividades relativas à reconstrução da história do rio Paraná foram mantidas, principalmente em termos de identificação de paleo-climas.

As diversas abordagens para a avaliação dos impactos utilizaram diferentes metodologias, embora todas elas tenham partido do princípio de que a avaliação dos impactos necessitaria de referencia de informações anteriores ao barramento.

Os dados referentes ao débito fluvial foram estudados por Paulo César Rocha (doutorando) e por Eder Comunello (mestrando), como apoio para seus trabalhos referentes ao estudo do sistema anastomosado do canal do Curutuba, e à elaboração de modelos de inundação do sistema, respectivamente. Os estudos sobre transporte de sedimentos foram realizados por Jéferson Queiroz Crispim e José Antonio da Rocha como parte dos trabalhos de campo para a elaboração de suas dissertações de mestrado. E por fim, os trabalhos sobre erosão marginal foram desenvolvidos por Geraldo Terceiro Corrêa como tema de sua tese de doutorado, e por Aracy Elaine Teixeira, Edilaine Valéria Destefani, e Patrícia de Luca Lima, em projetos de iniciação científica, co-orientadas por Paulo César Rocha.

Outra atividade desenvolvida diz respeito à verificação da confiabilidade do uso de sensores orbitais (TM) para a avaliação da cobertura vegetal, que constituiu o tema da dissertação de mestrado de Clélia Franco, com a participação

de Cristiano Abram Pimentel como bolsista de iniciação científica, mas os resultados deste trabalho ainda não estão disponíveis

Resultados

AS VARIAÇÕES DO DÉBITO FLUVIAL

A avaliação da influência das barragens situadas a montante sobre o débito fluvial foi avaliada com base em Richter *et al.* (1997), que contempla as diferenças entre a magnitude, a frequência, a periodicidade, a duração e taxa de alteração da vazão entre um período sem influência de barragens (período natural, anterior a 1972), um período em que a maior parte das barragens estavam sendo instaladas (período de transição, entre 1972 e 1982) e o período posterior à formação da maior parte dos reservatórios (após 1982). Os dados utilizados são provenientes das estações fluviométricas de Guaíra e de Porto São José.

As primeiras avaliações a respeito são provenientes de Rocha *et al.* (1994) e estão ilustradas na Figura 1. A referida Figura mostra que o conjunto de barramentos provocou um aumento na incidência de fluxos médios e uma diminuição na de fluxos baixos, o que modifica a amplitude da variação hidrológica anual.

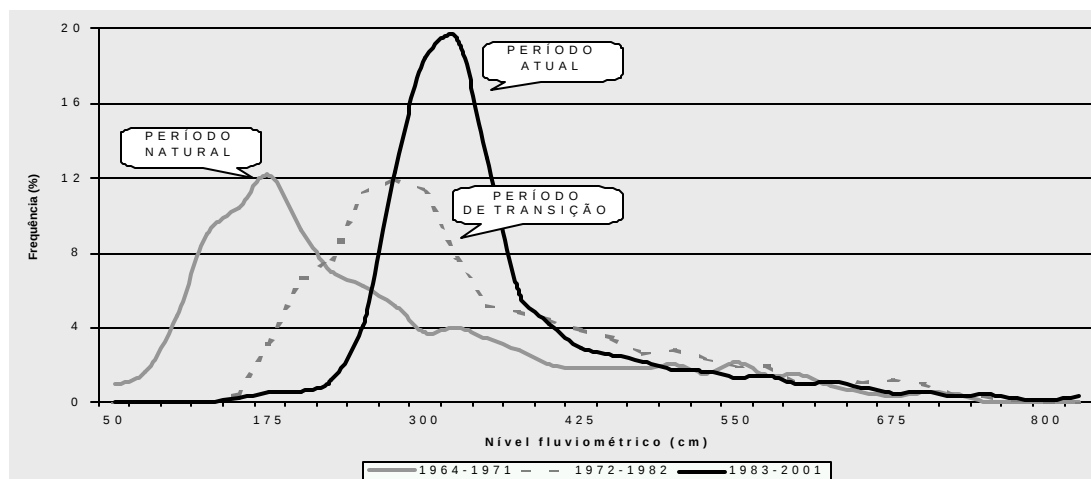


Figura 1: Frequência dos débitos fluviais em diferentes períodos de tempo (Comunello, 2001)

O fechamento de Porto Primavera complicou um pouco mais o quadro do sistema a partir do final de 1998, pois a formação do reservatório ocorreu em duas fases, no período de chuvas 1998-1999, e no período 2000-2001. Nestes dois intervalos o sistema foi privado de sua cheia natural pela barragem, e no período 1999-2000, o regime de chuvas teve baixa

intensidade. Os níveis fluviométricos que ocorreram desde 1999 estão ilustrados na Figura 2, e demonstram a inexistência de débitos com nível acima de 500 cm no período e a ocorrência de débitos com níveis inferiores a 200 cm apenas em abril de 2001, em plena crise de energia.

Níveis fluviométricos diários em Porto São José

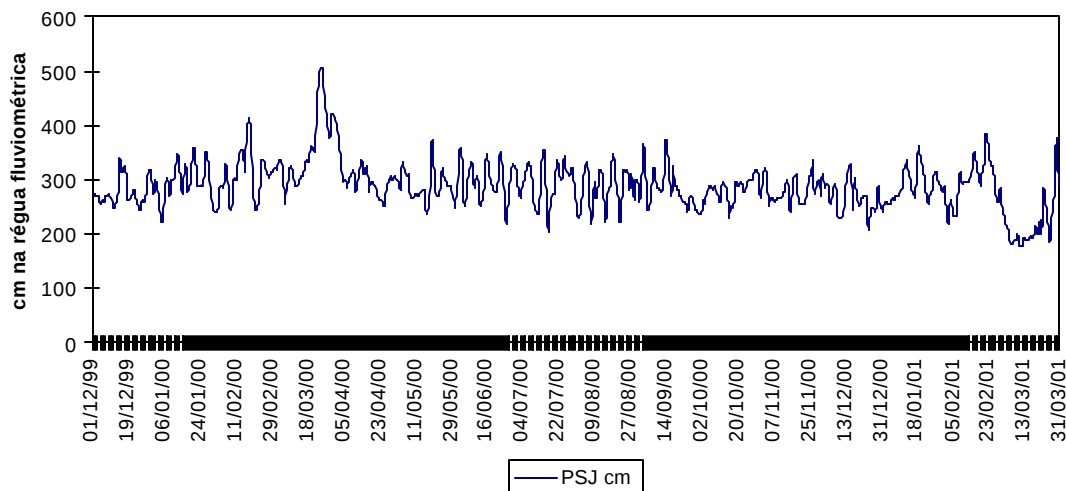


Figura 2: Níveis fluviométricos diários em Porto São José após o fechamento da UHE Porto Primavera

A análise da magnitude dos débitos foi realizada por meio do cálculo da média das médias mensais de todo o período com registro em Porto São José. A Figura 3 sintetiza os resultados obtidos, e demonstra a diminuição das vazões baixas, a elevação das médias mais elevadas, e o deslocamento temporal dos débitos mais altos. A influência mais significativa pode ser observada nas médias de agosto e setembro, que passaram de 4000 m³/s, para 8000 m³/s, ou seja, de 110 cm na régua fluviométrica para 302 cm.

As modificações da frequência e duração dos débitos foram estudadas pela análise da

distribuição dos valores dos débitos do período natural. Foram utilizados o conjunto de valores situados no quartil inferior (vazões baixas) e o conjunto do quartil superior (vazões altas), calculado a média de ocorrência anual, e a duração média de cada evento.

Os resultados estão apresentados na Figura 4, e como pode ser observado o número de eventos de alto débito aumentou de pouco mais de dois por ano para sete, enquanto a duração média de cada evento diminuiu de mais de quarenta dias para pouco mais de vinte dias. No caso das vazões baixas a alteração foi drástica, uma vez que sua ocorrência não foi mais registrada desde 1972, no início do período de transição.

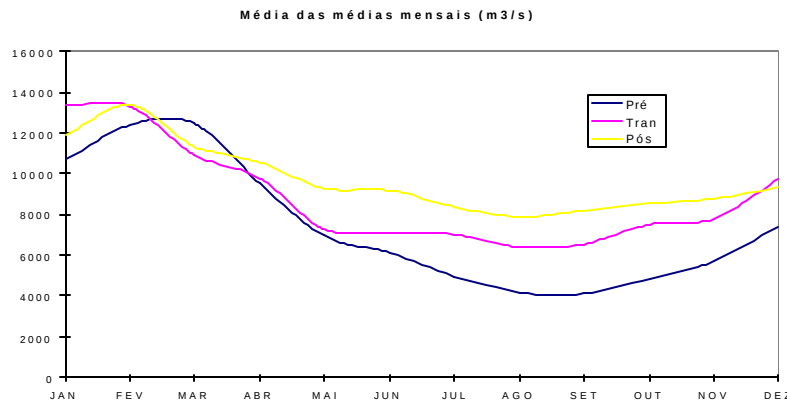


Figura 3: Média das médias mensais dos períodos anteriores aos barramentos, do período de implantação da maioria das barragens, e do período posterior ao fechamento da maioria delas (Rocha et al, em prep.)

A alteração da duração dos débitos foi avaliada a partir da observação dos eventos extremos com duração de um, três, sete, trinta, e noventa dias. A Figura cinco exibe os resultados obtidos, e demonstra que as vazões mínimas tornaram-se duas vezes maiores após a construção das barragens, e que as vazões máximas também se tornaram mais elevadas, embora o incremento não tenha a mesma significância. O débito mínimo de um dia equivalia a 60 cm na régua fluviométrica, e hoje equivale a 2,18 cm, enquanto que o débito máximo equivalia a 595 cm e passou para 643 cm.

A análise apresentada demonstra que a amplitude anual dos níveis hidrométricos foi diminuída por meio da eliminação dos débitos de valores mais baixos, e que a instalação de Porto Primavera proporcionou também a eliminação dos valores mais altos. Além disso, a frequência da ocorrência de ondas de cheia aumentou, embora a duração de cada evento tenha diminuído. Essas modificações têm repercussão em outros fenômenos fluviais tais como a área abrangida pelas cheias, a erosão marginal, e outras variáveis conforme será visto a seguir.

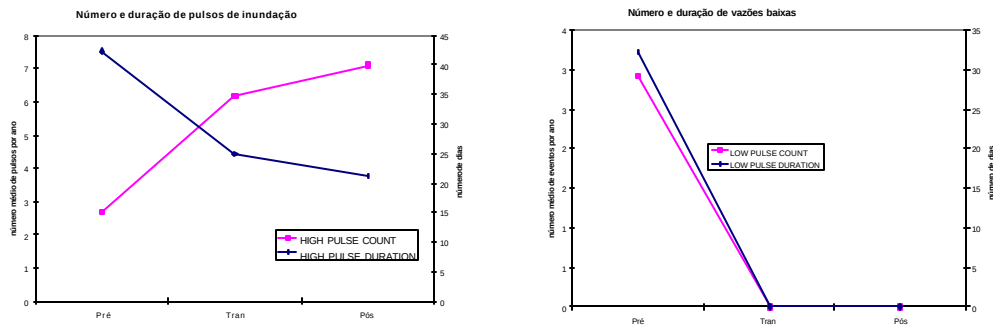


Figura 4: Frequência média anual e duração dos eventos de vazão mais elevada e de vazão mais baixa, considerando-se o período anterior às barragens, de acordo com Rocha *et al.* (em prep.)

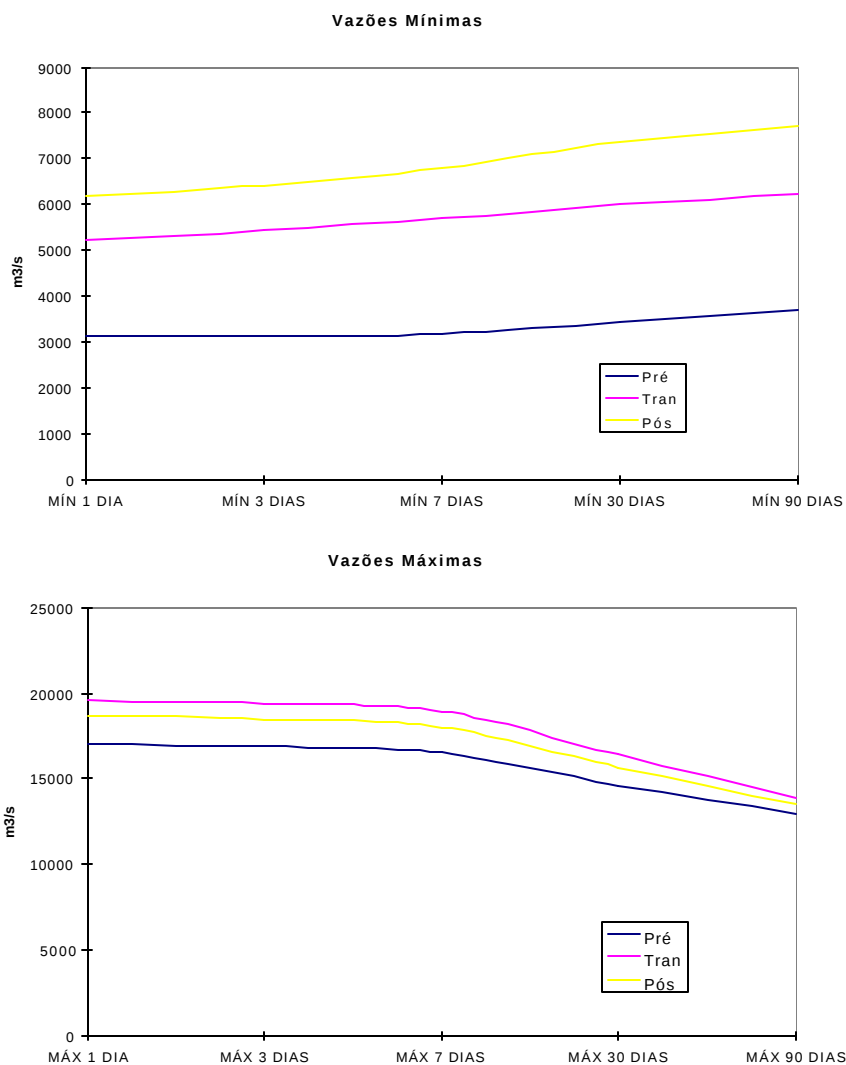


Figura 5: Valores de débito de eventos extremos com diferente duração, de acordo com Rocha *et al.* (em prep.)

A abrangência das cheias

O estudo da abrangência das cheias foi realizado na área compreendida pela parte baixa do rio Baía, o canal do Curutuba e parte do rio Ivinheima (Figura 6), e foi desenvolvido por Comunello (2001).

O objetivo inicial foi o de estabelecer quais as áreas sujeitas à inundação em diferentes níveis fluviométricos do rio Paraná, uma vez que este rio era considerado como o responsável pela inundação da planície, e pela conexão dos corpos lânticos ao sistema lótico.

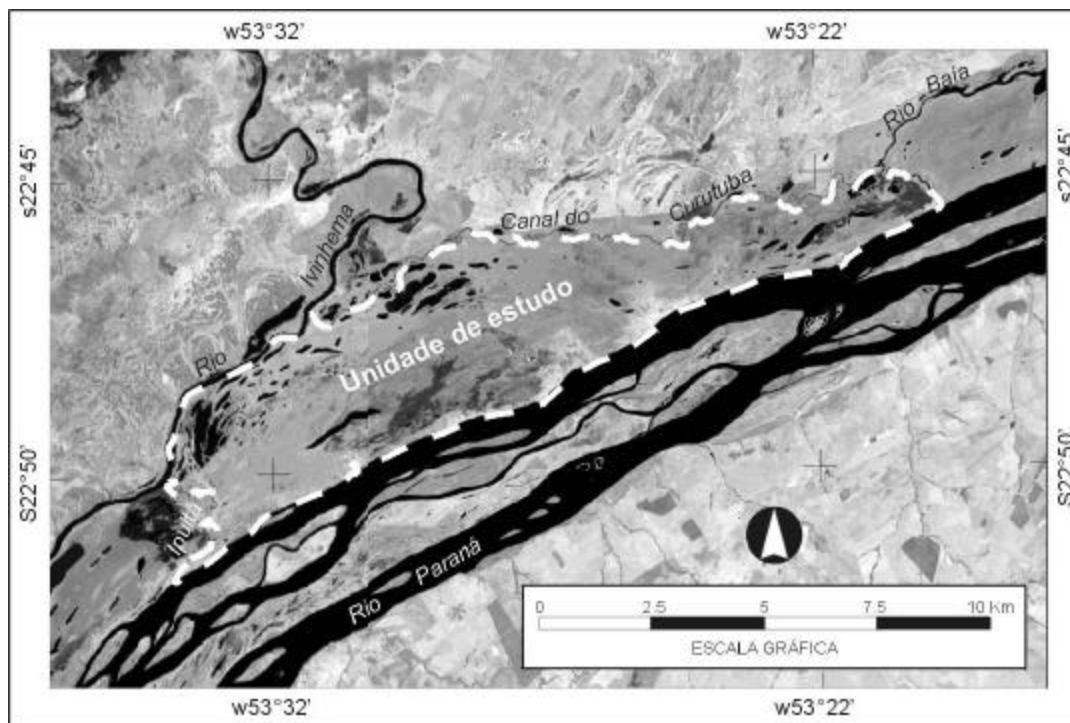


Figura 6: Localização da área estudada para a verificação da abrangência das cheias (Comunello, 2001)

Tal tipo de investigação poderia ser realizado de duas formas distintas: pela construção de um modelo digital do terreno a partir de dados planialtimétricos, e/ou por meio da utilização de imagens orbitais para definir áreas alagadas em diferentes datas com níveis fluviométricos distintos.

A construção do modelo digital do terreno foi realizada por meio da digitalização de mapas planialtimétricos 1:40.000 (FURNAS) e 1:100.000 (DSG) em ambiente SPRING, e o modelo foi gerado com a utilização do programa SURFER, os detalhes do procedimento estão disponíveis em Comunello (2001). O resultado não foi adequado ao objetivo porque a base cartográfica existente dispõe de curvas de nível com equidistância de cinco metros, intervalo superior à amplitude da maior parte das formas presentes na planície. Além disso a utilização de

pontos cotados não permitiu reproduzir satisfatoriamente o relevo da planície porque este é muito complexo. O modelo obtido está exposto na Figura 7, e como pode ser observado não permite a utilização para a modelagem de áreas alagadas.

A representação tridimensional obtida pode ser utilizada para ilustrar as características geomorfológicas gerais da área, ou seja, o sistema de relevo mais entalhado existente na margem esquerda, e o sistema suavemente escalonado da margem direita. Os aspectos do relevo da planície não são observáveis, como pode ser verificado por meio da comparação com a Figura 8, e desta forma não é possível a realização de simulações das áreas inundáveis a partir de níveis fluviométricos aplicados a este modelo tridimensional uma vez que ele não representa a realidade da planície.

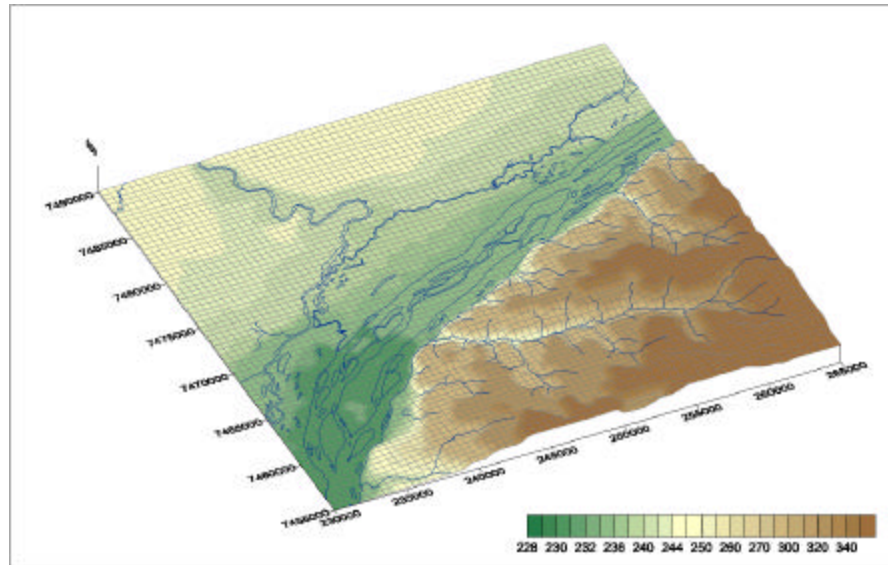


Figura 7: Modelo digital da planície do rio Paraná (Comunello & Souza Filho, 2001)

A representação tridimensional das formas da planície exigiria uma alta densidade de pontos cotados. Estes pontos poderiam ser obtidos por meio de levantamentos topográficos ou por fotogrametria. Entretanto o

custo de uma topografia de detalhe nesta área seria muito elevado, e a fotogrametria convencional tem dificuldades para ser aplicada face à cobertura vegetal que impede a obtenção de valores altimétricos confiáveis.

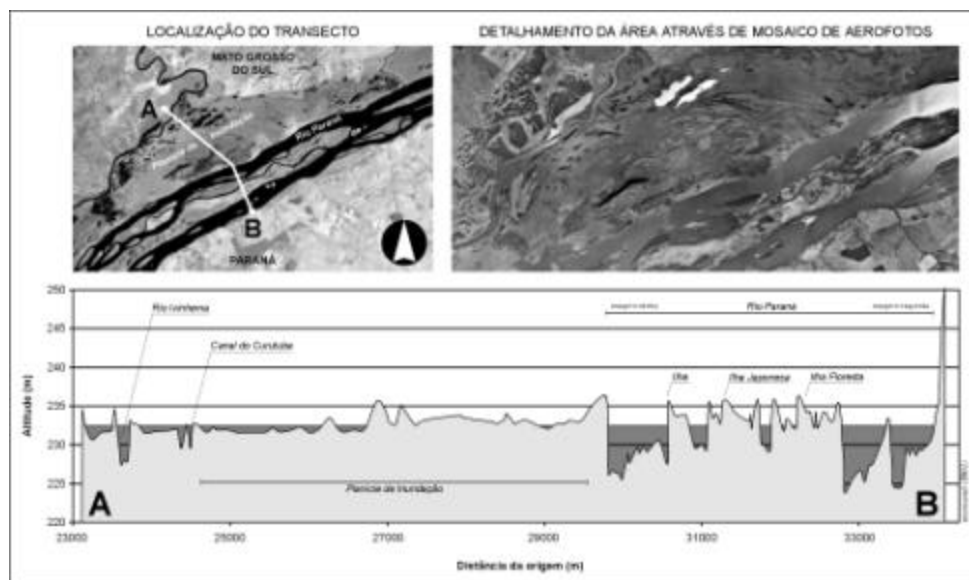


Figura 8: Representação da topografia da planície fluvial do rio Paraná

O tratamento de imagens orbitais forneceu informações mais adequadas aos objetivos iniciais. Foram utilizadas 12 cenas que compreendem o período de 1997 a

1999, todas com diferentes níveis fluviométricos do rio Paraná ou do rio Ivinheima. As características das cenas estão apresentadas na tabela 1.

Tabela 1 Cenas utilizadas para a avaliação da abrangência de cheias.

Data	Satélite	Sensor	Órbita	Ponto	Bandas	Mídia
10/02/1987	Landsat 5	TM	223	76	2, 4 e 5	Papel
17/01/1990	Landsat 5	TM	223	76	3, 5 e 7	CD
05/02/1991	Landsat 5	TM	223	76	3, 4 e 5	Papel
30/01/1992	Landsat 5	TM	224	76	3, 4 e 5	Papel
15/02/1992	Landsat 5	TM	224	76	3, 4 e 5	Papel
15/06/1992	Landsat 5	TM	223	76	3, 4 e 5	Papel
05/04/1995	Landsat 5	TM	223	76	3, 4 e 5	CD
20/08/1996	Landsat 5	TM	224	76	3, 4 e 5	CD
22/12/1997	Landsat 5	TM	223	76	Todas	CD
26/08/1998	Landsat 5	TM	224	76	3, 4 e 5	CD
05/08/1999	Landsat 7	ETM+	224	76	Todas	CD
18/11/1999	Landsat 7	ETM+	223	76	Todas	CD

As cenas disponíveis foram georreferenciadas, importadas para o programa SPRING, onde foram pré-processadas (correção atmosférica, realce, composição colorida), e passaram por fatiamento de níveis, de acordo com o preconizado por Novo (1992). O produto obtido foi utilizado para interpretação visual com apoio de observação em fotografias aéreas, e as imagens foram relacionadas aos níveis fluviométricos apresentados pela estação de Porto São José (rio Paraná) e de Porto Sumeca (rio Ivinheima). Para assegurar que os níveis registrados no dia de obtenção de cada cena não representavam uma situação excepcional, cada um deles foi analisado dentro da sua respectiva série histórica, e todos representam situações que perduravam há pelo menos sete dias.

Dentre as cenas analisadas quatro delas retratam o sistema em condições de águas baixas (Figura 9) uma vez que os registros mostram que o rio Paraná e o rio Ivinheima estavam abaixo de seu nível médio.

Outras quatro cenas registram diferentes situações de cheia (Figura 10). Na Figura 10A, a área escura representa a água, e as partes claras

presentes na calha fluvial são as copas das árvores ainda emersas. Em 10B a cena mostra uma cheia relacionada ao rio Ivinheima (297 cm em Porto Sumeca, e 287 cm em Porto São José), onde as áreas inundadas estão com tons claros. A área afetada por este evento compreende a calha do rio Ivinheima, e a parte mais baixa da planície do rio Paraná compreendida entre o terço inferior do canal do Curutuba e o canal do Ipitã.

A cena 10C mostra uma área inundada (em tom escuro) próxima ao rio Baía, cuja causa não é clara, uma vez que o rio Paraná não pode ser o responsável porque na cena 9C esta área não está com água, embora o nível do rio seja mais alto. É provável que esta inundação seja devida a chuvas locais que elevaram o nível do rio Baía, mas isso não pode ser comprovado pela falta de dados hidrológicos ou de precipitação do subsistema Baía.

A cena 10D é similar àquela mostrada na cena 10B, embora mostre uma maior área afetada. O rio Paraná poderia ser responsabilizado pela cheia face ao nível apresentado; entretanto as áreas secas a

montante mostram que a planície não foi afetada por inteiro, e por isso é provável que a inundação tenha sido provocada pelo rio Ivinheima, que apresentava 409 cm, em Porto

Sumeca. Provavelmente o nível do rio Paraná tenha contribuído para a ampliação da área atingida porque seu nível pode ter dificultado o escoamento daquele subsistema.

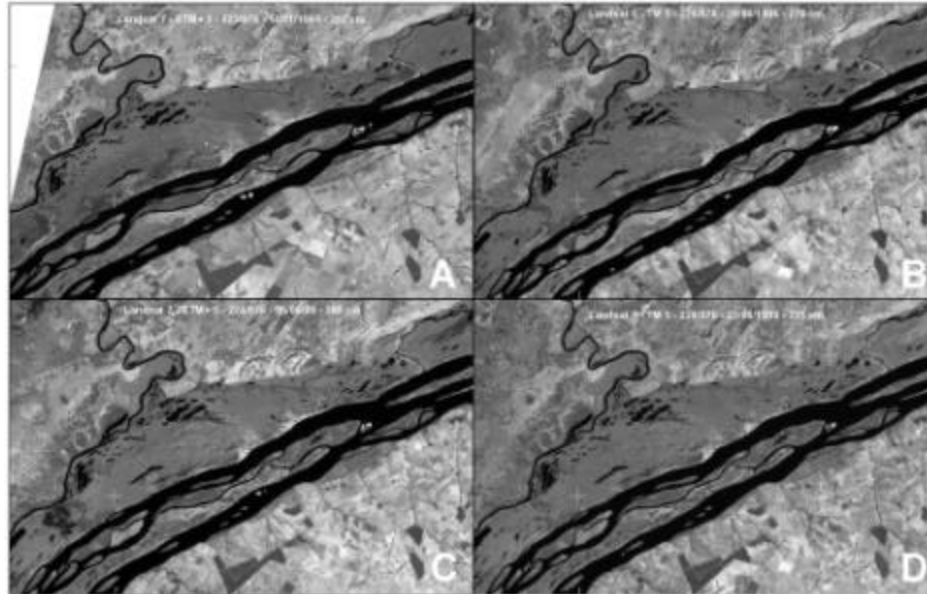


Figura 9: Imagens Landsat demonstrando a condição de vazante em diferentes níveis fluviométricos. A anotação de nível refere-se a Porto São José. (Comunello, 2001)

A comparação entre as áreas inundadas e os níveis fluviométricos do rio Paraná e do rio Ivinheima permitiu o estabelecimento de diversas situações existentes no sistema, conforme pode ser observado na Figura 11.

Os dados obtidos permitem a identificação de um sistema inundável complexo em que há dois conjuntos que além de serem inundados pelo rio Paraná apresentam outras influências. O conjunto a montante (subsistema rio Baía) aparentemente é afetado por precipitação local que afeta a bacia de drenagem do rio Baía, e a compreensão dos efeitos e abrangência deste fenômeno exige o monitoramento da precipitação local e/ou do nível do subsistema. O conjunto da parte média (subsistema Ivinheima) que inclui a metade jusante do canal do Curutuba é influenciado pelas cheias do rio

Ivinheima (chuvas de cabeceira) que podem ser minimizadas ou ampliadas de acordo com o nível do rio Paraná. A área afetada é controlada a montante por um degrau situado na parte média do canal do Curutuba, a jusante pelo canal do Ipitã, e em sua porção esquerda pelas áreas altas da planície, conforme ilustrado na Figura 8.

O subsistema do rio Paraná é controlado pelos níveis deste rio, que dependem das precipitações na bacia e da operação das barragens situadas a montante. As áreas inundáveis incluem as ilhas fluviais, os segmentos de planície situados na margem esquerda, e a porção da planície cortada pelo baixo rio Ivinheima, a jusante do canal do Ipitã. As cheias do rio Ivinheima não afetam este conjunto graças ao escoamento

proporcionado pelo referido canal, e também graças à presença de diques marginais

contínuos e bem desenvolvidos situados ao longo do rio Ivinheima.

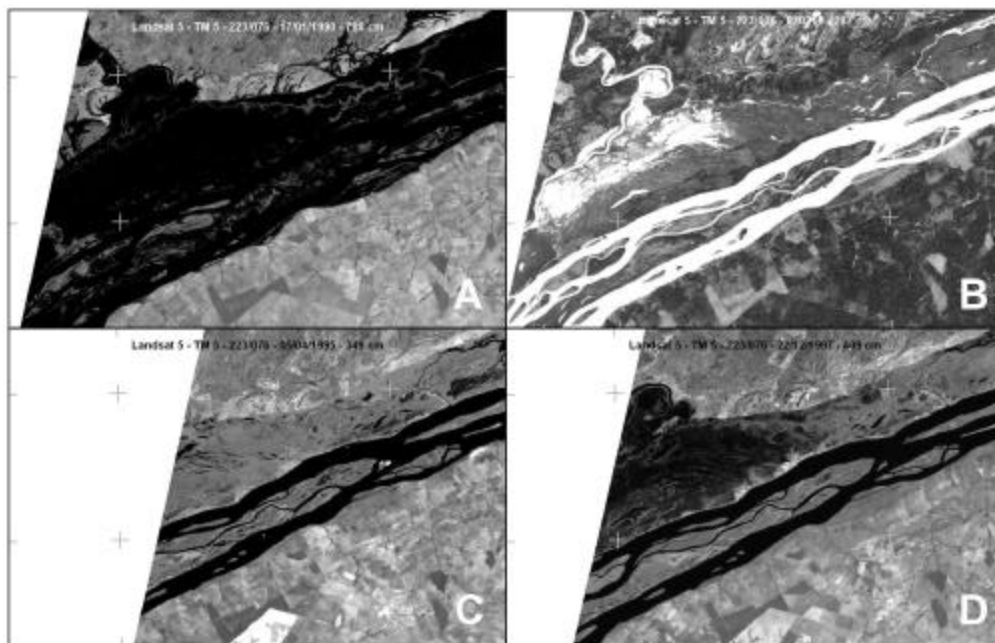


Figura 10: Imagens Landsat demonstrando diversas condições de cheia dos diversos canais do sistema. (Comunello, 2001)

A área inundável está sujeita à influência do regime de cheias do rio Paraná, parte dela depende também das cheias do rio Ivinheima, e parte pode ser influenciada pelas chuvas locais, que alimentam o rio Baía. A questão é que uma vez que os três subsistemas estão sujeitos a regimes de precipitação diferentes, é necessário conhecer quando e quanto cada um dos conjuntos influencia a área de inundação.

A avaliação do subsistema Baía ainda não é possível face ao problema já exposto. No caso dos demais subsistemas, a análise das séries históricas dos níveis fluviométricos considerando-se o nível de 450 cm em Porto São José e 275 cm no Porto Sumeca permitiu identificar a frequência em que os fenômenos

ocorrem de forma independente ou de maneira simultânea (Figura 12).

A utilização dos níveis fluviométricos citados permite avaliar a frequência com que os ambientes lânticos da planície são conectados. Os dados mostram que no período analisado todo o conjunto da planície esteve inundado em 16,6 % dos dias (no período entre dezembro e março), e que a área do subsistema Ivinheima esteve inundada outros 6,5 % dos dias a mais que o restante do sistema.

Outra questão que permanece é a forma pela qual ocorre a inundação da planície. A observação de uma sequência de cenas que mostram o rio Paraná com níveis hidrológicos diferentes permitiu identificar tal processo, como pode ser observado na Figura 13.

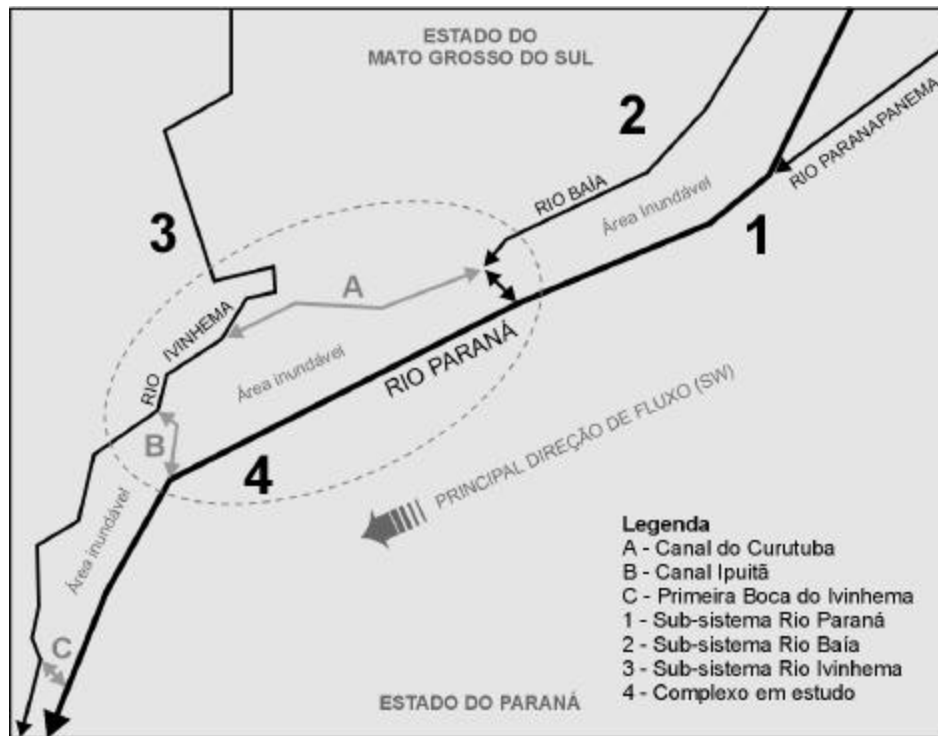


Figura 11: Sistema de fluxo no complexo fluvial em estudo (Comunello, 2001)

As cenas 13 A e B mostram que o rio Paraná adentra a planície pelo rio Baía e pelo canal do Curutuba e ao inverter este fluxo promove o barramento das águas dos dois sistemas que promovem a invasão gradativa das áreas mais baixas, até que quase toda a planície esteja coberta (cena 13D). A cena 13C mostra a dinâmica da inundação provocada pela cheia do rio Ivinhema, quando o rio Paraná encontra-se com nível acima da descarga média. A situação final pode ser observada na Figura 14, que apresenta o rio Paraná com débito superior ao de máximo perímetro úmido, ou seja, já havia coberto todas as áreas altas da planície.

A cena da Figura 14 mostra que mesmo com toda a planície inundada as águas definem faixas de domínio diferentes. Junto à margem esquerda há predomínio das águas provenientes do rio Paranapanema, junto à margem direita e a

montante há domínio das águas húmicas do rio Baía, e a jusante e junto à margem direita há domínio das águas mais ricas em carga suspensa do rio Ivinhema. Além disso pode ser observado que após um determinado nível a dinâmica do fluxo de água muda, e que em alguns locais as águas do rio Paraná possuem maior domínio sobre a planície (porções mais claras sobre a planície).

Os locais de entrada de água do rio Paraná são aqueles em que o dique marginal foi reduzido graças à erosão marginal, e provavelmente são as áreas mais sujeitas a aporte sedimentar. A referida cena mostra um instante de um processo que certamente é dinâmico, e que deve ser investigado, porque os corpos lênticos que estão sob domínio de cada um dos conjuntos hídricos podem apresentar características limnológicas distintas.

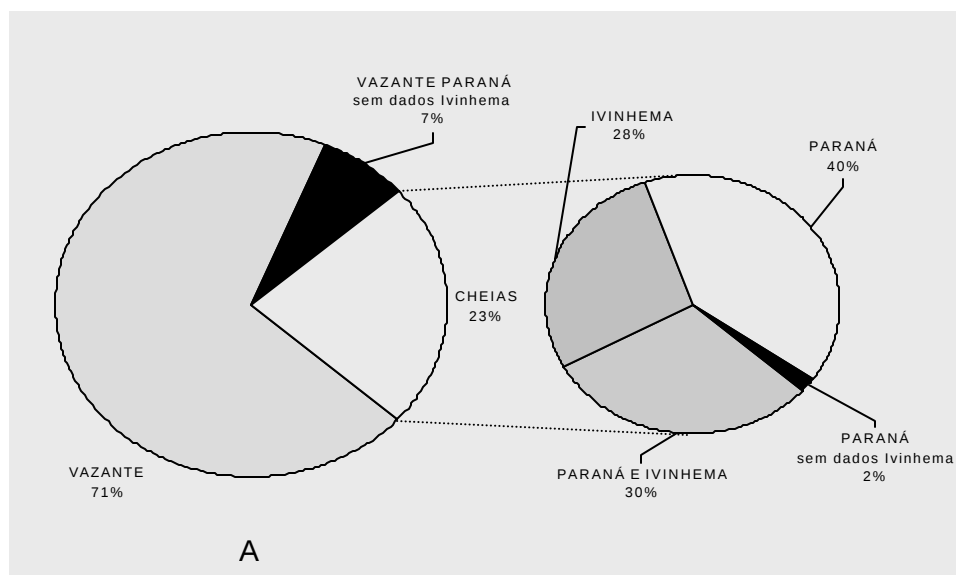


Figura 12: Frequência de cheias no sistema

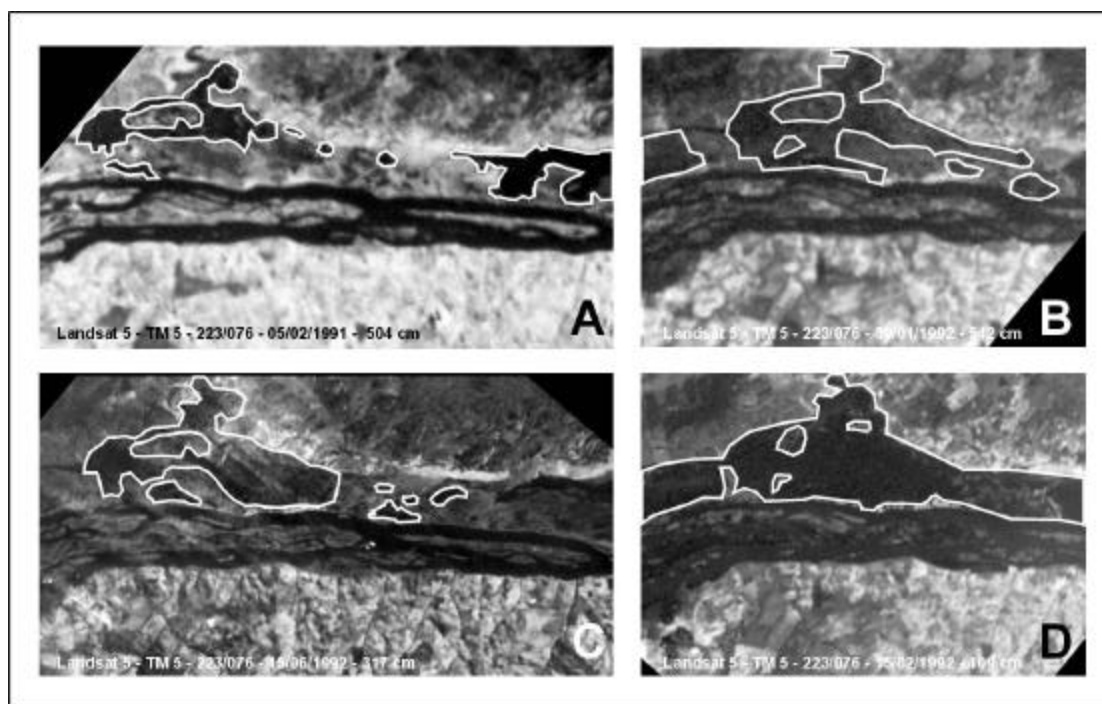


Figura 13: Imagens Landsat demonstrando seqüência provável de cheia

Para concluir, este estudo determinou que quando o rio Paraná encontra-se em 3,5 m na estação de Porto São José, as lagoas com alto grau de conexão são influenciadas por entrada de água passiva. Quando o rio chega a 4,6 m inicia-se o afogamento do rio baía e do rio Ivinheima, e a entrada passiva de água nas lagoas com menor grau de conexão ou separadas dos sistemas lóticos por meio de margens baixas. Quando o rio chega a 6,1 m, inicia-se o alagamento da planície por meio da entrada passiva de água pelas partes baixas das margens, e a interconexão dos corpos de água. Por fim, quando o rio chega a 7,0 m, ele ultrapassa os diques marginais e cobre toda a planície, e permite a existência de fluxos ativos sobre da. As cheias do rio Ivinheima e do rio Baía podem provocar alagamentos locais.

As modificações introduzidas pelos barramentos podem tornar mais comuns as inundações relacionadas ao rio Ivinheima porque a vazão média das cheias e as vazões mais baixas passaram a ter valores mais elevados, e porque as ondas de cheia tornaram-se mais frequentes. Por consequência, as conexões entre os corpos léticos e o sistema lótico podem ser mais frequentes, mas a duração delas deve diminuir.

No caso específico dos três últimos anos, a maneira com que foi realizada a formação do reservatório de Porto Primavera, fez com que houvesse diminuição do número de conexões. O advento da crise de energia, e a necessidade de recuperação dos reservatórios que foram depletados pode vir prolongar esta situação, e agravar os efeitos sobre a biota.

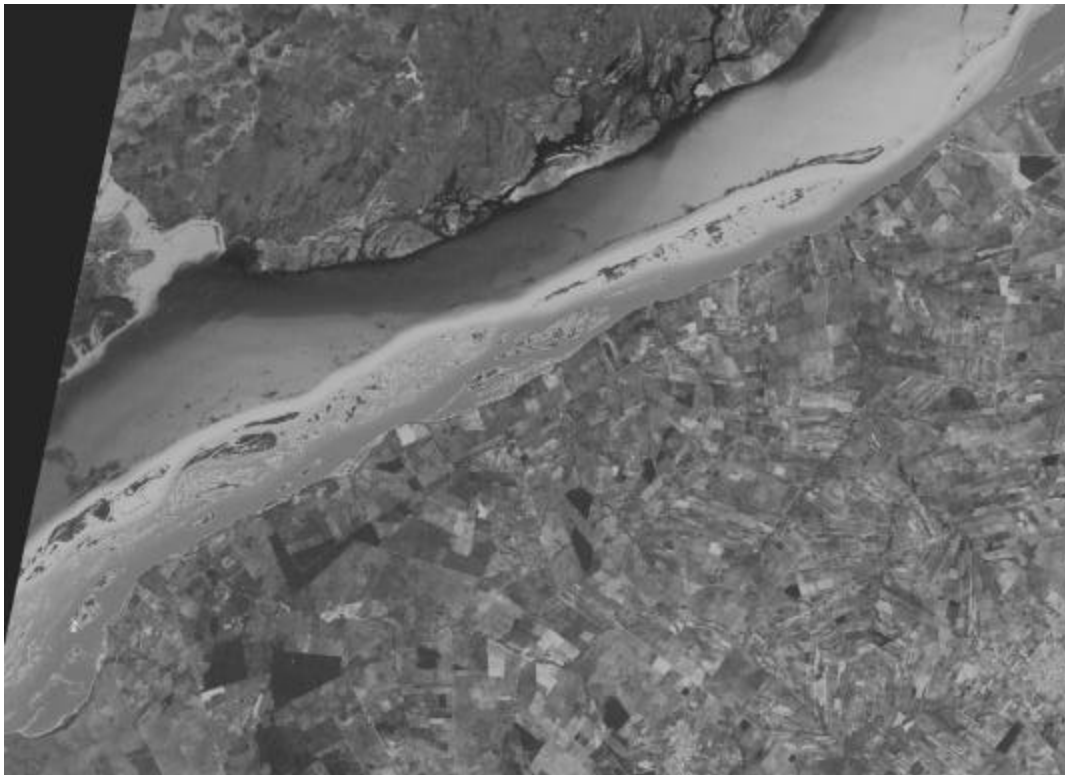


Figura 14: Imagem Landsat do rio Paraná em cheia com débito superior ao de margens plenas naturais

O transporte de sedimentos

Os estudos a respeito do transporte de sedimentos foram realizados em duas seções do rio Paraná, uma delas situada a cerca de seis quilômetros a jusante da barragem de Porto Primavera (Rocha, 2001), e outra a trinta, em Porto São José (Crispim, 2001). As duas seções foram escolhidas porque estão em segmentos de canal único, e porque a seção de Porto São José dispõe de dados da década de oitenta e de noventa. Os levantamentos foram realizados mensalmente em quatro pontos em cada seção, e foram coletadas amostras para avaliação da carga suspensa e da carga de fundo, além de medidas de velocidade de fluxo e de profundidade. As coletas foram realizadas entre fevereiro de 2000 e janeiro de 2001.

Os resultados obtidos na seção a montante (Rocha, 2001) demonstram que o canal possui

um talvegue principal com profundidade de nove metros situado na parte central e esquerda do canal (P2), e um talvegue secundário com cerca de sete metros na parte central e direita (P3) (Figura 15). Próximo à margem direita a profundidade é de cinco metros, e a porção esquerda é a mais rasa, com menos de um metro.

As coletas de sedimento de fundo demonstraram que os depósitos estão sendo removidos, e que o substrato está sendo exposto. A representação da granulometria dos sedimentos mostrado na Figura 17 mostra que o talvegue principal (P2) está desprovido de sedimentos, que o talvegue secundário (P3) apresentou a passagem ocasional de formas de leito isoladas, e que a parte lateral direita do canal (P4) possui formas mais contínuas em curso, mas ainda assim apresenta momentos em que está livre de sedimentos.

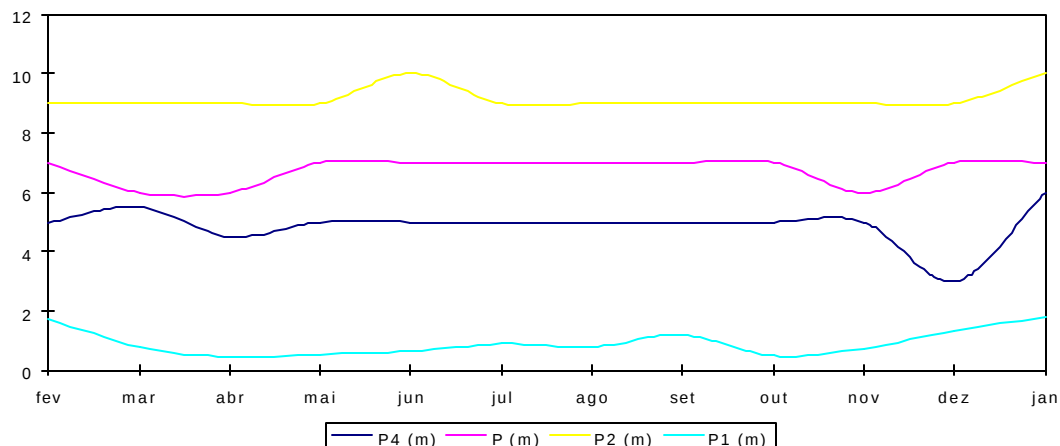


Figura 15: Variação da profundidade da seção a montante ao longo de um ano (Rocha, 2001)

A parte esquerda do canal (P1) é a única que possui sedimentos, mas isso ocorre porque ela está protegida por uma ilha situada a montante. As velocidades registradas mostram ocasionalmente valores suficientemente altos para propiciar a remoção das diversas granulações de areia existentes. Possivelmente

este local possa a vir mostrar sinais de remoção em futuro próximo. As velocidades de fluxo existentes na parte central e direita do canal são elevadas o suficiente para remover todos os sedimentos não consolidados, e provavelmente o aprofundamento do leito possa vir a ser verificado em coletas realizadas nos próximos anos.

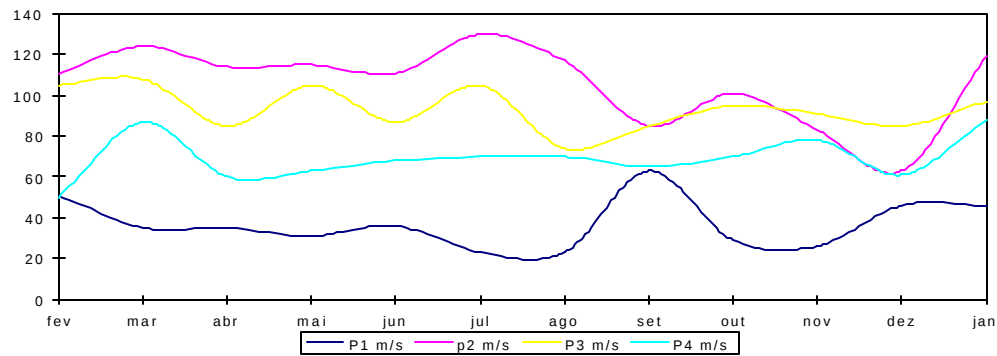


Figura 16: Variação da velocidade de fluxo na seção a montante ao longo de um ano (Rocha 2001)

As coletas de sedimento de fundo demonstraram que os depósitos estão sendo removidos, e que o substrato está sendo exposto. A representação da granulometria dos sedimentos mostrado na Figura 17 mostra que o talvegue principal (P2) está desprovido de sedimentos, que o talvegue secundário (P3) apresentou a passagem ocasional de formas de leito isoladas, e que a parte lateral direita do canal (P4) possui formas mais contínuas em curso, mas ainda assim apresenta momentos em que está livre de sedimentos.

A parte esquerda do canal (P1) é a única que possui sedimentos, mas isso ocorre porque ela está protegida por uma ilha situada a montante. As velocidades registradas mostram ocasionalmente valores suficientemente altos para propiciar a remoção das diversas granulações de areia existentes. Possivelmente este local possa a vir mostrar sinais de remoção em futuro próximo. As velocidades de fluxo existentes na parte central e direita do canal são elevadas o suficiente para remover todos os sedimentos não consolidados, e provavelmente o aprofundamento do leito possa vir a ser verificado em coletas realizadas nos próximos anos.

**Representação dos sedimentos de fundo na seção Porto Primavera
(0-1 sem sedimentos, 1-2 finos, 2-3 areia muito fina, 3-4 areia fina, 4-5 areia grossa)**

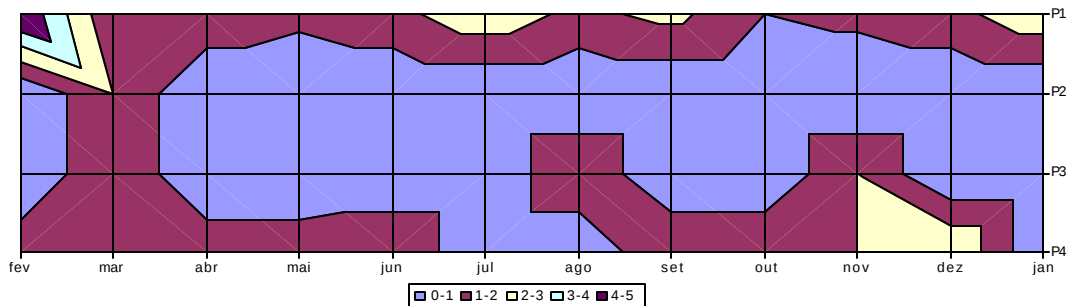


Figura 17: Representação esquemática da variação dos sedimentos de fundo ao longo de um ano (Rocha, 2001)

A amostragem dos sedimentos em suspensão demonstrou que a carga suspensa é muito baixa, com média anual de 0,95 mg/l. A distribuição temporal (representada na Figura 18) demonstra

que na maior parte do ano os valores encontrados em todos os pontos é inferior a 1,0 mg/l, e que apenas em março, outubro e janeiro os valores se elevam em todo o canal.

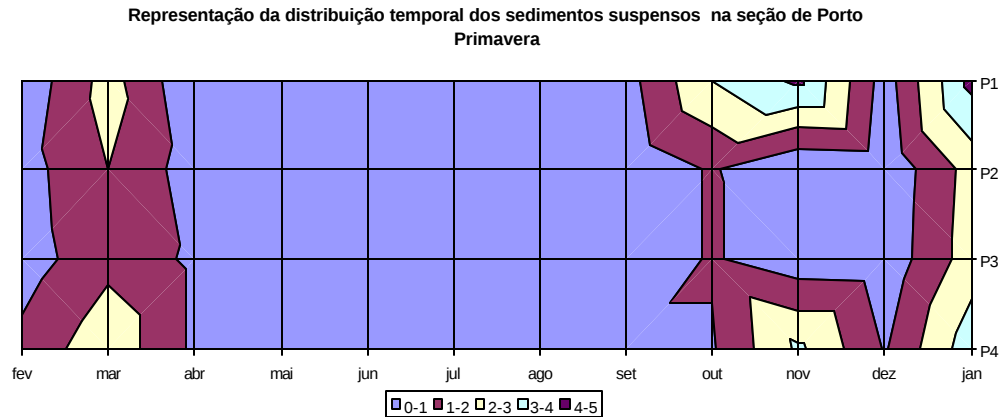


Figura 18: Representação da variação da carga suspensa ao longo de um ano (Rocha, 2001)

A distribuição da carga suspensa no canal também não é homogênea, uma vez que a porção marginal apresenta médias mais elevadas (1,3 mg/l em P1, e 1,2 mg/l em P4) que as áreas de talvegue (0,6 mg/l em P2 e 0,7 mg/l em P3). A Figura 18 demonstra esta situação nos meses

em que houve elevação da carga suspensa, e a Figura 19 mostra as relações em valores numéricos. Conforme pode ser observado na referida Figura, em apenas uma ocasião (maio) a carga suspensa do talvegue foi superior à das partes marginais.

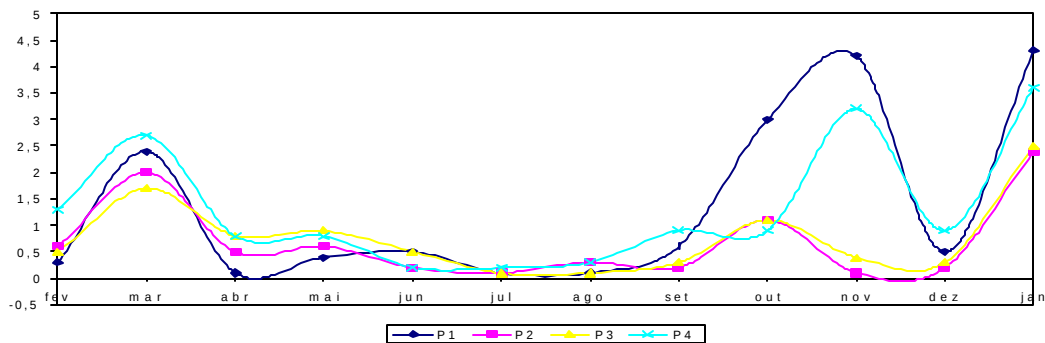


Figura 19: Variação temporal da carga suspensa ao longo de um ano

A variação espacial da carga suspensa pode ser devida à incorporação de sedimentos oriundos da erosão marginal. Neste caso a média dos valores de P2 e P3 pode representar os

sedimentos em suspensão oriundos da barragem, e os períodos de carga mais elevada devem representar fases em que a carga suspensa do reservatório está mais elevada. Sendo assim a

Figura 20 ilustra a variação temporal da carga suspensa que é liberada pelo reservatório.

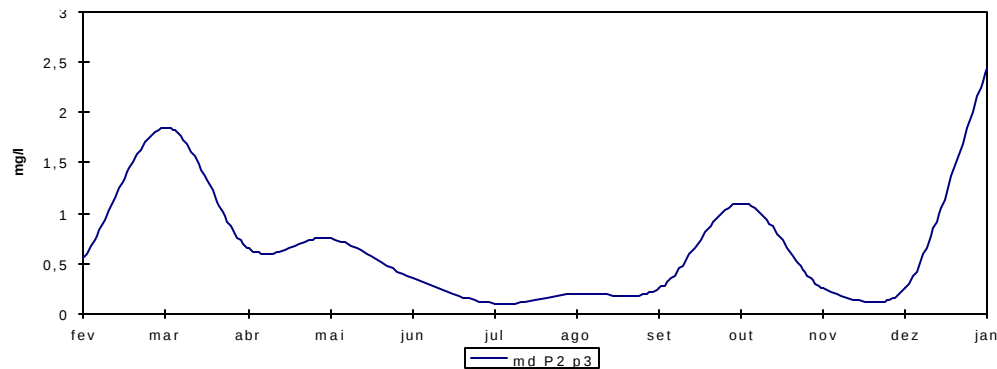


Figura 20: Variação temporal da carga suspensa média de P2 e P3 na seção de Porto Primavera

Se o raciocínio estiver correto, a diferença de valores de P1 e P4 em relação à média de P1 e P2 representa a quantidade de sedimentos incorporada pela erosão marginal no trajeto entre a barragem e a seção de amostragem. A Figura 21 representa, portanto a variação temporal dos sedimentos incorporados ao

sistema pela erosão da margem esquerda (P1) e da margem direita (P4). Os valores negativos apresentados em ambos os gráficos podem representar períodos em que a disposição da saída de água dos vertedouros tenha proporcionado baixas velocidades de fluxo na margem em questão.

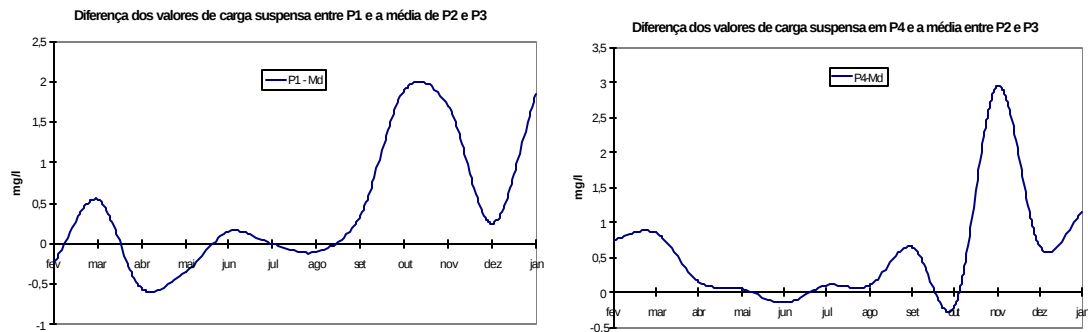


Figura 21 Variação temporal da diferença da concentração da carga suspensa de P1 e de P4 em relação à média entre P2 e P3, na seção de Porto Primavera.

Sendo assim, a relação entre a velocidade de fluxo e a carga suspensa deveria apresentar relação positiva. Entretanto se analisarmos a Figura 22 podemos verificar que há uma relação positiva entre as variáveis no período de maio a setembro em P1, e de fevereiro a maio, além de agosto a dezembro em P2, P3, e P4, embora não haja relação de proporcionalidade.

No caso do talvegue (P2 e P3) as relações obtidas podem ser explicadas pela disponibilidade de sedimentos no reservatório, sendo assim, no período seco a disponibilidade de sedimentos finos é menor, e mesmo que a velocidade de fluxo aumente, a carga não é modificada porque o leito não dispõe de sedimentos.

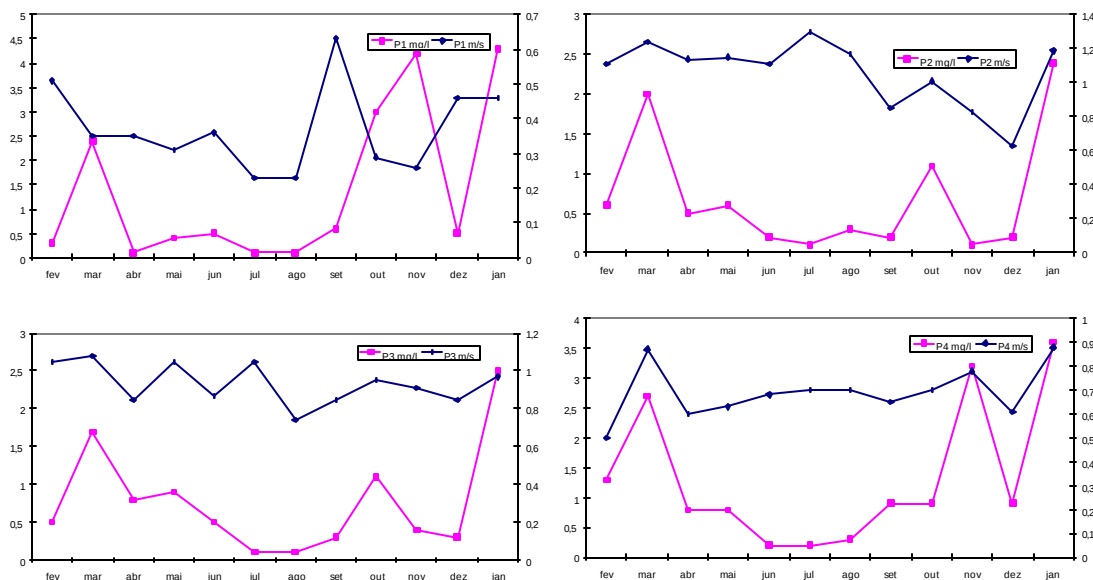


Figura 22 Relações entre a carga suspensa e velocidade de fluxo na seção de Porto Primavera (Rocha, 2001)

No caso das porções marginais a relação não é clara, porque a margem direita (P4) mantém o mesmo padrão apresentado pelos pontos do talvegue, mas a margem esquerda apresenta um quadro inverso, ou seja, a relação positiva ocorre no período mais seco. Os dados disponíveis ainda não são suficientes para explicar esta disparidade, e uma justificativa possível é que as velocidades de fluxo medidas nestes pontos não representam as velocidades que as margens a montante estejam submetidas, ou ainda pode ser que o quadro apresentado pela margem esquerda seja consequência da operação da eclusa. Outra disparidade encontrada é a que a variação temporal dos valores de concentração de sedimentos em suspensão não está relacionada às variações de profundidade, conforme pode ser observado pela comparação das Figuras 19 e 15, e também não está relacionada com as variações do débito fluvial do período, conforme ilustrada na Figura 23.

A referida Figura representa os valores de média mensal registrado na estação de Porto São, que está sob influência do rio Paranapanema. Ainda assim mostra apenas um

período de significativa elevação de nível (março), enquanto que a carga suspensa apresenta um aumento em março, outubro novembro e dezembro.

Neste caso, a disparidade é explicada pela segunda fase de enchimento do reservatório de Porto Primavera, cuja operação cortou as variações naturais do débito fluvial, mas não impediu a passagem parcial dos sedimentos provenientes da bacia. Isso pode ser observado pela observação das Figuras 19 e 17 que mostram os períodos de maior aporte de carga no sistema.

A seção de Porto São José foi monitorada entre janeiro de 2000 e janeiro de 2001, e a análise dos dados deve levar em conta a forte contribuição do rio Paranapanema, uma vez que sua foz encontra-se poucos quilômetros a montante. Os pontos de amostragem foram situados da seguinte forma: P1, nas proximidades da margem esquerda; P2, no talvegue principal; P3 em uma área mais rasa no centro do canal; P4 no talvegue secundário próximo à margem direita.

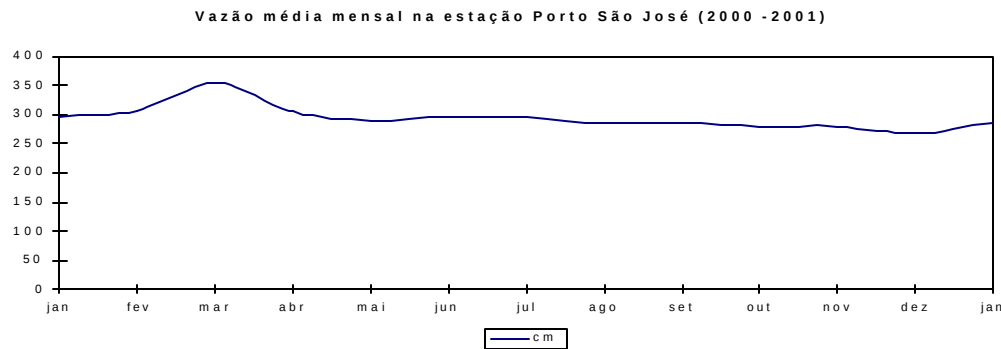


Figura 23: Nível fluviométrico mensal médio registrada em Porto São José

As velocidades de fluxo apresentadas são mais baixas que na seção a montante, e não ultrapassam um metro por segundo (Figura 24). As velocidades mais elevadas foram registradas nos dois talvegues (P2 e P4), e as mais baixas na parte próxima à margem esquerda (P1), com exceção do mês de dezembro, em que este ponto apresentou o maior valor do conjunto.

As discrepâncias entre as velocidades dos pontos de talvegue (fevereiro, agosto e dezembro) provavelmente estejam relacionadas à passagem de formas de leito, e o aumento de velocidade apresentada por P4 em dezembro deve estar relacionada a operação da barragem de Rosana, que controla o débito do rio Paranapanema.

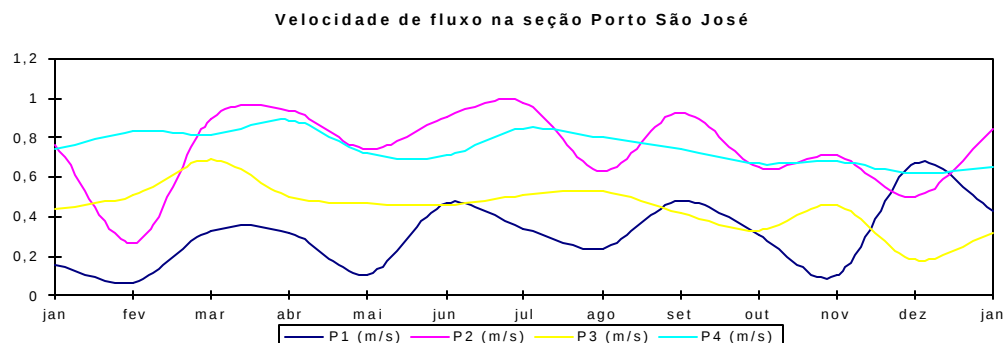


Figura 24 Variação temporal da velocidade de fluxo na seção de Porto São José (Crispim, 2001)

Os sedimentos de fundo foram investigados por meio de amostragem do leito e por perfis ecobatimétricos, à semelhança do trabalho de Stevaux *et al.* (1995). Nesta seção todo o leito está coberto por sedimentos dispostos em formas de tamanhos diferentes, que são ondas de areia, pseudo-dunas, mega ondulações e ondulações, com amplitude de 13 a 0,3 metros, iguais às descritas por Stevaux (op. cit). As

diferenças foram encontradas no tamanho dos grãos, que demonstraram afinamento sucessivo ao longo do período de amostragem, variando de areia fina para muito fina.

Os sedimentos em suspensão ocorrem em valores significativamente mais elevados do que em Porto Primavera, e mostram elevações de concentração em janeiro, março e abril, outubro, e em dezembro (Figura 25). Os valores de P1

estão relacionados ao rio Paranapanema, os de P2 podem ter ou não a contribuição das águas deste rio, e os de P3 e P4 representam o rio

Paraná livre desta influência. A abrangência dos efeitos das águas do rio Paranapanema pode ser observada na Figura 14.

Representação da variação temporal da carga suspensa na seção Porto São José

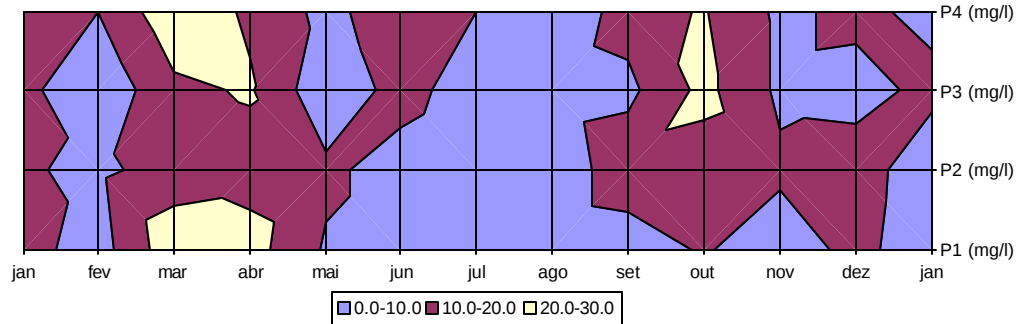


Figura 25 Distribuição dos valores de concentração de carga suspensa (mg/l) ao longo do ano na seção Porto São José

Os valores numéricos da seção mostram que o talvegue do lado direito (P4) apresentou maior concentração de carga suspensa (13,11 mg/l), seguido da parte central (P3, com 10,61 mg/l), e do talvegue principal (P2, com 10,30 mg/l), e a menor concentração foi apresentada pela margem esquerda (P1, com 9,52 mg/l). As variações mensais estão expressas na Figura 26.

Os valores mais baixos estão relacionados à contribuição do rio Paranapanema, e é provável que tais valores resultem dos sedimentos incorporados pelos processos erosivos marginais, mas não é possível afirmar com certeza, porque o segmento próximo à barragem de Rosana não foi monitorado, e porque a porção final do rio encontra-se sujeita à intensa exploração mineral do leito (extração de areia).

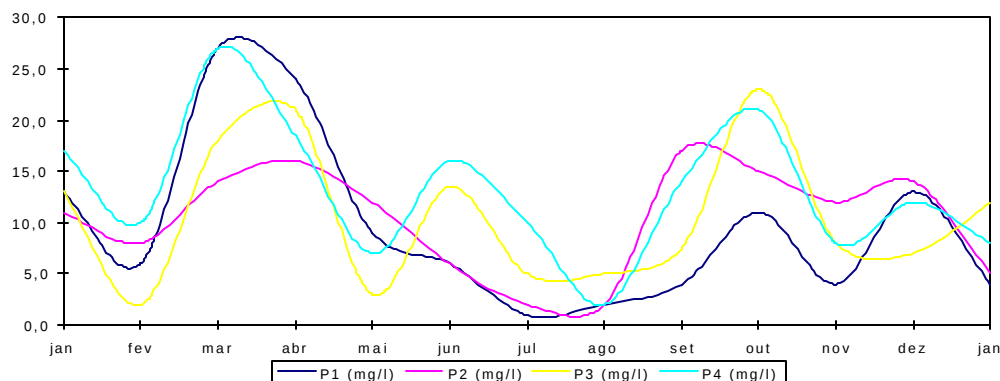


Figura 26 Variação temporal da concentração de carga suspensa (mg/l) na seção de Porto São José (Crispim, 2001)

Os valores apresentados pelos pontos P3 e P4 são resultantes da incorporação de sedimentos das margens. Neste caso a afirmação é segura visto que os valores apresentados na seção de montante são muito mais baixos do que os apresentados em Porto São José, e porque não há outra fonte de sedimentos para incorporar carga suspensa ao sistema, a não ser as margens e o leito, mas este último dispõe de sedimentos arenosos, com baixos valores de finos.

Os dados de sedimentos em suspensão obtidos no período de 1988 e 1989 (ITAIPÚ BINACIONAL, 1990) mostram que a concentração média da carga suspensa variava de 10 mg/l (dezembro de 1988) a 30 mg/l (novembro 1988), para uma média anual de 24 mg/l. Nesta época os valores mais baixos ocorreram apenas nos meses de maior descarga, graças à diluição da carga suspensa (Stevaux, 1993).

O quadro atual mostra uma variação entre 2,8 mg/l (agosto) e 21,5 mg/l (março), para uma média anual de 10,9 mg/l, o que indica que as barragens de Porto Primavera e de Rosana além de diminuir significativamente a carga suspensa, alteraram também o período de maior concentração, que passou a ser o de maior débito.

Esta última conclusão reforça a idéia de que a maior parte da carga está sendo incorporada pela erosão marginal, e os dados de ambas as seções permite estimar o tamanho do segmento fluvial necessário para que a carga suspensa atinja os valores existentes antes do fechamento de Porto Primavera.

Para fazer este cálculo é necessário assumir que os valores dos pontos P2 e P3 da seção a montante representam a carga liberada pelo reservatório de Porto Primavera, que os pontos P1 e P4 registram a carga incorporada pela erosão nos seis quilômetros entre a barragem e a seção, e que os pontos P3 e P4 da seção Porto São José registram os dados da carga incorporada pela erosão marginal nos trinta

quilômetros existentes entre as duas seções.

Assumindo estas afirmativas podemos afirmar que as águas que saíram de Porto Primavera possuíam 0,7 mg/l de carga suspensa, e na seção a montante passaram a ter 1,4 mg/l, tendo ganhado 0,7 mg/l em seis quilômetros. Na seção a jusante, a parte sem influência do rio Paranapanema apresentou 11,9 mg/l no período, ou seja, um ganho de 10,5 mg/l em trinta quilômetros.

Se considerarmos os valores extremos, a incorporação máxima ocorreu em novembro na parte a montante (2,3 mg/l) e em outubro no segmento seguinte (20,5 mg/l), enquanto que a incorporação mínima ocorreu em maio nos seis primeiros quilômetros (0,02 mg/l) e em agosto nos trinta quilômetros subsequentes (3,3 mg/l).

Desta forma podemos considerar que para que o rio venha a atingir os níveis de carga suspensa existentes antes do barramento seriam necessários pelo menos mais sessenta quilômetros de percurso, considerando-se os valores médios. Entretanto, o mecanismo de incorporação de carga suspensa por meio da erosão marginal não corrige a distribuição sazonal, porque as taxas de erosão aumentam conforme o aumento da velocidade de fluxo, e esta aumenta na razão direta do aumento do débito.

Pelo exposto, a maior incorporação de carga deve ocorrer quando os débitos forem maiores, e a situação anterior era inversa, porque o aumento da quantidade de água proporcionava a diluição dos sedimentos suspensos. Outra conclusão implícita neste raciocínio está relacionada a um aumento nas taxas de erosão marginal, conforme será discutido à frente.

A erosão marginal

Os trabalhos de erosão marginal estão sendo desenvolvidos no segmento compreendido desde as proximidades da barragem de Porto Primavera (ilha Óleo Cru) até o arquipélago das ilhas Floresta e Japonesa. Os pontos estão sendo monitorados por meio da combinação do

método dos pinos e do método de perfilagens sucessivas, conforme descrito por Rocha & Souza Filho (1995).

O estudo do arquipélago das ilhas Floresta e Japonesa faz parte dos trabalhos de Corrêa (em prep.), e está sendo desenvolvido com a utilização de 19 pontos de amostragem, cujo acompanhamento foi iniciado em outubro de 1999.

O estudo da parte a montante faz parte dos trabalhos de Teixeira (em prep.), conta com cinco pontos de amostragem e teve as observações iniciadas em janeiro de 2001. O segmento intermediário compreende as ilhas Cariocas, a ilha Mutum e a ilha Porto Rico, faz parte dos trabalhos de Destefani (em prep.), e tem onze pontos de observação que estão sendo acompanhados desde outubro de 2000.

O segmento superior e o inferior não dispunham de monitoramento prévio, e por isso não possuem referência para comparação,

entretanto, a parte central, foi alvo de estudos por parte de Fernandez (1990) que monitorou a erosão marginal naquelas ilhas por pouco mais de dois anos ao final da década de oitenta. Os resultados que serão apresentados referem-se aos dados coletados até agosto de 2001, e as análises ainda são preliminares, porque os trabalhos ainda estão em andamento.

As taxas de erosão média mensal dos três conjuntos foram relativamente baixas, sendo que o conjunto a jusante (Floresta e Japonesa) foi ligeiramente mais elevado com 4,3 cm/mês, seguido do conjunto central registrou média de 3,86 cm/mês, enquanto que o conjunto a montante registrou apenas 1,47 cm/mês. Entretanto, a observação da Figura 27 permite observar que o conjunto situado no trecho superior apresentou valores de erosão ligeiramente superiores aos do segmento central, e que a diferença da média deve-se ao período de amostragem.

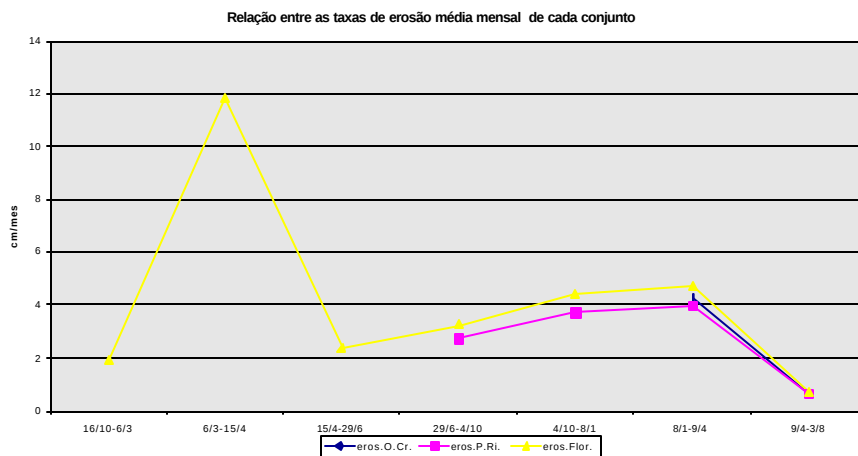


Figura 27 Taxa de erosão média mensal de cada conjunto estudado, e os respectivos períodos de coleta de informação.

Outra observação a respeito da Figura diz respeito à elevação da taxa de erosão entre março e abril, quando a taxa de erosão média mensal do conjunto apresentou uma significativa elevação de valor, atingindo quase 12 cm/mês. A explicação para este incremento pode ser

observada na Figura 28, que mostra as relações entre as vazões médias de cada período de amostragem e as taxas de erosão.

A Figura 28 demonstra que a elevação do débito proporcionou um significativo aumento da taxa de erosão, e que uma diminuição dos

valores da vazão reduziu sensivelmente a intensidade dos processos erosivos. A Figura 27 demonstra que esta queda ocorreu nos outros

dois conjuntos de forma simultânea e proporcional.

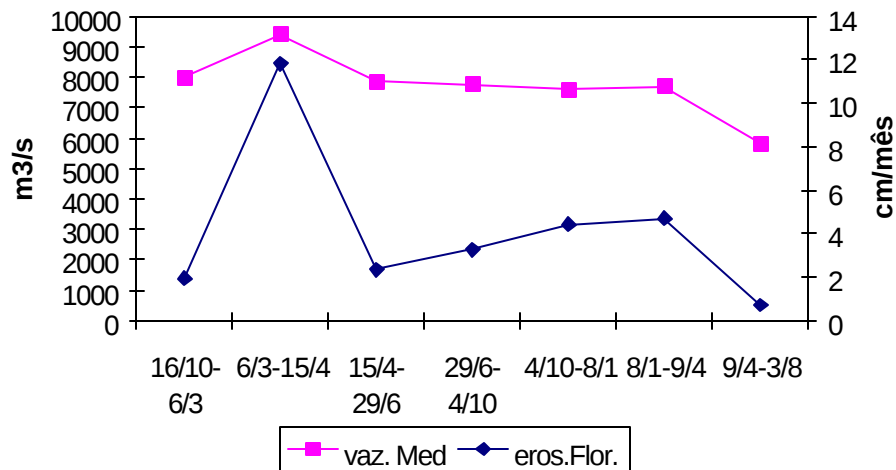


Figura 28 Valores da erosão média mensal e da vazão média diária em cada período de amostragem do arquipélago das ilhas Floresta e Japonesa

A relação positiva entre débito e taxa de erosão foi discutida por Rocha *et al.*(1999), e deve-se à relação direta entre débito e velocidade de fluxo em canais com fluxo livre. A velocidade de fluxo é o principal fator de controle das taxas dos processos erosivos marginais, e o aumento da vazão é acompanhado pelo aumento da velocidade de fluxo.

Esta afirmação pode suscitar dúvidas quando da observação da Figura 28, que mostra valores crescentes da taxa de erosão e valores ligeiramente declinantes dos valores de débito. A observação da Figura 29 confirma o exposto, uma vez que a variação diária dos débitos mostra um pico em março de 2000, e a diminuição dos valores no final do período. Algumas pequenas elevações nos valores do débito em fevereiro e abril de 2001 poderiam explicar as taxas de erosão ligeiramente mais elevadas no período entre janeiro e abril, entretanto o período outubro-dezembro (2000) mostra picos mais baixos do que os intervalos

abril-junho, e junho-outubro (2000), embora a taxa seja mais elevada.

A razão dessa discrepância pode estar relacionada a uma mudança do padrão de correntes imposta pela pequena cheia de março de 2000, ou ainda pelas variações diárias de nível impostas pela operação de Porto Primavera. A análise de ambos os tipos de informações está em andamento e deverá resolver a questão.

Os pontos de amostragem de cada conjunto mostraram uma considerável variabilidade quanto às taxas de erosão local, o que permitiu que as margens fossem classificadas em quatro classes, de acordo com os índices registrados. As classes são as seguintes: margens estáveis (menos de 1cm/mês), margens com erosão baixa (de 1 a 5 cm/mês), margens com erosão média (de 5 a 10 cm/mês), e margens com erosão alta (mais de 10 cm/mês). A distribuição dos pontos nestas classes está exposta na tabela 2. As margens estáveis do conjunto a jusante (arquipélago Floresta e Japonesa) estão todas

situadas em canais secundários, e desta forma estão protegidas dos fluxos mais velozes. As do segmento médio (arquipélago Mutum Porto Rico) estão afastadas do fluxo do talvegue principal, e as do conjunto a montante (ilha

Óleo Cru) foram monitoradas durante um período de águas baixas, no qual os processos erosivos ocorreram longe da área com os pinos de referência.

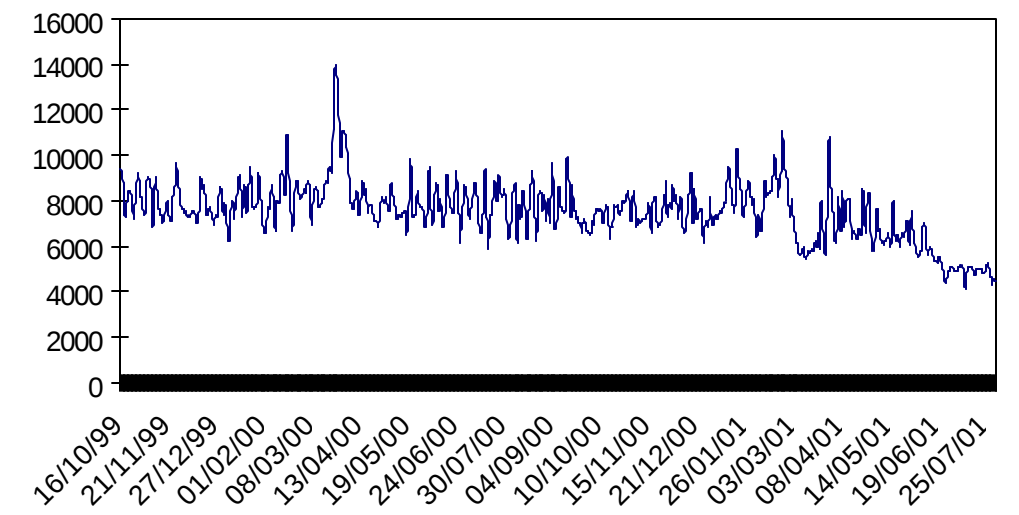


Figura 29 Valores de débitos diários registrados na estação fluviométrica de Porto São José

Tabela 2 Relação dos pontos de amostragem de acordo com a taxa de erosão média mensal, e o segmento monitorado

Conjunto/Margens	Estáveis (<1 cm/mês)	Com erosão baixa (de 1 a 5 cm/mês)	Com erosão média (de 5 a 10 cm/mês)	Com erosão alta (>10 cm/mês)
Montante	Óleo Cru, Mato Grosso 3	Mato Grosso1, Mato Grosso2, Ilha do Cruzeiro		
Segmento médio	Mutum1, Mutum3, Carioca2	Mato Grosso, Mutum2, Chapéu Velho, Embaúba, Carioca1, Carioca3		Porto Rico1, Porto Rico2
Jusante	4, 5, 16 (Floresta), 11 (Cajá), 13, 17 (Japonesa),	1 (Japonesa), 3, 10 (Floresta), 6 (Onça), 7, 8 (Barbado), 15 (Mato Grosso)	2 (Japonesa), 19 (Macacas)	9 (Porcos), 12, 18 (Japonesa), 14 (Chata),

A Figura 30 ilustra algumas feições de margens estáveis, e o aspecto comum é a presença da vegetação ocupando a face inclinada da margem. O patamar existente entre a água e a “barranca” é devido à diferença de resistência à erosão entre o dique marginal (sítio

arenoso) e os depósitos de planície (argilosos). A face íngreme onde está aportado o barco (margem Mato Grosso 3) é uma indicação que a erosão está ativa, mas ainda não foi registrada porque esta área não estava exposta, e os pinos não puderam ser instalados em visitas anteriores.



Ilha Óleo cru



Mato Grosso (3)



Ilha Mutum (1)



Ilha Mutum (2)

Figura 30 Fotografias de margens estáveis no conjunto a montante (acima) e central (abaixo), o nível da água estava em 134 cm (4607 m³/s)

O posicionamento das margens com baixa e média erosão não é suficiente para caracterizar a causa dos valores por elas apresentados. Nestes casos é necessária a análise das velocidades de fluxo e das informações a respeito de sua composição, para que possa ser estabelecido qual fator é preponderante em cada situação específica.

A Figura 31 apresenta algumas feições das margens de baixo índice erosivo. Pelo exposto

na Figura, a vegetação não ocupa as barrancas, a não ser pelos galhos que estão inclinados.

A fotografia da margem Mato Grosso (terceira foto) mostra que mesmo sob baixos valores de erosão mensal as raízes das árvores podem ser expostas, e a foto da margem da ilha Embaúba mostra que a proteção do enraizamento denso é ineficiente para controlar a taxa erosiva porque os processos ocorrem abaixo delas e removem sua sustentação.



Margem Mato Grosso



Ilha do Cruzeiro



Ilha Embaúba



Ilha Carioca (3)

Figura 31 Fotografias de margens com baixa erosão no conjunto a montante (acima), e no conjunto central (abaixo), o nível da água estava em 134 cm (4607 m³/s).

As margens com altas taxas de erosão estão todas situadas em locais de alta velocidade de fluxo, o que é perceptível mesmo sem a análise dos dados de velocidade de fluxo, sendo o fato facilmente observado já nas dificuldades maiores ao atracar o barco. Além disso a configuração da margem também é diagnóstica como pode ser observado na Figura 32.

A referida Figura mostra duas margens íngremes, nas quais não há o patamar existente

nos demais tipos de margens. Nestes casos é comum a presença de árvores caídas, e de feições de desmoronamentos (como mostrado na fotografia da ilha Porto Rico 2).

O estágio de conhecimento dos processos erosivos ainda não permite avaliar todas as implicações provocadas pelo fechamento da barragem de Porto Primavera. Mesmo no caso do conjunto central, as análises preliminares mostram que as áreas que em 1988 e 1989

estavam submetidas a altas taxas de erosão como a ilha Mutum e as ilhas Cariocas hoje estão estáveis ou sob baixas taxas de erosão, e as áreas estáveis da época, como a ilha Porto Rico, atualmente encontram-se submetidas a erosão



intensa. O problema é que a dinâmica de migração do talvegue causa este tipo de alternância naturalmente, e sem a análise de todas as informações não é possível um diagnóstico seguro.



Figura 32 Fotografia de margens com alta erosão no conjunto central, o nível da água estava em 134 cm (4607 m³/s).

Contudo, a observação dos dados hidrológicos mostra que o conjunto de barragens a montante modificou o padrão hidrológico, eliminando os débitos baixos, o que contribui para a elevação dos índices de erosão anual. Por outro lado, os últimos três anos foram anômalos porque o enchimento de Porto Primavera cortou a ocorrência das cheias contribuindo para a diminuição das taxas erosivas nestes períodos, e a restrição de débito imposta pela crise de energia também contribuiu para tal redução.

A criação do reservatório de Porto Primavera proporcionou um efeito que é resultado de sua operação. Este efeito é a elevação do débito no início da noite provocado pelo aumento da necessidade de geração para compensar o pico de consumo. Esta variação não é registrada pela estação de Porto São José, mas vem sendo monitorada em Porto Rico. Os dados ainda estão em estudo, mas as observações de campo mostram diferenças diárias de 20 cm a mais de um metro entre o período da manhã e o início da noite.

As conseqüências deste fenômeno ainda

devem ser mais bem estudadas, mas uma delas vem sendo observada, e é o aparecimento de orifícios circulares nas margens. Tais orifícios são decorrentes de “pipping”, que é provocado por mudanças rápidas no nível da água, o que gera um gradiente hidráulico elevado na água do freático das margens. A saída dessa água remove as partículas dos locais por onde passa e gera uma forma de erosão particular.

Este tipo de fenômeno já havia sido observado uma vez, em um único local (Rocha & Souza Filho, 1995), e estava restrito a uma única margem arenosa. Ou seja, tal fenômeno era ocasional e limitado a condições específicas de poucos locais. Desde o início dos trabalhos de monitoramento da erosão marginal, observa-se em cada campanha o aumento do número de margens afetadas e do número de orifícios nestas margens.

A Figura 33 mostra estes tipos de feições e pode ser observado que mesmo as partes argilosas são afetadas (fotografia de margem do rio Baía). Neste caso, o processo ocorreu de maneira rápida porque o local onde as feições

estão instaladas foi exposto apenas após dois meses antes da obtenção da foto (3/08/2001), quando da diminuição do débito ocorrida em junho de 1001 (Figura 29). As fotografias

anteriormente expostas, como na Figura 30 (Mato Grosso 3), e na Figura 31 (ilha do Cruzeiro, Mato Grosso 2, Embaúba), também mostram este tipo de feições.



Rio Baía (saída)



Canal do Curutuba

Figura 33 Fotografias de margens com feições provocadas por “pipping”.

Esta situação proporciona um problema adicional para a avaliação das taxas erosivas porque é necessário que seja estabelecida uma metodologia própria para avaliar a importância deste processo e realizar a quantificação da retirada de material.

Conclusão

As atividades desenvolvidas no período permitiram um avanço no conhecimento a respeito da influência das barragens sobre o regime hidrológico do rio Paraná, e a respeito dos efeitos de Porto Primavera sobre o regime de débitos, a carga suspensa, e a carga de fundo. Outro resultado importante diz respeito à abrangência das cheias na planície, os agentes participantes, e os níveis com importância geomorfológica e ambiental.

As barragens situadas a montante proporcionaram a eliminação dos débitos de vazante e um aumento significativo do tempo de permanência dos débitos de valores médios. A este respeito o fechamento do reservatório de

Porto Primavera proporcionou a eliminação dos débitos mais elevados fazendo com que o rio esteja submetido a apenas valores médios de vazão. O acirramento da crise de energia e a necessidade de recuperar o volume dos reservatórios das cabeceiras do sistema provocaram a redução dos débitos para valores situados na parte baixa da média a partir do meio deste ano.

A barragem de Porto Primavera promoveu uma significativa redução da carga suspensa, e o canal do rio Paraná vem compensando esta diminuição por meio da incorporação de sedimentos de suas margens. Tal efeito é marcante nas proximidades do barramento, mas na região de Porto Rico não pode ser identificado pela metodologia empregada.

A incorporação de sedimentos pela erosão marginal faz com que a carga suspensa atinja valores compatíveis com aqueles previamente existentes a uma distância de cem quilômetros do eixo da barragem. Entretanto tal processo incorpora um outro impacto que está

relacionado à maior concentração de sedimentos em períodos de maior vazão, quando a situação natural era inversa, ou seja, o canal apresentava maiores concentrações em águas baixas.

O transporte de sedimentos pela carga de fundo está sendo profundamente modificado porque a UHE Porto Primavera cortou o suprimento de areia e o fluxo da água vem promovendo a remoção do material de leito de montante para jusante, tendo removido toda a areia do talvegue nas partes próximas ao barramento. Nas proximidades de Porto Rico as formas de leito ainda são as mesmas que foram identificadas anteriormente, mas a granulação está se tornando gradativamente mais fina, porque esta é a granulação que está disponível no canal.

Os estudos a respeito da abrangência das cheias demonstraram que o nível de 3,6 metros em Porto São José promove a entrada passiva de água nas lagoas diretamente conectadas com o rio, tais como as de ressacos. O nível de 4,6 metros proporciona o início do contrafluxo do rio Ivinheima e do rio Baía, e a entrada de água nas lagoas com comunicação com estes canais, ou aquelas próximas a canais com margens baixas. O canal do Ipitã, e a saída do rio Baía representam os locais de início da inundação da planície, que se estabelece a partir do nível de 6,1 metros. A inundação com fluxos ativos na planície ocorre apenas a partir de 7,0 metros, quando a água cobre os diques marginais.

A incidência de chuvas locais pode proporcionar alagamentos locais na área do rio Baía e no trecho superior do canal do Curutuba, e as cheias do rio Ivinheima podem provocar inundação local no segmento compreendido entre o canal do Ipitã e a parte média a baixa do canal do Curutuba.

Os corpos lânticos da planície podem estar submetidos a vários pulsos de inundação, e em cada um deles a água possui características distintas, conforme o agente causador do alagamento. Mesmo em cheias superiores a sete metros os corpos lacustrinos podem estar

submetidos a aporte de água de diferentes características, porque mesmo nestas cheias não há homogeneização entre as águas do rio Paranapanema, do Paraná, do rio Baía-Curutuba, e do Ivinheima.

Os efeitos desta barragem sobre a erosão marginal ainda estão sendo estudados, e é de fundamental importância a mensuração das atividades erosivas durante o período de cheia de 2001-2002 (caso ocorra) para que eles possam ser corretamente avaliados.

Os estudos sobre a evolução paleoclimática e os estudos sobre a cobertura vegetal, estão em andamento e devem ter resultados disponíveis nos próximos meses.

Referências

- 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. (2001) *Aplicações potenciais do sensoriamento remoto orbital nos estudos da planície de inundação do alto rio Paraná*. Exame de Qualificação para obtenção do título de Mestrado junto ao PEA, UEM. (inédito).
- CORRÊA, G. T., (em prep.) *A erosão marginal no conjunto insular das Ilhas Floresta e Japonêsa* (título provisório). Tese de Doutorado em desenvolvimento junto ao PEA, UEM. (inédito).
- DESTEFANI, E. V. (em prep.) *Comparação entre as taxas de erosão marginal das ilhas Mutum e Porto Rico, antes e depois da barragem de Porto Primavera*. Relatório de Iniciação Científica, PIBIC. (inédito)
- NOVO E.M.L.M. (1992) *Sensoriamento Remoto: princípios e aplicações*. Ed. Nobel. 2 ed. 308 p.
- RICHTER, B. D.; BAUMGARTNER, J. V.; WIGINGTON, R.; & BRAUN, D. P. (1997) How much water does a river need? *Freshwater Biology*, Special Applied Issues Section. Blackwell Science Ltd., 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. & SOUZA FILHO E. E. (1995) Erosão marginal em canais associados ao rio Paraná na região de Porto Rico (PR). *Boletim Paranaense de Geociências*, EDUFPR, Curitiba, 44: 97-114.
- ROCHA, P. C., SOUZA FILHO, E. E., & FERNANDEZ, O. V. Q. (1999) *Intensity of erosive processes at channel banks of up Parana river, Porto Rico Town area, Parana State, Brazil*. International Symposium on Paleohydrology Geomorphology. of Large Rivers and Field Conference, Araguaia, 3pp (no prelo)
- ROCHA, P. C., SOUZA FILHO, E. E., & COMUNELLO, E. (em prep.) *Influência do conjunto de barragens da bacia do rio Paraná sobre o débito fluvial em Porto São José*. Trabalho integrante da Tese de Doutorado a ser defendida junto ao PEA, UEM. (inédito).
- 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. (1994) The Upper Parana River(Brasil): geomorphology, sedimentology, and paleoclimatology. *Quaternary International*, 21: 143-161.
- STEVAUX, J. C.; TAKEDA , A. M.; & MORAES, M. (1995) *Dinâmica sedimentar no canal do rio Paraná*. XI Simpósio Sul Brasileiro de Geologia, v. 1, (284-286).