

# SOCIEDADE & NATUREZA

REVISTA DO INSTITUTO DE GEOGRAFIA E DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

Sociedade & Natureza

ISSN: 0103-1570

sociedadenatureza@ufu.br

Universidade Federal de Uberlândia

Brasil

Rocha, Paulo Cesar

INDICADORES DE ALTERAÇÃO HIDROLÓGICA NO ALTO RIO PARANÁ: INTERVENÇÕES HUMANAS E IMPLICAÇÕES NA DINÂMICA DO AMBIENTE FLUVIAL

Sociedade & Natureza, vol. 22, núm. 1, abril, 2010, pp. 191-211

Universidade Federal de Uberlândia

Uberlândia, Minas Gerais, Brasil

Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=321327197014>

- ▶ Como citar este artigo
- ▶ Número completo
- ▶ Mais artigos
- ▶ Home da revista no Redalyc

redalyc.org

Sistema de Informação Científica

Rede de Revistas Científicas da América Latina, Caribe, Espanha e Portugal  
Projeto acadêmico sem fins lucrativos desenvolvido no âmbito da iniciativa Acesso Aberto

## INDICADORES DE ALTERAÇÃO HIDROLÓGICA NO ALTO RIO PARANÁ: INTERVENÇÕES HUMANAS E IMPLICAÇÕES NA DINÂMICA DO AMBIENTE FLUVIAL

### Indicators of Hydrologic Alteration in the High Parana River Catchment: Human Interventions and Implications for Dynamic of the Fluvial Environment

Paulo Cesar Rocha

Departamento de Geografia

Faculdade de Ciência e Tecnologia de Presidente Prudente - UNESP

Presidente Prudente/SP – Brasil

pcrocha@fct.unesp.br

Artigo recebido para publicação em 20/11/2009 e aceito para publicação em 12/03/2010

**RESUMO:** Neste trabalho foram estudados cinco componentes do regime de fluxo do rio relacionados aos processos ecológicos em ecossistemas fluviais: a magnitude do fluxo, a duração, a periodicidade, a frequência e a taxa de alteração do fluxo, sendo utilizados ao todo 32 índices hidrológicos como Indicadores de Alterações Hidrológicas (IAH). A partir de dados hidrológicos diários da estação fluviométrica de Porto São José, no Alto Rio Paraná, foram calculados os valores médios dos indicadores, o desvio padrão, o mínimo valor e o máximo valor, para os períodos pré e pós-barramentos, com o objetivo de se comparar e calcular a magnitude das alterações observadas, através da aplicação da “Taxa de Aproximação da Variabilidade Natural” (TAV). Os resultados mais expressivos apontam para alterações nos indicadores relacionados aos baixos fluxos e são em grande parte, reflexo do controle de débitos pelos reservatórios a montante. Tais indicadores apresentaram elevação na magnitude, acompanhada de diminuição na frequência. As demais alterações na magnitude do fluxo também estão relacionadas com os processos de uso e ocupação na bacia. As mudanças hidrológicas alteraram o comportamento erosivo-deposicional, o transporte de sedimentos e produção primária no rio e planície fluvial adjacente.

**Palavras-chave:** Regime Hidrológico. Barragens. Uso da Terra. Rio Paraná.

**ABSTRACT:** In this paper were study five components of the flow regimen with ecological importance on fluvial ecosystems were studied. The magnitude, duration, timing, frequency and rates change of flow. Thirty-two parameters were used as the Indicators of Hydrological Alteration (IHA). From diary hydrologic data of Porto São José gauge station in the high Paraná River; were calculate the mean values of the indicators, coupled with the standard deviation and minimum and maximum absolute values for the pre and post-dams periods was calculated, with the aim of comparing and evaluating the magnitude of the observed alterations of the flow regimen. For it's, was applied the method the “Range of Variability Approach” (RVA). The most significant results suggest changes in low-flows related indicators and are largely a reflection of the control of debts by upstream reservoirs. Such indicators presented increase in magnitude, accompanied by declining in frequency. Other changes in the magnitude of the stream flow are related to the use and occupation processes of the basin. Hydrologic changes have changed the behavior erosive-depositional, sediment transport and primary production in the River and adjacent fluvial plain

**Keywords:** Hydrologic Regimen. Dams. Land Use. Parana River.

---

## 1. INTRODUÇÃO

A bacia hidrográfica pode ser considerada um sistema físico onde a entrada é o volume de água precipitado e a saída é o volume de água escoado pelo exutório. Em termos gerais, ela provê uma bem definida unidade física para estudos hidrológicos, tendo uma única forma de entrada (input), que é a precipitação, e a saída é dada pelo runoff na saída da bacia, consideradas as perdas por evapotranspiração. Em macro-escala, como no caso de grandes bacias hidrográficas, o padrão de runoff, intensidade e sazonalidade poderá ser controlado primariamente pelos efeitos climáticos. Este padrão geral reflete os padrões de precipitação e circulação geral da atmosfera. Para comparação entre bacias hidrográficas individuais, a geologia, morfometria da bacia, solos e vegetação, assim como os aspectos climáticos interage entre si para determinar o padrão natural sazonal de variação de runoff (PETTS & FOSTER, 1990).

O regime de runoff (descargas) geralmente é baseado nas descargas médias mensais e permite a avaliação da sazonalidade das vazões. A média, máxima e mínima anuais pode revelar as possíveis variações ao longo da série histórica da estação. Estes aspectos de avaliação tornam-se importantes devido às interações entre o homem e o ambiente, cujos resultados geralmente promovem alterações nos aspectos de intensidade e qualidade da relação precipitação-descargas na bacia hidrográfica.

Considerando-se a intensa apropriação dos recursos fluviais pelo homem, existe uma crescente necessidade de se avaliar e predizer os impactos ecológicos associados ao manejo nas bacias hidrográficas e nos corpos de água. Identificar metas a serem atingidas para manter a biota fluvial e os adequados valores sociais e de serviços associados com a exploração dos recursos hídricos são eminentemente necessários. Tal necessidade pode ser superada na avaliação conjunta da variabilidade

hidrológica e da integridade do ecossistema fluvial, que sugerem um paradigma do regime natural do rio, onde a completa variabilidade do regime hidrológico intra e inter-anual, e associada característica de periodicidade, duração, frequência e taxa de mudança, são críticas na sustentação da biodiversidade total nativa e integridade do ecossistema aquático (RICHTER *et al.*, 1997).

Atualmente é reconhecido que o desflorestamento, as práticas de uso da terra agrícola e urbana, a utilização da água do lençol freático para abastecimento e irrigação, além da construção de grandes barramentos para abastecimento e principalmente para geração de energia, que somados, geram um efeito bola-de-neve e tem contribuído para alterações no ciclo hidrológico e consequentemente no regime hidrológico dos rios.

Outros aspectos relacionados à drenagem entram também em desequilíbrio devido ao desflorestamento, como os ecossistemas terrestres e aquáticos e a dinâmica erosivo-deposicional nas vertentes e nos canais fluviais. A dinâmica do escoamento, no que se refere à perspectiva geomorfológica, ganha significância na atuação exercida pela água sobre os sedimentos, nos mecanismos deposicionais e na esculturação da topografia do leito. Em canais aluviais, os processos de erosão, transporte e deposição estão associados com específicas condições geomorfológicas e hidrodinâmicas. O conhecimento dos princípios físicos envolvidos em cada caso é importante frente a decisões com relação ao manejo ambiental, no planejamento ou na engenharia (COOKE & DOORNKAMP, 1990).

O desenvolvimento da agricultura e da sociedade organizada sempre esteve vinculado ao controle da água, especialmente para irrigação. As civilizações do antigo Egito e da China, assim como da Índia e da Mesopotâmia, chamam-se *civilizações hidráulicas*. Sua ascensão e queda estão intimamente

relacionadas ao uso e abuso da água. A intromissão no ciclo hidrológico tem continuado até o presente. Com o avanço da tecnologia, o grau de interferência aumentou de maneira assustadora. Atualmente, são poucos os sistemas de drenagem, no mundo inteiro, que tem caráter inteiramente natural. Embora o controle dos sistemas hidrológicos seja maior nos países desenvolvidos, as modificações inadvertidas nestes sistemas são universais, em geral em função do modelo de apropriação da natureza do homem contemporâneo (DREW, 1994).

As intervenções humanas no ciclo hidrológico se dão em diferentes pontos (ou fases do ciclo). Segundo o autor supra-citado, pode-se imaginar o ciclo hidrológico como uma série de armazenagens de água ligadas por transferências. De fato, muitos depósitos são na realidade transferências mais demoradas (por exemplo da água subterrânea) e algumas transferências mais rápidas (por exemplo, os rios) também exercem limitada função de armazenagem. Em cada ponto de intervenção, diferentes podem ser as intensidades dos impactos e os maiores impactos estão associados com as intervenções na *infiltração* e na *armazenagem e fluxo* fluvial.

Normalmente, o desmatamento ou o desflorestamento exerce considerável efeito nas

perdas de água. A perda de cobertura arbórea, em curto prazo, reduz a perda de água do solo por transpiração, pois as raízes profundas das árvores são arrancadas, bem como provoca maior escoamento das águas na superfície do solo, visto que a antiga manta amortecedora de folhas caídas foi substituída pela terra nua. Assim, o mais provável e que aumente o fluxo direto da água para os rios.

Este trabalho visa identificar os padrões do regime natural e do regime controlado do rio Paraná no seu trecho superior, a partir do estudo da variabilidade do fluxo associando-os aos processos geomorfológicos e hidrodinâmicos.

## 2. ÁREA DE ESTUDOS

A área de estudo está situada no alto curso do rio Paraná (Alto rio Paraná), que compreende o trecho entre as suas nascentes nos rios Grande e Paranaíba nas Serras do Mar e da Mantiqueira respectivamente, até o limite superior do reservatório de Itaipu, em Guaíra-PR (FIGURA 1). A bacia do rio Paraná localiza-se quase que integralmente entre os paralelos 14° e 27° e os meridianos de longitude oeste 43° e 60°. Possui uma vazão média anual de 15.620 m.s<sup>-1</sup>, volume médio anual de 495 Km<sup>3</sup> e uma área de drenagem de 1.237.000 Km<sup>2</sup>, formada por oito sub-bacias.

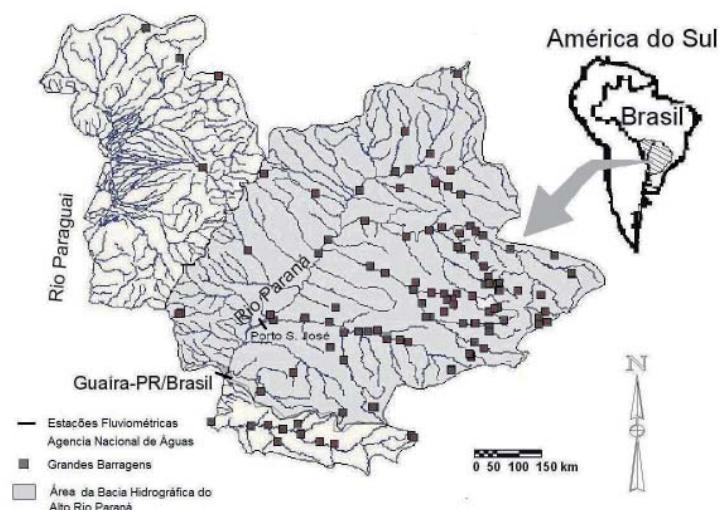


FIGURA 1: A bacia do Alto Rio Paraná e os limites do trecho estudado.

(Fonte: Modificado de ANEEL/BRASIL)

Entre Três Lagoas-MS e Guaíra-PR o rio Paraná desenvolveu uma extensa planície fluvial ao longo do tempo, com aproximadamente 600 km de extensão e largura variando entre 4 e 15 km, considerando as diferentes unidades geomorfológicas fluviais. A Planície Fluvial ou Unidade Rio Paraná (SOUZA FILHO & STEVAUX, 1997; STEVAUX *et al.*, 1997) constitui uma superfície plana, onde a cobertura vegetal é a principal forma de realce das formas de relevo, uma vez que as áreas altas possuem vegetação arbórea, as médias são cobertas por arbustos, as baixas por campos, e os baixios por formas higrófilas. Os mesmos constituem importantes ambientes do ecossistema local, passíveis de serem inundados a partir das cheias de médias amplitudes pelo rio Paraná e parcialmente pelo rio Ivinheima. De fato, a planície fluvial adjacente tem um funcionamento hidroecológico sensivelmente dependente do regime hidrológico do rio Paraná, e alterações no regime podem gerar impactos profundos nos diferentes biotopos do ecossistema em questão.

Na seção de Guaíra-PR a média anual histórica foi de 9.597 m<sup>3</sup>/s para o período 1921 - 1999 (ROCHA *et al.*, 2001). O registro recorde se deu em 1983, durante um evento climático *el niño*, sendo registrado na estação de Guaíra 39.852 m<sup>3</sup>/s em 15/06/1983.

Na seção de Porto São José-PR/Brasil assim como de Guaíra-PR/Brasil, o período de cheia coincide com a estação do verão do hemisfério

sul, onde a cheia pode se dar normalmente entre dezembro e março e a vazante entre abril e novembro. Nesta estação o registro recorde foi de 33.740 m<sup>3</sup>/s, em 18/02/1983. Atualmente, a vazão média nesta estação é de 9.729 m<sup>3</sup>/s (período 1983/2001). A cheia de inundação total da planície se dá a partir de 21.000 m<sup>3</sup>/s de vazão e apresenta recorrência de 5,6 anos, cujo nível hidrométrico é de 700 cm na régua limimétrica da estação de Porto São José-PR.

Trabalhos prévios sobre as alterações hidrológicas do rio Paraná e do efeito de grandes barragens na bacia hidrográfica do rio subsidiaram as informações para a classificação relativa aos períodos de fluxo natural e controlado (ROCHA *et al.*, 1994, 1998, e 2001; BONETTO *et al.*, 1989; COMUNELLO, 2001; e COMUNELLO *et al.*, 2002). Segundo Rocha *et al.* (1998; 2001), houve uma nítida alteração de *magnitude* no regime hidrológico do rio Paraná a partir do início dos anos 70 com tendência de aumento, como mostram os gráficos A e B da FIGURA 2, sugerindo o ano de 1972 para o início do novo período hidrológico (FIGURA 2-A).

Os valores do nível médio do rio, para estes dois períodos, mostram uma súbita elevação (FIGURA 2-B), sendo uma importante ferramenta para a interpretação de possíveis alterações nos processos erosivos e deposicionais no rio e nos processos ecológicos no ecossistema de várzea (planície de inundação) (TABELA 1).

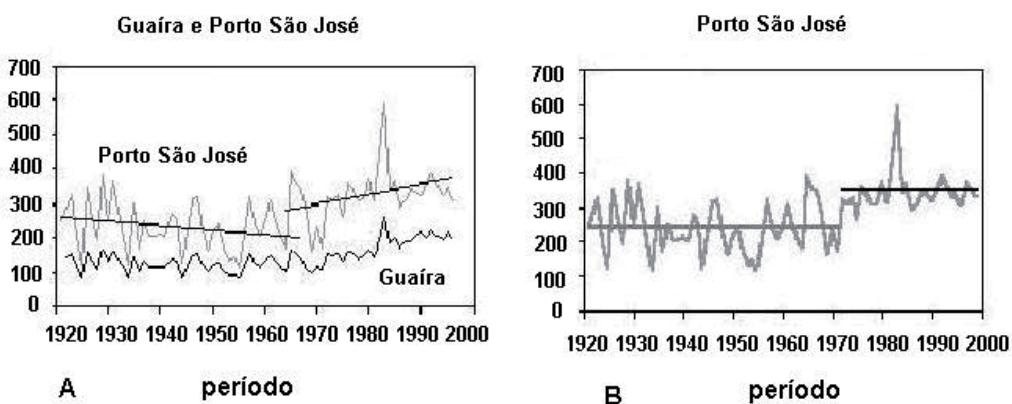


FIGURA 2: Níveis médios anuais (em cm) e tendências para os dois períodos hidrológicos da estação de Porto São José-PR de Guaíra-PR (A); médias anuais dos dois períodos hidrológicos definidos (B). (1921/1963 em P.S. José foi estimado).

TABELA 1: Dados estatísticos da série hidrométrica em Porto São José-PR (média anual).

período	média (cm)	desvio padrão	coef. var.
1921 - 1971	234	69	29,5
1972 - 1998	348	65	18,7
1972 - 1998 (sem 1983)	337	37	11,0

\* valores estimados entre 1921 e 1963

### 3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Segundo Richter *et al.* (1997), as características do fluxo oferecem alguns dos mais usados e apropriados indicadores para se avaliar a integridade do ecossistema fluvial ao longo do tempo devido a certas circunstâncias. 1) muitas outras características abióticas de ecossistemas fluviais variam com as condições do fluxo, incluindo os níveis de oxigênio dissolvido, temperatura da água, distribuição dos tamanhos dos sedimentos suspensos e de fundo, e estabilidade do leito do rio; 2) em grande escala, a morfologia do canal e da planície de inundação é formada por processos fluviais dirigidos pelo fluxo do rio, particularmente pelas condições de altos fluxos; 3) em contraste com a relativa falta de novidades e a grosseira resolução de séries temporais de dados biológicos, a disponibilidade de longas séries temporais de dados fluviométricos diários de muitos grandes rios (4<sup>a</sup> a 10<sup>a</sup> ordem) pode prover uma alta percepção a respeito da variabilidade natural e a história recente das perturbações antrópicas nos rios.

Foram utilizados os dados fluviométricos diários (descargas) da estação de Porto São José (ANA/BRASIL), com série histórica completa a partir de 1964. Como esta estação fica próxima à estação de Guaíra (ANA/BRASIL), a qual mantém informações diárias do fluxo desde meados de 1920, e ambas estão dentro da mesma área geográfica, foi feita a correlação entre as descargas de ambas, e a similaridade do regime de fluxo entre as duas estações ( $R^2$ : 0,9316) garantiu a possibilidade de

se estender à série de Porto São José até o ano de 1921. Tal escolha se deveu à posição estratégica desta estação, como a principal entrada a montante do sistema de inundação do Alto Rio Paraná.

A partir da obtenção dos dados diários da série, foram estudados cinco componentes do regime de fluxo relacionados aos processos ecológicos em ecossistemas fluviais (RICHTER *et al.*, 1997; POFF *et al.*, 1997), a *magnitude do fluxo*, a *duração*, a *periodicidade*, a *frequência* e a *taxa de alteração do fluxo*, sendo utilizados ao todo 32 índices hidrológicos (QUADRO 1) como *Indicadores de Alterações Hidrológicas (IAH)*.

Inicialmente foram obtidos os períodos hidrológicos distintos, como apresentados na TABELA 1. Em seguida foram calculados os valores dos indicadores para os períodos pré e pós-barramentos, quais sejam a média, o desvio padrão, o mínimo valor e o máximo valor, com o objetivo de se comparar e calcular a magnitude das alterações observadas, através da aplicação da *Taxa de Aproximação da Variabilidade Natural (TAV)* (RVA targets de RICHTER *et al.*, 1997).

Para a obtenção da meta da TAV, inicialmente são calculados a porcentagem de anos dentro da série histórica do período natural em que os valores estiveram acima ou abaixo da faixa de controle (Média +/- Desvio Padrão). Sempre que este valor percentual obtido for excedido no período controlado, os valores são considerados fora da meta.

QUADRO 1: Sumário dos parâmetros hidrológicos usados como indicadores de alterações hidrológicas (IAH) e da taxa de aproximação da variabilidade natural (TAV).

IAH – grupo de índices	Característica do Regime	Parâmetro Hidrológico	TAV Média +/- DP e % (anos)
Magnitude das Condições Mensais	<b>Magnitude</b> mensal	12 índices: Valor médio mensal	
Duração e Magnitude dos Extremos Anuais	<b>Duração</b> e Magnitude	10 índices, 5 para Mínimas e 5 para Máximas: 1 dia, 3 dias, 7 dias, 30 dias e 90 dias	
Periodicidade de Eventos Extremos Anuais	<b>Periodicidade</b>	2 índices: Data Juliana de ocorrência do valor mínimo e máximo anual	
Frequência e Duração de Pulso Positivos e Negativos	<b>Freqüência</b> e Duração	4 índices: número de pulsos e duração de pulsos positivos e negativos	
Taxa/Freqüência de Alteração do Fluxo	<b>Taxa de Mudança</b> e Frequencia	4 índices: média em dias das diferenças em pulsos positivos e negativos e número de ocorrências	

Obs: TAV Meta (%): Média +/- DP do período natural. TAV alterada ou Período Controlado em %.

Os resultados de alteração do regime hidrológico foram comparados com as medidas de erosão e deposição nas ilhas do sistema fluvial (calha fluvial atual), obtidos por Rocha & Souza Filho (2001).

Foram também discutidos os relacionamentos das mudanças identificadas com modificações na diversidade e distribuição da fauna aquática, avaliadas por Agostinho (1997) e estimadas alterações nos padrões de distribuição temporal da concentração de *clorofila-a*, considerando que esta variável tem relacionamento inverso com os níveis da água observados na região da estação fluviométrica tomada para este trabalho, através da aplicação da equação  $C = 59,35 - 8,6 N$ , obtida por Thomaz *et al.* (1997) para o rio Paraná neste trecho, onde  $C$  é a concentração de *Clorofila-a*, em  $\mu\text{g L}^{-1}$  e  $N$  é o nível hidrométrico no rio Paraná.

#### 4. Discussão dos Resultados

##### 4.1. O Estágio de Margens Plenas do Alto Rio Paraná a Montante de Guairá-PR/Brasil

O fluxo natural de um rio varia no tempo na escala de horas, dias, estações, anos ou mais. Muitos anos de observação a partir de uma estação de medidas são geralmente necessários para se descrever o padrão característico de quantidade, tempo e variabilidade do fluxo do rio. Os cinco componentes do regime de fluxo avaliados a seguir regulam os processos ecológicos no ecossistema fluvial (TABELA 2). Esses componentes podem ser usados para caracterizar a taxa de entrada do fluxo e específicos fenômenos hidrológicos, como cheias e baixos fluxos, que são críticos para a integridade do ecossistema fluvial (POFF *et al.*, 1997).

Muitas definições de planície de inundação têm enfocado as características hidrológicas, porém

falham no reconhecimento da importante função dos processos geomorfológicos. Verdadeiras planícies de inundação são formadas por acreção lateral e/ou agradação vertical no sistema atual de drenagem. Em contraste, áreas alagáveis (*floodlands* ou *washlands*), são áreas baixas adjacentes ao rio, cuja geomorfologia destas não se relaciona com a dinâmica do sistema atual; o rio meramente utiliza a área, que foi formada por diferentes processos geomorfológicos (PETTS, 1990), como no caso da Planície Fluvial do Alto Rio Paraná.

Segundo Fernandez & Souza Filho (1995), na região de planície do Alto Rio Paraná, nem todas as cheias causam inundações. O rio encontra-se ligeiramente encaixado, permitindo que a superfície do fundo do vale se coloque entre 3 a 4 metros acima do nível médio do rio. Frequentemente a superfície do fundo do vale é empregada como referência para definir o nível de margens plenas naturais. Na estação fluviométrica de Porto São José-PR (aprox. 140 km a montante da estação de Guaíra-PR) essa descarga é de  $22.220 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  (cota de 7,0 m na régua limnimétrica da estação de Porto São José-PR) e possui intervalo de recorrência de 5,6 anos. A FIGURA 3 mostra o processo de inundação nesse estágio hidrométrico. Esta alta capacidade do canal sugere a atuação de uma

série de condições sedimentológicas, hidrológicas e tectônicas na modificação de processos que envolvem a evolução da planície aluvial e o equilíbrio entre os processos de acreção vertical e lateral (PICKUP & WARNER, 1976 *apud* FERNANDEZ & SOUZA FILHO, 1995) e suas interações com a evolução do sistema biológico de várzea tornam-se particulares.

Vários pesquisadores assumem a altura média dos pontos mais altos das barras arenosas em processo de fixação para definir a planície aluvial ativa, e portanto, o nível de margens plenas (WOLMAN & LEOPOLD, 1957; HICKIN, 1968; LEWIS & McDONALD, 1973 *apud* FERNANDEZ & SOUZA FILHO, 1995). Este método pode ser adotado para definir o nível de margens plenas para o trecho aqui abordado. A altura média de uma barra estudada por Santos (1991) é de 4,60 metros (460 cm) referidos ao zero hidrométrico da estação de Porto São José (ANA/Brasil) e corresponde a uma vazão de  $11.270 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ , que possui um intervalo de recorrência de 1,09 anos, significando que a barra é inundada anualmente. A recorrência desta descarga está no intervalo de tempo proposto por Leopold *et al.* (1964) (1 a 3 anos) é bastante inferior da recorrência da descarga de margens plenas naturais definida anteriormente, de 5,6 anos (FERNANDEZ & SOUZA FILHO, 1995).



FIGURA 3: Imagens ilustrando os eventos de estiagem (A) e inundação (B) na Planície fluvial do alto rio Paraná.  
Imagens TM Landsat RGB 345.

Assim, os processos associados com a inundação da planície fluvial relictâa têm recorrência menor que os processos de construção contemporânea do sistema atual, que se dão dentro da calha do rio. Assim, alterações no regime hidrológico do rio podem intensificar os processos de inundação e o rio retomar a sedimentação na planície fluvial em abandono, ou por outro lado, abandonar mais rapidamente a planície adjacente e esta intensificar o processo de ressecamento (terrestrialização). Também podem controlar a intensidade e a variabilidade de processos erosivos e deposicionais no sistema fluvial.

#### 4.2. Frentes de Ocupação e Intervenções no Ciclo Hidrológico

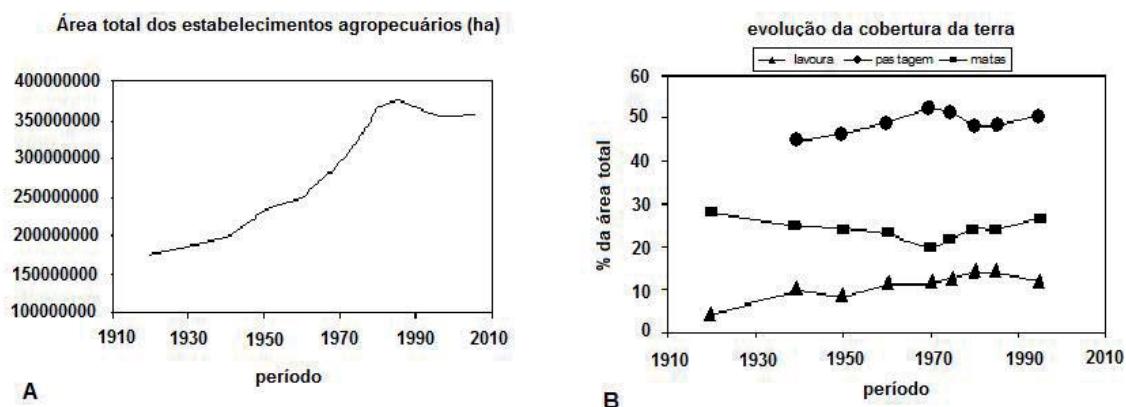
Na bacia do Alto Paraná, as frentes de ocupação se deram de maneira diferenciada ao longo dos espaços, iniciando-se mais efetivamente pela região Sudeste da Bacia. Em São Paulo, pôde-se observar um grande avanço na ocupação de derrubada da vegetação natural a partir da década de 1920, advinda da ocupação pela cafeicultura que se expandia para o Oeste do Estado. Durante a ocupação e o desmatamento, Monbeig (1984) cita relatos dos colonos que afirmavam que após o desmatamento da área era comum o aparecimento de olhos d'água na propriedade. Tal fato demonstra o papel da vegetação na armazenagem da água e no ciclo hidrológico.

Em comparativo de dados do Brasil, pode-se perceber uma evolução bastante significativa

da ocupação das terras por estabelecimentos agropecuários (FIGURA 4-A). Entre a década de 1920 e a década de 1980, praticamente toda a área que se conhece nos dias atuais foi ocupada, numa considerável expansão agro-pecuária. Isso leva a crer que uma alteração substancial da cobertura natural do solo foi imposta. Por outro lado, a distribuição relativa das terras usadas para lavoura, pastagem e os remanescentes pouco se alteraram durante essa expansão (FIGURA 4-B).

Outra intervenção significativa no ciclo hidrológico, com ação direta no regime de fluxo do rio e o controle de débitos efetuado pelos barramentos, nas UHEs, necessários para a geração de energia, detalhados em alguns trabalhos prévios (ROCHA et al., 1994, 1998, 2001).

Do ponto de vista do território brasileiro, a bacia do Alto rio Paraná se apresenta como uma das bacias hidrográficas com maior índice de aproveitamentos hidrelétricos; dentre as mais de 100 barragens no alto rio Paraná, 27 delas acumulam individualmente mais de  $500 \times 10^6 \text{ m}^3$  de água represada (FIGURA 5). A montante do trecho remanescente da planície aluvial do rio Paraná existem 35 grandes usinas hidroelétricas despachadas pelo ONS – Operador Nacional do Sistema Elétrico, através do Sistema Interligado Nacional. Dessas, 16 apresentam reservatórios de acumulação, e têm, portanto, capacidade de controle de vazões, e 19 operam a fio d'água.



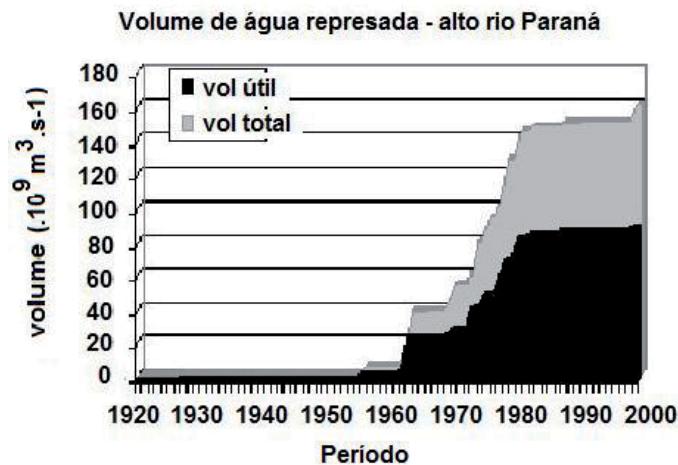


FIGURA 5. Volume total e útil de 27 grandes (maiores) reservatórios na bacia do Alto Rio Paraná.

Fonte: ROCHA *et al.* (1998; 2001).

Rocha *et al.* (1994, 1998, 2001), analisando classes de débitos para a estação de Guairá-PR, observaram a ocorrência de três períodos de regime de fluxo para o alto rio Paraná: o primeiro (1920 a 1971) foi caracterizado como *natural*; o segundo período, a partir de 1972 até 1981, interpretado como um período transicional, contudo, as alterações permitiram a classificação do período como *regulado*; o terceiro período, a partir de 1982, foi caracterizado pelo pleno funcionamento das grandes barragens em atuação na alta bacia, também considerado pelos autores como *regulado*.

O represamento em cascata na bacia hidrográfica pode ainda segurar sedimentos em transporte, tanto de fundo quanto em suspensão, além de outros materiais orgânicos particulados e materiais dissolvidos, que causam enriquecimento de nutrientes e sedimentos nos lagos e empobrecimento a jusante.

#### 4.3. Precipitação na Bacia do Alto Rio Paraná/Brasil

A pluviosidade e a vazão média anual de longo período (dados de 1985) são de 1.437 mm e 402 mm, respectivamente, com produção hídrica média anual de 12.540 m<sup>3</sup>/s, envolvendo as sub-bacias do Paraguai e do Paraná em território brasileiro, conforme DCRH/DNAEE (1985, *apud* ZAVATINI, 1998). A carta de isóetas anuais normais

(período 31-60) do Atlas Climatológico da América do Sul (WMO/UNESCO, 1975, *apud* ZAVATINI, *op cit*), demonstra que a pluviosidade na bacia do Paraná situava-se entre 1.200 e 1.600 mm, exceto no extremo oeste de Mato Grosso do Sul (Pantanal), onde os valores se reduzem (1.000/1.200 mm); no centro-sul do Paraná, no sudoeste de Minas Gerais e de Goiás (2.000 mm) e no curso superior do rio Paraná, onde se registraram índices mais fracos, entre 800 e 1.000 mm. Segundo este autor, tais características praticamente se mantiveram com a mesma distribuição no período 1966/1985.

No entanto, Sant'anna Neto (2000) constatou tendência de aumento das chuvas no Estado de São Paulo, ao comparar os períodos 1941/1970 e 1971/1993, de aproximadamente 10 % no segundo período, concentrados nos limites da bacia do Paraná.

Infelizmente, não foram feitos até o momento, trabalhos detalhados de regime pluviométrico que tome a bacia do Alto Rio Paraná por completo, fornecendo assim uma maior clareza nas informações históricas desta área, com base nas estações pluviométricas que possuam longas séries históricas, que são poucas, considerando a grandeza da área em estudo. De qualquer modo, a FIGURA 6 ilustra o comportamento médio de duas séries históricas para 4 estações localizadas no entorno da bacia do Paraná em território brasileiro.

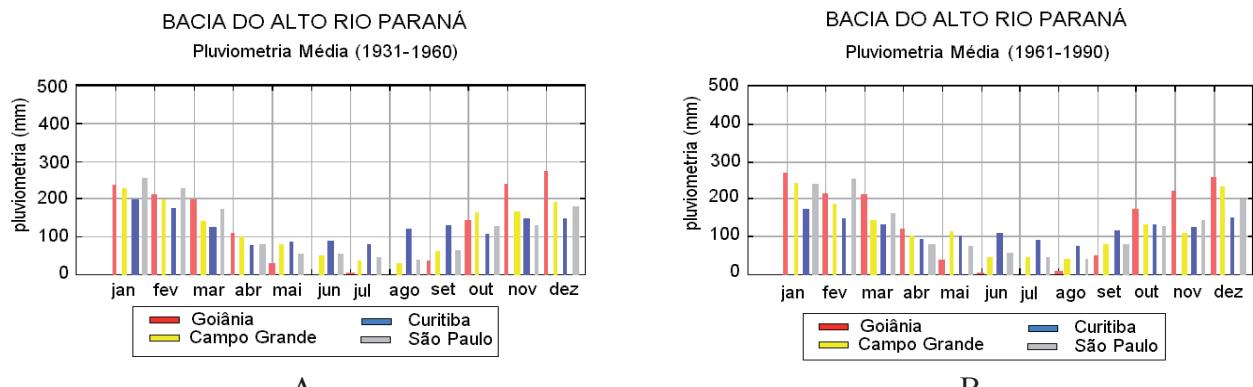


FIGURA 6: Pluviosidade média mensal em séries históricas de 4 estações pluviométricas representativas para a bacia do Alto Rio Paraná. A) série 1931-1960; B) série 1961-1990. Fonte: INMET/Brasil.

Alguns autores procuram entender as oscilações do regime hidrológico do rio Paraná, associando-as com as anomalias climáticas provocadas pelo ENOS (El Niño Oscilação Sul), principalmente quanto aos altos fluxos, e os baixos fluxos à La Niña. Entretanto, tais abordagens não incorporam valores indicativos de ações antrópicas impactantes no regime fluvial do rio Paraná.

Dados associados à dinâmica atmosférica no hemisfério sul também apontam para alternância de ciclos mais chuvosos e mais secos (associados a períodos mais quentes e mais frios respectivamente), baseados na ODP (Oscilação Decadal do Pacífico), também descrita como ENOS (El Niño Oscilação Sul), a partir de medidas de temperatura do oceano Pacífico tropical, como apontados por Molion (2008), e que coincidem com os períodos hidrológicos identificados neste trabalho.

Contudo, os valores estimados e observados de aumento médio da pluviosidade em regiões da bacia do Paraná, por si só, não explica o conjunto de modificações ocorridas no regime hidrológico do rio Paraná ao longo do último século. Porém, considerando tal fato, é possível que as alterações relativas à magnitude dos índices fluviométricos estejam parcialmente acompanhando tal tendência.

#### 4.4. As Mudanças no Regime Hidrológico do Alto Rio Paraná

Os Índices estudados neste trabalho foram avaliados em pares ou individualmente, como segue, no sentido de se discutir melhor os resultados da taxa de aproximação da variabilidade natural (TAV). Os resultados da avaliação da TAV para o regime natural indicaram como limite aceitável de variabilidade, valores percentuais até 35%. Os índices superiores a 35% de taxa de alteração foram considerados fora da meta, indicando alteração no regime hidrológico do rio para o índice avaliado.

A interpretação da TAV requer alguns cuidados, relativos aos intervalos de variabilidade assumidos no regime natural, e sua relação com os resultados de variabilidade do período regulado. Assim, o fato de um determinado índice se apresentar dentro do intervalo-meta não significa que não houve alteração do regime do rio, sendo necessário uma observação mais completa dos valores de variabilidade obtidos para os dois períodos. Uma maior variabilidade no período natural pode elevar o intervalo-meta, e os resultados no regime regulado, geralmente provocando diminuição na variabilidade dos fluxos, podem ficar dentro de tal intervalo, significando que, do ponto de vista qualitativo, houve alteração, porém, não evidenciada apenas na comparação com os valores do intervalo-meta. Neste caso, a utilização de gráficos pode auxiliar nesta interpretação de forma mais precisa.

#### 4.4.1. Magnitude Mensal e Duração

A *magnitude* do fluxo em qualquer intervalo de tempo, é simplesmente o conteúdo de água em movimento que passa por um local fixo, por unidade de tempo. A magnitude pode ser referida tanto à descarga absoluta ou relativa. Máximas e mínimas magnitudes de fluxo variam entre os rios, conforme o clima e o tamanho das suas bacias.

Os resultados de variabilidade da *magnitude mensal* (grupo 1) apresentaram altos valores de alteração do regime natural do rio no período pós-barramentos, principalmente para os meses

de inverno (estação de vazante) (TABELA 2). A FIGURA 7 mostra como os débitos aumentaram acima do intervalo de variabilidade natural no mês de setembro durante o período pós-barramentos. Os valores para os meses entre maio a novembro ficaram fora do limite aceitável, e os débitos se elevaram até ao dobro no período pós-barramentos. Além disso, os débitos médios nestes meses no período natural jamais voltaram a ocorrer, mesmo como valores mínimos observados. Isso indica que para este grupo de indicadores hidrológicos, os resultados apontam para uma maior alteração nos períodos de águas baixas do que no período de águas altas.

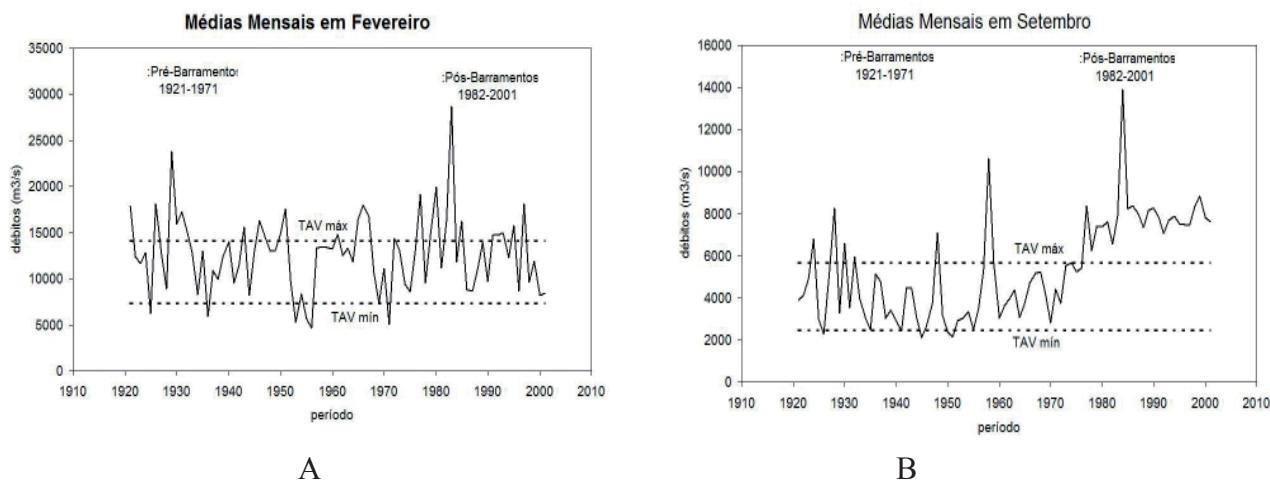


FIGURA 7: Magnitude mensal das condições de fluxo e TAV para fevereiro e setembro.

Por outro lado, a aumento dos valores médios ao longo deste período, indicam que a regulação do fluxo teve influência maior na elevação dos níveis mínimos de que sobre a diminuição dos níveis máximos.

Do ponto de vista ecológico, períodos de baixos fluxos podem representar oportunidades para recrutamento de espécies de plantas riparianas, em regiões onde ocorrem as inundações anuais (POFF *et al.*, 1997). Aquelas espécies que ocupam as partes mais baixas, da calha fluvial, que periodicamente se mantinham secas, podem ter sido eliminadas. Outro aspecto importante nessa alteração, diz respeito à utilização por algumas espécies, de ambientes que

se mantinham em ressecamento neste período dentro da várzea, principalmente como fontes de alimento (predação) ou abrigo.

A *duração* é o período de tempo associado com uma específica condição de fluxo. A duração pode ser definida com relação a um particular evento de fluxo (por exemplo, a planície de inundação pode ser inundada por um específico número de dias por uma cheia de 10 anos de recorrência), ou esta pode ser definida por um específico período de tempo que níveis superiores ou inferiores a determinado fluxo passam a ocorrer (por exemplo, número de dias no ano em que o fluxo excede certo valor).

TABELA 2: Resultados dos *indicadores de alterações hidrológicas* (IAH) para o Alto Rio Paraná, em Porto São José-PR, a jusante dos barramentos.

	PRE-BARRAMENTOS 1920-1971					POS-BARRAMENTOS (1983-2001)					TAV METAS intervalo	Taxa de Alterac % fora da meta	
	média	DP	menor	maior	n	média	DP	menor	maior	n	menor	maior	
JAN	10687	3390	4727	16396	51	11891	4273	6713	21793	19	7297	14076	32
FEV	12401	3978	4662	23816	51	13377	4813	8160	28673	19	8423	16379	16
MAR	12463	4255	5619	23588	51	11343	3173	7777	21153	19	8208	16718	16
ABR	9501	2984	4910	18980	51	10548	3082	7116	17631	19	6517	12485	21
MAI	6948	1903	3657	11634	51	9294	1942	7427	15233	19	5045	8851	53 *
JUN	6100	1723	3473	11254	51	9172	3603	6868	23558	19	4377	7823	79 *
JUL	4968	1392	2831	9020	51	8373	1434	7374	13205	19	3576	6361	100 *
AGO	4178	1311	2225	8471	51	7889	874	7075	10938	19	2867	5488	100 *
SET	4106	1654	2117	10611	51	8189	1447	7061	13896	19	2452	5761	100 *
OUT	4815	1802	2051	12293	51	8540	1792	7200	15204	19	3014	6617	100 *
NOV	5692	1702	2173	10946	51	8785	1972	7352	14864	19	3990	7394	89 *
DEZ	7386	2052	3687	12767	51	9348	2971	6968	17608	19	5334	9438	26
MÍN 1 DIA	3112	793	1840	4706	51	6166	821	4960	8300	19	2319	3904	100 *
MÍN 3 DIAS	3132	794	1868	4727	51	6420	824	5113	8408	19	2338	3926	100 *
MÍN 7 DIAS	3177	812	1882	4858	51	6795	884	5227	9317	19	2364	3989	100 *
MÍN 30 DIAS	3442	900	1952	5350	51	7365	786	6517	10217	19	2542	4341	100 *
MÍN 90 DIAS	3719	898	2086	5497	51	7726	972	6849	11519	19	2821	4617	100 *
MÁX 1 DIA	17014	4138	9124	30328	51	18700	5484	9625	33740	19	12876	21152	37 *
MÁX 3 DIAS	16892	4148	9073	30152	51	18485	5520	9555	33570	19	12744	21040	37 *
MÁX 7 DIAS	16517	4208	9013	30013	51	18010	5623	9324	33218	19	12308	20725	42 *
MÁX 30 DIAS	14627	3867	7052	26293	51	15669	4825	9047	28511	19	10760	18494	42 *
MÁX 90 DIAS	12955	3586	5845	23362	51	13481	3732	8691	25042	19	9369	16541	21
JULIAN MIN	258	49	1	340	51	215	93	3	334	19	209	308	58 *
JULIAN MAX	89	88	9	365	51	63	36	10	143	19	9	177	0
Nº PULSOS -	3	2	0	8	51	0	0	0	0	19	1	5	100 *
Dur PULS -	32	27	0	126	51	0	0	0	0	19	5	59	100 *
Nº PULS +	3	2	0	9	51	7	3	1	15	19	1	4	79 *
Dur PULS +	42	32	0	143	51	21	31	3	147	19	10	75	26
TxDE QUEDA	-214	44	-321	-130	51	-375	91	-560	-170	19	-259	-170	95 *
Nº QUEDAS	41	7	22	54	51	62	14	31	84	19	33	48	95 *
TxDE SUBIDA	289	62	174	418	51	356	88	211	555	19	227	351	58 *
Nº SUBIDAS	30	8	18	50	51	62	14	34	82	19	22	38	95 *

Obs. Os dados básicos usados na análise foram média diária, em metros cúbicos por segundo. (\*)valores acima de 55 %, considerados como regime alterado).

Com relação à *magnitude e duração* das condições extremas anuais (grupo 2), os resultados também mostraram maior alteração nos eventos extremos mínimos do que para os extremos máximos no período pós-barramentos (TABELA 2). A FIGURA 8 mostra os valores para débitos máximos e mínimos com duração de 1 dia (A e B), e a média máxima e mínima de duração de 30 dias (C e D). Os valores mínimos anuais, tanto de duração de 1 dia, quanto de 30 dias consecutivos, sofreram grande aumento nos valores. Os valores máximos anuais, ao contrário, se mantiveram dentro da variabilidade aceitável.

Novamente, os débitos médios mínimos da

série pré-barramentos, jamais ocorreram no período pós-barramentos, mesmo como débitos mínimos absolutos. Mais uma vez, ficou evidente que as maiores alterações hidrológicas se fizeram sobre os valores mínimos, do ponto de vista da magnitude e da duração (por exemplo, média de 1, 3, 7 ou 30 dias consecutivos).

A duração de uma específica condição de fluxo, muitas vezes tem uma significância ecológica. Diferenças na tolerância a prolongada inundação em plantas riparianas, e a prolongados baixos fluxos em invertebrados aquáticos e peixes, permitem a essas espécies a persistir em locais onde poderiam, de outra

forma, ser desalojados por espécies dominantes, mas menos tolerantes, entre outros efeitos (POFF *et al.*,

1997).

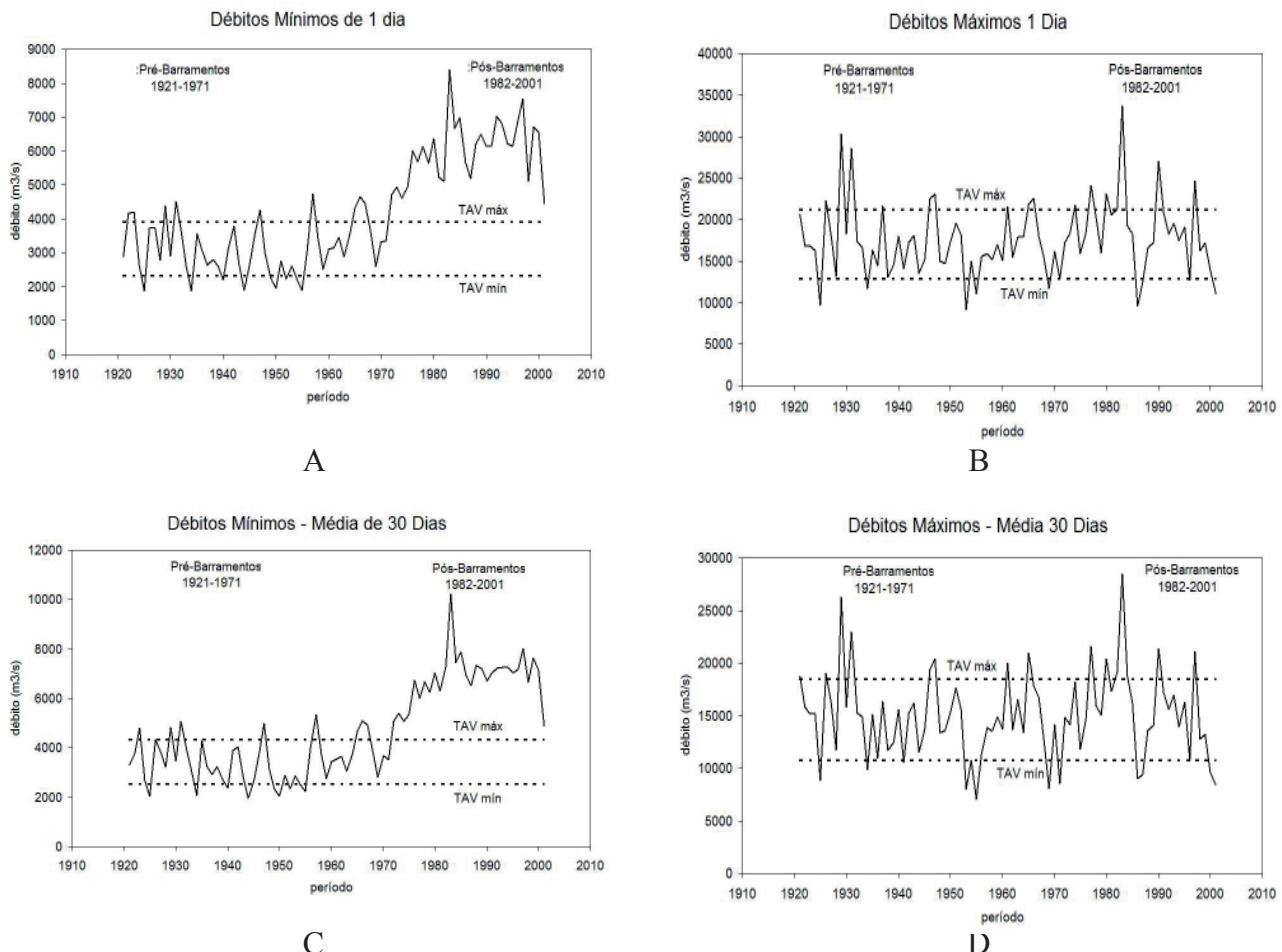


FIGURA 8: Magnitude e duração dos fluxos pré e pós-barramentos e TAV. A e B, média de 1 dia; C e D, média de 30 dias consecutivos.

#### 4.4.2. Periodicidade de Condições Extremas

A *periodicidade*, ou *preditibilidade* (*timing*), do fluxo de determinada magnitude, se refere à regularidade com que este ocorre. Esta regularidade pode ser definida formalmente, ou informalmente, e com referência à diferentes escalas de tempo. Por exemplo, os máximos picos anuais podem ocorrer com alta preditibilidade sazonal ou com baixa preditibilidade sazonal.

A periodicidade de eventos extremos (grupo 3) mostrou-se alterada apenas para os eventos de

extremo mínimo. No entanto foi observado que, aparentemente, os eventos de máxima e mínima passaram a ocorrer mais cedo (foram antecipados). Outro fato a ser considerado, é que houve um nítido aumento da variabilidade temporal dos eventos de fluxo mínimo, contra uma diminuição da variabilidade dos eventos de fluxo máximo (TABELA 2). Isso permite a interpretação de que, os eventos de mínimo fluxo aumentaram a sua variabilidade (menos previsíveis), e os eventos de máximo, passaram agora a ser menos variáveis (mais previsíveis), ao contrário do período de regime natural do rio.

No entendimento de Thomaz *et al.* (1997), a alteração do regime hidrométrico natural (amplitude e periodicidade) é considerada uma das principais causas das alterações antropogênicas de planícies de inundação localizadas a jusante de reservatórios.

O pulso de inundação no alto rio Paraná é considerado irregular, se comparado a outros grandes rios sul-americanos, como o Amazonas e Orinoco, por exemplo, que possuem uma considerável simetria entre as fases de enchente e vazante. Especificamente, alterações nestes índices levam rupturas no processo de desova, na migração de peixes, modificação na estrutura da cadeia alimentar aquática, invasão de espécies riparianas exóticas, entre outras citadas em Poff *et al.* (1997).

#### 4.4.3. Frequência e Duração de Pulso

A *frequência* de ocorrência se refere a como um fluxo de certa magnitude recorre ao longo de um específico intervalo de tempo. A frequência de ocorrência é inversamente relacionada à magnitude do fluxo.

A frequência de pulsos mínimos e máximos (grupo 4) teve características distintas de alteração no regime pós-barramentos (TABELA 2). Os pulsos de mínimos fluxos simplesmente deixaram de ocorrer; os pulsos de máximo fluxo excederam o limite de variabilidade aceitável. Assim, os dois índices foram considerados fora da meta no período considerado.

Com relação à duração (n.º de dias/ano) dos pulsos mínimos e máximos (grupo 4), apenas os pulsos de mínimo fluxo foram considerados fora da meta, pois os mesmos deixaram de ocorrer na amplitude considerada como natural. Os pulsos de enchente tiveram valores de duração dentro do intervalo da meta considerada (TABELA 2). No entanto, houve uma nítida diminuição na sua variabilidade. Tais características se enquadram perfeitamente naquelas relacionadas ao controle de descargas efetuado por barramentos, onde as magnitudes de máxima e mínima descarga, e a variabilidade média anual são achatadas.

A frequência com que ocorrem os pulsos é importante nos processos de conectividade e desconectividade entre os diversos habitats e os canais fluviais. Sua ocorrência desencadeia uma série de processos geomórficos (sedimentação) e ecológicos (acessibilidade de espécies diferentes aos ambientes aquáticos, mortalidade de árvores, perda de habitats rasos para espécies aquáticas (POFF *et al.*, 1997)).

#### 4.4.4. Taxa de Alteração e Frequência com que as Condições de Fluxo Mudam

A *taxa de mudança (flashiness)* se refere à rapidez com que o fluxo muda de uma magnitude a outra. Avaliando os extremos, canais “rápidos” (por exemplo, pequena ordem) tem rápida taxa de mudança, enquanto que canais “estáveis” (por exemplo, grandes rios) tem lenta taxa de mudança no fluxo.

Tais índices estão relacionados às variações diárias dos débitos do rio (grupo 5), e revelam aspectos diferentes daqueles relacionados às características médias (médias mensais, anuais, etc.) (TABELA 2). No aspecto da frequência com que o fluxo diminui ou aumenta, ambos os valores no período pós-barramentos ficaram acima do intervalo aceitável de variabilidade (FIGURAS 9-A e 9-B).

Isso mostra que, ao contrário do achatamento dos fluxos rio pelos barramentos, quando se avaliam os padrões médios, estes indicadores diários tornam-se mais variáveis, ou até mesmo imprevisíveis. As variações hidrológicas diárias (dia a dia) no rio Paraná tiveram padrão lento no período natural (pré-barramentos). Atualmente, podem acontecer súbitas quedas ou subidas do nível do rio (ou dos débitos) repentinamente.

Quanto à magnitude de tais alterações no fluxo, houve alterações nos dois índices. No entanto, a taxa de queda do fluxo sofreu maior alteração de que a taxa de aumento no período *controlado* do rio (FIGURA 9-C e 9-D). Isso significa que o fluxo no rio Paraná atualmente diminui a uma taxa diária de magnitude maior que a taxa com que se eleva. Estes índices são importantes no entendimento da ocupação

e adaptabilidade de espécies nos corpos aquáticos da planície fluvial. Acelerada recessão da água pode causar falha na semeadura e estabelecimento de plantas (POFF *et al.*, 1997).

#### 4.5. Os Reflexos das Mudanças do Regime do Rio Sobre a Dinâmica Fluvial

As alterações hidrológicas avaliadas podem estar corroborando com alterações nos padrões de diversidade de espécies e quantidade de indivíduos de peixes e outros organismos aquáticos. Dados levantados por Agostinho (1997) sugerem que as principais alterações em termos ecológicos que podem ser medidas, dizem respeito à fauna aquática (peixes) e também de algumas variáveis limnológicas, como a *Clorofila-a*. No primeiro caso, a introdução de mais de 20 espécies

de peixes, sendo que a *Curvina Plagioscion squamosissimus* tornou-se dominante em quase toda bacia. O incremento do Tucunaré *Cicla monoculus* nos desembarques, constatado nos últimos anos, e a ampla dispersão do bagre africano *Clarias gariepinnus* são fatores adicionais de preocupação em relação à biodiversidade da bacia. As comunidades de peixes apresentam diversidade decrescente, no entanto, apresentam ainda grande diversidade, sendo que as espécies de grande porte (*Pseudoplatystoma cururu* – até 150 cm; *Salminus maxillosus* – até 100 cm), constituem ainda a base da pesca profissional. Porém, moradores da região de Porto Rico-PR/Brasil, assim como pescadores esportivos, têm relatado diminuição da quantidade de pesca nesse trecho ainda livre, principalmente daquelas espécies nativas.

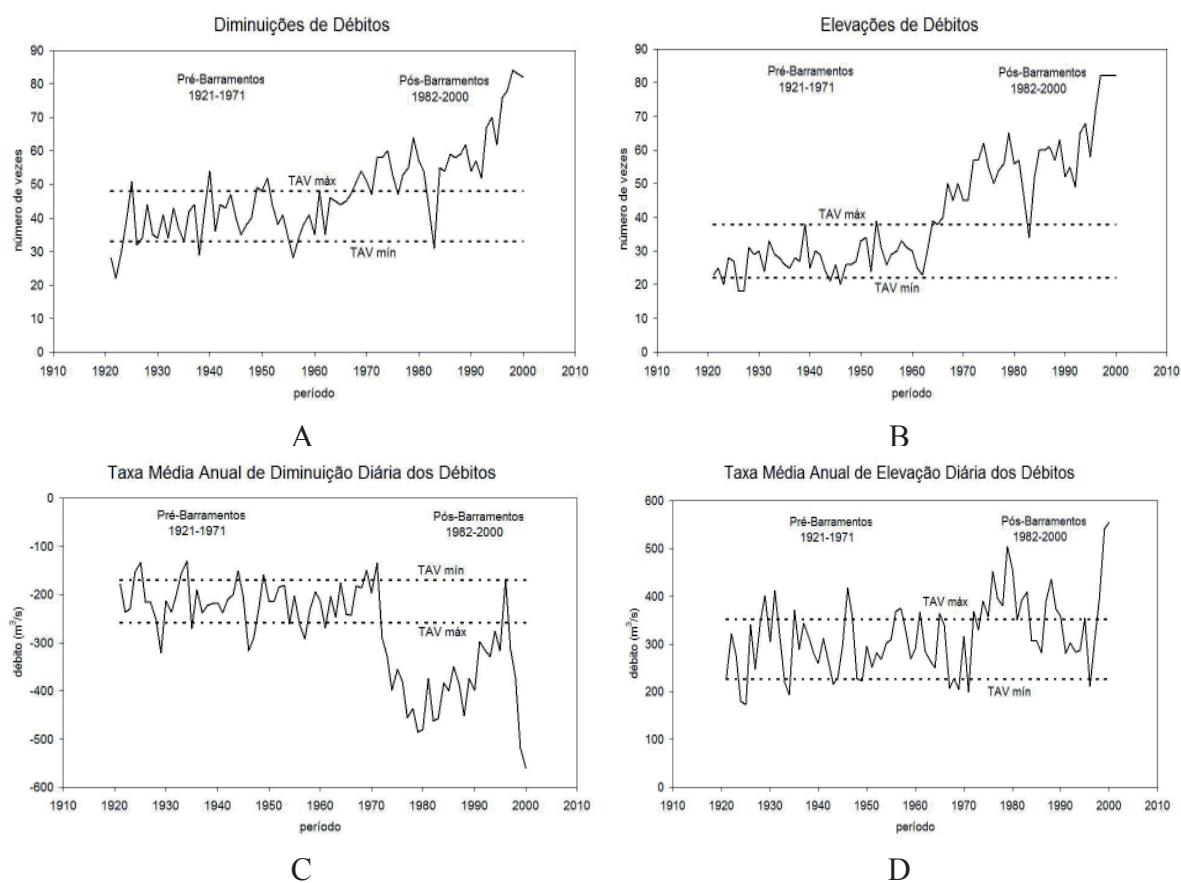
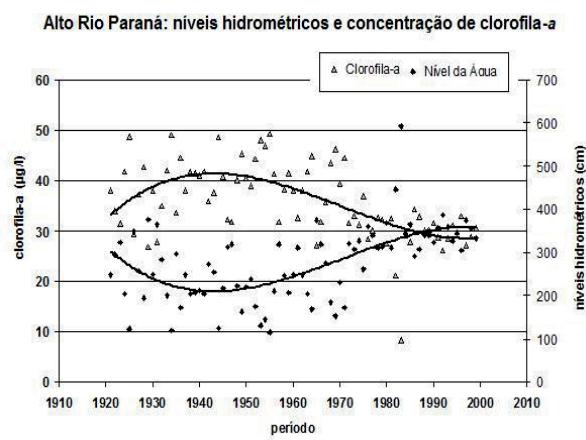


FIGURA 9: Taxa de alteração do fluxo. A e B: frequência de ocorrência de quedas e elevações nos débitos; C e D: magnitude das ocorrências de quedas e elevações no fluxo.

Outro reflexo das alterações nos índices hidrológicos pode ser projetada nos índices de *clorofila-a*. É bastante provável uma diminuição nos índices de clorofila-a nos ambientes fluviais de canal e de planície de inundação, que mantém relação inversa ao nível fluviométrico do rio, conforme Thomaz *et al.* (1997). É possível estimar o resultado das alterações hidrológicas no sistema com relação à frequência de homogeneização dos ambientes de planície de inundação, considerando 3,5 m na régua da estação de Porto São José-PR/Brasil como limiar, a partir do qual ela ocorre (THOMAZ *et al.*, *op cit*), e sobre a produtividade primária ao longo do tempo, através da aplicação de modelos relacionando algumas variáveis limnológicas e o nível fluviométrico (FIGURA 10-A). Essa diminuição nos valores de clorofila-a, por exemplo, fica mais evidente nos períodos de vazante do rio, quando se espera maiores índices de clorofila-a, devido ao baixo nível do rio, e

justamente os níveis (débitos) com maiores taxas de elevação e mais afetados pelo controle de descargas efetuado pelos reservatórios.

Quanto às alterações nos processos erosivo-deposicionais, há indícios de que a evolução no trecho livre (entre a foz do rio Paranapanema e a foz do rio Ivinheima) passou por um estágio deposicional entre 1950 e 1965, seguidos por uma estabilidade até 1980 e depois por uma fase erosiva (FIGURA 10-B). Considerando a maior energia no sistema, essa evolução acompanha em tempo as alterações hidrológicas, seguindo os princípios teóricos que regem a dinâmica da geomorfologia fluvial e geometria hidráulica. Os estudos até então aventam para a possibilidade de aumento dos processos erosivos no *canal* devido à maior energia neste sistema, dadas ao aumento das descargas médias.

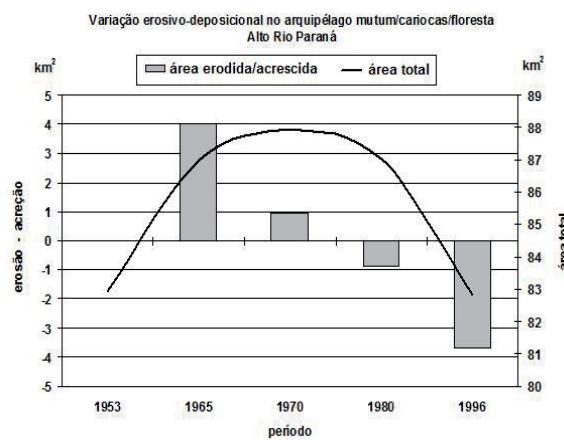


A

FIGURA 10. A) Relacionamento entre as variações no nível médio do Alto Rio Paraná e os valores respectivos de Clorofila-a. B) comportamento erosivo-deposicional ( $\text{km}^2$ ) ao longo do período estudado.

#### 4.6. A Fase Pós-Porto Primavera (a partir de 2001)

As novas alterações relativas à Usina Hidrelétrica (UHE) Porto Primavera ainda não puderam ser avaliadas no mesmo nível de detalhe, em função do tempo de operação do reservatório. Por isso, são comentados apenas os resultados prévios da fase pós-Porto Primavera (inicio da geração em 2001) (FIGURA 11).



B

Contudo, nova alteração no regime do rio tem sido imposta. Neste caso, o efeito do regime do rio sobre os ecossistemas fluviais a jusante (unidade geomorfológica denominada *Planície Fluvial* do rio Paraná) devem ser bem mais intensos, devido a proximidade do reservatório a estação fluviométrica de Porto São José (aproximadamente 30 Km). Apesar do pouco tempo desde o enchimento do lago, os dados mostram uma súbita diminuição do fluxo durante o enchimento do lago para a cota altimétrica

de 257 metros em 2001, mas que foi corroborada por uma estiagem prolongada na bacia.

Na sequência, um aparente aumento da variabilidade em curto intervalo de tempo, e diminuição das variações do fluxo com maiores magnitudes e que ocorrem em maior intervalo de tempo (FIGURA 11). Para este trecho do rio, os

impactos da UHE Porto Primavera, devido a sua proximidade da estação fluviométrica de Porto São José-PR, merecem ser discutidos especificamente. Desse modo, a análise dos dados diários aponta uma maior variabilidade dos fluxos diários, cujos impactos ocasionados pela turbulência das águas podem localmente intensificar os processos erosivos.

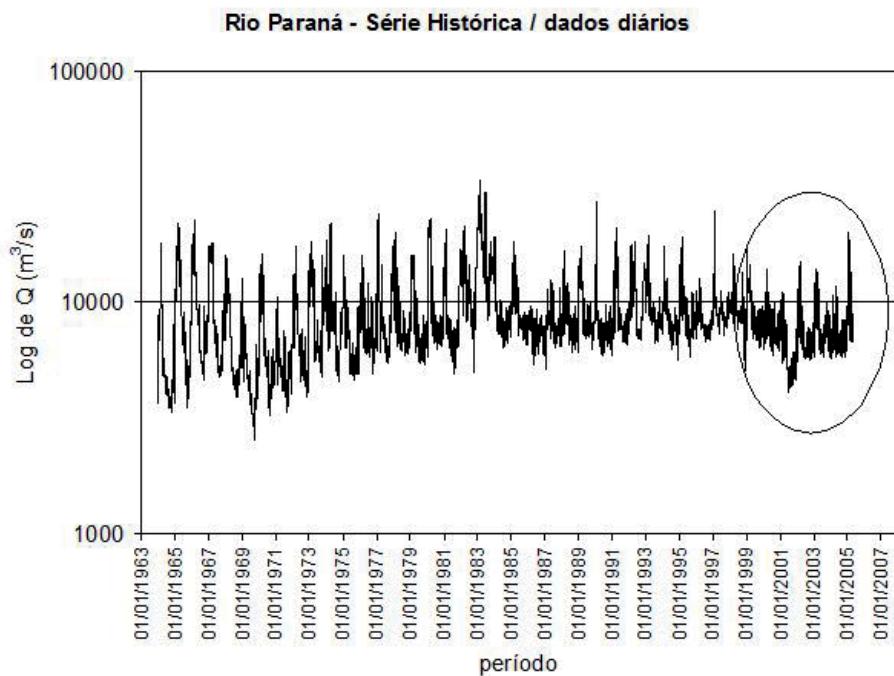


FIGURA 11. Dados diários na estação fluviométrica de Porto São José, a jusante da UHE Porto Primavera, no rio Paraná. Em destaque (a partir de 1998) o período de enchimento do lago e de operação da UHE (em 2001).

#### 4.7. A Procura Por Novos Instrumentos de Gestão...

A gestão de ecossistemas alagáveis e terrestres que margeiam rios precede um reconhecimento dos padrões naturais de regime hidrológico do rio, para que se possa proceder uma eficiente estratégia de manejo ambiental. Do mesmo modo, a identificação de alterações no regime de fluxo natural, pode ser um instrumento eficiente na tomada de decisão quanto às estratégias para a mitigação dos impactos nos ecossistemas adjacentes, além de colaborar para a identificação de alterações climáticas, nos processos desencadeados nas vertentes (uso e ocupação) ou na própria rede hidrográfica (como a operação nas hidroelétricas).

O primeiro passo a ser dado no rumo certo do planejamento dos recursos hídricos é incorporar os estudos (entendimento) do regime de fluxo do rio e suas alterações, nas estratégias de manejo e reconhecer que uma extensiva alteração foi imposta pelas ações humanas no fluxo do rio, que resultaram em intensas mudanças geomórficas e ecológicas nestes sistemas (POFF *et al.*, 1997).

No Brasil, alocações de água para manutenção da vida passaram a ser denominadas Hidrograma Ecológico (COLLISCHONN *et al.*, 2005), em substituição à denominação também usada Vazão Ecológica, com a finalidade de enfatizar a necessidade de alterar práticas tradicionais de

aplicação de vazões constantes de estiagem para a adoção de regimes hidrológicos que permitam a preservação de processos ecológicos (SOUZA *et al.*, 2008). O estudo detalhado do regime hidrológico dos rios precede tal definição para o manejo sustentável.

Por fim, pode-se recorrer ao que preconiza Leff (2006), a respeito da maneira com que a sociedade como um todo (civil, pública e privada) pensa, sobre a questão ambiental, a respeito de uma nova “racionalidade”, a “racionalidade ambiental”. Assim, a ineficácia dos processos de gestão ambiental tem residido, em grande parte, no fato de que se fundaram num juízo racional independente e num discurso crítico para reverter os efeitos da racionalidade capitalista, mas têm carecido dos instrumentos de sua racionalidade técnica, funcional e operativa. A esse respeito, o planejamento ambiental do desenvolvimento propõe limitações para implementar projetos de gestão ambiental com os instrumentos e dentro das instituições da racionalidade econômica e política dominantes. Daí a necessidade de se elaborar novos instrumentos econômicos, jurídicos e técnicos para implementar projetos de gestão ambiental com a eficiência de uma racionalidade alternativa, associada a métodos de avaliação de impacto ambiental, inventários e contas do patrimônio natural e cultural (GLIGO, 1986; SEJENOVICH & GALLO MENDOZA, 1996 *apud* LEFF, 2006), indicadores sobre o potencial ambiental de desenvolvimento e sobre a qualidade de vida e procedimentos legais em defesa dos valores e dos direitos ambientais (LEFF *op cit*).

## 5. CONCLUSÕES

A utilização dos Indicadores de Alterações Hidrológicas permitiu a verificação de uma ampla modificação na hidrologia do Alto Rio Paraná. Os resultados mostraram que as principais alterações estão relacionadas à regulação das vazões estabelecida pela operação dos grandes reservatórios, implantados ao longo do tempo na bacia do alto rio Paraná. Além dos empreendimentos que modificam o regime hidrológico do rio pela ação direta no fluxo do rio, podem ser consideradas aqui outras formas de

impacto no regime hidrológico do rio, como aquelas causadas pelo desmatamento e mau uso do solo, provenientes da apropriação das vertentes, além dos impactos dos empreendimentos industriais e da urbanização mal planejada. Tais processos podem ser relacionados, do ponto de vista hidrológico, com uma maior variabilidade do fluxo do rio e aumento das descargas, mas que são camuflados pelo regime de operação dos reservatórios das grandes UHEs.

A análise da frequência, duração e periodicidade das classes de níveis hidrométricos pode também corroborar com as informações advindas dos demais índices. Nesta análise, ficou evidenciado que as maiores alterações estiveram relacionadas aos baixos fluxos, principalmente relacionados à fase de vazante.

Estes índices avaliados indicam importantes alterações do regime hidrológico do rio Paraná, e que exercem alto grau de impacto no estado de equilíbrio do rio, pela alteração nos padrões dos processos geomórficos e ecológicos, principalmente nos ambientes do sistema rio-planície fluvial. Áreas em estagio evolutivo natural de ressecamento, passam a ser rejuvenescidas. Áreas desconectadas a canais fluviais durante águas baixas, com dinâmica autóctone, podem ser conectadas e passar por processos associados a regime alóctone. Tais fatores devem ter influenciado na diminuição da diversidade de peixes e na produtividade pesqueira no trecho a jusante dos barramentos.

As alterações na ecologia do sistema, devem ocorrer mais intensamente nos ambientes de planície de inundação. Contudo, as estimativas de produção primária (clorofila-*a*) indicam diminuição da concentração média e da variabilidade das concentrações, conforme relacionamento proposto. A planície sofre influência da regulação do rio, à primeira vista principalmente devido à elevação dos valores dos débitos mínimos e médios, que no período de águas baixas (abril a novembro), podem promover a homogeneização dos sistemas semi-lóticos sempre que o nível da água ultrapassar 3,5 m na estação de Porto São José-PR/Brasil, considerado

como limiar para a influência do rio Paraná nos ambientes lênticos e semi-lóticos do sistema de inundação (planície fluvial). No período de vazante referido, supõe-se que deveriam ocorrer os maiores índices de produção primária nestes ambientes e toda uma relação dinâmica adaptada à tal situação sazonal parece estar sendo alterada com frequência após a regulação.

O entendimento das alterações hidrológicas pode também auxiliar no entendimento do comportamento de processos geomórficos, tanto do ponto de vista qualitativo quanto quantitativo. Assim, as alterações mais visíveis ocorridas no canal do rio Paraná foram observadas nos processos de erosão e sedimentação nas ilhas do trecho avaliado, passando de um estágio deposicional para um estágio erosivo a partir da década de 1970.

O uso dos Indicadores de Alteração Hidrológica e das Metas associadas à Taxa de Avaliação da Variabilidade possibilita uma nova visão de gestão e manejo de sistemas fluviais, com benefícios econômicos e à população, particularmente onde a conservação da biodiversidade fluvial não tenha sido adequadamente considerada no passado.

Este trabalho, enfim, serve como instrumento de gestão, na medida em que pode ser usado para se estabelecer limites ao controle de fluxo efetuado pelos barramentos a montante (em especial Porto Primavera), para a manutenção do ecossistema rio-planície fluvial do alto Paraná, ou como método a ser empregado na avaliação de outros sistemas fluviais impactados. Serve também para se estimar os níveis de controle para o retorno às condições naturais na condução de trabalhos de pesquisa em hidro-biologia e hidro-sedimentologia, a despeito dos custos associados à alteração nos padrões de produção energética, finalizando no hidrograma ecológico para a área. Nestes aspectos, os custos podem ser então contabilizados previamente em estudos de impacto ambiental e de valoração ambiental nos projetos futuros, assim como em ações compensatórias.

## AGRADECIMENTOS

O autor agradece à CAPES/CNPq e ao CT-HIDRO pelo apoio financeiro; ao colega Eder Comunello, da Embrapa Solos, Dourados-MS pelo auxílio no tratamento estatístico dos dados, à UEM/PEA, FCT/UNESP, UFMS/CPTL, ANA/BRASIL e ITAIPU-BINACIONAL.

## REFERÊNCIAS

- AGOSTINHO, A.A., Qualidade dos habitats e perspectivas para a conservação. In: VAZZOLER, A.E.A.M., AGOSTINHO, A .A ., HAHNN, N.S., *A Planície de Inundação do Alto Rio Paraná: Maringá-PR*, Eduem: NUPELIA, 1997. p. 455-460.
- ANA/Brasil. Agência Nacional de Águas. M.M.A. Disponível em: <[www.ana.gov.br](http://www.ana.gov.br), <http://hidroweb.ana.gov.br>>. Acesso em nov. 2009.
- ANEEL/Brasil. Agência Nacional de Energia Elétrica. M.M.E. Disponível em: <[www.aneel.gov.br](http://www.aneel.gov.br)>. Acesso em nov. 2009.
- BONETTO, A. A., J. R. WAIS, AND H. P. CASTELLO. The increasing damming of the Parana basin and its effects on the lower reaches. *Regulated Rivers: Research and Management*, 4, 1989. p. 333–346.
- COLLISCHONN, W., AGRA, S.G., FREITAS, G.K., PRIANTE, G., TASSI, R. SOUZA, C.F., Em busca do hidrograma ecológico. In: *XVI S.B.R.H.*, João Pessoa/PB. Nov. 2005. *Anais...* João Pessoa/PB, 2005. CD-ROOM.
- COMUNELLO, E. *Dinâmica de Inundação de Áreas Sazonalmente Alagáveis na Planície Aluvial do Alto Rio Paraná*. 2001, 47f. Dissertação (Mestrado) - UEM/CBS/PEA, Maringá-PR, 2001.
- COMUNELLO, É, SOUZA FILHO, E. E., ROCHA, P. C., NANNI, M. R., Dinâmica das inundações de áreas alagáveis na planície aluvial do alto rio Paraná. *Boletim Paranaense de Geociências*, v. 49, 2002. p. 61 – 82.

- COOKE, R.U. & DOORNKAMP, J.C. *Geomorphology*. In Environmental management. Oxford University Press. 2a. ed. New York. 1990.
- DREW, D. *Processos interativos homem-meio ambiente*. Bertrand Brasil. 3a. ed. Rio de Janeiro. 1994.
- FERNANDEZ, O.V.Q & SOUZA FILHO, Efeitos do Regime Hidrológico Sobre a Evolução de um conjunto de Ilhas no Rio Paraná. *Bol. Paranaense de Geociências*, Vol. 43, ed. UFPR, 1995. p. 161-171.
- LEFF, H. *Epistemologia Ambiental*. 4a. ed., São Paulo. Ed. Cortez, 2006.
- LEOPOLD, L.B., WOLMAN, M.G. & MILLER, J.P., *Fluvial processes in geomorphology*. Freedman, San Francisco, 1964.
- MOLION, L.C.B. Perspectivas climáticas para os próximos 20 anos. *Revista Brasileira de Climatologia*. ABClima. Vol. 2/4 , ano 4. Presidente Prudente-SP, 2008
- MONBEIG, P. *Pioneiros e Fazendeiros de São Paulo*. Ed. Hucitec. Sao Paulo, 1984.
- PETTS, G.E., Regulation of large rivers: Problems and possibilities for environmentally-sound river development in South America. *Interciencia*, vol. 15, n. 6, 1990. p. 388-395.
- PETTS, G. & FOSTER, I., *Rivers and Landscape*. The Athenaeum Press, 3a. ed., New Castle, Great Britain. 1990.
- POFF, H.L., ALLAN, D., BAIN, M.B., KARR, J.R., PRESTEGAARD, K.L., RICHTER, B.D., SPARKS, R.E., & STROMBERG, J.C., The natural flow regime: a paradigm for river conservation and restoration. *Bioscience*, vol. 47, n. 11, 1997. p. 769-784.
- RICHTER, B.D., BAUMGARTNER, J.V., WIGINGTON, R. & BRAUN, D.P., How Much Water Does a River Need. *Freshwater Biology*, 37, 1997. p. 231-249.
- ROCHA, P.C.; FERNANDEZ, O.V.Q.; SOUZA FILHO, E.E., Influência de Grandes Barragens Sobre o Regime Hidrológico do Rio Paraná em Guaíra-PR. In: V CONG. BRAS. DE GEÓGRAFOS, Curitiba/PR. *Anais...* Curitiba/PR, 1994.
- ROCHA, P.C., SOUZA FILHO, E.E & FERNANDEZ, O.V.Q., Aspectos do controle de descargas efetuado por barramentos no alto rio Paraná. *Boletim Paranaense de Geociências*, n. 46. Curitiba/PR/Brasil, 1998. p. 117-122
- ROCHA, P.C., SANTOS, M.L. & SOUZA FILHO, E.E., Alterações no regime hidrológico do alto rio Paraná como resposta ao controle de descargas efetuado por grandes barramentos a montante. In: VIII ENCUENTRO DE GEÓGR. DE AMÉRICA LATINA, *Anais...* Santiago-Chile, 2001. p. 28-39.
- SANT'ANNA NETO, J.L., As Chuvas no Estado de São Paulo: A Variabilidade Pluvial nos Últimos 100 Anos. In: SANT'ANNA NETO, J.L. & ZAVATINI, J.A. (Org.), *Variabilidade e Mudanças Climáticas*. Eduem, Maringá/PR, 2000.
- SANTOS, M.L. *Fisiologia e evolução de Barras de Canal do Rio Paraná na Região de Porto Rico-PR*. Dissertação (Mestrado) - IGCE/UNESP. Rio Claro/SP. Inédito. 1991.
- SOUZA FILHO, E.E. & STEVAUX, J.C., Geologia e Geomorfologia do Complexo Rio Baía, Curutuba, Ivinheima. In: VAZZOLER, A.E.A.M., AGOSTINHO, A.A. and HAHNN, N.S. (Ed.). *A Planície de Inundação do Alto Rio Paraná*. UEM-Nupelia, Maringá-PR. 1997.
- STEVAUX, J.C., SOUZA FILHO, E.E. & JABUR, I.C. A História Quaternária do rio Paraná em seu Alto Curso. In: VAZZOLER, A.E.A.M., AGOSTINHO, A.A. & HAHNN, N.S. (Ed.), *A Planície de Inundação do Alto Rio Paraná*. UEM-Nupelia, Maringá/PR. 1997.

THOMAZ, S.M., ROBERTO, M.C., BINI, L.M., Caracterização Limnológica dos Ambientes Aquáticos e Influências dos Níveis Fluviométricos. In: VAZZOLER, A.E.A.M., AGOSTINHO, A.A. and HAHNN, N.S. (Ed.). *A Planície de Inundação do Alto Rio Paraná*. UEM-Nupelia, Maringá/PR. 1997.

ZAVATINI, J.A., Anos Secos e Anos Chuvosos na Bacia do Paraná. In: IX ENCONTRO SUL-MATO-GROSSENSE DE GEÓGRAFOS. Três Lagoas/MS. *Anais...* Três Lagoas/MS 1998.