

ALTERAÇÕES NO REGIME HIDROLÓGICO DO ALTO RIO PARANÁ COMO RESPOSTA AO CONTROLE DE DESCARGAS EFETUADO POR GRANDES BARRAMENTOS A MONTANTE

Paulo Cesar Rocha (*)
Manoel Luiz dos Santos (**)
Edvard Elias de Souza Filho (***)

ABSTRACT - Several reservoirs were installed in the Parana river after 1920, mainly during the sixty end seventy decades. Dams were selected those with higher water volume of $500 \times 10^6 \text{ m}^3$ impounded, upstream Guaira-PR city station (Upper Parana river), with total of 27 dams in full operation until 1999. For study of one aspect for the Dams' influence about the river, was analysed the duration time to four intervals of discharge along the each year, since twenty decade until ninety decade. The intervals are concerning to the *lower discharge to mean discharge* (low-flow), *behind the mean discharge and the bankfull discharge* (mean discharge), *behind the bankfull discharge and the natural bankfull discharge* (bankfull discharge), and for the end, to the *upper discharges to natural bankfull discharge* (perimeter humid maximum). Other analysed variable, refers to the accumulated water volume for the dam's reservoirs. The comparison of discharge's temporal distribution with impounded's volume value indicates a time's diminution (n. days/year) of occurrence for the *lower discharge to mean discharge* (low-flow) and elevation of the time for discharges *behind mean discharge and the bankfull discharge* (mean discharge) after seventy decade, along the reservoir's closing. The informations of the *total volume* and *usefull volume* were studied with relation on the summed along the period of the studying time. The total volume of water impounded for it's upstream Guaira-PR city station (Upper Parana river) is near $150 \times 10^9 \text{ m}^3$, of wich $85 \times 10^9 \text{ m}^3$ represents the usefull volume. If considered the mean discharge in the Guaira station (ANEEL/Brazil) of $9.597 \text{ m}^3/\text{s}$, it's valours represents about 190 and 115 days of mean discharge in this river respectively, indicated a large discharge control potential.

Keywords: Hidrology; Dams; Parana River Basin.

RESUMO - Um grande número de reservatórios foram instalados na bacia do rio Paraná, desde a década de vinte, principalmente nos anos sessenta e setenta e oitenta. Para este estudo, foram selecionados os reservatórios com volume maior que $500 \times 10^6 \text{ m}^3$, num total de 27 barragens em pleno funcionamento. As informações quanto ao volume total e volume útil foram estudadas com relação à sua somatória ao longo do período de tempo estudado (1921 - 1999). Os débitos foram analisados dentro de quatro intervalos de descargas (vazante, desc. médias, margens plenas e perímetro úmido máximo). A comparação da distribuição temporal das descargas com os valores de volumes represados indicaram uma diminuição do tempo de ocorrência dos débitos inferiores à média e aumento do tempo de débitos entre os valores da média e de margens plenas a partir da década de 70, à medida em que se acumularam os fechamentos de grandes reservatórios. A montante de Guaira - PR, o volume total de água represado por eles se aproxima a $150 \times 10^9 \text{ m}^3$, dos quais $85 \times 10^9 \text{ m}^3$ representam o volume útil. Tais valores representam respectivamente cerca de 190 e 115 dias de fluxo do rio, considerando a vazão média de $9.597 \text{ m}^3/\text{s}$ em Guaira-PR (Fonte: Agência Nacional de Energia elétrica – ANEEL/Brasil), o que indica um alto potencial de controle de débitos pelos reservatórios.

Palavras-Chave : Hidrologia; Barragens; Bacia do Rio Paraná.

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

(*) UFMS/CEUL-PEA/UEM

(**) UEM/DGE

(***) UEM/DGE/PEA

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 interagem 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 anual 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.

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 somados, geram um efeito bola-de-neve e tem contribuído para alterações no ciclo hidrológico e conseqüentemente no regime hidrológicos dos rios. Além deste, outros aspectos relacionados à drenagem entram em desequilíbrio, como os ecossistemas terrestre e aquáticos e a dinâmica erosivo-deposicional nas vertentes e nos canais fluviais.

Em muitos rios, e crescentemente, o fluxo é regulado diretamente por barramentos, seja para prover água para abastecimento doméstico, industrial ou irrigação, assim como para controle de enchentes ou estiagens, além da energia hidroelétrica. Geralmente, a forma de controle é refletida na diminuição da variabilidade do fluxo para jusante, elevando-se as vazões mínimas e diminuindo as vazões máximas.

Cabe salientar que o escoamento nos canais fluviais apresenta diversas características dinâmicas, que se tornam responsáveis pelas qualidades atribuídas aos processos 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, em análise final, se reduzem aqueles de erosão, transporte e deposição. Cada um destes processos estão associados com específicas condições geomorfológicas e (hidrodinâmica), e 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).

Nas últimas décadas, pesquisadores do mundo todo começaram a dar maior importância aos estudos de grandes rios em sistemas tropicais, tendo em vista a necessidade do entendimento e conhecimento funcional desses sistemas fluviais. O estudo da dinâmica dos cursos de água tem suma importância na determinação das características fisiográficas e biológicas dos rios e suas planícies alagáveis, sendo imprescindível para a manutenção de biomas no sentido do ecossistema fluvial, para a economia, no sentido do manejo adequado em áreas agricultáveis, e na proteção de estruturas de engenharia próximas ao canal fluvial.

Este trabalho tem como objetivo discutir algumas alterações do regime hidrológico do Alto Rio Paraná, atribuídas em parte ao efeito do controle dos grandes reservatórios a montante, tomando-se como base os dados da estação fluviométrica de Guaíra-PR, que limita a jusante a bacia do alto rio, com série histórica diária a partir de junho de 1920.

Área de Estudo

A área de estudo está situada no trecho Superior 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).

Da sua nascente, no Planalto Central, até a Foz, no estuário do *La Plata*, percorre 4.635 km, atravessando rochas sedimentares e vulcânicas da bacia sedimentar do Paraná e Chaco, cujas bordas são constituídas pela encosta leste dos Andes e rochas pré-cambrianas do Escudo Brasileiro do Norte e Leste (Petri & Fúlfaro, 1983).

Seu trecho Superior drena, em território brasileiro, uma área de 891.000 km², que corresponde a cerca de 10,5 % da área do país. Apresenta declividade média em torno de 0,8 m/km nos formadores (Grande e Paranaíba), diminuindo para 0,3 a 0,4 m/km em direção às suas porções mais baixas (Paiva, 1982), chegando a 0,014 m/km no segmento entre Porto Primavera - MS e Guaíra - PR (Souza Filho, 1993).

Com direção geral Norte - Sul/Sudoeste, o Alto rio Paraná corre por regiões de clima Tropical - Subtropical, com temperaturas médias mensais superiores a 15 °C e precipitações superiores a 1.500 mm/ano (IBGE, 1990), com maior concentração nos meses de verão.

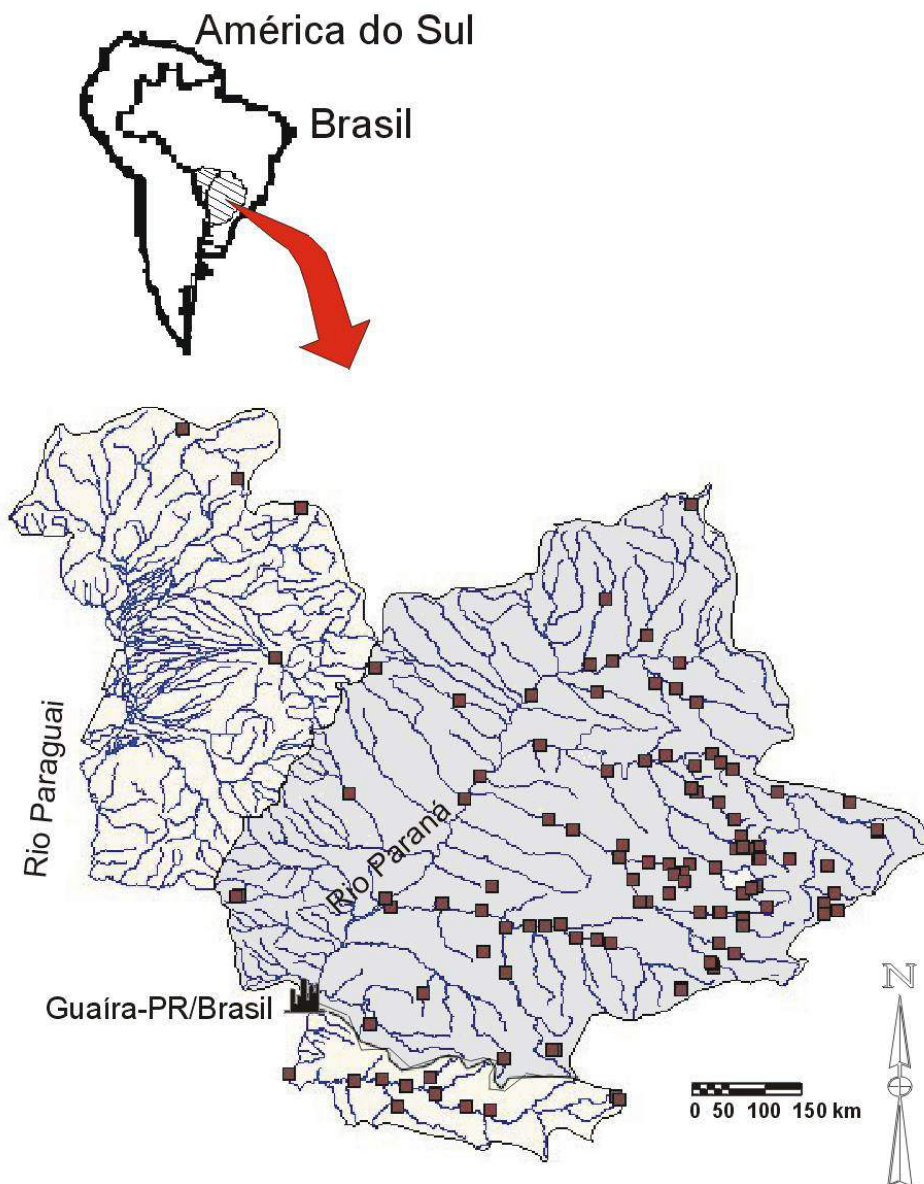
A descarga sólida do rio Paraná, medida no período de 1986 a 1988 foi de 30 milhões de toneladas por ano (Itaipu-Binacional, 1990), sendo que desse total, cerca de 10 % é referente à carga de fundo, dominada por areia fina a média. A relação entre a carga de fundo e carga suspensa varia durante o ano, mas o pico de maior concentração de sólidos em suspensão ocorre 30 dias após a onda de cheia (Stevaux, 1993).

Na seção 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. A figura 2 mostra a média mensal histórica nesta seção fluviométrica. O registro recorde se deu em 1983, durante um evento climático *el niño*, sendo registrado na estação de Guaíra 39.852 m³/s em 15/06/83.

O trecho remanescente da várzea do rio Paraná é o último livre de barramento existente nesse rio em território brasileiro, estendendo-se por mais de 150 km a montante de Guaíra-PR. Nas últimas décadas, a crescente demanda energética no sul e sudeste brasileiro levou a uma política pouco alternativa de construção de grandes usinas hidrelétrica (UHE), com grandes barragens, sobretudo no rio Paraná e seus principais afluentes, localizados a montante das seções tomadas para estudo. Isso gerou um efeito cascata ao longo do tempo no trecho a jusante das grandes U.H.E.s. Apesar do estado de degradação constatado nas partes mais altas da bacia e da regulação na vazão desse segmento livre, imposta pelos represamentos a montante, Agostinho (1997) considera que esta área apresenta boa representatividade da fauna original e continua tendo papel fundamental na manutenção da diversidade biótica regional, sendo classificada como planície de inundação levemente modificada, com áreas mais restritas não modificadas.

As planícies de inundação constituem a forma mais comum de sedimentação fluvial, podendo ser encontrada em rios de todas as grandezas, onde nas enchentes, toda a área é inundada, tornando-se o leito do rio. É formada pelas aluviões e por materiais depositados no canal ou fora dele (Christofletti, 1981). O estágio de margens plenas assinala a descontinuidade entre o sistema canal fluvial e o sistema planície de inundação.

Figura 1. Bacia do rio Paraná em território brasileiro com os principais barramentos
(Fonte: ANEEL/BRASIL. Em destaque a bacia do Alto Rio Paraná).



Nível Médio Mensal no Alto Rio Paraná

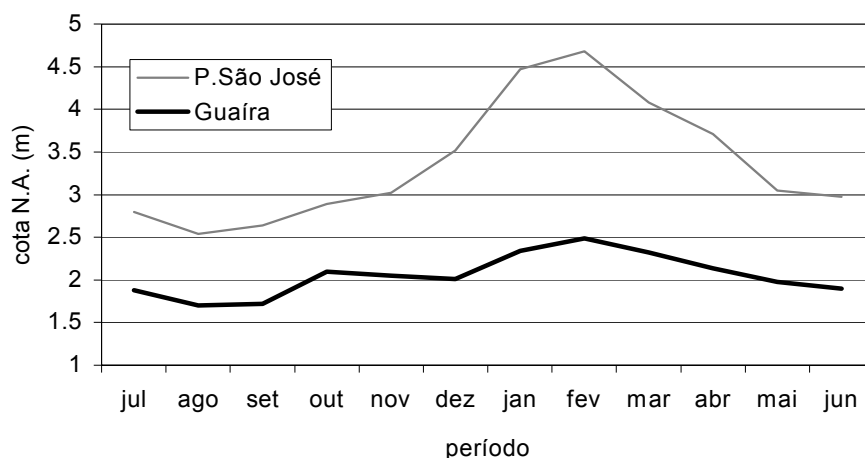


Figura 2. Variação mensal histórica do nível da água no Alto Rio Paraná.
(fonte: ANEEL/Brasil).

Até atingir o estágio de margens plenas, o escoamento das águas se processam no interior do canal e origina diversas formas topográficas. Ultrapassando o estágio de margens plenas, considerado como igual débito de 1,58 anos de intervalo de recorrência, as águas espriam-se e há relacionamento diferente entre as variáveis de geometria hidráulica. Embora englobando o canal fluvial como um subsistema, a planície de inundação não deve ser confundida nem caracterizada pelos processos e formas desenvolvidas no canal fluvial (Christofolletti, 1981).

O importante papel desempenhado pelos níveis de água na manutenção da estrutura e funcionamento dos sistemas rios-planícies de inundação, condicionados pelas variações nas descargas, permite afirmar que a análise do regime hidrológico dos rios associados a esses ecossistemas ocupa papel central na interpretação de seus processos ecológicos. A hipótese de que os pulsos de inundação representam o fator chave para as planícies de inundação é adotada com frequência por pesquisadores que se dedicam aos estudos ecológicos desses ambientes, podendo ser considerada como unificadora em estudos inter e multidisciplinares (Thomaz *et al.*, 1997), ficando evidente a necessidade de se compreender o comportamento histórico do rio frente a necessidade de políticas adequadas ao gerenciamento do único trecho livre desse rio, constituído por uma extensa zona de inundação.

PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Para estudar a variação do regime hidrológico do rio, foram utilizados os dados de vazões diárias (média, máxima e mínima) da estação fluviométrica de Guaíra (ANEEL/Brasil) desde 1921 a 1999.

Inicialmente, obteve-se o valor da *descarga média* de toda a série considerada (1921 a 1999), através das médias anuais e obtido o valor de $9.597 \text{ m}^3/\text{s}$. Além disso, os dados foram tratados por testes estatísticos, obtendo-se a *descarga média* de diferentes períodos, o *desvio padrão*, o *coeficiente de variação* e a *tendência* dos valores. A variável utilizada para o estudo da frequência das descargas foi o tempo de duração (n^2 de dias/ano) de cada classe de débito.

As descargas médias **diárias** de toda a série histórica, foram agrupadas em quatro classes: *Vazante* ($< 9.597 \text{ m}^3/\text{s}$), *Descarga Média* ($9.597 - 17.292 \text{ m}^3/\text{s}$), *Margens Plenas* ($17.292 - 22.875 \text{ m}^3/\text{s}$) e *Máximo Perímetro Úmido* ($> 22.875 \text{ m}^3/\text{s}$) de acordo com os seguintes aspectos hidrológicos e geomorfológicos na seção de estudo:

- As ocorrências de débitos com valores inferiores à descarga média da série estudada ($9.597 \text{ m}^3/\text{s}$) foram classificados como débitos da classe *Vazante*.
- Os débitos ocorridos entre valores maiores ou iguais a descarga média e menores que a descarga de margens plenas ($17.292 \text{ m}^3/\text{s}$) foram classificados como débitos da classe *Descarga Média*. O valor do débito de margens plenas na seção foi definido como o débito que se igualava a cota máxima das barras arenosas (depósitos atuais) e que ocorrem com intervalo de 1,1 anos de recorrência, dentro do intervalo de tempo proposto por Leopold *et al.* (1964), de 1 a 3 anos.

- O intervalo definido como *Margens Plenas* refere-se às ocorrências de débitos com valores maiores ou iguais ao débito de margens plenas e menores que o débito de máximo perímetro úmido (22.875 m³/s).
- O último intervalo de descargas, *Máximo Perímetro Úmido*, refere-se aos débitos iguais ou superiores ao débito de máximo perímetro úmido. Este foi definido pelo débito que ultrapassava a cota máxima dos diques marginais, a partir do qual há inundação total da planície, e apresenta intervalo de 5,6 anos.

Os resultados do **volume útil** e o **volume total** acumulados pelos 27 grandes reservatórios escolhidos e instalados no trecho em estudo foram obtidos através da somatória do volume de cada reservatório fechado ao longo do período considerado. Os valores de cada um, foram obtidos através da compilação dos dados publicados pelo Comitê Brasileiro de Grandes Barragens (1982), CESP (1993) e catálogos da CESP. Foram considerados apenas os reservatórios com volume total superior a 500 x 10⁶ m³, somando um total de vinte e sete reservatórios.

O volume de água represado pelos reservatórios foi também relacionado com o valor da vazão média para o período estudado, obtendo-se assim um parâmetro quantitativo do potencial de controle das descargas pelos reservatórios situados a montante da seção de Guaíra-PR.

O Estágio de Margens Plenas do Alto Rio Paraná a Montante de Guaíra-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 componentes do regime de fluxo natural podem ser caracterizados usando-se várias séries temporais e análises estatísticas. Cinco componentes do regime de fluxo regulam os processos ecológicos no ecossistema fluvial: a magnitude, frequência, duração, tempo e taxa de mudança das condições hidrológicas. 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 tem focado 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 rebaixadas 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). Este é o 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 natural. Na estação fluviométrica de Porto São José-PR (aprox. 140 km a montante da estação de Guaíra-PR) essa descarga é de 22.220 m³/s (cota de 7,0 m na régua linimétrica da estação de Porto São José-PR) e possui intervalo de recorrência de 5,6 anos. 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 in 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). Este método pode ser adotado para definir o nível de margens plenas para o trecho em estudo. A altura média de uma barra estudada por Santos (1991) é de 4,60 m referidos ao zero hidrométrico da estação de Porto São José e corresponde a uma vazão de 11.270 m³/s, 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) e é bastante inferior da recorrência da descarga de margens plenas natural definida anteriormente, de 5,6 anos (Fernandez & Souza Filho, 1995).

Dessa forma, algumas questões precisam ser abordadas considerando esse trecho do rio:

- 1- O que é efeito de regulação dos reservatórios a montante e o que é alteração hidrológica natural ou devida a outra forma de impacto?
- 2- As alterações hidrológicas referidas ao controle por barramentos afetam apenas o sistema canal fluvial ou também o sistema planície de inundação, considerando que o canal do rio Paraná é *encaixado*?
- 3- Quais as principais respostas do rio ao controle de descargas em termos de hidrologia, geomorfologia e ecossistema?
- 4- Desde quando o sistema vem percorrendo a trajetória de readaptação frente às novas condicionantes hidrológicas?

DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Avaliando-se os dados de vazão máxima, média e mínima ao longo da série estudada na seção de Guaíra-PR, que limita a jusante o trecho de planície aluvial, foram observados alguns eventos de interesse, que em grande parte, podem estar relacionados com o controle de débitos efetuados por barramentos (figura 3). Os resultados mostraram que há uma nítida elevação dos valores das descargas mínimas e médias anuais a partir da década de 70.

A média das descargas mínimas entre 1921 e 1971 foi de **3.845 m³/s**, passando para **6.927 m³/s** entre 1972 e 1993. A descarga média foi elevada de **8.533 m³/s** para **11.535 m³/s** nos respectivos intervalos. A tabela 1 mostra a variação dos valores para as descargas mínimas, médias e máximas ao longo dos períodos hidrológicos identificados e o resultado de alguns testes estatísticos.

Foi observada uma diminuição na oscilação dos valores das descargas mínimas e médias ao longo do intervalo 1972 - 1999, sugeridos pela figura 3. Obtidos os valores de *desvio padrão* das descargas médias para os dois intervalos referidos, os resultados mostraram **S = 1.786** para o intervalo 1921 - 1971, e **S = 2.514** para o intervalo 1972 - 1999, que compreende os dois últimos períodos. Porém, notou-se claramente a influência da cheia atípica de 1983 no valor do desvio padrão do último intervalo.

Excluindo-se então o valor da descarga média referente ao ano de 1983, chegou-se ao resultado de **S = 1.313**, para este intervalo. Essa diminuição é evidenciada pelos resultados do *coeficiente de variação*, tanto para as descargas médias quanto para as mínimas. Esse tipo de alteração coincide com aquelas relacionadas com o controle de débitos e regulação das vazões impostas por reservatórios a montante. A cheia atípica de 1983 parece mascarar os valores de variáveis estatísticas como a média e o desvio padrão, que evidenciam o controle de débitos, e aqui percebidos quando se compara os resultados de *desvio padrão* e do *coeficiente de variação* exibidos na tabela 1. Os valores de descarga média e descarga mínima na cheia de 1983 foram extremamente altos, comparados com os de outras cheias de grande magnitude.

Outra variação que pode ser observada ao longo da série estudada, diz respeito à uma pequena aproximação dos valores das descargas mínimas aos das descargas médias, caracterizando a regulação de descargas, com o aumento das mínimas a partir do início da década de setenta.

De acordo com os resultados mostrados na tabela 1, as diferenças entre os valores médios dos débitos referidos, observados no período 1921 - 1971 e no período 1972 - 1999, mostra que os maiores incrementos se referem aos de *descargas mínimas* e *descargas médias*, com incrementos de 80,18% e 35,17% nos valores dos débitos respectivamente. As *descargas máximas* tiveram incremento de 18,12% no valor médio.

Os maiores incrementos nos débitos mínimos principalmente, e médios observados a partir de 1972 podem estar associados, pelo menos em parte, ao controle de descargas nos reservatórios. A maioria dos reservatórios trabalham a *fio d'água* e isso requer pouca variação nos débitos próximos àqueles que geram o melhor aproveitamento energético das hidroelétricas, constituindo fator chave na regulação de fluxo, mantendo pouca variação nas descargas. A consequência mais geral é o aumento dos valores dos débitos mínimos e diminuição para os débitos máximos.

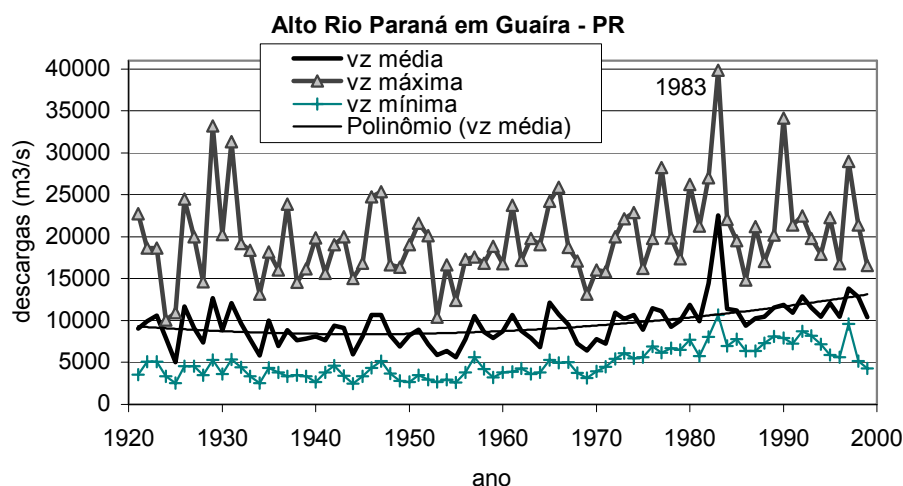


Figura 3. Série histórica dos débitos médios, máximos e mínimos anuais no alto rio Paraná. (fonte: ANEEL/BRASIL).

Tabela 1. Parâmetros estatísticos das descargas máxima, média e mínima no alto rio Paraná e os períodos **natural (N)** e **regulado (R)**.

Período	regime (m ³ /s)	média	Desv. Padrão	Coef. Variação
1921/1971 N	desc. Mínima	3.845	854	22.21 %
	desc. Média	8.533	1.786	20.93 %
	desc. Máxima	18.680	4.638	24.83 %
1972/1999 R	desc. Mínima	6.928	1.413	20.39 %
	(sem 1983)	6.788	1.228	18.10 %
	desc. Média	11.535	2.514	21.80 %
	(sem 1983)	11.126	1.313	11.80 %
	desc. Máxima	22.065	5.552	25.16 %
(sem 1983)	21.407	4.403	20.57 %	

Tomando-se como base os valores da descarga média anual, foi observada tendência de crescimento nos valores (figura 3). Essa tendência também foi observada nos valores das descargas máximas e mínimas anuais.

A curva de tendência polinomial mostra uma inflexão anterior ao início das alterações nos débitos médios e na frequência das classes de descargas (1972). Os valores sugerem os anos de 1953 a 1955 (anos de débitos seguidamente muito baixos) como um curto período que separa uma fase hidrológica natural, talvez um ciclo centenário, de diminuição dos débitos e o início de uma outra de elevação dos débitos do rio. Isso pode explicar, por outro lado, que pode existir uma elevação natural dos valores das descargas mínimas, médias e máximas. Estas últimas geralmente não são controladas pelos grandes barramentos situados em trechos de planície na bacia, devido às próprias características hidrológicas e geomorfológicas dos rios, como sugere o gráfico da figura 3.

Outra alteração que se refere ao controle de descargas sobre os débitos diários diz respeito aos pulsos de inundação (ou ondas de cheia), onde, apesar da diminuição das variações mensais e anuais, houve aumento das variações diárias, que serão discutidas oportunamente. Esse fato é de grande interesse ecológico, pois pode estar causando maior *stress* nas comunidades do meio aquático.

Contudo, a partir de 1972, o súbito aumento dos débitos médios podem ter interferido nos valores da *frequência* de débitos, de forma a elevar a frequência de débitos em Descargas Médias e diminuir a frequência dos débitos em Vazante, numa retroalimentação positiva.

Entretanto, os fenômenos observados mais visíveis de alterações no regime hidrológico do rio Paraná no seu trecho superior, dizem respeito à frequência anual de cada classe de débito (Vazante **VZ**, Descarga Média **DM**, Margens Plenas **MP**, Máximo Perímetro Úmido **MPU**), com ênfase às alterações nas ocorrências de débitos da classe *Vazante* e *Descarga Média*.

De acordo com os resultados obtidos da frequência de cada classe de débitos (tabela 2), observou-se a ocorrência de três períodos: o primeiro (1920 a 1971) foi caracterizado por uma frequência média anual na classe *vazante* de 249 dias/ano, enquanto que a classe *descarga média* teve frequência média de 98,5 dias/ano. Este período foi considerado como *natural*.

No segundo período, a partir de 1972 até 1981, observou-se um nítido aumento da frequência média da classe *descarga média* para 153,5 dias/ano em detrimento da classe *vazante*, que diminuiu sua frequência média para 188,1 dias/ano. Este período pode também ser interpretado como uma transição entre o primeiro e o terceiro período, considerando a alteração do regime do rio. Neste período, relativamente curto, entraram em funcionamento a maior parte das atuais barragens, sendo responsáveis por aproximadamente 90 % dos volumes total e útil do trecho avaliado, sendo considerado como *regulado*.

O terceiro período, se inicia com uma anomalia no padrão das frequências de descargas, onde o ano de 1982 teve característica de grandes débitos, culminando com a cheia de 1983, influenciada pelo *El Niño*, (ENSO), elevando a frequência das classes *M.P.* e *M.P.U.*, sendo considerado como *regulado*. O período caracterizou-se pela alteração na ocorrência dos débitos de *vazante*, que passam a uma frequência média anual inferior à dos débitos de *descarga média*, indo para 93,8 e 231,6 dias/ano respectivamente, ocorrendo uma inversão na frequência dos débitos da classe de descargas médias (DM) e de vazante (Vz), provavelmente iniciada no período anterior (de transição), a partir de 1972. O gráfico da figura 4-A mostra a ocorrência dos três períodos e a nítida mudança na passagem de um período para outro.

Em relação às outras duas classes de débito -*margens plenas* e *máximo perímetro úmido* - a frequência média anual das mesmas permaneceu sem grandes variações nos dois primeiros períodos, mas tiveram grande aumento no terceiro período, passando de 19,4 para 27,7 e de 4,2 para 12,1 respectivamente.

Entretanto, a frequência dessas duas classes para o último período sofreram grande influência da cheia atípica de 1983, pois observou-se aumento na frequência de débitos de grande magnitude ao longo de todo o ano.

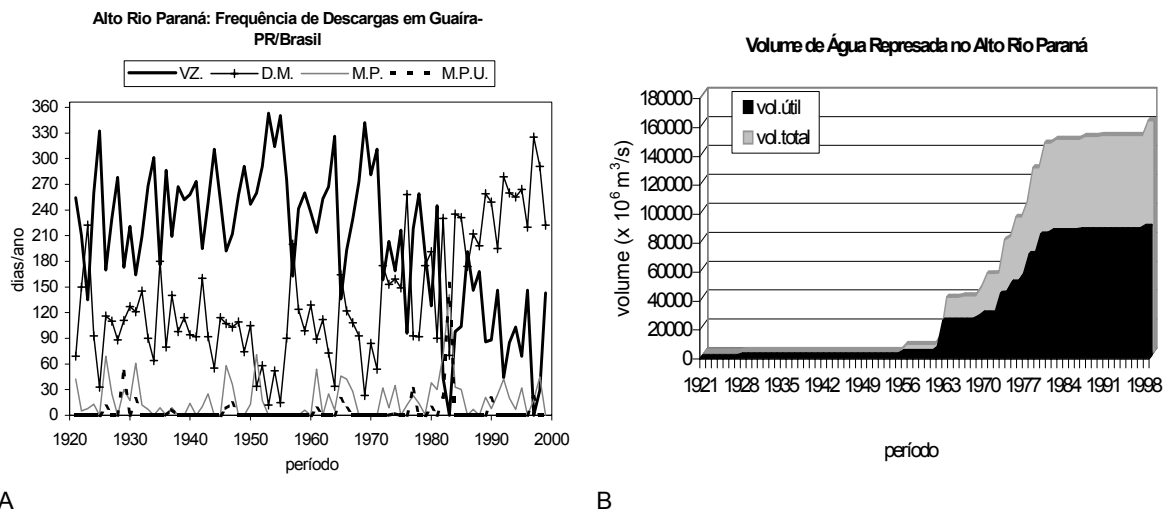
Como o potencial para aproveitamentos hidrológicos na bacia não estão totalmente aproveitados, podemos esperar que hajam incrementos ou outras alterações hidrológicas que poderão ser evidenciadas nesta seção hidrológica, como o resultado do aumento de água no rio e do controle de débitos efetuado pelos reservatórios a montante nas últimas décadas.

Tabela 2. Frequência média (n^o de dias por ano) de cada classe de descarga durante os 3 períodos hidrológicos do rio Paraná. **N**: natural – **R**: regulado

n ^o dias/ano						
Período	Vz	D.M.	M.P.	M.P.U.	Regime	
1 ^o 1921-1971	249	98,5	14,9	2,8	N	
2 ^o 1972-1981	188,1	153,5	19,4	4,2	R	
3 ^o após 1982	93,8	231,6	27,7	12,1	R	

O volume **total** de água acumulado nos reservatórios desde 1928 foi de aproximadamente $150 \times 10^9 \text{ m}^3$, dos quais cerca de $85 \times 10^9 \text{ m}^3$ correspondem ao volume **útil**. Considerada a vazão média do rio Paraná em Guaíra, que foi de $9.597 \text{ m}^3/\text{s}$ entre 1921 e 1999, os volumes **total** e **útil** acumulados (figura 4-B), representam respectivamente cerca de 190 e 115 dias de fluxo do rio à descarga média considerada, o que indica um potencial de controle de débito nada desprezível.

Apesar de estarem em funcionamento algumas grandes barragens desde o início da década de 60, só se observaram significativas modificações no tempo de ocorrência das descargas ao longo do ciclo hidrodinâmico do rio a partir do início da década de 70. Isso pode estar relacionado com o fato de que a maioria das grandes barragens em operação, foram implantadas sequencialmente e distribuídas em vários pontos dentro da bacia a partir da década de 70, aumentando bruscamente o potencial de controle de débitos, observado a jusante das mesmas, na seção de Guaíra-PR. A coincidência do fechamento de **Itaipu** com o início do período final (a partir de 1982) pode também sugerir que os reservatórios a montante estavam operando de forma a dar plenas condições de operação para o primeiro, reduzindo ao máximo a frequência de débitos vazantes.



A B
 Figura 4. Frequência das classes de descargas ao longo do período avaliado (A) e volume total e útil dos 27 grandes reservatórios na bacia do Alto Rio Paraná (B).

Porém, possíveis alterações de variáveis do ciclo hidrológico que causam *input* de água no sistema canal fluvial no trecho estudado, o desmatamento, a expansão agrícola e o possível aumento das precipitações, assim como influência do ENSO (El Niño – Oscilação Sul) também tem contribuído para as alterações na hidrologia do Alto Rio Paraná, além dos efeitos dos barramentos em seqüência na alta bacia. Contudo, sabe-se que o controle de descargas efetuado pelas barragens tem alterado as características hidrodinâmicas naturais dos rios, os aspectos erosivos, de transporte e sedimentação tanto nos trechos a montante como também a jusante de cada reservatório, num sistema de processo-resposta do canal fluvial, dada a alteração da hidrodinâmica natural, assim como das interações entre os ecossistemas de canal e de planície de inundação.

As principais alterações em termos ecológicos que podem ser medidas, dizem respeito à fauna aquática (peixes) e também de algumas variáveis limnológicas. 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 gariepinus* são fatores adicionais de preocupação em relação à biodiversidade da bacia. As comunidades de peixes, no entanto, apresentam ainda grande

diversidade, sendo que as espécies de grande porte (*Pseudoplatystoma curruscans* – até 150 cm; *Salminus maxillosus* – até 100 cm), embora decrescentes, constituem ainda a base da pesca profissional (Agostinho, 1997). 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.

No segundo caso, 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 5-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 5-B) (Rocha *et al.* em prep.). 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.

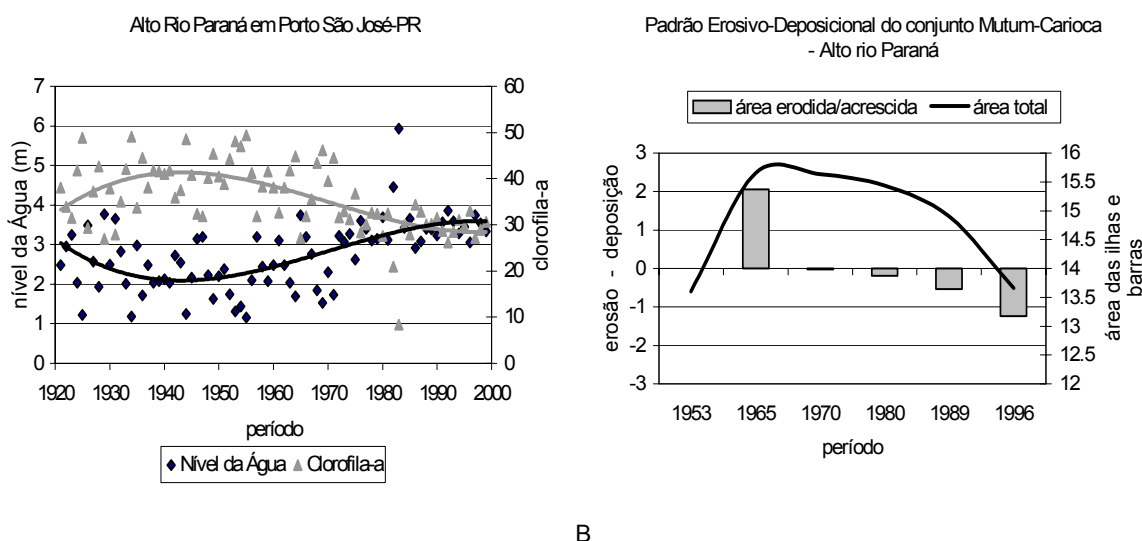


Figura 5. Relacionamento entre as variações no nível médio do Alto Rio Paraná (m) e os valores respectivos de Clorofila-a ($\mu\text{g/l}$) - **A**, e comportamento erosivo-deposicional (km^2) ao longo do período estudado - **B**.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os fenômenos observados mais evidentes de alterações no regime hidrológico do rio Paraná no seu trecho superior, foram a inversão na frequência anual das classes de débito Vazante **VZ** e Descarga Média **DM**. A comparação da distribuição temporal das descargas com os valores de volumes represados indicaram uma diminuição do tempo de ocorrência dos débitos inferiores à média e aumento do tempo de débitos entre os valores da média e de margens plenas a partir da década de 70, à medida em que se acumularam os fechamentos de grandes reservatórios, tornando o rio Paraná um rio **regulado**, no que se refere aos débitos mínimos e médios.

A distribuição de frequência de débitos no período de 1920 a 1971 representa o regime natural do rio Paraná. As modificações que surgiram no intervalo entre 1972 e 1981 nas classes de *Vazante* e *Descargas Médias* coincidem com a seqüência de fechamentos de reservatórios, e o intervalo final (1982 em diante) coincide com o estágio de operação plena dos aproveitamentos hidrelétricos, sugerindo que estes estágios sejam respostas do sistema fluvial ao controle de descargas efetuado pelos barramentos a montante.

O aumento do valor da descarga média anual parece se relacionar mais com possíveis alterações parciais do ciclo hidrológico na bacia, como resultado de maior precipitação ou pelo efeito de outras ações humanas, como o desmatamento e substituição da vegetação nativa, que como consequência, geralmente promove diminuição potencial na taxa de infiltração da água no solo, causando aumento mais rápido na hidrógrafa. Entretanto não se pode deixar de considerar o potencial de controle de débitos dos barramentos, que passa de 100 dias à descarga média na seção de Guaíra.

A seção de Guaíra-PR/Brasil limita a jusante a bacia do Alto Rio Paraná e também é particular por limitar o último trecho livre de barramento deste rio, que nos quase 200 km a montante da estação desenvolve uma extensa planície aluvial, que varia de 5 a 10 km de largura. Em termos geomorfológicos, as alterações mais visíveis ocorrem no canal do rio Paraná, como alterações nos processos de erosão, transporte e sedimentação. Já as alterações na ecologia do sistema, parecem ocorrer mais intensamente nos ambientes de planície de inundação. Essa 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 semilóticos 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 léticos 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.

Aqui mencionou-se de modo geral algumas alterações que puderam ser medidas ou estimadas. Com maiores investigações, talvez poderão ser detalhadas outras alterações. A questão passa a ser onde alterações estão ocorrendo, por que, quando e quanto. Muitos pesquisadores, nos últimos anos, têm procurado entender o complexo reajustamento da morfologia do canal e estimar o tempo requerido para a resposta morfológica chegar ao seu equilíbrio. Neste contexto, nenhuma resposta do canal pode ser observada antes de 5 anos (ou mais) do represamento e essas trocas podem perdurar mais de 50 anos (Petts, 1980; Buma & Day, 1977, in Guerra & Cunha, 1995).

Assim, pode-se considerar o início das alterações hidrológicas do rio a partir do início da década de 70, e esse deve estar em pleno estágio de ajustamento às novas condições no período atual, sendo que o monitoramento dos aspectos hidrodinâmicos, geomorfológicos e ecológicos são de fundamental importância para a manutenção do sistema e possíveis estratégias de preservação que considerem tais fatores.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGOSTINHO, A.A. 1997. 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, p.455-460.
- CESP (Companhia Energética de São Paulo); 1993. *Informações Gerais*. São Paulo. 73 p.
- CHRISTOFOLETTI, A., 1981. *Geomorfologia Fluvial*. Ed. Edgard Blucher, São Paulo-SP.
- COMITÊ BRASILEIRO DE GRANDES BARRAGENS; 1982. *Barragens no Brasil*. Editora Técnica Ltda., São Paulo. 279 p. ,
- COOKE, R.U. & DOORNKAMP, J.C. , 1990. *Geomorphology. In Environmental management*. Oxford University Press. 2^a. ed. New York.
- FERNANDEZ, O.V.Q & SOUZA FILHO, 1995. Efeitos do Regime Hidrológico Sobre a Evolução de um conjunto de Ilhas no Rio Paraná. *Bol. Paranaense de Geociências*, Vol.43 Ed. UFPR. P. 161-171
- GUERRA, A.J.T. & CUNHA, S.B. (org)., 1995. *Geomorfologia : Uma Atualização de Bases e Conceitos*. 2. Ed., Bertrand Brasil. Rio de Janeiro.
- HICKIN, E.J., 1968. Channel morphology, bankfull stage and bankfull discharge of streams near Sidney. *Australian Journal of Sciences*, 30. P. 274-275.
- IBGE. 1990. *Geografia do Brasil, Região Sul*. Vol. 2. Rio de Janeiro-RJ.
- ITAIPIU BINACIONAL., 1994. Boletim Informativo. Foz do Iguaçu-PR.
- LEOPOLD, L.B., WOLMAN, M.G. & MILLER, J.P., 1964. *Fluvial processes in geomorphology*. Freedman, San Francisco, 319 p.
- LEWIS, C.P. & McDONALD, B.C., 1973. Rivers of the Yukon north slope. In: *Fluvial Processes and Sedimentation. National Research Council of Canada*. University of Alberta, Edmonton, Alberta. P. 251-271.
- PAIVA, M.P., 1982. *Grandes Represas do Brasil*. Brasília-DF. Editerra.
- PETRI, S. & FÚLFARO, V.J., 1983. *Geologia da Chapada dos Parecis, Mato Grosso, Brasil*. Rev. Brasil. Geociênc., n. 7.
- PETTS, G.E., 1990. Regulation of large rivers: Problems and possibilities for environmentally-sound river development in South America. *Interciencia*, vol. 15, n. 6. P. 388-395.
- PETTS, G. & FOSTER, I., 1990. *Rivers and Landscape*. The Athenaeum Press, 3 ed., New Castle, Great Britain.
- POFF, H.L., ALLAN, D., BAIN, M.B., KARR, J.R., PRESTEGAARD, K.L., RICHTER, B.D., SPARKS, R.E., & STROMBERG, J.C., 1997. The natural flow regime: a paradigm for river conservation and restoration. *Bioscience*, vol. 47, n. 11. P. 769-784.
- SANTOS, M.L., 1991. *Faciologia e evolução de Barras de Canal do Rio Paraná na Região de Porto Rico-PR*. Rio Claro-SP. Dissert. de Mestrado. IGCE/UNESP. Inédito.
- SOUZA FILHO, E. E.; 1993. *Aspectos da Geologia e Estratigrafia do Rio Paraná Entre Porto Primavera (MS) e Guaira (PR)*. Tese de Doutorado. I.G.- U.S.P., São Paulo. 214 p.
- STEVAUX, J.C., 1993. *O Rio Paraná: Geomorfogênese, Sedimentação e Evolução Quaternária do seu Curso Superior (região de Porto Rico-PR)*. Tese de Doutorado. Instituto de Geociências/ USP. São Paulo-SP. Inédito
- THOMAZ, S.M., ROBERTO, M.C., BINI, L.M., 1997. Caracterização Limnológica dos Ambientes Aquáticos e Influências dos Níveis Fluviométricos, in VAZZOLER, A.E.A.M., AGOSTINHO, A. A., HAHNN, N.S., *A Planície de Inundação do Alto Rio Paraná: Maringá-PR*, Eduem: NUPELIA.
- WOLMAN, M.G. & LEOPOLD, L.B., 1957. River flood plains some observations in their formations. *U.S. Geol. Survey Prof. Paper 282-C*