

Recursos Hídricos e Conservação do Alto Paraguai

Carlos E. M. Tucci

Instituto de Pesquisas Hidráulicas – Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Av. Bento Gonçalves, 9500 Porto Alegre-RS Carlos.Tucci@ufrgs.br

Resumo: O rio Paraguai na sua parte superior, a montante da foz do rio Apa, engloba um dos mais importantes biomas brasileiros que é o Pantanal. As características naturais e antrópicas da bacia apresentaram grandes variabilidades ao longo do último século que necessitam de uma gestão adequada dos recursos naturais, em especial os recursos hídricos.

O entendimento do comportamento hidrológico deste sistema é essencial para avaliar os seus diferentes condicionantes naturais e sociais regionais. Neste artigo são apresentados elementos qualitativos e quantitativos da variabilidade hidrológica dentro de uma visão de macroescala, analisados os usos dos recursos hídricos e os principais impactos ambientais associados.

Observa-se a necessidade do desenvolvimento de uma gestão dos recursos hídricos responsável que envolva a implementação dos mecanismos institucionais e um melhor conhecimento das quantitativos dos processos envolvidos para um adequado gerenciamento dos desafios existentes.

Palavras-chave: Recursos hídricos/Conservação/Pantanal

DESENVOLVIMENTO E CONSERVAÇÃO DO ALTO PARAGUAI

O condicionamento de desenvolvimento e conservação da bacia do Alto Paraguai dependem do singular comportamento hidrológico da bacia. A variabilidade espacial e temporal (sazonal e interanual) da precipitação, evapotranspiração e as vazões resultantes, associado ao crescimento econômico desordenado, após os 70, tem colocado em risco a estável convivência entre a agropecuária e o meio ambiente observada antes deste período.

A bacia do Alto Paraguai é sub-dividida em duas áreas bem distintas (figura 1) tanto em comportamento hidrológico como ambiental e sócio-econômico: *Planalto* que corresponde a parte superior do rio principal e dos afluentes, separado do *Pantanal* por cotas acima de 200 m (figura 2), com precipitação anual acima de 1.400 mm, vazão específica da ordem de 20 l/s/km². A área é utilizada principalmente para agropecuária e mineração (no Mato Grosso). O solo apresenta grande fragilidade em parte importante da região, o que tem gerado grande produção de sedimentos devido ao crescimento da atividade antrópica. O escoamento proveniente do Planalto escoado diretamente para o Pantanal, dessa forma, todas as ações produzidas no Planalto podem produzir impactos diretos sobre o Pantanal e para jusante

em águas internacionais de Paraguai, Bolívia e Argentina.

O *Pantanal* é a grande planície do rio Paraguai e fica a jusante do *Planalto*, com cerca de 124.000 km². A precipitação anual é inferior a evapotranspiração potencial, a capacidade de escoamento dos rios é pequena, inundando toda a planície, formando uma das mais importantes *wetlands* do mundo. O Pantanal tem um comportamento singular, já que cerca de 50 a 70% do volume de água e sedimentos de montante é retido pelas depressões no período de inundação devido a baixa capacidade de escoamento da rede fluvial, representando a fonte de vida para este sistema de áreas inundadas.

O Pantanal tem mostrado uma sustentabilidade importante através da convivência entre o gado e a preservação do ecossistema. Nas últimas décadas alguns impactos ambientais podem comprometer esta convivência harmoniosa. Os principais são os seguintes:

- aumento de sedimentos contaminados de montante pela mineração (Mato Grosso) ou degradação solo pela agro-pecuária (Mato Grosso do Sul), criando depósitos com material tóxico, além do próprio assoreamento, a medida que o Pantanal retém 60% dos sedimentos;
- construção de obras hidráulicas como diques para reduzir as áreas inundadas;

- projeto da construção da hidrovía entre Corumbá em Cáceres, alterando o leito do rio Paraguai. A alteração do leito, aumentando a sua capacidade de descarga poderá reduzir a quantidade de água escoada para as baías e áreas inundadas. Como o balanço é negativo a

área inundada do Pantanal poderia ser muito menor nos anos mais secos, criando condicionantes diferentes dos naturais no Pantanal;

- desenvolvimento urbano e seus impactos sobre o sistema

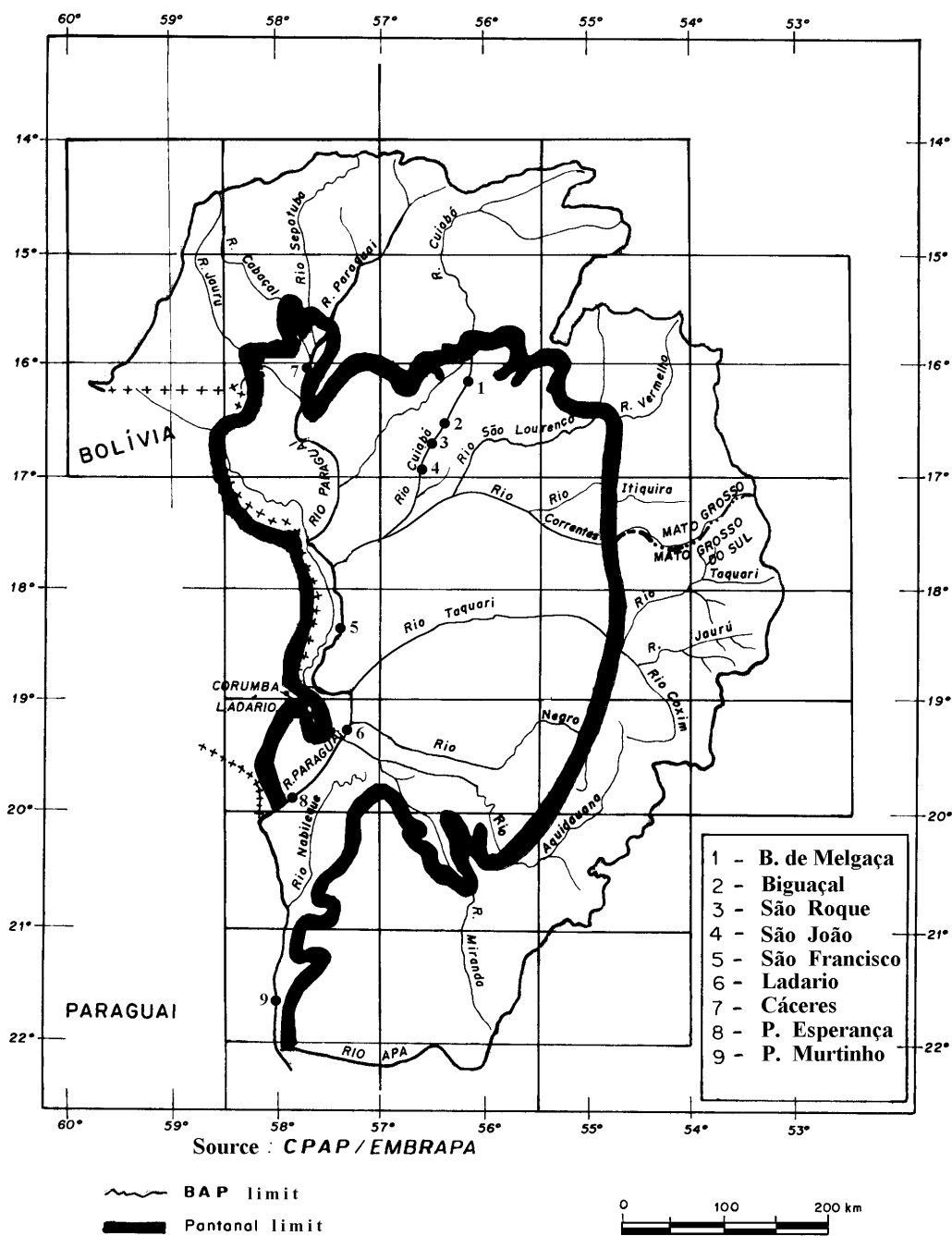


Figura 1 Bacia do Alto Paraguai (IPH, 1996)

A bacia do Alto Paraguai ainda se encontra relativamente pouco habitada, mas tenderá a médio prazo a um desenvolvimento econômico que poderá agravar os impactos existentes e ainda criar novos condicionantes. A água é o fator de sustentação do ecossistema da bacia e deve ser utilizada de forma racional não somente para a conservação ambiental como também para garantir a sustentabilidade do desenvolvimento regional.

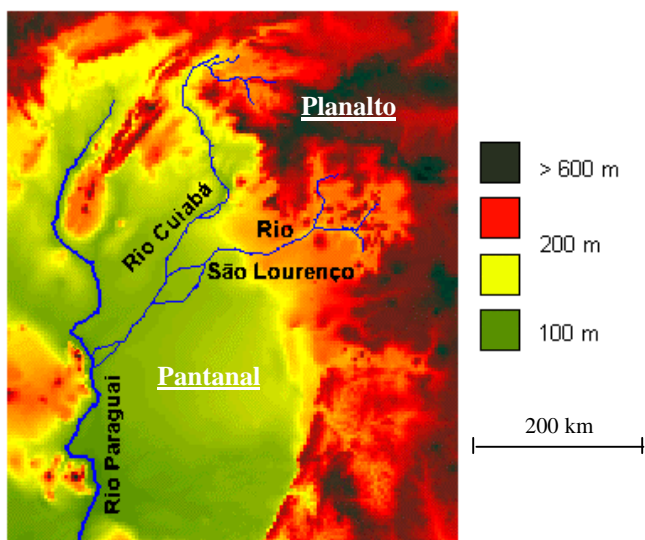


Figura 2 Caracterização do relevo do Planalto e Pantanal em parte da bacia (Collishonn e Tucci 2002)

COMPORTAMENTO HIDROLÓGICO

Condicionamento físico e fluxos

A área de drenagem da bacia do Alto Paraguai é de 496.000 km², cobre regiões da Bolívia, Paraguai (limite na foz do rio Apa) e dos estados Mato Grosso e Mato Grosso do Sul. Os principais formadores do rio Paraguai são os rios Cuiabá, São Lourenço, Piquiri, Taquari, Miranda e Negro, todos pela margem esquerda (figura 1).

Ao longo do rio principal, dentro do Pantanal, o rio Paraguai (principalmente a jusante de Corumbá) escoar através de algumas seções que estrangulam o seu escoamento, produzindo armazenamento para montante, como o efeito de um reservatório. Estas condições produzem a redução da declividade da linha d'água para montante e

da capacidade de escoamento do rio e seus afluentes.

Os rios, ao entrarem no Pantanal, sofrem drástica redução de velocidade, decorrente da brusca mudança de declividade. Associada a este fenômeno, ocorrem, o assoreamento no leito e uma perda de poder erosivo que se traduzem por uma seção transversal menor do que a do estirão a montante no Planalto (figura 3). Durante as enchentes, como as seções a jusante, no Pantanal, têm capacidade de escoamento (*conveyance*) menor do que a do Planalto, ocorrem extravasamentos para o leito maior. De acordo com a magnitude das enchentes, são atingidas áreas com maior ou menor extensão. Por outro lado, a planície pantaneira é ocupada por um grande número de depressões que, quando cheias, formam uma paisagem de pequenos lagos que se interligam nas águas altas e represam as águas de parte da rede de drenagem depois que os níveis do rio principal baixam (figura 4). Grande parte do volume do hidrograma de montante, que extravasa para o leito maior, fica retido pelas depressões que não têm ligação superficial com o leito menor de drenagem principal do Pantanal.

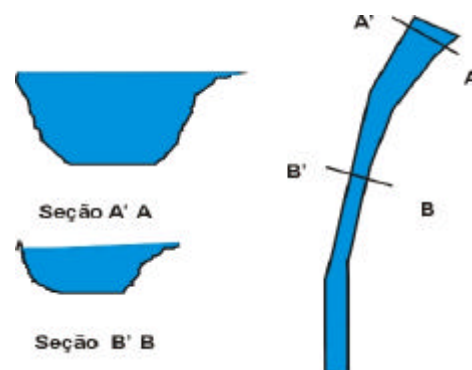
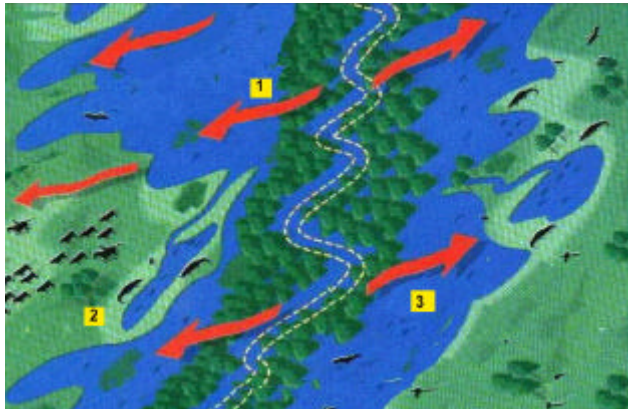


Figura 3 Características das seções entre o Planalto e o Pantanal (PCBAP,1997)

Na planície, como a velocidade do escoamento é quase nula (principalmente nos baixios ou depressões). Os sedimentos se depositam no fundo destes pequenos lagos, colmatando o seu fundo. Esse comportamento reduz a percolação, que ocorre principalmente pelas laterais (figura 5). O volume é reduzido principalmente pela evaporação, já que no total anual o volume precipitado é inferior ao da evaporação.



- 1 Durante a estação das chuvas, os rios transbordam e alagam os campos onde se formam banhados, lagoas e corixos temporários;
- 2 O gado é levado em comitivas para as partes altas;
- 3 Aproveitando a inundação, os peixes saem dos rios e espalham-se por toda a área inundada do Pantanal.

(a) Pantanal durante as inundações (fonte: Revista Veja)



(b) foto da inundação do Pantanal



- 4 Quando as chuvas param e os rios voltam a seus leitos, milhões de peixes ficam aprisionados nas lagoas. É um banquete para aves, jacarés e ariranhas.
- 5 Os pastos renovados pela matéria orgânica trazida pela água, crescem verdes atraindo cervos, capivaras e outros animais que convivem com o gado;
- 6 No topo da cadeia alimentar estão as onças e jaguatiricas.

(c) Pantanal durante a estiagem (fonte: Revista Veja)



(d) foto durante as estiagens

Figura 4 Inundação da planície Pantaneira

Esse comportamento pode ser demonstrado com base nos dados dos diferentes afluentes do rio Paraguai ao longo do Pantanal. Para ilustrar, na tabela 1 são apresentadas as vazões médias anuais de alguns postos no sentido de montante para jusante no rio Cuiabá. Pode-se observar que o volume médio anual diminui para jusante. Na tabela 2 são apresentadas as

vazões mínimas de 30 dias de duração para os mesmo postos. Como no período de estiagem não ocorre transbordamento da calha menor do rio e existe uma parcela de contribuição subterrânea da percolação do Pantanal, a vazão aumenta. Na figura 6 são apresentados os hidrogramas de montante e jusante do mesmo trecho do rio Cuiabá.

bá durante o período de cheia onde se observa claramente que o volume a jusante é menor que o de montante nos diferentes trechos definidos pelos postos. Esta redução varia de acordo com a inundação entre 50 e 70%.

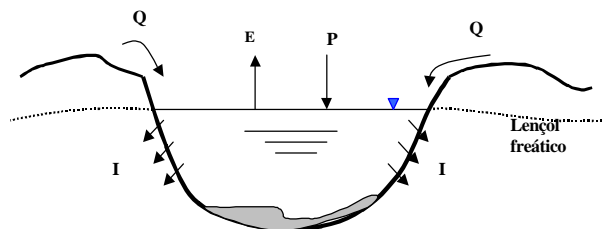


Figura 5 Balanço das depressões, onde P =precipitação; E evaporação; Q as vazões de entrada; I a infiltração.

Tabela 1 Vazões médias anuais em m³/s nos postos do Rio Cuiabá (IPH, 1996)

Anos	Barão de Melgaço (1)	Biguaçal (2)	São Roque (3)	São João (4)
1971	224	206	202	197
1972	286	238	291	207
1973	323	280	269	232
1974	457	343	328	265
1975	384	324	311	250
1976	366	328	316	261

() numeração no sentido de montante para jusante dos postos no rio Cuiabá

Tabela 2 Vazões mínimas de 30 dias de duração em m³/s para os postos do rio Cuiabá (IPH, 1996)

Anos	Barão de Melgaço (1)	Biguaçal (2)	São Roque (3)	São João (4)
1971	67,9	79,0	78,5	76,0
1972	79,1	88,2	89,1	89,1
1973	84,9	91,6	90,7	90,5
1974	113,4	122,4	120,6	125,9
1975	94,4	109,1	107,5	99,5
1976	98,4	118,1	117,2	112,4
1977	119,3	130,7	132,3	124,6
1978	95,5	120,7	130,4	116,7
1979	125,5	143,3	151,6	152,4
1980	120,8	141,9	151,2	145,7

Balanço hídrico do Pantanal

A precipitação média no Pantanal é de 1180 mm e a evapotranspiração potencial 1370 mm. A figura 7 apresenta a variabilidade destes valores ao

longo do ano no rio Taquari com base em um posto da região.

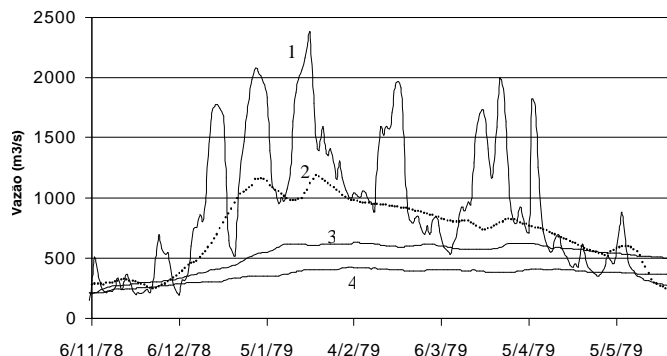


Figura 6 hidrogramas no rio Cuiabá entre 1978 e 1979 . Cuiabá (1), Barão do Melgaço (2), Retiro Biguaçal (3) e São João (4).

Para analisar o balanço de volume do Pantanal utilizou-se os seguintes critérios: (a) a vazão de entrada no Pantanal foi estimada com base dados dos postos dos afluentes e o restante da bacia não controlada foi obtida com base na proporção (vazão específica) do posto mais próximo; (b) a vazão de saída foi considerada em Porto Esperança; (c) as áreas inundadas foram estimadas com base nos resultados de Hamilton (1995) que determinou as áreas inundadas em cada ano através na correlação com a régua de Ladário; (d) para as áreas inundadas foi considerada a perda da evapotranspiração potencial; (e) para as áreas inundadas foi utilizado um fator de ajuste para estimativa da evapotranspiração. Os resultados obtidos deste balanço são apresentados na tabela 3.

No balanço total, a vazão média de entrada do período é de 2.058 m³/s e a de saída em Porto Esperança 2.165 m³/s, mostrando que a vazão média deste período do Pantanal representa apenas 107 m³/s com vazão específica de 0,91 l/(s.km²). Este resultado positivo de volume pode parecer incoerente com os resultados apresentados acima do rio Cuiabá, mas este balanço realizado num período de 11 anos considera o efeito do armazenamento interanual e de trechos, no rio principal onde não ocorre redução de volume. A importante constatação deste resultado é de que o sistema regulariza um volume significativo de água e cria um meio ambiente aquático típico de banhados (wetlands) em grande parte da superfície do Pantanal.

Variabilidade espacial e sazonal das inundações

O período chuvoso no Alto Paraguai ocorre de Outubro a Abril com pequenas variações interanuais. Na parte superior da bacia o volume principal de precipitação ocorre entre Outubro e Março (figura 8, Cáceres está na entrada de montante do rio Paraguai). Contudo pode se observar uma pequena tendência de alteração na sazonalidade da precipitação de leste para oeste, com redução de totais anuais. As figuras 8 até 10 mostram o deslocamento lento das vazões de cheia ao longo do rio Paraguai.

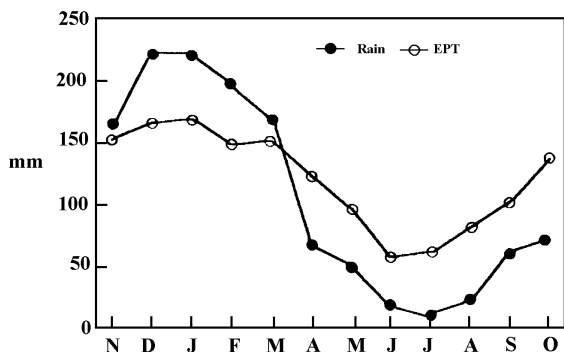


Figura 7 Precipitação e evapotranspiração Pantanal (Hamilton et al, 1995)

Tabela 3 Balanço hídrico do Pantanal (Tucci et al, 1999)

Ano	Qe Km ³	Qs km ³	P km ³	E Km ³	D km ³
1970	40,509	41,060	122,141	129,21	-7,62
1971	35,253	38,095	144,724	129,21	12,67
1972	44,829	40,522	134,444	129,21	9,54
1973	49,231	44,182	133,075	132,22	5,90
1974	71,748	83,823	157,175	141,19	3,91
1975	62,98	65,090	134,444	139,61	-7,28
1976	69,939	74,961	164,949	139,60	20,33
1977	76,016	83,129	175,574	146,28	22,18
1978	77.818	73.100	134.383	144.570	-5.47
1979	87.056	98.045	159.470	142.85	5.63
1980	86.494	91.171	155.607	142.54	8.39
1981	77.014	85.967	136.234	144.95	-17.67
Média	64,91	68,26	146,02	138,63	

Qe volume de entrada; Qs volume de saída; P precipitação; E evaporação e D = Qe - Qs + P - E.

Observe na figura 1 a localização dos postos e verifique que de Cáceres a Porto Murtinho a vazão máxima se desloca de março para Junho com três meses de defasagem. Analisando o escoamento ao longo do ano, geralmente existe apenas um pico com tempo de deslocamento próximo destes valores médios mensais, variando de acordo com a magnitude da inundação. Observe na figura 10 que as vazões má-

ximas ocorrem meses depois das precipitações máximas, o que indica que o hidrograma é resultado da propagação de montante.

Estas figuras mostram que a velocidade da água através do rio Paraguai é pequena devido a baixa capacidade de escoamento do leito principal do rio Paraguai e seus tributários.

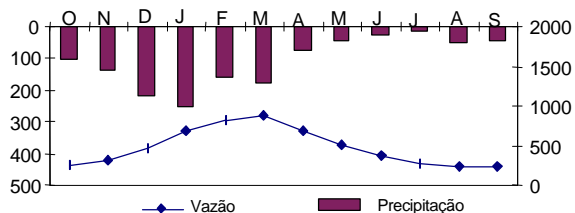


Figura 8 Precipitação e vazão Média mensal no rio Paraguai em Cáceres.

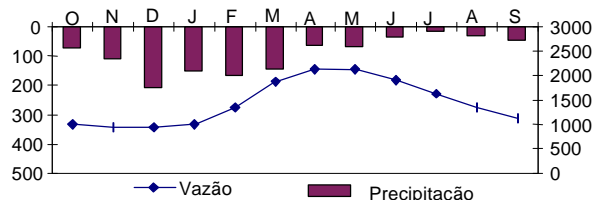


Figure 9 Precipitação e vazão média mensal no rio Paraguai em São Francisco.

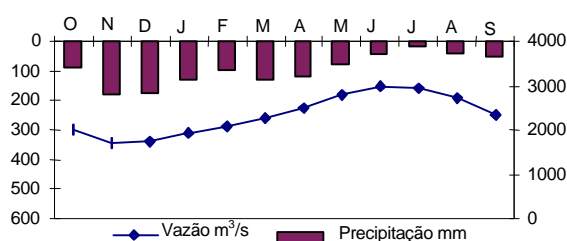


Figure 10 Precipitação e vazão média mensal no rio Paraguai em Porto Murtinho.

No Planalto, no período de Outubro a Março os hidrogramas de cheias entram em recessão no restante do ano, a vazão é mantida pela recarga dos aquíferos e o retorno das vazões de inundação dos baixios. Na região entre o Planalto e o rio Paraguai, nos seus tributários, que formam os diferentes leques, como o Taquari, Miranda e São Lourenço, a inundação ocorre no período chuvoso devido a chegada das vazões do Planalto e da precipitação local. Neste momento o rio Paraguai ainda não transportou a vazão inundação do período chuvoso das suas cabeceiras e está mais baixo. Nestas condições este fluxo pode entrar no Paraguai, minimizando as inundações. Quando os tributários iniciam a redução dos níveis chegam

os volumes de montante, mantendo uma importante faixa ribeirinha alagada por muitos meses. O remanso do rio Paraguai gera a formação dos leques. Esta situação ocorre devido ao seguinte conjunto de fatores: o fluxo do tributário não possui capacidade hidráulica para penetrar no rio Paraguai, o solo possui pequena resistência e o rio tende a depositar no fundo os sedimentos pela redução de velocidade e passa, com o tempo Ter cota de fundo maior que a várzea. Como conseqüência o tributário pode abrir um novo leito e escoar parte do seu volume para bacia de forma distribuída invertendo o tradicional processo do curso d'água receber o escoamento da bacia (figura 11). Fora da área de influência do rio Paraguai os tributários, principalmente no Planalto, possuem comportamento sazonal úmido e seco semelhante ao período chuvoso.

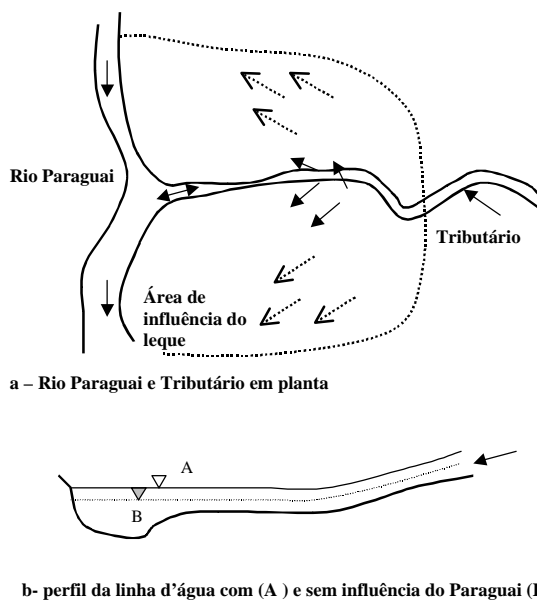


Figura 11 Características dos fluxos nos leques

Variabilidade interanual

As séries históricas hidrológicas da bacia do Alto Paraguai não são extensas, apenas um posto, o fluviométrico de Ladário possui série desde 1900, os demais na sua maioria iniciaram na década de 60. Com relação aos dados pluviométricos observa-se que existem apenas seis postos com séries extensas (47 a 88 anos de dados), as demais também após a década de 60.

IPH (1984) analisou a média e o desvio padrão da precipitação dos períodos úmidos e secos nos dados dos seis postos citados, verificando a representatividade do período no qual a maioria dos postos possuem dados (após 1960). O registro dos postos foram

separados em duas partes e as estatísticas calculadas para verificação de teste de homogeneidade. Os testes mostraram que a variância e a média da chuva não apresentaram diferença significativa entre os dois períodos (nível de significância de 5%). Os resultados mostraram que 85% da precipitação ocorre, em média no período chuvoso. A tendência é de precipitação maior no Norte da bacia, reduzindo no sentido Sul e Leste. Na figura 12 é apresentada a variabilidade sazonal das precipitações dos referidos postos.

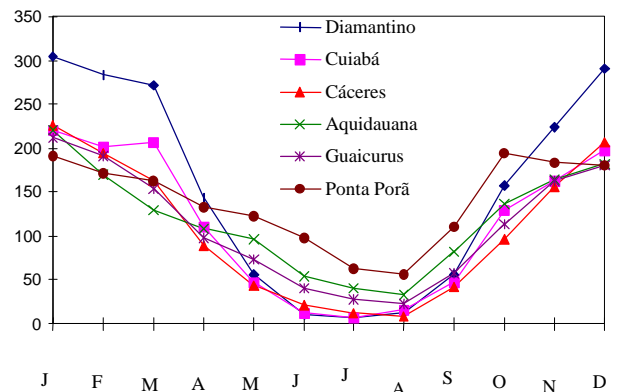


Figura 12 Variação sazonal da precipitação

Os dados fluviométricos na bacia apresentam grandes incertezas relacionadas com o seguinte: (a) apenas um posto com dados antes de 1960 e apenas um segundo no início de 1960, sendo os demais depois de 1968; (b) o leito móvel, principalmente dos rios tributários, faz com que ocorram freqüentes mudanças das curvas de descargas introduzindo incertezas nos dados; (c) mudança de entidades que opera a rede hidrométrica resultou em perdas de informações entre 1988 e 1992; (d) muitos locais não dispõem de vazões, apenas níveis. A análise da variabilidade interanual é realizada com os dados da série de Ladário (1900-199). Na figura 13 são apresentados os níveis máximos anuais em Ladário para o todo o período de registro. Pode-se observar que entre 1900 e 1960 os níveis máximos ficaram, em média da ordem de 4,00 m, enquanto que entre 1960 e 1972 da ordem de 2,00 m. Já entre 1973 e 1995 variou em cerca de 5,0 m. Na figura 14 são apresentadas as curvas de permanências destes períodos mostrando as diferenças de níveis também para o restante da série.

Considerando que os leitos são móveis e a erosão e sedimentação são significativas as primeiras questões que foram investigadas são as seguintes: (a) a mudança do leito pode explicar as variações

nível observadas na década de 60? ; (b) a escala de Ladário poderia ter mudado de posição ou local durante o período? (c) estas variações podem ser explicadas pela variação do uso do solo a montante? (d) estas variações podem ser explicada pela variabilidade climática ou modificação climática?

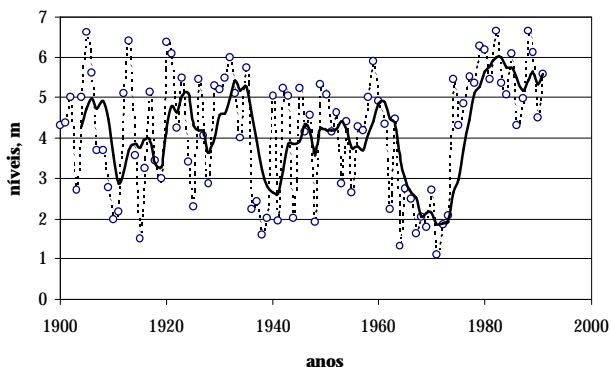


Figura 13 níveis máximos em Ladário e média móvel de 5 anos.

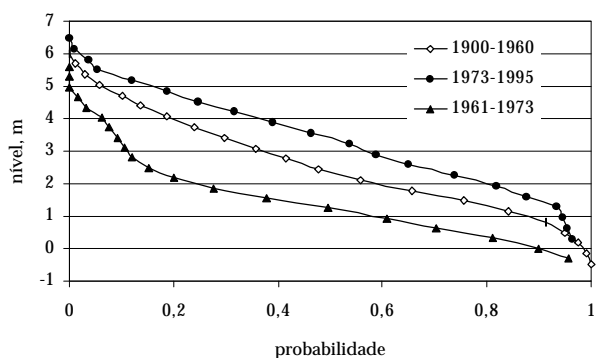


Figura 14 curva de permanência dos três períodos: 1900- 1960; 1961-1972 e 1973 - 1995.

Para analisar a primeira questão utilizou-se os dados fluviométricos com dados da década de 60 de outros postos, além Ladário, para verificar se apresentavam a variabilidade relativa entre a década de 60 e o período subsequente, já que não existiam dados anteriores. Na figura 15 são apresentados os dados de vazão adimensionalizados com relação a sua média para alguns postos da região. Na figura 16 são apresentadas as vazões em Coxim no rio Taquari entre 1969 e 1984, mostrando o mesmo comportamento. A variabilidade dos níveis e vazões dos postos é semelhante a observada em Ladário, uma eventual mudança de leito não poderia explicar toda esta flutuação.

Para analisar o efeito da variabilidade climática sobre a bacia foram comparados os níveis relativos de Ladário com a precipitação de um dos postos com

série longa da bacia, também adimensionalizados. Os resultados mostraram que no período da década de 60 as precipitações estiveram abaixo da média de longo período, da ordem de 15% (na média do período), durante todos os anos.

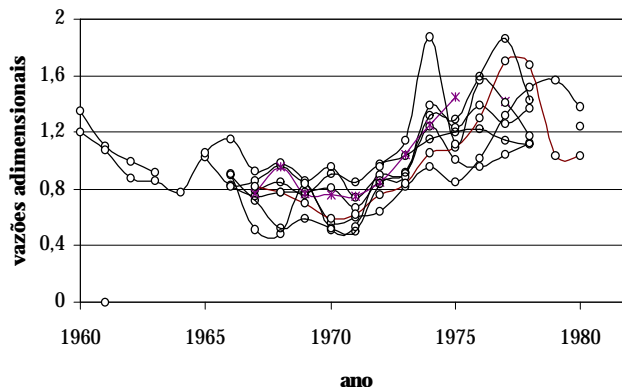


Figura 15 Vazões adimensionais de alguns postos do Alto Paraguai com séries a partir de 1960.

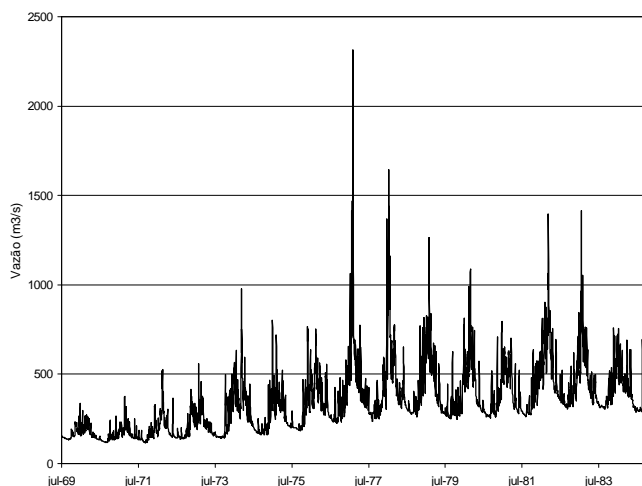


Figura 16 Vazões em Coxim no rio Taquari entre 1969 e 1984 (Collishonn, 2001)

O impacto da redução da precipitação sobre o escoamento é muito maior, já que o efeito se amplifica. Neste caso, dois efeitos são concomitantes, já que quando ocorre redução da precipitação a evapotranspiração aumenta e os dois efeitos são no mesmo sentido. Considerando um coeficiente de uma precipitação média de 1500 mm, a redução de precipitação é de 225 mm, ficando a sua média em 1225 mm. Considerando a evapotranspiração potencial da região superior a 1600 mm, a tendência é que a redução da vazão seja proporcionalmente maior.

Coincidentemente, durante a década de 70 houve uma grande expansão agropastoril no Pla-

nalto do rio Paraguai, principalmente no rio Taquari, o que poderia nos levar a suposição que o efeito do uso do solo poderia explicar esta variação de volume. Collishonn (2001) utilizou um modelo hidrológico que considera o uso do solo e simulou a bacia do rio Taquari e estimou, preliminarmente, que a alteração representava em média 400 mm, sendo que $\frac{1}{4}$ deste total poderia representar o uso do dolo (principalmente devido ao pasto) e $\frac{3}{4}$ devido a alteração da precipitação.

Inundação e duração

Hamilton et al (1995) estimou a área inundada do Pantanal utilizando imagens de satélite e correlacionou para o período com imagens com os níveis de seção de Ladário. Através da regressão extrapolou uma série de áreas inundadas (figura 18).

Tucci e Genz (1994) utilizaram os dados de cada estação fluviométrica para obter uma estimativa da duração das inundações ao longo do rio Paraguai. Utilizando os dados de alguns postos verificou-se a partir da seção a cota de transbordamento e da curva de permanência, o período em que cada posto fluviométrico fica inundado. Não é a melhor estimativa já que estes locais não refletem necessariamente o que ocorre ao longo de todo o rio, mas é uma estimativa dentro dos dados disponíveis. Na tabela 4 são apresentados os locais ao longo do rio Paraguai e o período em dias e % do tempo.

Tabela 4 Características de inundação das estações

Nome da Estação	Cota de inundação cm	% média anual de submersão
Cáceres	430	28,7
Descalvados	480	35,1
Porto Conceição	400	78,2
São João	380	46,5
Porto do Alegre	500	55,9
Amolar	600	47,1
São Francisco	690	35,2
Ladário	350	45,3
Porto Rolon	180	85,2
Porto da Manga	630	57,4
Tição de Fogo	470	17,4
Porto Ciriaco	340	41,4
Porto Esperança	350	65,2
Forte Coimbra	400	45,1
Barranco Branco	630	43,3
Porto Murinho	550	37,4

Produção e transporte de sedimentos

A produção de e transporte de sedimentos devido aos impactos antrópicos no Planalto da bacia é uma das principais preocupações ambientais. No Planalto, após os anos setenta houve aumento do rebanho de gado e da produção agrícola. Na figura 16 pode-se observar a proporção de área plantada e utilizada pelo gado na bacia do rio Taquari. Estes valores mostram que o rebanho cobre uma área significativamente maior que a soja.

O efeito do plantio de soja, como da maioria do plantio de culturas anuais é o de aumentar o escoamento devido ao desmatamento e a alteração da cobertura do solo anualmente. Sahin e Hall (1996) utilizaram dados experimentais de diferentes climas e identificaram que este tipo de uso pode produzir aumento variável do escoamento médio, de acordo com a área desmatada em função da precipitação e evapotranspiração de cada região. Apesar disto, a área de plantio agrícola é pequena e o solo apresenta alta capacidade de infiltração, com pequeno volume de escoamento superficial que pudesse gerar erosão laminar. De outro, em parte da área ocupada pelo gado o escoamento é superficial e o solo muito frágil, onde o caminho do gado e seu pisoteio pode gerar erosão (Collishonn, 2001).

Borges et al. (1996) com base em dados de sedimentos em suspensão nos rios identificou a quantidade de sedimentos na bacia do Planalto onde os valores são da ordem de $1 \text{ t}/(\text{d} \cdot \text{km}^2)$ na cabeceiras do rio São Lourenço e Taquari. Este volume é médio, mas com valores mais recentes, resultantes do período com vazões maiores após os anos 70. O aumento da vazão e, em com seqüência, da velocidade do escoamento aumenta a descarga de sedimentos, por exemplo, um aumento de 5% na velocidade do escoamento pode produzir da ordem de 15 a 40% da descarga de sedimentos (Ponce, 1995). O efeito do aumento da vazão, velocidade e da energia do fluxo sobre os leitos de inundação são de aumento da seção de escoamento pela erosão ou através do desenvolvimento de novo talveg (figura 19).

Dentro do Pantanal os processos não são de erosão superficial, mas modificação do leito pela ação do transporte do escoamento proveniente do Planalto e a energia que envolve a mobilidade do leito. Com o aumento das vazões e a carga de sedimento proveniente de montante após a década de 70 houve grandes alterações no leito dos tributários geralmente do tipo apresentado na figura 19. No primeiro caso, observa-se o desen-

volvimento de meandros e o seu corte em função da variabilidade da magnitude das vazões. O segundo tipo ocorre pelo processo descrito no item anterior, onde o remanso pelo rio Paraguai faz com o que o tributário encontre outro leito. O exemplo principal desta situação ocorre com o rio Taquari que nos últi-

mos anos mudou de leito, saindo no Paraguai-Mirim, um braço do rio Paraguai na região da junção entre os mesmos.

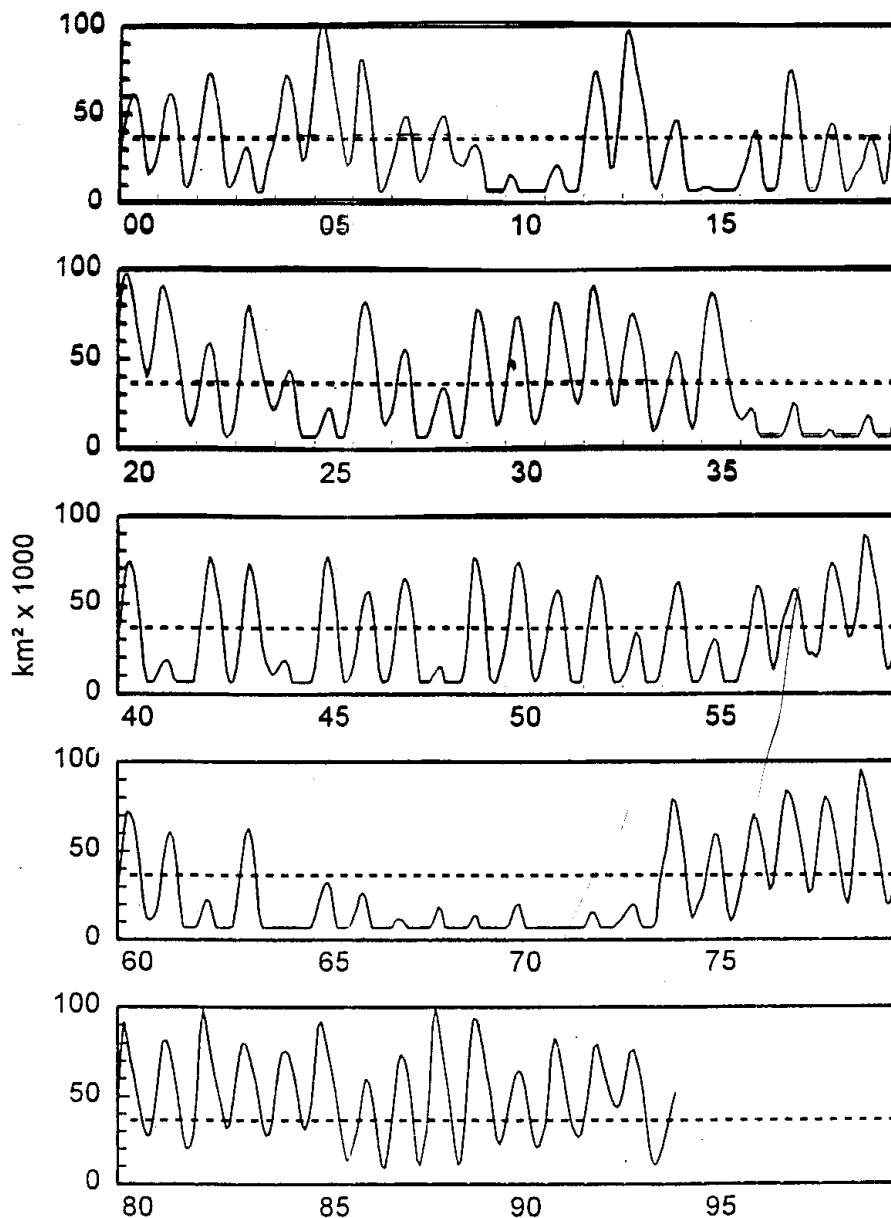


Figura 18 Áreas Inundadas no Pantanal (Hamilton et al, 1995)

No balanço de erosão que entra no Pantanal pelos tributários a redução de sedimentos até sua chegada no rio Paraguai é da ordem de 50 a 70%, volume este fica retido nos baixios contribuindo para diversidade do rio. A redução ao longo do rio Paraguai, é da ordem de 20 a 30% (Borges et al, 1996).

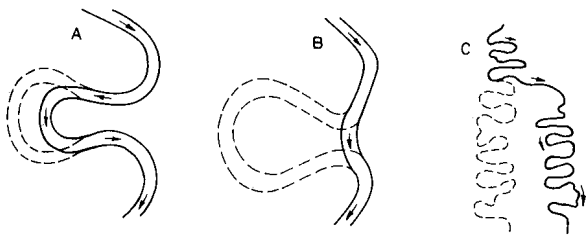


Figura 19 Características variação dos leitos nos tributários do rio Paraguai (Press e Siever, 1986)

Qualidade da água

Os principais impactos sobre a qualidade da água ocorrem devido (a) efluentes urbanos domésticos, industriais e pluvial, principalmente no Planalto. Este processo é normalmente observado na vizinhança das cidades; (b) efluentes tóxicos da mineração, como o mercúrio, observado principalmente no Mato Grosso. O mercúrio se agrega ao sedimentos e mantém no fundo dos rios um volume acumulado que se desloca para jusante; (c) no início do período chuvoso o fluxo transporta muita vegetação depositada na superfície das bacias e no leito dos rios. Com o aumento da vazão este volume é transportado para a massa de água e requer grande quantidade de oxigênio para a sua degradação, levando o rio níveis muito baixo ou nulos de Oxigênio Dissolvido. Neste período, em alguns trechos, onde a velocidade do escoamento é menor (lagoas, baixios, áreas de remanso), observa-se grande quantidade de mortandade de peixes pela falta de oxigênio.

Balanco de Nutrientes e o ecossistema

O volume de água e sedimentos proveniente do Planalto que extravasa para as várzeas do Pantanal trazem consigo nutrientes que são a base da vida da fauna e flora desta região (Tricart, 1982 e Junk et al 1989). A quantidade de dados disponíveis não permite uma avaliação do balanço de nutrientes que chega ao Pantanal em função das vazões de montante. As questões principais são as seguintes: Em função da variabilidade de vazões devido as condições climáticas, como o balanço de nutrientes afeta a fauna e a flora regional? O período da década de 60 apresentou áreas de inundação muito menores que os períodos anteriores e posteriores, como o sistema reagiu a esta redução de água e provavelmente de nutrientes? Os últimos 30 anos é marcado por vazões altas provenientes do Planalto e extensas áreas de inundação. O aumento dos nutrientes de montante permitiu o desenvolvimento ambiental que poderá ser fortemente afetado quando ocorrer redução deste

volume na hipótese da variabilidade climática retornar as condições prévias a 70. A alteração da curva de permanência (figura 14) entre os períodos mostrou novos padrões do ambiente aquático quanto ao nível de inundação, que afetam a fonte de nutrientes disponíveis para o desenvolvimento da fauna nos baixios. A própria sazonalidade mudou de patamares, expulsando o gado em parte da área, devido ao alagamento e ampliando o banhado.

É interessante observar que o regime de precipitações do Pantanal sustentaria um ambiente semelhante ao cerrado, com períodos de até cinco meses sem chuva e precipitações altas no período úmido. As condições físicas e o fluxo de montante, fazem com que o volume excedente gere áreas de inundação e transforme um ambiente de cerrado em banhado. Considerando que qualquer destes elementos sejam alterados, como a capacidade de escoamento (devido a ações antrópicas) ou a entrada de fluxo de montante devido mudanças climatológicas pode levar o sistema de banhado para cerrado pela redução de água, sedimentos e nutrientes para as áreas inundadas.

RECURSOS HÍDRICOS

Usos

Os principais usos dos recursos hídricos na bacia do Alto Paraguai são: abastecimento de água, navegação, irrigação, produção de energia e turismo. A utilização da água para abastecimento urbano e irrigação geralmente dependem de pequenas bacias, enquanto que para navegação e produção de energia as bacias envolvem grandes áreas.

Devido à pequena densidade habitacional regional, usualmente, o conflito de demanda de água na bacia decorre principalmente da qualidade da água do manancial do que da disponibilidade. Quando as cidades se encontram nas cabeceiras, o manancial pode ser pequeno e sofre contaminação da falta de tratamento do esgoto jogado diretamente nos rios ou através de fossas sépticas, que contaminam os aquíferos. Cuiabá é um exemplo, pois existe quantidade disponível para atender a população, mas a poluição do rio Cuiabá, dos aquíferos na cidade e as dificuldades no sistema de distribuição de água pública tornam o abastecimento irregular.

Nos aquíferos do Planalto a qualidade da água geralmente é boa (quando não é contaminado pelas cidades), mas a vazão é baixa. No Pantanal a

vazão que pode ser retirada é alta, já que o lençol freático é alto, mas a qualidade é baixa devido aos minerais existentes.

Os potenciais aproveitamentos hidrelétricos somente são viáveis no Planalto na região de isoietas acima de 1500 mm e com quedas suficientes para produzir energia. São reduzidos os locais potenciais. O único aproveitamento de porte gera apenas 70 MW de energia firme. Considerando a baixa densidade populacional na área, as hidrelétricas somente tornam-se viáveis a medida que possuem maior potência que compense economicamente a construção das linhas de transmissão para transporte da energia para as cidades de maior porte. Com a chegada do gasoduto da Bolívia, principalmente no Mato Grosso do Sul haverá maior potencial para construção de termelétricas que representam um custo inicial menor, tempo de execução mais rápida e não inundam grandes áreas como as hidrelétricas ou produzem alterações na variabilidade das vazões, que impactam o ambiente. Neste caso, a térmicas podem produzir outro tipo de impacto devido ao aumento da temperatura dos rios para resfriamento.

A navegação na região foi o meio de transporte por muitos anos (desde o século 16). O acesso a região em parte do século passado era realizado através do rio da Prata até Cáceres e Cuiabá. O rio perdeu grande parte do fluxo da carga de transporte devido ao desenvolvimento das rodovias, que permitiu uma chegada mais rápida das cargas na região. A navegação comercial tem se mantido no rio Paraguai até Cáceres, mas com maior quantidade de carga até Corumbá, já que entre Corumbá e Cáceres o calado disponível não é mantido durante todo o ano (principalmente a montante da entrada do rio Cuiabá). Os afluentes do rio Paraguai apresentam maior dificuldade de transporte comercial de cargas devido ao assoreamento e mudança de leito, o que tem permitido a navegação de pequenos barcos. No rio Taquari era possível navegar entre o rio Paraguai e Coxim, atualmente nem mesmo canoas conseguem navegar. O risco que existe na navegação da região é o transporte de produtos que, por acidente, possam contaminar o rio. Existe a tendência de proibição do transporte por navegação por parte das entidades ambientais deste tipo de produto.

A irrigação na região ainda é muito pequena, mas poderá aumentar a medida que agricultores do Planalto aumentarem seu investimento em produtividade. No entanto, dificilmente este uso será significativo quanto a demanda de água a medida que o *deficit* hídrico no Planalto é menor e o tipo de cultura plantada não utiliza grande de demanda de água. A demanda de irrigação somente será crítica em áreas

particulares do Planalto e dificilmente será utilizada no Pantanal.

O turismo é uma das atividades de maior expansão na região, através da navegação turística, hotéis fazenda associados a fauna e as lagoas formadas no Pantanal. O ambiente como um todo tem um potencial significativo, desde que haja conservação ambiental.

Impactos

A bacia do Alto Paraguai ainda se encontra relativamente pouco habitada, mas tenderá a médio prazo a um desenvolvimento econômico que poderá agravar os impactos existentes e ainda criar novos condicionantes. A água é o fator de sustentação do ecossistema da bacia e deve ser utilizada de forma racional não somente para a conservação ambiental como também para garantir a sustentabilidade do desenvolvimento regional.

Os principais impactos regionais são devido ao seguinte: (a) variabilidade climática, sustentabilidade da população e variabilidade física do Pantanal; (b) aumento de sedimentos contaminados de montante pela mineração (Mato Grosso); (c) degradação solo pela agropecuária (Mato Grosso do Sul), criando depósitos com material tóxico, além do próprio assoreamento, a medida que o Pantanal retém 50 - 70% dos sedimentos; (d) desmatamento no Mato Grosso; (e) construção de obras hidráulicas como diques para reduzir as áreas inundadas; (f) projeto da construção da hidrovía no trecho brasileiro do rio Paraguai; (g) inundação das áreas ribeirinhas; (h) drenagem urbana e erosão.

Variação climática e degradação do solo pela agropecuária:

O desenvolvimento da região, associado às condições climáticas, apresentou etapas distintas, que atuaram fortemente sobre o seu meio ambiente e caracterizam muitos dos condicionantes atuais. Esta região foi ocupada no passado, através dos rios como via de transporte usada para acessá-la. Com a interiorização do país através das rodovias, o papel do rio como meio de transporte diminuiu mudando o crescimento econômico para outras áreas da região. A economia predominante no Pantanal foi a agropastoril com a criação de gado, onde estabeleceu-se uma certa harmonia entre o uso do espaço e a conservação ambiental do sistema. Na década de 60 ocorreram cerca de 13 anos, com precipitações e níveis de água muito baixos, se comparados com período anterior e posterior. Na figura 14 pode-se

observar que os níveis foram cerca de 1,0 m menores. Durante os anos 60, o Pantanal era inundado no período chuvoso em média de 17.000 km², enquanto que no período posterior (1970 até o momento) as inundações, atingem em média 55.000 km², podendo chegar a 100.000 km². O aumento médio do nível em Ladário foi de 2,0 m. Na década de 60 as propriedades tinham um período de inundação menor (número de meses durante o ano) e com área menor, permitindo um período de uso do espaço mais longo, principalmente pelo gado, o que deu a propriedade rural um valor econômico maior que o período anterior.

Na década de 70 ocorreram dois fatores importantes, o primeiro foi uma maior migração da população para o Planalto e a introdução do plantio de culturas anuais (como o soja) e aumento do rebanho de gado, principalmente no Planalto do rio Taquari. As culturas anuais produzem dois efeitos fundamentais no ciclo hidrológico: aumento do escoamento médio pelo desmatamento e contínua alteração no solo e produção de sedimentos. O solo do Planalto é muito frágil e a expansão do gado e soja geraram aumento significativo na produção de sedimentos. No entanto, a área ocupada pela soja é insignificante se compara com a área de gado (figura 20). Além disso, o solo onde o gado ocupa é pouco produtivo e frágil. Esta fragilidade facilita a erosão principalmente nos caminhos formado pela deslocamento dos rebanhos.

O segundo fator importante foi o aumento da precipitação que levou ao aumento da capacidade erosiva e da vazão média de enchente. Neste período, no Pantanal, algumas propriedades produtivas passaram a ficar grande parte do ano inundadas e os leitos de rios se alteraram devido à pequena resistência natural dos mesmos e ao aumento da vazão, criando condições adversas para o transporte fluvial e a conservação ambiental nos tributários do rio Paraguai. Uma consequência direta desse processo de alteração do leito ocorre no rio Taquari dentro do Pantanal onde a população utiliza a denominação de *arrombado* para designar o corte de meandro produzido durante as cheias em rios de leito aluvionar, como o Taquari. Com o corte do meandro, a propriedade é subdividida, dificultando a vida e o manejo.

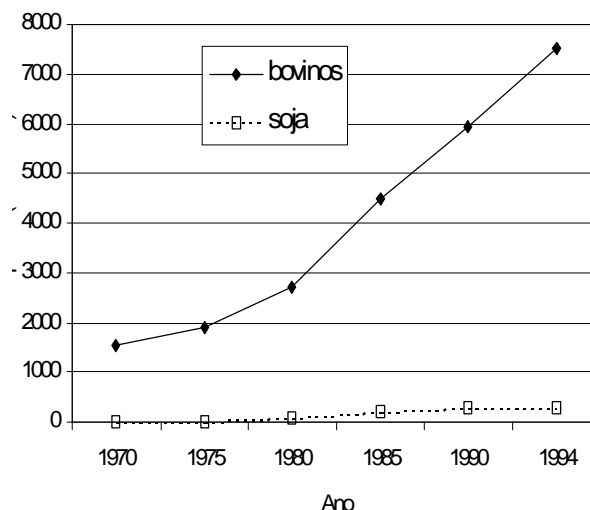


Figura 20 Área ocupada em (ha), Collishonn (2001)

A reação usual dos proprietários das fazendas tem sido de: buscar construir diques para obter uma área maior sem inundação e fechar os *arrombados* (corte de meandro). No primeiro ocorre uma alteração nas características da flora e fauna local e o rio tende a médio e longo prazo inibir a ação dos diques. No segundo, a água retida é evaporada, os peixes morrem e o ambiente apresenta forte deteriorização.

Antes da década de 70 a população tinha encontrado um meio de sobrevivência harmoniosa com o sistema através de inundações sazonais (alguns meses do ano), mas as condições climática tem inundado áreas por períodos longos, superiores a um ou dois anos, o que empobreceu a população de forma dramática, e parte se deslocou para as cidades, criando novos bolsões de pobreza.

Mineração: A mineração utiliza o mercúrio que contaminou vários rios da região, gerando um depósito desse material nos rios da região junto aos sedimentos. Nos últimos anos existe uma atividade fiscal mais intensa, o que potencialmente reduziu a carga do mercúrio no sistema hídrico, no entanto ainda existem sedimentos no leito do rio, depósitos que se deslocam para jusante. Além disso, as áreas de mineração degradadas geraram dois problemas básicos, um social com a decadência das cidades depois da mineração, que ficaram sem alternativa econômica e estão desaparecendo e outra ambiental que é a degradação das áreas ribeirinhas devido a mudança do curso natural pela exploração dos minérios.

Desmatamento e queimadas: Este processo que ocorre principalmente no Mato Grosso tem atualmente uma fiscalização maior da FEMA que tem utilizado de imagens de satélite para o seu controle. Apesar disto ainda são grandes as queimadas que ocorrem no período mais seco sobre toda a parte superior da bacia. Este problema é sério nos anos mais secos devido a baixa umidade no Planalto.

Desenvolvimento urbano: esgotamento sanitário, erosão e drenagem: o desenvolvimento urbano descontrolado quanto à preservação dos mananciais, ocupação de áreas de enchentes, despejo de cargas de esgotos cloacal e pluvial. Este é processo comum a grande parte das cidades brasileiras, que também ocorre na região. Para as cidades localizadas as margens dos grandes rios geralmente a qualidade da água não apresenta ainda um grande impacto devido a capacidade de diluição do rio. Neste caso, os problemas maiores são a ocupação das áreas ribeirinhas de risco por parte da população após uma seqüência de anos secos. Cidades maiores como Cuiabá apresentam problemas sérios de contaminação do rio devido a grande carga e a falta de tratamento de esgoto, além das inundações produzidas na drenagem urbana, em conseqüência de projetos inadequados. Este processo está ocorrendo em todas as cidades ao longo de seu desenvolvimento pelo uso da canalização. Em algumas cidades do Planalto do Mato Grosso Sul também sofre com problemas de controle de erosão na drenagem urbana e rural, processo que ocorreu no Norte do Paraná na década de 70. Verdadeiros *canyons* se formam com a exploração agrícola intensa e mesmo pela drenagem inadequada de obras dentro das cidades.

Navegação: Um dos maiores conflito existente atualmente na região envolve as potenciais alterações do leito do rio Paraguai para navegação dentro da proposta da hidrovia Paraguai-Paraná. Esta é uma hidrovia de 3.600 km, de Nova Palmira, próximo da costa no rio da Prata até Cáceres no Brasil, no rio Paraguai. Para permitir maior tráfego estão previstas várias obras em toda a via. O primeiro projeto foi apresentado pela Internave e o último pela Hidroservice-Louis Berger-EIH. Este último projeto apresentado tem as seguintes alternativas: (a) de Santa Fé (Argentina) até Assunção (Paraguai) o canal terá largura de 100 m e 3m de calado; (b) de Assunção até Corumbá o canal terá 90m de largura e 2,6 m de calado; (c) de Corumbá a Cáceres estão sendo propostas várias obras que resultará em calado de 1,5 a 1,8 m. A maior preocupação é o impacto ambiental das obras do canal do rio Paraguai sobre o Pantanal. As obras

aumentarão a capacidade de escoamento do rio, aumentando também a vazão e a redução da quantidade de volume de água para as áreas de inundação. Esta redução de volume de água e sedimentos, que são os alimentos da fauna e flora dessas lagoas poderá, nos anos de estiagem, produzir alterações definitivas neste meio ambiente.

As principais questões deste problema são: (a) as alterações do leito de navegação modificarão as condições de tal forma que os volumes da várzea de inundação serão reduzidos? (b) como essas condições podem afetar a área de inundação numa seqüência de anos secos? Para responder a estas questões são necessárias informações físicas adequadas dos rios e das áreas de inundação, condições de troca de fluxo e evapotranspiração, integradas em modelos matemáticos de fundo móvel.

Institucional

A bacia do rio Paraguai é uma das únicas bacias federais no país no qual foi instituído o comitê de bacia federal, no entanto este praticamente não tem se reunido ou desenvolvido atividades para gerenciar a bacia. O Mato Grosso possui legislação de recursos hídricos desde 1997 e desenvolve através da FEMA as ações de licenciamento ambiental e de recursos hídricos. O Mato Grosso do Sul ainda não dispõe de legislação de recursos hídricos, no entanto a mesma está em desenvolvimento. Observa-se no entanto que existem algumas iniciativas a nível municipal com a formação de consórcios de municípios como o COINTA Consórcio Intermunicipal do Taquari. Observa-se claramente a necessidade de um ordenamento institucional para o gerenciamento das bacias, iniciando pelo plano de bacias e o desenvolvimento do sistema de outorga dos usos dos recursos hídricos. Para este desenvolvimento também se observa a falta de qualificação profissional nos dois Estados na área de recursos hídricos. Ao longo dos últimos anos houveram investimentos internacionais como o PCBAB e está em curso projetos como o do GEF, no entanto a estrutura dos estados é muito deficiente quanto ao profissionais principalmente pelos baixos salários dos profissionais. Estes projetos geralmente fornecem recursos para capacitação, mas após os profissionais se tornarem experientes e treinados abandonam a estrutura do estado.

Uma das maiores dificuldades para o gerenciamento de recursos hídricos são as limitações dos dados hidrológicos no Planalto, onde pratica-

mente não existem dados em bacias menor que 500 km², onde envolverão uma parte importante das outorga de uso da água. Este processo poderá gerar conflitos na medida que as estimativas com base em regionalização hidrológica poderão superestimar a disponibilidade.

CONCLUSÕES

A bacia do Alto Paraguai passa por um desenvolvimento sustentável onde o controle dos impactos antrópicos sobre o meio ambiente é essencial para a harmonia do seu desenvolvimento.

O planejamento e conservação da bacia dependem de um melhor conhecimento quantitativo de vários aspectos do funcionamento do Pantanal e da bacia como um todo, gestão dos recursos hídricos de forma sustentável através dos mecanismos que a lei de recursos hídricos permite. São destacadas as seguintes ações:

- avaliação e controle da impacto da atividade agropecuária no Planalto sobre o escoamento produção de sedimentos;
- quantificação do balanço das lagoas do Pantanal em termos de quantidade de água, sedimentos e nutrientes;
- aumentar a rede de observação de dados hidroclimatológicos tendo um foco maior nas bacias menores (> 500 km²).
- Avaliação dos impactos ambientais devido ao transporte de material tóxico nos rios da bacia;
- Medidas de Controle devido a mineração e recuperação das áreas degradadas;
- Medidas de controle e preservação dos recursos hídricos municipais e a convivência da população com as enchentes;
- qualificação dos profissionais da região quanto aos diferentes aspectos dos recursos hídricos a nível estadual e municipal;
- Avaliação do impacto da navegação nas condições do Pantanal;
- controle dos efluentes urbanos dos principais centros urbanos.

Referências

- BORGES, A; SEMMELMAN, F.; BORDAS, M.; SIMÕES LOPES, M.; 1996. *Fluviomorfologia in: Hidrossedimentologia do do Alto PARAGUAY*, Instituto de Pesquisas Hidráulicas, UFRGS. FEMA/MT Fundação do Meio Ambiente do Mato Grosso, SEMA, Secretaria do Meio Ambiente do
- Mato Grosso do Sul, Ministério do Meio Ambiente.
- COLLISCHONN, W. 2001. Modelos Hidrológico de Grandes Bacias. Dissertação de doutorado Instituto de Pesquisas Hidráulicas. UFRGS
- COLLISCHONN, W.; TUCCI, C.; 2002. Hidrologia do rio Cuiabá. Comunicação pessoal.
- IPH, 1983. Regionalização do Alto Paraguai. Eletrobrás. Instituto de Pesquisas Hidráulicas, volume 2.
- IPH, 1996. Estudos Hidrossedimentológicos do Alto Paraguai. PNMA. FEMA. SEMADES. Instituto de Pesquisas Hidráulicas 2 volumes.
- JUNK, W.J.; BAILEY, P.B.; SPARKS, R.E., 1989. The flood-pulse concept in river-floodplain systems. Anais do Internaitonal Large River Symposium, Canadian Special Publication Fishing –and quatic Sciences 106 110-117.
- HAMILTON, S.K.; SIPPEL, S.J.; MELACK, J.M.1995. Innundations Patterns in the Pantanal wetland of South America determined from passive macrowave Remote Sensing. *Hydrobiologie*, January.
- PONCE, V.,1995 Impacto hidrológico e ambiental da hidrovía Paraná-Paraguai no Pantanal Matogrossense. San Diego State University.
- PRESS, F; SIEVER, R. 1986. *Earth*. Freeman. New York 656p
- SAHIN, M. J.; HALL, M. J., 1996 The effects of afforestation and deforestation on water yields *Journal of Hydrology* 1178 p293-309.
- TRICART, J. 1982. El Pnatanal; Un ejemplo del impacto de la geomorfologia sobre el medio ambiente. *Geografia*, 7(13-14), 37-50 São Paulo.
- TUCCI, C.E.M.; GENZ, F.; 1996 Previsão e controle de inundações. in: Hidrossedimentologia do Alto Rio PARAGUAY, Instituto de Pesquisas Hidraulicas, UFRGS, FEMA/MT Fundação do Meio Ambiente do Mato Grosso, SEMA, Secretaria do Meio Ambiente do Mato Grosso do Sul, Ministério do Meio Ambiente.
- TUCCI, C.E.M.; GENZ, F.; CLARKE, R.T., 1999. Hydrology of the Upper Paraguay Basin. In: Management of Latin American River Basins: Amazon, Plata and São Francisco. Edited by . K. biswas; Newton Cordeiro, Benedito Braga and Cecilia Tortajada United Nations University Press.

