

ASPECTOS DA HIDROLOGIA DA BACIA DO ALTO RIO TAQUARI

Walter Collischonn¹ e Carlos Eduardo Morelli Tucci¹

Resumo – O rio Taquari é um dos mais importantes formadores do Pantanal e sua bacia uma das maiores sub-bacias da bacia do Alto Paraguai. Nas últimas décadas, a região onde está localizada a bacia sofreu impactos antrópicos e de flutuação climática, que resultaram em alterações do seu comportamento hidrológico. Neste contexto é importante descrever adequadamente o comportamento hidrológico da bacia, para avaliar as conseqüências destes impactos e para apoiar trabalhos futuros, relacionados ao planejamento dos recursos hídricos da região. Este trabalho traz uma contribuição neste sentido, apresentando os resultados de uma análise do comportamento hidrológico da bacia com o auxílio de um modelo hidrológico distribuído e uma revisão dos dados sobre as mudanças de uso do solo na bacia.

Abstract – The river Taquari is one of the most important rivers that forms the Pantanal and its basin is one of the most important sub-basins of the Upper Paraguay. During the last decades the basin area suffered the impacts of human activity and climatic variability, that resulted in changes of its hydrological behavior. Therefore it is important to describe the hydrology of the basin adequately, to assess the long term effects of these impacts and to support further work, related to water resources planning in this region. The present paper is intended to bring a contribution to the understanding of the hydrology of the basin with the help of a distributed hydrologic model and through a review of land use change data of the basin area.

Palavras chave - rio Taquari; Pantanal; uso do solo; vazões mínimas;

¹ Instituto de Pesquisas Hidráulicas – Universidade Federal do Rio Grande do Sul – Avenida Bento Gonçalves, 9500; Caixa Postal 15029; CEP 91501-970; Porto Alegre RS

Fone: 51 3316 6408

Walter Collischonn: cllschnn@vortex.ufrgs.br; Carlos E. M. Tucci: cemtucci@uol.com.br

Introdução

O rio Paraguai é um dos principais rios da bacia do Prata, a segunda maior bacia da América do Sul e a quinta maior do mundo. De todos os rios que formam a bacia do Prata, o rio Paraguai é o que penetra mais em direção ao centro do sub-continente, formando um corredor natural para o desenvolvimento da região. A bacia pode ser dividida em uma região alta, denominada Planalto, e uma região baixa e plana, denominada Pantanal, que é temporariamente e parcialmente inundada pelo rio Paraguai e pelos seus principais afluentes todos os anos.

Em toda a região é o ritmo ditado pelas águas que rege a vida natural e também as atividades humanas, que, historicamente, têm sido fortemente influenciadas pelos condicionantes hidrológicos (Costa, 1999).

O Pantanal é utilizado para a pecuária e apresenta também uma grande importância do ponto de vista ecológico e turístico. A baixa densidade demográfica aliada às extensas planícies inundáveis, aos lagos permanentes e temporários e à regularidade dos pulsos de cheia constituem um excelente refúgio para a fauna.

O Planalto, a partir da década de 1960, passou por profundas modificações causadas pela ocupação humana, especialmente a substituição da vegetação original por pastagens e por cultivos agrícolas. Estas alterações podem ter contribuído para a modificação do regime hidrológico e da produção de sedimentos nas bacias dos rios que correm para o Pantanal (Bordas, 1996).

Nestas últimas décadas, a região também sofreu os impactos da variabilidade climática, passando por um período extremamente seco durante a década de 60 e por um período extremamente úmido a partir do início da década de 1970 (Galdino et al., 1997; Collischonn et al., 2001).

O Taquari, um dos principais formadores do Pantanal, é, talvez, o rio mais frequentemente associado aos impactos antrópicos e climáticos de toda a bacia. As ações de manejo da bacia e as futuras decisões sobre o planejamento de seus recursos hídricos necessitam de respostas sobre os diferentes aspectos do comportamento hidrológico e sedimentológico da bacia. Porém, os estudos sobre os impactos causados pelo homem e pela variabilidade do clima esbarram, em geral, na carência de dados.

Este trabalho apresenta resultados de Collischonn (2001), com contribuições para o entendimento do comportamento hidrológico da bacia do Alto Taquari. Estes resultados foram obtidos através da simulação da bacia com um modelo matemático distribuído (Collischonn e Tucci, 2001), que não será descrito aqui, e referem-se, basicamente, às contribuições da água subterrânea ao escoamento no rio e ao armazenamento natural que ocorre na bacia. Além disso, são

revisados os dados existentes sobre a mudança de uso do solo, especialmente sobre o aumento da área ocupada por pastagens e pela agricultura.

A bacia do Alto Taquari

O rio Taquari é um afluente da margem esquerda do rio Paraguai, na região do Pantanal (Figura 1). Antes de entrar na região baixa e plana do Pantanal, onde as altitudes são sempre inferiores aos 200 m, o rio Taquari drena a região do planalto, onde as altitudes chegam a mais de 800 m. Entre o Planalto e o Pantanal a transição é brusca, marcada por uma linha de montanhas no sentido norte – sul.

A bacia do rio Taquari na região do Planalto, denominada de bacia do Alto Taquari, está localizada, aproximadamente, entre os paralelos 17° e 20° Sul, e os meridianos 53° e 55° Oeste. Em Coxim, ocorre o encontro do rio Taquari com seu mais importante afluente, o rio Coxim. Outros rios importantes na bacia são o Jauru, o Verde e o Taquarzinho (Figura 2).

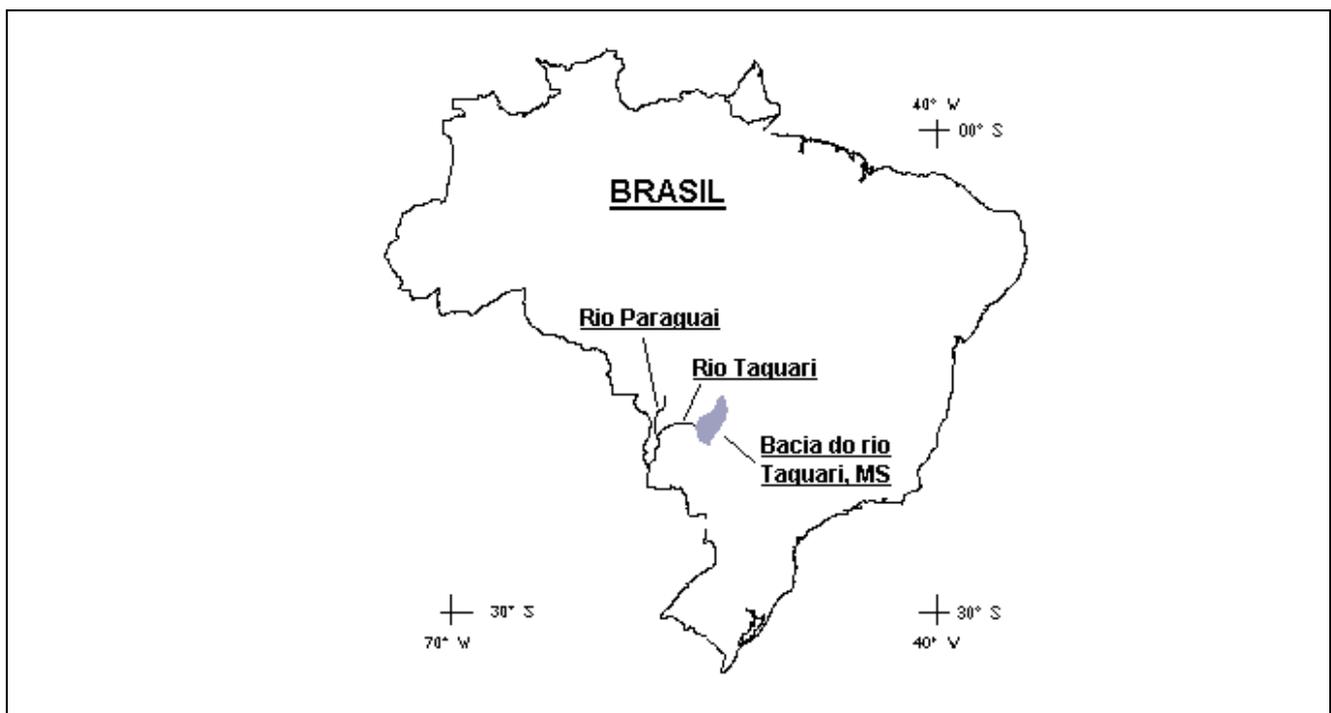


Figura 1: Localização da bacia do rio Taquari, no Mato Grosso do Sul.

Próxima ao ponto de transição entre as regiões do Pantanal e do Planalto está localizada a cidade de Coxim, onde existe um posto fluviométrico com dados a partir do final da década de 60. No posto fluviométrico a área da bacia é de 27.040 km².

A bacia, originalmente coberta por florestas e cerrado, é hoje utilizada para a agricultura e a pecuária. Conforme a classificação de uso do solo e cobertura vegetal apresentada por Galdino et al.

(1999), atualmente as pastagens cobrem a maior parte da área da bacia (Figura 3). Na Figura 3, os tons vermelhos são usados para os vários tipos de cerrado diferenciados pelos autores da classificação: savana florestada; savana arborizada; savana florestada e arborizada; savana arborizada e florestada; savana florestada e gramínea lenhosa; encrave savana / floresta estacional semi-decidual. Os tons verdes são utilizados para representar os diversos tipos de florestas: reflorestamento; mata nativa; mata de galeria e floresta estacional semi-decidual.

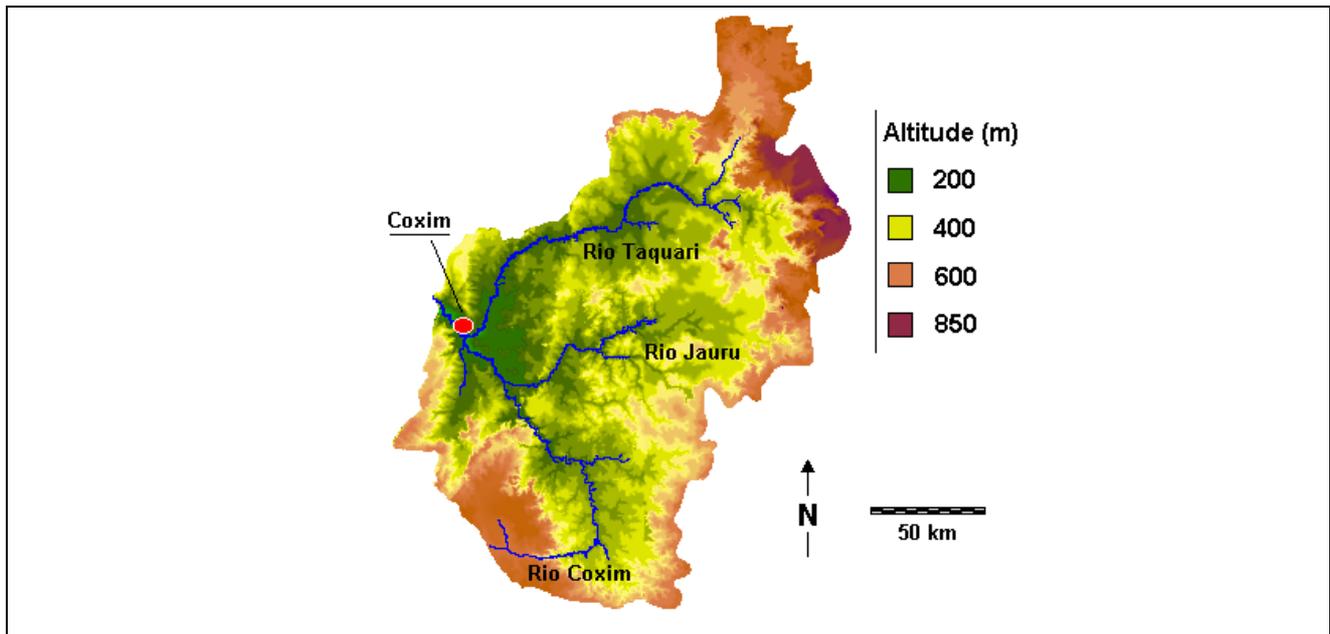


Figura 2: Relevo da bacia do Alto Taquari, no Mato Grosso do Sul.

Pode-se observar, na Figura 3, que a pastagem domina a área da bacia, estando presente em toda a região, totalizando quase 52% da área total. Comparando a Figura 3 com o relevo apresentado na Figura 2, observa-se que a área onde predomina a cultura da soja é restrita às regiões altas e planas, na cabeceira dos rios Coxim e Taquari. A porcentagem da área da bacia ocupada por plantações de soja é de 5,9 %. As florestas são encontradas praticamente apenas na margem dos rios, exceto por uma mancha de floresta estacional semi-decidual no norte da bacia.

A Figura 4 apresenta um gráfico da área relativa da bacia ocupada pelos maiores grupos de cobertura vegetal. Os diversos tipos de savanas foram agrupados, bem como os diferentes tipos de floresta. A classe denominada encrave savana / floresta estacional semi-decidual caracteriza áreas em que ocorre mistura dos dois tipos de vegetação. Pode se observar que as savanas são o segundo grupo mais comum na região, cobrindo cerca de 28 % da área total da bacia.

Os tipos de solo e sua distribuição espacial na bacia também foram obtidos do trabalho de Galdino et al. (1999). Os tipos de solo, os códigos de identificação e a frequência relativa na bacia são apresentados na Tabela 1. A Figura 5 apresenta a distribuição espacial dos solos na bacia.

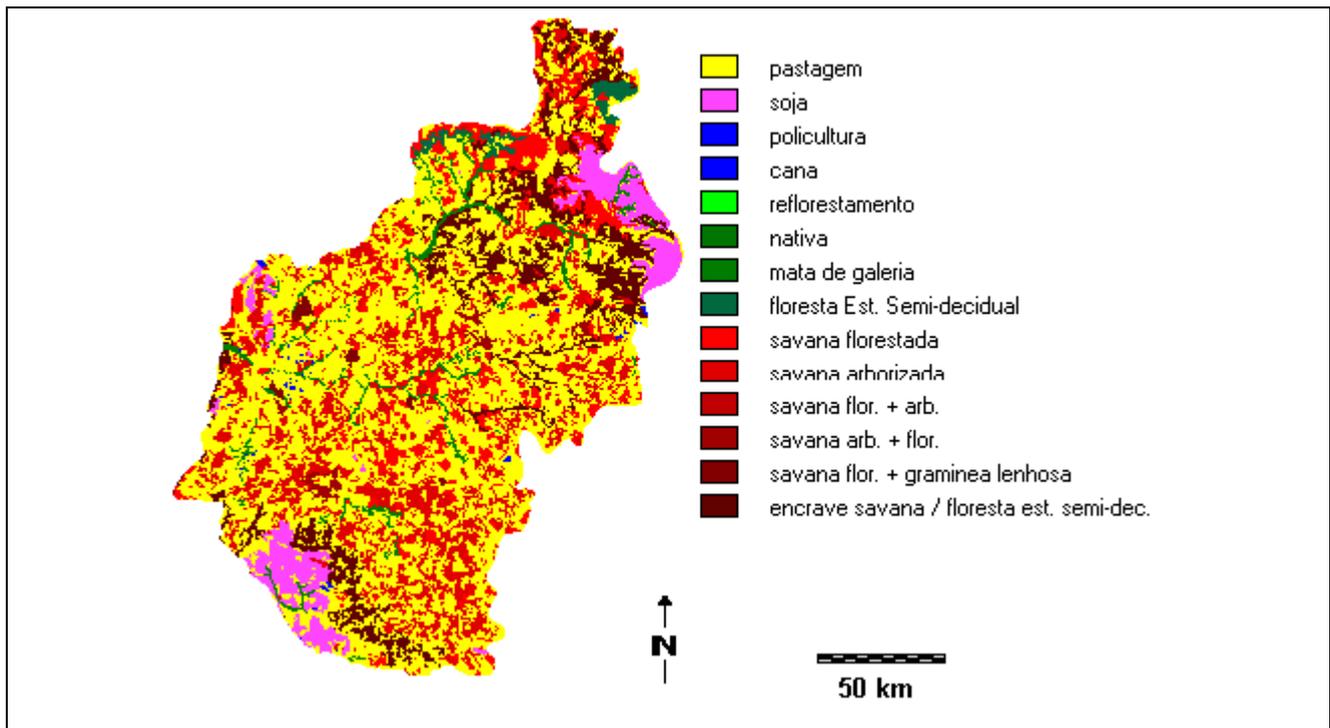


Figura 3: Uso do solo e cobertura vegetal na bacia do rio Taquari, MS (Galdino et al., 1999).

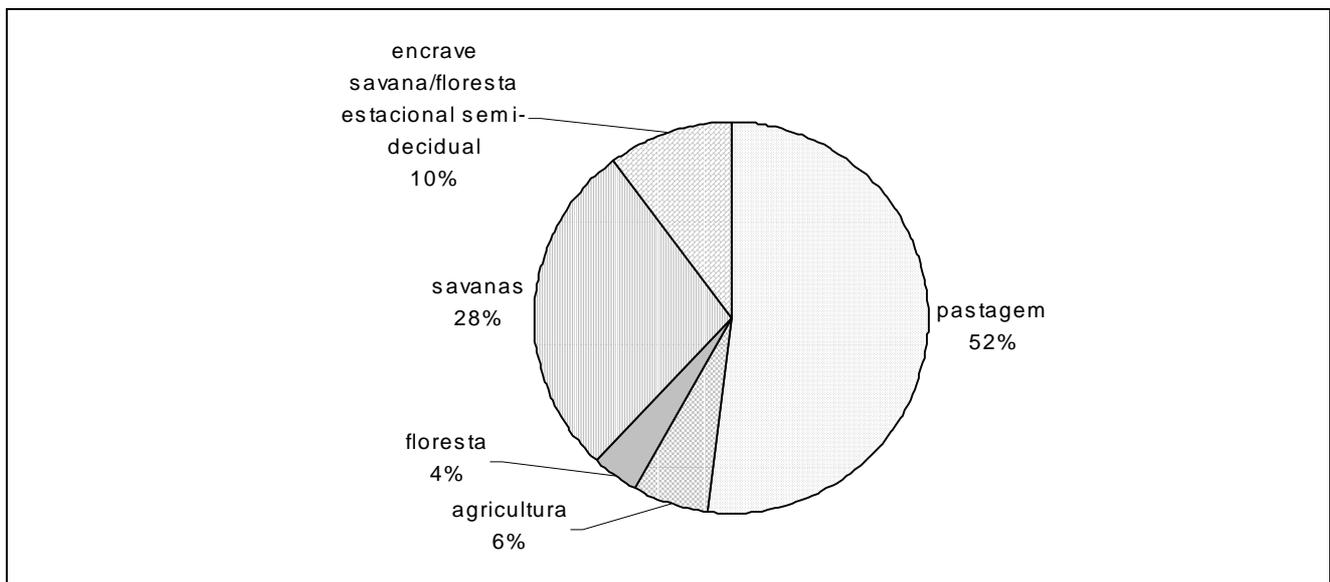


Figura 4: Porcentagem da área da bacia Alto Taquari, MS, ocupada pelos tipos de cobertura, conforme a classificação de Galdino et al. (1999).

O tipo de solo que predomina na bacia é a areia quartzosa, com mais de 46% da área, conforme a Tabela 1. As areias quartzosas se caracterizam por uma alta capacidade de infiltração, o que condiciona o comportamento hidrológico da bacia. Os latossolos, que ocorrem em quase um quinto da área, são encontrados principalmente nas regiões altas e planas, onde o principal uso atual

é a plantação de soja. Os solos podzólicos também ocorrem em aproximadamente um quinto da área da bacia e são utilizados para pastagens ou permanecem com a cobertura original.

Tabela 1: Tipos de solo e área relativa de ocorrência na bacia do Alto Taquari.

Código	Tipo	Área (%)
LE	latossolo vermelho escuro	14.8
LV	latossolo vermelho amarelo	3.4
LR	latossolo roxo	0.5
PV	podzólico vermelho amarelo	19.8
PT	plintossolo	0.0
PL	planossolo	0.0
HP	podzól hidromórfico	0.0
HAQ	areias quartzosas hidromórficas	1.8
HGP	glei pouco húmico	0.2
AQ	areias quartosas	46.1
R	litólicos	13.3

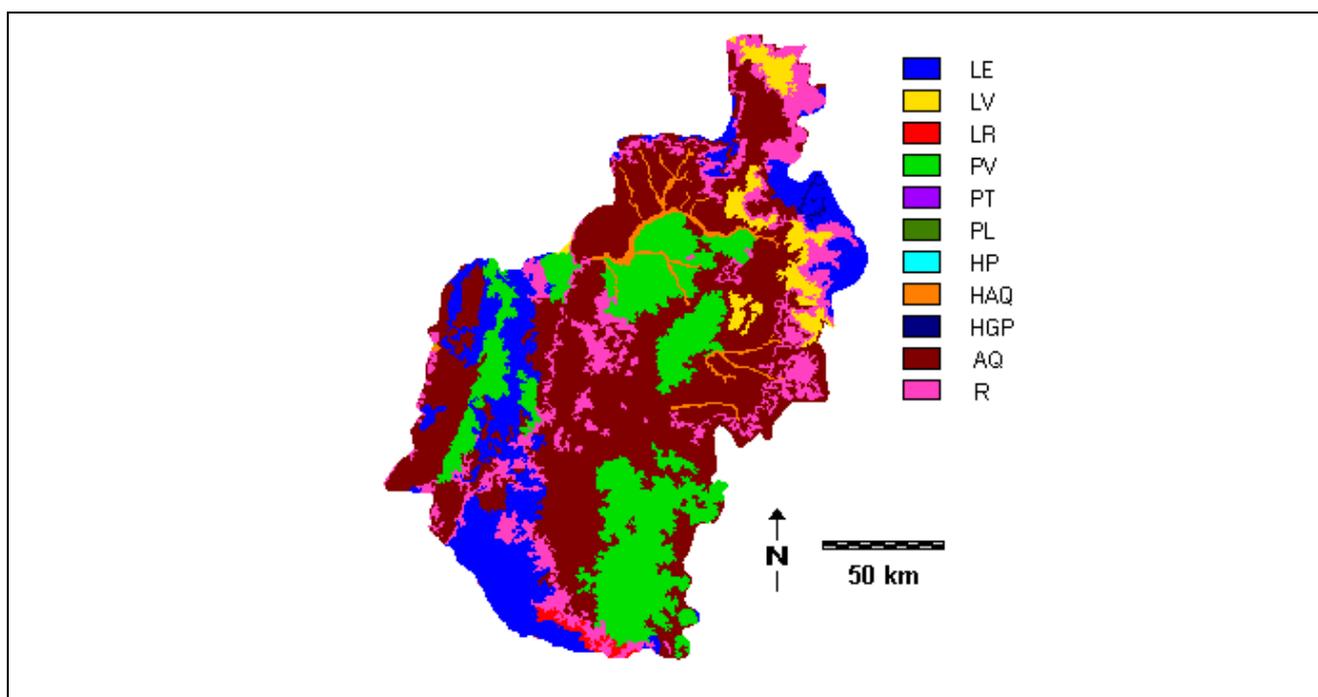


Figura 5: Distribuição dos tipos de solo na bacia do Alto Taquari (Galdino et al., 1999).

Os solos litólicos são solos rasos e apresentam afloramentos rochosos frequentes. Do ponto de vista da geração de escoamento superficial, os solos litólicos são diferentes dos outros tipos de solos da região, que são, em geral, mais profundos, e que tendem a gerar menos escoamento superficial. Na bacia do rio Taquari, os solos litólicos ocorrem principalmente nas encostas.

Mudanças de uso do solo na bacia do rio Taquari

Infelizmente, não existem dados que permitam descrever com exatidão o histórico de mudança de uso do solo na região da bacia do rio Taquari, no seu trecho do Planalto. As décadas de 1970 e 1980 são indicadas, freqüentemente, como a época de maior transformação na bacia.

Toda a região da bacia do rio Taquari é tradicionalmente utilizada para pecuária de gado bovino de corte. As propriedades rurais são relativamente grandes e a densidade populacional é baixa. Em alguns locais, é realizada a agricultura de subsistência e na década de 1970 foi incentivada a plantação de cafezais, em grande parte substituídos por soja após uma grande geada em 1975, em áreas próximas a São Gabriel do Oeste, que fica no sul da bacia (Tredezini et al., 1997). Ao longo das décadas de 1970 e 1980 ocorreu a introdução da soja, que se tornou a principal cultura agrícola da região, e ao mesmo tempo ocorreu o desenvolvimento da pecuária com a introdução de novas técnicas e de novos tipos de pastagens plantadas.

No Mato Grosso do Sul, existem dados de censos agropecuários em 1970, 1975, 1980, 1985, 1990 e 1994. Estes dados foram agrupados em Micro Regiões e analisados por Tredezini et al. (1997). As conclusões para a Micro Região em que está a bacia do rio Taquari são apresentadas a seguir.

- A área cultivada com soja aumentou de aproximadamente zero para 60 mil ha entre 1975 e 1980. Nos 5 anos seguintes, a área com soja triplicou, chegando a 185 mil ha.
- A área cultivada com arroz de sequeiro diminuiu no mesmo período, entre 1975 e 1985. Os autores da análise afirmam que em alguns lugares o arroz serviu como cultura intermediária na reforma de pastagens e na introdução da cultura da soja. Em 1980 a área com arroz era um pouco superior a área com soja. Apenas 5 anos depois, a área com soja era quase cinco vezes superior a área com arroz.
- O milho sempre esteve presente na bacia, principalmente nas culturas de subsistência. Na década de 1990, no entanto, o milho passou a ser um produto importante, principalmente pela demanda aberta pela avicultura e suinocultura.
- O rebanho de bovinos cresceu de 510 mil cabeças em 1970 a mais de 2,5 milhões de cabeças em 1993. Este crescimento foi acompanhado por um crescimento das áreas de pastagens plantadas, que substituíram em número as pastagens naturais no Estado.

A Figura 6 apresenta a evolução da área plantada das principais culturas da região: soja, milho, arroz e cana de açúcar. É evidente o crescimento da cultura da soja no período de 1975 a 1990. Durante o início da década de 1990 parece ter ocorrido um período de estagnação, em que a área plantada de soja não cresceu. O milho mostra um crescimento maior durante a década de 90, e

é atualmente o segundo principal produto, embora a área plantada seja cerca de 4 vezes menor do que a área plantada com soja.

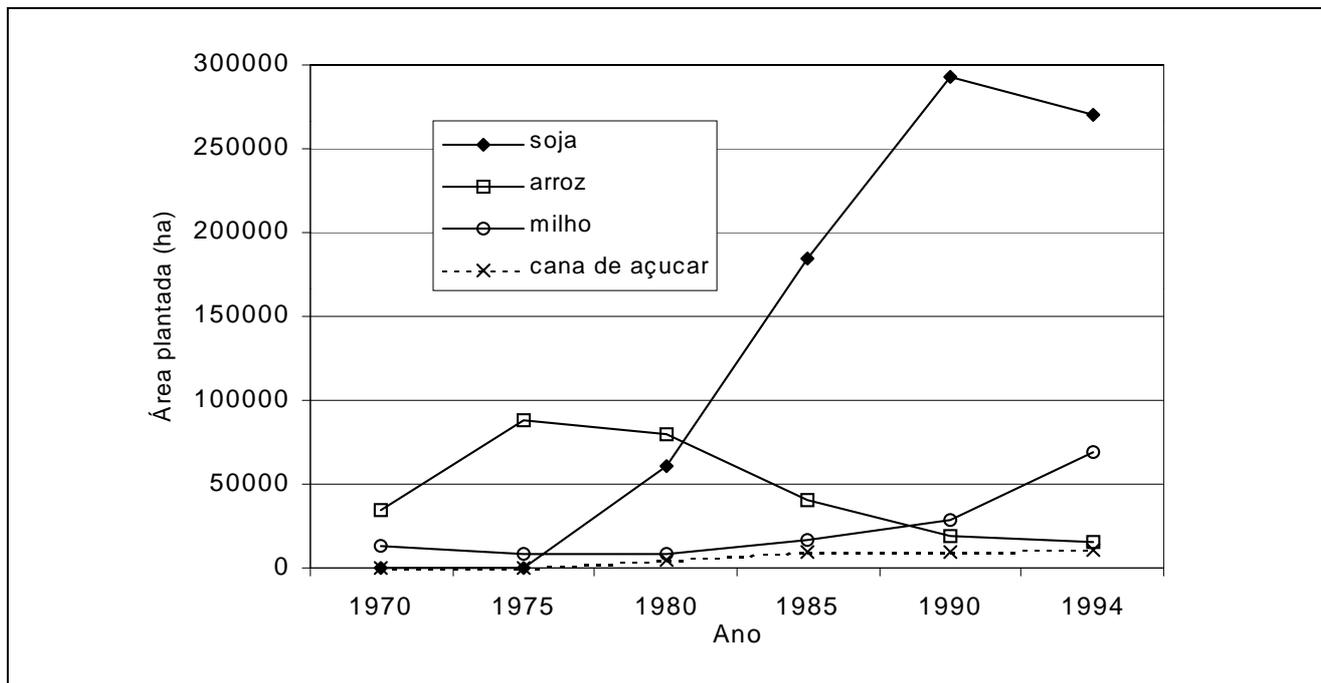


Figura 6: Evolução da área plantada com as principais culturas na região da bacia do rio Taquari, MS (fonte: Tredezini et al., 1997).

A evolução da pecuária foi tão importante quanto a evolução da agricultura no período analisado. A Figura 7 apresenta o crescimento do rebanho bovino frente ao crescimento da área plantada com soja, mostrando que o aumento do rebanho bovino é tão significativo quanto o aumento da área plantada com soja, em termos relativos.

A Figura 8 apresenta uma estimativa da área de pastagens naturais e plantadas ao longo do período de 1970 a 1994, frente à área plantada com soja. Não existem dados sobre a área utilizada para pastagens em todas as regiões do Estado, por isso foram utilizados os valores do rebanho bovino e uma área de 3,0 ha por cabeça de gado. Este valor foi obtido dividindo a área total de pastagens do Estado do Mato Grosso do Sul pelo rebanho total, considerando os dados de 1985. Antes de 1985 o valor era um pouco maior, com máximo de 4,3 ha por cabeça de gado em 1970, e é provável que atualmente este valor seja menor do que 3,0, porque a pecuária vem se tornando mais intensiva.

Apesar dos possíveis erros na estimativa da área de pastagens, fica claro, na Figura 8, que a área ocupada por bovinos – pastagens naturais e plantadas - é muito superior à área ocupada com plantações de soja, e que a evolução da área ocupada por bovinos é mais importante na região do que a evolução da área plantada com soja, embora a evolução relativa seja aproximadamente igual,

como mostra a Figura 7. Em nenhum momento, ao longo do período de 1970 a 1994, a área ocupada para a pecuária deixou de ser várias vezes superior à área ocupada por plantações de soja na região da bacia do rio Taquari, MS.

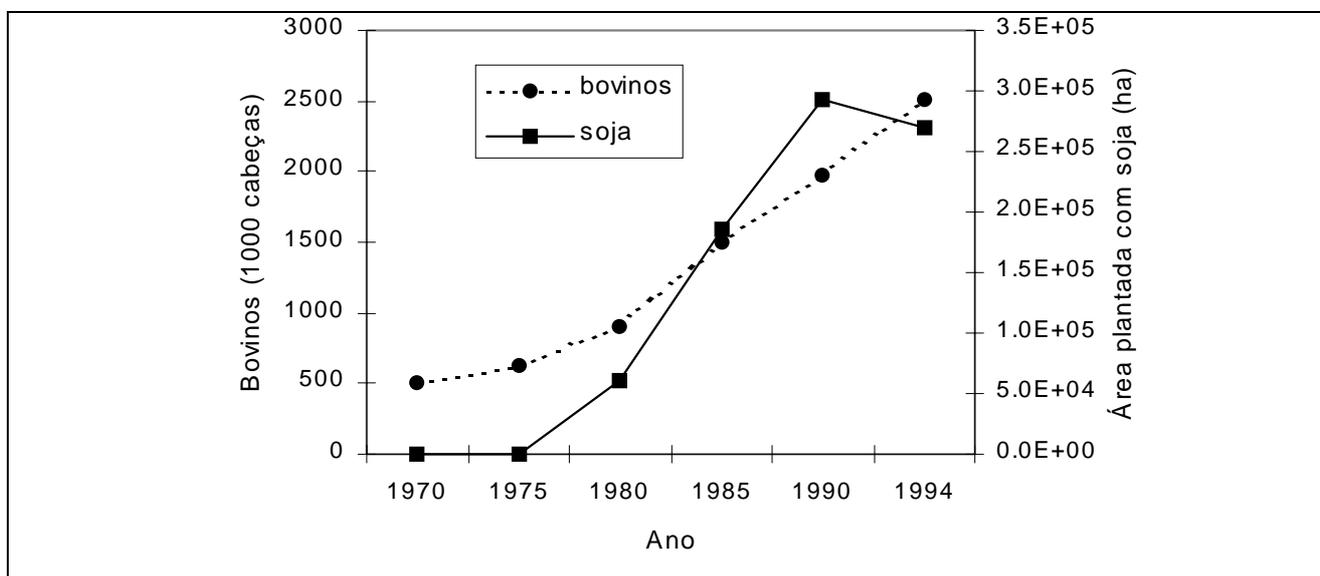


Figura 7: Evolução do rebanho bovino e da área plantada de soja na bacia do rio Taquari, MS (fonte: Tredezini et al., 1997).

Ainda conforme a Figura 8, observa-se que a área ocupada pela pecuária em 1994 é aproximadamente cinco vezes maior do que a área ocupada em 1970.

Um fato interessante, observado nos censos agropecuários, é que entre 1980 e 1994 foram autorizados desmatamentos pelos órgãos responsáveis, SEMA e IBAMA, em 42.900 km², que equivalem a 20% da área total da Micro-região geográfica do Alto Taquari. Os próprios autores ressaltam, ainda, que a área desmatada de fato deve ser maior, uma vez que o desmatamento não autorizado é comum e de difícil controle (Tredezini et al., 1997).

Ainda considerando válida a aproximação de 3,0 ha por cabeça de gado, em 1980 a área somada ocupada pela pecuária e pela soja na micro-região do Alto Taquari era de aproximadamente 28.000 km². Já em 1994 esta área passa para cerca de 78.000 km², ou seja, cerca de 50.000 km² a mais. Esta diferença está razoavelmente de acordo com a estimativa de Tredezini et al. (1997), que apresentam o valor de 42.900 km² autorizados para desmatamento no mesmo período, mas fortalecem a suspeita de que a área efetivamente desmatada tenha sido superior.

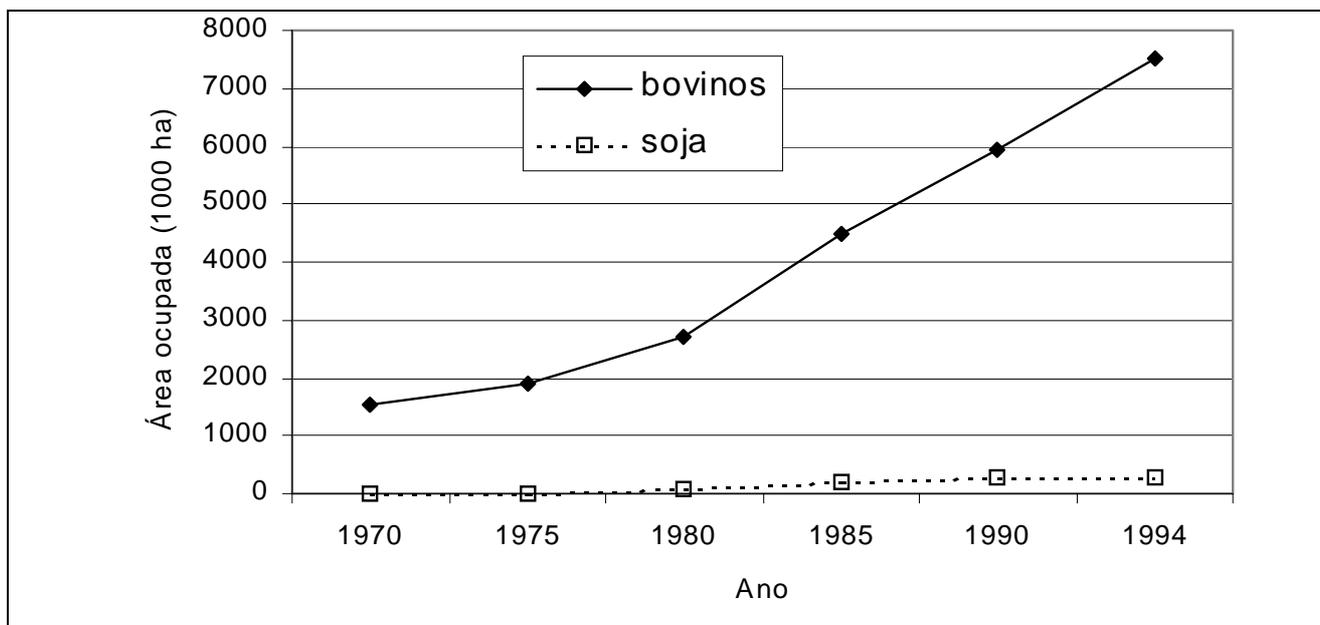


Figura 8: Evolução da área ocupada por plantações de soja e para a criação de bovinos na micro região geográfica do Alto Taquari, considerando 3 ha por cabeça (fonte: Tredezini et al., 1997).

A comparação entre a evolução da área ocupada por soja e pecuária com a área autorizada para desmatamento mostra que pode ser feita uma estimativa da mudança de uso do solo baseada na evolução da área ocupada fornecida pelos censos agropecuários. Com base na evolução da área ocupada pode-se afirmar que em 1970 a pecuária e a agricultura ocupavam uma área cerca de 5 vezes menor do que a área ocupada em 1994 na micro-região do Alto Taquari, em que está completamente inserida a bacia do rio Taquari, MS. Em 1985, a soja e a pecuária já ocupavam 60% da área ocupada em 1994.

O comportamento hidrológico do cerrado

O cerrado cobre - ou cobria, originalmente - uma significativa porção do território brasileiro, em que ocorre um longo período seco durante o inverno e um período chuvoso durante o verão.

As informações sobre as possíveis conseqüências da substituição da vegetação do cerrado por pastagens ou cultivos são ainda menos freqüentes do que aquelas disponíveis para as florestas, talvez porque o cerrado é tido simplesmente como uma floresta pouco densa. Entretanto, uma extensa descrição da vegetação do cerrado (Eiten, 1972), analisando suas características, distribuição geográfica e as condições necessárias para sua existência, mostram que esta pode ser uma simplificação exagerada.

Algumas das características do cerrado descritas por Eiten (1972) merecem destaque do ponto de vista da hidrologia. Estas são dadas a seguir.

- O cerrado é composto por vegetação arbórea, arbustiva e ervas.
- O cerrado pode ter diferentes denominações de acordo com a densidade e a frequência relativa de espécies arbóreas, arbustivas e ervas. Estas denominações vão de *cerradão*, que é a forma com predominância de árvores, até o *campo limpo*, em que predominam as ervas, passando por *cerrado*, *campo cerrado* e *campo sujo*.
- O cerrado é uma vegetação xeromórfica, isto é, apresenta adaptações para um ambiente seco.
- o cerrado precisa de solos muito profundos, em que não ocorra acúmulo ou saturação de água durante a estação úmida. A vegetação do cerrado não tolera solos saturados.
- O lençol freático tem que ser profundo, preferencialmente a 3 m de profundidade ou mais. Em locais em que o lençol freático está mais próximo da superfície o cerrado é substituído por florestas ou campos.
- Quando as duas condições acima são satisfeitas, isto é, em regiões de solo profundo e com lençol freático profundo, as formas de cerrado predominantes são o *cerrado* e o *cerradão*, que apresentam maior densidade arbórea. À medida que o solo vai se tornando mais raso, o *cerrado* dá lugar a formas menos densas como o *campo sujo* e o *campo cerrado*. Em locais em que o lençol está muito próximo da superfície o cerrado dá lugar ao campo ou a mata de galeria.
- Alguns solos do cerrado são tão profundos e o lençol freático está tão distante da superfície que uma lâmina equivalente a vários anos de chuva pode ser acumulada no solo. Durante a época seca a camada de solo mais superficial (cerca de 2 m) seca completamente, ficando abaixo do ponto de murcha.
- Na época seca, a vegetação mais baixa (capim, ervas, gramíneas) seca, as folhas morrem e se desintegram. A vegetação arbórea e arbustiva é parcialmente decídua, e as folhas que permanecem nas plantas seguem transpirando ao longo de toda a estação seca.
- Ao contrário da vegetação do campo, da mata e da caatinga, no cerrado existem algumas espécies que não tem a capacidade de restringir a transpiração nas horas mais quentes do dia, pelo fechamento rápido de estômatos.
- As raízes das plantas arbóreas e arbustivas são, em geral, muito profundas, atingindo as camadas de solo imediatamente acima do lençol freático, onde existe umidade suficiente para permitir a transpiração ao longo da época seca.
- Apesar de algumas plantas apresentarem a capacidade de seguir transpirando ao longo da época seca, é certo que a transpiração do conjunto da vegetação é menor durante esta época.

Complementando a descrição de Eiten (1972), as únicas medições de evapotranspiração encontradas na bibliografia foram obtidas pelo método de covariância de vórtices turbulentos (eddy covariance), em um área de cerrado próxima a Brasília (Condé, 1995). De acordo com estas medições a evapotranspiração do cerrado (sensu strictu) é de 2,9 mm por dia durante o mês de abril e de 1,9 mm por dia durante o mês de setembro. Conforme Shuttleworth (1993) a precisão deste método de medição é de $\pm 10\%$.

O balanço hídrico de bacias cobertas, pelo menos parcialmente, com cerrado, como a do rio Taquari, no MS, mostra uma evapotranspiração anual de aproximadamente 1000 mm, e um coeficiente de escoamento de 0,32, embora estes valores possam estar afetados pela mudança de uso do solo verificada ao longo das décadas de 1970 e 1980 e pela própria variabilidade climática da região. A evapotranspiração de 1000 mm por ano corresponde a cerca de 2,7 mm por dia, em média, que está relativamente próximo dos 2,9 mm medidos no Distrito Federal.

Com base nas informações sobre o comportamento hidrológico do cerrado pode-se presumir que a substituição do cerrado por uma vegetação de menor porte, como a pastagem, deve reduzir o fluxo de evapotranspiração, em especial no período de estiagem, em que a precipitação é quase nula e, em especial, nas áreas de solo mais profundo, onde o cerrado se apresenta na forma mais desenvolvida, o cerradão. A diferença básica responsável por esta possível redução é a capacidade das plantas do cerrado de obter água de camadas bem mais profundas do solo do que as plantas da pastagem. Embora pareçam lógicas, estas hipóteses dependem da comprovação que poderá ser feita a partir de novas medições de fluxo de evapotranspiração, semelhantes às de Condé (1995), em cerrado e pastagens.

Considerando este comportamento, e a tendência de substituição do cerrado por plantações de soja e, principalmente, por pastagens plantadas, as mudanças de uso do solo devem trazer, como consequência hidrológica, o aumento da vazão média. Esta conclusão está baseada no fato de que a vegetação do cerrado é capaz de manter uma taxa de evapotranspiração relativamente alta mesmo nos longos períodos secos. Além disso, o cerrado, principalmente nas suas formas mais densas, certamente apresenta maior capacidade de interceptação da chuva do que as gramíneas utilizadas nas pastagens, tanto no período seco como no chuvoso.

Nos casos de mau manejo do solo, tanto na agricultura como na pecuária, a substituição do cerrado pode gerar escoamento superficial onde antes não ocorria, e pode aumentar o escoamento superficial nos locais em que ele já ocorria, como nas regiões de solo litólico. Este aumento do escoamento superficial contribui para o aumento das vazões média e máximas.

Aspectos da hidrologia do Alto Taquari

Entre as características hidrológicas da bacia do rio Taquari, devem ser destacadas a marcada sazonalidade das precipitações e a grande capacidade de regularização natural da bacia, mas a característica mais marcante da hidrologia da bacia é, certamente, a alteração das vazões observadas entre o início da década de 70 e a década de 80. A Figura 9 apresenta um hidrograma de vazões médias diárias, no período de 1969 a 1984, onde se observa o aumento das vazões máximas e mínimas ao longo da década de 1970. As vazões no ano de 1969 variaram entre 110 e 350 m³/s, enquanto no ano de 1975 a variação já fica entre 192 e 800 m³/s e na década de 80 a faixa de vazões vai de 320 a e 1400 m³/s, como mostra a Figura 9.

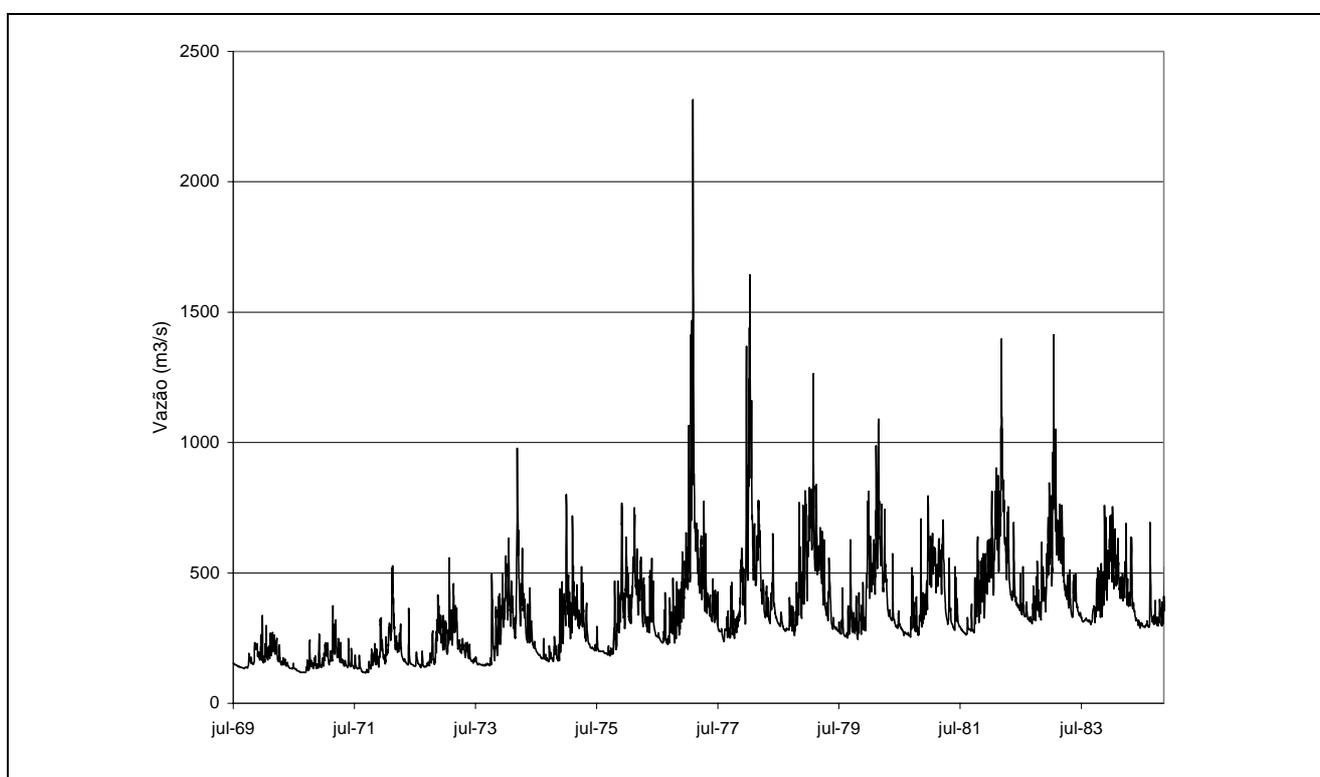


Figura 9: Vazões diárias do rio Taquari MS em Coxim entre 1969 e 1984.

Uma das causas desta variabilidade das vazões é, certamente, a variabilidade das chuvas anuais. Apesar da pequena quantidade e baixa qualidade dos dados de precipitação, observa-se que as chuvas anuais foram inferiores, no período da década de 60, tanto na planície do Taquari (Galdino et al., 1997) como em toda a região da Bacia do Alto Paraguai (Collischonn et al., 2001). Nos registros mais longos, a década de 60 se destaca como um período anormalmente seco em todo o Pantanal, como se observa na Figura 10, em que aparecem as cotas mínimas e máximas anuais do rio Paraguai em Ladário, de 1900 a 1990.

A segunda causa potencial da mudança das vazões na bacia do rio Taquari é a mudança de uso do solo ocorrida na região durante a década de 1970, que é descrita antes neste texto.

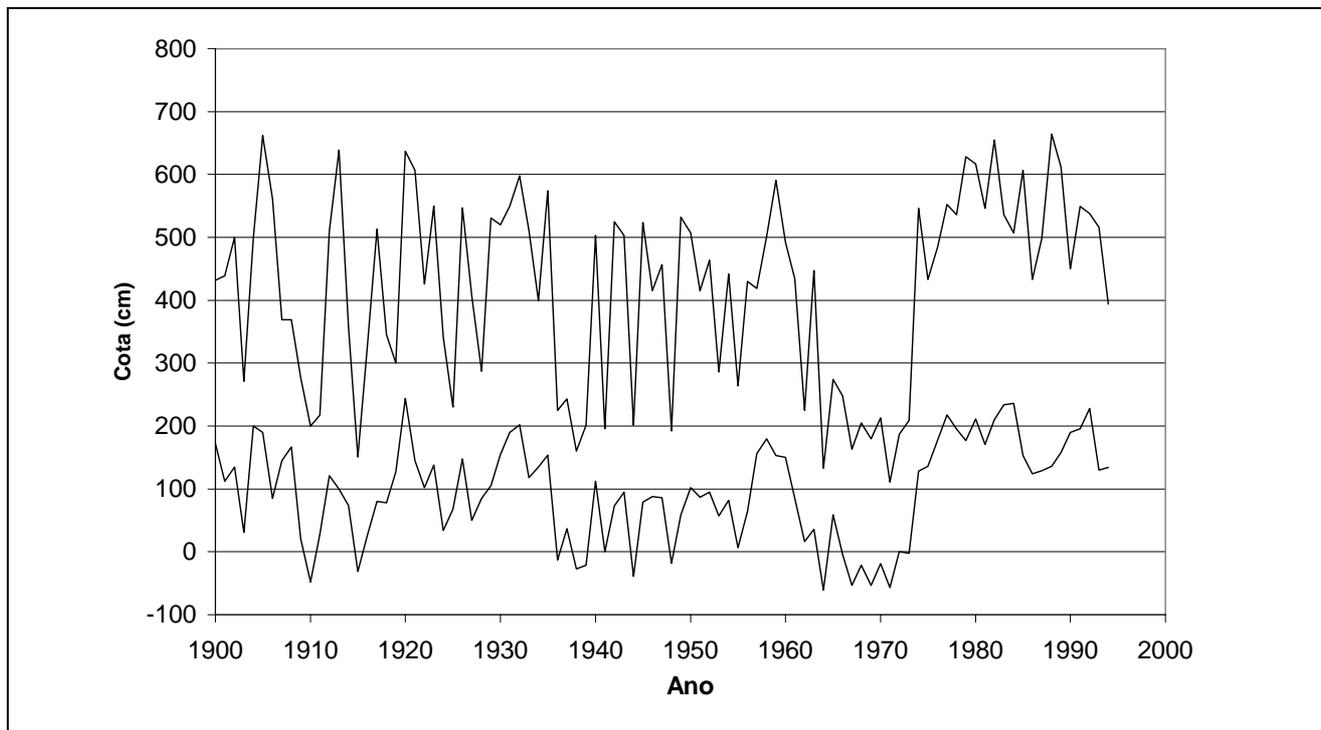


Figura 10: Série temporal das cotas mínimas, e máximas anuais no rio Paraguai em Ladário.

A alteração nas vazões da bacia teve conseqüências sobre a dinâmica dos sedimentos (Padovani et al. 1998, Collischonn e Merten, 2000) e sobre a economia na região do Pantanal, baseada na pecuária (Galdino et al., 1997). O período de secas, observado durante a década de 60, reduziu a área inundada e reduziu o tempo de inundação da área temporariamente inundada. Como conseqüência, a década de 60 foi um período de expansão da pecuária na região do Pantanal.

De acordo com os próprios relatos de pecuaristas, analisados por Corrêa (1997), os períodos secos sempre foram favoráveis à pecuária, tanto pelo aumento de área de pastagem como pela redução de algumas doenças do gado. Por outro lado, os períodos de enchentes sempre provocaram o desaquecimento da pecuária pantaneira. Este mesmo autor cita 1905, 1912, 1920 e 1932 como os anos de grandes cheias que prejudicaram a pecuária, enquanto as secas, como a ocorrida no período de 1934 a 1936, ajudaram a desenvolver a pecuária na região.

Os anos de secas e de cheias citados por Corrêa (1997) encontram suporte nos registros de nível do rio Paraguai, em Ladário, que são suficientemente antigos. Na figura 7.7 observa-se, claramente, os picos de 1905, 1912 e 1920. O pico de 1932 é menos evidente, mas o período seco de 1934 a 1936 é bastante claro na Figura 10. Entretanto, nenhum dos períodos de seca citados é tão longo como o observado na década de 60.

Resultados de simulação hidrológica

Um modelo matemático representando a bacia do rio Taquari, até o ponto em que este rio deixa o Planalto e penetra no Pantanal, foi desenvolvido para auxiliar a análise de alguns aspectos hidrológicos da região (Collischonn e Tucci, 2001; Collischonn, 2001). Em função de limitações de espaço, a descrição detalhada do modelo não será apresentada aqui.

O modelo hidrológico utilizado foi desenvolvido para representar os processos de transformação de chuva em vazão em grandes bacias hidrográficas (maiores do que 10.000 km²). Uma grade regular de células de algumas dezenas ou centenas de km² é utilizada pelo modelo para representar os processos de balanço de água no solo; evapotranspiração; escoamentos: superficial, sub-superficial e subterrâneo na célula; e o escoamento na rede de drenagem em toda a bacia hidrográfica. A variabilidade espacial é representada pela distribuição das características da bacia em células regulares ao longo de toda a bacia, e pela heterogeneidade das características no interior de cada célula.

Na aplicação do modelo à bacia do rio Taquari foram utilizados dados de topografia do modelo numérico do terreno global de 1x1 km de resolução (Bliss e Olsen, 1999); dados de tipos de solo, uso do solo e cobertura vegetal de Galdino et al. (1999); dados meteorológicos de um posto do INMET localizado em Coxim; e dados pluviométricos e fluviométricos fornecidos pela ANEEL. A Figura 11 apresenta a bacia do rio Taquari discretizada em células de 10x10 km e a rede de drenagem gerada a partir do modelo numérico do terreno. Além disso, são apresentados os postos fluviométricos, descritos na Tabela 2, e as principais sub-bacias.

A Figura 12 apresenta a localização dos postos pluviométricos na região, mostrando que há apenas 9 postos localizados no interior da área da bacia. Para complementar os dados destes postos, foram utilizados também dados de postos localizados fora da área da bacia. De maneira geral, entretanto, a densidade de postos pluviométricos na região é baixa.

Os parâmetros do modelo foram calibrados manualmente, por tentativas, considerando as seguintes hipóteses (Collischonn, 2001): a capacidade de armazenamento de água do solo em áreas de solo litólico foi considerada muito inferior à capacidade dos outros tipos de solos; para um mesmo tipo de solo, a capacidade de armazenamento em áreas de pastagem foi considerada inferior à do cerrado; e em áreas de florestas (matas de galeria) considerou-se que havia um forte componente de abastecimento da camada de solo por parte da água subterrânea. Os resultados obtidos são, em grande parte, diretamente relacionados a estas hipóteses, que ainda devem ser confirmadas através de medições locais de vazão e evapotranspiração.

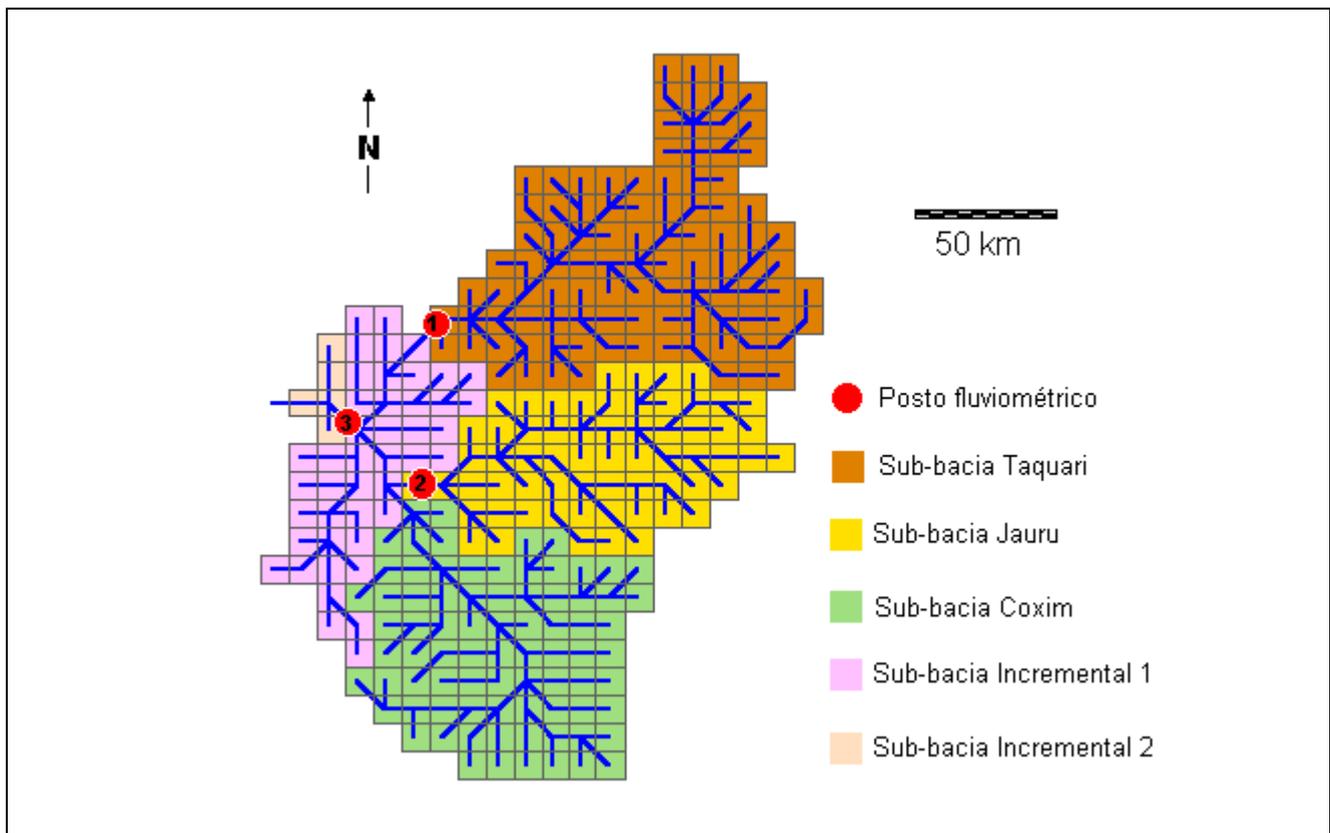


Figura 11: Localização dos postos fluviométricos na bacia do rio Taquari, MS, dividida em células e em sub-bacias.

Tabela 2: Postos fluviométricos com dados na bacia do rio Taquari MS.

Número na figura	Código	Posto	Rio	Área (km ²)
1	66840000	Perto de Pedro Gomes	Taquari	9.300
2	66850000	Contravertente	Jauru	6.300
3	66870000	Coxim	Taquari	27.040

O modelo foi calibrado com dados do período de 1978 a 1984. A Figura 13 apresenta os hidrogramas calculados e observados no rio Taquari, no posto fluviométrico de Coxim, e a Figura 14 apresenta os hidrogramas calculados e observados no rio Taquari no posto fluviométrico Perto de Pedro Gomes, no período de agosto de 1980 a setembro de 1981. Neste caso, a escassez de dados pluviométricos é ainda maior, pois existe apenas um posto dentro da área da bacia de 9.300 km². O resultado é que o modelo alterna picos superestimados e subestimados, de forma aproximadamente aleatória.

Melhores resultados são obtidos nas vazões médias mensais. A Figura 15 apresenta as vazões médias mensais calculadas e observadas no rio Taquari nos dois postos fluviométricos com dados, no período de julho de 1978 a dezembro de 1984. A qualidade do ajuste das vazões médias mensais

é importante nas eventuais aplicações do modelo para avaliação da disponibilidade hídrica e previsões de longo prazo.



Figura 12: Localização dos postos pluviométricos na bacia do rio Taquari - MS.

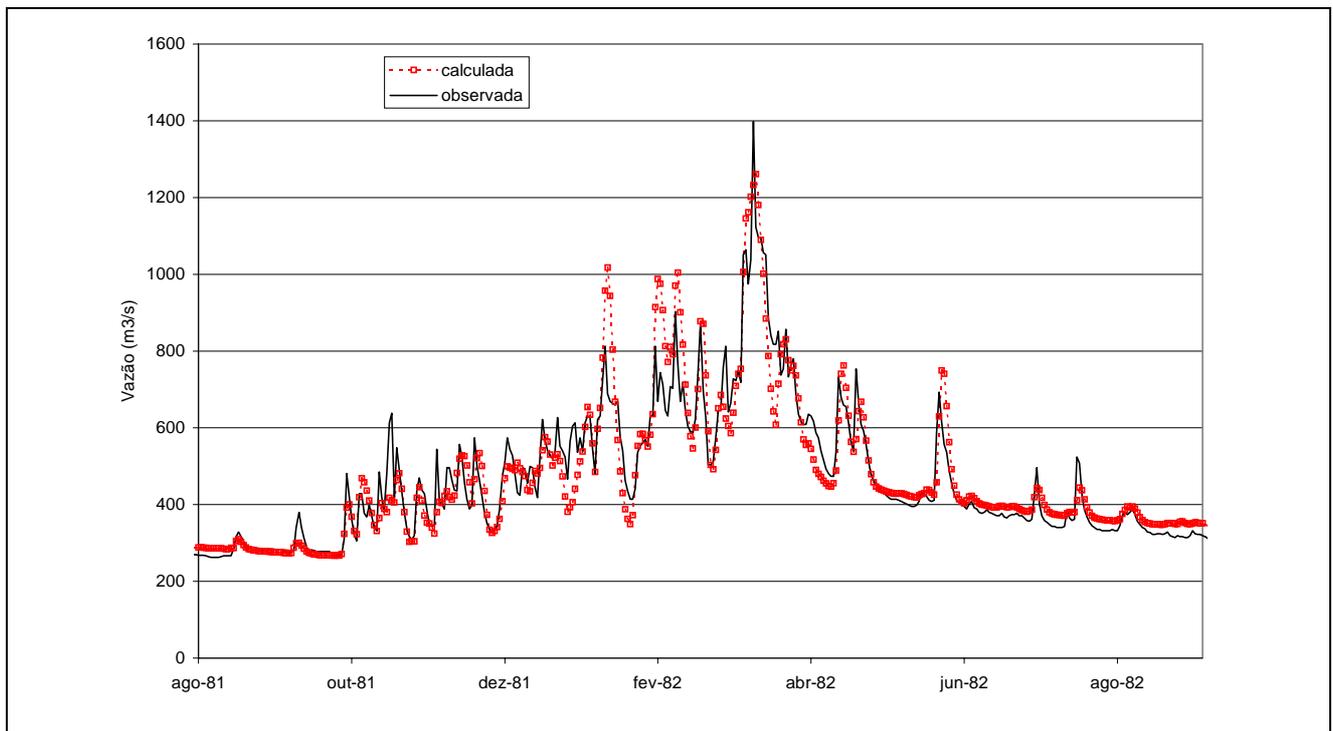


Figura 13: Hidrogramas de vazão diária calculada e observada do rio Taquari em Coxim, de agosto de 1981 a setembro de 1982.

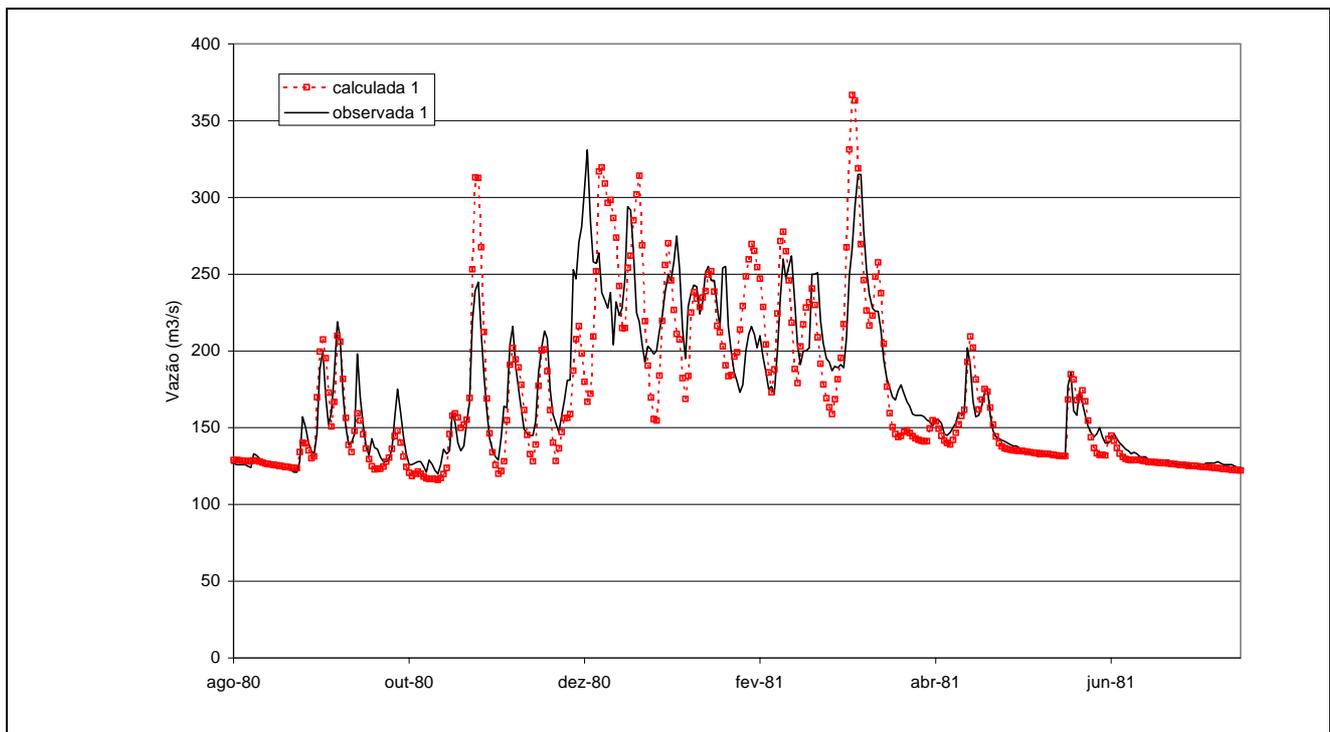


Figura 14: Hidrogramas de vazão diária calculada e observada do rio Taquari no posto Perto de Pedro Gomes, de agosto de 1980 a setembro de 1981.

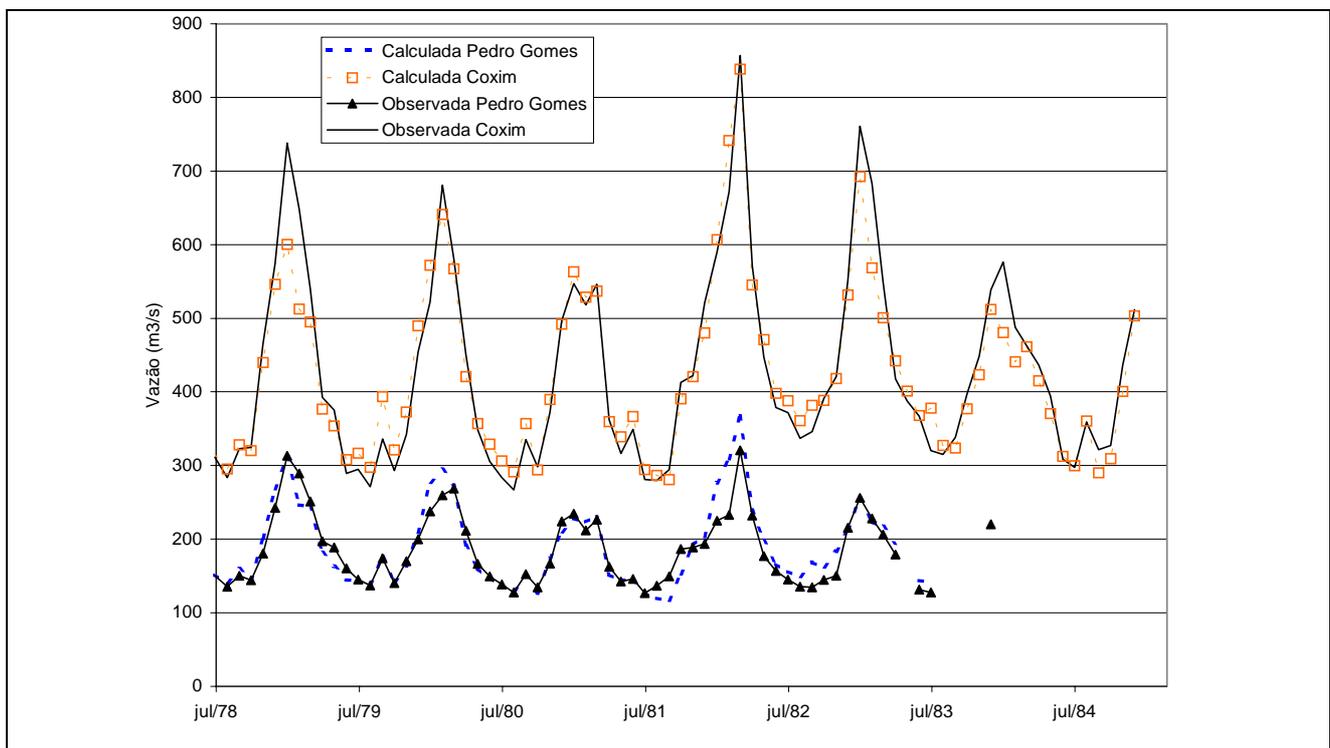


Figura 15: Hidrogramas de vazão média mensal calculada e observada do rio Taquari nos postos fluviométricos de Coxim e Perto de Pedro Gomes, de julho/1978 a dezembro/1984.

A curva de permanência é muito bem aproximada pelo modelo no período analisado. A Figura 16 apresenta as curvas de permanência de vazões diárias calculada e observada em Coxim, no rio Taquari. O erro no cálculo da vazão de referência Q_{90} é de, aproximadamente, 3%.

Os resultados da aplicação do modelo também revelam alguns aspectos interessantes do comportamento hidrológico da bacia. Mesmo os hidrogramas de vazões observadas chamam a atenção pelo alto grau de regularização natural. As vazões mínimas são relativamente altas e as vazões máximas relativamente baixas, em comparação com outras bacias. A vazão diária máxima observada é apenas 4 vezes maior do que a vazão mínima, no período de 1979 a 1984. Em alguns rios esta relação pode superar 400, como no caso de alguns rios no Rio Grande do Sul (Collischonn e Tucci, 2001).

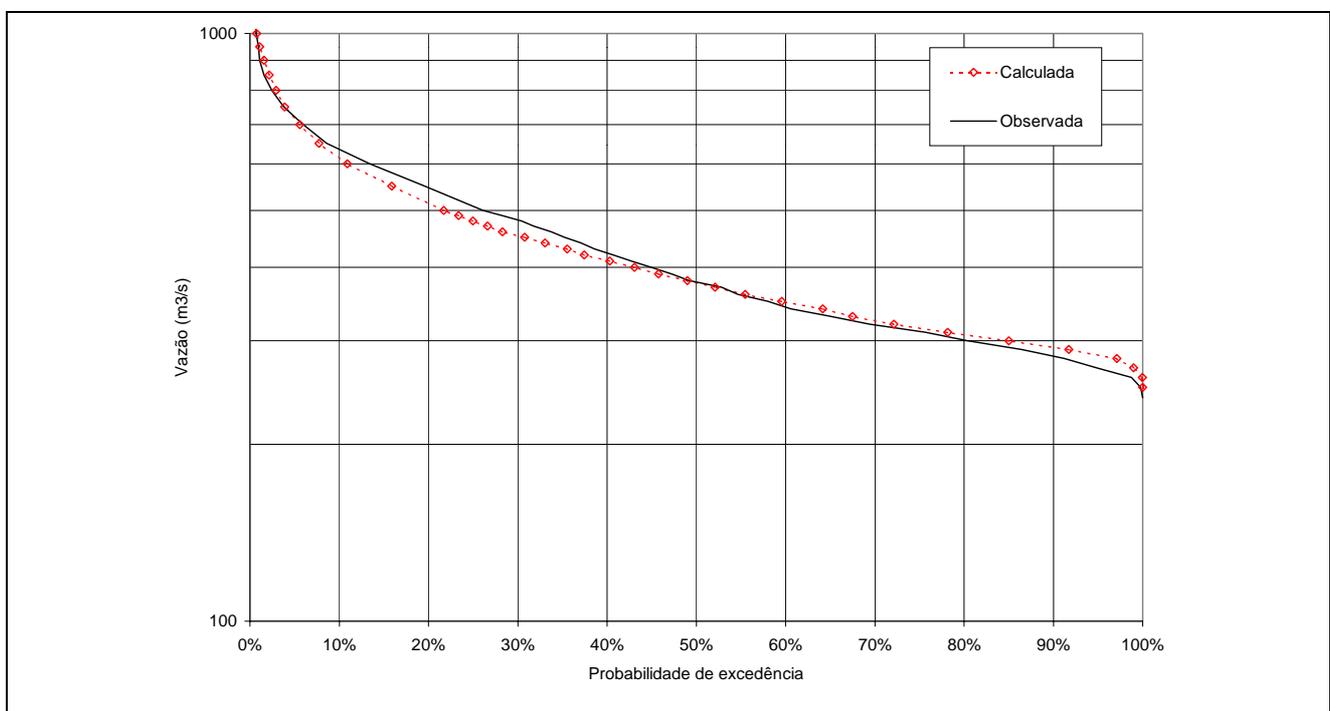


Figura 16: Curvas de permanência da vazão diária calculada e observada do rio Taquari em Coxim, de julho de 1978 a dezembro de 1984.

Aparentemente, esta regularização natural é resultado de duas características da bacia: os solos são profundos e permeáveis e as rochas do subsolo favorecem o fluxo e armazenamento de água subterrânea. A bacia do Taquari, MS, apresenta solos arenosos profundos, cobrindo rochas de arenito bastante porosas (Leão e Grehs, 1997). Mesmo com chuvas intensas durante o verão, apenas uma pequena parcela da chuva se transforma em escoamento superficial. De acordo com os resultados do modelo, que são apenas reflexos das hipóteses consideradas na calibração, as regiões de solos litólicos são as principais geradoras de escoamento superficial.

É possível utilizar o modelo hidrológico para fazer estimativas das frações do escoamento do rio que são oriundas de cada uma das fontes: superficial; sub-superficial e subterrânea. Estas estimativas só podem ser comprovadas com técnicas de traçadores radioativos, mas são, no mínimo, tão boas quanto as técnicas de filtragem algumas vezes citadas na literatura (Smakhtin, 2001). A Figura 17 apresenta o hidrograma de vazões diárias calculado no rio Taquari em Coxim, durante 3 anos, juntamente com as parcelas de contribuição do escoamento subterrâneo e do escoamento sub-superficial. A contribuição individual de cada uma das fontes de escoamento é dada pela diferença entre duas curvas adjacentes.

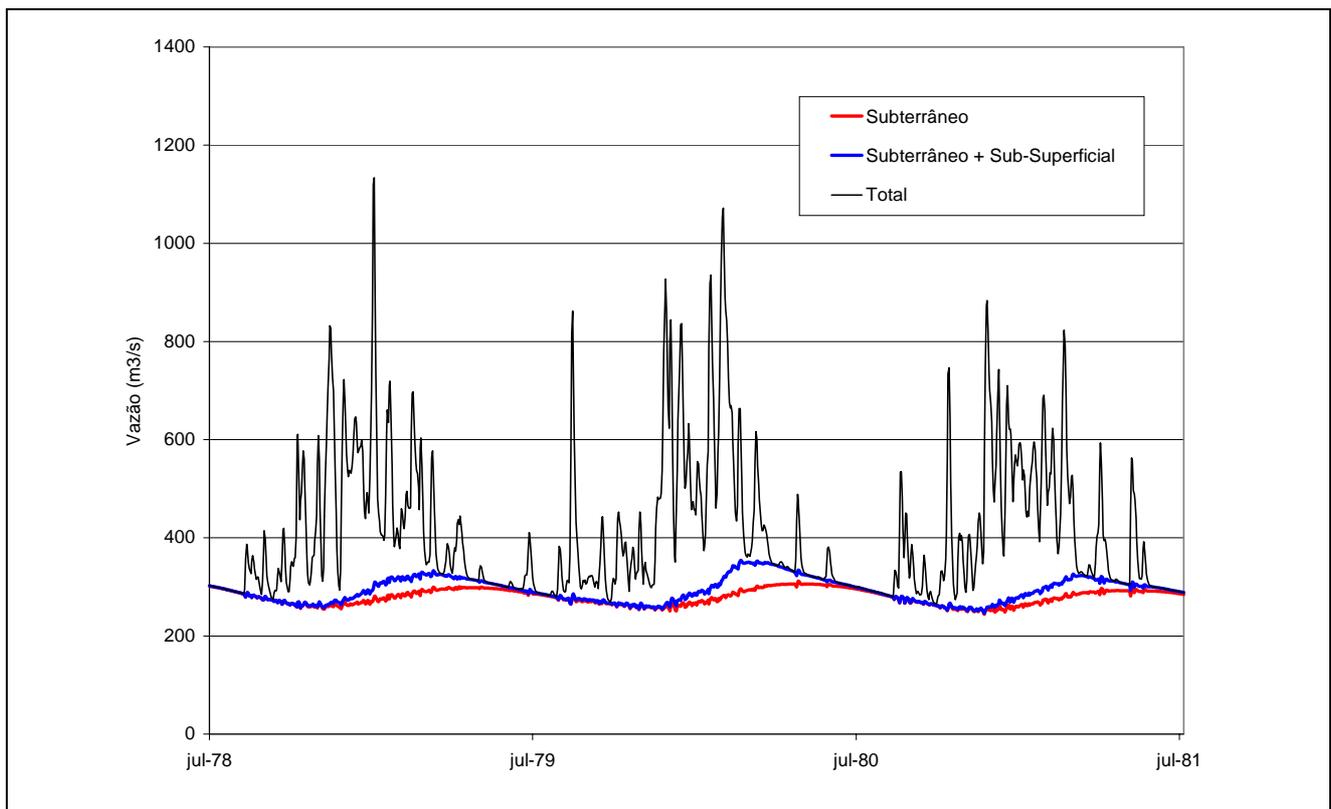


Figura 17: Contribuição de cada uma das fontes de escoamento no hidrograma calculado em Coxim.

A vazão subterrânea reage lentamente, atingindo o valor máximo anual ao final do período chuvoso, e o valor mínimo anual entre novembro e dezembro. No período de um ano não é possível verificar mudanças muito significativas na vazão subterrânea, porém vários anos de chuvas inferiores ou superiores à média podem mudar completamente o comportamento da bacia, e o principal tipo de escoamento afetado é o subterrâneo.

A vazão superficial reage rapidamente à precipitação e é responsável pelos picos de vazão. Ao final do período chuvoso a vazão superficial se reduz a zero, e toda a vazão do rio é oriunda do escoamento subterrâneo, apresentando uma recessão bastante regular e previsível.

Integrando os dados de vazão por origem do escoamento como os da Figura 17, é possível calcular qual é a importância de cada processo no volume total escoado pelo rio a longo prazo. A Figura 18 apresenta o gráfico da porcentagem da vazão do rio Taquari, em Coxim, de acordo com a origem do escoamento, no período de julho de 1978 a dezembro de 1984. A maior parte da vazão é oriunda do escoamento subterrâneo, que equivale a, praticamente, 70% do volume escoado. Na sub-bacia definida pelo posto Perto de Pedro Gomes a fração da vazão total devida ao escoamento subterrâneo é ainda maior.

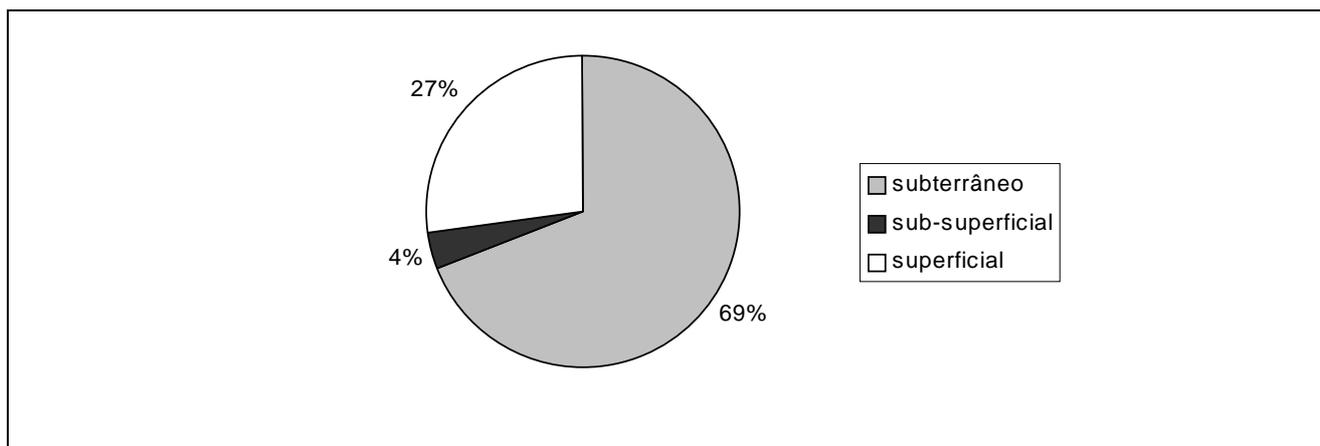


Figura 18: Porcentagem de escoamento no rio Taquari em Coxim de acordo com a origem.

Outro aspecto importante da bacia é que o armazenamento no solo e no sub-solo é considerável frente aos outros termos do balanço hidrológico anual. Não é possível, nesta bacia, considerar válida a relação simples entre precipitação, escoamento e evapotranspiração apresentada abaixo, para o intervalo de tempo anual.

$$Q = P - E \quad (1)$$

onde Q é o escoamento (mm); P é a precipitação (mm) e E é a evapotranspiração (mm).

A relação válida para a bacia do rio Taquari, MS, para o intervalo de tempo anual é, necessariamente, dada pela equação abaixo.

$$\Delta V = P - E - Q \quad (2)$$

onde ΔV é a variação do armazenamento na bacia (mm).

A Figura 19 apresenta o gráfico do armazenamento no solo médio calculado na sub-bacia 1 (definida pelo posto fluviométrico Perto de Pedro Gomes). O armazenamento no solo médio é a

média dos valores de W para todos os blocos de todas as células da sub-bacia. O armazenamento no solo têm uma variação de aproximadamente 400 mm ao longo do ano, na média da bacia, mas pode atingir valores maiores em certos blocos.

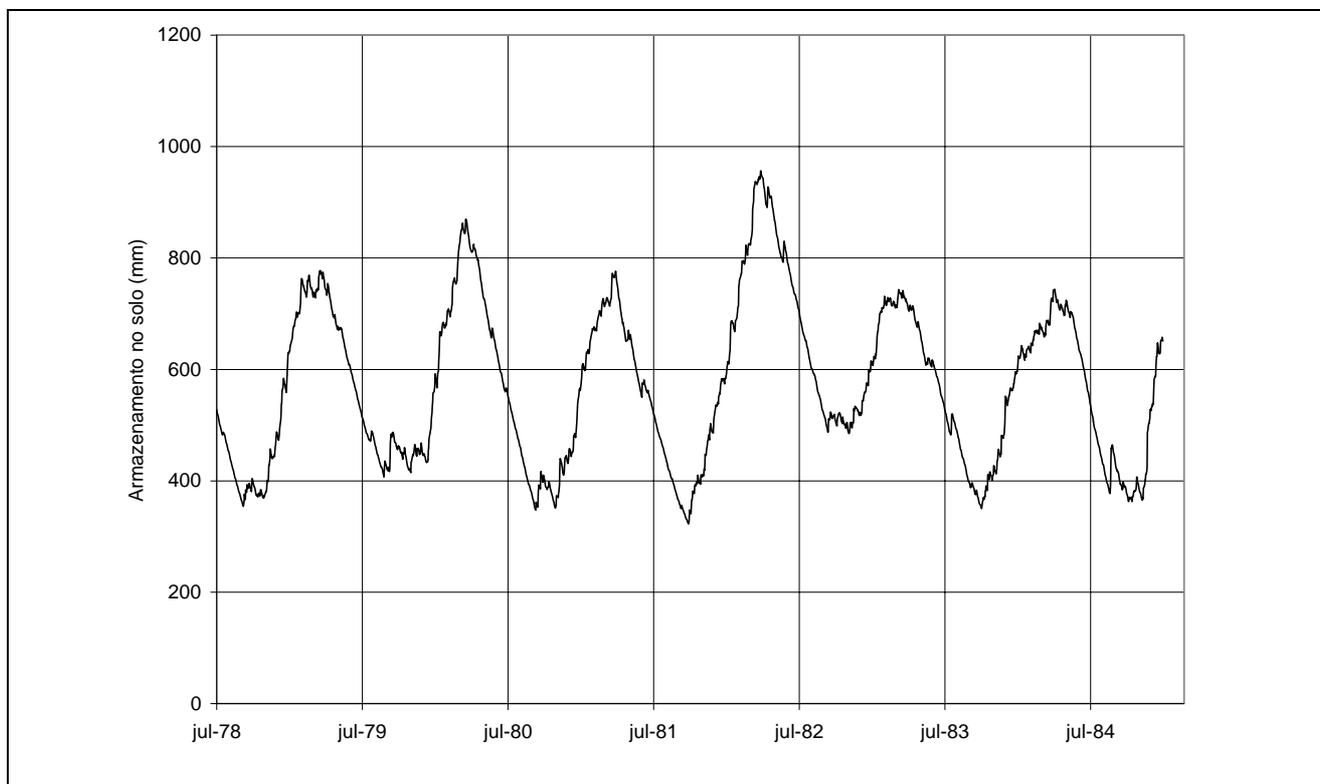


Figura 19: Armazenamento no solo médio calculado na bacia do rio Taquari até Perto de Pedro Gomes.

A Figura 20 apresenta o armazenamento total relativo ao início da simulação na mesma bacia. O armazenamento total na bacia é calculado pela equação 2, e pode se alterar em 700 mm entre o início e o final do período chuvoso, e em até 250 mm ao longo de um ano hidrológico completo. A vazão do rio durante o período seco é mantida pela redução de 400 a 500 mm no armazenamento total da bacia.

Entre julho de 1978 e julho de 1984, a precipitação média na bacia do rio Taquari em Coxim é de 1508 mm.ano^{-1} , a evapotranspiração é de 1043 mm.ano^{-1} , o escoamento é de 471 mm.ano^{-1} . Neste período, o coeficiente de escoamento é, portanto, igual a 0,31.

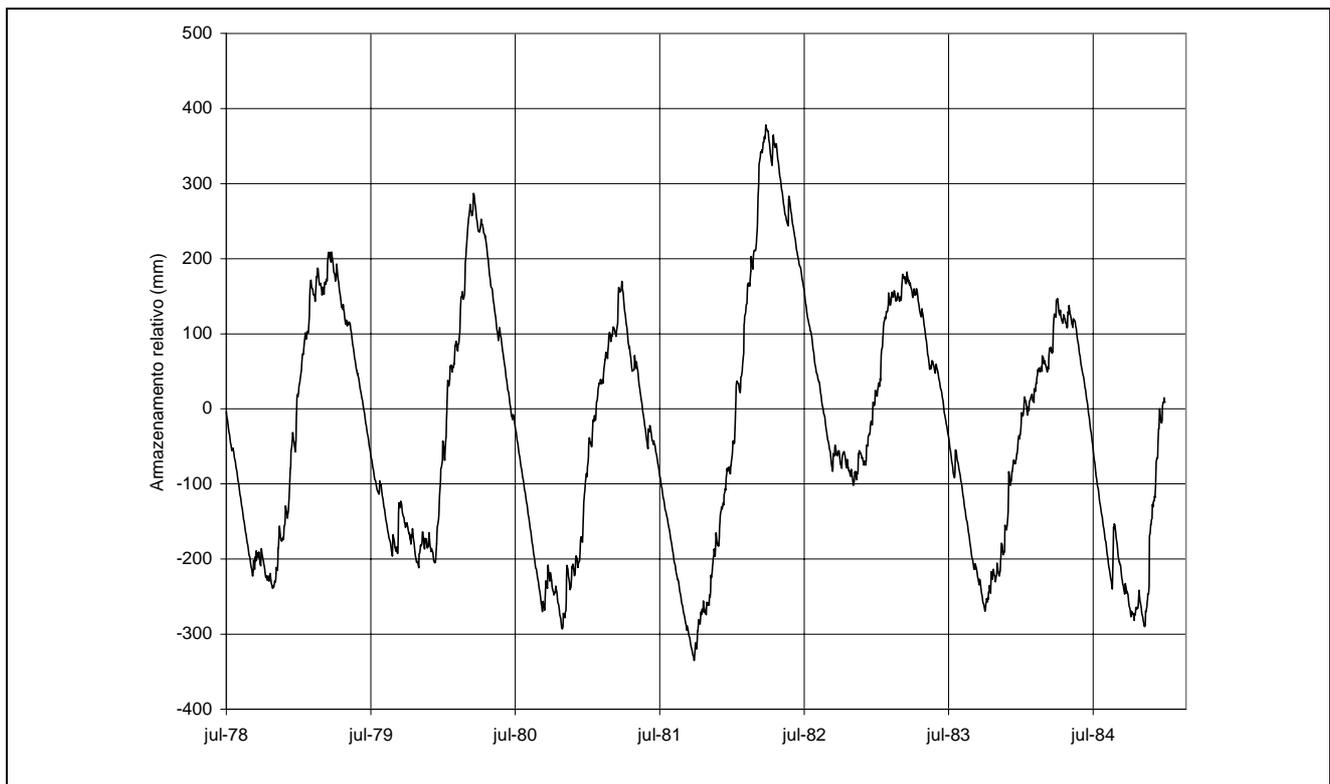


Figura 20: Armazenamento total, relativo ao início da simulação, calculado na bacia do rio Taquari no posto Perto de Pedro Gomes.

Conclusões

Este trabalho apresenta alguns dados de revisão bibliográfica e alguns resultados de simulação de Collischonn (2001) e Collischonn e Tucci (2001), referentes à bacia do rio Taquari, no trecho do Planalto, também denominada bacia do Alto Taquari.

Os dados de tipos de solos (Galdino et al., 1999) revelam que as areias quartzosas, de alta capacidade de infiltração, cobrem quase 50% da bacia. Já os solos litólicos, de baixa capacidade de infiltração e armazenamento, cobrem pouco menos de 15% da área da bacia. Nos solos profundos a água precipitada tende a infiltrar e ser armazenada no aquífero, retornando ao rio vagarosamente e mantendo o escoamento durante os períodos sazonais de estiagem. Nos solos rasos, como os solos litólicos, a água precipitada tende a escoar superficialmente, resultando em picos de cheia rápidos e facilitando a erosão.

Os dados de uso do solo e cobertura vegetal de Galdino et al. (1999) revelam que a bacia, originalmente coberta por cerrado e florestas, está, atualmente, ocupada por pastagens em mais da metade de sua área. As áreas de agricultura, predominantemente utilizadas para o cultivo de soja, representam apenas 6% da área da bacia.

Os dados dos censos agropecuários, analisados por Tredezini et al. (1997), confirmam o resultado da classificação de uso e cobertura de Galdino et al. (1999), indicando que, entre 1975 e 1995, a cultura da soja e a pecuária cresceram abruptamente na região, mas que a área da bacia tem sido sempre ocupada, predominantemente, para a pecuária.

Com base nas características do cerrado, descritas por Eiten (1972), pode-se esperar que a substituição do cerrado pelas pastagens resulte em um aumento da vazão média dos rios da bacia. Este aumento está relacionado a menor taxa de evapotranspiração que é esperada das pastagens em relação ao cerrado, especialmente no período de estiagem. Para confirmar esta hipótese serão necessárias medições de evapotranspiração semelhantes às realizadas por Condé (1995) e Miranda et al. (1996).

Com base em uma simulação hidrológica da bacia do rio Taquari, no período de 1978 a 1984, pode se chegar às conclusões que seguem.

- A vazão do rio Taquari é originada, em grande parte, por escoamento subterrâneo. Os resultados sugerem que os solos profundos sobre as rochas sedimentares contribuem para a regularização da vazão nesta bacia.
- Na sub-bacia do rio Taquari, definida pelo posto Perto de Pedro Gomes, o armazenamento total na bacia pode se alterar em 700 mm entre o início e o final do período chuvoso, e em até 250 mm ao longo de um ano hidrológico completo. A vazão do rio durante o período seco é mantida pela redução de 400 a 500 mm no armazenamento total da bacia.
- O coeficiente de escoamento de longo período da bacia do rio Taquari, em Coxim, é de 0,31 no intervalo de tempo de 1978 a 1984.

Seria desejável que estas conclusões fossem comprovadas ainda com base em mais dados de observação local, especialmente com dados de evapotranspiração do cerrado e das pastagens e com dados de escoamento representativos dos principais tipos de solos da região.

Referências bibliográficas

Bliss, N.; Olsen, L. M. 1999 *Development of a 30 ARC-second digital elevation model of South America*. <http://edewww.cr.usgs.gov/landaac/gtopo30/papers/olsen.html>.

Bordas, M. P. 1996 The Pantanal: An ecosystem in need of protection. *International Journal of Sediment Research* Vol. 11 No. 3 pp. 34-39.

Collischonn, W.; Clarke, R. T.; Tucci, C. E. M. 2001 Fluctuations in hydrological regime of the River Paraguai: part of a wider phenomenon of climate change. *Journal of Hydrology*. Vol. 245 pp. 218-238.

- Collischonn, W.; Merten, G. 2000 Modelo matemático de transporte de sedimentos em rios aluviais 2: Análise do rio Taquari, MS. *Anais IV Encontro Nacional de Engenharia de Sedimentos*; Santa Maria.
- Collischonn, W.; Tucci, C. E. M. 2001 Simulação hidrológica de grandes bacias. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*. Vol. 6 No. 1.
- Collischonn, W. 2001 *Simulação hidrológica de grandes bacias*. Tese de Doutorado. IPH – UFRGS.
- Condé, R. C. C. 1995 *Fluxos de vapor d'água em um cerrado sensu stricto do Distrito Federal*. Tese de Mestrado. Instituto de Ciências Biológicas. Universidade de Brasília. Brasília. 37p.
- Corrêa, V. B. 1997 *Pantanal: O enclave das águas*. In: *Socio-economia da bacia do Alto Paraguai*. Plano de Conservação da Bacia do Alto Paraguai (PCBAP). UFMS – MMA Programa Nacional do Meio Ambiente.
- Costa, M. F. 1999 *História de um país inexistente: O Pantanal entre os séculos XVI e XVIII*. Kosmos, São Paulo, 277pp.
- Eiten, G. 1972 The cerrado vegetation of Brazil. *Botanical Review*, Vol 38 N. 2; pp. 201-341.
- Galdino, S.; Clarke, R. T.; Padovani, C.R.; Soriano, B. M. A.; Vieira, L. M. 1997 Evolução do regime hidrológico na planície do baixo curso do rio Taquari – pantanal. *Anais xii simpósio brasileiro de recursos hídricos*, vitória es.
- Galdino, S.; Risso, A.; Vieira, L. M.; Soriano, B.; Vieira, L. M.; Padovani, C. R.; Melo, E. C.; Almeida Júnior, N. 1999 Erosão potencial laminar hídrica na bacia hidrográfica do Alto Taquari, MS. submetido à *Revista Pesquisa Agropecuária Brasileira*.
- Leão, M. I.; Grehs, S. 1997 *Águas subterrâneas*. In: Programa Nacional do Meio Ambiente 1997 *Plano de Conservação da Bacia do Alto Paraguai (PCBAP)*. Brasília.
- Miranda, A. C.; Miranda, H. S.; Lloyd, J.; Grace, J.; McYntire, J. A.; Meir, P.; Riggan, P.; Lockwood, R.; Brass, J. 1996 *Carbon dioxide fluxes over a cerrado sensu stricto in central Brazil*. In: Gash, J. H. C.; Nobre, C. A.; Roberts, J. M.; Victoria, R. L. *Amazonian deforestation and climate*. Wiley. Chichester. 611p
- Padovani, C. R.; Carvalho, N. O.; Galdino, S.; Vieira, L. M. 1998 Deposição de sedimentos e perda de água do rio Taquari no Pantanal. *Anais do III Encontro Nacional de Engenharia de Sedimentos*. Belo Horizonte. ABRH.
- Smakhtin, V. U. 2001 Low flow hydrology: a review. *Journal of Hydrology*. Vol. 240 pp. 147 – 186.
- Tredezini, C. A. O.; Laurino, A. A. A.; Oliveira, G. M. 1997 *Uso e ocupação da terra*. In: *Socio-economia da bacia do Alto Paraguai*. Plano de Conservação da Bacia do Alto Paraguai (PCBAP). UFMS – MMA Programa Nacional do Meio Ambiente.