



# **Pantanal-Taquari; Ferramentas para tomada de decisão na Gestão Integrada dos Recursos Hídricos**

**Editado por R.H.G. Jongman**

Partners for Water



# PANTANAL TAQUARI



Editor: Rob Jongman

Contribuições:

**Alterra:** Rob Jongman, Michiel van Eupen, Bart Makaske, Sabine van Rooij, Gerard Groenveld, Erik Querner, Remco Jonker

**Embrapa-Pantanal:** Carlos Padovani, Walfrido Tomás, Emiko Kawakami de Resende, Agostinho Catella, Balbina Soriano, Sergio Galdino, Suzana Salis

**WL|Delft Hydraulics:** Erik Mosselman, Bob van Kappel, Marcel Ververs, Chris Stolker, Marjolijn Haasnoot

**ITC:** Ben Maathuis, Luc Boerboom

**Arcadis:** Sjors Hein

**Regenboog Advies:** Helena Berends



## **Prefácio**

Este é o relatório síntese do projecto Pantanal-Taquari com toda a documentação importante incluída no CD-ROM no final deste livreto. O projecto foi realizado por uma estrutura de parceiros denominada “Partners for Water como Projeto número 02.045”. Este tem sido um projecto conjunto entre institutos holandeses e EMBRAPA Pantanal e serve como um dos projetos-piloto para o Fórum Mundial da Água. Os produtos e a informação deste relatório são também uma extensão dos seguintes projetos: “Avaliação das imagens da câmara MMRS no estudo da dinâmica da deposição de sedimentos e do regime de inundação do leque aluvial do rio Taquari no Pantanal: Monitoramento hidrossedimentológico”, aprovado pelo CONAE da Argentina, que forneceu as imagens do sensor MMRS, satélite SAC-C e o projeto “Avaliação da dinâmica de inundação para o gerenciamento dos recursos naturais do leque aluvial do rio Taquari através de geoprocessamento”, apoiado pelo FUNDECT.

Os autores deste relatório agradecem a todos os que contribuíram para este projeto especialmente o Dr. Mario Dantas, que chamou à atenção para o problema do rio Taquari. Antônio R. Ioris e Jorgen Leeuwestein, ambos trabalharam no Programa Pantanal quando o projeto se encontrava em preparação e na sua fase inicial e ainda foram quem nos apoiou fortemente no importante contato com as autoridades de Brasília, Campo Grande e Cuiabá. Agradecemos também a todos os que nos ajudaram apesar de não terem sido mencionados, no instituto EMBRAPA, mas especialmente a todas as pessoas, fazendeiros, autoridades locais e Organizações Não Governamentais (ONG's) no Pantanal, que estão fortemente envolvidos nos problemas do Taquari e sofrem os impactos da situação atual. Este projecto foi possível através do fundo financeiro do Programa Holandês “Partners for Water como Projeto número 02.045”.

Agradecemos também aos funcionários da EMBRAPA-Pantanal e aos estudantes pela sua colaboração. Dados importantes foram colhidos durante a pesquisa de campo no rio Taquari em março-abril de 2004. Gostaríamos de agradecer ainda aos nossos excelentes pilotos Isac e Valdomiro da EMBRAPA-Pantanal). As análises de granulometria das amostras de sedimento colhidas no campo, foram realizadas no laboratório de solos da EMBRAPA-Pantanal (Corumbá). As determinações da datação dos sedimentos do Taquari por radiocarbono, foram efetuadas no Laboratório Robert J. van de Graaff (Utrecht, Holanda) sob a supervisão do Dr. Klaas van der Borg, que também calibrou a datação “moderna” dos sedimentos através de radiocarbono.

Para a pesquisa de campo foram utilizados os equipamentos de ecosonda e DGPS. Foi utilizado o método de levantamento batimétrico rápido, usando um ecosonda portátil ligado a um GPS e integrado com SIG (Sistema de Informação Geográfica), o qual foi desenvolvido pelo Sr. Eng. Remco Dost do Departamento de Recursos Hídricos, ITC. A frequência dual do GPS usada, foi fornecida por Drs. Klaas Verwer, Departamento de Sedimentologia, Universidade Livre de Amsterdã.

Gostaríamos também de demonstrar o nosso agradecimento ao MSc Roberto de Ruyver, da Argentina, que foi muito importante no desenvolvimento dos procedimentos apropriados nas correções para a otimização do hydro-DEM. Também somos muito gratos à equipe de desenvolvimento do programa ILWIS no ITC pelo seu empenho para programar as rotinas necessárias e algoritmos que foram precisos para o processamento hidrológico do DEM. Este relatório final está disponível em Inglês e Português. Em favor da equipe projeto Pantanal Taquari.

Rob Jongman, Wageningen 14-3-2005

## Sumário

Em 1970 o Planalto, as terras altas ao redor do Pantanal, formado por uma área de savana úmida de 320.000 km<sup>2</sup>, foi colonizado. Até então o Planalto era coberto por vegetação arbustiva de áreas secas e de fraca cobertura, o cerrado. O solo dessa região é altamente erodível e a colonização deu-se sem ter em conta o impacto no Pantanal, uma das regiões mais importantes do mundo em nível de biodiversidade.

O Pantanal no Brasil, consiste na junção de grandes rios em uma área úmida. A economia é baseada na criação de gado, pesca e ecoturismo. Grandes áreas são dominadas pelo regime do rio Paraguai e seus afluentes. Na estação de cheia, grandes áreas de savana são inundadas. Atualmente a erosão e a deposição de sedimentos transformaram o Taquari num sistema instável e ramificado. Atualmente, este é o seu maior problema, causando inundações permanentes em vez de periódicas em boa parte da área de uma região de cerca de 11.000 km<sup>2</sup> nas sub-regiões do Paiaguás e Nhecolândia. O resultado é o declínio das populações de peixes e uma diminuição das áreas de criação de gado.

As principais conclusões do projecto são:

- A ciência no contexto: a importância desse projeto esta na inclusão do conhecimento científico do rio como uma unidade ecológica e socioeconômica. Dentro deste contexto, foram estabelecidas relações entre os vários campos da ciência (hidrologia, ecologia e economia);
- A biodiversidade pode ser importante para a economia regional: menor biodiversidade aquática significa menor quantidade de peixes, menos turismo de pesca, menos ecoturismo, menor ganho econômico e maior isolamento. As relações do comportamento hidrológico do rio como um sistema e o seu funcionamento ecológico (pulso de inundação) pode também ser uma importante lição a ser aprendida de como proceder no manejo da água na Europa;
- O papel da população humana envolvida e a formação de pessoal: numa situação onde a política é muito importante, é essencial que todos estejam envolvidos e discutam as questões, utilizando argumentos políticos e científicos e ainda modelos econômicos e hidrológicos apropriados para explicar a situação. Conhecimento apropriado aparenta ser o único argumento para convencimento na tomada de decisões;
- Organização da gestão de águas: é importante que os resultados deste projeto sejam aceitos tanto pela população dessa região como pelas autoridades que supervisionam a região;
- Soluções técnicas mim sempre são as melhores soluções: soluções técnicas tais como construir uma barragem foram propostas por diferentes interessados e este projecto foi capaz de mostrar as suas conseqüências, tanto positivas como negativas;
- Coordenação e cooperação da pesquisa: um aspecto importante que foi apreendido foi que a cooperação e a coordenação da política e a pesquisa pode ser melhorada consideravelmente, dado que ambas podem se beneficiar com isso.

Em geral, a compreensão da dinâmica hidrológica e da ecologia dos rios numa escala referente à bacia hidrográfica, e ainda a comunicação deste conhecimento com as organizações e pessoas envolvidas, é a base da gestão econômica e ecologicamente sustentável do manejo da água.

## O problema do Taquari e o desafio do projeto

A paisagem do Pantanal é um paraíso. Consiste de vastos rios, maravilhosas áreas úmidas, águas temporárias, pequenos lagos, florestas e campos que são usados extensivamente para criação de gado, pesca e ecoturismo. Possui a maior população de jacarés, há ainda ariranhas e é rico em aves como os Tuiuiús, Garças, Emas e animais predadores como Jaguar e Puma. O Pantanal é o maior complexo de áreas úmidas do mundo e faz parte da Bacia do Alto Rio Paraguai.

As áreas úmidas do Pantanal abrangem aproximadamente 250.000 km<sup>2</sup>. O Taquari é um dos seus maiores rios; tem um comprimento de 800 km dos quais 500 km estão em áreas úmidas do Pantanal. Coxim é a fronteira entre a bacia do médio e baixo Taquari ou Pantanal e bacia do alto Taquari ou Planalto. O tamanho da bacia do alto Taquari é de 29.000 km<sup>2</sup> e a área do leque aluvial no Pantanal é cerca de 50.000 km<sup>2</sup>. O Taquari é único no mundo, por possuir o maior leque aluvial do mundo e por ser um rio natural que mostra todas as características de um rio típico. A maior parte da Bacia do alto Taquari está situada no estado de Mato Grosso do Sul, enquanto o restante encontra-se no estado de Mato Grosso. A bacia do baixo Taquari está situada no Mato Grosso do Sul. A localização em dois estados faz com que o rio se encontre sob alçada do governo federal.

O manejo da água para uso múltiplo é muito importante mais difícil de pôr em prática especialmente em áreas vastas como o Pantanal, onde a água não é somente um fator local mas também regional. A água é a ligação de tudo no Pantanal. Se existirem problemas com água, estes não terão apenas um componente local mas também um importante componente regional. No Pantanal, a água é um tesouro porque é a base da vida e a existência do homem e da biodiversidade. A savana tropical úmida é um sistema que é baseado em inundações sazonais. A diferença entre a terra firme e o rio é temporária. O regime de inundações determina a fertilidade da terra e o ritmo do sistema de criação de gado: antes de cada nova inundação parte do gado criado é vendido no mercado. O regime de inundações também determina a riqueza das comunidades de peixes e outros organismos aquáticos. A cadeia alimentar aquática é formada por populações de peixes detritívoros e peixes herbívoros. Estes formam a reserva de alimentação da maior parte das populações de peixes maiores que, por sua vez, são as presas dos predadores do topo da cadeia como outros peixes, jacarés, aves e a ariranha. Os peixes e os predadores de topo de cadeia são a base de importantes elementos da economia regional: pesca profissional, pesca desportiva e ecoturismo.

O paraíso do Pantanal parece estar sob ameaça. A paisagem das terras altas que rodeia o Pantanal, o Planalto, faz parte da região biogeográfica do Cerrado. O bioma Cerrado compreende o sul da Amazônia e também desde o árido nordeste até o Pantanal. Este é constituído por solos pobres, de areias finas com baixo teor de material orgânico. São altamente erodíveis e podem ser transportados pela chuva ou pelo vento. Na parte alta da bacia do Taquari no planalto, a área erodível é de cerca de 13.380 km<sup>2</sup> (46% da sua área). Verificou-se uma mudança considerável no uso do solo. A perda de solo é alta numa área de 12.603 km<sup>2</sup> (44% da alta bacia). A perda potencial média anual nesta zona é atualmente de 556 toneladas/ha. Estes resultados foram estimados a partir da descarga de sedimento em Coxim em 1995, de 2000 m<sup>3</sup> por dia.

O assoreamento do Rio Taquari é, no momento, o maior problema ambiental do Pantanal, devido às inundações permanentes em boa parte da área de uma região de cerca de 11.000 km<sup>2</sup> nas sub-regiões do Paiaguás e Nhecolândia. Resolver este problema é difícil, dado que não há um manejo coerente e organizado do rio e seu comportamento, especialmente na parte baixa da bacia, é desconhecido. O conhecimento para tomar decisões, para atacar ambos os problemas é inexistente. O desafio deste projecto é adquirir e partilhar esse conhecimento.

O maior problema indicado pelos habitantes da área do Pantanal foi a colonização nacional da década de 70 que alterou completamente a cobertura e uso do solo no Planalto. Essa é a causa apontada pelos habitantes da área para os problemas que os afetam atualmente.

Se olharmos para a enorme erosão no Planalto e o assoreamento no rio, então não existem dúvidas de que a sedimentação é um problema bastante sério. No entanto, o rio é também um sistema natural e o que está em questão é se o problema é causado apenas pelo Homem ou se é necessário pesquisar outras possíveis causas. Assim como os processos antrópicos, processos naturais também devem estar em andamento: é natural que o rio se mova e extrapole o seu próprio leito formando um novo. Também deve ser considerada a possibilidade de que o clima está em mudança causando mais precipitação. Este fato, também pode causar problemas na descarga de água e sedimentos. Outro fato ainda mais importante, que temos que considerar é que o nível das águas rio Paraguai aumentou formando uma zona de 100 km de largura em ambos os lados, provocando uma influência marcante no baixo curso do rio Taquari.

No presente estágio deste estudo, as causas das mudanças no sistema de drenagem do rio podem ser consideradas tanto naturais como induzidas pelo Homem:

- Processos naturais do rio
- Mudança do clima → aumenta de precipitação:
  - Aumento da erosão e transporte de sedimentos
  - Mudança na vegetação: aumento do escoamento superficial e na subsuperfície
- Mudança no uso do solo e mudança na respectiva vegetação
  - Aumento da erosão e do transporte de sedimentos
  - Mudança nos padrões de descarga devido à drenagem
  - Mudança na vegetação: aumento do escoamento superficial e na subsuperfície
  - Manejo não apropriado do rio

É obvio que mudanças no regime das águas do rio têm impacto na sociedade. As conseqüências econômicas devido ao declínio da biodiversidade podem, no entanto, significar menor renda pela pesca e ecoturismo. Isso representa nesta parte do Pantanal:

- Diminuição do ecoturismo e pesca turística no Pantanal
- Diminuição do transporte aéreo e maior isolamento devido ao declínio no turismo
- Pequenos comerciantes irão tornar-se enormemente dependentes do governo
- Capital não investido na região

## Box 1 Área inundada na Bacia do Taquari

*Tabela 1. Áreas inundadas e não inundadas em km<sup>2</sup> e percentagens para o leque aluvial do Taquari, extraídas da classificação das imagens MMRS, SAC-C satellite de Setembro, 28, 2002, estação seca e Abril, 24, 2003, estação inundada.*

	Área total do leque	Inundada na estação de seca	Inundada na estação de cheia	Não inundada na estação de seca	Não inundada na estação de cheia	Diferença da área inundada
Valor	52.156	6.002	19.534	46.154	32.622	13.532
Percentagem	100,0	11,5	37,4	88,5	62,5	-

A área inundada na estação seca, representa 11,5% e na estação inundada 37,4% do leque aluvial do Taquari. Os 6.002 km<sup>2</sup> (11,5%) da área inundada na estação seca representa, para a data do estudo, a área permanentemente inundada do leque aluvial do Taquari. A inundação permanente, definida como a área inundada na estação inundada e que continua inundada na estação seca, representa 31% da área inundada na estação inundada. A inundação sazonal, definida como a diferença da área inundada na estação inundada e na estação seca, representa 69,3% do total da área inundada na estação inundada. A tabela 2 mostra a quantificação da área inundada e não inundada do cone aluvial do Taquari

*Tabela 2. Area inundada e não inundada (km<sup>2</sup> and %) do cone aluvial do Taquari, extraídas da classificação das imagens MMRS, SAC-C satellite de Setembro, 28, 2002, estação seca e Abril, 24, 2003, estação inundada.*

	Área total do cone	Inundada na estação de seca	Inundada na estação de cheia	Não inundada na estação de seca	Não inundada na estação de cheia	Diferença da área inundada
Valor	11.285	5.125	8.218	6.160	3.067	3.093
Percentagem	100,0	45,4	72,8	54,6	27,2	-

## **Abordagem ao Projeto**

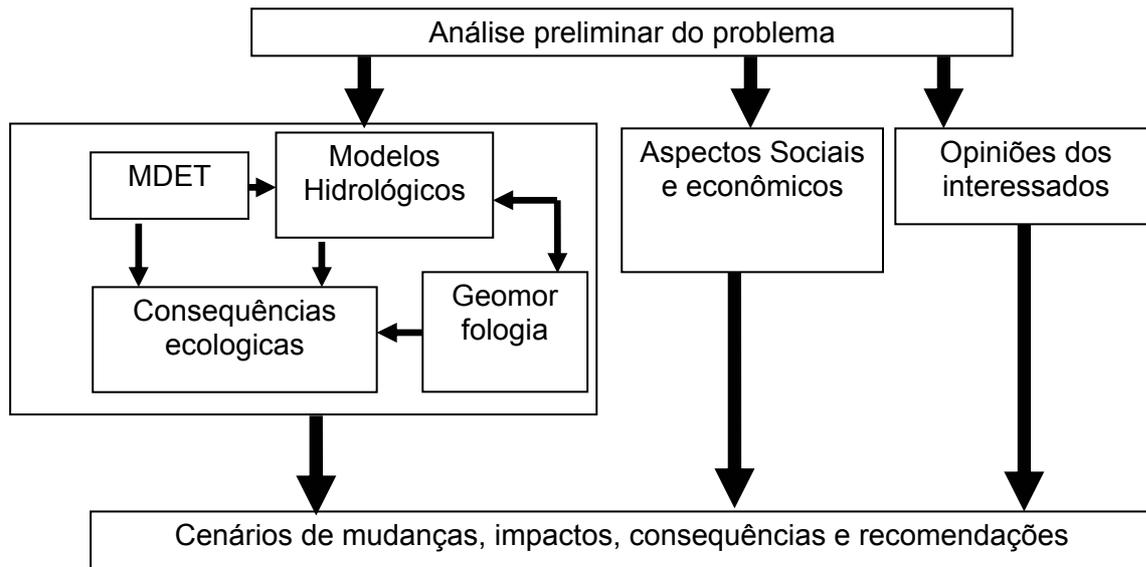
O projeto centra-se na aquisição de conhecimento como forma de encontrar soluções para o problema do Taquari. A primeira medida a tomar é definir claramente quais os problemas e onde se pensa encontrar as causas e as soluções. Isso não é feito por pesquisadores, num primeiro momento, dado que este é um problema social e a sua solução deverá também ser baseada na sociedade. Desta forma, o projecto foi separado em várias partes: a discussão com os detentores do problema, os pecuaristas, a comunidade de pescadores e com o público em geral. Outras pessoas que foram abordadas e as quais o projecto foi comunicado, foram consideradas como representantes da cidade de Corumbá, do Estado e das agências regionais e nacionais. Todos estes foram abordados durante o projecto. O projecto começou e finalizou com uma sessão conjunta para discutir os problemas, as causas, resultados e possíveis soluções.

Entretanto o trabalho técnico teve que ser feito. Foi necessário nos familiarizarmos com o funcionamento do sistema e as potenciais soluções e suas conseqüências. Estas foram tarefas parcialmente distribuídas a cada um dos parceiros envolvidos no projecto. Ações conjuntas e dados conjuntos foram necessários, como o Modelo Digital de Elevação de Terreno (MDET), e foram essenciais durante todo o projecto. A percepção de onde e para onde vão as águas é essencial, assim como é muito importante se conscientizar sobre a história geomorfológica da região para entender quais são os processos naturais. Se há um impacto antrópico, este está sobreposto aos processos naturais em tempos históricos e tempos recentes. Também foi incluída informação sobre o funcionamento hidráulico do rio e a história do uso da terra.

Um aspecto especial do projecto foi a expedição ao rio Taquari. A expedição foi necessária para colher informação de campo para calibrar o MDET em relação a dados de altitude e localização, coletar amostras de solo para datar o sedimento, medir o perfil do rio, examinar a geomorfologia e examinar o lençol freático. Isto foi um esforço conjunto feito por todos os membros de todas as equipes envolvidas e durou seis dias no rio com dois barcos. Foi um trabalho coordenado, que tinha que ser feito para obter a informação necessária.

Além disso, a informação disponível sobre essa região foi analisada e aproveitada. A pesquisa feita no passado e relatada no Plano de Conservação da Bacia do Alto Paraguai (PCBAP), por universidades, instituições e ainda por pesquisadores individuais tem sido usada tanto quanto possível. Este fato tornou possível obter uma imagem representativa dos processos nesta área.

Passos importantes neste processo, foram os encontros de coleta de informação com os pesquisadores da região, onde as bases do conhecimento ecológico foram traduzidas em perfis de espécies específicas e de grupos específicos. Estes perfis permitiram a tradução da informação sobre as espécies em padrões espaciais e cenários. Como a fauna natural e o gado foram incluídos, isso permitiu tanto a análise da biodiversidade quanto do uso da terra.



### **A expedição ao Taquari**

Para uma boa introspecção dos processos e dos padrões do Taquari, foi necessário organizar uma expedição ao rio. Durante a expedição (29 Março até 9 Abril de 2004) foram feitas medições para determinar a localização, altitude exata, perfis do rio, colher amostras de solos e medir a altura da vegetação. Durante a expedição, as principais diferenças observadas no sistema de drenagem do rio foram:

- A estrada que vai de Campo Grande até Coxim, passa parcialmente na alta bacia do rio Taquari (Planalto). Em várias áreas foi observada erosão local, principalmente na região de Camapuã, mais para o interior da alta bacia e afastada dessa estrada alguns quilômetros. Na região de São Gabriel do Oeste, grande parte da área está plantada com soja e durante março a mesma se encontrava em estado de maturação, com cerca de 20 cm acima da superfície. Em áreas de grande inclinação, é encontrada floresta degradada. As escarpas de arenito, quase verticais, próximas de Coxim são bastante vegetadas, outras escarpas de arenitos não tão abruptas, encontram-se cobertas de floresta.
- Desde Coxim até aproximadamente 30 km a leste do arrombado do Caronal, o Taquari incide na superfície do leque e está confinado em uma estreita planície aluvial ativa. A diferença entre a superfície do leque aluvial e o nível da água do rio é de 5 a 6 m na entrada do Taquari no Pantanal. Esta diferença na elevação decresce para oeste. O declive longitudinal médio é da ordem de 30 cm/km e a profundidade do rio é, em geral, mais de 2,5 m. A largura do rio é de mais de 300m. O rio apresenta um forte padrão de meandramento e especialmente no lado externo das curvas, é possível ver sinais freqüentes de erosão ativa das margens. Existem inúmeros meandros abandonados nesse trecho. As marcas de inundações são observadas entre os 1,2 e 1,5 m acima do nível da água. A velocidade da corrente geralmente ultrapassa 4-5 km/h e o rio transporta sedimentos em suspensão. O nível máximo da água não alcança a superfície do leque aluvial.
- Na altura de 30 km a leste do arrombado Caronal até aproximadamente perto do arrombado Zé da Costa, o rio já não é incidente. Os barrancos estão cerca de 30 cm acima do nível da água. Aqui raramente são observados sinais de erosão das margens. A largura do Taquari decresce para menos de 200 m. A profundidade do rio é geralmente menor do que 2 m. O declive longitudinal nesse trecho está entre 20-30 cm/km. O padrão de meandramento desaparece e o rio torna-se mais reto, mostrando assim mais uma aparência ramificada, com muitas barras (dunas) de areia e áreas rasas (baixios). Na parte superior desse trecho existem inúmeros arrombados, tanto na margem esquerda como direita do rio, desviando uma quantidade substancial da descarga do rio. A velocidade do rio aqui é menor, entre 2,5 e 4 km/h, mas continua a transportar sedimentos suspensos. Em geral as marcas das inundações estão situadas entre 10 a 20 cm acima do nível da superfície adjacente ao rio, indicando que uma grande região é inundada durante o nível alto das águas do rio.
- No trecho do rio abaixo do arrombado do Zé da Costa, o gradiente longitudinal torna-se bastante suave, cerca de 10 cm/km. Grandes áreas alagadas estão presentes nesta área, e devido às flutuações do rio Paraguai, combinado com pequenas diferenças topográficas, faz com que a área seja afetada por efeitos de contra corrente e barramento das águas do Taquari por este rio. O padrão anastomosado do sistema fluvial nesse trecho deve ser atribuído a esse efeito do rio Paraguai. A velocidade da água do rio registrada durante a expedição foi da ordem de 1 a 2 km/h. Em geral, nesse trecho, a profundidade observada foi de mais de 3 m. A quantidade de sedimentos suspensos foi gradualmente desaparecendo. Mais rio abaixo, diques marginais antigos do leito do rio Paraguai, assim como pequenas elevações são encontradas. Excluindo-se estas áreas levemente mais altas a região é propícia a grandes inundações.
- A vegetação está bem adaptada às diferenças de elevação ao longo do rio. A vegetação perenifólia na planície aluvial ativa, ao longo do rio, tem mais de 10 m de altura; localmente pode-se encontrar árvores com mais de 15 m. A vegetação natural decídua na superfície do leque aluvial é aberta e geralmente baixa, com cerca de 5 a 10 m. A maior porção do leque é usada para criação de gado e é dominada por pastagens. Perto do arrombado do Caronal, podem ser encontradas muitas áreas alagadas, apresentando árvores mortas nos diques fluviais baixos; em geral a vegetação aquática tem uma altura de 0.5 m acima da superfície da água e é composta por espécies de gramíneas e arbustos. Quando nos deslocamos mais rio abaixo, a vegetação das margens do rio é densa e consiste em aguapés e tipos de gramíneas e arbustos altos, tornando difícil determinar o limite das margens. Mais rio abaixo, as áreas alagadas estão cobertas por aguapés (camalotes).

## **Arrombados, inundações e sedimentação**

O leque aluvial do rio Taquari é especial devido as suas características naturais e tamanho. Com um raio de 250 km, este é incrivelmente grande e o seu gradiente de altitude é baixo, em média, 24 cm/km. O clima é úmido, com uma precipitação média anual entre 1100 e 1800 mm. Dezembro e janeiro são os meses mais úmidos com uma precipitação maior que 200 mm na maior parte da sua área, sendo que julho e agosto são os meses mais secos com uma precipitação média abaixo de 30 mm.

Existem três processos básicos que caracterizam os leques aluviais em geral e que são importantes mencionar aqui:

1. Rápida deposição de sedimentos nos lóbulos ativos do leque aluvial
2. Confinamento da calha do rio na porção superior do leque
3. Avulsões (arrombados), que é o rompimento repentino da margem do rio gerando uma nova ramificação que faz com que o rio mude completamente para um novo curso.

A área da Nhecolândia ao sul do atual leito do rio é onde os canais mais antigos do Taquari podem ser encontrados. Como resposta às mudanças climáticas durante o Holoceno (os últimos 10.000 anos), novos lóbulos do leque aluvial foram desenvolvidos em diferentes áreas do leque aluvial. A rápida deposição desses lobos ao norte do leque aluvial, resultou no desenvolvimento de um gradiente altitudinal crescente na direção oeste-extremo noroeste. Isso causou uma grande avulsão na porção superior do leque, próximo da região onde atualmente o Taquari se volta para oeste. Um trecho de canal abandonado que corre paralelamente ao rio Taquari alguns kms ao norte da área do Caronal, provavelmente pertence à antiga geração de canais. Alguns trechos extensos de canais abandonados com dois sub-lóbulos associados podem ser observados ao sul do canal atual do Taquari. Estes trechos de canais resultam de avulsões para o sudoeste próximo do ápice do lóbulo do leque aluvial.

Os arrombados atuais ocorrem em duas áreas. No meio do leque aluvial, perto do ápice do lóbulo ativo, o chamado "arrombado Caronal" está em crescimento. Imagens de satélite e fotos aéreas mostram que o caminho do arrombado é orientado por uma trecho de canais abandonados. Perto do ponto de arrombamento o relevo dos antigos diques marginais força o caminho do arrombado do Caronal para a direção oeste. Rio abaixo, as águas da inundação seguem a extensão de canais abandonados.

Na porção inferior do leque, o arrombado do Zé da Costa iniciou-se aproximadamente em 1988. Este arrombado está virtualmente completo agora, no sentido de que o canal antigo do Taquari, abaixo do ponto do arrombado está totalmente preenchido de areia. A calha do arrombado, contudo, está ainda rapidamente a desenvolver-se. Nessa região não existem diques marginais e o canal não está confinado. Portanto este novo trecho do Taquari forma uma grande rede de canais anastomosados numa extensa área inundada. Aqui, o desenvolvimento de um sub-lóbulo do leque aluvial está atualmente apenas começando e no futuro irá preencher um espaço existente entre os sub-lóbulos anteriores da porção inferior do leque aluvial.

Os fazendeiros observaram que o rio Taquari no Pantanal, está agora menos profundo que antes de 1974, portanto, atribuem o problema das inundações à sedimentação. Partindo-se desse princípio, a morfologia atual do rio é um aspecto importante para o padrão de descarga do rio. Na expedição de campo, foram feitas medições longitudinais da profundidade do rio, de Coxim até a porção inferior do leque aluvial. Foram feitas também, medições de profundidade perpendiculares ao eixo do rio em 26 locais da calha principal do Taquari e na área do arrombado do Caronal de forma a obter seções transversais representativas. O barco com o sonar foi capaz de captar as margens do rio com apenas um ou alguns metros de profundidade. Desta forma, para cada seção transversal foi feito um

esboço tanto na margem esquerda como direita acima do nível da água e estimadas as dimensões das margens.

A maior parte das secções transversais medidas na porção inferior do leque, para as quais já havia dados anteriores disponíveis, mostraram um aumento da largura do canal principal em aproximadamente 20 m nos últimos 10 anos. Isto confirma que existiu um alargamento. O efeito imediato do alargamento é a diminuição do nível da água, mas também a sedimentação localizada que aumenta gradualmente com o alargamento do rio.

Os arrombados atuais têm um impacto severo nas atividades econômicas da área. Grandes arrombados do passado que afetaram grandes áreas, como o arrombado Caronal faz atualmente, talvez tenham acontecido há muito tempo para serem lembrados pela população da região. No entanto, para as populações locais os recentes arrombados representam uma mudança repentina, inesperada e dramática no sistema de drenagem do rio. A reconstrução da história dos arrombados do Taquari, contudo, demonstra que os arrombados recentes fazem parte do padrão natural de mudança do canal do Taquari em seu leque aluvial e que tem determinado a evolução geomorfológica desta área durante milênios.

O transporte de sedimentos no rio pode ser dividido em carga de material do leito do rio (=carga do leito+carga suspensa) e carga lavada. A carga de leito consiste de areia de diferentes granulométricas e contribue para a sedimentação do leito do rio assim como nas áreas adjacentes (diques marginais naturais). Essa sedimentação produz os lóbulos que são elementos centrais na evolução do leque aluvial. A sedimentação acelerada pode conduzir a um aumento da probabilidade de ocorrer arrombados nas próximas décadas. A carga lavada consiste de materiais finos (silte ou possivelmente argila) e contribui para a sedimentação em toda a área em locais onde existe baixa corrente ou águas estagnadas, que ocorrem durante e depois de inundações.

A sedimentação relacionada com a carga de material do leito manifesta-se nas modificações morfológicas verticais e horizontais do rio. A sedimentação relacionada com a carga lavada manifesta-se em todo o Pantanal onde há influência da inundação pelo rio. A sedimentação tem sido acelerada consideravelmente depois de 1970. Este fato poderá ter um importante efeito no ecossistema.

Se os níveis da água do rio Paraguai estão aumentando, então estes aumentam os níveis da água do rio Taquari e áreas adjacentes através do efeito de barramento. Provavelmente o nível da água no rio Paraguai na confluência com o rio Taquari aumentou de 1 a 6 m comparados com a situação hidrológica de 1974.

Os problemas de inundação e sedimentação podem ser explicados através de maiores descargas do Taquari, maiores níveis de água no Paraguai, alargamento do rio e o desenvolvimento do arrombado do Caronal. É necessário ter em mente que os problemas de sedimentação não podem somente serem atribuídos às mudanças no uso do solo do Planalto. Como consequência, uma barragem em Coxim poderia não ser uma solução efetiva.

Considerando as possíveis causas dos problemas de inundação e sedimentação, apenas as medidas mitigadoras que afetam o processo de avulsão e a conseqüente evolução do canal parecem praticáveis. Para isto, é recomendado estudar os processos nas bifurcações em maior detalhe.

As conclusões principais são:

1. Existem indicações de um aumento recente na sedimentação fora da calha do rio no leque aluvial do Taquari. Se este aumento da sedimentação é causado por atividade humanas na alta bacia do Taquari, isso ainda não está muito claro. O aumento da sedimentação na planície aluvial não tem provavelmente uma contribuição significativa para os arrombados atuais;
2. Devido à existência de caminhos de escoamento alternativos que são energeticamente mais favoráveis que o presente canal do Taquari, a água dos arrombados recentes pode muito dificilmente ser redirecionada. Intervenções locais tais como fechamento da entrada do canal do arrombado não são sustentáveis, devido às condições críticas existentes não somente no ponto de arrombamento mas que se estendem também ao longo do canal por uma distância considerável rio acima e rio abaixo a partir desse ponto. O comportamento do rio de fazer migrações laterais rápidas do canal e a subsuperfície arenosa (que facilita a erosão e a infiltração de água subterrânea) complicará intervenções técnicas posteriores, especialmente na área do Caronal;
3. Intervenções na parte alta da bacia (planalto) irão prevenir mais efetivamente inundações excessivas no leque aluvial do Taquari. É esperado, no entanto, que reservatórios de água para a retenção de inundações serão rapidamente preenchidos por sedimentos, dado a alta produção de sedimento no planalto. Infiltração através dos arenitos permeáveis que ficam por baixo dos reservatórios de água poder ser outro problema.
4. Apesar de às vezes serem vistos como uma ameaça para o ecossistema do Pantanal, os efeitos a longo-prazo dos arrombados, são provavelmente favoráveis para essa área uma vez que a mesma é considerada como um Sítio de Patrimônio Mundial Natural (World Natural Heritage Site). Os recorrentes arrombados rejuvenescem a vegetação, criam paisagens diversificadas e deste modo contribuem para a biodiversidade.

### Localização, causas e cronologia dos arrombados recentes

Aparentemente a maior parte dos problemas de inundação e sedimentação nesta área resultam dos arrombados recentes. Nos sistemas naturais, a sedimentação no leito e nas margens do rio é muito mais rápida do que em áreas mais afastadas do canal ou da planície aluvial. Como resultado, o canal principal eleva-se gradualmente formando uma crista aluvial acima da planície aluvial. Depois de um longo período de sedimentação o desnível entre o canal principal e a planície aluvial, torna-se maior que o desnível ao longo do canal principal. Neste estágio, o rio torna-se sujeito a arrombamentos: isto é, o mesmo encontra-se perto do limiar do processo de arrombamento e o rio facilmente desencadeia a quebra do dique marginal. A preparação do rio e da planície aluvial para o arrombamento é um processo geológico lento comparado à perspectiva humana. Apesar do rio apresentar uma aparente estabilidade durante este processo, na verdade este se encontra gradualmente em movimento para uma situação crítica. Quando as condições críticas são atingidas, uma inundação extrema ou uma obstrução temporária pode desencadear o arrombado.

No caso dos arrombados Zé da Costa e Caronal, o desenvolvimento das condições críticas pode ser explicado através de processos naturais do leque aluvial. O arrombado Zé da Costa ocorreu num local esperado: no lado externo de uma curva aguda do rio onde o poder erosivo da corrente é maior. O caminho deste arrombado cruza inúmeros canais abandonados e não parece estar relacionado com a topografia anterior. Altos níveis de inundação na planície aluvionar do rio Paraguai causam o efeito de barramento das águas do rio Taquari no baixo curso, especialmente quando as inundações de ambos os rios coincidem. Este fato normalmente não é a causa, mas pode ocorrer e contribuir para um desenvolvimento do arrombado. Quando os efeitos de barramento das águas causam extensas inundações na área inferior do leque aluvial, gradientes locais da água e conseqüentemente o fluxo de água torna-se mais ou menos desconectado da topografia da planície aluvionar local. Desde os primeiros anos da década de 70, os níveis médios anuais de inundação do rio Paraguai têm subido mais de 3 m, em relação aos níveis médios de inundação. Tendo sido iniciado em 1988, desde então, o efeito de barramento das águas do rio Taquari pode ter contribuindo fortemente para o desenvolvimento relativamente rápido do arrombado Zé da Costa.

O “estopim” que causou o arrombado Caronal parece ter sido diferente e foi como que desencadeado por inundações extremas vindas da alta bacia do Taquari, no planalto. A direção de fluxo do arrombado Caronal é fortemente influenciada pela topografia existente; encontrando-se assim paralelo a canais abandonados, reativando-os. Níveis mais altos de inundação do Taquari desde o começo da década de 70, parecem ter a sua causa na mudança de clima e/ou mudança da cobertura da vegetação do Planalto. O aumento dos picos de cheia não pode ser comportado pelo presente leito do Taquari. O arrombamento aconteceu então no primeiro local mais provável, abaixo do ponto onde a planície aluvionar se alarga na área do ápice do presente lóbulo ativo do leque aluvial.

O forte incremento na sedimentação desde os anos 1970 foi relatado. Durante a expedição de campo, foram observadas camadas de areia com mais de 80 cm de espessura no topo dos diques de argila na porção superior do leque aluvial do Taquari e no ápice do presente lóbulo ativo, acima do arrombado Caronal. O aumento da carga de sedimento a partir da alta bacia não implica necessariamente um aumento na sedimentação do canal, uma vez que a maior parte da carga do leito do Taquari consiste de areia fina que pode ser facilmente transportada em suspensão com o aumento do pico de descarga, enquanto a capacidade máxima de transporte de sedimento não é alcançada. Um aumento no transporte de sedimento não significa automaticamente um aumento na sedimentação do canal que pudesse provocar inundações por transbordamento sobre as margens e arrombados. Relações causa-efeito entre produção de sedimentos na bacia de captação, o transporte de sedimento sob regimes de descargas variáveis e sedimentação no leque aluvial, são demasiado complexos para assumir a relação direta entre os recentes arrombados e as atividades humanas que causam erosão na bacia de captação. Com respeito ao arrombado Caronal, a cronologia (começo por volta de 1979) indica que já tinham sido atingidas as condições críticas antes do auge do desenvolvimento no Planalto na década de 70, porque isto requer uma sedimentação substancial. Mesmo com a rápida sedimentação, muito mais tempo seria necessário do que apenas alguns anos entre 1970 e 1979. Parece que o aumento do pico de descargas desde o começo da década de 70, desencadeou diretamente os arrombados, em função das condições favoráveis na planície aluvionar já existentes, que se desenvolveram nos séculos anteriores. O aumento de sedimento é um peso extra para o sistema.

## O Modelo Digital de Elevação de Terreno

A característica principal do Pantanal é que este é uma extensa área, plana e com grandes regiões permanentemente ou frequentemente inundadas. Desta forma, elaborar um Modelo Digital de Elevação do Terreno (MDET) é uma tarefa complexa. Contudo o mesmo é a base para a compreensão dos fluxos dos rios e para a interpretação dos processos da savana e as conseqüências das inundações. Para cobrir toda a área, é preciso um mosaico composto de diversas imagens individuais. Dado o tempo necessário para a re-visita dos satélites de resolução moderada e ocorrências de nuvens, um mosaico só pode ser construído a partir imagens adquiridas sobre um período longo de tempo. Portanto, os fenômenos de inundação retratados nas imagens individuais diferem fortemente.

O Modelo Digital de Elevação de Terreno foi desenvolvido na sua primeira etapa em laboratório com ajuda de imagens de Radar, imagens Landsat, mapas topográficos e ferramentas de SIG (Sistemas de Informação Geográfica). No entanto, como o erro de altitude em imagens de satélite é maior que as diferenças do terreno no campo, foi necessário de melhorar a exatidão do MDET tirando medições no campo. Isto foi combinado com inúmeras atividades, tais como amostragem de solo e medições do perfil do rio.

No Pantanal o rio Taquari atravessa três unidades principais distintas de paisagem e as áreas de arrombados ocorrem em zonas graduais de transição entre estas unidades principais de paisagem: o arrombado Caronal é encontrado no trecho entre a zona superior e a zona intermédia e o arrombado Zé da Costa marca a transição entre a zona intermédia e a zona baixa.

### O modelo Digital de elevação de terreno e a expedição de campo

Os principais dados de elevação foram adquiridos através do GTOPO30 (30 arco-segundo MDET, cerca de 1 km resolução espacial) e da Missão Topográfica por Radar Shuttle (SRTM) de Fevereiro 2000. A resolução espacial disponível é de 90 m (3-arc-segundos no equador ou 90m). Outros dados coletados foram imagens SAC-C de datas diferentes com uma resolução espacial de 180 m, um mosaico de imagens Landsat 7 ETM+, de 30 metros de resolução, representando as condições da estação seca e dados de SIG tal como mapas topográficos, fotografias e observações de campo.

De 28 de março até 9 abril de 2004 uma campanha de campo para coletar informações adicionais foi levada a cabo. Os seguintes dados foram coletados:

1. Informação de eco-batimetria e coordenadas por GPS ao longo do rio, na secção inteira desde Coxim até Corumbá, profundidade da água, informação de altitude e localização, perfil longitudinal com 1 ponto a cada 10 segundos (aproximadamente 1 ponto por 80 metros), cobrindo as mudanças principais de configuração do leito do rio e secções transversais com 1 ponto a cada 2 segundos (aproximadamente 1 ponto por 2.5 metros).

2. As medidas de DGPS foram: seis pontos ao longo do Taquari, dois ao longo do Paraguai Mirin, um ponto no porto de Corumbá, duas observações em pontos geodésicos na Universidade de Corumbá, um da autoridade de aviação e um do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Em cada ponto foi executada entre 1½ a 2 horas de gravação contínua. Os dados foram convertidos para o formato RINEX, para processamento posterior em SOPAC-SCOUT. Também um ponto geodésico foi medido no ITC para controle de qualidade.

3. Foram coletadas amostras de sedimento no leito do rio usando amostrador de sedimento ao longo de secções transversais, medidas as velocidades de corrente e observações visuais durante toda a duração da viagem de barco (7 dias).

Todos os dados coletados pelo eco-batímetro (sounder), (D)GPS foram adquiridos e pre-processados com êxito e exportados como arquivos do Arcview. As medidas necessitaram ainda de ser corrigidas para a profundidade real do eco-sonda (+ 30cm) e para a altura real do (D)GPS (- 60cm).

## **Água do subsolo**

O subsolo do Taquari consiste de material que pode armazenar e transportar água. Portanto é importante entender o sistema hidrológico regional e o comportamento das águas subterrâneas. O atual conhecimento Geo-hidrológico tal como condutividade hidráulica, presença de aquíferos e “aquitarts” e espessura das camadas é muito deficiente. O estudo de PCBAP contém alguma informação sobre medições chave para o entendimento do sistema.

Um modelo hidrológico foi construído, abrangendo o Alto Taquari, toda a porção baixa do leque aluvial e a área entre eles. Isto foi feito usando o modelo hidrológico SIMGRO (Simulação do fluxo das águas subterrâneas e níveis de água de superfície) que simula o fluxo regional das águas subterrâneas em relação à drenagem, abastecimento de água, irrigação subsuperficial e de superfície e controle do nível de água. O modelo simula o fluxo de água na zona saturada, a zona insaturada e a água de superfície, de forma integrada. A área modelada que foi escolhida é maior que a bacia de drenagem, uma vez que não existe uma definição nítida da bacia do rio de Taquari. Na porção baixa do Taquari (a região do leque aluvial no Pantanal) há muitos arrombados e canais antigos do rio. O sistema de drenagem é um labirinto de canais. Também a falta de conhecimento sobre as águas subterrâneas aconselha-nos a expandir a área modelo. Embora a intersecção entre a bacia do alto Taquari (BAT) e o Pantanal é considerada muito estreita, não significa que as águas subterrâneas estão confinadas nos mesmos limites que o sistema de drenagem das águas superficiais.

Por meio do modelo os efeitos de aumento de chuva e uso da terra foram calculados. A conclusão é que o aumento da precipitação tem grandes efeitos na hidrologia do Pantanal. Os mapas da área inundada mostram que o aumento da chuva resulta num aumento da área total inundada. No entanto, o aumento é significativamente maior na área inundada comparada à quantidade de precipitação. Em simulações de cenário de seca, a área inundada média é cerca de 7,000 km<sup>2</sup>, enquanto que para o cenário úmido este valor aumenta para 26,000 km<sup>2</sup>. Portanto, um aumento da precipitação de 1,131 mm para 1,545 mm (37%) resulta num aumento de descarga em Coxim de 130% e um aumento na área inundada de 270%.

Uma análise de sensibilidade foi executada para condutividade hidráulica do solo, relação entre nível da água do rio e descarga e resistência de drenagem. Foram feitas comparações para descargas em Coxim que, primeiramente, mostraram pequenas diferenças em relação às mudanças feitas nos parâmetros. As estimativas das descargas em Coxim foram satisfatórias; a descarga mensal média desviou-se 14% da média e as séries tiveram uma sobrestimação de 11%. Em Porto Rolon e São Francisco a semelhança entre descarga calculada medida é ainda menor, as subestimações da descarga total são 18% e 26% respectivamente e a variância sazonal mostra também alguns desvios.

### **A modelagem hidrológica com SIMGRO**

No modelo SIMGRO, a zona insaturada é modelada em modelos unidimensionais (1-D) ou colunas. Cada tipo de uso da terra, dentro de qualquer subdomínio nodal, é modelado separadamente. A coluna 1-D do modelo consiste em dois reservatórios, um para a zona de raiz e um para o subsolo. Se o equilíbrio no armazenamento de umidade para a zona de raiz é excedido, a água em excesso percolará para a zona saturada. Se o armazenamento de umidade é menor do que o equilíbrio do armazenamento de umidade, o fluxo ascendente desde a zona saturada é simulado pelo aumento da capilaridade. A altura da superfície do lençol freático é calculada a partir do balanço de água do subsolo, usando um coeficiente de armazenamento que é dependente da profundidade do lençol freático. Processos especiais são incluídos no modelo da zona insaturada, tais como escoamento de superfície e "hysteresis".

A Evapotranspiração é determinada através da vegetação cultivada e da umidade existente na zona de raiz. Para estes cálculos, valores existentes de precipitação e evapotranspiração potencial de uma dada vegetação de referência devem estar disponíveis. A evapotranspiração potencial para outros tipos de vegetação cultivada ou nativa é derivada dos valores da vegetação cultivada de referência, por meio de um factor de multiplicação, especificado para cada tipo de vegetação cultivada e dia do ano.

Os dados de entrada para um determinado período são dados meteorológicos de uso do solo e condições iniciais. O Simgro oferece a possibilidade de trabalhar com diferentes estações meteorológicas. Por meio do método de Thiessen a estação mais próxima é atribuída para cada nó. Este processo é executado automaticamente com o programa AlterraAqua que pode trabalhar com estações situadas até 15 km para fora da área modelo. Em cada período, todas as estações com séries completas (2 anos) de medições foram usadas.

## O fluxo do rio

Para desenvolver o entendimento sobre os fluxos de um rio é necessário saber como os fluxos desse rio se desenvolvem no espaço e no tempo. Condições hidráulicas e hidrológicas foram combinadas num modelo unidimensional e bidimensional. O objetivo era entender melhor o processo hidrodinâmico na bacia do rio Taquari no Pantanal e fornecer uma resposta as seguintes perguntas:

- Em que direção a água escoar?
- Quais áreas são inundadas e durante quanto tempo ficam inundadas?
- Quais são as profundidades da água nas áreas inundadas?

Séries históricas de cenários são exigidas como séries alternativas de entrada para o modelo SOBEK. SOBEK é um modelo hidráulico desenvolvido por "Delft Hydraulics". Para o Taquari, o modelo foi calibrado com a série real de dados do ano hidrológico 1999 - 2000. Para as simulações alternativas do modelo, as seguintes séries alternativas são exigidas:

- ano 90% seco
- ano médio
- ano 90% úmido

O ano hidrológico de 1999-2000 apresenta claramente a influência de condições relativamente úmidas na bacia do Taquari na segunda metade do ano. Os níveis da água em Porto Esperança na segunda metade do ano, excederam as condições médias, ao passo que em Amolar as vazões permanecem sob as condições médias.

O Modelo Digital de Elevação do Terreno da missão SRTM 2000, foram demasiadamente detalhados para o modelo SOBEK, resultando num tempo de simulação muito demorado. Assim, usando a elevação média para cada cem células da grade, criou-se uma grade mais grosseira com uma resolução de 900 x 900 m. Isso significa que a informação detalhada que foi usada nas outras partes da análise, não foi usada no modelo SOBEK.

Para a calibração dos dados do modelo SOBEK, foi usado o ano de hidrológico 2000 (01-10-1999 até 30-09-2000). SOBEK pode ser calibrado usando muitos parâmetros diferentes. Para a calibração do modelo é comum usar parâmetros os quais são os mais incertos. Neste caso é difícil de dizer quais parâmetros que são mais incertos. Os parâmetros de aspereza hidráulica e a capacidade de infiltração foram escolhidos baseados em experiências com modelos prévios.

Foram criados três cenários para fazer três simulações alternativas com o modelo SOBEK. Estas simulações alternativas dão uma idéia sobre os extremos observados numa base de dados histórica, encontrados no sistema natural. Os cenários são (1) um ano 90% seco, (2) um ano médio e (3) um ano 90% úmido.

Os resultados do processamento de dados hidro-meteorológicos sugerem que anos recentes estão substancialmente mais úmidos que os anos 70. O presente modelo propicia um entendimento das variações extremas que ocorrem no sistema natural. Este entendimento foi obtido computando-se um cenário para um ano úmido, um cenário para um ano intermediário e um cenário para um ano seco, derivados de uma base de dados histórica.

## O impacto de diferentes cenários na vegetação e na fauna

Novas formas de desenvolvimento podem ocorrer em detrimento ou a favor da natureza e da pecuária. Os planejadores perguntam-se quais são as conseqüências de possíveis cenários para a natureza ou que tipo de sistema se desenvolverá. Para a tomada de decisões é importante saber qual dos diferentes cenários é mais favorável para natureza ou pecuária. A análise e avaliação espacial (geográfica) são preferíveis porque fornecem mais informação. Os modelos que podem ser usados são chamados Sistemas de Suporte a Decisão (SSD). Estes modelos ajudam os planejadores e tomadores de decisão a fazerem escolhas num arranjo espacial de acordo com as respectivas medidas.

O uso de um SSD facilita a avaliação e análise de diferentes medidas e alvos de planejamento. O propósito do modelo LEDESS-Pantanal é o de criar cenários espaciais dinâmicos de ecótopos da área do Pantanal-Taquari. O modelo foi usado para avaliar efeitos ecológicos de variações no regime de inundação dentro do Pantanal e mudanças de uso da terra no leque aluvial do Taquari. Estes cenários espaciais são baseados em mudanças no regime de inundação, em fatores econômicos determinantes e argumentos políticos, assim como considerações de conservação da natureza. A tipologia para os ecótopos do Pantanal é baseada em:

- Os processos básicos do rio que determinam o sistema do Pantanal;
- O uso da terra e práticas de manejo.

Para executar os cálculos, uma tipologia para ecótopos e espécies envolvidas foi definida e foi combinada com dados e regras de cálculo. Estes dados e fontes de conhecimento estão relacionados em esquemas para cálculo de um cenário. Os ecótopos são baseados na morfodinâmica, hidrodinâmica e dinâmica da vegetação. As espécies foram selecionadas entre domesticadas (gado) e as naturais. Isto tornou possível o cálculo de cenários diferentes baseados nos mapas de ecótopos da área do Taquari no Pantanal, para espécies naturais e domesticadas ou para conservação da natureza e para a pecuária.

De 1979 a 1983, a quantidade de peixe capturado na bacia do rio Taquari, variou de 300-620 toneladas por ano, respectivamente. Desde 1994 a pesca foi menor que 100 toneladas por ano sendo aproximadamente 5-6% das capturas em todo o Pantanal do Mato Grosso do Sul, embora esta seja uma das maiores bacias. Esses dados são um importante indicador de que o tamanho do estoque decresceu e está abaixo da média.

Devido à sedimentação e inundação permanente, não há mais o pulso de inundação na bacia do rio Taquari no Pantanal. Para o desenvolvimento de um cenário, um horizonte de tempo de mais ou menos 50 anos foi usado. Em algumas décadas, mudanças importantes na área de estudo podem ocorrer. Os cenários que foram formulados com LEDESS e LARCH, consideraram desenvolvimentos independentes na bacia do rio Taquari, tais como a variabilidade do clima, a evolução geológica do leque aluvial, a sedimentação, assim como as alternativas propostas no primeiro workshop para os afetados e interessados no problema. Nesse primeiro workshop, na EMBRAPA em Corumbá, todo o tipo de alternativas ou soluções foram propostas, que têm todo o potencial para resolver os problemas de inundação. Estes foram:

- Dragagem do Taquari
- Fechamento do arrombado Caronal
- Prevenir novos arrombados
- Ajudar o rio a criar um novo canal desde o Caronal até o rio Paraguai a oeste
- Construção de diques marginais
- Construção de uma represa
- Prevenção de erosão reflorestando ao longo dos rios no planalto
- Prevenção de erosão através da capacitação de pessoal em controle de erosão e manejo do rio
- "Não fazer nada", mas comprar as terras inundadas e fazer um parque nacional.

Estas possíveis soluções para o problema têm sido todas analisadas tomando em conta os resultados do estudo e usando os cenários como parte das ferramentas para estimar e calcular os impactos ou custos e benefícios.

Os cenários básicos que foram formulados são:

**Situação atual:** A situação média da área da planície aluvionar do Taquari atualmente baseada no MDET e a cobertura do solo na interpretação de imagens Landsat de 1998 de áreas inundadas. É um quadro deste momento que pode mudar devido à sedimentação, mudanças na descarga e impacto do Homem.

**Cenário úmido:** Este reflete a situação quando mais descarga (20%) entra na área resultando em períodos mais longos de inundação. Este cenário também pode ser usado para interpretar de que forma, em áreas menores, o resultado de medidas locais no rio irá ocorrer causando mais inundação. Este cenário é baseado no MDET e na cobertura do solo das imagens Landsat de 1998 com a máxima inundação. Este também reflete a situação de maior sedimentação no cone do leque aluvial do Taquari causando maior inundação.

**Cenário de seca:** Este cenário reflete a situação em que uma menor quantidade de água entra na área de estudo. Este cenário pode ser ainda usado para interpretar como medidas locais no rio poderão resultar em áreas com menores inundações. No “cenário de seca”, o efeito de menor inundação pode ser olhado numa localização específica onde se espera estas circunstâncias relativamente mais secas, tal como o período seco dos anos 70.

**O fechamento do arrombado Caronal:** Esta situação foi construída especialmente para uma das medidas que poderá ser tomada para influenciar o padrão de inundação do rio Taquari, a qual foi proposta pelos interessados. Com LEDESS os efeitos na distribuição de ecótopos são avaliados.

Em Março de 2004 na reunião em Corumbá, especialistas de espécies da fauna do Pantanal, elaboraram as características espaciais necessárias destas espécies e fizeram estimativas baseadas na capacidade de suporte dos ecótopos para espécies tanto terrestres como aquáticas. Os resultados desta reunião foram processados e elaborados perfis para grupos de espécies (peixe) e espécies selecionadas (terrestres). As espécies terrestres foram posteriormente analisadas e foi elaborado a disponibilidade dos diferentes habitats para as espécies. Infelizmente esta forma ainda não foi possível para as espécies de peixes, uma vez que as características de habitat ainda não puderam ser explicitadas espacialmente. As características dos habitats de peixes e das imagens espaciais ainda não combinam.

Os dados que têm sido produzidos estão disponíveis na EMBRAPA-Pantanal e Alterra. Os resultados estão sintetizados como disponibilidade de ecótopos e capacidade de dispersão. Um certo número de espécies foram posteriormente usados na modelagem. Uma grande variedade de grupos de ecótopos é usada pelas espécies e a paisagem é utilizada em vários níveis de escala (variação na capacidade de dispersão).

### Classificação de Ecótopos

O limite geográfico do mapa de ecótopos é a planície aluvionar do rio Taquari. Baseado nos princípios abaixo, os ecótopos são classificados em três características gerais, influenciando fisiótopos, vegetação e a fauna:

1. **O Morfodinamismo:** forças mecânicas exercidas pela água e sedimento (erosão, transporte e depósito de sedimento, fluxo de água e oscilação); para modelar este morfodinamismo para o Pantanal novos dados geomorfológicos tiveram que ser desenvolvidos.
2. **O Hidrodinamismo:** efeitos químicos e fisiológicos da água (duração, profundidade e tempo de inundação, assim como o tipo da água); No LEDESS-Pantanal a duração do modelo foi especificada pelo uso de dados de satélite e o uso de modelos de hidrológicos. O tipo de água (chuva, inundações ou águas subterrâneas) foi modelado e combinado a partir de vários modelos e fontes de dados.
3. **Uso da terra/dinâmica da vegetação:** Efeitos provocados principalmente por intervenção humana ex. mudança intencional da paisagem e manejo de pastoreio ou mau manejo das pastagens com o uso intenso. Além disso, o desenvolvimento da vegetação pioneira para floresta ou savana depois de um rejuvenescimento natural da vegetação, faz parte deste factor. Para o Pantanal, os dados de satélite foram combinados com conhecimento especializado e mapas existentes de vegetação para modelar a vegetação atual, assim como a mudança de tipo de vegetação sob condições de um determinado cenário.

### O conceito de pulso de inundação

As águas correntes dos rios são muito mais que meros corredores longitudinais e a ecologia moderna as reconhece como sistemas complexos. A ciência da ecologia de rios alcançou um estágio tal que as explicações acerca de padrões contam com elos numa variedade de escalas temporais espaciais, ambos dentro do rio e entre o rio e sua paisagem. Os elos operam em três dimensões espaciais:

1. Elos longitudinais ao longo do comprimento do sistema de drenagem do rio, tal como as barreiras de migração rio abaixo da teoria do “river continuum”
2. Elos laterais com o sistema terrestre adjacente, tal como o conceito de pulso de inundação
3. Elos verticais com o leito do rio e através do leito do rio

A hipótese desenvolvida nos rios subtropicais e tropicais naturais do Brasil para as populações de peixes, é o conceito de pulso de inundação. O Conceito de Pulso de Inundação foi desenvolvido parcialmente no Pantanal (rio Cuiabá) e afirma que o pulsar da descarga do rio que estende do rio para a planície aluvionar é a força principal que controla a biota nos rios com planícies de inundação. O pulso de inundação controla a biota de três formas:

- (1) Diretamente facilitando a migração de animais,
- (2) Indiretamente aumentando a produção primária na planície de inundação
- (3) Estruturação de habitats.

As planícies de inundação propiciam fatores importantes que controlam processos ecológicos no ecossistema fluvial. Durante as inundações a biota migra ativamente e passivamente entre diferentes habitats no sistema da planície de inundação do rio, onde se alimentam e procriam. Os intercâmbios laterais entre o canal principal e a planície de inundação, e a reciclagem de nutriente dentro da planície de inundação têm impacto mais direto na biota do que os processos descritos no Conceito de “River Continuum”. Os peixes movem-se ao longo do corredor do rio com diferentes velocidades e com diferentes etapas e tentam alcançar seu habitat ótimo como os pássaros fazem durante a estação de migração. A forte interação entre o rio e os ecossistemas ripários no seu ecótono, propicia um enorme intercâmbio de energia, matéria e nutrientes. Desta forma, a rede de rios como corredores, mantém o intercâmbio genético entre as populações em paisagens naturais e impactadas.

## Tipologia de peixes

### Peixes migradores longitudinais, piscívoros

Espécie chave: Pintado

Grupo: Cachara, Dourado, Jau, Barbado, Jurupoca, Jurupensen.

Alimentam-se de peixes e migram entre o planalto e as planícies de inundação. Na estação seca os peixes adultos migram para os rios no planalto para reproduzir. Quando a água carrega os ovos, larvas e adultos fluem para outras áreas rio abaixo. Lá eles forrageiam em cada corpo de água que está ligado ao rio. A água pode ser pouco profunda. Se o nível da água diminui depois da estação úmida eles voltam ao rio e nadam contra a corrente rio acima até ao planalto. Deste ponto de vista, podemos concluir a necessidade de conexão entre habitats inundados e o canal do rio.

### Peixes migradores longitudinais, onívoros

Espécie chave: Pacu, *Piaractus mesopotamicus*

Grupo: Pitaputanga

Este grupo também migra rio acima até o planalto para reprodução e rio abaixo até a planície de inundação para se alimentar. Na planície de inundação eles alimentam-se de animais (principalmente), frutas, sementes, flores e insetos da vegetação riparia, vegetação pioneira e vegetação do Cerrado. Por causa da inundação permanente, algumas destas florestas morreram, resultando em perda de habitat de alimentação.

### Peixe migradores longitudinais, detritívoros

Espécie chave: Curimatá, *Prochilodus lineatus*

Grupo: *Potamorhina squamoralevis*

Este grupo de migração longitudinal, alimenta-se de detritos (material orgânico decomposto), perifiton e perizoo vindo da vegetação terrestre inundada temporariamente. O habitat ideal é onde o fluxo de água é lento na vegetação inundada das áreas rasas (profundidade de água <1 m). Devido as suas características de migração seu habitat de alimentação tem que ser ligado ao rio.

### Peixes procriadores da planície de inundação, piscívoros

Espécie chave: Piranha, *Pygocentrus nattereri*

Grupo: Dourado cachorro, Traira, *Serrasalmus marginatus*, *Serrasalmus spilopleura*, *Pygocentrus nattereri*, *Roeboides paranensis*, *Roeboides prognathus*, *Charax gibbosus*, *Acestrorhynchus pantaneiro*, *Hoplias malabaricus*

Estes peixes colocam os seus ovos e larvas na planície aluvionar. Na estação seca eles permanecem em lagos e algum deles vai para o canal principal do rio. Eles se alimentam em águas lentas ou paradas que estão conectadas ao rio.

### Peixes procriadores da planície de inundação, detritívoros

Espécie chave: Sairu, família Curimatidae

Grupo: *Curimatopsis myersi*, *Curimatella dorsalis*, *Psectrogaster curviventris*, *Cyphocharox gillii*

O grupo dos Sairu alimenta-se de detritos e tem como habitat ótimo os lagos conectados, lagos de meandros abandonados de rios (oxbow lakes), corixos e áreas inundadas de Savana Gramineolenhosa e vegetação pioneira.

*Pantanal-Taquari: tools for a decision support system*

A distribuição dos ecótopos e a sua abundância muda consideravelmente entre os diferentes cenários. No cenário úmido as áreas permanentemente inundadas aumentam consideravelmente como faz a área de vegetação pioneira. Em geral áreas florestadas diminuem e são substituídas por áreas inundadas e vegetação pioneira. Na situação que a planície de inundação torna-se mais seca, os tipos de ecótopos relacionados com cerrado tais como a floresta do cerrado e a savana florestada aumentarão.

A coesão de habitat das espécies na situação atual é calculada com o modelo LARCH-SCAN. A coesão resultante é calculada com base na quantidade de habitat apropriado num determinado local, em combinação com a área adjacente. O habitat que se encontra dentro da distância de dispersão das espécies avaliadas é levado em consideração. Também o grau de isolamento das populações pode ser derivado desta análise.

Para espécies que estão confinadas a habitats mais úmidos, como o cervo do pantanal, três áreas principais são identificadas onde populações relativamente vigorosas ocorrem. Habitats com essas áreas núcleo, são muito melhor conectadas para espécies tais como a onça do que para espécies tais como o cervo do pantanal, devido a sua maior capacidade de dispersão. As mudanças no regime de inundação podem resultar numa melhor ou pior coesão destas áreas.

Para espécies que estão mais confinadas a habitats mais secos ou partes abertas no leque do Taquari como a ema e o veado dos pampas, o habitat é coerente. A parte norte do rio Taquari parece melhor apropriada que a parte sul. A área úmida ao longo deste rio pode agir como uma barreira entre as áreas dos habitats mais ao norte e ao sul. Por outro lado, em áreas relativamente secas entre as ramificações do baixo Taquari, as populações das espécies de ema e o veado dos pampas estão relativamente isoladas.

O centro de gravidade das populações de espécies como o veado-mateiro e o queixada, com um habitat mais florestado em partes secas da zona úmida, está situado principalmente a sul do rio Taquari. O habitat do queixada é mais coerente que o do veado-mateiro, devido à maior capacidade de dispersão do queixada (respectivamente. 25 km e 10 km).

Os métodos que foram usados combinam o conhecimento regional de campo de pesquisadores especialistas nas espécies e métodos de modelagem ecológica de paisagem. Os resultados como a distribuição e abundância de espécies apresentadas nos mapas de ecótopos foram verificados por vários peritos de campo e aparenta fornecer uma imagem muito próxima da realidade do Taquari. Esta informação da área não estava disponível em tal detalhe até agora. Os resultados fornecem uma boa base para mais exploração da situação na área do Taquari e os processos da paisagem nesta área assim como sua expansão potencial para todo o Pantanal.

A modelagem de ecótopos e a coerência ecológica foram calibrados e validados para a área de Taquari. Um pequeno número de cenários foi avaliado para analisar os efeitos das mudanças no uso da terra nas espécies. Com esta experiência e os modelos configurados, é possível desenvolver e avaliar futuros cenários para esta área. O modelo configurado pode ser usado como um ponto de partida para a avaliação de outras partes ou de todo o Pantanal.

Para as espécies aquáticas foi construído um conjunto de ecoperfis (perfis ecológicos). No entanto, para estas espécies há menos informação disponível sobre as características de habitat, abundância e história da vida. Para fazer uma análise espacial dos habitats apropriados para espécies aquáticas, mais dados e dados diferentes são necessários que os disponíveis atualmente. Seria então possível desenvolver mapas de ecótopos mais detalhados do ambiente aquático, adequados para os requisitos de habitat das espécies aquáticas de interesse. É recomendado um estudo piloto em habitat aquático, processos e espécies ao nível de estudo de caso.

Conclusões na avaliação da viabilidade de espécie:

- O efeito de alguns cenários extremos foi avaliado. Com o resultado destas avaliações, foi estimado o efeito de todo tipo de medidas na presença e coesão de habitat e seu efeito na viabilidade das espécies. Não foi avaliado o efeito de medidas para a mitigação de inundações indesejáveis na distribuição de espécies individuais.
- Baseado nos resultados da análise de cenários os efeitos que podem ser esperados de medidas plausíveis, podem ser avaliados posteriormente.
- O efeito total dos cenários extremos, úmido e de seca na capacidade de suporte da área do Taquari não é muito grande para a maioria das espécies; algumas partes da área de estudo tornaram-se inaptas, ao passo que outras partes da área tornaram-se mais apropriadas. Apenas para espécies ligadas explicitamente com habitat úmidos ou secos o efeito é maior.

## Interessados e a tomada de decisões

Para tomar decisões é importante a presença dos interessados. Estes foram envolvidos em todas as fases do projeto. Na primeira reunião, o problema do Taquari foi discutido com todos os interessados, autoridades locais e regionais, fazendeiros, ONGs (Organizações Não Governamentais) e pesquisadores. Isso levou à definição do problema. Em fases posteriores as discussões com os interessados e autoridades envolvidas foram mantidas através de contacto direto (Programa Pantanal, Agência Nacional de Águas, Secretaria de Recursos Hídricos) e reuniões com os interessados. Foi organizada uma reunião com indivíduos portadores de conhecimento das espécies da fauna da região para participação na construção de cenários.

Na primeira reunião os conhecimentos existentes no Brasil e na Holanda foram comparados e combinados; os problemas e as possíveis soluções foram discutidos. Já nesta reunião o desaparecimento do pulso de inundação na bacia de Taquari foi apontado como um importante mecanismo e foi um dos focos da discussão. O declínio do estoque de peixes com os dados comparados para os períodos 1979 até 1983 e 1994-1999 mostrou uma diferença óbvia. No primeiro período os peixes eram abundantes, mas atualmente estão reduzidos, especialmente no rio Taquari. A causa desta redução pode ser encontrada na quebra do pulso de inundação e no grande conteúdo de material em suspensão. As inundações regulares do Pantanal, que provêm das águas dos rios trazem um influxo de material orgânico que é alimento para muitas espécies de peixes na base da cadeia alimentar. O tratamento estatístico mostra-nos que especialmente os peixes na base da cadeia alimentar tornaram-se grandemente reduzidos no Taquari, com conseqüências enormes para todo o ecossistema.

Nesta primeira reunião de interessados, os fazendeiros, como umas das partes que sofreu com a inundação do Taquari, estavam bem representados. Alguns tiveram que reduzir a capacidade de produção devido à inundação e alguns perderam mesmo toda sua terra.

Os resultados do projecto foram discutidos com os interessados. Foi concluído que quando falarmos de planos de avaliação e políticas deve ser considerado que:

- Medidas para proteção ambiental nem sempre são não-económicas. Pelo contrário, há muitos exemplos onde natureza e economia beneficiam-se mutuamente como é o caso da reciclagem e de se poupar energia.
- É possível estimar o valor da importância da natureza também num sentido não-económico. No momento, há diferentes maneiras de avaliar o valor, tal como o objetivo para visitar e apreciar a natureza e a relação com o ecossistema envolvido. Isso dá um elo com a economia local ou regional.
- É importante que as pessoas participem, porque participação parece essencial quando se lida com interações público-privadas.

Como as pessoas podem participar e de que maneira eles influenciam, tem sido demonstrado pelo exemplo de Mato Grosso, na parte superior do rio Paraguai. A percepção destes interessados nos aspectos culturais, sociais ecológicos das mudanças espaciais na área mostrou claramente os níveis de influência, interação, competição e colaboração entre interessados. Os interessados podem ser divididos grosseiramente em quatro grupos:

1. Representação pública tal como o Ministério do Ambiente, Agência de Águas, IBAMA, Programa Pantanal;
2. Proprietários de terras, empresas, pescadores;
3. ONGs locais, fórum local, associações de comunidades;
4. Legislação pública: transporte, navegação (hidrovia), energia (represas), a legislação de pesca, turismo, Programa Pantanal.

Comitês e conselhos podem facilitar uma gestão integrada e participativa do Pantanal enquanto estejam incluídos todos os interessados e esteja baseado na organização social

local e enquanto se força um consenso no processo de tomada de decisão que seja eqüitativo e transparente.

Das reuniões, as seguintes conclusões foram tiradas:

- As populações locais de peixes têm sido empobrecidas pela quebra da cadeia alimentar. De acordo com as pessoas envolvidas a reação das autoridades aos problemas tem sido atrasada; deve-se tomar cuidado agora para que todos os interessados sejam tratados igualmente no processo. A lei deve ser usada para proteger o ambiente e as pessoas da mesma forma. Este projecto esta estruturado para ajudar os interessados a tomar decisões para encontrar a solução do problema. A área de Taquari é complexa e altamente sensível, portanto não devem ser tiradas conclusões precipitadas.
- No Brasil as companhias hidrelétricas já estabeleceram 60 comitês de água que são democráticos e participativos. A região do Taquari necessita urgentemente de comitês de água como estes. O governo começou este processo estabelecendo Comitês Técnicos que desenvolvem um Plano de Ação e estão a começar projetos-piloto com aspectos voltados para a participação e monitoramento.
- Deve ser dada atenção ao sector de criação de gado, como um factor econômico importante na região.
- Os cenários desenvolvidos com o modelo LEDESS não são usados para uma simples avaliação de causa e efeito mas, para estruturar o conhecimento espacial e mostrar os efeitos das medidas tomadas.

A organização de fazendeiros propôs um número de possíveis soluções, tais como:

- Construir uma represa para manter o sedimento vindo no rio
- Restabelecer o pulso de inundação e portanto retirar a areia do leito do rio.

O projeto Pantanal-Taquari ajuda os interessados na sua procura por soluções, mas primeiramente deve se criar um entendimento deste problema que é complexo. É importante que todas as partes estejam envolvidas e que as soluções beneficiem a todos e não tragam novos problemas.

Durante o projecto foi mantido contacto com os interessados em vários momentos. A comunicação aconteceu entre os grupos de pesquisa e interessados em vários níveis de autoridades (ANA, o Ministério do Meio Ambiente, FEMA, IMA-P) organizações não governamentais de meio ambiente e agropecuária, pesquisadores, fazendeiros individuais, pescadores e as pessoas na rua.

Com as pessoas entrevistadas de Corumbá foi possível desenvolver um entendimento das suas visões e idéias. As perguntas feitas foram:

- O que você vê que está a acontecendo no Pantanal?
- O que é que o Pantanal significa para você?
- O que é o seu sonho para o Pantanal do futuro?
- O que necessita ser feito para alcançar este sonho?

Isto resultou em três cenários sociais diferentes:

- Usando e desenvolvendo os recursos naturais cuidadosamente: Este futuro é baseado na criação de gado e na pesca, permitindo o turismo, com serviços sociais suficientes para a população local. É uma continuação do caminho existente de desenvolvimento, mas com mais atenção à conservação da natureza e a serviços sociais.
- Cenário da Conservação: Muitas pessoas mencionaram a beleza do Pantanal que necessita ser conservada. Neste cenário a região é um santuário da natureza, para ser visitado e ser apreciado por aqueles que amam a natureza e para propósitos de pesquisa. Isso requer financiamento nacional e internacional. O exemplo da reserva de Mamirauá no Amazonas foi mencionado, mostrando que isso é possível.

*Pantanal-Taquari: tools for a decision support system*

- Industrialização da região: Muitas pessoas mencionaram o gasoduto com a Bolívia e os planos da usina para produzir eletricidade e novas indústrias em Corumbá. Isto forneceria empregos, reduziria a pobreza e tornaria a conservação do Pantanal possível.

Diferenciando-se os cenários das alternativas, torna-se claro que a lista de soluções alternativas era realmente uma mistura de cenários e soluções alternativas, cada uma referindo-se a diferentes problemas e portanto a maioria não sendo soluções alternativas para o mesmo problema.

A ausência de um sistema de decisão onde interessados definem problemas comuns a que soluções alternativas são procuradas numa escala apropriada de controle, é uma razão importante para a confusão. Os princípios de tomada de decisão foram discutidos com os interessados numa reunião especial, assim como os princípios de avaliação de multicritério.

Em 23 de novembro de 2004 os resultados finais foram apresentados no edifício do Sindicato Rural, a organização dos fazendeiros em Corumbá, MS. Foram discutidas as causas, cenários e soluções técnicas. Estavam presentes aproximadamente 70 pessoas entre, fazendeiros, membros de ONGs, pesquisadores da EMBRAPA, assim como oficiais de justiça.

Depois das apresentações dos resultados de pesquisa e da análise das soluções potenciais, começou uma discussão intensa. Concluiu-se que existem várias opções econômicas e técnicas, mas a situação financeira obriga a procurar soluções mais econômicas. Todos concordaram que as soluções rio abaixo têm que ser integradas com soluções rio acima. Na reunião decidiu-se organizar um grupo de trabalho de todos interessados para pôr soluções em prática e para ser um grupo parceiro para outros grupos na bacia. Isso significa que o objetivo de apoiar a região na tomada de decisões no manejo da água foi alcançado. Os participantes ficaram satisfeitos com os resultados do projeto e muitos felicitaram a equipe pelos resultados de apenas dois anos de trabalho. Agora o verdadeiro trabalho na região tem que começar.

## Soluções, benefícios e custos

Se analisarmos as soluções para o problema do Taquari, então temos que incluir todos os aspectos. Não faz nenhum sentido procurar soluções de curto prazo. Portanto, todas as soluções alternativas têm que ser exploradas seriamente. A equipe e os peritos de Corumbá analisaram essas soluções alternativas em algumas sessões de trabalho em termos de benefícios e custos que refletem a situação no Brasil. Os resultados do projeto foram usados como uma referência e uma ferramenta para análise. Os aspectos que foram considerados são:

- Viabilidade técnica
- Conseqüências ecológicas e do uso da terra
- Custos

Na análise e a avaliação dos resultados o objetivo era que o Pantanal devia permanecer um Sítio do Patrimônio Mundial, seu funcionamento como uma área úmida não deve ser posto em perigo. A situação econômica local e regional deve ser melhorada de uma forma sustentável, desenvolvendo soluções de longo prazo. Os custos devem ser razoáveis para a região e as pessoas envolvidas.

### Dragar o Rio

Esta solução é mencionada como a mais lógica. No entanto, como o rio tem o maior leque aluvial do mundo e onde a sedimentação é inevitável, haverá sérios obstáculos. A distância do trecho do rio a ser dragado é cerca de 350 km. Se uma profundidade de 3 metros for aceita, tornando o rio acessível para navios, a quantidade de material a ser dragado foi calculada como 60.000.000 m<sup>3</sup>, não incluindo o incremento diário. Este incremento pode ser baseado em 2000 m<sup>3</sup> de descarga diária de sedimento em Coxim em 1995. Se esse sedimento é recebido diretamente ou vai à direção à área de arrombamento, isso não foi levado em consideração. Parte da descarga diária de sedimento será no canal e parte será destinada à sedimentação das margens, mas a divisão entre as duas categorias é desconhecida. Os navios que estão disponíveis em Corumbá para fazer este trabalho podem dragar 300 m<sup>3</sup> por hora. Se três estão disponíveis o tempo necessário para fazer este trabalho é de 10-30 anos e os custos são estimados em R\$ 180.000.000, baseado em condições de custo para dragagem do Paraguai, não incluindo o incremento diário.

Outro aspecto é que se dragagem é iniciada então deverá ser levada a cabo de uma forma contínua; a dragagem não pode ser paralisada sem perder seu efeito num período de tempo relativamente curto. Há necessidade de uma organização supervisionada, mas finalmente a pulso de inundação do rio, a biodiversidade de espécies terrestres e as populações de peixes se recuperarão. Parte da terra irá ficar relativamente mais seca.

### Fechamento do arrombado Caronal

O fechamento do arrombado do Caronal só pode ser executado depois de ou em conjunto com a dragagem do rio. Se isso não for feito em conjunto, então outras áreas ao redor do Taquari serão inundadas. Para obstruir o arrombado, deve ser usado material duro, porque a área envolvida é instável. Baseado na rota de transporte, distância e os custos adicionais, os custos totais estimados são de R\$ 3.500.000.

O fechamento do Caronal significará menos água no Paiaguás, mas não há nenhuma garantia que a situação original retornará, porque como pode ser concluído através da história geomorfológica e do MDET a situação é muito sensível. A direção lógica para o Taquari é mover seu leito na direção do Caronal para oeste. Haverá sempre a tendência do rio de formar um novo leito nessa direção.

Se o arrombado for fechado sem a dragagem do rio, não haverá conseqüências para a criação de gado e a biodiversidade em geral, assim como a relação da área úmida/seca permanecerá mais ou menos a mesma. No entanto, o fechamento causará uma re-alocação das áreas secas e alagadas. Os fazendeiros de outras áreas ao longo do Taquari terão mais

inundações e os do Paiaguás menos. Espécies relacionadas com condições amidas irão também trocar de posição.

### **Prevenir novos arrombados**

O trecho situado a baixo do Figueiral, a leste do Caronal, é muito sensível a arrombados. O comprimento é cerca de 300 km. A prevenção de arrombados é uma atividade contínua e deve ser supervisionada por uma organização pública ou privada de gestão ou manejo. Novos arrombados podem ser naturais ou ilegais e artificiais. Não é possível estimar custos para esta atividade. Espera-se que a situação possa ser mantida estável nos primeiros anos, mas a possibilidade de novos arrombados aumentará depois de certo período, porque a dimensão no leito do rio continua. Em curto prazo o impacto na criação de gado e na biodiversidade será neutro, uma vez que não há nenhuma mudança nas áreas secas ou úmidas.

### **Criar um novo leito do rio na parte oeste do Caronal**

Também é sugerido por alguns interessados desenvolver um novo canal começando no arrombado do Caronal na direção oeste. Este poderia ser dragado artificialmente para criar o eito do rio. A distância até o rio Paraguai é cerca de 230 km. Se é escolhida uma profundidade de 3 m então deverá ser escavado um volume de 80.000.000 m<sup>3</sup>. O tempo necessário para isto depende do equipamento disponível, mas pode ser estimado entre 10-30 anos e os custos podem ser estimados em cerca de R\$ 240.000.000.

As conseqüências são que em longo prazo haverá menos inundações nesta parte do Paiaguás, mas o velho leito secará uma vez que toda a água irá para uma nova direção. Este fato poderá causar problemas de transporte para os fazendeiros dessa região. Possivelmente eles terão que usar as estradas da Nhecolândia ou manter algumas vias navegáveis abertas.

Para a criação de gado e a biodiversidade esta solução significa que ao menos depois que este canal for criado, haverá um período de melhor drenagem e descarga. Haverá mais solo disponível para a criação de gado e espécies usando o solo seco, o que será favorável. Se o pulso de inundação retornar, significa também que a população de peixes se recuperará.

No entanto, embora a solução pareça prometer, é um projecto bastante caro e como o processo de sedimentação continuará, não foi ainda avaliado o quão estável será o novo canal.

### **Construção de diques**

O subsolo das margens do rio consiste de material erodível e instável. O material necessário para diques estáveis não está disponível ao longo de rio e deverá ser trazido de outros lugares. Além disso, diques necessitam de supervisão permanente. Os custos são difíceis de estabelecer porque isso depende muito do tipo de dique que é requerido, os custos de transporte do material e a forma que os mesmos devem ser construídos. Estas incertezas, a rápida sedimentação no rio e os altos custos esperados, fazem com que esta solução não seja considerada realista.

### **Construção de uma represa no Planalto**

Uma represa de retenção de sedimento pode ser construída num único local ou em vários lugares no Planalto. Quanto mais locais são selecionados, mais baixa e menor pode ser a represa e menor será o custo para cada uma delas. Se a represa é usada para outras funções tais como armazenamento de água ou produção de eletricidade, então a represa deve ser alta e será mais cara. Os custos para uma única grande represa foram estimados com base nos custos de uma represa num rio de dimensões comparáveis na Argentina, e que acabou de ser construída (Rio Mendoza). Esta represa foi feita para drenagem e produção de eletricidade. Os custos estimados são:

- Para uma represa para armazenamento de água e retenção de sedimento (40 metros de altura): R\$ 1.400.000.000

- Para uma represa apenas para retenção de sedimento (10 metros de altura) R\$ 20.000.000
- Para três represas menores para retenção de sedimento R\$ 30.000.000

As conseqüências são que em todos os casos o sedimento é retido, mas estimulará a erosão rio abaixo uma vez que os rios necessitam de reposição de material. Se existir apenas uma represa, então o pulso de inundação e migração de peixes desaparecerá ou será severamente impedida. Isto significa que a produção de peixes poderá não se recuperar no rio, causando estragos ecológicos e econômicos. Se forem construídas três represas para retenção de sedimento, então o impacto no pulso de inundação e na migração de peixes devem ser menores. Contudo como o Planalto não foi parte da análise ecológica espacial, o efeito real não pode ser confirmado sem pesquisa mais profunda no Planalto.

Uma importante consideração de manutenção, uma vez construída uma represa para retenção de sedimento, é que o sedimento terá que ser retirado regularmente e não liberado para o Pantanal para prevenir mais sedimentação.

### **Reflorestar as margens dos rios no Planalto**

A descarga do Taquari a partir do Planalto aumentou desde os anos 70. Há mais água e mais sedimento transportado. Uma possibilidade para diminuir o aumento da água e sedimento é replantar a floresta no Planalto. Através da plantação de floresta a evapotranspiração é estimulada. O Código Florestal Brasileiro obriga a manter 10% do solo florestado. Para o Planalto isto significaria uma área de 2.700 km<sup>2</sup>, que não é o caso atualmente. Se isto for feito de uma forma planejada ao longo de rios e córregos, nas áreas mais vulneráveis para erosão, então pode ser uma ferramenta na gestão/manejo dos rios da bacia. No entanto, isto exige planejamento e supervisão. Também requer que os fazendeiros no Planalto, se forem criadores de gado, usem bombas para suas necessidades de água prevenindo que o gado desça até os córregos e rios.

Os custos estimados para esta solução são de R\$ 8.000.000, mas também requer uma organização que seja capaz de planejar e supervisionar as ações no campo. Realmente tais planos devem ser partes de um plano de gestão/manejo dos rios da bacia.

A conseqüência é diminuição de erosão e descarga de água devido ao aumentado da evapotranspiração. As conseqüências para a criação de gado e para a biodiversidade no Pantanal só podem ser estimadas como um efeito de longo prazo, porque não tem efeito direito rio abaixo. O rio tem que estabilizar seu leito, a rapidez com que isso acontece depende de processos naturais e eventuais medidas tomadas rio abaixo. Se nenhuma medida for tomada, então a estabilização poderá durar várias décadas, dependendo do desenvolvimento natural.

### **A capacitação de pessoal e a organização da gestão das águas**

A organização da gestão das águas é uma solução relativamente de longo prazo. Levará no mínimo dez anos para desenvolver a capacidade de gestão das águas. A capacitação de pessoal é portanto parte de uma solução de longo prazo. Treino significa que professores terão que ser treinados para treinar as organizações e os fazendeiros na gestão de recursos hídricos sustentáveis e uso do solo. Os custos estimados são entre de R\$100.000 para programas mínimos e R\$10.000.000 para a totalidade da bacia.

As conseqüências são que serão tomadas decisões em conjunto, ou seja, os custos poderão ser compartilhados. Apenas é aconselhável levar o cabo este método no contexto de uma organização de gestão das águas com supervisão e tarefas claras na gestão. Não há conseqüências direitas para a biodiversidade, mas poderá ser vantajoso para os fazendeiros no Planalto.

### **Desenvolver um Parque Nacional**

Uma das soluções mencionadas é desenvolver um Parque Nacional na área inundada. Os custos de tal solução dependem da estratégia nacional de desenvolver Parques Nacionais. Em alguns países Parques Nacionais são do Estado; noutros eles podem ser privados. Em todo o caso a área inundada de 5000 a 8.000 km<sup>2</sup> terá que ser financeiramente compensada, uma vez que nenhum gado seja permitido. Eventualmente fazendeiros deverão ser re-allocados para outra parte. É uma solução rápida para os fazendeiros e uma solução de longo prazo para a biodiversidade.

### **Recomendações**

Destas soluções pode ser concluído que as seguintes ações têm as melhores perspectivas:

- Desenvolver uma organização para gestão das águas ao nível de bacia;
- Prevenir a erosão no Planalto através da aplicação do código florestal para as margens dos rios;
- Compensar financeiramente os fazendeiros pela a inundação criando um Parque Nacional;
- Eventualmente construir algumas pequenas represas para reter o sedimento quando necessário;
- As solu es técnicas (interven es no Pantanal) parecem demasiado caras e sem perspectiva quando não há uma gestão coerente dos rios da bacia.

## Lições aprendidas

### Lição 1: pôr a ciência no contexto

Em países como Brasil que têm já uma boa infra-estrutura científica desenvolvida, o conhecimento no campo das ciências da água, erosão, sedimentação e clima são substanciais. O valor adicional importante do projecto foi que este conhecimento foi posto no contexto do rio como um ecossistema e que os elos entre campos da ciência (hidrologia, ecologia e economia) foram feitos. Isto pode ser a base para gestão sustentável de rios.

### Lição 2: O papel dos interessados e a capacitação de pessoal

O projecto começou com uma reunião para os interessados na qual o seu papel foi realçado. No entanto, interessados desenvolvem as suas próprias idéias e esperam soluções que apóiem estas idéias. Contudo o conhecimento adquirido com o projeto vem da interação entre interessados e ciência. Os interessados nem sempre têm a capacidade de serem flexíveis; assim como os pesquisadores e os gestores das águas. Numa situação onde política é importante, é essencial discutir as questões usando argumentos científicos e os modelos econômicos e hidrológicos corretos, que possam explicar a situação. Esse é o único argumento convincente, e também a ferramenta para ajudar a região a começar a pensar ao nível da bacia de drenagem.

### Lição 3: Organização para gestão das águas

O alto Paraguai e o Pantanal fazem parte da bacia da Prata e a comissão do rio da Prata é a autoridade máxima. O Projeto tem sido usado para se comunicar com criadores de legislação ao nível da gestão nacional e internacional das águas. É importante que os resultados do projecto sejam aceitos pela região e pelas autoridades que supervisionam a região. Fazer a gestão das águas funcionar de forma sustentável é uma importante obrigação política. A gestão das águas ao nível da bacia não é ainda organizada e a coordenação de grandes bacias é difícil. As estradas faltam, o transporte é caro: internet é a melhor ferramenta para a rápida comunicação regional.

### Lição 4: Coordenação e cooperação na pesquisa

Um aspecto importante que foi apreendido é que a cooperação e a coordenação entre a legislação e a pesquisa não foi como deveria ser. Os criadores de legislação envolvidos e os grupos de pesquisa centram-se nos seus próprios interesses e prioridades e a troca de informação entre eles não é bem organizada especialmente entre diferentes disciplinas. A pesquisa é organizada de forma tradicional e os especialistas europeus atuando na região não cooperaram entre si na Europa. ONGs têm um importante papel e também aqui a cooperação é bastante difícil.

### Lição 5: A Europa pode aprender através do Pantanal

O Pantanal tem rios não impactados e áreas úmidas, assim como bacias de rios em mudança tal como o Taquari. Isto tem conseqüências ecológicas importantes e através destas, implicações sociais e também econômicas. O relacionamento entre o comportamento hidrológico, o sistema de um rio e seu funcionamento ecológico (o pulso de inundação) pode ser uma lição importante a ser apreendida pela gestão das águas na Europa. A questão de como aplicar a pulso de inundação na gestão das águas é uma pergunta essencial para promover a pesquisa ecológica nesse campo e a restauração dos rios da Europa.