

Bacia do Alto Paraguai

uma viagem no tempo

Organização

Angelo Paccelli Cipriano Rabelo

Marcel Garcia de Souza



Bacia do Alto Paraguai

uma viagem no tempo

Organização

Angelo Paccelli Cipriano Rabelo
Marcel Garcia de Souza

Autoria

André Almagro
André Zumak
Angélica Guerra
Angelo Paccelli Cipriano Rabelo
Antônio Conceição Paranhos Filho
Carina Barbosa Colman
Fábio Bolzan
Fábio de Oliveira Roque
Ivan Bergier
Janinne Barcelos
Letícia Couto Garcia

Letícia Larcher
Liz-Rejane Issberner
Luana Rocha
Marcel Garcia de Souza
Matheus Oliveira Neves
Paulo Tarso Sanches de Oliveira
Rafael Moraes Reis
Rômulo Louzada
Sarita Albagli
Taís Elaine Silva
Thiago Oliveira Rodrigues
Wagner Tolone



Brasília, DF
2021

 **ibict**



PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA

Presidente da República
Jair Messias Bolsonaro

Vice-Presidente da República
Hamilton Mourão

Ministério do Desenvolvimento Regional
Ministro
Rogério Simonetti Marinho

Secretaria Nacional de Segurança Hídrica
Secretário
Sergio Luiz Soares de Souza Costa

Departamento de Recursos Hídricos e de Revitalização de Bacias Hidrográficas
Diretor
Wilson Rodrigues de Melo Júnior

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÕES

Ministro
Marcos Cesar Pontes

INSTITUTO BRASILEIRO DE INFORMAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA

Diretora
Cecília Leite Oliveira

Coordenador-Geral de Pesquisa e Desenvolvimento de Novos Produtos
Anderson Itaborahy

Coordenadora-Geral de Pesquisa e Manutenção de Produtos Consolidados
Bianca Amaro de Melo

Coordenador de Ensino e Pesquisa, Ciência e Tecnologia da Informação
Gustavo Silva Saldanha

Coordenador-Geral de Tecnologias de Informação e Informática
Tiago Emmanuel Nunes Braga

Coordenador de Tecnologias Aplicadas a Novos Produtos
Marcel Garcia de Souza



Capítulo 4

O futuro da BAP

.....
Angélica Guerra

Fábio Bolzan

Rômulo Louzada

André Almagro

Carina Barbosa Colman

Matheus Oliveira Neves

Paulo Tarso Sanches de Oliveira

Letícia Couto Garcia¹

Ivan Bergier²

Fábio de Oliveira Roque¹

¹ Pesquisadores da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande (MS).

² Pesquisador da Embrapa Pantanal, Corumbá (MS).

Entender como a natureza responderá aos diferentes caminhos possíveis do desenvolvimento humano é um desafio e uma necessidade, principalmente diante das incertezas sobre o futuro, com destaque para os efeitos das mudanças climáticas em um mundo em constante crescimento de demanda por alimentos, água e energia. Nesse sentido, a simulação de cenários torna-se uma ferramenta poderosa capaz de auxiliar na obtenção de informações. Isso possibilita que diferentes variáveis sejam incluídas em modelos matemáticos, gerando visualizações de possíveis futuros, os quais podem servir de subsídio para tomada de decisões mais inteligentes e alinhadas com as necessidades das pessoas (ROSA et al., 2017; CHAPLIN-KRAMER et al., 2019).

A ciência tem conseguido avançar na simulação de cenários nos últimos anos em todo o mundo, gerando resultados que têm sido usados para embasar políticas públicas (IPBES, 2019). No caso da Bacia do Alto Paraguai (BAP), a simulação de cenários é de extrema importância para auxiliar os tomadores de decisão em sua gestão, possibilitando ações prévias para evitar e solucionar problemas, sobretudo relacionados ao uso e à ocupação do solo. Embora a simulação de cenários na região da BAP seja um campo de pesquisas recente, os resultados já podem ser incorporados em exercícios de planejamento territorial.

Com o objetivo de fornecer uma visão sintética dos avanços das pesquisas em cenários futuros para a BAP, apresentamos neste capítulo alguns resultados recentes. Para tanto, selecionamos alguns estudos para exemplificar cenários futuros para a região, relacionados principalmente às mudanças climáticas e ao uso do solo. Assim, podemos avaliar quanto de vegetação nativa será perdida caso as mudanças no uso do solo continuem no ritmo que estão, ou as conversões para agricultura e pecuária se intensifiquem, se as leis ambientais não forem seguidas ou, ainda, se mecanismos de conservação forem criados. Além disso,

avaliamos como esses cenários afetarão diversas variáveis pela perda de vegetação, como erosão do solo e sedimentação, qualidade da água, armazenamento de carbono, biodiversidade, entre outras. Apresentamos, ainda, algumas perspectivas para futuros estudos e o potencial de uso dessas abordagens para construção de políticas públicas.

4.1 O futuro e as mudanças climáticas

Os efeitos das mudanças climáticas, como aquecimento global e eventos climáticos extremos que contribuem para a falta ou o excesso de água, têm impactos socioeconômicos e ambientais significativos em todo o mundo (HANSEN; CRAMER, 2015). De acordo com o Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas (PBMC, 2013), no Brasil, eventos extremos, que podem alterar significativamente a disponibilidade de água, a produção de alimentos, a produção energética e o provimento dos serviços ecossistêmicos, são esperados com maior intensidade e frequência.

Para garantir planejamento adequado e políticas de mitigação e adaptação frente às mudanças climáticas, faz-se necessário o uso de projeções sob diversos cenários. As projeções do clima futuro são produzidas por Modelos Globais do Clima (GCMs) ou Modelos do Sistema Terrestre (ESMs), as ferramentas científicas mais avançadas para simular a física e a dinâmica do clima global em resposta às variações da concentração de gases de efeito estufa (IPCC, 2013; MELLO et al., 2015).

O uso de GCMs/ESMs pela comunidade científica é amplamente reconhecido pelo Projeto de Intercomparação de Modelo Acoplado (CMIP) e compreende novos conjuntos de experimentos de mais de 50 modelos climáticos (KNUTTI; SEDLÁČEK, 2012; TAYLOR; STOUFFER; MEEHL, 2012). Os dados climáticos são produzidos em diferentes cenários que simulam padrões de emissão globais de gases de efeito estufa. Apesar de ser ferramenta essencial, o desenvolvimento de projeções climáticas é uma tarefa desafiadora para a comunidade científica devido ao grande número de fatores que influenciam a dinâmica do clima a serem considerados (MCNUTT, 2013).

Para o Brasil, projeções climáticas de dois modelos adotados pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe) na Terceira Comunicação Nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre

Mudança do Clima, o inglês HadGEM2-ES e o japonês MIROC5, indicam diminuição nos acumulados anuais de chuva e um aumento no número de dias secos consecutivos no Pantanal. Este fato pode ser explicado por uma possível intensificação na frequência e na magnitude do fenômeno climático El Niño, que causa anomalias negativas de precipitação na maior parte do Brasil, especialmente no regime de monções (ALMAGRO et al., 2017).

A diminuição das chuvas do Pantanal pode ter efeito na dinâmica das águas no bioma, o que pode ocasionar mudanças em larga escala, especialmente relacionadas a pulsos hidrológicos que controlam o regime hídrico pantaneiro. Além disso, o aumento de dias secos consecutivos pode contribuir ainda mais com fenômenos naturais/antrópicos de incêndios, como os altos números de focos registrados em 2020 (SANTOS et al., 2020).

Marengo et al. (2015) mostram que modelos de mudança climática convergem para um incremento considerável na temperatura da região do Pantanal no fim do século (2070-2100), em todos os meses do ano. No verão e no inverno, entretanto, este incremento será mais intenso, alcançando entre 4° C e 7° C. A combinação de diminuição de acumulados de chuva e aumento na temperatura e número de dias secos consecutivos acarretará uma possível extensão do período seco no Pantanal no fim do século XXI.

Para aumentar a resiliência às mudanças climáticas, políticas públicas eficazes com foco em práticas sustentáveis, como cadeias produtivas de baixo carbono e de conservação, devem ser implementadas, garantindo a segurança hídrica e alimentar. Além disso, há a necessidade de criação de um plano para o Pantanal, alinhado com agendas dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) e acordos ligados ao clima.

Apesar de proporcionar dados palpáveis e indicar tendências, as projeções do clima apresentam uma incerteza associada, que muitas vezes é imensurável. Deve-se, portanto, ter em mente que as projeções não têm e não devem ser utilizadas com a intenção de prever exatamente o que acontecerá no futuro, mas, sim, podem preparar a sociedade para qualquer cenário possível, diminuindo a vulnerabilidade e aumentando a resiliência.

4.2 O futuro e a perda de vegetação

Geralmente, a perda de vegetação nos diferentes biomas é gerada por abertura de estradas, construção ou expansão de cidades, avanço das áreas de agricultura e pecuária, entre outros fatores (KLINK; MACHADO, 2005; SETO; GÜNERALP; HUTYRA, 2012; CASELLA; PARANHOS-FILHOS, 2013; LAPOLA et al., 2014). No entanto, alguns biomas apresentam variáveis específicas que afetam a perda de vegetação, como o pulso de inundação no Pantanal. Por conta disso, um modelo espacialmente explícito foi usado com o objetivo de mostrar quais variáveis afetam, de fato, a perda de vegetação na BAP, considerando o Planalto e a Planície separadamente (GUERRA et al., 2020a).

Os resultados desse estudo mostraram que as duas regiões apresentam variáveis diferentes e que a Planície apresenta mais variáveis afetando a perda de vegetação (tabela 1), sendo um ecossistema mais complexo que o Planalto.

Tabela 1 – Variáveis que influenciaram a perda de vegetação na BAP (2008-2016)

Variáveis	Planalto	Planície
Uso do solo	X	X
Estradas		X
Cidades	X	
Rios		X
Duração da estação seca	X	X
Inundação		X
Rebanho bovino	X	X
Potencial para agricultura	X	X
Agricultura permanente	X	X
Agricultura temporária	X	X
Áreas protegidas	X	X

Fonte: Adaptado de Guerra et al. (2020a)..

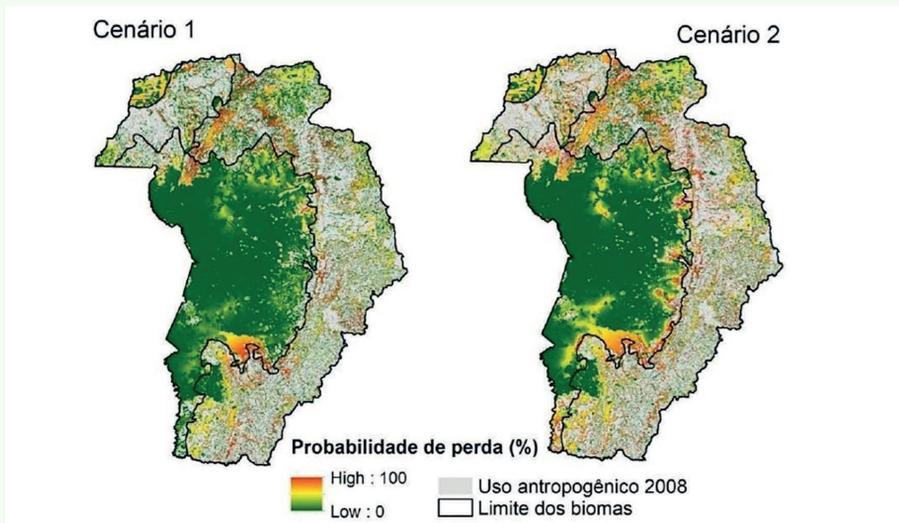
4.2.1 Quanto de vegetação será perdida até 2050 em diferentes cenários?

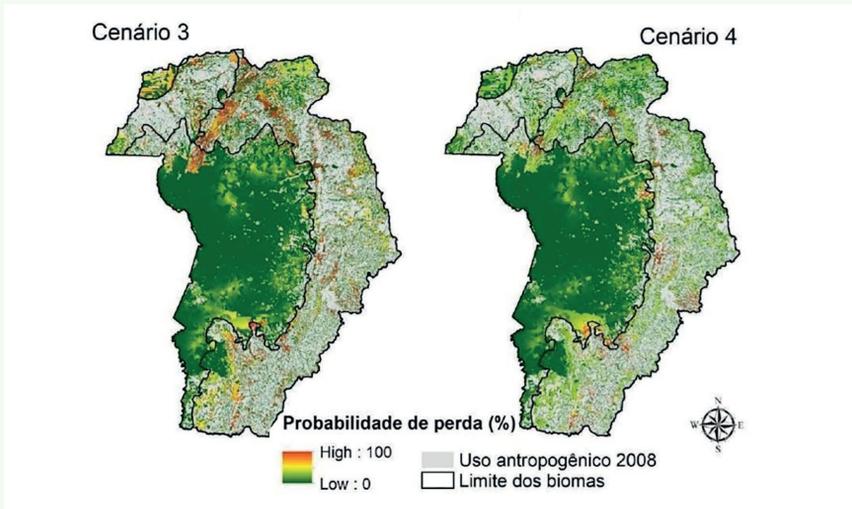
A partir das variáveis de perda de vegetação identificadas, o mesmo estudo projetou a perda de vegetação na BAP até 2050, considerando

diferentes cenários: i) Tendências atuais: considerando que o uso do solo nos próximos 30 anos seguirá a tendência dos últimos anos (2008-2016) e que o Código Florestal será seguido, é esperado que a BAP perca cerca de 14 mil km² de vegetação nativa até 2050 (8 mil km² no Planalto e 6 mil km² na Planície); ii) Aceleração da agropecuária: este cenário considera que haverá aumento da produção agrícola e da pecuária e que não haverá obrigatoriedade de Reserva Legal nas propriedades, gerando perda de vegetação nativa de mais de 22,9 mil km² na BAP até 2050 (10 mil km² no Planalto e cerca de 12,9 mil km² na Planície).

Os cenários iii e iv são voltados para conversão: iii) Economia baseada nos serviços ecossistêmicos: neste cenário, consideramos que os valores de Reserva Legal exigidos no Código Florestal aumentarão para 80% na Planície e 35% no Planalto, assim até 2050 os resultados mostram que haverá perda de cerca de 10 mil km² de vegetação nativa na BAP até 2050 (7 mil km² no Planalto e 3 mil km² na Planície); e iv) Tecnologias verdes: no último cenário, foi considerado que todas as áreas altamente prioritárias para conservação serão efetivadas como áreas protegidas, assim a BAP perderia cerca de 11,7 mil km² de vegetação nativa até 2050 (7,7 mil km² no Planalto e cerca de 4 mil km² na Planície). Veja os mapas com as projeções de perda de vegetação nos quatro cenários na figura 1.

Figura 1 – Probabilidade de perda de vegetação em 2050 na BAP em diferentes cenários





Fonte: Adaptado de Guerra et al., no prelo.

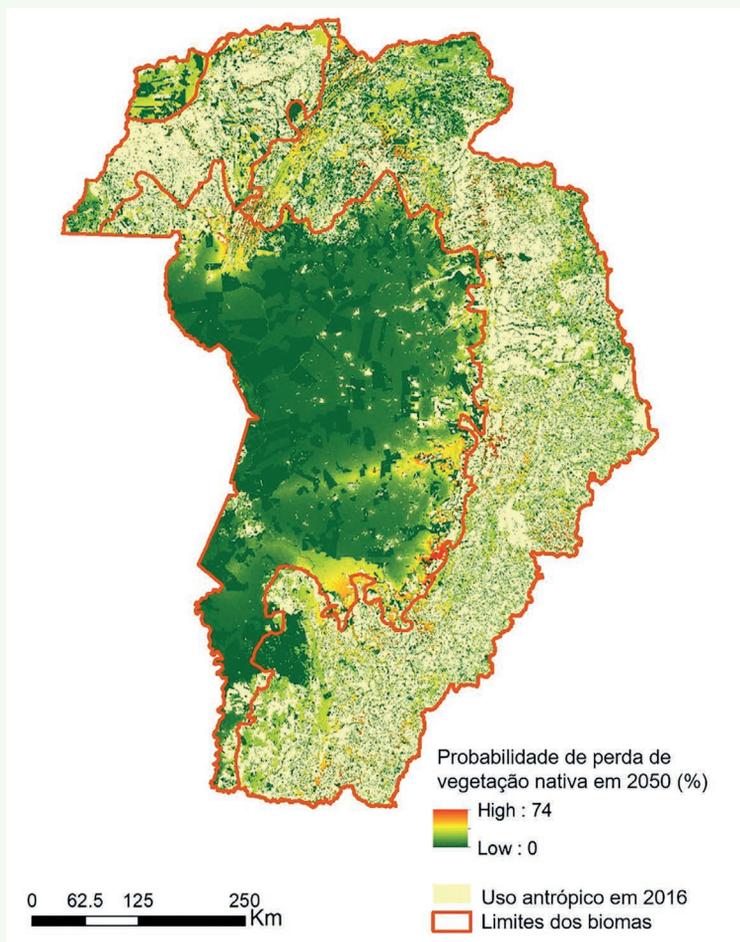
Obs.: Cenário 1 – Tendências atuais; Cenário 2 – Aceleração da agropecuária; Cenário 3 – Economia baseada nos serviços ecossistêmicos; Cenário 4 – Tecnologias verdes.

4.2.2 Arco de perda de vegetação do Pantanal

O Pantanal é o bioma brasileiro com maior porcentagem de vegetação nativa, com cerca de 87% (MONITORAMENTO, 2017; IBGE, 2020). No entanto, o bioma sofre forte influência da perda de vegetação que ocorre no Planalto, que apresenta 39% de vegetação nativa.

A projeção de perda de vegetação no Pantanal mostrada pode parecer pequena quando comparada a outros biomas, como Amazônia, Cerrado e Mata Atlântica. No entanto, devemos considerar que os 6 mil km² de perda de vegetação nativa projetados para 2050 segundo o cenário “Tendências atuais” ocorrerão em pequena área, no que chamamos de “arco de perda de vegetação nativa do Pantanal”, localizado nos limites entre Planalto e Planície, em forma de um arco geográfico (figura 2), semelhante ao que ocorre na Amazônia. Nessa região, a perda de vegetação ocorre principalmente por conversão para agricultura e pastagens e por não apresentarem pulso de inundação, tornando-se uma área do Pantanal propícia para perda de vegetação. Além disso, a conversão ocorre de forma muito rápida, mostrando a necessidade de implantação de políticas públicas urgentes para esta região, a fim de evitar a perda de serviços ecossistêmicos fundamentais.

Figura 2 – Probabilidade de perda de vegetação em 2050 segundo o cenário “Tendências atuais”, destacando o “arco de perda de vegetação do Pantanal”



Fonte: Adaptado de Guerra et al. (2020a).

4.3 O futuro e os serviços ecossistêmicos

4.3.1 Erosão do solo e produção de sedimentos

A BAP perde cerca de 519 milhões de toneladas de solo por ano (465 no Planalto e 54 na Planície) (GUERRA et al., 2020b). Considerando os quatro cenários de uso do solo apresentados, esses valores tendem a aumentar

substancialmente até 2050. Segundo o cenário i) Tendências atuais, a perda de solo poderá chegar a 1,9 bilhão de toneladas na BAP (1,7 no Planalto e 0,2 na Planície). No cenário ii) Aceleração da agropecuária, há previsão de 2 bilhões de toneladas de perda de solo na BAP (1,8 no Planalto e 0,2 na Planície).

Nos dois cenários voltados para conservação, temos: iii) Economia baseada nos serviços ecossistêmicos, há previsão de perda de 1 bilhão de toneladas de solo na BAP (0,9 no Planalto e 0,1 na Planície), enquanto o cenário iv) Tecnologias verdes prevê a perda de 1,8 bilhão de toneladas na BAP (1,6 no Planalto e 0,1 na Planície). O cenário que considera apenas as mudanças climáticas prevê a perda de 0,7 bilhão de toneladas de solo na BAP até 2050 (0,6 no Planalto e 0,1 na Planície). No entanto, este cenário é irreal, pois considera que não haverá mudanças no uso do solo nos próximos 30 anos.

Atualmente, cerca de 17 milhões de toneladas de sedimentos são produzidos na BAP anualmente (16 no Planalto e 1 na Planície). De acordo com o cenário i) Tendências atuais, esse número pode chegar a 85 milhões de toneladas na BAP até 2050 (80 no Planalto e 5 na Planície). O cenário ii) Aceleração da agropecuária prevê que a produção de sedimentos chegará a 95 milhões de toneladas na BAP em 2050 (88 no Planalto e 7 na Planície). Pelo cenário iii) Economia baseada nos serviços ecossistêmicos, é prevista a produção de 47 milhões de toneladas de sedimentos na BAP até 2050 (44 no Planalto e 3 na Planície), enquanto o cenário iv) Tecnologias verdes prevê produção de 80 milhões de toneladas de sedimentos na BAP até 2050 (75 no Planalto e 7 na Planície).

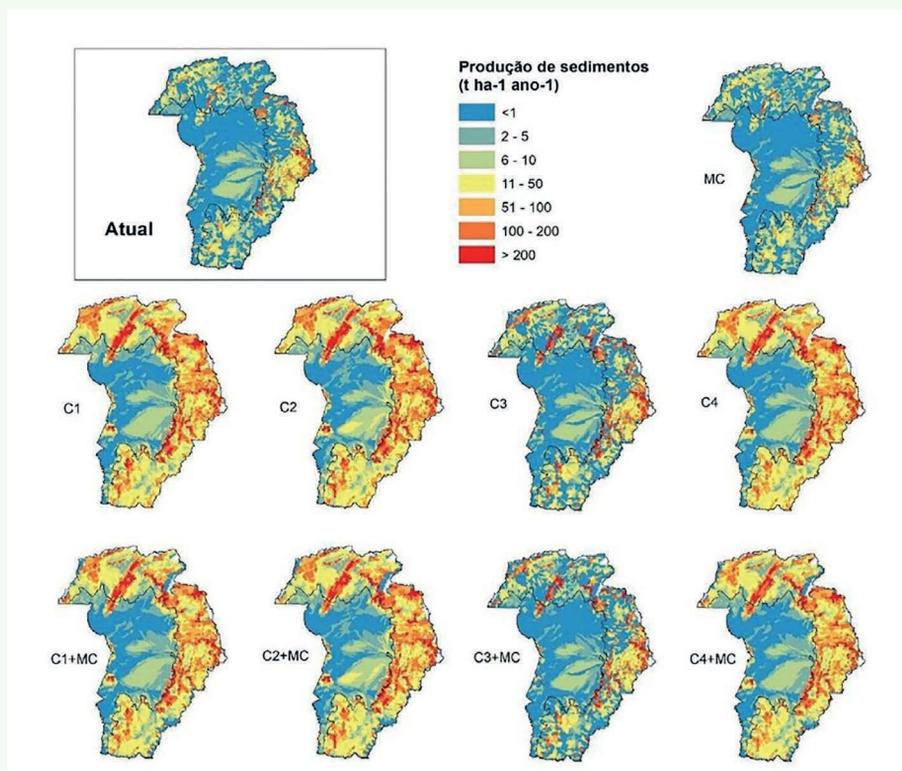
O cenário que considera apenas as mudanças climáticas prevê a produção de 18 milhões de toneladas de sedimentos na BAP até 2050 (16 no Planalto e 2 na Planície). Assim como na perda de solo, este cenário é irreal, pois considera que não haverá mudanças no uso do solo nos próximos 30 anos. Nos cenários que consideram a integração das mudanças do uso do solo e das mudanças climáticas, os valores de perda de solo e produção de sedimentos são menores que os valores considerando apenas as mudanças no uso do solo. As mudanças climáticas mostram diminuição nos regimes de chuvas, o que causa menor erosão. Veja os mapas com as projeções de produção de sedimentos nos quatro cenários na figura 3.

Outro estudo recente avaliou os efeitos da erosão do solo sob o efeito de mudanças de clima e uso do solo na BAP (COLMAN et al., 2019). A erosão média anual do solo na BAP foi calculada para a linha de base (2012) e os

cenários foram projetados para 2020, 2035 e 2050. Para o pior cenário, foi observado aumento na perda de solo de até 100% de 2012 a 2050, associado à expansão da área de cultivo em algumas partes do Planalto.

Para o mesmo período, por um lado, os resultados indicam aumento de 20% a 40% na perda de solo em partes do bioma Pantanal, que foi associado ao aumento de terras agrícolas – principalmente para pecuária – nas terras baixas. Entre 2035 e 2050, essa variação intensifica-se. Por outro lado, existem variações negativas em relação à linha de base, indicando a possível redução da erosão do solo – uma variação de -40% a -20% no norte do Pantanal e partes do Cerrado, associada a valores decrescentes na erosividade da chuva.

Figura 3 – Espacialização da projeção da produção de sedimentos em 2050 na BAP para cada cenário



Fonte: Os autores.

Obs.: Cenário 1 – Tendências atuais; Cenário 2 – Aceleração da agropecuária; Cenário 3 – Economia baseada nos serviços ecossistêmicos; Cenário 4 – Tecnologias verdes. MC significa mudanças climáticas.

Na região sul da BAP, em que há predomínio de pastagens, as projeções do uso do solo indicam aumento de desmatamento para pastagem nos próximos anos (SOARES-FILHO et al., 2018). Nessas áreas, foram notadas perdas de solo próximo aos municípios de Bodoquena, Bonito, Jardim e Porto Murtinho. Esses locais incluem o Parque Nacional da Serra da Bodoquena, um importante ponto turístico, caracterizado por rios cristalinos, cachoeiras, represas naturais e cavernas. Uma variação importante de perda de solo também foi observada ao longo de 2020, 2035 e 2050, no município de Corumbá, onde são produzidas atividades de mineração que contribuem para a economia do país, por exemplo, no Morro do Urucum. No entanto, promovem aumento da erosão do solo e riscos com sedimentos nas barragens. Portanto, são regiões passíveis de problemas socioeconômicos e ambientais.

Os resultados indicam que as maiores variações de erosão do solo estão em áreas com uso antropogênico – ou seja, pastagem – e tendem a aumentar em meados do século, quando eventos climáticos extremos são esperados. Portanto, é fundamental ordenar o uso e a ocupação do solo na BAP, garantindo a disponibilidade de alimentos, energia e água para a manutenção da biodiversidade. A criação desses resultados pode ser útil para melhor adaptação e aumento da resiliência do Brasil às mudanças climáticas associadas à cobertura e ao uso do solo.

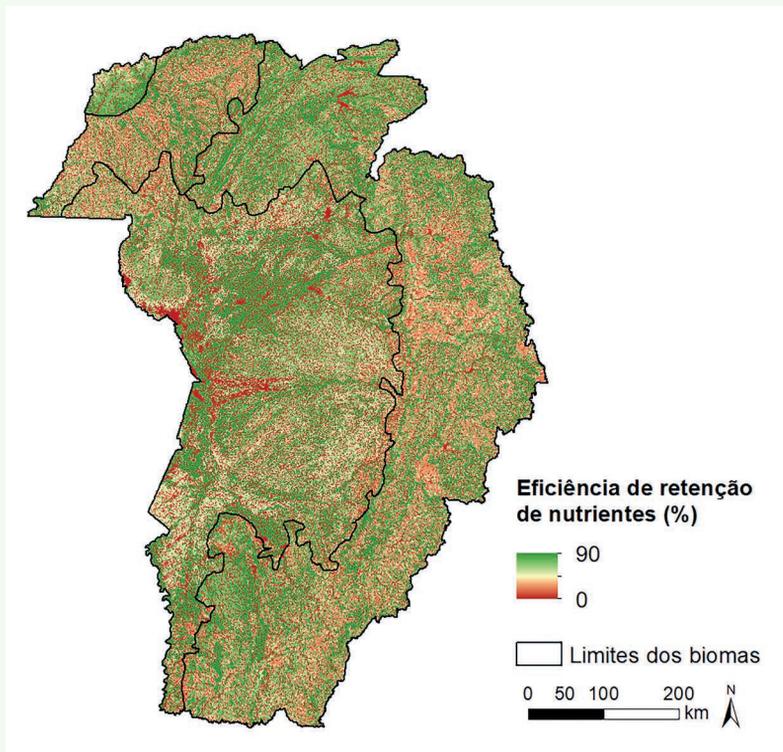
4.3.2 Regulação da qualidade da água

A regulação da qualidade da água pode ser determinada por meio de modelos que consideram as fontes de cargas de nutrientes – nesse caso, fósforo e nitrogênio – de determinado uso e cobertura do solo, seu transporte até os rios e a capacidade de retenção – diferença entre carga e exportação – de nutrientes pela vegetação. Atualmente, na BAP, a eficiência de retenção de nutrientes entre Planalto e Planície apresenta valores similares, sendo 54% para o Planalto e 53% para a Planície, com destaque para as áreas de preservação permanente (APPs) (figura 4).

O cenário i) Tendências atuais prevê redução para 44% de eficiência no Planalto e 50% na Planície. O cenário ii) Aceleração da agropecuária prevê redução da eficiência em relação às condições atuais com 41% para o Planalto e 47% para a Planície. No cenário iii) Economia baseada nos serviços ecossistêmicos, é prevista a redução da eficiência para 46% no

Planalto e para 51% na Planície. Já o cenário iv) Tecnologias verdes prevê diminuição de eficiência de retenção de nutrientes na ordem de 45% para o Planalto e de 51% para a Planície. Os resultados mostram que em todos os cenários a maior redução da eficiência de retenção de nutrientes ocorrerá no Planalto.

Figura 4 – Eficiência de retenção de nutrientes na BAP (2017)



Fonte: Os autores (2021).

4.3.3 Armazenamento de carbono

Atualmente, a BAP armazena cerca de 894 milhões de toneladas de carbono acima do solo em suas diferentes formações vegetais (GUERRA et al., no prelo). Este valor é dividido quase que igualmente entre o Planalto e a Planície. Com as mudanças no uso do solo, espera-se que haja diminuição nesse armazenamento. O cenário i) Tendências atuais prevê diminuição de 36% no armazenamento de carbono da BAP até 2050 (33% no Planalto e 39% na Planície). O cenário ii) Aceleração

da agropecuária prevê diminuição de 46% no armazenamento de carbono acima do solo na BAP (45% no Planalto e 47% na Planície). No cenário iii) Economia baseada nos serviços ecossistêmicos, é prevista a menor diminuição no armazenamento de carbono da BAP, com 31% (27% no Planalto e 35% na Planície), enquanto o cenário iv) Tecnologias verdes prevê a diminuição de 34% no armazenamento de carbono da bacia (30% no Planalto e 37% na Planície).

4.4 Variáveis complicantes

Os cenários de uso do solo e de serviços ecossistêmicos apresentados são conservadores, pois não levam em consideração algumas variáveis que podem aumentar consideravelmente a perda de vegetação na BAP nos próximos anos, como o fogo e a construção de Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCHs). A presença do fogo no Pantanal está diretamente ligada com os períodos de seca, que se intensificam a cada ano devido às mudanças climáticas.

Em 2020, o Pantanal apresentou cerca de 4.350 mil hectares de vegetação nativa consumidas pelo fogo (LIBONATI et al., 2020). O Planalto da BAP é uma área considerada prioritária para instalação de hidrovias, usinas hidrelétricas e PCHs. Hoje, a bacia apresenta 38 empreendimentos em operação, além de quatro em fase de construção, sete outorgados e outros 11 em fase de estudo (ANA, 2013). Ainda não temos modelos de simulações que contemplem toda esta diversidade de fatores e suas sinergias.

4.5 O futuro do Taquari e as dinâmicas de avulsões

O poeta e escritor Manoel de Barros já havia brilhantemente definido o Taquari: “Só com uma tromba d’água se engravida. E empacha. Estoura. Arromba. Carrega barrancos. Cria bocas enormes. Vaza por elas” (1985, p. 9). Assine (2009) denomina-o como um rio mutante pelos testemunhos das mudanças do canal (avulsão). Esse fenômeno é provocado pela carga de sedimentos arenosos do Planalto e discreto relevo na Planície pantaneira, promovendo a deposição no leito ou o assoreamento.

Em eventos chuvosos, parte do fluxo é extravasado para as laterais em fendas ou arrombados, dando início ao processo de avulsão. Apesar de ser um evento corriqueiro e natural, duas importantes avulsões transformaram o ecossistema pantaneiro: Zé da Costa e Caronal. No Zé da Costa, localizado no leito oficial, a avulsão promoveu o desvio do curso em mais de 30 km para o Rio Paraguai Mirim em dez anos (ASSINE, 2005), enquanto no Caronal, cerca de 100 km rio acima, a recanalização é mais lenta pela extensa área alagada. Em 2019, grande parte do trecho do Taquari oficial secou (LOUZADA; BERGIER; ASSINE, 2020), demonstrando que o Caronal já é o atual leito.

Os padrões na evolução da paisagem influenciada pela avulsão vêm-se repetindo nas duas regiões, apesar da escala maior no Caronal. Os dados indicam que a drenagem dessa massa de água e a construção do novo leito demandará mais três décadas, no mínimo. Enquanto isso, os pantaneiros diretamente afetados, seja pelo excesso, seja pela escassez hídrica, buscam suas adaptações ao meio. A velocidade dessa reconstrução pode ser acelerada pelas projeções de seca no futuro (BERGIER et al., 2018), mas principalmente pela retenção de sedimentos no Planalto (BERGIER, 2013) e fechamento dos arrombados na Planície, na tentativa de restringir a vazão do rio em um novo canal único. Modelos hidrológicos que acoplem os fatores únicos de áreas úmidas devem ser desenvolvidos para entender melhor as dinâmicas de inundação e avulsões da região.

4.6 O futuro e a biodiversidade

As mudanças climáticas e o uso da terra também têm afetado drasticamente os padrões de diversidade da fauna e da flora no mundo com aumento considerável nas taxas de extinção (LADLE; WHITTAKER, 2011). Padrões globais mostram generalizada contração nas distribuições das espécies e total reestruturação na biota em algumas regiões (BEAUMONT; HUGHES; POULSEN, 2005; MENÉNDEZ-GUERRERO; GREEN; DAVIES, 2019). Embora existam estudos que incluam a fauna do Pantanal e Planaltos do entorno, nenhum está focado na BAP e relacionado ao futuro da biodiversidade. Nos últimos anos na região, pesquisadores têm abordado este tema principalmente com espécies vegetais, araras, onças e anfíbios, porém estes dados ainda não foram publicados.

Anfíbios é o grupo que apresenta o maior declínio populacional nos últimos tempos, principalmente devido ao uso do solo e à perda de habitat, como também às mudanças climáticas causadas pela emissão de gases de efeito estufa (VERDADE; DIXO; CURCIO, 2010), e não será diferente na BAP. Em dados preliminares, Neves (2019) avaliou o efeito do uso do solo e das mudanças climáticas nos padrões de riqueza de espécies de anfíbios da BAP, verificando as principais mudanças nesses padrões no futuro e indicando áreas importantes para a conservação que serão essenciais para o estabelecimento de espécies, principalmente raras e/ou ameaçadas.

Utilizando variáveis climáticas, topográficas e de uso da terra, os pesquisadores verificaram os padrões de riqueza atual e futura (2080) de 76 espécies de anfíbios que ocorrem na BAP, por meio do uso de Modelos de Distribuição de Espécies (Species Distribution Models – SDM). Também eles aplicaram dois modelos de cenários futuros (IPCC, 2013): o cenário RCP4.5 assume emissão antropogênica intermediária de CO₂ e o RCP8.5 é um cenário com maiores índices de emissões. As projeções geradas neste trabalho tiveram bom desempenho, porém os resultados para o futuro não são animadores.

Mais de 23% das espécies analisadas não terão áreas adequadas para seu estabelecimento no futuro em todos os cenários e modelos testados e poderão ser removidas da região. Este resultado inclui três espécies endêmicas da BAP (*Allobates brunneus*, *Ameerega braccata* e uma espécie ainda em descrição), que, provavelmente, serão extintas da natureza. Além disso, projeções para o cenário com maiores índices de emissão de gases (RCP8.5) mostraram resultados mais severos que o cenário conservador (RCP4.5), com até 43% de remoção de espécies, indicando que a redução nas emissões pode diminuir os impactos causados na diversidade de anfíbios.

Esses resultados também estão relacionados às diversas áreas de transição na região e à distribuição periférica das espécies. A BAP cobre diferentes biomas, como Chaco Úmido, Chaco Seco, Pantanal, Cerrado e Chiquitano, além de influências da Mata Atlântica e da Amazônia, e abriga diversas espécies em seu limite geográfico de ocorrência, o que aumenta as chances de remoção devido à contração das distribuições dessas espécies. Por meio de análise de substituição de espécies, Neves (2019) encontrou que em algumas regiões ocorrerão até 100% de mudanças da comunidade, principalmente na região norte da BAP. Isso significa que ocorrerá total alteração na composição das espécies em determinadas áreas.

Esta análise também indicou que existem muitas áreas onde ocorrerão maiores índices de extinção local espalhadas pela BAP, principalmente na região norte; já a região de colonização de espécies no futuro será restrita ao sul da BAP (região de transição entre Chaco e Pantanal) e a alguns Planaltos de entorno específicos, como Chapada dos Guimarães, Serranía de Santiago (Bolívia) e Amolar. Essas regiões são importantes para o refúgio e o estabelecimento de espécies no futuro e precisam de maior atenção no planejamento da conservação local. Embora esses padrões tenham sido recuperados apenas para os anfíbios, estes são os primeiros resultados dos impactos futuros na diversidade focados no Pantanal e nos Planaltos de entorno.

Além disso, os padrões globais encontrados para anfíbios são correlacionados com outros grupos de vertebrados (HOWARD et al., 1998; LAMOREUX et al., 2006), o que sugere que este estudo será importante ferramenta para auxiliar nas estratégias de conservação local. Mesmo assim, são necessárias mais pesquisas, principalmente com outros grupos taxonômicos, para se entender melhor o futuro da biodiversidade na região da Bacia do Alto Paraguai.

4.7 O futuro e a restauração

A restauração ecológica tem por objetivo a retomada do ambiente, que, no momento, encontra-se degradado para o mais próximo a seu estado original, com o uso de espécies nativas. Perante a rápida transformação atual e futura do Pantanal (GUERRA et al., 2020a), a restauração do bioma, ainda pouquíssimo estudada (GUERRA et al., 2020c), faz-se necessária especialmente nos ambientes em degradação, em que a perda de serviços ambientais poderá afetar de forma mais expressiva a população que depende de seus recursos naturais. A restauração deve ser planejada no contexto da paisagem, uma vez que ações pontuais sem considerar o entorno são pouco efetivas.

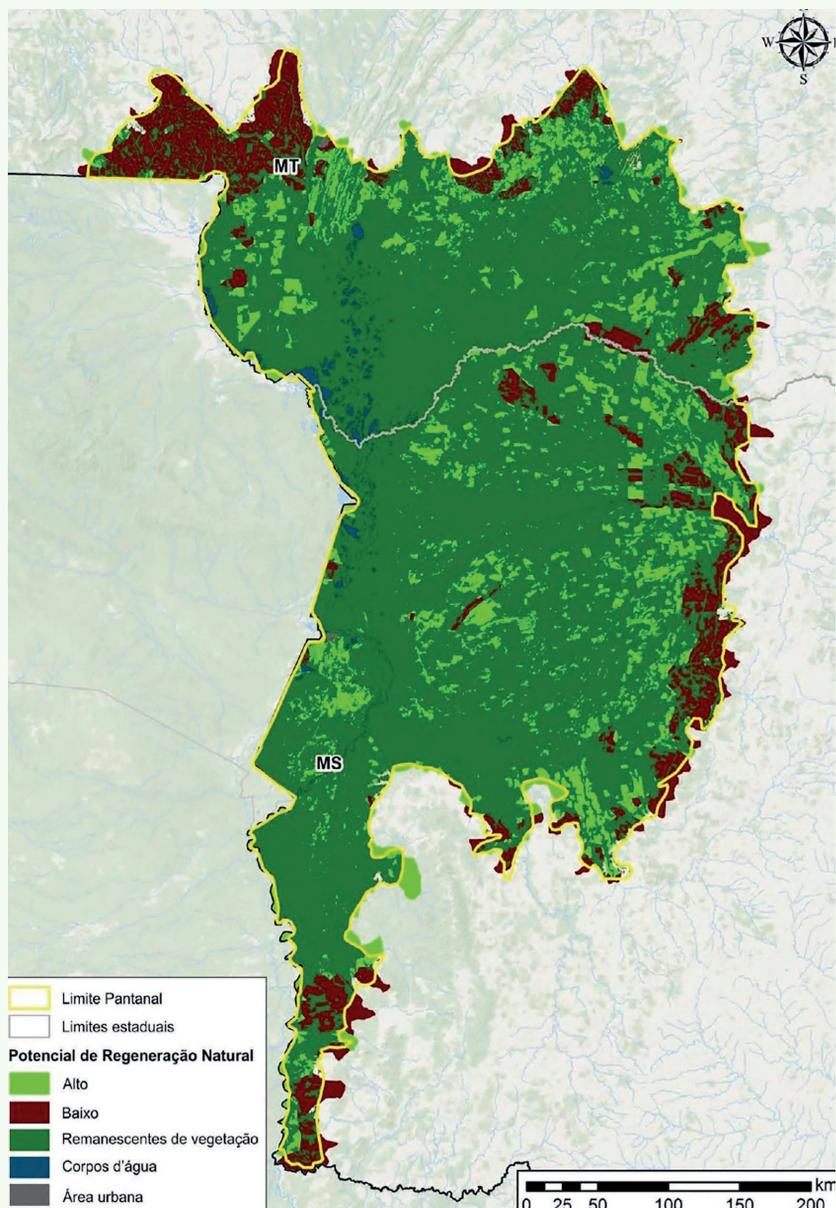
Por exemplo, 90% do transporte de sedimentos carregados para a Planície são provenientes do Planalto (GUERRA et al., 2020b), o que demonstra que as estratégias de restauração no Pantanal devem ser planejadas na unidade da BAP. A ecologia da restauração aponta duas possíveis ações de intervenções a serem implantadas: a restauração

ativa ou a restauração passiva. Estas ações serão determinadas de acordo com uma série de variáveis, tais como nível de degradação, potencial de regeneração natural que a paisagem permite e histórico prévio de uso (HOLL; AIDE, 2011).

Ou seja, em ambientes em que não há presença de chuva e banco de sementes, a regeneração não é mais possível. Assim, são necessárias intervenções por meio da restauração ativa, que possui custos maiores. Assim, quanto mais degradado o local, maior o custo de restauração e maior a dificuldade de voltar ao estado original. Vale ressaltar que a restauração passiva pode levar até 30 anos para atingir valores de referência, conforme acompanhado há pouco tempo na Nhecolândia (CARDOSO et al., 2017). E, uma vez que a legislação exige a realização da restauração da Reserva Legal em até 20 anos, ações ativas poderão ser necessárias, a fim de acelerar esse processo das áreas em regeneração (BOGARÍN; LAURA; GARCIA, no prelo).

Recentemente, foi mapeado no Pantanal, nas áreas com necessidade de restauração devido ao uso antrópico, o potencial de regeneração natural, classificando as regiões como de alto ou baixo potencial (POTT et al., 2018 – figura 5). As ações de condução da regeneração natural iniciam-se com o cercamento e o uso de aceiros e para o Pantanal estes custos seriam de R\$21,08 por metro linear (BENINI; ADEODATO, 2017). Os gastos para a regeneração natural assistida estariam em torno de R\$980/ha em média (BENINI; ADEODATO, 2017) a R\$1.666/ha, considerando todos os cenários de condições físico-ambientais possíveis no Mato Grosso do Sul (ANTONIAZI et al., 2016). Considerando as melhores e as piores condições possíveis para a restauração ocorrer, a média dos custos do plantio total seria entre R\$12.025/ha (ANTONIAZI et al., 2016) e R\$13.500/ha (BENINI; ADEODATO, 2017). Portanto, resumidamente, em média R\$981/ha para regiões de alto potencial de regeneração (restauração passiva) e R\$12.756/ha para as de baixo potencial de regeneração (restauração ativa).

Figura 5 – Classificação das microbacias do Pantanal segundo o potencial de regeneração natural



Fonte: Pott et al. (2018).

Além disso, ainda existe uma terceira opção não convencional, que está muito abaixo dos custos descritos anteriormente e que tem alto potencial de implantação no Pantanal recentemente indicada para o bioma no capítulo sobre recomendação de técnicas de restauração do BPBES (RODRIGUES et al., 2019), após êxito no experimento realizado na Base do Pantanal. A ideia desta estratégia parte da constatação de que muitas áreas do Pantanal são geralmente remotas, sem viveiros e sem rede de coletores de sementes ainda estabelecidos. Portanto, o transplante de plântulas das espécies mais abundantes da regeneração natural – a fim de não afetar as populações de plantas raras ou pouco abundantes –, que já são adaptadas localmente, pode ter alto potencial para a restauração ativa.

Ademais, lembrando a pressão que grandes mamíferos, tanto pela fauna nativa (veados, cervos, antas, capivaras) quando pelo gado, podem exercer sobre as mudas plantadas, o cercamento delas individualmente aumenta em até oito vezes a sobrevivência (REIS et al., 2021). Ou seja, a implantação da combinação de transplante de regenerantes abundantes, preferencialmente de espécies adaptadas à inundação (BOGARÍN; LAURA; GARCIA, no prelo), coletados no baixo relevo e plantados no alto relevo com uso da cerca anti-herbivoria, é a melhor combinação e de melhor custo – efetividade em áreas sujeitas à inundação e com pressão de herbivoria de mamíferos (REIS et al., 2021). Para plantio de 3x2m, esse valor ficaria a R\$7.712/ha – incluindo insumos, mão de obra, replantio, mas desconsiderando controle de invasoras.

Finalizando, além da superação dos efeitos da inundação, herbivoria de grandes mamíferos, para viabilizar a restauração no Pantanal, também é necessário considerar a questão do fogo. Nesse sentido, o Manejo Integrado do Fogo, com ações voltadas às queimas prescritas em períodos em que a umidade relativa do ar impeça o espalhamento do fogo na paisagem de forma intensa, bem como restauração de espécies-chave para a comunidade animal e humana após grandes incêndios, como os de 2020, são intervenções necessárias tanto para prevenção de novos incêndios quanto para reparação dos danos já ocasionados. Os estudos sobre restauração ecológica no Pantanal ainda não apresentam resultados de simulações. Portanto, é importante que trabalhos futuros acoplem a simulação de cenários que podem contribuir para indicação de áreas prioritárias para restauração, inclusive com maior custo – benefício.

4.8 Perspectivas futuras

Neste capítulo, exemplificamos algumas áreas que têm avançado no desenvolvimento de modelos espacialmente explícitos para o Pantanal, usando simulações para entender potenciais trajetórias. Os modelos apresentados são basicamente biofísicos e baseados nos dados históricos. Um dos grandes desafios para esta área de estudo é construir cenários que incluam aspectos do comportamento humano, além de incluir dados de múltiplas influências e a interação entre eles. Entretanto, seguindo a tendência mundial das pesquisas, é esperado que em breve haverá mais trabalhos que contemplem o tema.

Outro grande desafio é incorporar os resultados das simulações como instrumento de políticas e gestão territorial, uma vez que envolve mudanças culturais, coprodução de conhecimento e entendimento dos limites e das vantagens do uso desses estudos no processo de tomada de decisão. Somos otimistas nesse sentido, pois existem instrumentos de gestão, como Zoneamento Ecológico Econômico, que demandam prognoses como forma de planejamento. Enfim, os estudos de simulações estão apenas começando e, certamente, poderão contribuir com a construção de futuros desejados coletivamente para o Pantanal.

Referências

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA). **Metadados:** corpos hídricos superficiais. Brasília, 2013. Disponível em: <http://metadados.ana.gov.br/geonetwork/srv/pt/main.home>

ALMAGRO, A. et al. Projected Climate Change Impacts in Rainfall Erosivity over Brazil. **Scientif Reports**, Londres, v. 7, n. 8.130, p. 1-12, 2017. doi:10.1038/s41598-017-08298-y

ANTONIAZI, L. et al. **Restauração ambiental em cadeias agropecuárias para adequação do Código Florestal**. São Paulo: Input, 2016. Disponível em: <<https://www.inputbrasil.org/publicacoes/restauracao-florestal-em-cadeias-agropecuariaspara-adequacao-ao-codigo-florestal/>>

ASSINE, M. L. River Avulsions on the Taquari Megafan, Pantanal Wetland, Brazil. **Geomorphology**, v. 70, n. 3-4, p. 357-371, 2005.

ASSINE, M. L. Taquari: um rio mutante. In: SIMPÓSIO DE GEOTECNOLOGIAS NO PANTANAL, 2., 2009, Corumbá. **Anais...** Corumbá: Embrapa Informática Agropecuária/Inpe, p. 7-11.

BARROS, M. de. **Livro de pré-coisas**. Alfaguara, 1985.

BEAUMONT, L. J.; HUGHES, L.; POULSEN M. Predicting Species Distributions: Use of Climatic Parameters in BIOCLIM and its Impact on Predictions of Species' Current and Future Distributions. **Ecological Modelling**, v. 186, n. 2, p. 251-270, 2005. doi:10.1016/j.ecolmodel.2005.01.030.

BENINI, R. M.; ADEODATO, S. Custos de restauração da vegetação nativa no Brasil. Economia da Restauração Florestal. **The Nature Conservancy**. São Paulo: The Nature Conservancy, 2017. Disponível em: <<https://www.nature.org/media/brasil/economia-da-restauracao-florestal.pdf>>

BERGIER, I. Effects of Highland Land-Use over Lowlands of The Brazilian Pantanal. **Science of the Total Environment**, v. 463, p. 1060-1066, 2013.

BERGIER, I. et al. Amazon Rainforest Modulation of Water Security in the Pantanal Wetland. **Science of the Total Environment**, v. 619, p. 1116-1125, 2018.

BOGARÍN, M.R.A.; LAURA, V.A.; GARCIA, L. C. Flooding Tolerance and Strategies in Cerrado and Pantanal Tree Saplings: Implications for Restoration under New Legislation. **Restoration Ecology**, 2021. No prelo.

CARDOSO, E. L. et al. Regeneração natural de áreas utilizadas como roça no Pantanal da Nhecolândia. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento**, Embrapa Pantanal, v. 134, p. 1-20, 2017.

CASELLA, J.; PARANHOS-FILHO, A. C. The Influence of Highway BR262 on the Loss of Cerrado Vegetation Cover in Southwestern Brazil. **Oecologia Australis**, v. 17, n. 1, p. 77-85, 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.4257/oeco.2013.1701.07>>

CHAPLIN-KRAMER, R. et al. Global Modeling of Nature's Contributions to People. **Science** **366**, 2019.

COLMAN, C. B. et al. Effects of Climate and Land-Cover Changes on Soil Erosion in Brazilian Pantanal. **Sustainability**, v. 11, n. 24, p. 1-16, 2019.

GUERRA, A. et al. Drivers and Projections of Vegetation Loss in the Pantanal and Surrounding Ecosystems. **Land Use Policy**, v. 91, n. 104388, p. 1-10, 2020a. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2019.104388>>

GUERRA, A. et al. The Importance of Legal Reserves for Protecting the

Pantanal Biome and Preventing Agricultural Losses. **Journal of Environmental Management**, v. 260, p. 1-11, 2020b. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110128>>

GUERRA, A. et al. Ecological Restoration in Brazilian Biomes: Identifying Advances and Gaps. **Forest Ecology and Management**, v. 458, n. 117802, p. 1-7, 2020c.

GUERRA, A. et al. Land Use and Regulating Services Scenarios for the Pantanal and its Surroundings. **Journal of Agriculture and Forest Meteorology**. No prelo.

HANSEN, G.; CRAMER, W. Global Distribution of Observed Climate Change Impacts. **Nature Climate Change**, v. 5, n. 3, p. 182-185, 2015. doi:10.1038/nclimate2529

HOLL, K. D.; AIDE, T. M. When and Where to Actively Restore Ecosystems. **Forest Ecology and Management**, v. 261, n. 10, p. 1558-1563, 2011. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.foreco.2010.07.004>>

HOWARD, P. et al. Complementarity and the Use of Indicator Groups for Reserve Selection in Uganda. **Nature**, v. 394, p. 472-475, 1998. doi:10.1038/28843

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Contas de ecossistemas**. O uso da terra nos biomas brasileiros 2000-2018. Brasília, 2020.

IPBES. **Summary for Policymakers of the Global Assessment Report on Biodiversity and Ecosystem Services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services**. S. Díaz et al. (Ed.). IPBES Secretariat, Bonn, Germany, 2019. 56p. Disponível em: <<https://doi.org/10.5281/zenodo.3553579>>

IPCC. **Climate Change**. The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, United Kingdom, New York, USA, 2013.

KLINK, C. A.; MACHADO, R. B. Conservation of the Brazilian Cerrado. **Conservation Biology**, v. 19, p. 707-713, 2005. Disponível em: <<https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2005.00702>>

KNUTTI, R.; SEDLÁČEK, J. Robustness and Uncertainties in the New CMIP5 Climate Model Projections. **Nature Climate Change**, v. 3, p. 1-5, 2012. doi:10.1038/nclimate1716, 2012

LADLE, R. J.; WHITTAKER, R. J. **Conservation Biogeography**, 2011. 301p. doi:10.1002/9781444390001

LAMOREUX, J. F. et al. Global Tests of Biodiversity Concordance and the Importance of Endemism. **Nature**, v. 440, p. 212-214, 2006. doi:10.1038/nature04291

LAPOLA, D. M. et al. Pervasive Transition of the Brazilian Land-Use System. **Nature Climate Change**, v. 4, p. 27-35, 2014. doi:10.1038/nclimate2056

LIBONATI, R. et al. **Sistema Alarmes**. Alerta de área queimada no Pantanal, situação atual – terceira semana de novembro de 2020. Laboratório de Aplicações de Satélites Ambientais, UFRJ. Rio de Janeiro: UFRJ, 2020. 12p.

LOUZADA, R. O.; BERGIER, I.; ASSINE, M. L. Landscape Changes in Avulsive River Systems: Case Study of Taquari River on Brazilian Pantanal Wetlands. **Science of the Total Environment**, v. 723, n. 138067, 2020.

MARENGO, J.A. et al. A seca e a crise hídrica de 2014-2015 em São Paulo. **Rev. USP**, São Paulo, p. 31-44, 2015.

MCNUTT, M. Climate Change Impacts. **Science** **80**, v. 341, n. 6145, p. 435-435, 2013. doi:10.1126/science.1243256.

MELLO, C. R. et al. Assessing the Climate Change Impacts on the Rainfall Erosivity Throughout the Twenty-First Century in the Grande River Basin (GRB) Headwaters, Southeastern Brazil, Environ. **Earth Sci.**, v. 73, n. 12, p. 8683-8698, 2015. doi:10.1007/s12665-015-4033-3.

MENÉNDEZ-GUERRERO, P.A.; GREEN, D. M.; DAVIES, T. J. Climate Change and the Future Restructuring of Neotropical Anuran Biodiversity. **Ecography**, v. 43, n. 2, p. 222-235, 2019. doi:10.1111/ecog.04510

MONITORAMENTO das alterações da cobertura vegetal e uso do solo na Bacia do Alto Paraguai – Porção Brasileira – Período de Análise: 2016 a 2017.

Iniciativa: CI – Conservação Internacional, Ecoa – Ecologia e Ação, Fundación Avina, Instituto SOS Pantanal, WWF-Brasil. Corumbá: Embrapa Pantanal, 2017.

NEVES, M. O. **Distribution and Ecological Traits of Amphibians in The Pantanal Paraguay Basin and the Efficiency of Protected Areas under Changing Climate.**

Campo Grande, 2019. 119 f. Tese (Doutorado em Ecologia e Conservação) – Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Conservação, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul.

PBMC. **Executive Summary:** Impacts, Vulnerability and Adaptation to Climate Change. Contribution from Grupo de Trabalho 2 (GT2 – Acronym for the Working Group 2) to the Primeiro Relatório de Avaliação Nacional sobre Mudanças Climáticas (RAN1) of the Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas (PBMC). E. D. Assad; A. R. Magalhães (Ed.). Coppe. Rio de Janeiro, RJ, Brasil:

Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2013. 28p.

POTT, A. et al. **Potencial de regeneração natural da vegetação do Pantanal**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2018.

REIS, L. K. et al. Can Transplanting Seedlings with Protection Against Herbivory Be a Cost-Effective Restoration Strategy for Seasonally Flooded Environments? *Forest Ecology and Management*, v. 483, n. 118742, p. 1-9, 2021.

RODRIGUES R. R. et al. Práticas de restauração nos diferentes biomas brasileiros. In: CROUZEILLES, R.; RODRIGUES, R. R.; STRASSBURG, B. B. N. (Ed.). **BPBES/IIS: Relatório Temático sobre Restauração de Paisagens e Ecossistemas**. São Carlos: Cubo, 2019. 77p. Disponível em: <<https://doi.org/10.4322/978-5-60064-91-5.85-60064-91-5>>

ROSA, I. M. D. et al. Multiscale scenarios for Nature Futures. **Nat. Ecol. Evol.**, v. 10, p. 1416-1419, 2017. Disponível em: <<https://doi.org/10.1038/s41559-017-0273-9>>

SANTOS, R. L. et al. Rescue Brazil's Burning Pantanal Wetlands. **Nature**, v. 588, p. 217-219, 2020.

SETO, K. C.; GÜNERALP, B.; HUTYRA, L. R. Global Forecasts of Urban Expansion to 2030 and Direct Impacts on Biodiversity and Carbon Pools. *Proc. Natl. Acad. Sci.*, v. 109, p. 16083-16088, 2012. Disponível em: <<https://doi.org/10.1073/pnas.1211658109>>

SOARES-FILHO, B. S. et al. **Opções de mitigação de emissões de gases de efeito estufa em setores-chave do Brasil**. Agricultura, Florestas e Outros Usos do Solo (Afolu). Brasília: Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações, 2018.

TAYLOR, K. E.; STOUFFER, R. J.; MEEHL, G. An Overview of CMIP5 and the Experiment Design. **American Meteorological Society**, v. 93, n. 4, p. 485-498, 2012. doi:10.1175/BAMS-D-11-00094.1, 2012.

VERDADE, V. K.; DIXO, M.; CURCIO, F. F. Risks of Extinction of Frogs and Toads as a Result of Environmental Changes. **Estudos Avançados**, v. 24, p. 161-172, 2010.

Como citar este capítulo

GUERRA, A. et al. O futuro da BAP. In: RABELO, A. P. C.; SOUZA, M. G. de (Org.). **Bacia do Alto Paraguai: uma viagem no tempo**. Brasília, DF: Ibict, 2021, p. 66-89.