



Maciço do Urucum (à esq.), com seus pontos mais altos alaranjados, e um trecho do rio Paraguai (à dir.), tendo ao lado alguns meandros abandonados.

GEOLÓGIA 

ANATOMIA FUNCIONAL DA PAISAGEM

CONHECER E CARACTERIZAR A DIVERSIDADE FÍSICA NATURAL DA PLANÍCIE PANTANEIRA É ESSENCIAL PARA COMPREENDER AS INUNDAÇÕES E SUAS VARIADAS INTER-RELAÇÕES COM A FAUNA, A FLORA E AS MUDANÇAS PROMOVIDAS PELO HOMEM

POR MARIO L. ASSINE, IVAN BERGIER, HUDSON A. MACEDO, FABIANO N. PUPIM, JOSÉ C. STEVAUX, AGUINALDO SILVA



Google Earth Image© 2018 images Digital Globe CNES/Airbus Landsat/Copernicus

O Pantanal é uma ampla planície interior, no alto curso do rio Paraguai, com inundações anuais e grande diversidade biológica, ecológica e de paisagens. Abrange terras úmidas abaixo da cota altimétrica de 200 metros, mas seus limites variam em diferentes publicações e relatórios. Como consequência, variam também a extensão de sua área geográfica e a avaliação dos impactos causados por atividades humanas.

A planície é heterogênea, não só em sua geografia, mas também na frequência e magnitude das inundações. Muitas áreas permanecem inundadas durante todo o ano, enquanto outras experimentam inundações de duração variável. Por isso, há referências a vários pantanais ao invés de um só. Tal pluralidade deu ensejo a tentativas de classificar e subdividir o Pantanal com base em diversos critérios

físicos e bióticos, incluindo relevo, solo, hidrologia e vegetação. A compartimentação geográfica das áreas úmidas é importante para embasar políticas de uso e ocupação da planície pantaneira e para subsidiar iniciativas de preservação e conservação. Entender a dinâmica associada à diversidade física natural do Pantanal é fundamental para a compreensão do fenômeno das inundações e das inter-relações com a fauna, a flora e as atividades humanas.

Até a década de 1960, as tentativas de classificação do Pantanal eram limitadas pela escassez de dados cartográficos confiáveis. Por isso, diferentes áreas foram denominadas conforme a toponímia local. Posteriormente, a disponibilização de imagens de sensores remotos para uso civil permitiu abordagem nova e de grande impacto na compreensão da dimensão e da na-

tureza da planície pantaneira. Em 1979, importante relatório do Departamento Nacional de Obras de Saneamento (DNOS, do extinto Ministério do Interior) registrava área total de 139.111 km² para o Pantanal, subdividido em 15 sub-regiões. Com dados orbitais de melhor resolução espacial e novos sensores, a delimitação do Pantanal e a caracterização de sua paisagem foram aperfeiçoadas. Novas classificações forneceram melhor detalhamento das diferentes áreas dentro da planície, destacadas por sua contribuição à comunidade acadêmica (caso dos 3 exemplos apresentados na próxima página). Duas importantes classificações foram publicadas na década de 1990. Com base no padrão de inundação analisado com dados do satélite Nimbus-7, Hamilton e colaboradores subdividiram o Pantanal em 10 sub-regiões (mapa A), cada qual

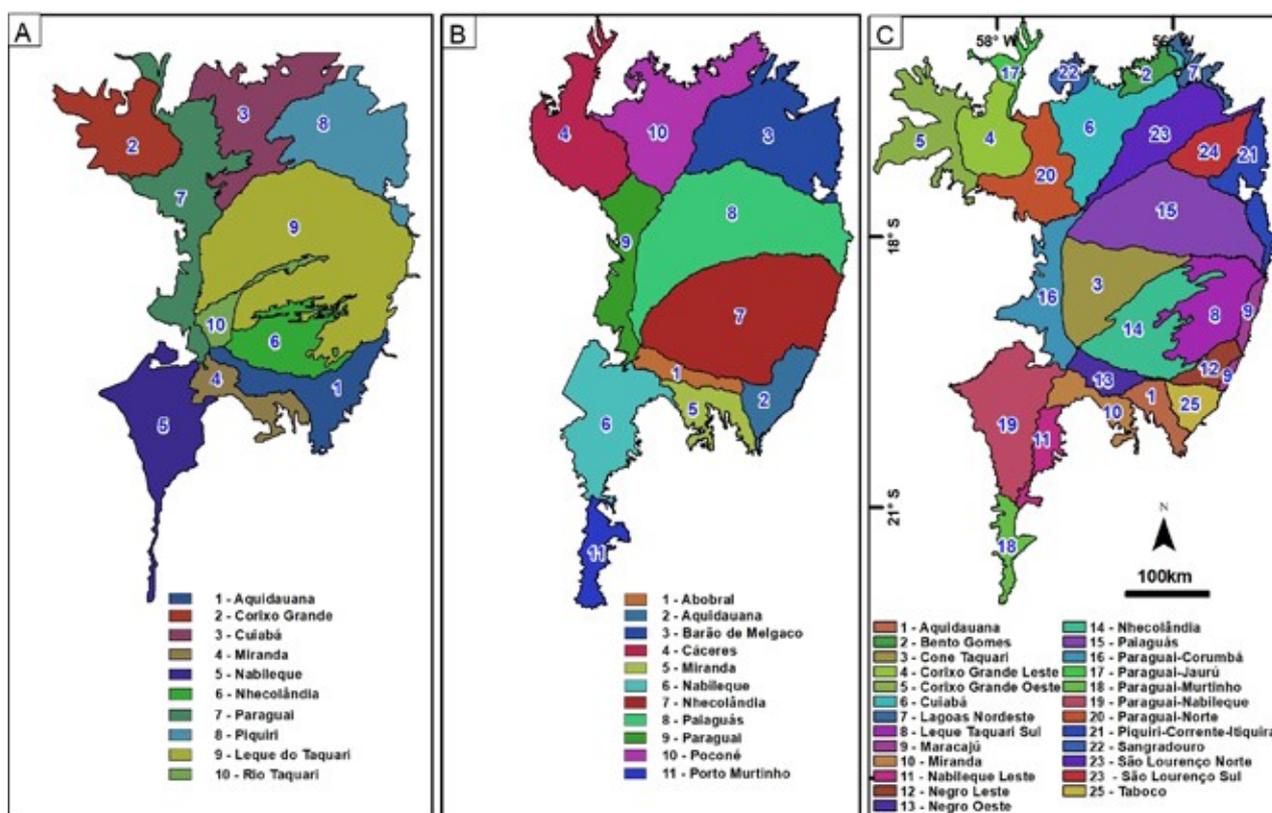
com dinâmica de inundação peculiar, sugerindo relação entre a dinâmica hidrológica e os diferentes compartimentos geográficos do Pantanal. Paralelamente, Silva e Abdon caracterizaram 11 sub-regiões (mapa B), calculando área total de 138.183 km² com base na interpretação de imagens do satélite Landsat 5 TM.

O pesquisador Padovani da Embrapa/Pantanal utilizou novos dados orbitais e novos conceitos na sua classificação, conjugando critérios de relevo, solo e vegetação e hidrologia (frequência de inunda-

ões caracterizadas em termos geomorfológicos e hidrológicos, o que representou grande avanço no conhecimento da diversidade de paisagens do Pantanal.

Apesar dos avanços trazidos pelas classificações existentes, o conhecimento do funcionamento hidrossedimentar da planície ainda é incipiente. Muitas perguntas não têm ainda resposta satisfatória. Por que a área inundável é tão extensa? Por que alguns rios ficam assoreados e outros não? Por que e como os rios mudam de curso? Qual o volume de sedimentos retidos na

1. levar em conta sua natureza geológica;
2. entender o comportamento do terreno, tectônico e superficial, combinado aos processos que produziram a paisagem atual;
3. utilizar um modelo de compartimentação geomorfológica com base em unidades naturais de sedimentação, ou seja, os sistemas deposicionais;
4. conhecer o funcionamento hidrológico do conjunto de sistemas deposicionais formadores da planície;
5. mapear o fluxo de água subter-



ção, fonte das águas e sincronia com áreas vizinhas). E imagens MODIS, liberadas pela Agência Espacial Americana (NASA), contribuíram para a caracterização da água superficial e ajustes na delimitação das áreas inundáveis, incluindo os territórios adjacentes da Bolívia e do Paraguai. Na nova classificação (mapa C), o Pantanal passou a ter 150.500 km², com 25 sub-regi-

ões caracterizadas em termos geomorfológicos e hidrológicos, o que representou grande avanço no conhecimento da diversidade de paisagens do Pantanal. Assim, para a construção de políticas públicas apropriadas e a redução das vulnerabilidades do Pantanal (que implica elaborar classificações funcionais) é crucial:

6. desenvolver programas visando a aquisição de dados-chave para quantificar e modelar os processos sedimentares e hidroecológicos.

A chave para entender a variabilidade de paisagens do Pantanal está no fato de a planície alagável ser espa-

cial e temporalmente dinâmica: trata-se de uma bacia sedimentar ativa, ou seja, uma área da superfície terrestre sujeita a movimentos verticais descendentes da crosta terrestre, o que causa afundamento do terreno. A paisagem é a de uma depressão, para onde correm os rios provenientes de relevos mais altos, ao redor. Em uma depressão fechada, inteiramente circundada por terrenos altos, os rios correm todos para seu centro (drenagem radial centrípeta), onde um lago pode se formar. Talvez fosse essa a impressão dos primeiros europeus ao chegar ao Pantanal, quando eles se referiam à mitológica *Laguna de los Xa-*

cia de terremotos recentes. Blocos mais subsidentes (os que afundam mais), controlados por movimentos nas falhas geológicas, criam espaços a serem ocupados pelas águas das chuvas e dos rios provenientes das bacias de captação, situadas no entorno da depressão. Quer dizer, os rios promovem a erosão das rochas nos relevos circundantes e os sedimentos são carreados rio abaixo, num contínuo processo de transferência de águas e sedimentos dos planaltos para a planície pantaneira.

Rios dissecam os planaltos existentes no entorno do Pantanal e formam planícies fluviais exóticas, co-

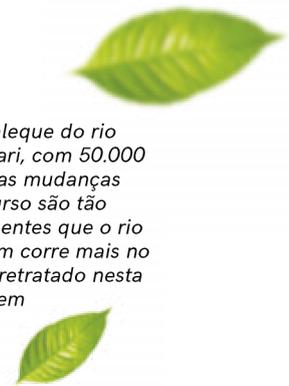


Google Earth Image© 2018 Landsat/Copernicus

rayes (Xarayes era o nome do principal grupo indígena local). Mas, na realidade, a grande depressão pantaneira tem uma saída a sudoeste, entre o Planalto da Bodoquena e o Maciço de Urucum, por onde corre o rio Paraguai em direção à bacia do Chaco.

Em bacias sedimentares ativas, como o Pantanal, é desigual a maneira como o subsolo se movimenta verticalmente, criando desníveis na planície devido à subsidência do terreno. Essa é a causa da ocorrên-

nhecidas como megaleques fluviais devido às frequentes subdivisões de seus canais. Na planície, os espaços inicialmente ocupados pelas águas são, em escalas geológicas de tempo, preenchidos por sedimentos carreados pelos rios. Partículas finas de silte e argila são transportadas em suspensão, turvando as águas dos rios durante as cheias anuais. E areias também são transferidas, como carga sedimentar de fundo, formando barras nos rios, frequentemente expostas



Megaleque do rio Taquari, com 50.000 km²: as mudanças de curso são tão frequentes que o rio já nem corre mais no leito retratado nesta imagem

durante a estiagem. Este fenômeno de sedimentação reduz a profundidade dos rios (assoreamento fluvial).

O rio Paraguai funciona como sistema coletor de outros cursos d'água para a planície. Funciona também como canal de drenagem das águas da planície para a bacia do Chaco. O volume de sedimentos que sai pelo rio Paraguai é muito menor do que aquele que chega à planície: a maior parte dos sedimentos fica retida. Isso está intrinsecamente relacionado ao fato de que o Pantanal é uma bacia sedimentar ativa, que continuamente gera baixios na superfície, para onde correm inicialmente as águas de inundação e, progressivamente, para onde os rios passam a correr e depositar sedimentos trazidos de fora da bacia.

A planície do Pantanal é um extenso trato deposicional, com variados tipos de sistemas de sedimentação, o que resulta em uma bacia heterogênea em sua geomorfologia. O 'trato de sistemas', à semelhança do trato digestivo de vertebrados, é um conjunto de sistemas contíguos e relacionados, que têm funcionamento integrado.

O rio Paraguai corre de norte para sul, na borda oeste da bacia do Pantanal, formando uma planície em que há três barreiras ou gargalos para o fluxo das águas. Antes de entrar na planície do Pantanal, o canal meandra numa planície estreita, com 4 a 6 km de largura. Ao adentrar o Pantanal, o rio se abre num megaleque, não mais confinado, sobre um terreno menos inclinado. Seu canal principal então apresenta bifurcações e a planície se apresenta com um grande número de lagoas. Na altura da Serra do Amolar há novo estreitamento e vários lagos entremeiam o relevo serrano, caso das lagoas Mandioré e Vermelha. Dali até a confluência com o rio Miranda, o Paraguai flui em uma planície ampla, cheia de canais. No último trecho dentro do Pantanal, após atravessar o Maciço do Urucum, o rio forma novamente meandros ao atravessar a área do Nabileque. O último gargalo está situado na área do Fecho dos Morros, na saída do Pantanal, após o qual o rio Paraguai flui em direção ao Chaco Paraguai.

Os rios Taquari, São Lourenço e Aquidauana formam os principais sistemas de megaleques fluviais, drenando planaltos sedimentares a leste do Pantanal. Eles podem ser classificados como sistemas deposicionais de drenagem distributiva. Em sua área de captação nos planaltos, um grande aporte de sedimentos para os rios resultou da eficiente erosão de rochas sedimentares dos planaltos de Maracaju-Itiquira. Ao entrar na planície, os rios depositam sua carga de sedimentos formando megaleques aluviais, que são sistemas de drenagem distributiva compostos por lobos sedimentares ativos e abandonados. Na superfície dos lobos abandonados há antigos canais, não mais ativos, indicando por onde correram os rios em sucessivas mudanças de curso durante sua evolução. O Taquari é o mais notável dos megaleques fluviais do Pantanal, com área de aproximadamente 50.000 km².

Planícies interleques são formadas por canais fluviais existentes entre os megaleques. A planície do rio Piquiri é um exemplo típico, com seu canal de meandros confinado entre os megaleques fluviais dos rios Taquari e São Lourenço. O rio Negro, situado entre os megaleques do Taquari (ao norte) e os de Aquidauana e Taboco (ao sul), é outro exemplo de drenagem interleque, mas sua planície de inundação é mais complexa: ao perder o confinamento a oeste, o rio segue para uma área perenemente inundada e adquire padrão multicanal.

A complexidade geomorfológica e hidrológica faz com que o Pantanal seja uma região de inundação sazonal, desigual e defasada. Desigual porque diferentes áreas experimentam inundações díspares em extensão, magnitude e duração. Defasada porque os picos de inundação não acontecem de forma sincronizada com os picos de chuvas: duas nítidas ondas de inundação migram de norte para sul e de leste para oeste. Assim, a área mais baixa, situada a sudoeste (Nabileque), tem inundação atrasada, com defasagem de 4 a 6 meses em relação ao pico de precipitação de verão.

Evidentemente, a magnitude das inundações anuais decorre do volume de chuvas e varia em resposta a ciclos climáticos. Mas é a geologia da bacia que determina maior ou menor grau de permanência e severidade da inundação, em determinadas áreas. Alguns fatores geológicos condicionam este funcionamento das águas e dos sedimentos (hidrossedimentar). A existência de falhas geológicas e de blocos mais subsidentes (que afundam mais) definem áreas com inundações mais prolongadas, por exemplo. E mudanças no curso de rios, com a construção de lobos deposicionais em áreas antes alagadas, favorecem a deposição de sedimentos e alteram o padrão de inundação e a paisagem local.

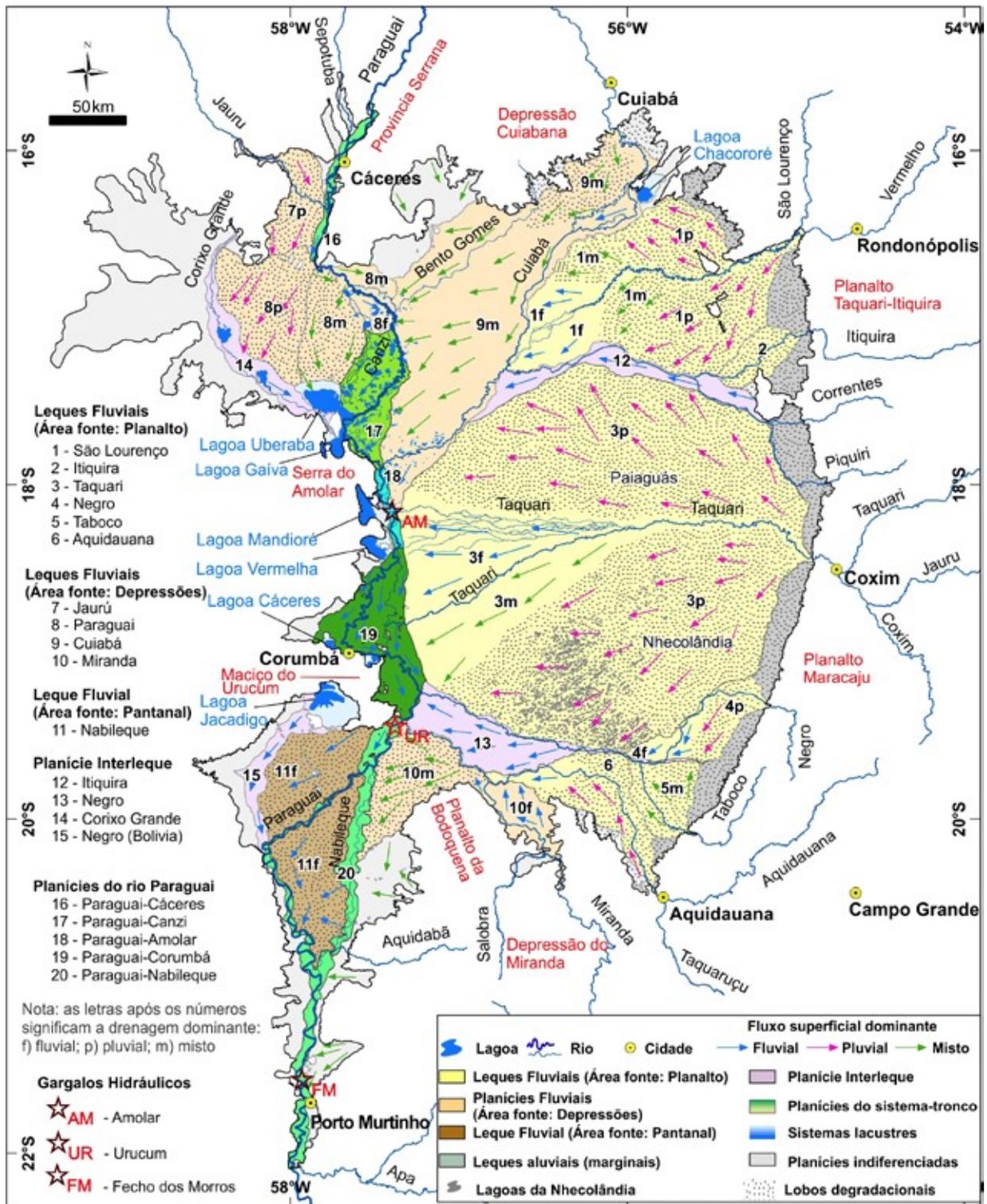
O funcionamento hidrológico do Pantanal é extremamente complexo porque coexistem e interagem diversos sistemas deposicionais muito dinâmicos e sensíveis a mudanças ambientais. O comportamento dos rios nos megaleques é bem diferente daquele das planícies interleque, promovendo padrões de inundação diversos e defasados entre si. Os três gargalos hidráulicos, existentes ao longo do curso do rio Paraguai (Amolar, Urucum e Fecho dos Morros), retardam o fluxo e promovem efeito remanso, atrasando a onda de cheia ao longo da planície.

A vazão dos rios oriundos do planalto, que formam os megaleques do Taquari, São Lourenço e Aquidauana, responde de forma quase imediata às chuvas. Estes rios correm em vales e transferem as águas dos planaltos direto para os lobos ativos situados nas suas porções mais baixas. Os canais existentes em seus lobos ativos são instáveis e mudam de posição com frequência. O Taquari, por exemplo, transfere água do Planalto de Maracaju diretamente para o lobo do Taquari Novo, onde o declive diminui bastante e ocorrem muitas bifurcações, com a formação de muitos canais e a deposição de grande parte da carga sedimentar.

Áreas de lobos abandonados – como Paiaguás e Nhecolândia, no megaleque do Taquari – não recebem água e sedimentos provenientes dos rios: o escoamento superficial é abas-

Anatomia Funcional do Pantanal

A planície é um extenso trato deposicional, com vários sistemas de sedimentação funcionando de forma integrada



tecido unicamente pelas águas das chuvas durante o verão. O escoamento ocorre na forma de fluxos em lençol ou confinados em canais conhecidos como vazantes, capazes de remobilizar sedimentos superficiais. Nos períodos mais secos, os fluxos subterrâneos são essenciais para suprir de água pequenos riachos (corixos), formando uma rede de drenagem de natureza erosiva.

Assim, além das águas e dos sedimentos provenientes da própria bacia de drenagem (situada a norte), o rio Paraguai recebe água e sedimentos de canais dos megaleques fluviais e

longo do rio Paraguai mostram claramente a defasagem das cheias em relação à precipitação, progressivamente maior rio abaixo, chegando a seis meses na estação de Porto Murquinho, à saída do Pantanal.

Quando se analisa toda essa dinâmica em relação às mudanças de uso das terras na planície pantaneira, ainda não se notam alterações significativas da paisagem, embora algumas atividades sejam crescentes – como é o caso da criação extensiva de gado. O mesmo não se pode dizer das tentativas de conter a dinâmica natural de

como se processa a sedimentação e como se desenrolam os pulsos anuais de inundação. Os pulsos anuais obedecem aos fluxos nos diferentes sistemas deposicionais. O conceito de fluxo tem que ser adaptado para o Pantanal, em especial para os domínios dos megaleques fluviais, pois neles não há uma planície de inundação confinada, mas sim lobos deposicionais modernos, que são áreas amplas nas quais o rio divaga e muda seu curso devido às frequentes avulsões (mudanças de curso a partir de arrombados).

Uma abordagem sistêmica é,

Google Earth Image © 2018 DigitalGlobe



das planícies interleque formados por rios provenientes de leste. A chegada das águas destes sistemas não é sincronizada, pois depende de regimes de chuvas em áreas distintas – do domínio Amazônia, a norte, e do domínio Cerrado, a leste. Isso complica ainda mais a propagação da onda de cheia. Além disso, a existência dos três gargalos hidráulicos mencionados, causando efeito remanso e inundações defasadas, aumentam a complexidade hidrológica da área. Dados de estações fluviais existentes ao

mudança dos cursos dos rios, sobretudo daqueles formadores dos sistemas de megaleques fluviais, que são intervenções humanas de maior amplitude. Ou do acentuado grau de mudança no uso das terras nos planaltos de leste, assim, com forte aumento do aporte de sedimentos para a planície pantaneira.

Um novo modelo mais detalhado de compartimentação da planície do Pantanal, que leve em conta o funcionamento hidrossedimentar dos sistemas naturais de sedimentação é de suma importância para entender

portanto, fundamental para descrever corretamente a complexa dinâmica que caracteriza as diferentes paisagens funcionais e a transferência de água e de sedimento entre os sistemas dentro do Pantanal. Isto requer a obtenção e a sistematização contínua de dados climáticos, hidrológicos, geológicos e sedimentológicos. Tal abordagem tem implicações para a compreensão e correta modelagem de processos ecológicos e intervenções que visem a conservação da biodiversidade em consonância

com o uso sustentável dos valiosos recursos naturais do Pantanal.

Uma classificação sistêmica deve levar em conta a anatomia funcional dos sistemas que compõem o trato deposicional do Pantanal, conforme apresentado por Assine e colaboradores, em 2015. No mapa ilustrado (pág. 17), os diferentes sistemas deposicionais são agrupados em cinco categorias, cada qual com características e funcionamento próprios: (1) megaleques fluviais formados por rios oriundos de planaltos sedimentares; (2) megaleques fluviais for-

tais, que se tornam áreas frequentemente inundadas e sítios de sedimentação atual; (2) a maior parte da superfície dos lobos antigos não recebe águas provenientes dos rios, sendo dominados por inundações produzidas pelo escoamento superficial das águas das chuvas; (3) algumas áreas dos lobos antigos têm contribuição de águas do rio formador do megaleque, seja por transbordamento ou arrombados, havendo nestes casos fluxo misto, constituído pelo escoamento superficial de águas das chuvas nas planícies e pelo fluxo do rio; (4) as pla-



mados por rios provenientes de terrenos pré-cambrianos dissecados (depressões); (3) megaleque do Nabileque situado na saída do Pantanal; (4) planícies interleque; (5) planícies do rio-tronco (Paraguai).

Em síntese, numa nova classificação, é fundamental levar em consideração que: (1) os megaleques fluviais funcionam como sistemas de hidrologia complexa, pois os rios estão confinados em vales na entrada do Pantanal, transferindo as águas para os lobos ativos situados nas partes dis-

nícies do rio Paraguai e dos rios interleques formam um sistema tributário dentro do Pantanal, coletando e transportando as águas dentro e para fora do trato deposicional; (5) a propagação da onda de cheia não é linear, pois a existência de três gargalos hidráulicos provoca restrição ao fluxo, efeito remanso e inundação de áreas mais largas da planície do rio Paraguai; (6) a última restrição é a da saída do Pantanal, onde a planície sofre estreitamento e o rio atravessa relevos elevados do Fecho dos Morros.



Milhares de lagoas e salinas compõem a paisagem da Nhecolândia, onde o escoamento superficial é abastecido pelas chuvas de verão.

