

UNESP
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS E CIÊNCIAS EXATAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA SEDIMENTAR

**SEDIMENTAÇÃO NA BACIA DO PANTANAL MATO-GROSSENSE,
CENTRO-OESTE DO BRASIL**

MARIO LUIS ASSINE

TESE DE LIVRE-DOCÊNCIA

Campus de Rio Claro
2003

Uma imagem vale mais do que mil palavras.
(provérbio chinês)

Uma imagem muda é perigosa, porque a busca de seu sentido fica livre.
(Eduardo Coutinho)

AGRADECIMENTOS

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo – FAPESP, cujo apoio financeiro ao projeto “Dinâmica sedimentar atual e evolução quaternária do leque aluvial do rio Taquari, Pantanal Mato-grossense” (processo - 99/00326-4), foi fundamental para que este trabalho pudesse ter sido realizado.

Ao Prof. Dr. Paulo César Soares, que me despertou o interesse pelo tema e com quem tenho trabalhado há anos no estudo do Pantanal.

Ao Prof. Dr. Rodolfo José Ângulo e aos geólogos Maria Cristina de Souza e Alfredo D. Araújo, da UFPR, por participarem da aventura de realizar as sondagens com vibrotestemunhador no Pantanal, descrever e interpretar os testemunhos recuperados, além das discussões profícuas sobre o tema.

À geóloga Angélica A. Zacharias, pela inestimável e incansável ajuda na preparação de muitas das figuras e da edição do texto.

Ao geólogo Alexandre Berner, que também participou dos trabalhos de campo e ajudou na confecção de muitas das figuras apresentadas.

Aos colegas do Laboratório de Análise de Bacias – LEBAC, da Unesp – Rio Claro, pelo apoio; em especial ao Prof. Dr. Chang Hung Kiang, por disponibilizar a infra-estrutura do laboratório, ao Dr. Flávio Luis Fernandes, pela confecção dos modelos digitais do relevo do Pantanal, e aos geofísicos Antonio J. Catto e Júlio Tinen, pela ajuda na tentativa de recuperar informações sobre levantamentos sísmicos no Pantanal.

Ao Prof. Dr. José Alexandre J. Perinotto, pela leitura crítica de parte do texto e sugestões apresentadas.

Ao Prof. Dr. José C. Stevaux, pelo empréstimo de um trado motorizado e, principalmente, pelo incentivo para estudar os sistemas fluviais.

À Embrapa/Pantanal, pelo apoio para a realização dos trabalhos de campo na área da fazenda Nhumirim; em especial ao colega Carlos R. Padovani que há anos tem colaborado nos trabalhos desenvolvidos no Pantanal.

Ao Prof. Dr. Paulo César Fonseca Giannini, pelo apoio na análise de amostras; ao Prof. Dr. Paulo César Boggiani, pela ajuda e apoio aos trabalhos realizados no Pantanal; ao Prof. Dr. J. Berrocal, pelo envio de informações sobre terremotos na área; à Prof^a Dr^a Naomi Ussami pela gentileza em disponibilizar informações geofísicas sobre o Pantanal; ao Prof. Dr. Alberto Pio Fiori, que gentilmente disponibilizou imagens de satélite; ao Prof. Dr. Giancarlo Lastória pelo apoio em alguns dos trabalhos no Pantanal; ao geólogo Renato Garcia, que também colaborou em alguns dos trabalhos de campo.

À Universidade Estadual Paulista, pela oportunidade oferecida de prestar o concurso de Livre-Docência, e aos meus orientadores de mestrado e doutorado, respectivamente, Profs. Drs. Ercílio Gama Jr. e Setembrino Petri, que muito colaboraram para que eu pudesse chegar até aqui.

Às secretárias do Departamento de Geologia Aplicada, que me ajudaram nos trâmites e na preparação do memorial; ao Cezário pela ajuda na confecção de muitas das figuras; enfim, a tantos amigos que me colaboraram na maratona de preparar todo o material necessário.

RESUMO

O Pantanal é uma bacia sedimentar quaternária localizada na Bacia do Alto Rio Paraguai, na Região Centro-Oeste do Brasil. A sucessão estratigráfica mostra afinamento textural para o topo e preenchimento essencialmente siliciclástico. O trato de sistemas deposicionais é composto por uma planície fluvial meandrante como sistema distal de vários leques aluviais dominados por rios, dos quais o mais notável é o megaleque do rio Taquari. Na paisagem atual há muitas feições geomórficas herdadas de diferentes climas, que produziram registros de uma sucessão de eventos do Pleistoceno ao Holoceno. A geometria original de vários leques aluviais de rios entrelaçados está preservada como formas reliquias, sendo facilmente reconhecíveis em imagens de satélite, onde são visíveis paleocanais distributários. Processos eólicos foram ativos em alguns lobos abandonados, enquanto outros lobos eram construídos, tendo sido provavelmente mais efetivos durante o período de máximo glacial. Lagoas bordejadas por dunas de areia em meia-lua, originalmente depressões de deflação, são formas eólicas reliquias na paisagem do Pantanal. A paisagem tem continuamente mudado desde o fim do Pleistoceno, numa adaptação a um ambiente mais úmido e quente, dominante no Holoceno. O surgimento das modernas terras úmidas (*wetlands*) ocorreu na transição do Pleistoceno para o Holoceno, assim como a individualização dos sistemas lacustres. O Pantanal, como hoje o conhecemos, é uma vasta planície com gradiente topográfico muito baixo e de lento escoamento superficial das águas, por isso sazonalmente inundável nos meses de verão e outono. Apesar das mudanças climáticas, os leques aluviais permaneceram sistemas deposicionais ativos. Novos lobos foram formados ao mesmo tempo em que lobos antigos foram submetidos a processos de pedogênese e erosão por sistemas fluviais tributários. Estes se superimpuseram sobre o padrão distributário dos paleocanais, formando canais perenes e intermitentes, freqüentemente chamados de vazantes. Sedimentação atual ocorre principalmente na planície meandrante do Paraguai, na franja dos leques do Cuiabá e do São Lourenço, e no lobo distributário atual do megaleque do Taquari, áreas que experimentam forte inundação anual. O rio Taquari apresenta padrão distributário de drenagem no lobo atual de sedimentação, caracterizado pela existência de muitos pontos de avulsão. Canais abandonados e lóbulos de areia ocorrem na planície de inundação, testemunhando o caráter mutante do canal do rio. O rio Taquari está confinado na parte superior do megaleque, num cinturão de meandramento entrincheirado em sedimentos de lobos antigos e limitado por terraços marginais. Tectônica tem atuado também no desenvolvimento da paisagem do Pantanal, mudando níveis de base de erosão e gradientes topográficos, assim como condicionado o curso do rio Paraguai na borda oeste da bacia. Feições de direção NE dentro da planície indicam atividade tectônica sinsedimentar, estando associadas a estruturas do Lineamento Transbrasiliano. Avulsão e mudança no curso dos rios são fenômenos naturais na evolução de leques aluviais, mas estão agora acelerados pela ação antrópica. No rio Taquari, por exemplo, as taxas de agitação no canal tem aumentado, disparando processos de avulsão na parte inferior do leque, com mudanças rápidas e de grande magnitude no curso do rio.

ABSTRACT

SEDIMENTATION IN THE PANTANAL SEDIMENTARY BASIN, WEST-CENTRAL BRAZIL The Pantanal is a Quaternary sedimentary basin located at the left margin of the Upper Paraguay River, west-central Brazil. Basin infilling was mainly by siliciclastic sediments and the stratigraphic succession exhibits an overall fining-upward pattern. The depositional system tract is composed by a large meandering fluvial plain and several marginal alluvial fans, being the Taquari megafan the most striking feature. The present landscape is a complex tropical wetland, with geomorphic features derived from the present conditions and other inherited from successive Pleistocene and Holocene climates. During the Pleistocene, the sedimentary environment was dominated by braided alluvial fans, the original geometry of which is preserved as relict forms, permitting remarkable patterns of distributary paleochannels to be easily recognized in satellite images. Eolian processes were active in some abandoned lobes, contemporaneously with sedimentation in active fan lobes. Closed ponds bordered by lunette sand dunes, originally salt pans produced by eolian deflation, are relict eolian landforms in the Pantanal landscape. Eolian processes were probably more effective at the glacial maximum. Landscape has been changing in the Pantanal area since the end of the Pleistocene in adaptation to a more humid and warmer environment prevailing during Holocene. Initiation of the modern wetland has occurred during the Pleistocene / Holocene transition, with the change to a more humid climate and the individualization of lacustrine systems. The modern Pantanal wetland is a vast expanse of poorly drained lowlands that experiences annual flooding from summer to fall months. Although climatic fluctuations have occurred during all the Holocene, the alluvial fans have remained active depositional systems and lobes were formed by progradation and abandonment. Abandoned lobes were subjected to pedogenesis and fluvial incision, so that superimposed drainage systems were established over ancient lobes. Nowadays, sedimentation occurs mainly in the Paraguay meandering plain, in the base of Cuabá and São Lourenço fans, and in the active Taquari fan lobe, areas of strong annual flooding. The Taquari river exhibits a distributary drainage pattern and is characterized by the existence of many points of avulsion. Abandoned channels and sand lobules inside the flood plain testify the changing nature of the river channel. The Taquari River is entrenched in ancient fan lobes in the upper fan and sedimentation takes place in a meandering belt confined by terraces. Tectonics has been playing an important role in the development of the Pantanal landscape as a whole, changing base levels and topographic gradients, and constraining the Paraguay fluvial plain in the western border of the basin. Sedimentation within the Pantanal wetland is also affected by tectonic activity, especially along faults associated with the Transbrasiliiano Lineament. Avulsion and shifting are natural sedimentary processes in the evolution of the alluvial fans and have been occurring since the Pleistocene, but they are now accelerated by human occupation. The Pantanal landscape is changing very rapidly because sedimentary processes in the alluvial fans tend to occur at a faster pace than ever before. In the Taquari River, for example, the rates of channel aggradation is increasing, triggering avulsion in the lower fan and changing dramatically the river course.

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. Concepção do mito de Xarayes.....	2
1.2. O surgimento da denominação Pantanal.....	4
1.3. Contexto geológico.....	5
1.4. Escopo do trabalho.....	7
1.5. Métodos utilizados e trabalhos realizados.....	7
2. BACIA SEDIMENTAR DO PANTANAL.....	14
3. SISTEMAS DE LEQUES ALUVIAIS: UMA DISCUSSÃO CONCEITUAL.....	24
3.1. Características dos sistemas de leques aluviais.....	24
3.2. Leques dominados por fluxos gravitacionais.....	27
3.3. Leques dominados por rios.....	32
4. TRATO DEPOSICIONAL DO PANTANAL.....	37
4.1. Sistemas de leques aluviais.....	38
4.2. Sistema de planícies fluviais.....	40
4.3. Sistemas lacustres.....	44
5. MEGALEQUE DO TAQUARI.....	47
5.1. Bacia de drenagem.....	47
5.2. Cinturão de meandramento.....	50
5.3. Lobo distributário atual.....	51
5.4. Lobos abandonados.....	55
5.5. Nhecolândia.....	55
5.6. Comparação com outros leques aluviais.....	59
6. PALEOGEOGRAFIA E PALEOCLIMATOLOGIA.....	61
6.1. Cronologia dos eventos.....	61
6.2. Eventos no Pleistoceno.....	64
6.3. Eventos no Holoceno.....	71
7. SEDIMENTAÇÃO ATUAL.....	75
7.1. Processos alocíclicos e autocíclicos.....	75
7.2. Tectônica e sedimentação aluvial.....	79
7.3. Dinâmica sedimentar.....	84
7.4. Paisagem mutante.....	89
8. INTERFERÊNCIA ANTRÓPICA NO SISTEMA NATURAL DO PANTANAL.....	97
9. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	101
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	102

ÍNDICE DAS TABELAS

01	Poços perfurados no Pantanal pela Petrobrás.....	15
02	Resultados das datações.....	65

ÍNDICE DAS FIGURAS

01	Pantanal Mato-grossense: A) Mapa de localização; B) Mapa digital do terreno, com destaque para terras abaixo da cota altimétrica de 200m.....	1
02	Lago de Xarayes em: A) Mapa do Paraguai datado de 1640; B) Mapa da América do Sul datado de 1749.....	3
03	Modelo digital do relevo da Região Centro-Oeste.....	6
04	Mapa da bacia do Alto Rio Paraguai.....	8
05	Cenas dos trabalhos de campo.....	10
06	Localização das quatro áreas onde foram concentrados os trabalhos de campo.....	11
07	Mapa Geológico	14
08	Mapa de isópacas da Formação Pantanal e locação dos poços perfurados na bacia pela Petrobrás na década de 60	16
09	Transecta E-W, do Pacífico à borda oeste da Bacia do Paraná.....	18
10	Modelo digital do relevo do Pantanal.....	19
11	Lineamento Transbrasiliano.....	20
12	Terremotos no Brasil.....	21
13	Seção sísmica A-B.....	22
14	Anomalia térmica na região do Pantanal	23
15	Leque aluvial atual, com extensão de aproximadamente 80 km do ápice à base, na borda sul do deserto de Gobi, Gansu, China.....	25
16	Perfis topográficos em leques aluviais.....	25
17	Canal entrincheirado e formação de novo lobo deposicional a jusante do ponto de intersecção.....	26
18	Leques dominados por fluxos gravitacionais.....	28
19	Modelo deposicional de leques aluviais.....	29
20	Perfis estratigráficos verticais mostrando fácies características das porções	

	proximais de leques dominados por fluxos gravitacionais.....	30
21	Leques de rios entrelaçados.....	33
22	Leques de rios entrelaçados em planícies de <i>outwash</i>	34
23	Leques de rios de baixa sinuosidade / meandantes.....	35
24	Comparação do tamanho de alguns leques aluviais atuais	36
25	Trato de sistemas deposicionais do Pantanal Mato-grossense.....	37
26	Perfil do rio Paraguai no Pantanal	38
27	Leque do São Lourenço.....	39
28	Leque do Paraguai – Corixo Grande	39
29	Porção superior do leque do Taquari.....	41
30	Leques dominados por fluxos gravitacionais.....	42
31	Planície fluvial meandrante do rio Paraguai a norte de Corumbá (Pantanal do Paraguai-Paiaguás).....	42
32	Meandro do rio Paraguai com desenvolvimento de barras em pontal.....	43
33	Planície fluvial do rio Piquiri, que se apresenta como um rio meandrante de alta sinuosidade.....	43
34	Planície fluvial do rio Negro a sul da região de lagoas da Nhecolândia	44
35	Lagoas de Mandioré e Vermelha	45
36	Trato de sistemas deposicionais na borda oeste da Bacia do Pantanal, onde vários sistemas lacustres podem ser visualizados na margem direita do rio Paraguai, na divisa com a Bolívia.....	46
37	Mapa do leque do Taquari, mostrando curvas de nível (metros), paleocanais, cinturão de meandramento na porção superior do leque, lobo distributário atual e estações fluviométricas.....	48
38	A bacia de drenagem do rio Taquari , no planalto de Maracaju, sobre rochas terrigenas paleozóicas e mesozóicas da Bacia do Paraná.....	49
39	Cinturão de meandramento na parte superior do megaleque do Taquari.....	50
40	Margem côncava do rio Taquari na localidade de Barranqueiras.....	51
41	Medidas de vazão (ou fluxo) do rio Taquari em três estações fluviométricas.....	52
42	Perfil longitudinal do rio Taquari.....	52
43	Padrão de drenagem no lobo distributário atual do megaleque do Taquari.....	53
44	Avulsão no baixo curso do rio Taquari, conhecido como arrombado Zé da Costa...	54
45	Subdivisão morfológica do megaleque do Taquari com base no padrão geométrico dos paleocanais.....	56
46	Paleocanais na região norte do leque do Taquari.....	57
47	Região da Nhecolândia (porção sul do leque), com a típica paisagem das lagoas..	57

48	Lagoas da Nhecolândia.....	58
49	Salinas são isoladas da drenagem superficial por cordões marginais de areia (cordilheiras).....	58
50	Distinção entre lagoas de água doce e salinas em imagem AVIRIS.....	59
51	Vazantes.....	60
52	Comparação do tamanho do Taquari com outros megaleques.....	60
53	Localização dos pontos de amostragem na Nhecolândia.....	62
54	Localização dos pontos de amostragem na Alta Nhecolândia.....	63
55	Localização dos pontos de amostragem a norte do rio Taquari.....	63
56	Testemunhos obtidos nas sondagens realizadas.....	65
57	Leques aluviais do Pantanal, com destaque para áreas submetidas à deflação eólica.....	68
58	Cordões arenosos mais elevados que a superfície das salinas, considerados dunas em meia-lua.....	69
59	Comparação entre imagens de radar e de satélite de uma área da Nhecolândia....	70
60	Lajes de calcários impuros portadores de fragmentos de conchas de gastrópodes.	73
61	Entrincheiramento e formação de leques secundários.....	76
62	Seqüência vertical de fácies em leques aluviais.....	77
63	Leques aluviais na província Xinjiang no noroeste da China	80
64	Modelo digital do terreno do Pantanal, com relevo realçado para terrenos abaixo da cota altimétrica de 700m.....	80
65	Rio Paraguai, fluindo de norte para sul no Pantanal do Jacadigo-Nabileque.....	82
66	Lineamentos em imagens de satélite, interpretados como traços de falhas ativas no interior do megaleque do Taquari	83
67	Padrão distributário de drenagem no leque do Cuiabá.....	85
68	Bloco diagrama representando a sucessão de processos que culmina com a avulsão do canal.....	87
69	Esquema ilustrativo da evolução do leque do Taquari, que se dá pela construção e abandono de lobos.....	88
70	Lóbulos em abandono e em construção na foz do rio Taquari.....	88
71	Mudanças de curso do rio Kosi nos últimos 300 anos.....	89
72	Sucessão temporal de imagens de satélite registrando a mudança no curso do rio Taquari a partir da avulsão Zé da Costa durante a última década.....	90
73	Mapa da foz do rio Taquari, mostrando o atual canal do rio em 1999 e o antigo traçado do canal em 1973.....	91
74	Parte superior do lobo distributário atual, onde o rio apresenta barras arenosas emergentes no seu leito e há rompimento dos diques marginais com formação de leques de crevasse	92

75	Rompimento de diques marginais do rio Taquari na altura da fazenda Caronal.....	93
76	Fenômeno de avulsão do canal do Taquari na altura da fazenda Caronal.....	94
77	Novo canal distributário na margem direita do rio Taquari, formado a partir de rompimento de diques marginais na altura da fazenda Caronal.....	95
78	Traçado aproximado do novo distributário na margem direita do rio Taquari, a partir de rompimentos do dique marginal na altura da fazenda Caronal.....	96
79	Defasagem das cheias em diferentes pantanais, numa análise de um período de nove anos que mostra variação na magnitude das cheias	98
80	Nível médio do rio Paraguai na estação fluviométrica de Ladário	100

1. INTRODUÇÃO

O rio Paraguai tem suas nascentes no Planalto dos Parecis, Estado de Mato Grosso, correndo em terras brasileiras apenas em seu alto curso. Atravessa, a seguir, todo o Paraguai até a divisa com a Argentina, onde deságua no Rio Paraná, do qual é o principal afluente.

A bacia hidrográfica do alto rio Paraguai ocupa uma área de aproximadamente 345.000 km² em território brasileiro, dos quais cerca de 135.000 km² constituem a planície úmida (*wetland*) do Pantanal. As altitudes na planície do Pantanal variam entre 80 e 190m acima do nível do mar, caracterizando uma região deprimida circundada por planaltos (Figura 1).

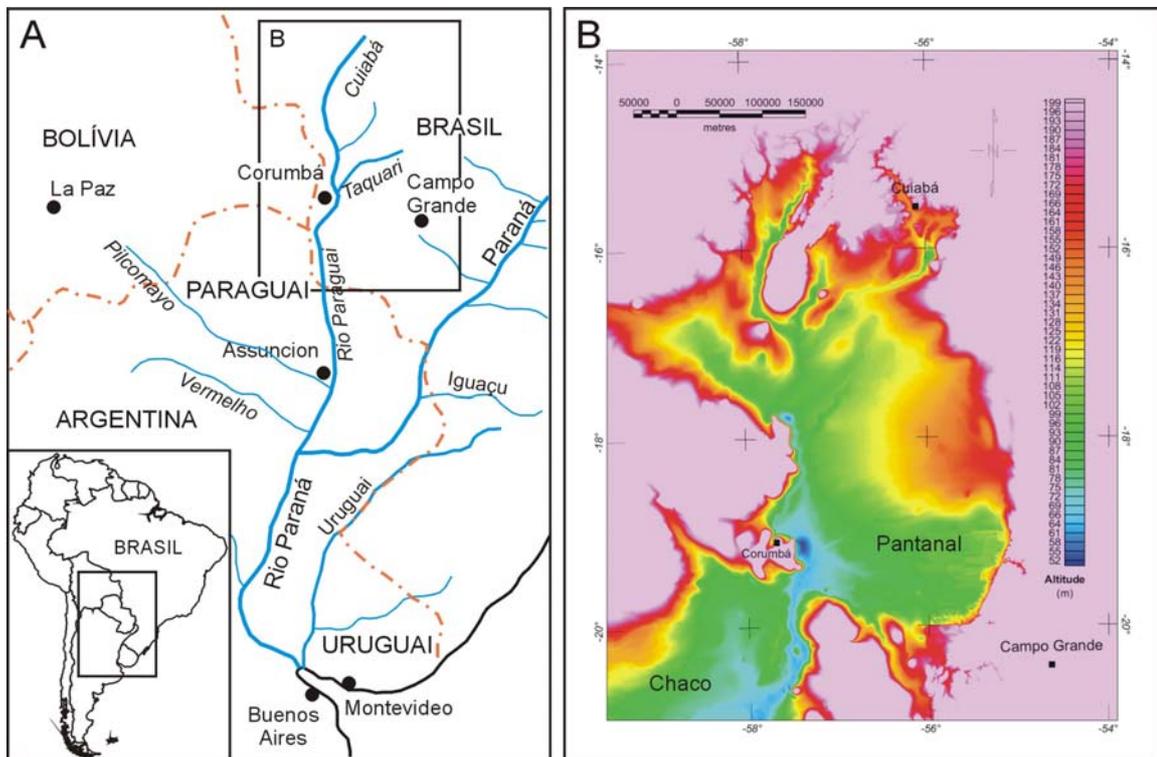


Figura 1 – Pantanal Mato-grossense: A) Mapa de localização; B) Mapa digital do terreno, com destaque para terras abaixo da cota altimétrica de 200m. (confeccionado a partir de dados digitais do terreno, USGS - Dtopo30).

O Pantanal é uma área mundialmente conhecida como um importante ecossistema, rico pela sua grande biodiversidade, onde a ocupação humana é ainda de densidade baixa e as atividades econômicas são restritas à pecuária.

Considerando que o contexto histórico é muito importante para entender o Pantanal, antes de caracterizá-lo como entidade geológica e relacionar os objetivos deste trabalho, são a seguir apresentados a concepção do mito de Xarayes e o surgimento da denominação Pantanal.

1.1. A concepção do mito de Xarayes

Pelo Tratado de Tordesilhas, toda a bacia hidrográfica do Paraguai estava situada em terras pertencentes à Espanha. Os espanhóis, motivados por fabulosas narrativas que davam conta da existência de grandes riquezas minerais, montaram várias expedições para explorar as nascentes do rio Paraguai. A história é tema do excelente livro “História de Um País Inexistente” (Costa 1999), de onde são extraídos os trechos abaixo:

“De Assunção passaram a sair os conquistadores, sempre pelo rio Paraguai acima, à procura das contadas riquezas. Nessas entradas começaram a descobrir um lugar intensamente aquático, nomeando lagoas, rios, baías, montes e portos. Era um mundo onde realidade e fantasia se imbricavam.

Em sua procura encontraram Xarayes, lugar de grandes águas entrecortadas por rios e habitado por milhares de indígenas. Próximo dali descobriram grandes baías e numa delas fundaram Puerto de los Reyes, que passou a ser o principal entroncamento para as entradas às terras de onde supunham brotar as notícias fabulosas. Logo depois, Xarayes converte-se em uma das portas de entrada para o reino das guerreiras Amazonas e para o Eldorado. Suas primeiras descrições apareceram ainda no início do século XVI, foram os conquistadores espanhóis Cabeza de Vaca-Pedro Hernández, Hernando de Ribera e o soldado alemão a serviço da Espanha Ulrico Schmidl que, através das suas narrativas, introduziram a paisagem inundável da bacia alto-paraguaia no imaginário ocidental.

No entanto esses narradores, apesar de se referirem à região como um espaço fluvial lacustre, não descrevem Xarayes como uma lagoa. Em suas narrativas surge um lugar de farta comida, habitado por indígenas possuidores de prata e ouro. Quem transformou a região numa lagoa foi Antonio de Herrera em sua História general de los hechos castellanos em las islas e tierras-firme del mar océano, publicada pela primeira vez em 1601-1615. Ao descrever a região encravada no interior da então Província Del Paraguay, Herrera chamou-a de Laguna, inspirando-se em documentos dos conquistadores, e a inscreveu na geografia das conquistas espanholas. Desde então, a área inundável da bacia alto-paraguaia passou a ser reconhecida como a fabulosa Laguna de los Xarayes.” (páginas. 17-18)

Xarayes adquiriu assim expressão cartográfica, passando a ser representada nos mapas confeccionados a partir da primeira metade do século XVII. Muitos deles podem ser encontrados no magnífico livro “Tesouro dos Mapas” (Miceli 2002), como os mapas apresentados na figura 2.

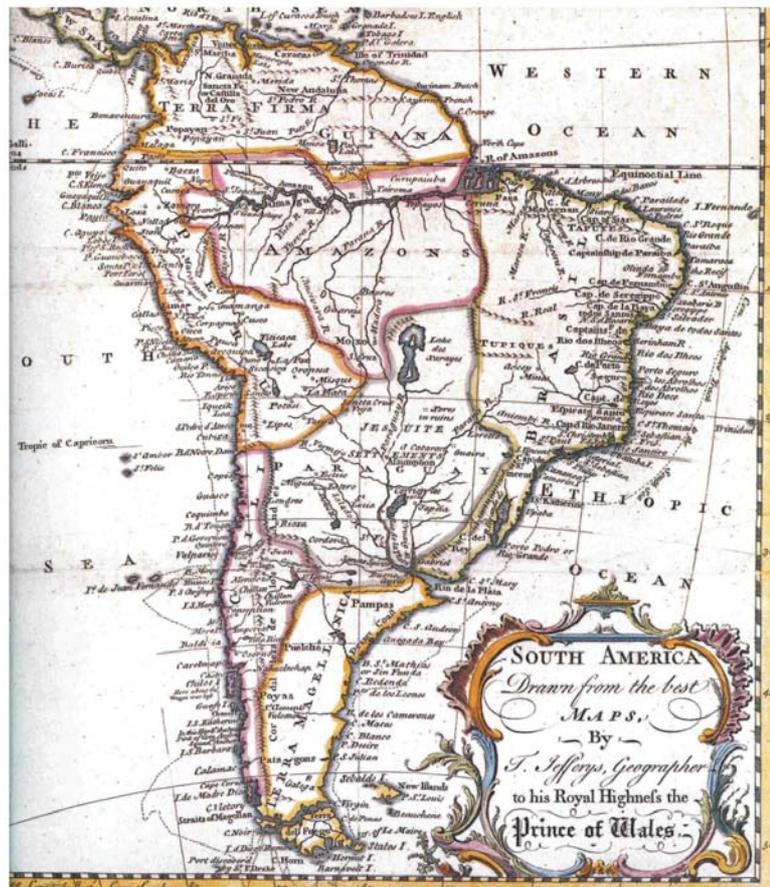
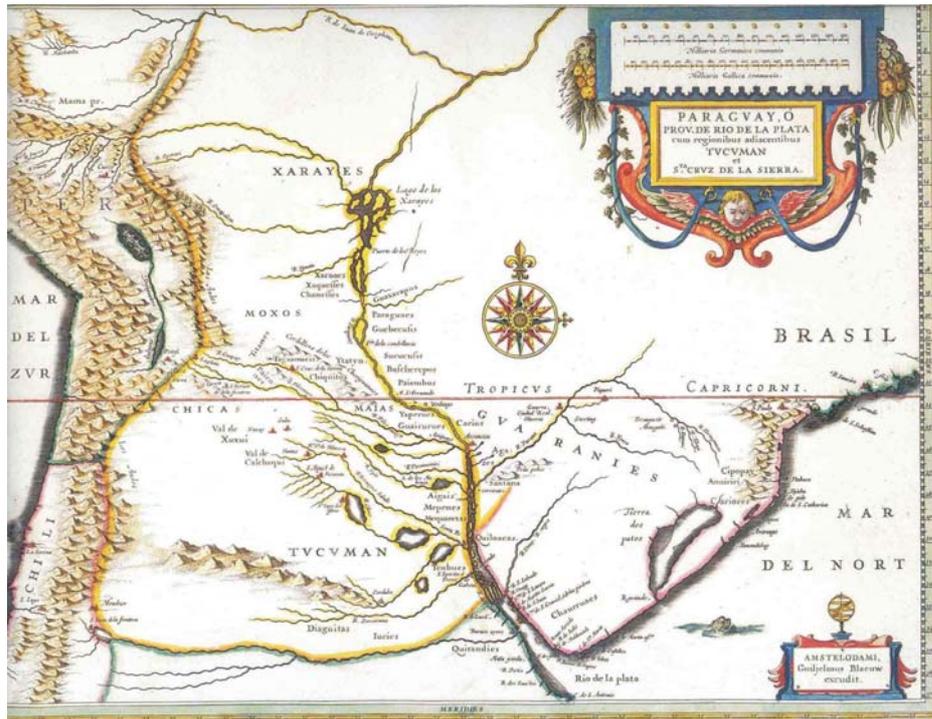


Figura 2 – Lago de Xarayes em: A) Mapa do Paraguai datado de 1640 (Hondius II); B) Mapa da América do Sul datado de 1749 (T. Jefferys).

1.2. O surgimento da denominação Pantanal

Motivados pelas descobertas de ouro, no século XVII os bandeirantes avançaram para oeste em direção a Cuiabá, tendo como vias de transporte os rios Tietê, Paraná, Pardo, Taquari, Paraguai e Cuiabá, conforme escreveu Costa (1999):

Depois que os bandeirantes, liderados por Raposo Tavares, avançaram e destruíram Guairá e Itatim em meados do século XVII, a região da bacia do Alto Rio Paraguai passou a ser freqüentada por paulistas que buscavam descobrir minerais e escravizar índios. Com este objetivo Pascoal Moreira Cabral subiu os rios do Alto Paraguai e, em 1719, encontrou ouro, criando um núcleo de povoamento minerador em Cuiabá. Para lá, então, passou a afluir um grande número de aventureiros, estabelecendo-se em volta das minas. Para abastecer e povoá-las, amiudaram-se expedições que, saindo de São Paulo, para lá transportaram negociantes, mineradores e quantos se deixassem seduzir pela miragem do enriquecimento fácil; eram as Monções do Cuiabá, como as definiu Sérgio Buarque de Holanda. Estas deixavam as terras paulistas pelo rio Tietê e avançavam as águas do Paraná, Pardo, Camapuã, Coxim e, daí, entrando pelo Taquari, Paraguai, Xianes, dos Porrudos (o São Lourenço) e Cuiabá, chegando enfim àquelas minas. Passou, então, a existir um surto migratório para oeste, transformando os rios pantaneiros em caminhos das Monções.

O termo monções dado a estas expedições referia-se ao fato de que inicialmente estas viagens se realizavam durante o inverno, por ser a época em que os rios tornavam-se mais favoráveis à navegação. (páginas 180- 181).

A partir do baixo curso do rio Taquari, os bandeirantes encontraram terras alagáveis, que se estendiam pelos rios Paraguai e Cuiabá acima. Passaram a referir-se a elas como Pantanal, o que está muito bem esclarecido nos textos abaixo, extraídos do livro escrito por Costa (1999):

Em meados do século XVIII, a mesma região passou a ser o Pantanal. A denominação foi dada pelos portugueses del Brasil, os monçoeiros. Estes, seguindo as rotas abertas pelos bandeirantes paulistas, avançaram além dos limites fixados em 1494 em Tordesilhas e, no início dos anos setecentos, fizeram daquelas águas seu caminho às terras conquistadas. Desconhecendo a Laguna de los Xarayes e a geografia castelhana, ao chegarem à planície inundável da bacia do Alto Rio Paraguai, denominaram-na Pantanaís; segundo definiram, ‘são campos alagados, com várias lagoas e sangradouros’. (página19)

Diferentemente das entradas espanholas realizadas com bergantins que, pelo seu tamanho, não navegavam os rios menores, estas novas expedições utilizavam embarcações de formato indígena – grandes canoas esculpidas no interior do tronco inteiro de uma árvore, “sem quilha, sem lema, nem navegação a vela”, os batelões -- , que

tanto cruzavam os grandes rios Paraná e Paraguai, como os de pouca água. Estas possibilitaram aos monçoeiros subir os rios de além Xarayes. A sua direção era de responsabilidade dos pilotos práticos, empíricos conhecedores daqueles labirínticos caminhos. (página 182)

No horizonte histórico, portanto, o Pantanal aparece como uma invenção luso-brasileira tendo sua origem em meados do século XVIII. Sua primeira definição foi encontrada num texto de 1727: ‘Pantanal chamam os Cuiabanos a umas vargens muito dilatadas, que começando no meio do Taquari, vão acabar quase junto ao mesmo rio Cuiabá’. Trata-se, portanto, de uma denominação dada pelos mamelucos paulistas que durante o século XVIII percorriam a região com suas Monções. Estes, ao dominarem o espaço, dominaram também sua imagem constitutiva.

Durante alguns anos, a castelhana Laguna de los Xarayes convive com o luso-brasileiro Pantanal. Porém, pouco a pouco, essas imagens acoplam-se, e os campos alagados pantaneiros se sobrepõem à secular e fabulosa lagoa. Em seguida, o mistério é desfeito. Em meados do século XVIII, os demarcadores de limites, com seus saberes ilustrados, despiram-na das maravilhas quinhentistas e a dimensionaram como espaço geograficamente determinado. A famosa lagoa passou então a ser nada mais que o rio Paraguai espraiado. ‘Esse rio, não podendo conter todas estas águas no seu leito, as estende de um lado a outro, porque o país é horizontal’, resumiu o demarcador Félix de Azara. Todavia, estas águas espraiadas já eram os campos alagados do Pantanal. (páginas 19-20)

Entretanto, o mito sobre a existência de Xarayes persiste ainda hoje no imaginário popular. Não mais simplesmente como uma laguna, mas como um mar, que no passado teria coberto todas as terras baixas da Bacia do Alto Paraguai. Assim, o termo “Mar de Xaraiés” é freqüentemente utilizado, mesmo na mídia, embora na maioria vezes sem conotação precisa, algumas vezes como sinônimo de Pantanal. Por exemplo, em reportagem do Jornal O Estado de São Paulo, de 17 de janeiro de 1999, encontra-se a seguinte passagem: “Outra produção a ser exibida no fim do ano é Pantanal - Mar de Xaraiés. Novo projeto da Canal Azul, do mergulhador e videomaker Lawrence Wahba, é uma co-produção com um canal de TV da Nova Zelândia”.

1.3. Contexto geológico

A análise dos trabalhos publicados permitiu constatar que o conhecimento existente sobre a geologia da Bacia do Pantanal é ainda extremamente pobre. Há poucas informações sobre tectônica, cronoestratigrafia, evolução paleogeográfica e processos sedimentares atuais.

O Pantanal é uma bacia sedimentar tectonicamente ativa, caracterizada por uma dinâmica sedimentar que produz mudanças constantes na paisagem. Muitas das feições morfológicas existentes são formas reliqueares de uma evolução paleogeográfica condicionada por mudanças climáticas e tectônicas que vêm ocorrendo desde o final do Pleistoceno.

As planícies do Pantanal compõem parte de uma unidade geomorfológica denominada Depressão rio Paraguai, que é circundada pelos planaltos de Maracaju-Campo Grande e Taquari-Itiquira a leste, Guimarães e Parecis a norte, Urucu-Amolar a oeste e Bodoquena a sul (Figura 3).

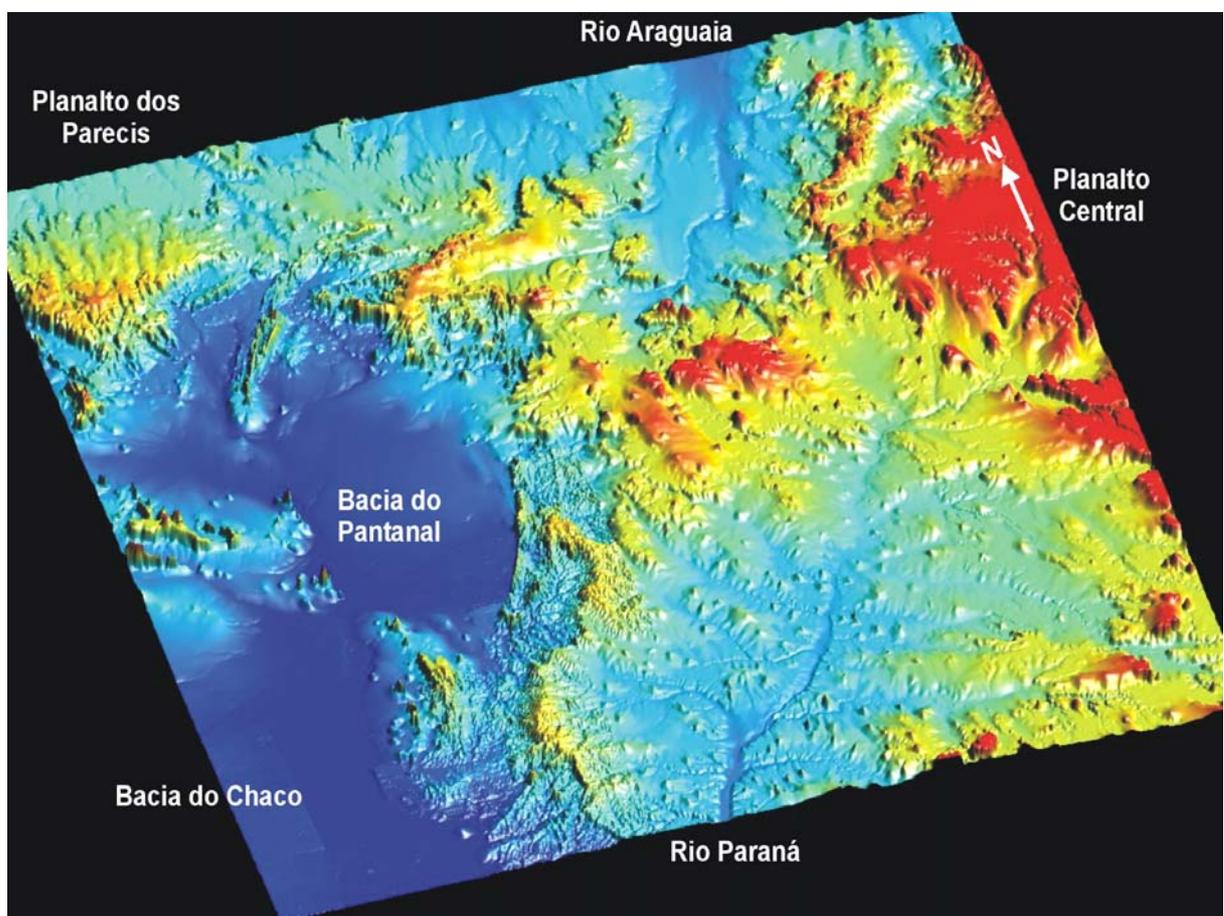


Figura 3 – Modelo digital do relevo (confeccionado a partir de dados digitais do terreno, USGS - Dtopo30). A Bacia do Pantanal é separada da Bacia do Chaco (situada no Paraguai) por uma estreita passagem no Planalto Residual do Urucu-Amolar, entalhada em terrenos pré-cambrianos.

Embora a denominação Pantanal derive da palavra pântano, o Pantanal não é um grande pântano. É uma planície alagável (*wetland*) que experimenta extensa e prolongada inundação sazonal que se prolonga de janeiro a junho, mas com picos de inundação máxima em meses distintos em diferentes compartimentos geográficos da planície.

Com base nas características das inundações, o Pantanal foi subdividido em nove diferentes pantanais, subdivisão que reflete a compartimentação geomorfológica da planície (Figura 4). O Paraguai é o rio-tronco de um trato deposicional composto principalmente por vários grandes leques aluviais marginais. Dentre os leques, o do Taquari (Braun 1977) é o mais espetacular, perfazendo cerca de 37% da área da planície pantaneira, o que o coloca entre os maiores leques aluviais do mundo.

1.4 - Escopo do trabalho

O escopo deste trabalho é caracterizar a sedimentação quaternária da bacia do Pantanal Mato-grossense, visando apresentar uma análise que contemple o maior número de aspectos envolvidos na sua geologia. Todavia, uma vez que informações de subsuperfície são escassas e muito vagas, a análise foi centrada no trato de sistemas deposicionais que produziu a atual geomorfologia da planície.

1.5 – Métodos utilizados e trabalhos realizados

Como a Bacia do Pantanal é uma bacia sedimentar interior, o espaço de acomodação é condicionado essencialmente pela tectônica da bacia e de seu entorno. Assim, antes de tudo foi necessário levantar as informações disponíveis sobre a bacia, para que se pudesse delinear, ao menos em suas linhas gerais, o arcabouço tectônico no qual tem-se processado o preenchimento sedimentar da bacia. Os resultados obtidos são discutidos no capítulo 2, onde são fornecidas as escassas informações existentes sobre o embasamento, os principais elementos estruturais e as informações de subsuperfície. Os dados foram analisados em conjunto à luz da hipótese tectônica aventada para explicar sua origem.

Sobre o preenchimento sedimentar da bacia, há muito vem sendo ressaltada a existência de vários leques aluviais como ambientes deposicionais principais, em grande parte responsáveis pelo modelado atual da paisagem. Não são, entretanto, leques daquele tipo clássico estudado por Bull (1963) no vale da Morte na Califórnia, onde os fluxos gravitacionais são os principais agentes deposicionais. São leques construídos essencialmente por rios, como os leques dos rios Kosi (Índia) e Okavango (Botswana). A classificação destes sistemas como leques aluviais foi questionada por Blair & McPherson (1994), o que gerou uma dicotomia nos anos 90 com relação ao conceito de leque aluvial. Sendo assim, julgou-se

conveniente fazer uma revisão da literatura sobre leques aluviais, procurando-se adotar conceitos norteadores para o trabalho, o que está apresentado no capítulo 3.

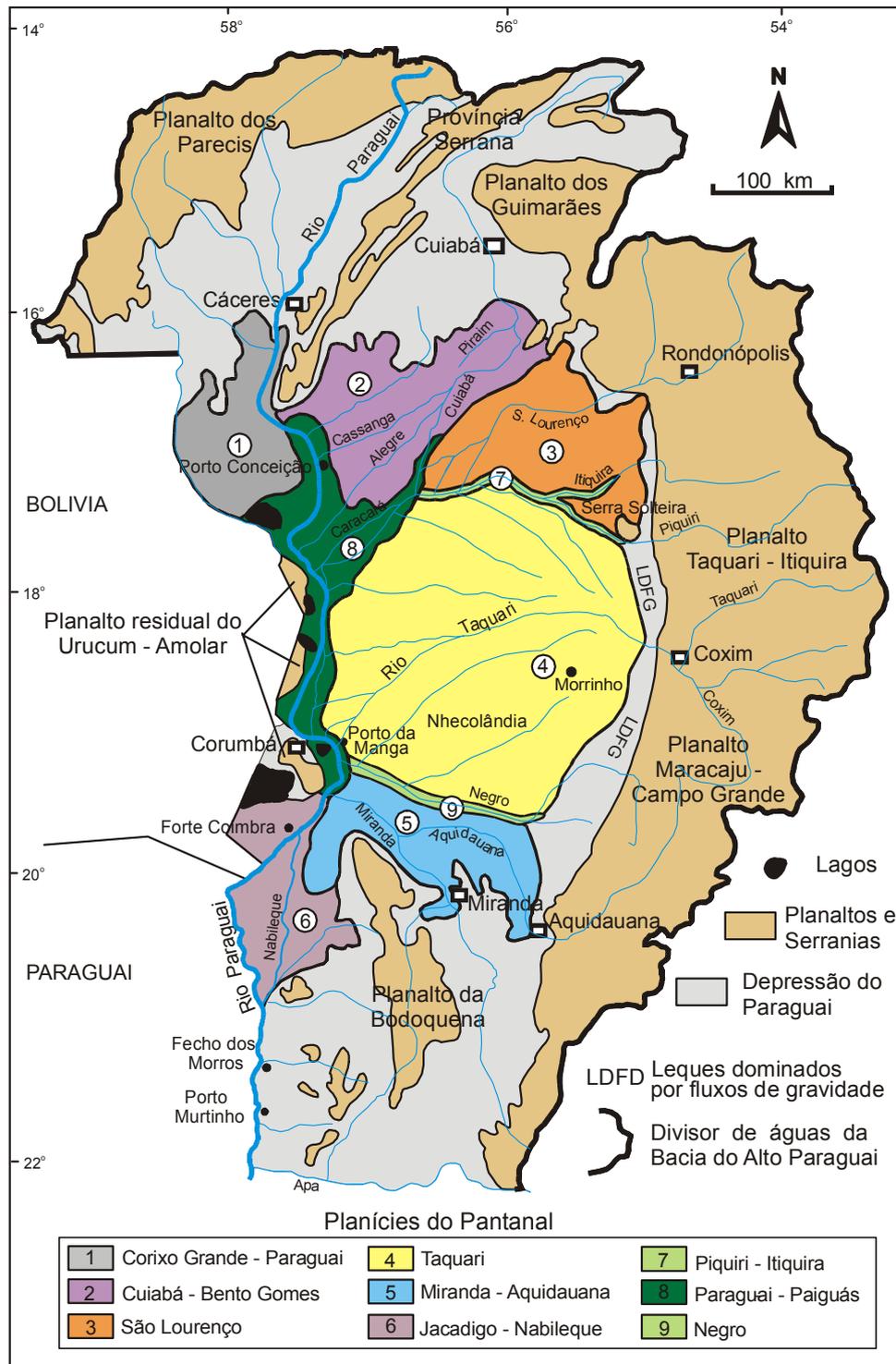


Figura 4 – Mapa da bacia do Alto Rio Paraguai (modificado de Brasil e Alvarenga, 1988). Divisores de águas estão localizados nos planaltos do leste e do norte. As planícies do Pantanal incluem leques aluviais (1 = Paraguai - Corixo Grande; 2 = Cuiabá; 3 = São Lourenço; 4 = Taquari; 5 = Aquidauana; 6 = Paraguai - Nabileque) e planícies fluviais (7 = Piquiri; 8 = Paraguai-Paiguás; 9 = Negro). Unidades geomorfológicas (planaltos) segundo Franco & Pinheiro (1982).

O trato de sistemas deposicionais é peculiar e o acesso difícil na maior parte da área, especialmente na época das cheias. Por isso, a caracterização dos sistemas foi feita com base em imagens de satélite (nove cenas datadas de 1996), utilizando-se o software ER Mapper 6.0. Para checar parte das interpretações foi feito um sobrevôo no Pantanal com duração de três horas e meia, quando diversos aspectos da paisagem foram fotografados e filmados. Durante um dia foi feito percurso pelo rio Paraguai com barco para reconhecimento de feições observadas nas imagens. Para completar, uma campanha de campo para reconhecimento foi realizada, margeando o leque de Corumbá a Rondonópolis, com tentativas de incursão no Pantanal para verificação do estado de vias de acesso e viabilidade de realização das sondagens programadas para serem realizadas com vibrotestemunhador. Uma síntese dos sistemas reconhecidos é apresentada no capítulo 4.

O leque do Taquari é a feição mais notável na geomorfologia do Pantanal. É um sistema deposicional imenso e pouco conhecido geologicamente. Além da interpretação de imagens de sensores remotos, foram realizadas três campanhas de campo, ocasião em que foram descritas e amostradas áreas com características morfológicas distintas, procurando-se assim ter uma visão global do sistema em seus aspectos morfológicos e sedimentológicos. Os resultados alcançados estão apresentados no capítulo 5.

Para o planejamento e execução dos trabalhos de campo foi importante: a) realização nos meses de estiagem (agosto a novembro); 2) escolha cuidadosa de vias de acesso, pois mesmo as melhores requerem veículos com tração nas quatro rodas; 3) bases de apoio. O deslocamento para o Pantanal foi feito com um jipe e uma S-10, à qual foi acoplada uma carreta para transportar os equipamentos (dois vibrotestemunhadores completos e um trado motorizado) e canos de alumínio de seis metros de comprimento (Figura 5-A). Muitas dificuldades foram encontradas, a começar pelo deslocamento no interior do leque.

O grande problema enfrentado, entretanto, esteve relacionado às sondagens rasas programadas para serem realizadas com vibrotestemunhadores. Ao contrário da preocupação inicial quanto à recuperação de amostras através de vibrotestemunhador, dada a expectativa de perfurar areias friáveis, o que ocorreu foi justamente o contrário. A recuperação foi de praticamente 100% em todas as sondagens, mas a penetração foi muito difícil, em muitos casos não tendo sido possível ultrapassar o primeiro metro com o vibrotestemunhador. O alto grau de compactação e a existência de concreções lateríticas impediu a continuidade da operação com o vibrotestemunhador além do primeiro metro. O mesmo ocorreu com o trado motorizado. Depois de inúmeras tentativas, a alternativa encontrada foi utilizar marretas para continuar a sondagem (Figura 5). Desta forma, foram

recuperados um total de dez testemunhos em tubos de alumínio de 3", não se tendo conseguido ultrapassar a profundidade de 3 metros em nenhum deles, embora a expectativa inicial fosse a de conseguir amostrar cinco metros, daí toda a infraestrutura montada e a carreta especialmente projetada para levar tubos de 6 metros.



Figura 5 – Cenas dos trabalhos de campo: A) carreta utilizada para transporte dos equipamentos; B) tentativa de cravar tubo de 6m com vibrotestemunhador; C) desalento após insucesso de amostragem com vibrotestemunhador e trado mecanizado; D e E) testemunhagem a percussão com a utilização de marretas para cravar os tubos foi a única alternativa viável; F) recuperação dos tubos com tripé e talha manual.

A primeira área estudada foi a da Nhecolândia, na porção sul do leque do Taquari. O acesso foi feito a partir da Estrada Parque, passando pelo Passo do Lontra e pegando a direita na Curva do Leque. Tendo como base a fazenda Nhumirim da Embrapa/Pantanal, foi necessário recorrer a uma pickup Toyota da Embrapa para os deslocamentos e transporte de material. Foram investigadas várias feições como lagoas, salinas e cordilheiras e realizadas as sondagens de números 1 a 5 (Figura 6, área I). Foram visitadas várias salinas da região, inclusive a Lagoa de Pedra na fazenda Paraíso. Numa salina na fazenda Porto Alegre, informalmente denominada salina Máscara devido à sua forma, foram amostrados: a) laje carbonática existente em suas margens onde foram recuperadas conchas de gastrópodos; b) sedimento na profundidade de um metro (trado manual).

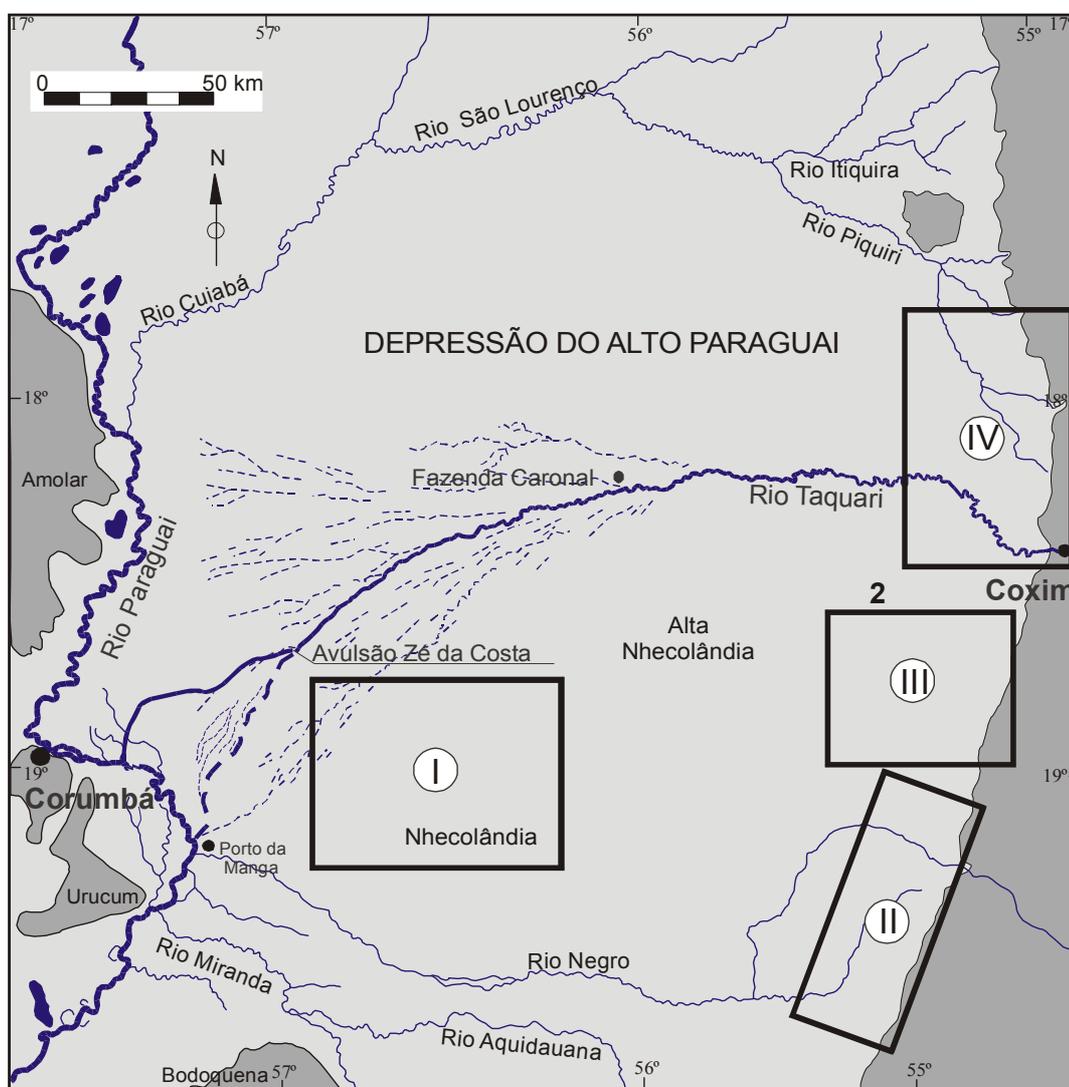


Figura 6 – Localização das quatro áreas onde foram concentrados os trabalhos de campo.

Ainda na porção sul do leque, em estrada que liga Aquidauana a Rio Negro, foi percorrido longo trecho sobre sedimentos de leques antigos situados no sopé da escarpa do planalto de Maracaju – Campo Grande, adentrando-se cerca de 50 km para oeste no leque do Taquari na altura da cidade de Rio Negro (Figura 6, área II).

Tendo como base a cidade de Rio Verde de Mato Grosso, foi feita incursão na na porção superior do leque a sul do rio Taquari, até a fazenda Morrinho. Atingir a fazenda Morrinho foi muito importante porque nela existe uma elevação residual com topo acima da superfície do Pantanal, onde afloram rochas sedimentares paleozóicas da Bacia do Paraná. Nesta área, também conhecida como Alta Nhecolândia, foram feitas as sondagens 6 e 7 (Figura 6, área III).

Na porção superior do leque, com acesso por estrada que acompanha o rio Piquiri, foi investigada uma área com elementos geomórficos diferentes, caracterizada pela existência de nítidos paleocanais distributários, facilmente reconhecidos em imagens de satélite e radar, onde foram realizadas as sondagens 8, 9 e 10 (Figura 6, área IV). A sondagem 11 foi realizada na margem do rio Taquari, na localidade de localidade de Barranqueiras, onde o rio faz um grande meandro e está erodindo sedimentos mais antigos na sua margem direita, formando um terraço que na estação seca chega ultrapassa 5 metros de altura.

Muitas das formas da paisagem do Pantanal, especialmente aquelas preservadas nos leques aluviais, tais como paleocanais e lagoas, são reliquias de eventos geológicos passados. Para interpretar a evolução geológica era fundamental dispor de datações, por isso foram feitas amostragens de subsuperfície na expectativa de encontrar restos vegetais, ossos ou conchas que pudessem ser datados radiometricamente com ^{14}C , e assim estabelecer a cronologia dos depósitos e das formas amostrados.

A opção por amostragem com vibrotestemunhador foi feita por dois motivos. Primeiro, porque representa uma amostragem mais fidedigna, sem problemas de contaminação, onde as estruturas sedimentares e relações de estratos ficam preservadas. Em segundo lugar, não menos importante, porque permite amostrar intervalos para datação através do método da termoluminescência (TL). Para obter as amostras para datação TL, segmentos de 45cm foram cortados dos testemunhos em sala escura e enviados para datação ao Laboratório de Vidros e Datação (LVD) da Faculdade de Tecnologia de São Paulo (FATEC). A opção revelou-se acertada porque apenas em uma sondagem foi recuperado material para datação radiométrica.

No capítulo 6, os resultados obtidos nas datações são apresentados e discutidos, procurando-se tentativamente estabelecer a sucessão de eventos geológicos que deixaram sua marca nos depósitos sedimentares superficiais e na paisagem do Pantanal. Como são poucas as informações disponíveis sobre o

Pantanal, correlação é feita com eventos paleoclimáticos e paleo-hidrológicos registrados em outras áreas da porção austral da América do Sul, como por exemplo na planície do rio Paraná.

Como resultado da dinâmica sedimentar em leques aluviais, a paisagem do Pantanal é extremamente mutante. Em leques aluviais a paisagem muda continuamente porque a sedimentação se processa através da construção e abandono de lobos deposicionais. A sedimentação atual é discutida no capítulo 7, onde são documentadas as evidências e os registros de mudança no curso dos rios. Ênfase é dada ao rio Taquari, cujas mudanças têm sido muito velozes no lobo distributário atual. Na falta de mapas históricos que permitissem documentar mudanças do curso dos rios, foram estudadas imagens de satélite e radar, buscando-se encontrar evidências de mudanças no curso do rio nos últimos 30 anos.

As ameaças que pairam sobre o Pantanal, como rico ecossistema, têm levado muitas pessoas, incluindo políticos e pesquisadores, dos mais diversos matizes, a atribuir ao homem todas as mudanças que têm ocorrido no Pantanal. O homem certamente está interferindo na evolução do macroambiente pantaneiro, mas muitas mudanças já ocorriam antes da colonização e continuarão a ocorrer independentemente da ação do homem. Como o Pantanal é um patrimônio natural, antes de tudo é importante compreender como funcionam os sistemas deposicionais que são a causa de muitas das mudanças, como interagem os processos autocíclicos e os alocíclicos. No capítulo 8 busca-se contribuir neste sentido, chamando-se a atenção para diversos aspectos que têm que ser considerados numa análise sistêmica, para que se possa avaliar os impactos decorrentes de empreendimentos agropecuários e industriais, tanto na planície do Pantanal quanto nos planaltos adjacentes.

2. BACIA SEDIMENTAR DO PANTANAL

A Bacia do Pantanal é uma depressão tectônica interior, cujo embasamento é constituído principalmente por rochas metamórficas de baixo-grau e magmáticas neo-proterozóicas (Grupo Cuiabá). Na borda oeste, em discordância sobre os metamorfitos do Grupo Cuiabá ocorrem também rochas neo-proterozóicas pouco deformadas do Grupo Corumbá, que se apresentam com atitudes sub-horizontais com leve caimento para sudoeste e constituem o Maciço de Urucum (Planalto Residual de Urucum-Amolar). Em sua borda leste, sobre as rochas cristalinas pré-cambrianas ocorrem seqüências paleozóicas e mesozóicas da Bacia do Paraná, que constituem os planaltos do Taquari-Itiquira e Maracaju-Campo Grande (Figura 7).

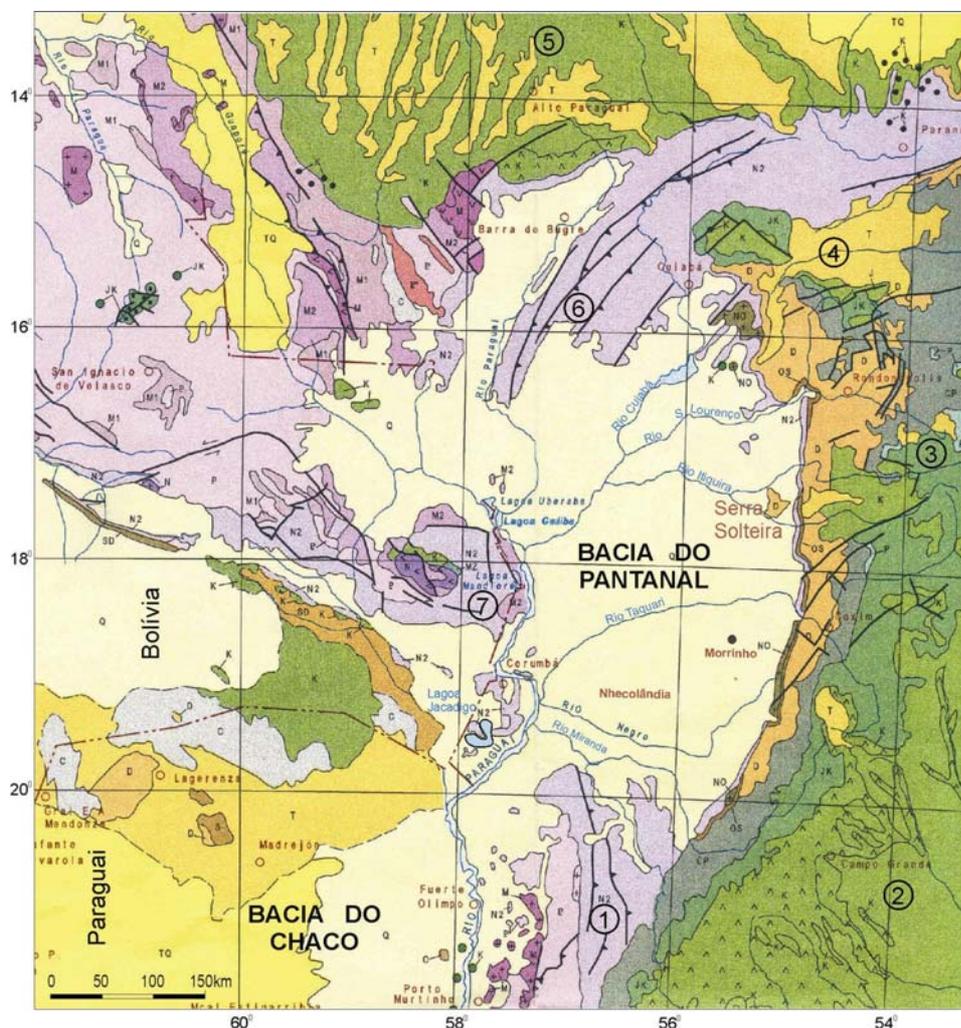


Figura 7 – Mapa Geológico (Schobbenhaus & Bellizzia 2000). Unidades cronoestratigráficas: M= Meso-Proterozóico, N= Neo-Proterozóico, O = Ordoviciano, S = Siluriano, D = Devoniano, C = Carbonífero, P = Permiano, J =Jurássico, K = Cretáceo, T = Terciário, Q = Quaternário. Planaltos: 1 = Bodoquena; 2 = Maracaju-Campo Grande; 3 = Taquari-Itiquira; 4 = Guimarães; 5 = Parecis; 6 = Província Serrana; 7 = Urucum-Amolar.

Informações de subsuperfície são restritas a onze poços perfurados no princípio dos anos 60 pela Petrobrás. No poço mais fundo (SB-1A) foram perfurados 412,5 m na formação de Pantanal, não tendo sido alcançado o embasamento (Tabela 2.1). Muitos outros poços foram perfurados para captação de água em muitas das fazendas, mas na grande maioria dos casos são rasos (menos que 100m) e as amostras não são preservadas, de forma que não foi possível o acesso aos dados das perfurações.

Poço	Profundidade (m)	Embasamento
SJo-1	193.0	não atingido
SSs-1	302.4	não atingido
FP-1	340.7	não atingido
SB-1A	412.5	não atingido
SM-1	217.0	não atingido
Ca-1	86.6	atingido
Pi-1	88.0	atingido
FF-1	182.0	atingido
LC-1	227.3	atingido
Aq-1	62.0	atingido
PM-1	37.0	atingido

Tabela 1 – Poços perfurados no Pantanal pela Petrobrás (dados compilados de Weyler 1962).

Segundo Ussami *et al.* (1999), o depocentro da bacia possui forma elíptica alongada na direção norte-sul e eixo maior de cerca de 200 km. Espessura sedimentar máxima de cerca de 550 metros foi inferida a partir de dados sísmicos (Figura 8).

O preenchimento da bacia é principalmente composto por sedimentos siliciclásticos (Weyler 1962). O empilhamento estratigráfico mostra afinamento textural para o topo. Na parte inferior predominam arenitos grossos e conglomerados, enquanto que na parte superior ocorrem principalmente areias quartzosas finas a médias, localmente grossas. Intervalos com cores avermelhadas ocorrem em vários níveis e são caracterizados pela presença de óxido de ferro como cimento, às vezes constituindo lateritas.

Dados cronostratigráficos não são disponíveis, de forma que não há informação precisa sobre o início de sedimentação na Bacia do Pantanal. Possivelmente, a sedimentação começou no Plioceno, depois do soerguimento e desmantelamento da superfície sul-americana e subsidência tectônica da região do Pantanal.

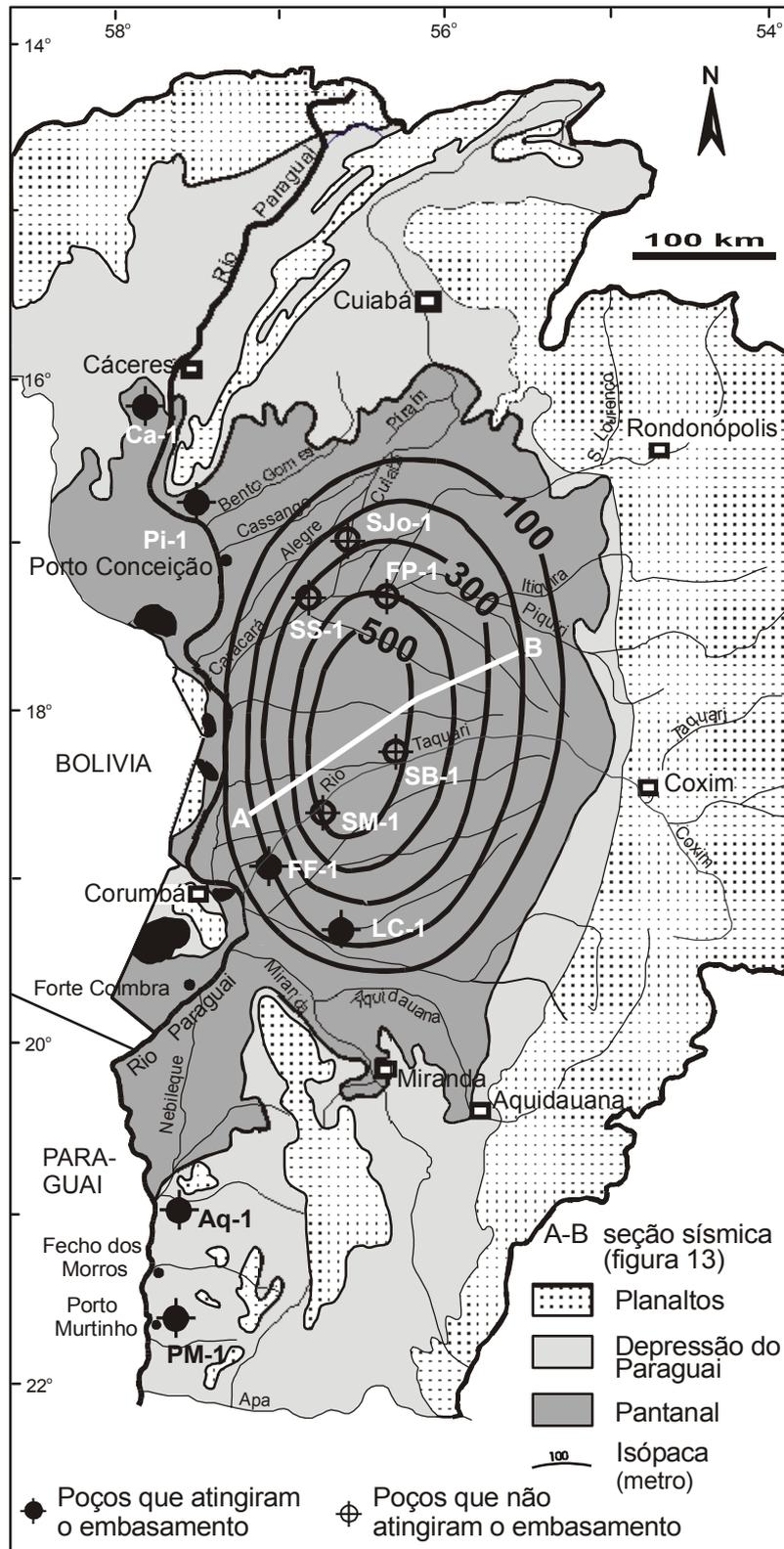


Figura 8 – Espessura da Formação Pantanal e localização dos poços perfurados na bacia pela Petrobrás na década de 60. As curvas de isópacas foram extraídas do trabalho de Ussami *et al.* (1999). A-B corresponde a cinco linhas sísmicas levantadas pela Petrobrás na década de 70 (seção sísmica está apresentada na figura 13).

A formação da Bacia do Pantanal é posterior ao dismantelamento de uma superfície de aplainamento que nivela os topos dos planaltos de Maracaju-Campo

Grande e Taquari-Itiquira a leste, e os topos dos planaltos dos Parecis e dos Guimarães a norte. Nos topos destes planaltos ocorre uma delgada cobertura sedimentar que tem sido referida ora como Formação Cachoeirinha, ora como Cobertura Detrito-Laterítica. A idade da formação desta superfície de aplainamento, bem como dos depósitos a ela associados, não é precisamente conhecida, mas é certamente terciária uma vez que recobre em discordância estratos neo-cretáceos do Grupo Bauru.

A superfície é caracterizada pela presença de solos argilo-arenosos vermelhos com concreções ferruginosas, cangas lateríticas e argilas de cores variegadas. Provavelmente corresponda à superfície de aplainamento sul-americana, cuja modelagem terminou no Mioceno de acordo com Soares & Landim (1976) e Valadão (1998), mas seu posicionamento temporal preciso ainda está por ser estabelecido.

As altitudes desta superfície de aplainamento variam em decorrência de movimentos tectônicos posteriores. Remanescentes da superfície podem ser encontrados em cotas que variam de 500 a 1100 m acima do nível do mar. Provavelmente a mesma superfície constitui o assoalho da bacia, agora coberto por depósitos aluviais quaternários da Formação de Pantanal.

De acordo com Shiraiwa (1994) e Ussami *et al.* (1999), a origem da Bacia do Pantanal foi decorrência de esforços distensionais no arco flexural (*forebulge*) da bacia de antepaís (*foreland*) do Chaco, durante o último evento compressivo no orógeno andino em ~ 2.5 Ma (Figura 9).

O mapa de isópacas da figura 8 mostra embaciamento alongado na direção N-S, aproximadamente paralelo ao alongamento do *forebulge*. A subsidência não foi, entretanto, essencialmente flexural, como sugere o mapa de isópacas. Embora o arcabouço estrutural da Bacia do Pantanal não esteja ainda delineado, as informações disponíveis permitem afirmar que a bacia é estruturada por falhas. Hales (1981), por exemplo, já havia sugerido anteriormente a existência de um sistema de grábens e horstes a partir da interpretação de valores muito próximos de altos e baixos no embasamento magnético da bacia.

Falhas são evidentes no relevo pois condicionam a ocorrência dos terrenos pré-cambrianos na borda ocidental da bacia (Figura 10) que é definida principalmente por falhas de direções NE e NW. A margem oeste da planície aluvial do Pantanal do Paraguai-Paiguás é, em grande parte, condicionada estruturalmente por falhas, que separam a planície do planalto residual do Urucum-Amolar, no qual afloram rochas pré-cambrianas dos grupos Cuiabá e Corumbá (Figura 7).

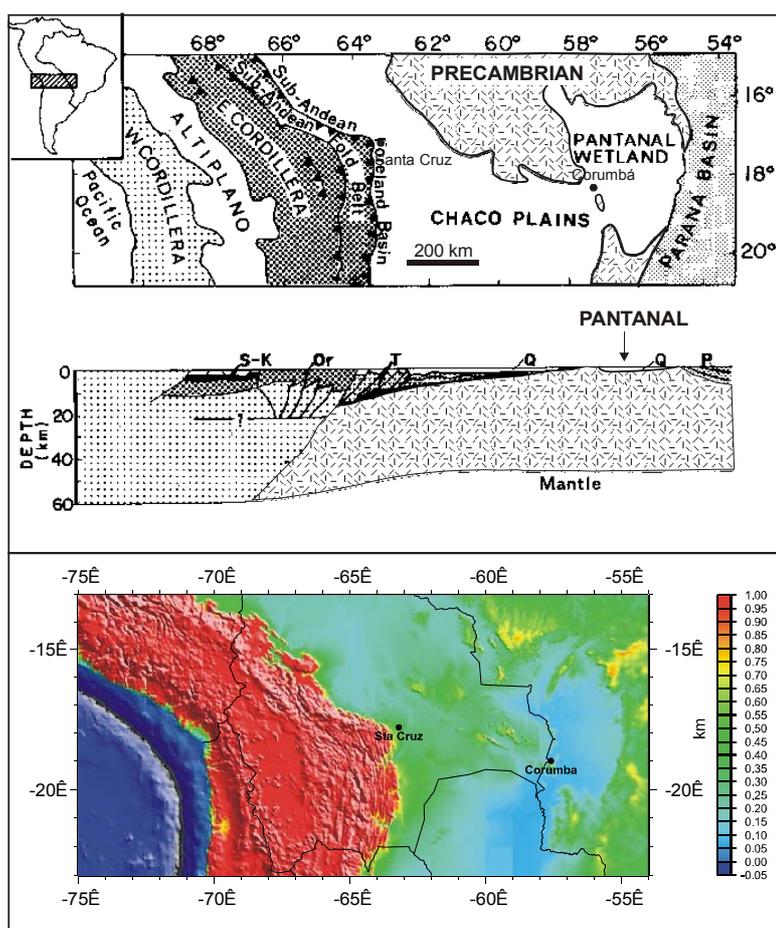


Figura 9 – Transecta E-W, do Pacífico à borda oeste da Bacia do Paraná (modificado de Ussami *et al.* 1999). Na parte superior estão apresentados um mapa e uma seção esquemáticos, mostrando a posição geotectônica da Bacia do Pantanal em relação ao orógeno andino e bacia *foreland* do Chaco (Or = Ordoviciano; S = Siluriano; P = Permiano; T = Terciário; Q = Quaternário). Na parte inferior é apresentado um modelo digital do relevo, onde as cores indicam altitudes, sendo representadas em vermelho todas as cotas acima de 1000m (escala de cores na figura em km).

A borda leste da bacia também é falhada, mas os traços de falha estão cobertos por sedimentos aluviais mais jovens da Formação Pantanal, que recobrem o embasamento em *onlap* de oeste para leste, com a regressão das escarpas que marcam o limite dos planaltos de Maracaju-Campo Grande e Taquari-Itiquira. Dados de campo indicam que a falha principal está situada a oeste da fazenda Morrinho, localidade em que aflora um morrinho elevado 25m acima da superfície da planície do Pantanal, nele aflorando arenitos avermelhados ordovicianos da Formação Alto Garças que aflora nas escarpas que limitam o planalto a leste. Os arenitos encontram-se muito silicificados e com venulações de quartzo, o que sugere proximidade com o plano de falha. O morrinho destaca-se na paisagem como um pico isolado dentro da planície do Pantanal, sendo claramente visível no modelo digital do terreno apresentado na figura 10.

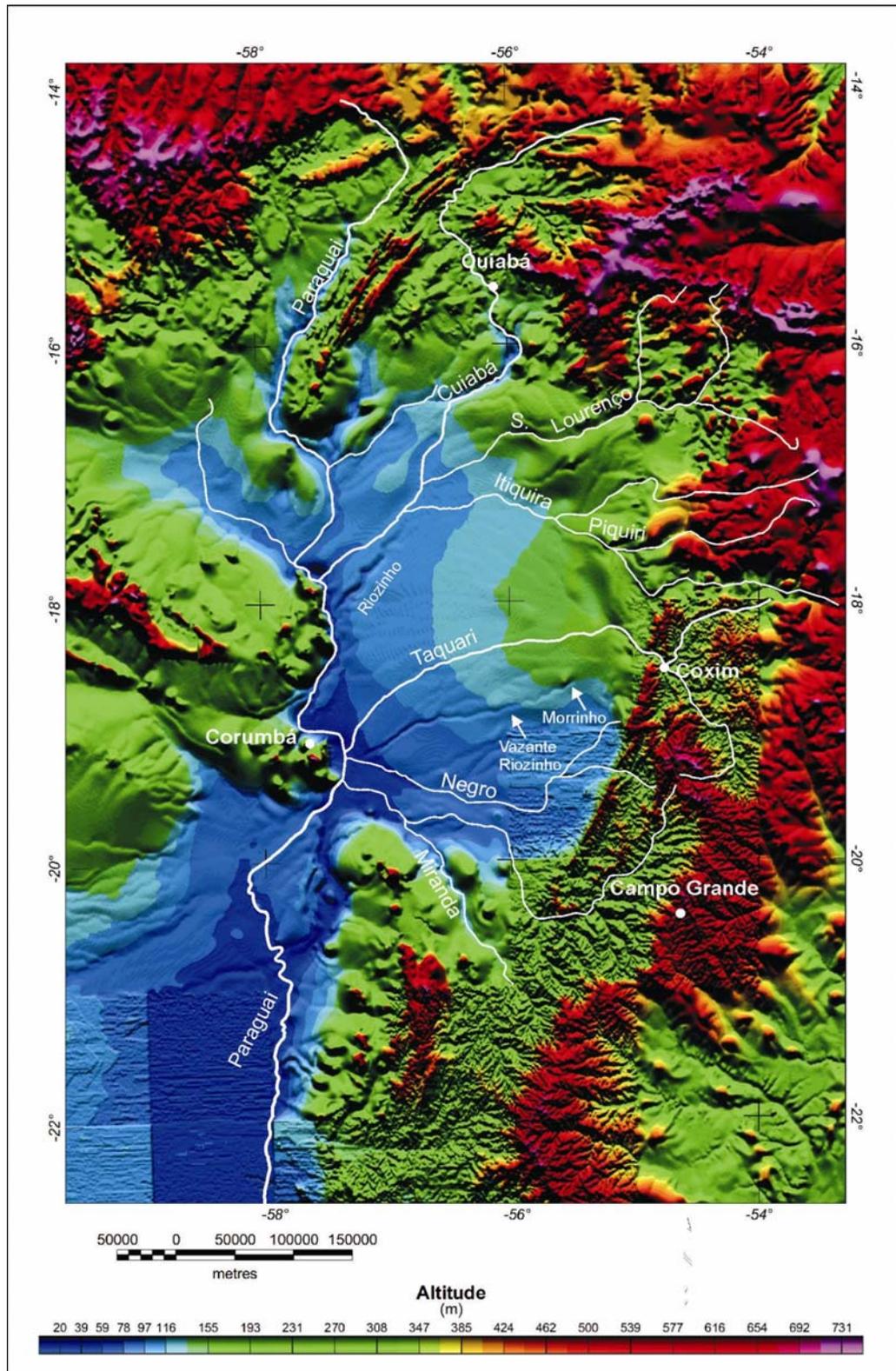


Figura 10 - Modelo digital (confeccionado a partir de dados digitais do terreno do USGS - Dtopo30). As altitudes são inferiores a 200m tanto na Bacia do Pantanal quanto na do Chaco (ver figura 3 para localização). A sudeste de Corumbá o rio Paraguai corta terrenos pré-cambrianos, que separam as duas bacias. No Pantanal é notável a presença do leque do rio Taquari, onde é marcante o padrão distributário da drenagem. Canais erosivos atuais entalham lobos abandonados do leque do Taquari, como a Vazante Riozinho. O relevo, principalmente na borda oeste da bacia, é marcado por lineamentos NNE e NW, muitos dos quais estão associados a falhas.

Falhas ativas existem também no interior da Bacia do Pantanal e muitas delas estão associadas ao Lineamento Transbrasiliano, cuja importância como elemento tectônico só foi recentemente reconhecida na área (Soares *et al.* 1998). O Lineamento é uma feição tectônica notável de direção NE, que cruza a América do Sul, do Nordeste do Brasil até a Bacia do Chaco no Paraguai, atravessando obliquamente a Bacia de Pantanal (Figura 11).

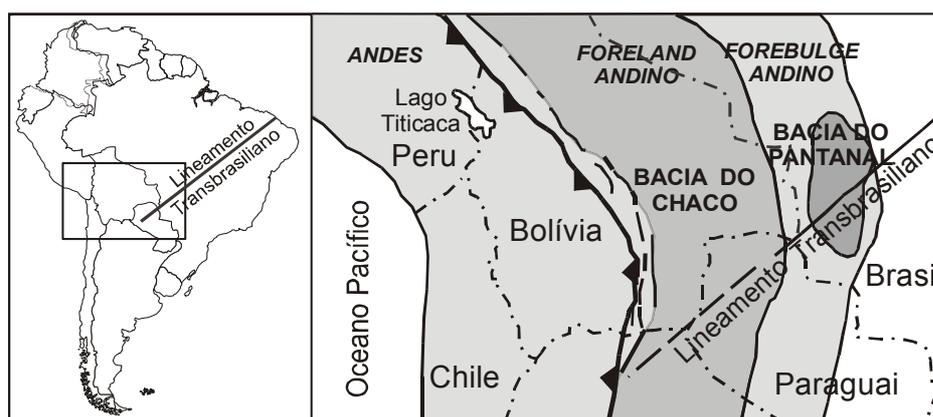


Figura 11 - Lineamento Transbrasiliano.

O Brasil está situado numa das áreas sísmicamente mais calmas do mundo, conforme se depreende dos sismos registrados em Berrocal *et al.* (1984) e IAG/USP (2002). Os terremotos no país não estão distribuídos geograficamente de maneira homogênea, o que em parte é consequência de irregularidade nos relatos anteriores à instalação de sismógrafos (Figura 12). Verifica-se, entretanto, que há uma concentração de sismos na Bacia do Pantanal, assim como na do Chaco (situada a sudoeste do Pantanal, no Paraguai), o que é evidência de que ambas as bacias são sísmicamente ativas.

Além da Bacia do Pantanal ser sísmicamente ativa por estar situada no antepaís da orogênese andina, é interessante notar que os epicentros estão alinhados com os epicentros da zona sísmica de Goiás (Figura 12), sugerindo que a sísmica no Pantanal tem relação também com estruturas associadas ao Lineamento Transbrasiliano. Trata-se de uma interessante hipótese que deve ser testada à medida que estudos em andamento na área forneçam novas informações sísmicas e estruturais.

Numa seção sísmica composta a partir de cinco linhas sísmicas contínuas levantadas pela Petrobrás na primeira metade da década de setenta, uma importante falha foi detectada no interior do Pantanal (Figura 13), a norte do rio Taquari. Situada na parte leste da seção, sua natureza e direção são desconhecidas, mas, segundo Ussami *et al.* (2000), “sua localização coincide com o

epicentro de um sismo cujo mecanismo focal indica compressão de direção leste-oeste”.

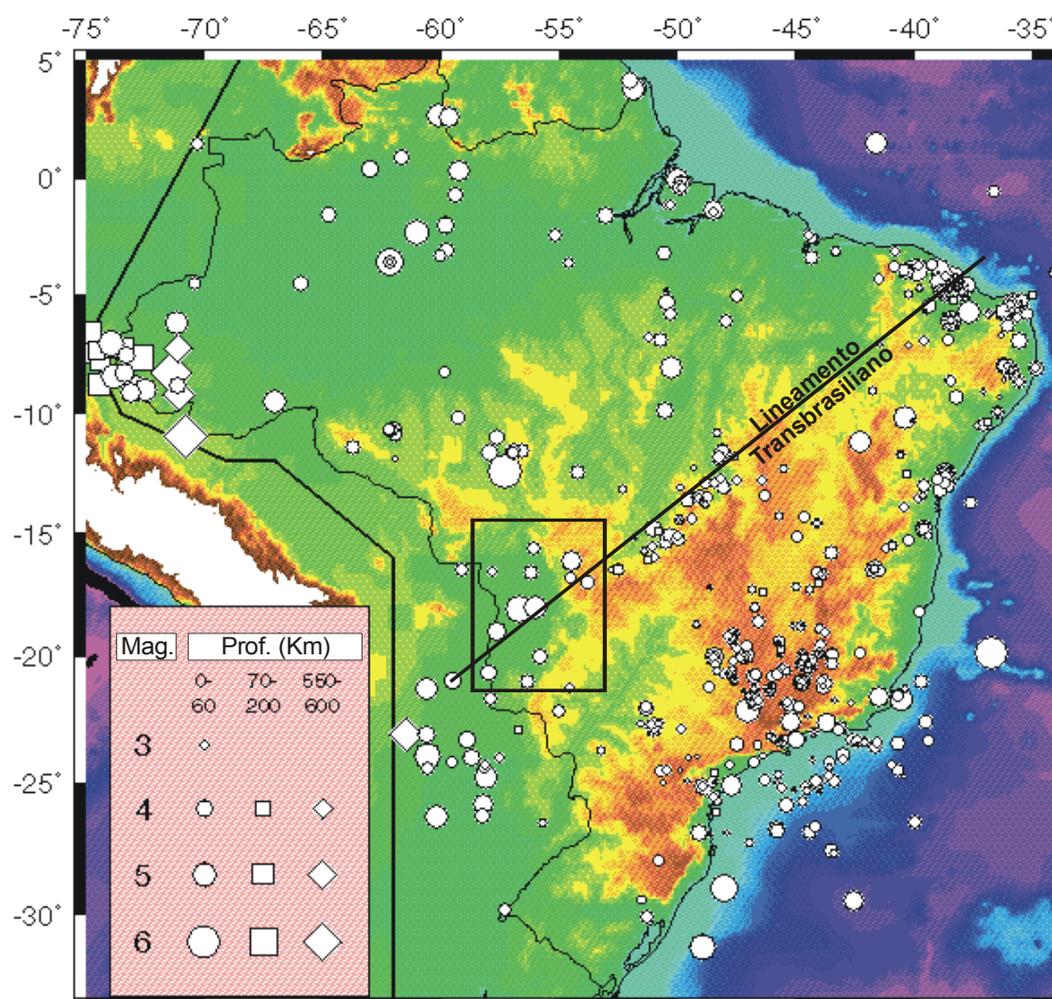


Figura 12 - Terremotos no Brasil (modificado de IAG/USP 2002). A região do Pantanal está em destaque. Os epicentros de terremotos no Pantanal estão aparentemente alinhados com epicentros da zona sísmica de Goiás, sugerindo possível relação com o Lineamento Transbrasiliano.

Os principais sítios de deposição foram, e ainda são, controlados por um nível de base regional situado na porção sul do Pantanal. As áreas a sul da confluência do rio Miranda vêm apresentando pouca subsidência ao longo do tempo geológico, sendo menor que 100 metros a espessura dos sedimentos quaternários no Pantanal do Paraguai-Jacadigo, como o demonstram os dados dos poços Aq-1 e PM-1 (Tabela 1; Figura 8).

Rochas do embasamento cristalino afloram mais a sul, nas proximidades das localidades de Fecho dos Morros e Porto Murtinho, onde afloram também plútons alcalinos cretáceos (Figura 7). Processos erosivos tornam-se dominantes a partir da confluência do rio Apa na divisa com o Paraguai (Almeida, 1945).

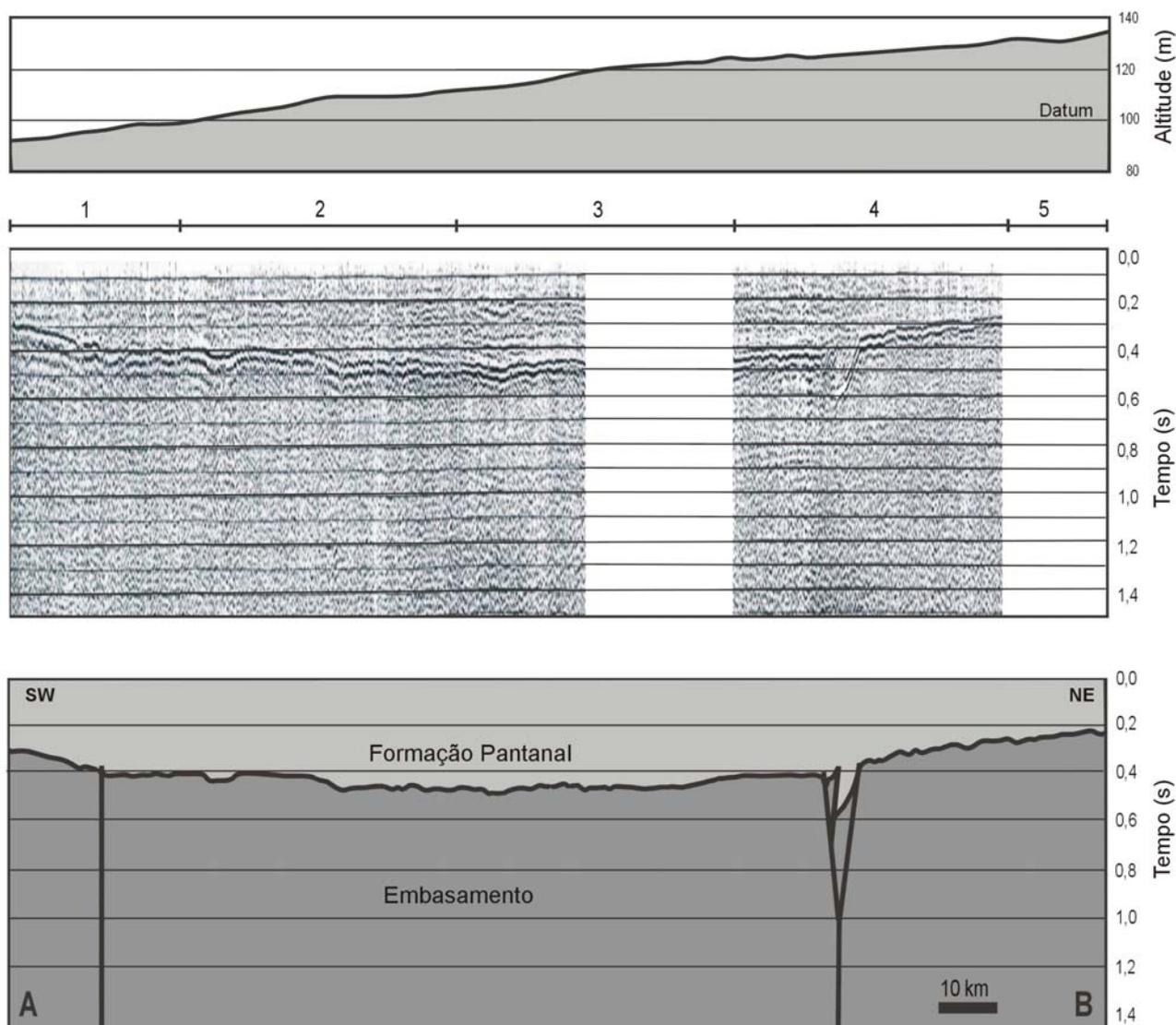


Figura 13 – Seção sísmica A-B, composta a partir de cinco linhas sísmicas (Localização aproximada na figuras 6). Na parte superior é apresentada o perfil topográfico. A seção sísmica (modificada de Catto 1975) tem datum na cota 100m; são apresentados apenas os trechos já publicados no trabalho de Ussami *et al.* (1999). Uma seção geológica esquemática é apresentada na parte inferior, tendo sido interpretadas duas falhas principais. A qualidade do registro sísmico não permite verificar o prolongamento das falhas na seção sedimentar.

O *forebulge* muito distante da frente de cavalgamento do orógeno andino, o que é somente viável considerando-se uma espessura elástica grande para a litosfera, tendo sido estimada em 125-150 km por Ussami *et al.* (1999). Isto leva a pensar na possibilidade de uma explicação alternativa para a origem da bacia. Neste sentido, merece ser investigada no futuro a possibilidade de que o soerguimento que precedeu a formação da bacia tenha sido causado por anomalia térmica na litosfera,

já que a área apresenta um alto fluxo de calor, conforme se verifica no mapa de Hamsa & Muñoz (1996) apresentado na figura 12.

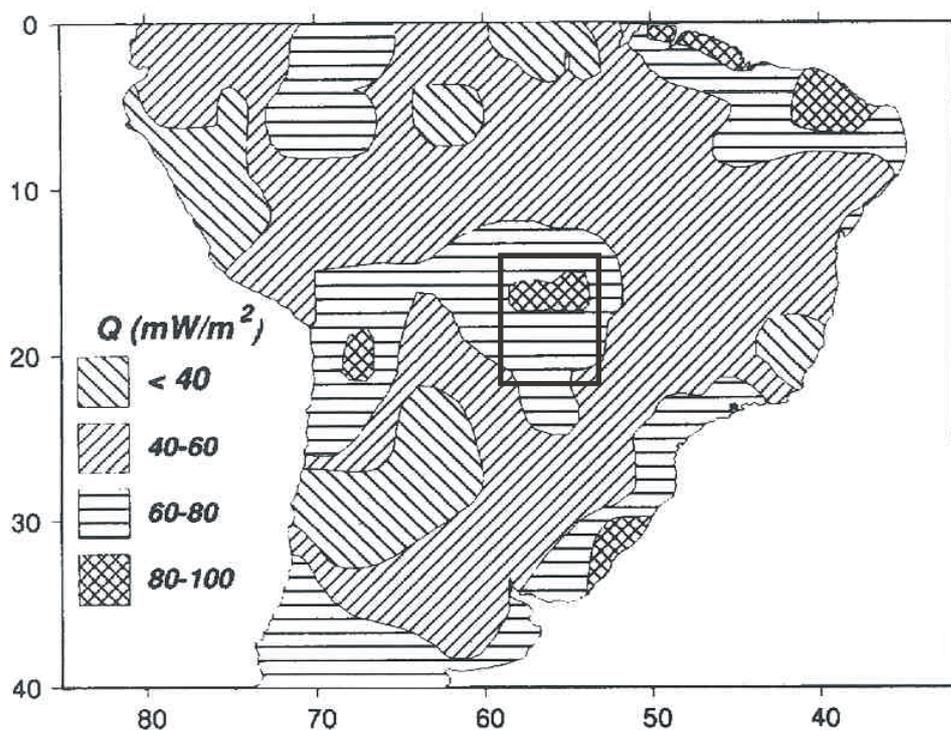


Figura 14 – Anomalia térmica na região do Pantanal, que está em destaque, no mapa de fluxo de calor na América do Sul (Hamza & Muñoz 1996).

Muito há por se esclarecer quanto à origem da Bacia do Pantanal. Para tanto, é fundamental levar em consideração a evolução do relevo da Região Centro-Oeste do Brasil, pois o surgimento da Bacia do Pantanal e da Depressão do Alto Paraguai inserem-se numa história evolutiva que remonta o Terciário. Isto já foi há muito percebido, tendo Almeida (1965, p. 91) escrito: “a origem do relevo do sul de Mato Grosso deve ser buscada nos tempos cretáceos quando não existia a baixada paraguaia, mas sua área atual participava de uma região elevada que separava a zona andina da bacia sedimentar do Alto Paraná”. A região constituía um alto no Cretáceo, divisor de águas entre as bacias do Paraná e do Chaco, idéia também defendida por Ab’Saber (1988). Isto explica a ausência no Pantanal de toda a seção paleozóica que aflora a leste nos planaltos de Maracaju-Campo Grande e Taquari-Itiquira e a oeste na Bacia do Chaco.

3. SISTEMAS DE LEQUES ALUVIAIS: UMA DISCUSSÃO CONCEITUAL

Como foi destacado na introdução, a geomorfologia do Pantanal é caracterizada pela presença de leques aluviais, que ocupam a maior parte da área. Todavia, antes de apresentar as características peculiares do trato deposicional do Pantanal (item 4), é apresentada neste item uma discussão conceitual sobre os sistemas de leques aluviais, pois na década de 90 estabeleceu-se uma polêmica quanto ao que se deveria ou não classificar como leque aluvial.

3.1. Características dos sistemas de leques aluviais

O termo leque aluvial (*alluvial fan*) tem sido usado para designar sistemas aluviais em que o padrão dos canais é mais distributário que contributário (Miall 1990). Esta característica geomorfológica permite distingui-los dos sistemas fluviais típicos, que apresentam padrão de drenagem predominantemente contributário.

Leques aluviais são sistemas deposicionais em forma de leque aberto ou de segmento de cone, caracterizados por canais fluviais distributários de grande mobilidade lateral. Formam-se em planícies ou vales largos onde rios, provenientes de relevos altos adjacentes, se espriam adquirindo padrão radial devido ao desconfinamento do fluxo (Figura 15). O gradiente topográfico decresce das cabeceiras para a base, dando origem a perfis longitudinal côncavo e transversal convexo para cima (Figura 16).

O padrão distributário é consequência da redução no gradiente topográfico, que causa desconfinamento do fluxo, queda na velocidade da corrente e diminuição na profundidade da água. Com a redução na capacidade de transporte sedimentar, ocorre sedimentação da carga transportada pelo rio e assoreamento do canal. O leito torna-se instável e ocorrem freqüentemente alterações no seu traçado, especialmente após grandes cheias.

Incisão fluvial pode ocorrer na parte superior do leque em consequência de mudanças no perfil de equilíbrio do canal alimentador, gerando terraços cujas altitudes decrescem para jusante. Neste caso, desconfinamento e expansão do fluxo ocorrem a partir do ponto de intersecção, definido pela intersecção da superfície topográfica do leque com o perfil teórico de equilíbrio ou nível de base (Figura 17). Com isso, espaço de acomodação é gerado e um novo lobo deposicional é formado a jusante do ponto de intersecção.



Figura 15 – Leque aluvial atual, com extensão de aproximadamente 80 km do ápice à base, na borda sul do deserto de Gobi, Gansu, China (imagem STS048-610-034 do ônibus espacial, setembro de 1991, NASA).

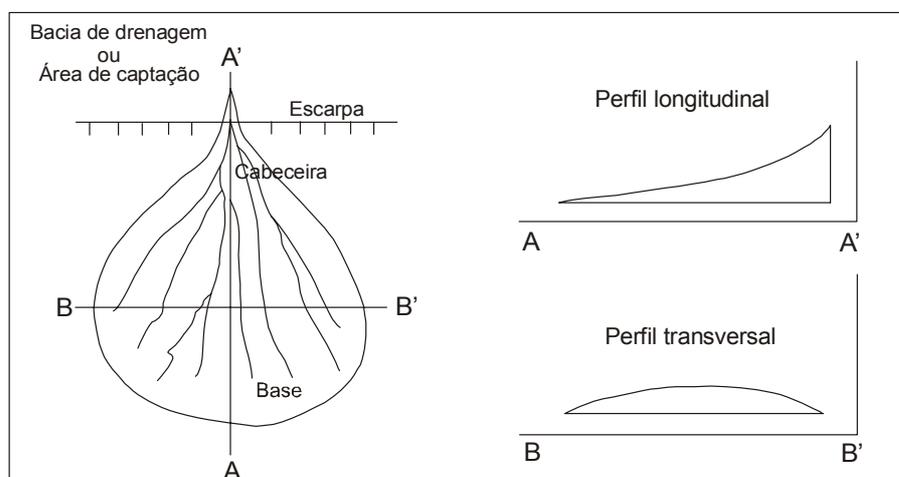


Figura 16 – Perfis topográficos em leques aluviais.

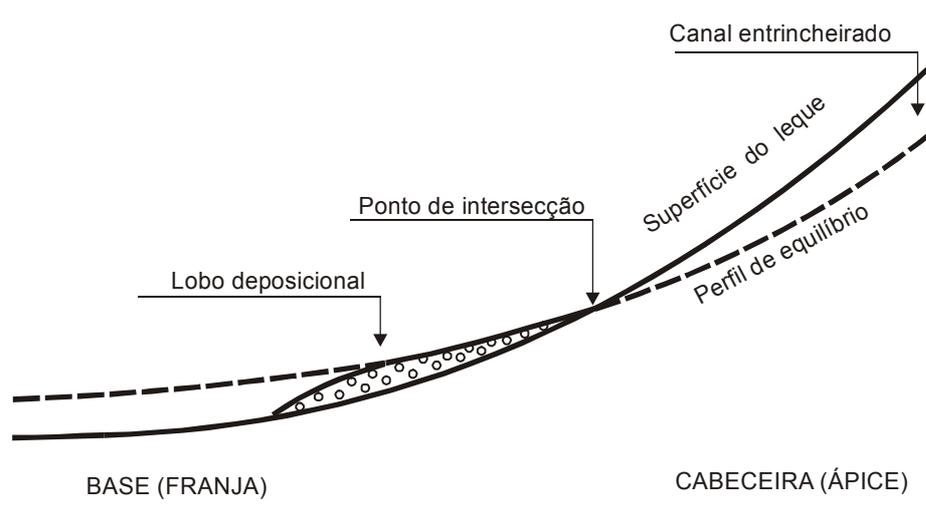


Figura 17 – Canal entrincheirado e formação de novo lobo deposicional a jusante do ponto de interseção.

Leques foram por muito tempo classificados em função das condições climáticas, que obviamente produzem leques com características diferentes. Assim, por muito tempo, os leques foram subdivididos em leques de clima árido/semi-árido e leques de clima úmido (Galloway & Hobday 1983).

A questão da classificação dos leques teve um avanço considerável com o trabalho de Stanistreet & McCarthy (1993), que enquadraram os leques aluviais em três grandes categorias: 1) leques dominados por processos de fluxo de massa; 2) leques de rios entrelaçados, cujo modelo é o leque do Kosi, na Índia (Singh *et al.* 1993); 3) leques de rios de baixa sinuosidade / meandrantas, cujo modelo é o leque do rio Okavango, em Botswana (McCarthy *et al.* 1991).

Seguindo uma outra linha de raciocínio, Blair & McPherson (1994) propuseram que se restringisse o termo leque aluvial somente para os sistemas com declive $>1,5^\circ$, argumentando que as fácies dos sistemas distributários de baixo declive são similares às fácies dos sistemas fluviais contributários, não havendo como diferenciá-los no registro geológico. Isto criou uma pequena polêmica sobre os leques aluviais, o que estimulou o avanço do estudo destes sistemas aluviais.

Na linha de trabalhos de síntese como os de Collinson (1996) e de Miall (1996), a proposta de Blair & McPherson (1994) não foi aqui adotada com base nos seguintes argumentos: a) o padrão de drenagem dos leques é distributário ao contrário dos sistemas fluviais típicos, o que resulta em diferente padrão de paleocorrentes; b) ao contrário dos sistemas fluviais, nos sistemas de leques aluviais a largura e a profundidade dos canais diminui, ao mesmo tempo em que aumenta o número de canais; c) leques compõem tratos deposicionais peculiares em que os sistemas distais muitas vezes são campos de dunas eólicas ou amplas planícies

alagáveis, com lagos rasos efêmeros ou perenes, onde há o espraiamento das águas provenientes dos leques.

Os grandes leques construídos por rios, embora apresentem peculiaridades próprias decorrentes do tipo do rio dominante, são muito diferentes dos leques dominados por fluxos gravitacionais. São distintos em termos de fácies e de gradiente topográfico, porque sistemas aluviais com declive entre $0,4^\circ$ e $1,5^\circ$ não são comuns. Desta forma, os leques aluviais serão considerados neste trabalho em dois tipos bem definidos de sistema deposicional: 1) leques dominados por fluxos gravitacionais (declive $> 1,5^\circ$; gradiente $> 0,026$ m/m) e 2) leques dominados por rios (declive $< 0,4^\circ$; gradiente $< 0,007$ m/m).

3.2. Leques dominados por fluxos gravitacionais

Os leques dominados por fluxos gravitacionais (*gravity flow dominated fans*) têm dimensão pequena a média (centenas de metros a poucos quilômetros) e são formados pela interação de processos gravitacionais e fluviais (Figura 18 -A). Não se adotou aqui a denominação “leques dominados por fluxo de detritos”, proposta por Stanistreet & McCarthy (1993), porque fluxo de detritos é somente um dos processos dentro de um amplo espectro de fluxos sedimentares gravitacionais. A terminologia aqui adotada é a sugerida por Collinson (1996).

Leques dominados por fluxos gravitacionais existem em várias partes do mundo, sendo exemplos clássicos os leques coalescentes, descritos em detalhe por Bull (1963), adjacentes às escarpas de falha da borda da bacia atual do Vale da Morte, Califórnia, EUA (Figura 18 -B/C).

Os leques dominados por fluxos gravitacionais têm sido também referidos como leques de clima semi-árido, mas a denominação é inadequada porque fluxos gravitacionais não ocorrem exclusivamente em regiões com clima semi-árido. Depósitos de fluxos gravitacionais ocorrem também em climas úmidos, especialmente quando as chuvas são concentradas em determinados períodos do ano e existem solos espessos na área-fonte.

Depósitos de fluxos gravitacionais, que constituem fácies características deste tipo de leque (Figura 19), são produzidos por movimentos de massa sedimento/água originados a partir de dois processos básicos: 1) fluxo de detritos (*debris flow*), onde o peso do sedimento é $> 80\%$ do total da massa; e 2) fluxo fluidificado (*sediment fluidal flow*, Lowe 1979), onde o peso do sedimento se situa entre 40 a 80% do total da massa (Figura 20).

Fluxos de detritos (*debris flow*) são movimentos onde clastos de grandes dimensões (calhaus e matacões) podem ser transportados em-massa, praticamente

sem fricção, mesmo em taludes de baixo gradiente. Os fluxos podem ocorrer confinados em canais nas porções axiais, mas quando o canal não comporta o volume há expansão lateral do fluxo, com formação de diques marginais e de lobos de depósitos de fluxo de detritos (Figura 19).

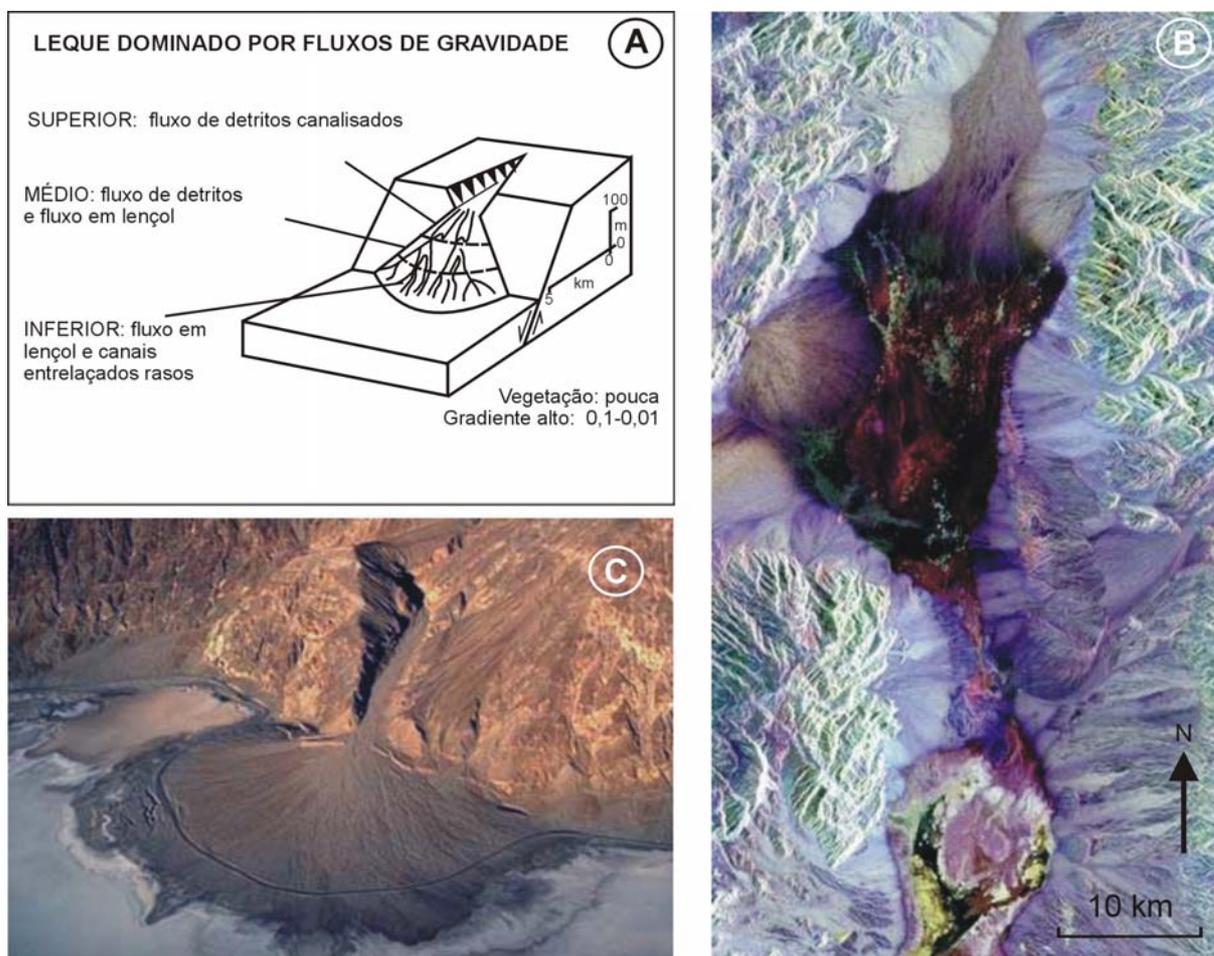


Figura 18 – Leques dominados por fluxos gravitacionais: A) modelo (Stanistreet & McCarthy 1993; gradiente = m/m); B) leques coalescentes no Vale da Morte; o vale é visível em tons escuros no centro da imagem (imagem de radar do ônibus espacial, PIA01349, NASA); C) Leque aluvial em Badwater, Vale da Morte, Califórnia, EUA (foto: Martin G. Miller, Journal of Geoscience Education, 1999, v.47, nº2, capa).

Os fluxos de detritos podem ser coesivos ou não-coesivos (Lowe 1979), a depender da porcentagem de sedimentos de granulação fina (silte e argila). Fluxos de detritos não-coesivos, caracterizados pela porcentagem baixa de sedimento de granulação fina (< 10%), originam conglomerados clasto-sustentados (ortoconglomerados), muitas vezes com gradação inversa (Figura 6-B), que podem apresentar imbricação indicativa do sentido de transporte.

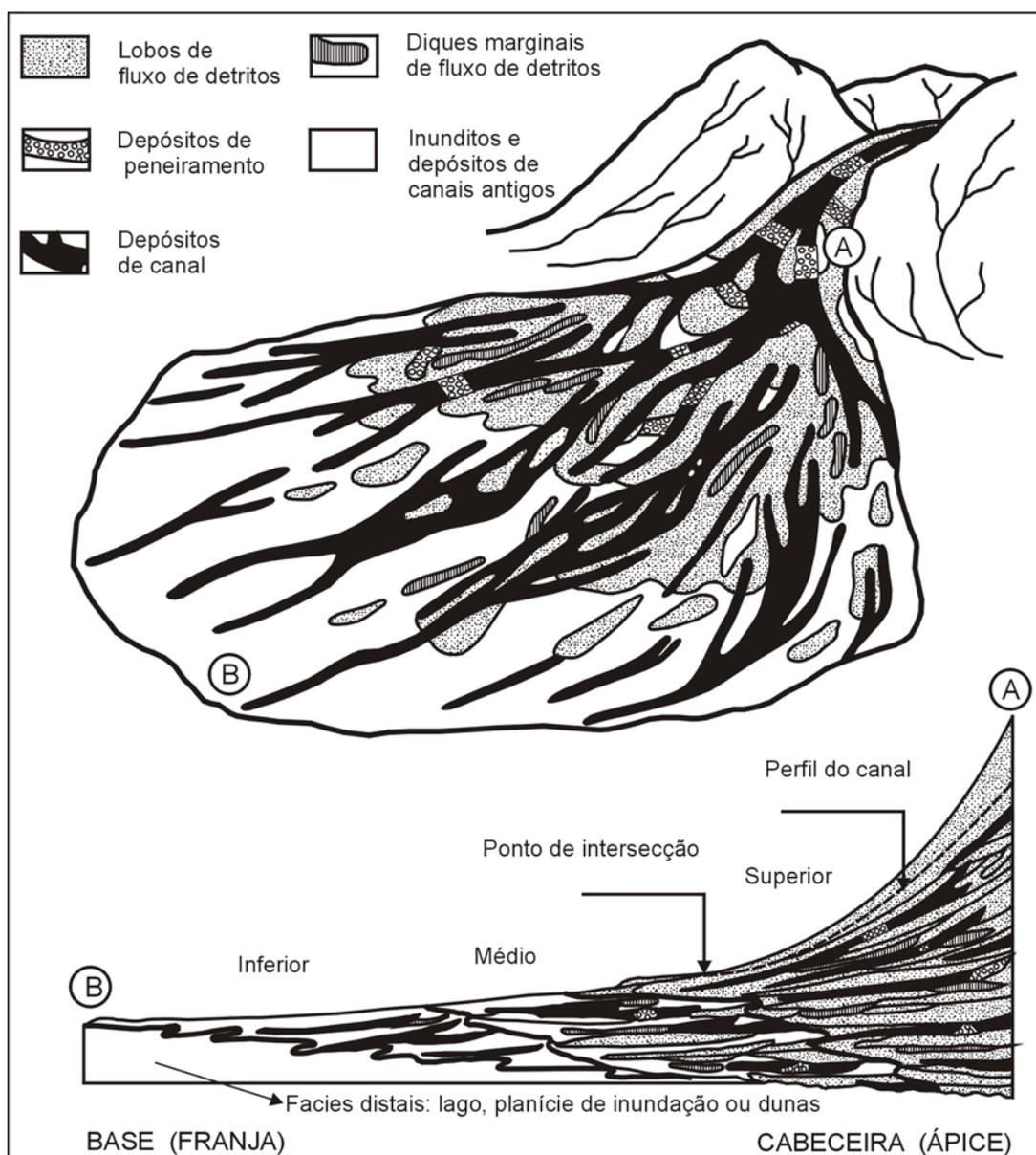


Figura 19 – Modelo deposicional de leques aluviais (modificado de Spearing 1974, in: Nilsen 1982).

Fluxos de detritos coesivos têm alta porcentagem de sedimentos de granulação fina (> 10%). Apresentam comportamento plástico devido à baixa viscosidade e o movimento interno é mais laminar que turbulento. Formam conglomerados matriz-sustentados com seleção pobre e matriz lamosa (paraconglomerados). Clastos maiores de dimensões anômalas podem ocorrer “flutuando” no interior do depósito ou projetar-se acima do seu topo (Figura 20-A). Os depósitos de cada fluxo apresentam espessuras variáveis, sendo comum espessuras maiores que dois metros. Os depósitos tendem a apresentar aspecto maciço quando a viscosidade é alta, mas quando a viscosidade é baixa podem apresentar gradação normal e alinhamento de clastos devido a cisalhamento interno

penetrativo. A parte basal do depósito pode apresentar gradação inversa, resultado de processos de pressão dispersiva e peneiramento cinético.

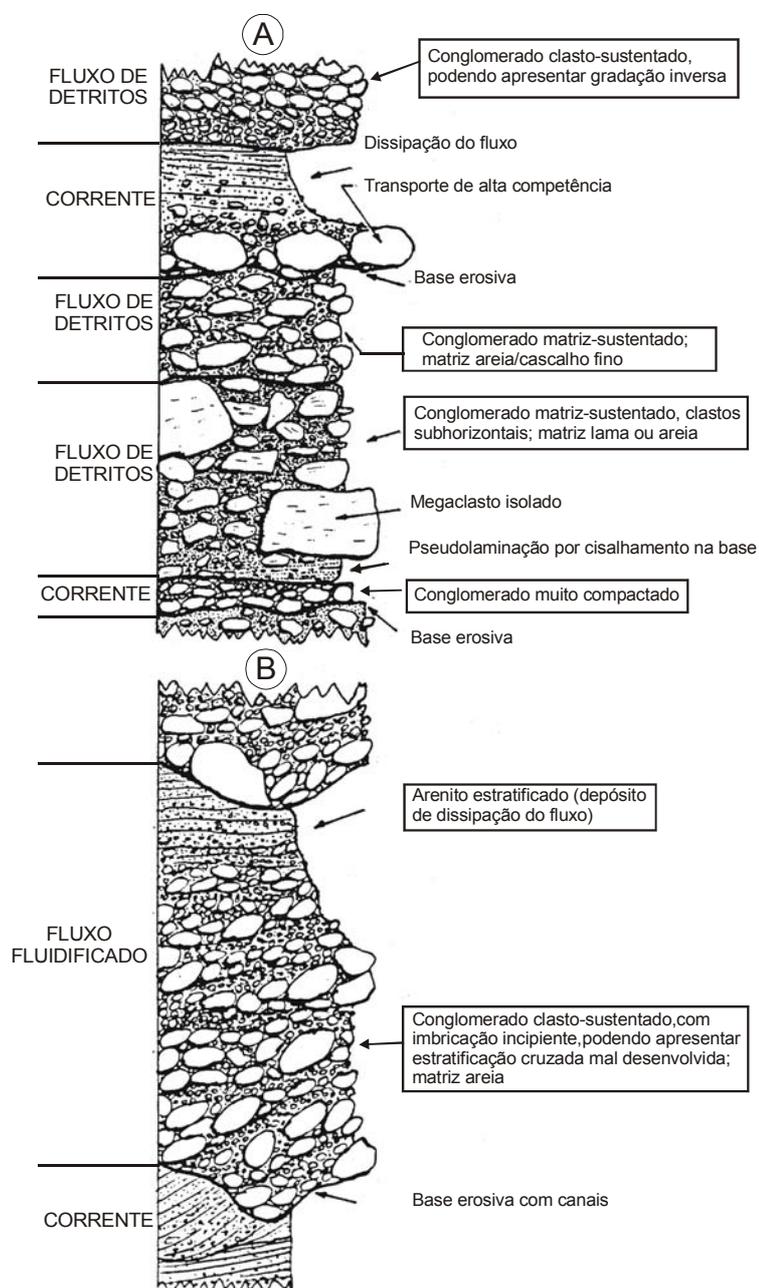


Figura 20 – Perfis estratigráficos verticais mostrando fácies características das porções proximais de leques dominados por fluxos gravitacionais (modificado de Nemec & Steel 1984).

Fluxos fluidificados apresentam comportamento de fluido viscoso, com movimentos internos laminares e turbulentos igualmente importantes. Produzem camadas tabulares ou canalizadas de conglomerados clasto-sustentados com gradação normal, em cujo topo podem ocorrer arenitos estratificados depositados por correntes geradas na dissipação do fluxo (Figuras 18-B). Segundo Nemec &

Steel (1984), depósitos deste tipo têm sido pouco reconhecidos no registro estratigráfico pois são frequentemente considerados produto de outros processos, tais como inundações torrenciais e efêmeras (*streamflood*: Steel 1974; *sheetflood*: Nemec *et al.* 1980 e Wasson 1979).

Um tipo especial de depósito pode se formar imediatamente a jusante do ponto de intersecção, devido à súbita perda da capacidade de transporte, com o desconfinamento do fluxo, e à acentuada infiltração de água. Denominados depósitos de peneiramento (*sieve deposits*) por Hooke (1967), constituem pequenos lobos de cascalhos grossos clasto-sustentados. Embora observados em leques atuais, têm sido pouco reconhecidos no registro estratigráfico. Uma característica importante deste tipo de depósito é a presença de clastos de granulação mais fina preenchendo os espaços entre os clastos maiores.

Fluxos gravitacionais são eventos catastróficos de ocorrência episódica, resultado da conjugação de intensa precipitação e disponibilidade de detritos nas escarpas adjacentes e na bacia de drenagem. Podem se passar muitos anos sem que ocorram, períodos em que predomina a ação de correntes de água (*streamflow*), tanto confinadas nos canais fluviais quanto sob a forma de inundações.

Nos canais alimentadores e distributários formam-se barras de cascalho que dão origem a conglomerados clasto-sustentados, maciços ou estratificados. Quando domina a fração areia no suprimento sedimentar, a migração de barras arenosas produz depósitos com estratificações cruzadas planar e acanalada.

O volume de água que desce pelo canal pode ser muito grande durante grandes chuvas, ocasionando transbordamento e dando origem a fluxos ou inundações torrenciais (*sheetflow* ou *sheetflood*), sobretudo a jusante do ponto de intersecção, dando origem a lençóis de areia bem selecionada, com estratificação plano-paralela ou com ondulações de corrente. A fração mais fina (areias muito finas, silte e argila) é carregada em suspensão, dando origem a depósitos heterolíticos delgados e lateralmente contínuos na parte mais distal do leque.

As associações de fácies mostram diminuição do tamanho de grão das cabeceiras para a base em decorrência da redução no gradiente topográfico, da diminuição da energia da corrente, do desconfinamento do fluxo e da perda d'água por infiltração e/ou evaporação. Na base há interação com outros sistemas deposicionais coetâneos (Figura 19). Corpos d'água podem se formar nas partes distais em consequência das inundações, mas são efêmeros e os sedimentos depositados por decantação podem sofrer ressecamento originando gretas de contração. Quando ainda úmidos, nos sedimentos lamosos podem ficar preservados diversos tipos de icnofósseis de animais terrestres.

3.3. Leques dominados por rios

Leques dominados por rios são sistemas de baixo gradiente. Dependendo do tipo de canal dominante, Stanistreet & McCarthy (1993) distinguiram dois tipos básicos: 1) leques de rios entrelaçados; 2) leques de rios de baixa sinuosidade / meandrantentes.

Nos leques de rios entrelaçados, o rio principal é freqüentemente perene e a descarga fluvial contínua, embora ocorram inundações relâmpago (Dunne 1988). O padrão entrelaçado origina-se do acúmulo de areias e cascalhos no leito, com desenvolvimento de barras de vários tipos que produzem fácies com estratificação cruzada. O canal principal é bem definido e pode ser muito móvel, com mudanças abruptas e freqüentes de curso. Na figura 21 são apresentados um bloco-diagrama, que ilustra as características deste tipo de leque, e uma imagem do leque do rio Kosi na Índia, cujas características físicas e litológicas são descritas em Wells & Dorr (1987) e Singh *et al.* (1993).

Leques construídos por rios entrelaçados podem também ser formados em planícies proglaciais de *outwash*, por correntes derivadas de águas de degelo que retrabalham material depositado por geleiras (Figura 22). O padrão entrelaçado é consequência do fato de que as margens são facilmente erodidas e os canais tendem a ser muito móveis. A carga sedimentar destes rios é caracterizada pela porcentagem alta de cascalho, transportado por tração no leito dos canais.

Leques como o do rio Okavango (McCarthy *et al.* 1991) não são formados por rios entrelaçados. Stanistreet & McCarthy (1993) classificaram-nos como leques de rios de baixa sinuosidade/meandrantentes (Figura 23), considerando que são dominados por cinturões de rios meandrantentes. Neste tipo de leque, vegetação é um fator muito importante, responsável pela estabilização dos canais e descarga sedimentar mais concentrada e contínua (Stanistreet *et al.* 1993). Um outro exemplo é o leque Portage La Prairie, descrito por Rannie (1990).

Nos leques dominados por rios, canais permanentes se dividem numa rede de distributários. Desenvolvimento acentuado de barras e deposição no canal reduzem a capacidade do rio transportar água, causando rompimento de diques marginais durante as cheias e avulsão do canal. Mudanças abruptas (*shifting*) de leito são muito comuns em decorrência desses processos, o que resulta na presença de centenas de canais abandonados na superfície do leque, como visto nas imagens dos leques dos rios Kosi e Okavango (Figuras 19 e 21).

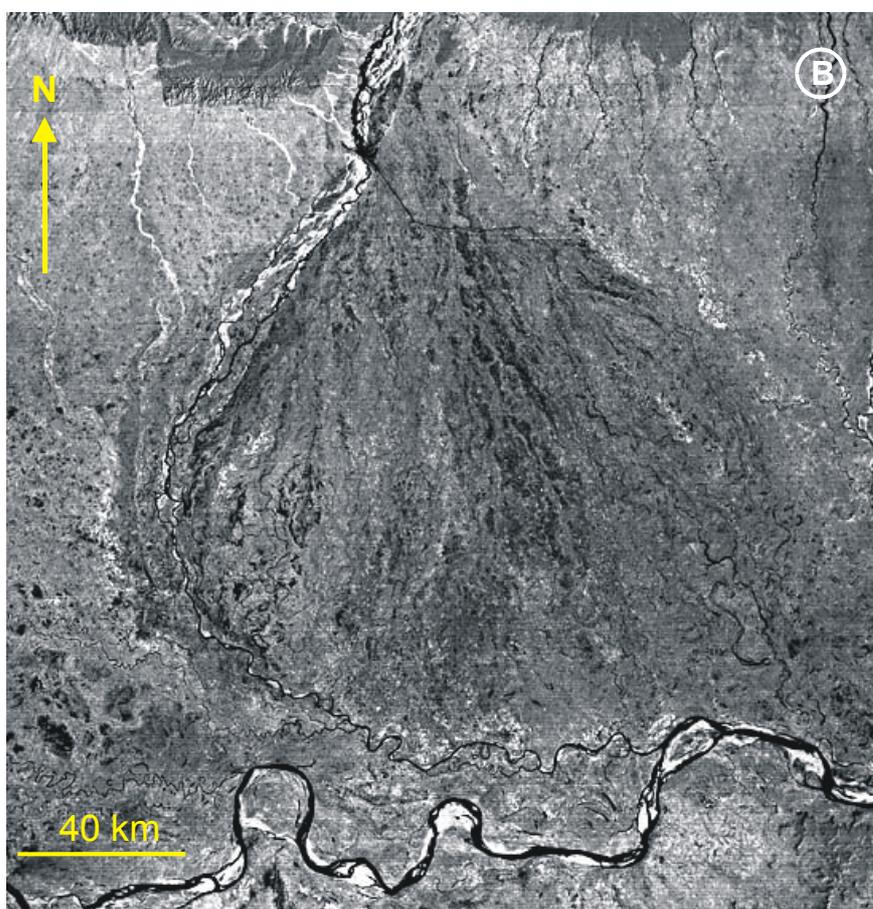
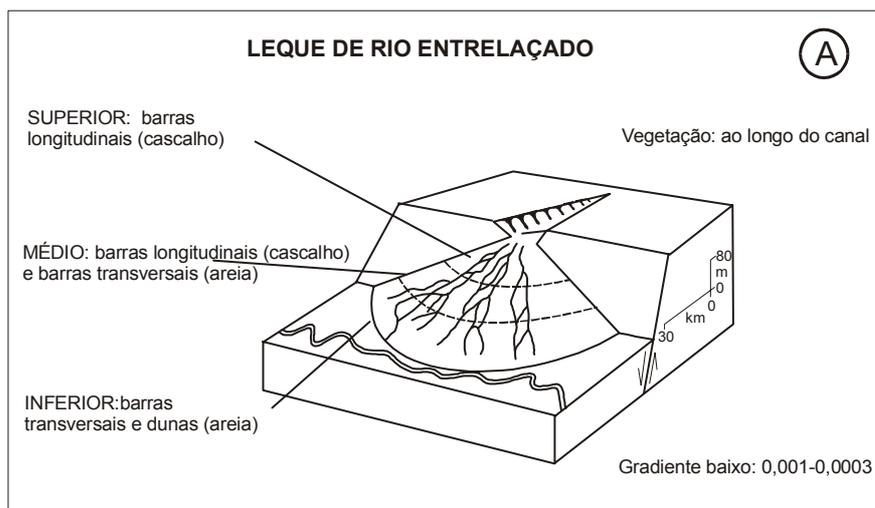


Figura 21– Leques de rios entrelaçados: A) modelo (Stanistreet & McCarthy 1993; gradiente = m/m); B) leque do rio Kosi, Índia (imagem Landsat, fevereiro de 1977, NASA).

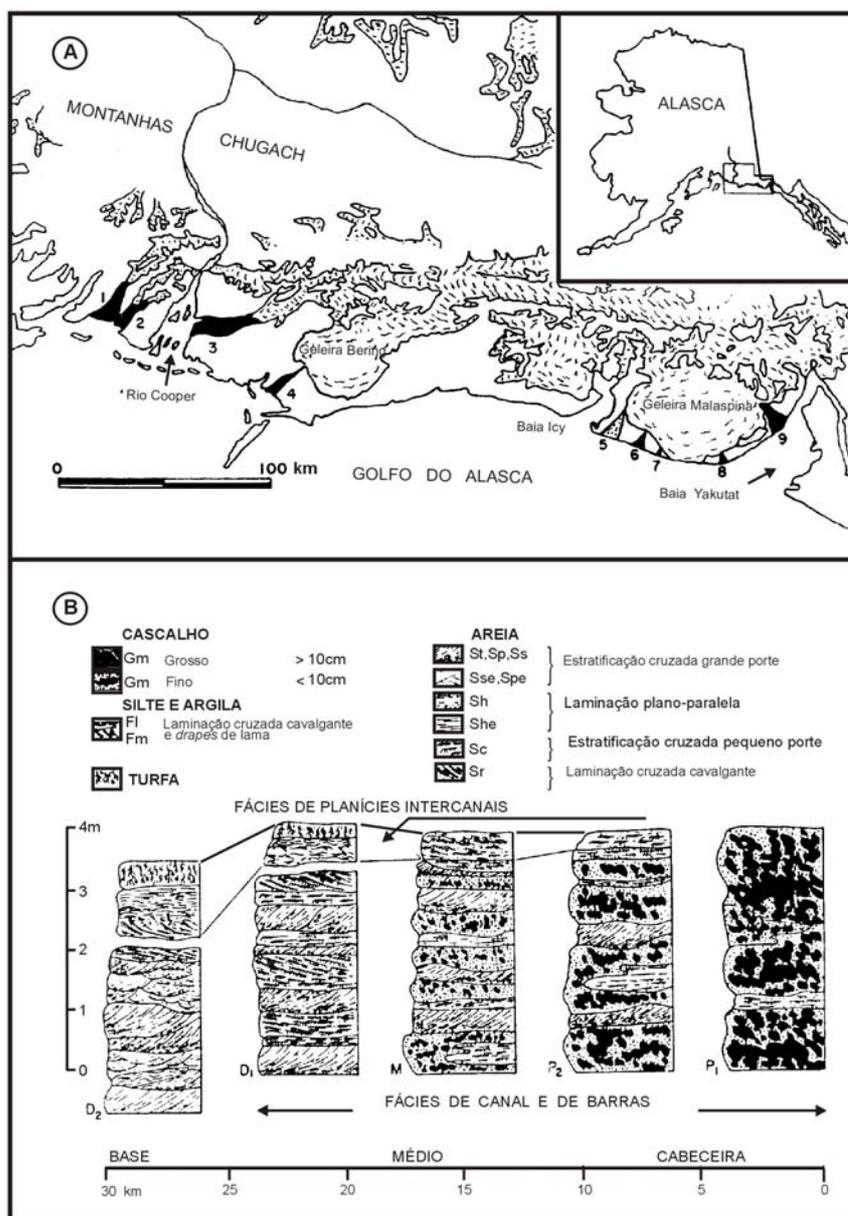


Figura 22 – A) leques de rios entrelaçados (indicados por números) em planícies de *outwash* no Alasca, EUA; B) associações de fácies exibem diminuição no tamanho de grão da parte proximal para a distal. (Boothroyd & Nummedal 1978).

Quando a descarga fluvial progressivamente diminui e há também perda acentuada de água por evaporação e infiltração, a superfície do leque fica seca e sujeita ao retrabalhamento pelo vento. Isto ocorre principalmente em bacias interiores sob condições climáticas semi-áridas, onde somente episódios de grandes cheias causam inundações na parte distal do leque. Para leques com estas características, como é o caso do leque do Okavango, é utilizada a denominação leque terminal (*terminal fan*).

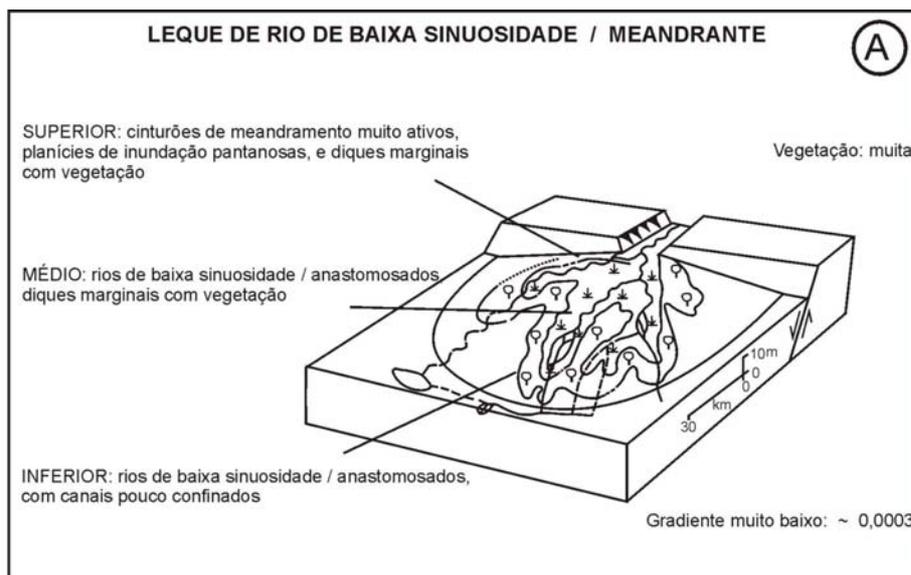


Figura 23 – Leques de rios de baixa sinuosidade / meandrantes: A) modelo (Stanistreet & McCarthy 1993; gradiente = m/m); B) Leque aluvial do rio Okavango, Botswana (imagem STS51I-33-0053 do ônibus espacial, de agosto de 1989, NASA).

Os leques fluviais são sistemas de dezenas a centenas de quilômetros de extensão, ao passo que os leques dominados por fluxos gravitacionais são sistemas de centenas de metros a poucos quilômetros de extensão. Merece destaque o fato de que o leque do rio Taquari é maior que os leques dos rios Kosi e Okavango, utilizados como modelos dos dois tipos de leques fluviais discutidos acima (Figura 24).

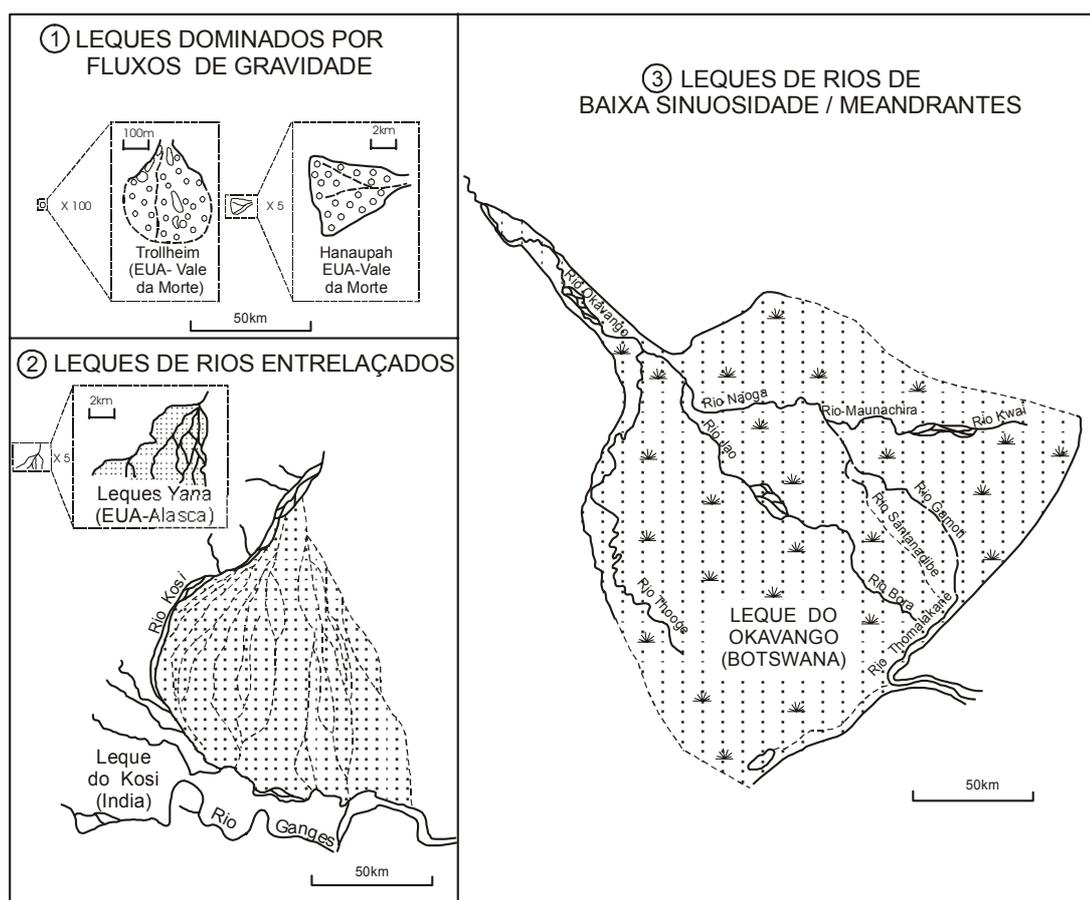


Figura 24 – Comparação do tamanho de alguns leques aluviais atuais (modificado de Stanistreet & McCarthy 1993).

Os leques dominados por rios têm sido também denominados leques úmidos (*humid or wet alluvial fans*), mas a associação com o clima é inadequada porque muitos leques fluviais ocorrem em ambientes semi-áridos e áridos, como por exemplo os leques existentes no deserto de Gobi (figura 15). Outro exemplo é o leque do Okavango, que embora apresente feições “úmidas”, desenvolve-se numa região semi-árida a desértica (observar dunas transversais com cristas de direção WNW-ESE na parte esquerda da figura 23-B).

4. TRATO DEPOSICIONAL DO PANTANAL

O Pantanal é um amplo trato deposicional dominado por sedimentação aluvial, onde o rio Paraguai é o rio tronco, coletor das águas de vários leques aluviais (Figura 25).

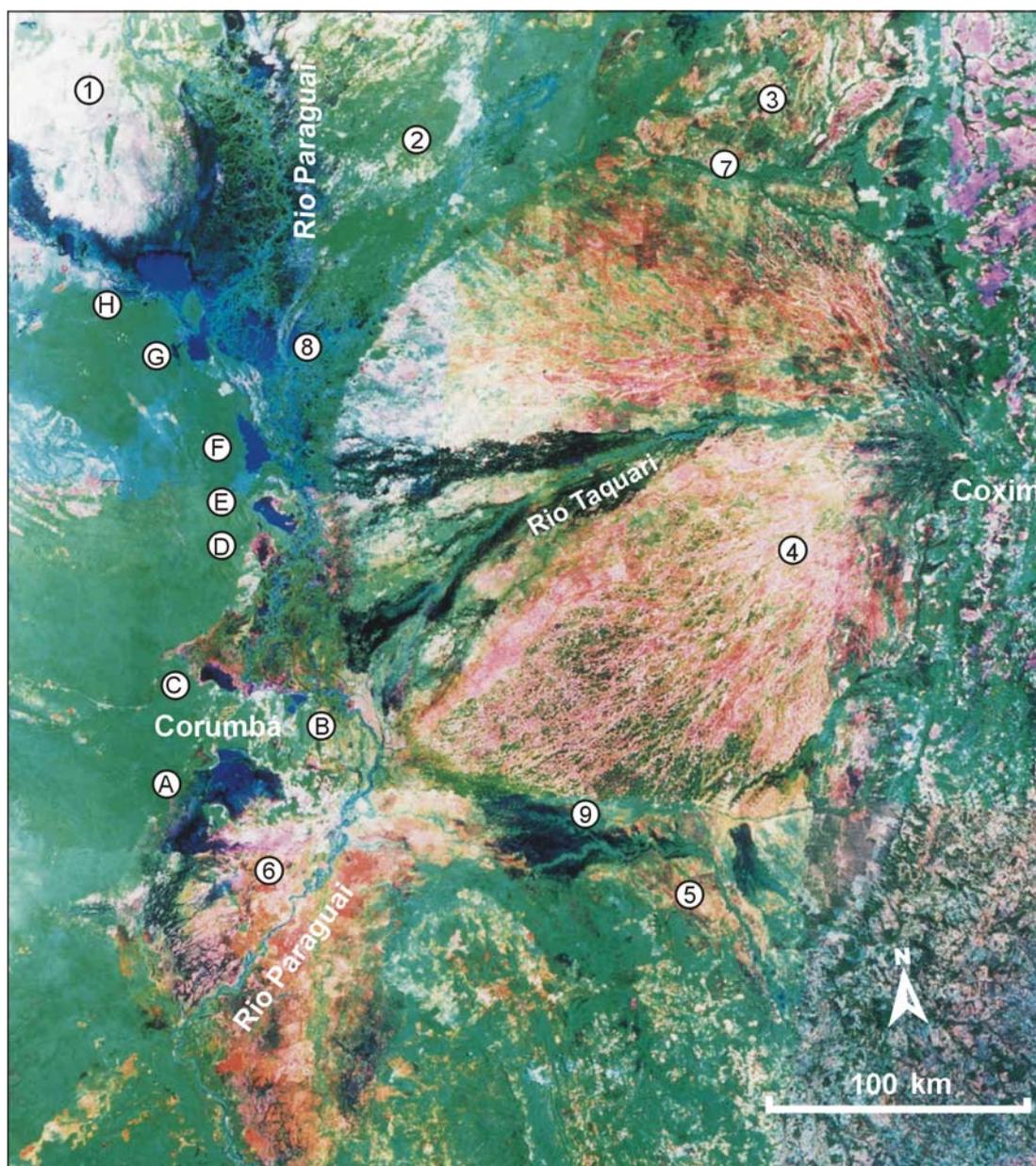


Figura 25 – Trato de sistemas deposicionais do Pantanal Mato-grossense, constituído por sistemas de leques aluviais (1 = Paraguai - Corixo Grande; 2 = Cuiabá; 3 = São Lourenço; 4 = Taquari; 5 = Aquidauana; e 6 = Paraguai – Nabileque), de planícies fluviais (7 = Piquiri; 8 = Paraguai-Paiaguás; e 9 = Negro), e lacustres (A = Jacadigo; B = Negra; C = Cáceres; D = Castelo; E = Vermelha; F = Mandioré; G = Guaíba; e H = Uberaba). Composição de imagens de satélite Landsat TM, falsa cor, bandas R3/G4/B7, registradas durante a estação seca de outubro de 1990 (WRS 227/72, 226/72, 225/72, 227/73, 226/73, 225/73, 227/74, 226/74, 225/74).

Fluindo de norte para sul, o rio Paraguai apresenta uma compartimentação muito complexa, pois atravessa domínios geomorfológicos distintos. A norte de Cáceres, em terras baixas da Depressão do Alto Paraguai mas fora da área do Pantanal, o rio apresenta características erosivas. Quando adentra no Pantanal, há uma diminuição drástica no gradiente topográfico e o rio passa a ser um sítio de sedimentação e de captação das águas dos diversos leques aluviais (Figura 26).

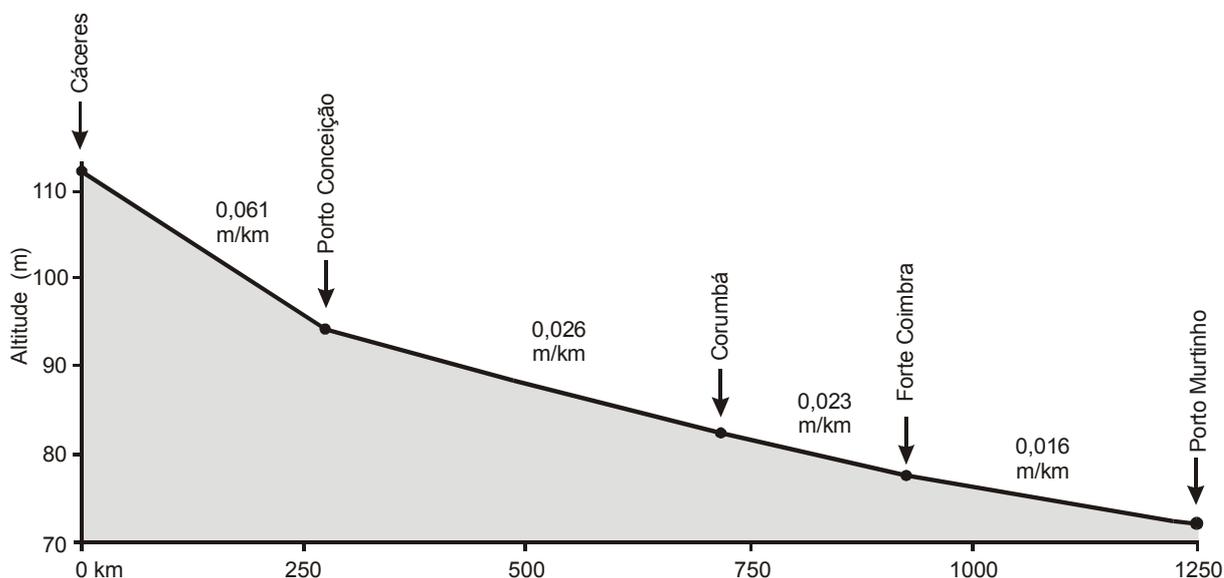


Figura 26 - Perfil do rio Paraguai no Pantanal (baseado em Innocencio 1988). O gradiente topográfico é extremamente baixo (0,000061 a 0,000016 m/m), muito menor que o dos leques dominados por rios (0,001 a 0,0003, conforme figuras 21 e 23).

4.1. Sistemas de leques aluviais

Vários leques aluviais dominados por rios constituem a maior parte da superfície do Pantanal. O mais notável é o leque aluvial do rio Taquari (Braun 1977), que pelas suas dimensões pode ser considerado um megaleque aluvial. É um sistema deposicional complexo com forma quase circular e diâmetro de aproximadamente 250 km, facilmente reconhecido em imagens de satélite (Figura 25). Vários outros leques ainda ativos destacam-se também na geomorfologia do Pantanal, tais como os leques dos rios Cuiabá, Aquidauana e São Lourenço (Figura 27).

O próprio rio Paraguai apresenta em alguns trechos de seu percurso padrão distributário, como nos pantanais do Paraguai-Corixo Grande e do Paraguai – Nabileque, caracterizando sistemas de leques aluviais. O leque do Paraguai-Corixo Grande (Figura 28) apresenta forma característica de leque aluvial, com perfil transversal convexo. Topograficamente está mais elevado que o rio Paraguai, que derivou para leste ocupando hoje a franja do leque.

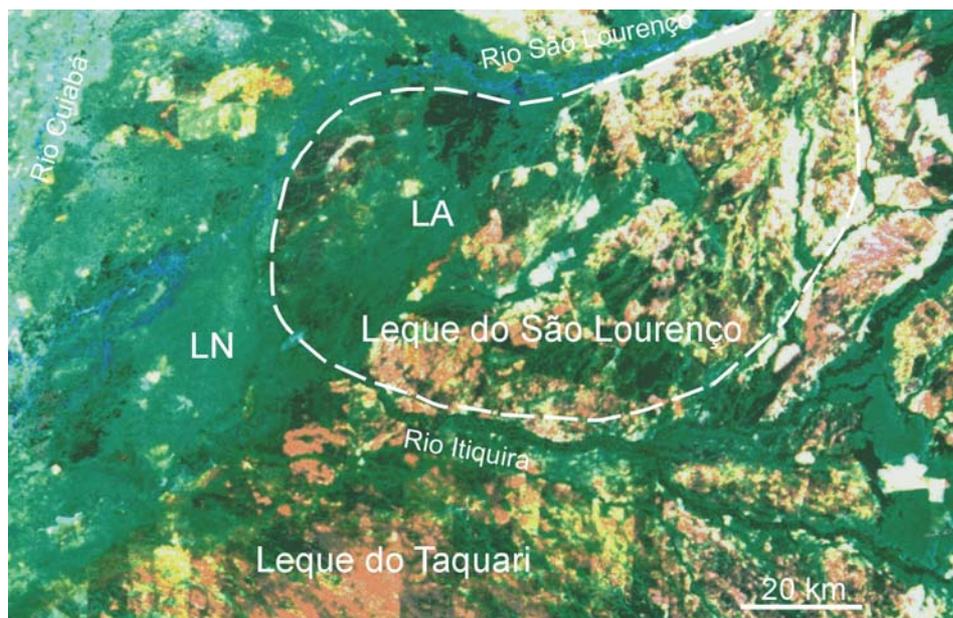


Figura 27 – Situado a norte do leque do Taquari, o leque do São Lourenço é um importante e ativo sistema deposicional. Esta imagem de satélite obtida na estação seca (Landsat TM, falsa cor, bandas R3/G4/B7, de outubro de 1990) mostra que o rio São Lourenço contornou seus lobos antigos (LA) e está construindo um lobo novo (LN) a oeste, para a seguir desaguar no rio Cuiabá.

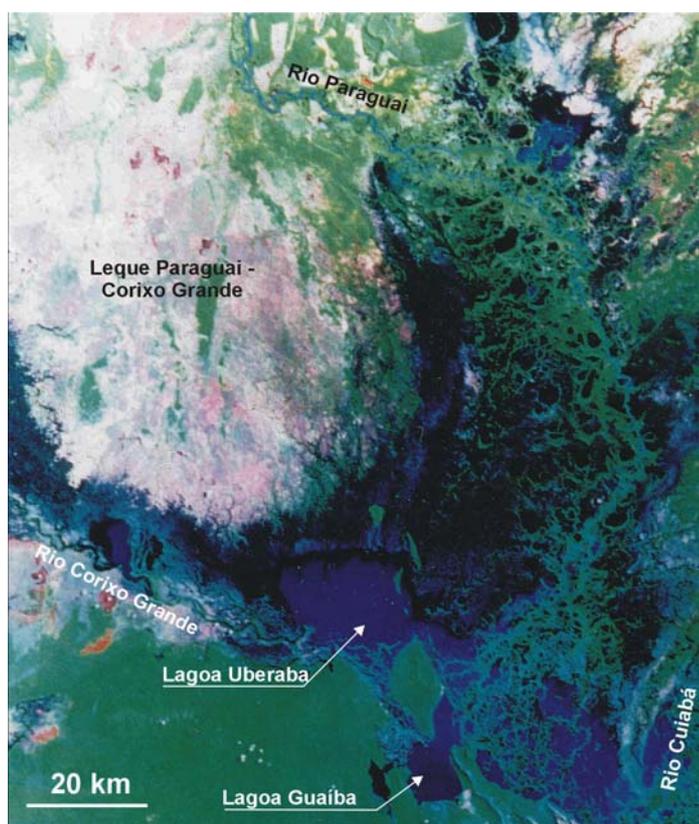


Figura 28 - Situado na parte norte do Pantanal, o Leque do Paraguai – Corixo Grande é um sistema onde os dois rios tem seu curso na periferia do leque, definindo-lhe o contorno. A planície distal do leque, compartilhada com o leque do Cuiabá, é formada por inúmeras lagoas, meandros abandonados e canais anastomosados. O trato deposicional é composto também por dois sistemas lacustres, conhecidos como lagoas Uberaba e Guaíba (imagem de satélite Landsat TM, falsa cor, bandas R3/G4/B7, de outubro de 1990, estação seca).

O leque do Paraguai - Nabileque não funciona atualmente como um sistema de leque aluvial. A forma original está parcialmente obliterada pela superimposição de canais erosivos recentes, mas paleocanais distributários ainda podem ser reconhecidos. A área teve comportamento menos subsidente na história quaternária da bacia, sendo a espessura da Formação Pantanal menor que 100m, como comprovam os poços perfurados pela Petrobrás (Figura 8; Tabela 1).

Entre o leque do Taquari e o sopé da escarpa que limita o Pantanal dos planaltos de Maracaju-Campo Grande e Taquari-Itiquira, existe uma franja com largura variável de 4 a 15 km, que se estende por mais de 200 km no sentido norte-sul (Figura 29). Suas altitudes variam de 210 m nas cabeceiras a 160 m na base, resultando em gradientes de 3 a 5 m/km, muito mais altos que os do leque do Taquari. Constitui uma rampa de *piedmont* formada por leques aluviais coalescentes, onde predominam fácies de conglomerados sustentados pela matriz, conglomerados sustentados pelos clastos e arenitos grossos (Figura 30). O gradiente topográfico e as fácies, indicativas da dominância de processos associados a fluxos de detritos e a fluxos em lençol, permitem interpretá-los como leques dominados por fluxos gravitacionais, conforme discutido no item 3.2.

4.2. Sistemas de planícies fluviais

O Pantanal do Paraguai-Paiaguás constitui caracteristicamente um sistema deposicional de planície fluvial meandrante. Situado a norte da cidade de Corumbá, o sistema constitui uma planície muito larga com inúmeros pequenos lagos, cujos níveis d'água flutuam em resposta aos ciclos anuais de inundação (Figura 31). Há muitos meandros abandonados e em construção, com belos exemplos de barras em pontal, que são recobertas pelas águas das cheias (Figura 32)

Embora menos expressiva em área, merece destaque também a planície meandrante dos rios Itiquira/Piquiri, desenvolvida na junção das franjas dos leques aluviais do Taquari e do São Lourenço (Figura 33). Tratam-se de rios tributários do rio Cuiabá, que por sua vez é afluente do Paraguai. Por truncar os distributários dos dois leques, a planície constitui elemento mais jovem que os lobos dos dois leques. Sua origem está associada à elevação do perfil de equilíbrio do rio Itiquira em decorrência de elevação do nível de base definido pela planície do rio Paraguai no Pantanal de Paiaguás.

Outra planície fluvial com sedimentação ativa é a planície do rio Negro, que, assim como a planície do Itiquira/Piquira, ocupa posição entre dois leques, o do Aquidauana (a sul) e o do Taquari (a norte). Embora seja sinuoso, meandrante em alguns trechos, mais a leste (Figura 34), o rio passa a ter padrão anastomosado

quando interage com a base do leque do Aquidauna, dando origem a uma área freqüentemente alagada, com inúmeros pequenos canais que se entrecortam (Figura 25).

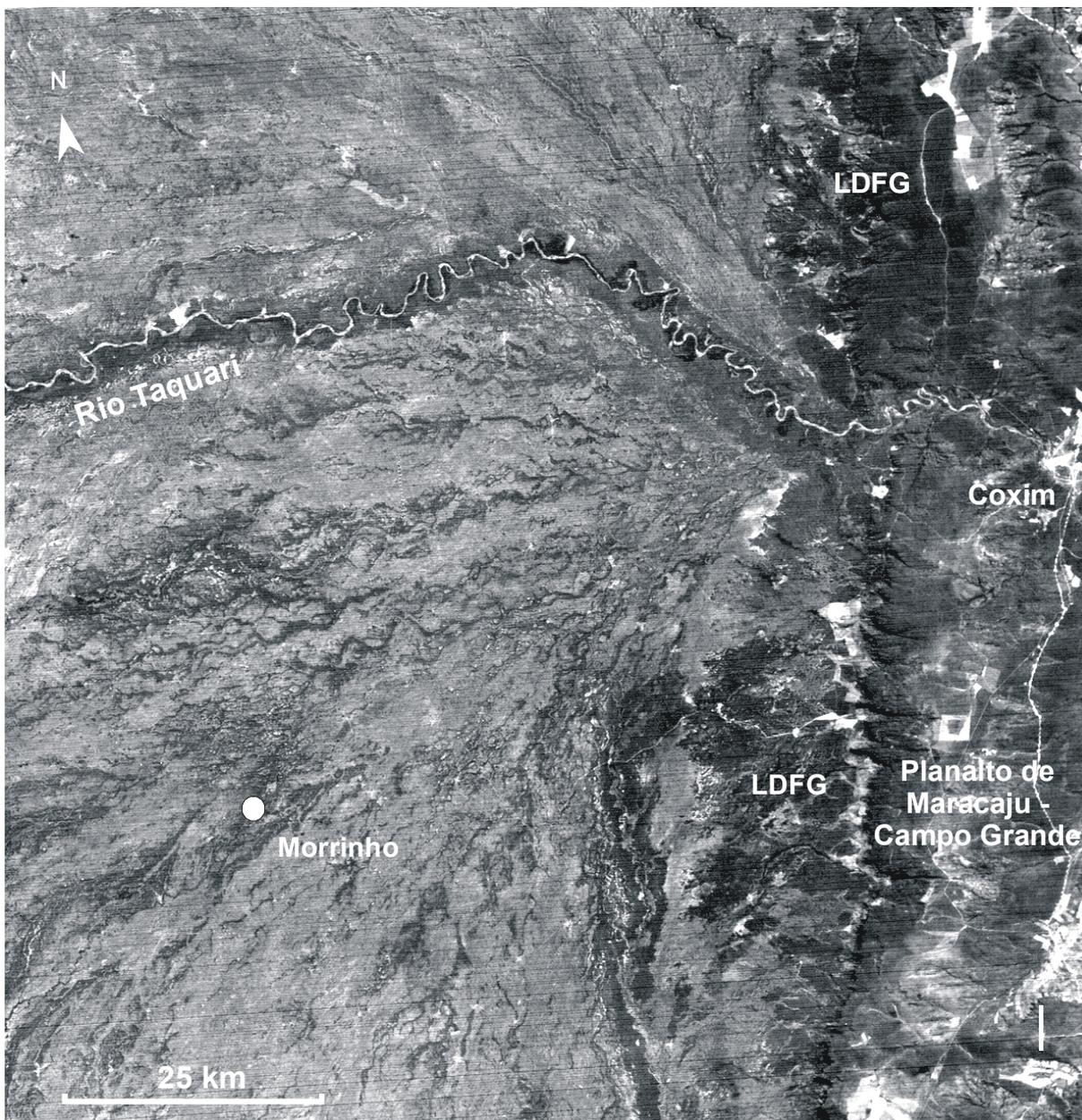


Figura 29 – Porção superior do leque do Taquari, onde pode ser observado um denso padrão de paleocanais distributários radiais a partir do ápice do leque. Na porção superior o rio Taquari está confinado num cinturão de meandramento, entrincheirado sobre depósitos de lobos mais antigos. Uma escarpa íngreme é o limite natural entre o o planalto e a planície do Pantanal. Entre a escarpa e o leque do Taquari, há vários leques dominados por fluxos gravitacionais (LDFG) que coalescem formando uma rampa com gradiente maior que a do leque do Taquari. A área-fonte está situada a leste nos planalto de Maracaju-Campo Grande e Taquari-Itiquira, constituídos por rochas terrígenas paleozóicas e mesozóicas da Bacia do Paraná (imagem de satélite Landsat, banda 5, 21/06/1975).

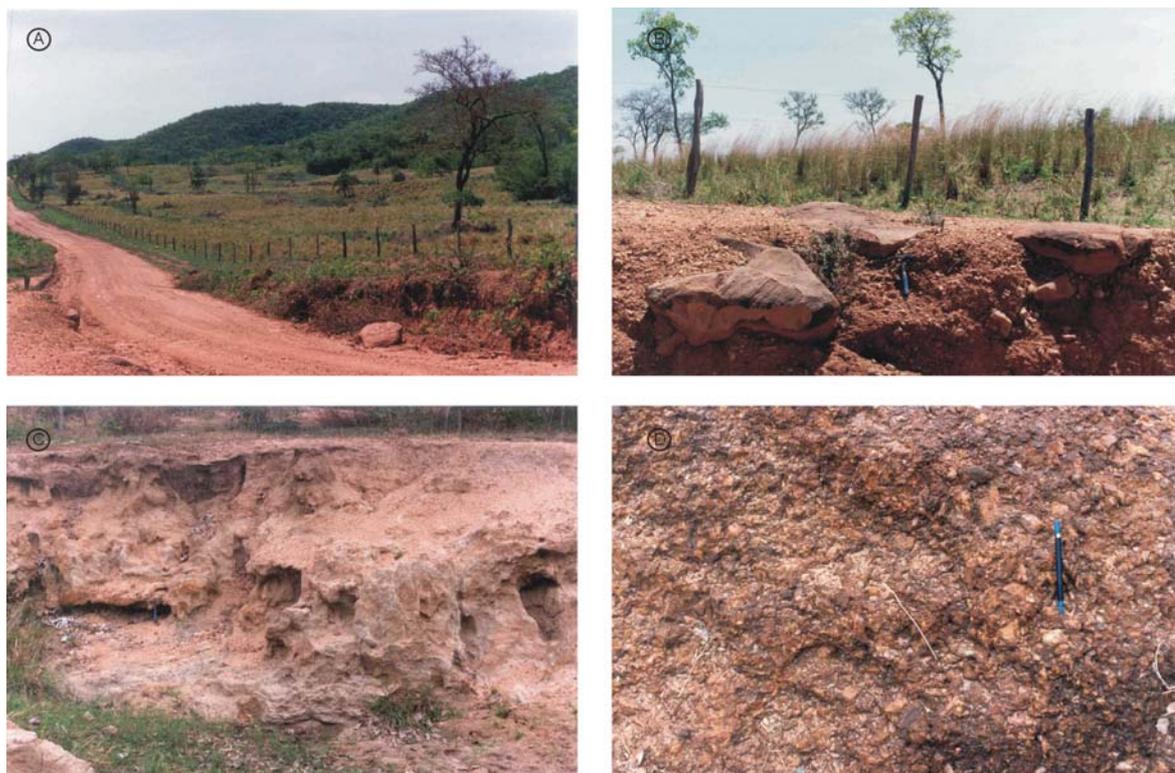


Figura 30 – Leques dominados por fluxos gravitacionais: A) rampa de piedmont na borda leste da bacia; B, C e D) conglomerados sustentados pela matriz, produzidos por fluxos de detritos.

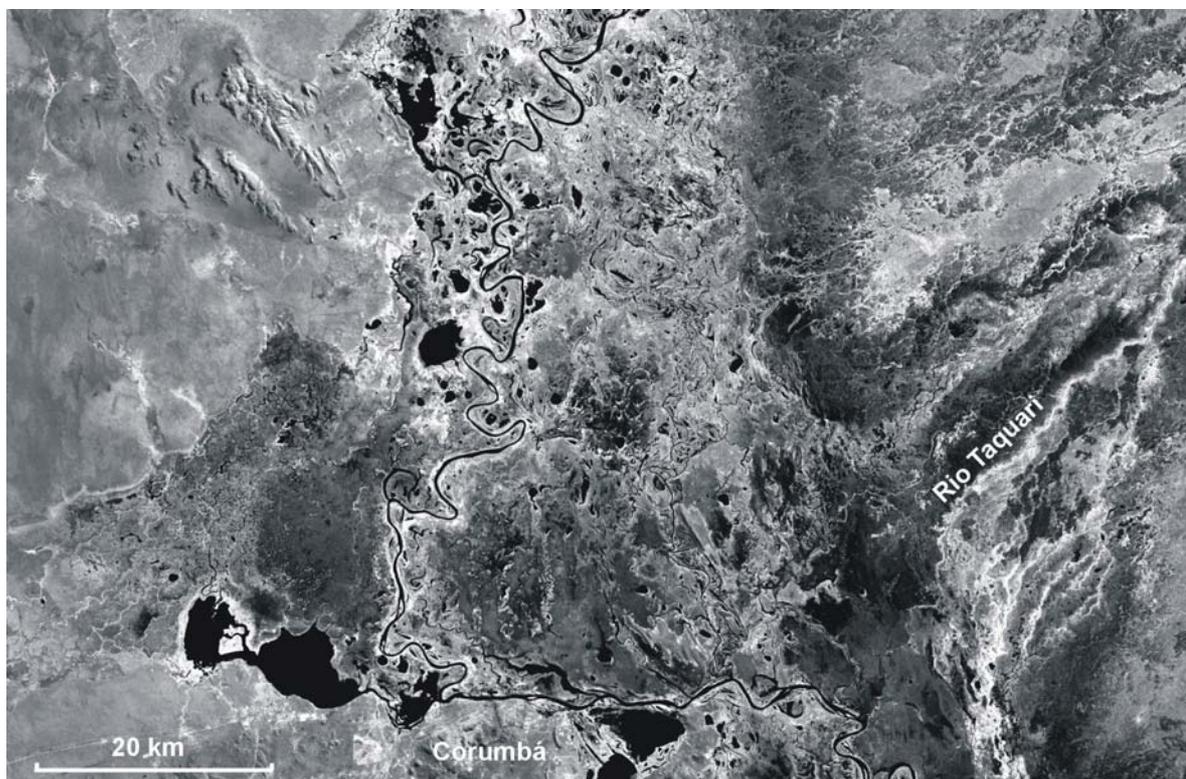


Figura 31 – Planície fluvial meandrante do rio Paraguai a norte de Corumbá (Pantanal do Paraguai-Paiaguás). A franja do leque do Taquari pode ser vista à direita. Rio Paraguai sofre uma abrupta mudança para a direita na altura da cidade de Corumbá devido à existência de falha de direção aproximada E-W (imagem de satélite Landsat TM banda 4, novembro de 1999).



Figura 32 – Meandro do rio Paraguai com desenvolvimento de barras em pontal, localizado nas proximidades da cidade de Corumbá. Foto aérea oblíqua tomada no final da época das cheias (maio de 2000).

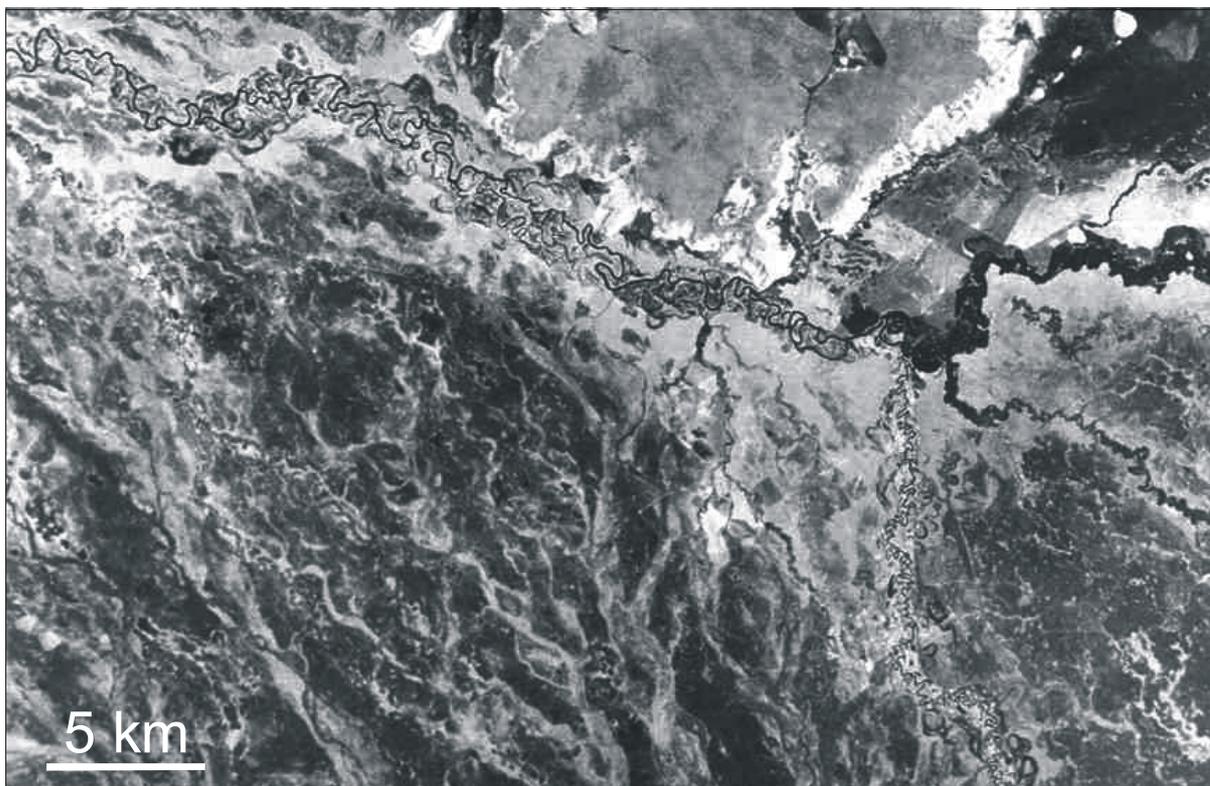


Figura 33 – Planície fluvial do rio Piquiri, que apresenta-se como um rio meandrante de alta sinuosidade. A sul do rio, inúmeros paleocanais distributários e uma drenagem tributária superimposta podem ser observados em lobos abandonados do leque do Taquari. Situada a norte do rio, a Serra Solteria é um morro-testemunho esculpido em rochas pré-carboníferas da Bacia do Paraná. No topo da Serra existem depósitos da Cobertura Detrítico-Laterítica (ou Formação Cachoeirinha), associados à superfície de aplainamento anterior à formação da Bacia do Pantanal.

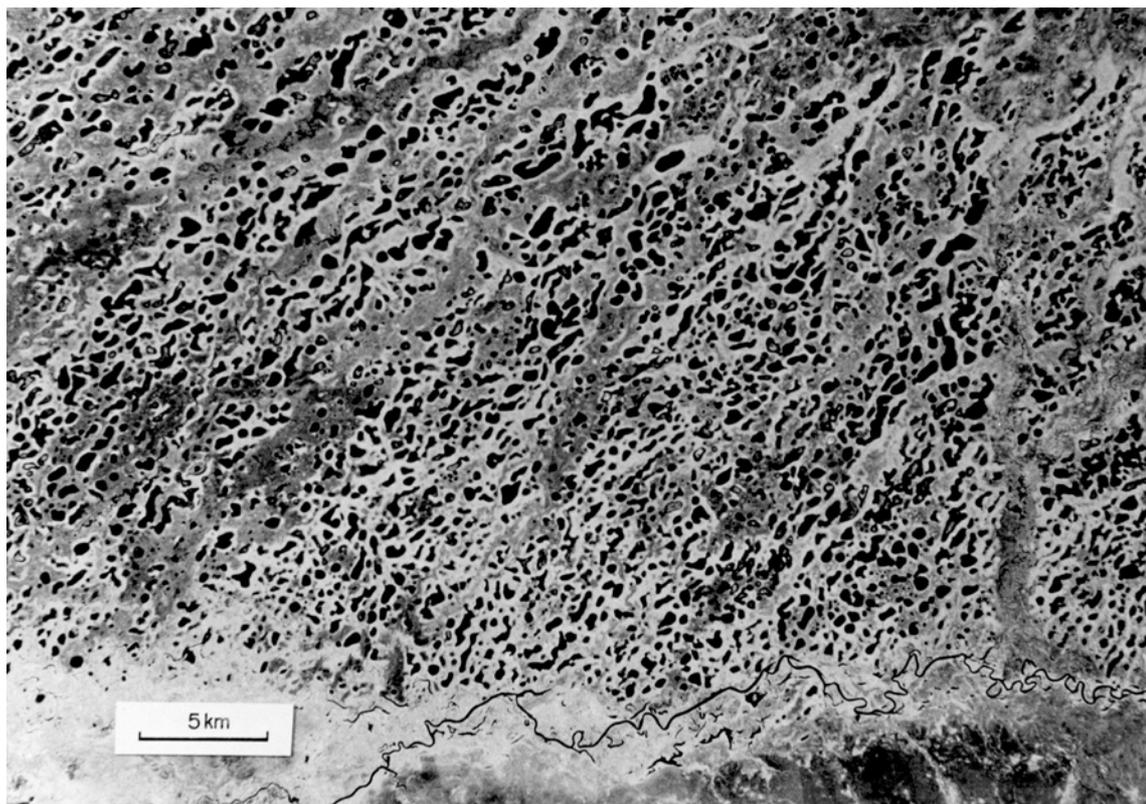


Figura 34 - Planície fluvial do rio Negro a sul da região de lagoas da Nhecolândia (parte sul do leque do Taquari). O rio é meandrante a leste, mas sua sinuosidade diminui para jusante (oeste).

4.3. Sistemas lacustres

Adjacente às planícies do rio Paraguai, no limite com a Bolívia, existem vários sistemas lacustres que recebem a designação de lagoas. São sistemas pouco estudados do ponto de vista geológico, especialmente no que concerne à sua origem.

Alguns lagoas situadas a norte de Corumbá, como as lagoas Vermelha e Mandioré, apresentam certo isolamento em relação à planície do Paraguai (Figura 35). O mesmo ocorre com a Lagoa do Jacadigo, que permanece a maior parte do tempo isolada da planície fluvial do Paraguai. A Lagoa do Jacadigo fica a mais de 20 km da planície do Paraguai e somente é atingida pelas águas do rio nos anos de grandes cheias (Figura 36).

Há poucas informações disponíveis sobre os sedimentos de fundo das diferentes lagoas. As lagoas do Jacadigo, Negra e do Castelo foram estudadas por Bezerra (1999), que realizou sondagens com vibrotestemunhador e amostrou os primeiros três metros de sedimentos, analisou-os granulometricamente e datou-os com ^{14}C . Observou o predomínio de fácies de areias abaixo de seções mais pelíticas e ricas em matéria orgânica, típicas de lagos, concluindo que os sistemas lacustres

se estabeleceram no início do Holoceno em áreas antes dominadas por sedimentação fluvial.

Algumas características em comum chamam a atenção, como o fato de as lagoas estarem localizadas na margem direita do rio Paraguai e ocorrerem associadas a relevos residuais constituídos por rochas pré-cambrianas. É sugestivo um condicionamento tectônico, que seria responsável por subsidência associada a falhas ativas. As áreas onde ocorrem as lagoas de Jacadigo e Cáceres, na parte sul do Pantanal, por exemplo, estão controladas por estruturas NE e NW. Segundo Urban et al. (1992), a lagoa situa-se num gráben entre blocos altos do maciço do Urucum, mas não há informações consistentes sobre movimentos tectônicos recentes.

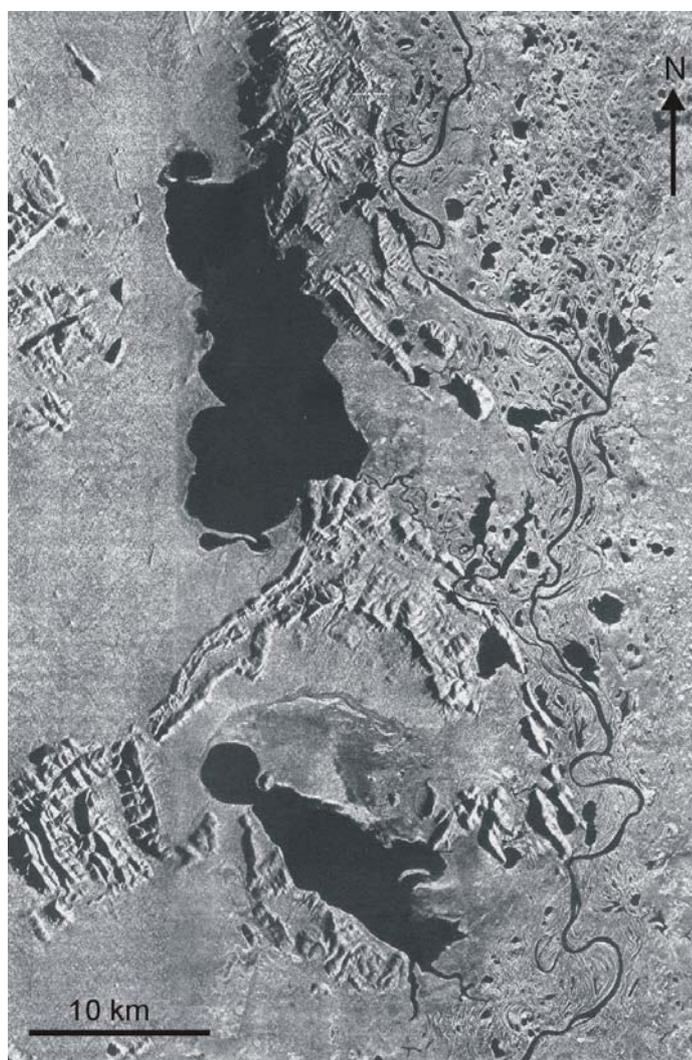


Figura 35 – As lagoas de Mandioré (parte superior) e Vermelha (parte inferior) ocorrem em depressões adjacentes a relevos esculpidos em rochas pré-cambrianas, o que sugere controle estrutural das mesmas. São duas importantes lagoas, que isoladas mas que são atingidas pelas águas das grandes cheias do Paraguai (imagem de radar de abertura sintética do RadamBrasil, folha SE-21-Y-B, levantamento de 1975/76).

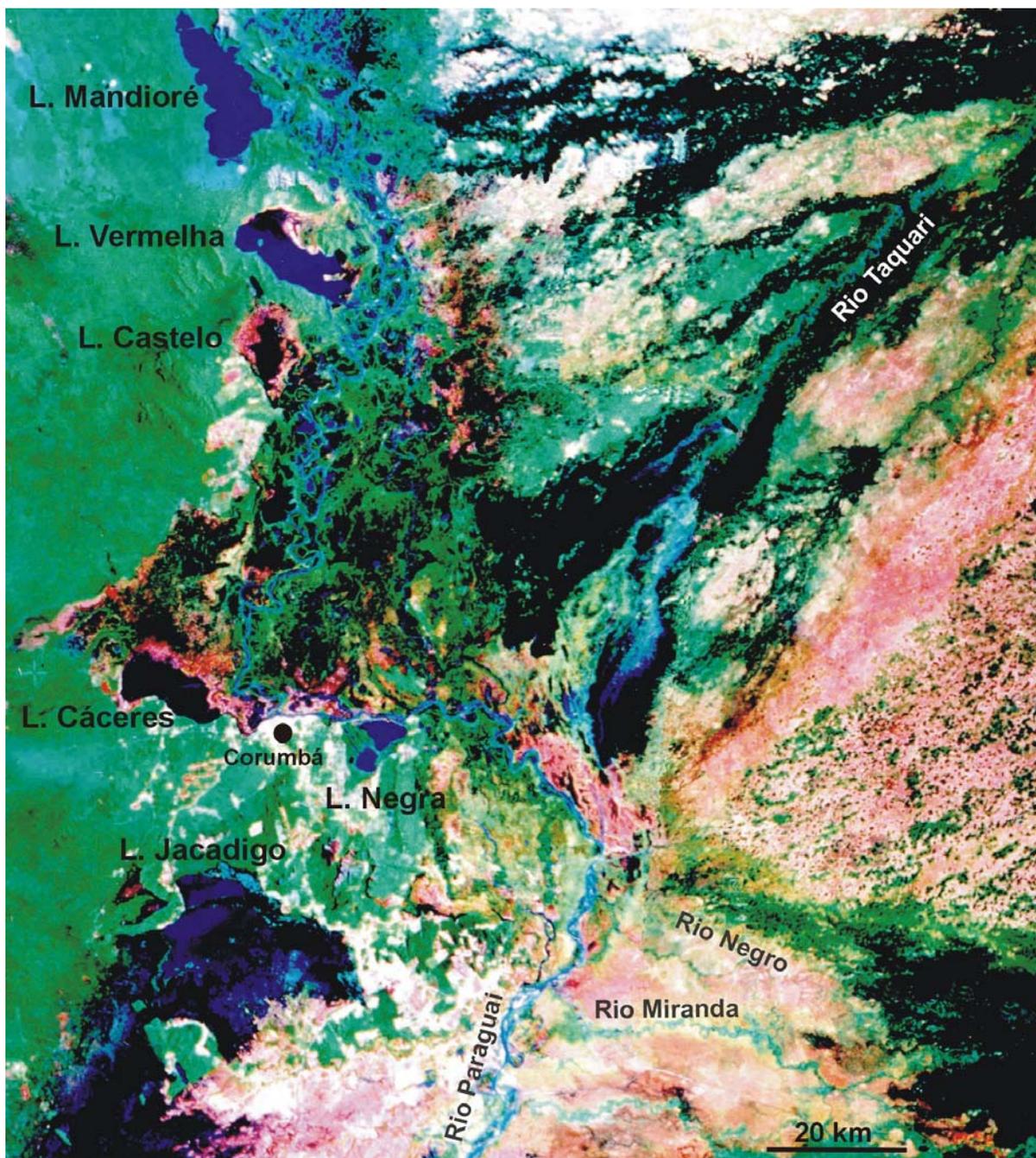


Figura 36 – Trato de sistemas deposicionais na borda oeste da Bacia do Pantanal, onde vários sistemas lacustres podem ser visualizados na margem direita do rio Paraguai, na divisa com a Bolívia. A planície do Paraguai a norte de Corumbá é larga e freqüentemente alagada, constituindo a paisagem que deu origem ao mito sobre a existência do Lago de Xarayes. Áreas freqüentemente inundadas ocorrem também no baixo curso do rio Taquari, na franja do leque, que pode ser visto no centro e no alto do lado direito da imagem. Outra área comumente alagada é a franja do leque do Miranda - Aquidauna, que pode ser vista na parte inferior direita da imagem. As áreas mais inundáveis podem estar associadas a blocos mais subsidentes, onde espaço de acomodação é criado pela tectônica (Composição de imagens de satélite Landsat TM, falsa cor, bandas R3/G4/B7, registradas durante a estação seca de outubro de 1990; esta imagem é um detalhe da figura 25).

5. MEGALEQUE DO TAQUARI

Localizado no Estado de Mato Grosso do Sul, o leque do Taquari é o maior dos leques aluviais do Pantanal Mato-Grossense, constituindo a feição mais notável da geomorfologia do Pantanal, facilmente reconhecível em imagens de satélite (Figura 25). Ocupando uma área de aproximadamente 50.000 km², cerca de 37% da área total do Pantanal, é um verdadeiro megaleque, com dimensões similares às dos megaleques da Índia (Shukla *et al.* 2001) e da Colômbia (Horton & DeCelles 2001).

O megaleque do Taquari tem diâmetro de cerca de 250 km e apresenta singular geometria circular. As altitudes no leque variam de 190 m no seu ápice (cânion que corta a escarpa dos planaltos a leste) até 85 m na sua base (Rio Paraguai a oeste), o que resulta num gradiente médio muito baixo de 36 cm/km. A disposição das curvas de nível (Figura 37) mostra que a superfície do leque apresenta forma transversal marcadamente convexa e perfil longitudinal côncavo, o que é característico de sistemas de leques aluviais (Figura 16).

Na paisagem do megaleque, destacam-se unidades morfológicas, como um cinturão de meandramento na porção superior do leque, um lobo atual de sedimentação nas porções média/distal, e vários lobos abandonados representados por uma complexa rede de paleocanais (Figura 37)

5.1 – Bacia de drenagem

O rio Taquari flui de leste para oeste, tendo bacia de drenagem nos planaltos de Maracaju-Campo Grande e Taquari-Itiquira (Figura 4), que estão bastante esculpidos formando um grande anfiteatro de erosão, evidente no mapa digital do relevo apresentado na figura 8.

Os planaltos são constituídos por rochas sedimentares da Bacia do Paraná, cujos estratos mergulham suavemente para leste, resultando num relevo de cuevas. Na superfície de cimeira, cujas altitudes máximas estão entre 700 e 800, podem existir coberturas de sedimentos terciários (Formação Cachoeirinha), que provavelmente representam depósitos coetâneos à geração da superfície de aplanamento sul-americana.

Na bacia de drenagem, o relevo é de cuevas e predominam processos erosivos. O rio Taquari e seu afluente principal, o Coxim, são rios de alta energia e apresentam padrões de drenagem ajustados a fraturas NNE e NW. Há corredeiras e pequenos saltos esculpidos sobre rochas da Formação Furnas, comuns de Coxim para montante.

O limite entre o Planalto (área de drenagem) e o Pantanal (área de deposição) é marcado por uma abrupta escarpa (Figura 38), orientada aproximadamente na direção N20E e esculpida em rochas cristalinas pré-cambrianas e em seqüências ordovício-siluriana (formações Alto Garças e Vila Maria) e devoniana (Formação Furnas) da Bacia do Paraná.

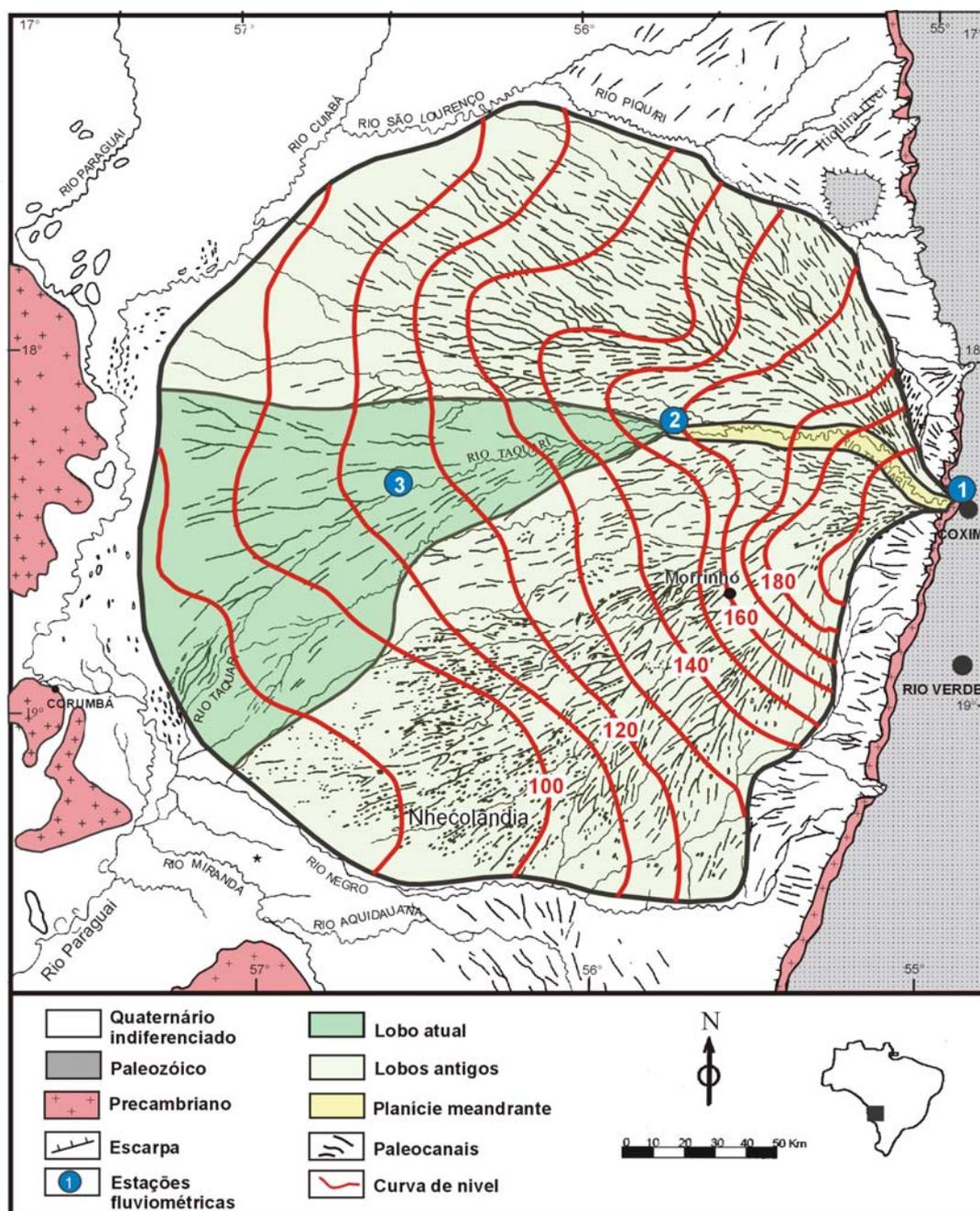


Figura 37 – Mapa do leque do Taquari, mostrando curvas de nível (metros), paleocanais, cinturão de meandramento na porção superior do leque, lobo distributário atual e estações fluviométricas. (1 = Coxim; 2 = São Gonçalo; 3 = Porto Rolon).

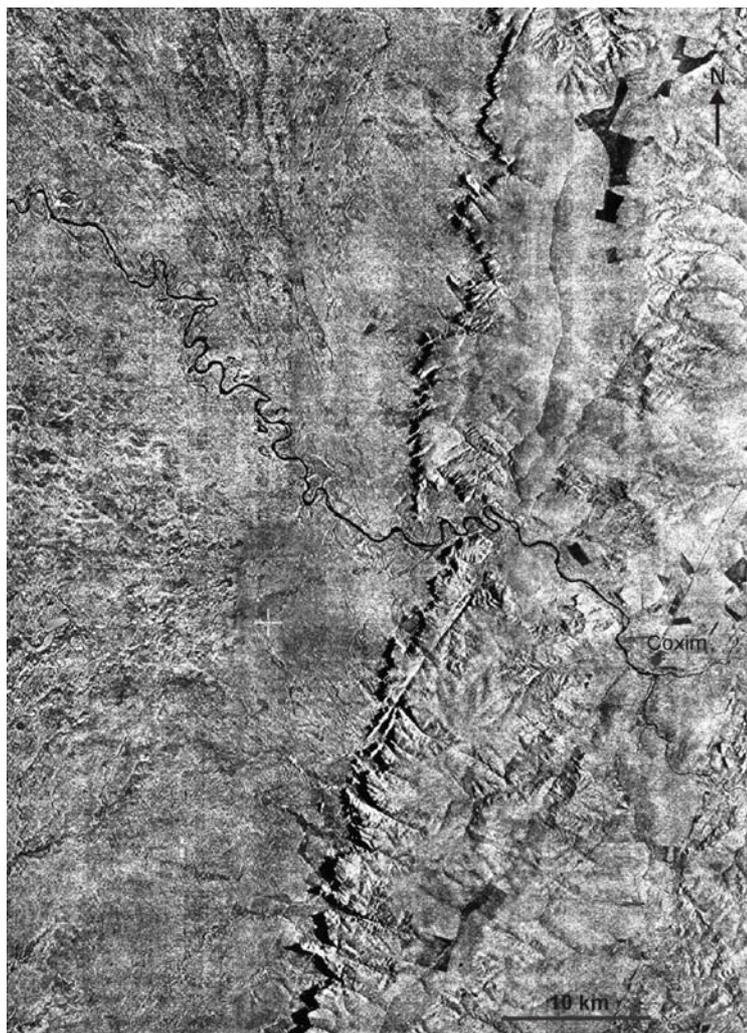


Figura 38 – A bacia de drenagem do rio Taquari está localizada a leste, no planalto de Maracaju, sobre rochas terrigenas paleozóicas e mesozóicas da Bacia do Paraná. No planalto podem ser observados traços de fraturas e falhas de direções NNE e NW, às quais está ajustado o curso do rio Taquari. Uma escarpa erosiva íngreme é o limite natural entre a bacia de drenagem e o megaleque do Taquari. Paleocanais distributários são visíveis em toda a parte superior do megaleque, onde o rio Taquari corre hoje confinado num cinturão de meandramento. Observar que o rio Taquari passa a ter padrão meandrante mesmo antes de adentrar na planície do Pantanal. (Imagem de radar de abertura sintética, obtida em 1975).

A jusante da cidade de Coxim, o rio Taquari passa a correr numa planície sedimentar, encaixada num cânion largo, escavado em rochas paleozóicas da Bacia do Paraná, cujas camadas mergulham para leste. Correndo numa planície encaixada, o rio se torna sinuoso antes de entrar no leque, com a presença de barras em pontal bem desenvolvidas.

Quando adentra na planície do Pantanal, o rio dá origem ao megaleque, que é formado essencialmente por depósitos de areia branca, fina a grossa, com baixo

conteúdo na fração lama. Esta natureza psamítica reflete a composição das rochas na área-fonte (bacia de drenagem).

5.2 - Cinturão de meandramento

O rio Taquari percorre cerca de 100 km confinado num cinturão de meandramento (*meandering belt*) entrincheirado na parte superior do leque, com largura de aproximadamente 5 km (Figura 39).

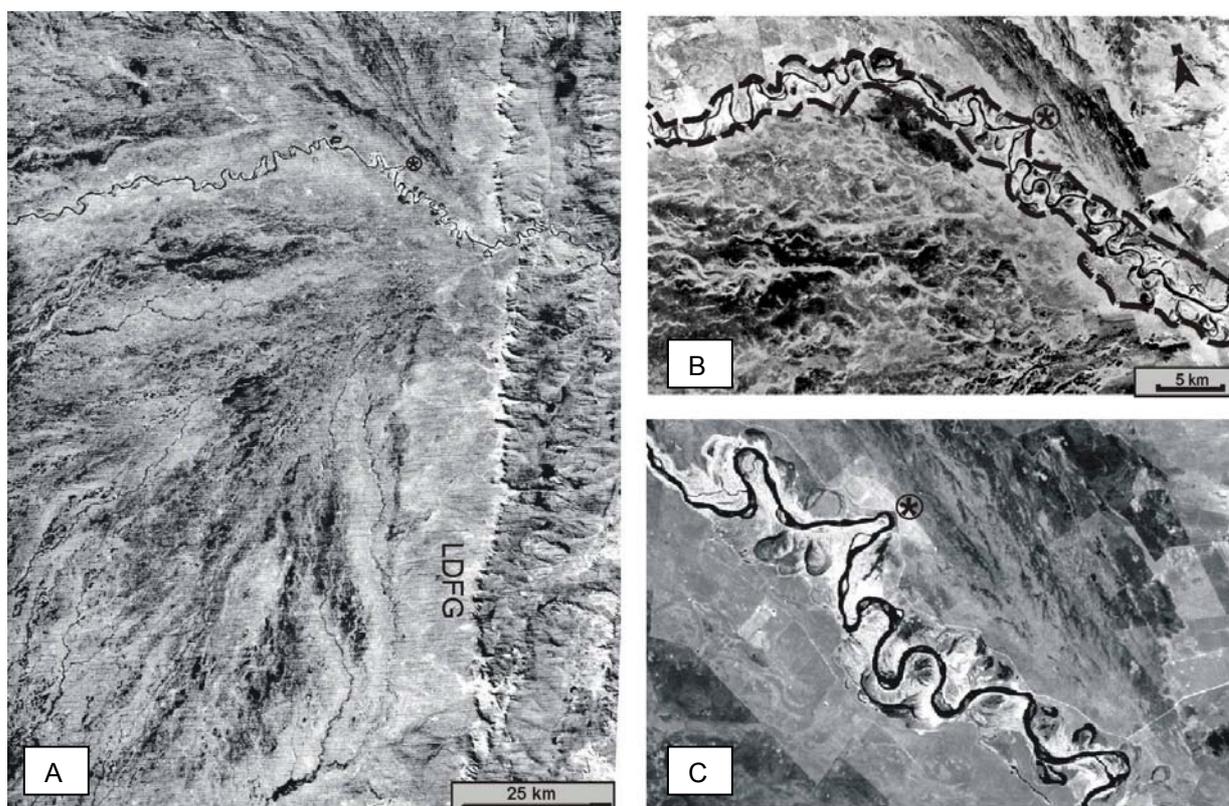


Figura 39 – A) Vista geral do cinturão de meandramento na parte superior do megaleque, onde são evidentes paleocanais distributários de lobos antigos. Leques dominados por fluxos gravitacionais (LDFG) ocorrem como rampas no sopé das escarpas dos planaltos situados a leste (Imagem de satélite Landsat, banda 7, março de 1973). B) Terraços marginais, indicados por linhas tracejadas, confinam o cinturão de meandramento na parte superior do megaleque do Taquari (imagem Landsat TM, banda 4, outubro de 1990). C) Detalhe mostrando meandros abandonados (asterisco indica a localidade de Barranqueiras).

O cinturão de meandramento está confinado num vale encaixado (inciso ou entrincheirado) em depósitos mais antigos, que formam terraços marginais com alturas de até 5 metros. Onde o canal do rio encosta na margem do vale promove erosão das barrancas na parte côncava dos meandros, como na localidade de Barranqueiras (indicado com asterisco na figura 39). Processo de erosão na parte côncava do meandro está ativo, tendo o rio destruído parte de edificações ali

construídas (Figura 40). Ciclos fluviais, com areias que afinam para o topo, culminando com níveis argilosos e paleossolos, podem ser observados nestas barrancas dos terraços marginais.



Figura 40 – Margem côncava do rio Taquari na localidade de Barranqueiras. Sedimentos de lobo antigo estão sofrendo erosão neste ponto onde o rio encosta no terraço que confina o vale do Taquari na parte superior do leque (foto de setembro 2000).

Como o rio corre confinado dentro do cinturão de meandramento, não há perda significativa de água durante as cheias por avulsão, porque os processos de rompimento de diques marginais e formação de leques de *crevasses* são pouco frequentes e ocorrem apenas dentro do cinturão. Devido a isso, há pouca variação nas medidas de vazão nas estações fluviométricas de Coxim e de São Gonçalo, situadas, respectivamente na bacia de drenagem e no final do cinturão de meandramento (Figura 41).

Os terraços diminuem de altura para jusante dentro do trecho meandrante, assim como diminui a largura do cinturão que desaparece na porção média do leque quando o rio entra no lobo distributário atual (Figura 37). A mudança no padrão fluvial é nítida em imagens de sensores remotos e em fotografias aéreas, sendo caracterizada também por um aumento no gradiente topográfico, que passa de 0,36 m/km para 0,45 m/km na parte superior do lobo distributário atual (Figura 42).

5.3 – Lobo distributário atual

O lobo distributário atual é o principal sítio de deposição no megaleque do Taquari. Seu ápice está situado aproximadamente na altura do meridiano 56°W, coincidindo com o desaparecimento dos terraços marginais e o fim do cinturão de

meandramento. O ápice do lobo atual coincide com um aumento no gradiente topográfico, correspondendo ao ponto de intersecção (conceito apresentado na figura 17).

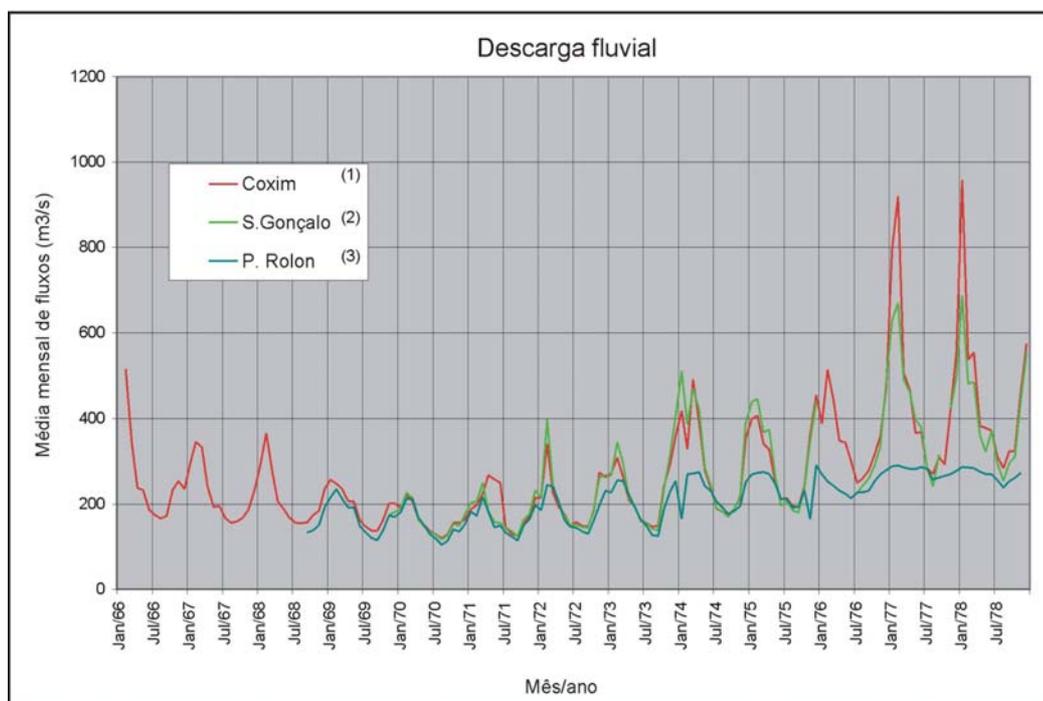


Figura 41 – Medidas de vazão (ou fluxo) do rio Taquari em três estações fluviométricas (ver figura 37 para localização das estações).

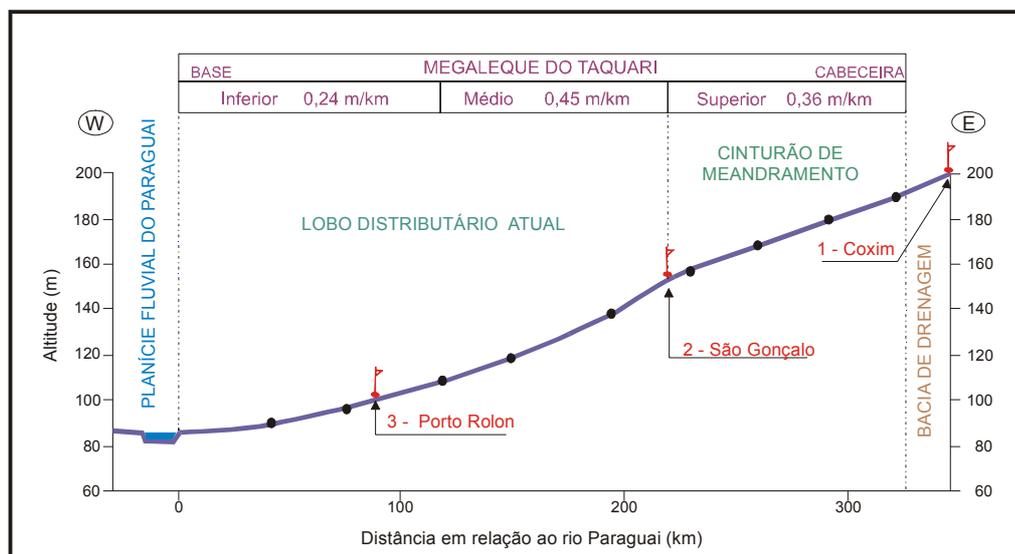


Figura 42 - Perfil longitudinal do rio Taquari. Gradientes, de 0,00036 m/m no cinturão de meandramento a 0,00021 m/m no lobo distributário atual, são similares aos dos leques de rios de baixa sinuosidade / meandramentos (Figura 23). Na figura estão indicadas as quatro estações fluviométricas existentes no rio.

No lobo distributário atual foram reconhecidos os seguintes elementos geomórficos, que produzem diferentes associações de fácies: a) canal principal, de baixa sinuosidade, b) diques marginais; c) planície de inundação; d) lóbulos arenosos lineares, e) canais de crevasse, e f) leques de crevasse (Figura 43).

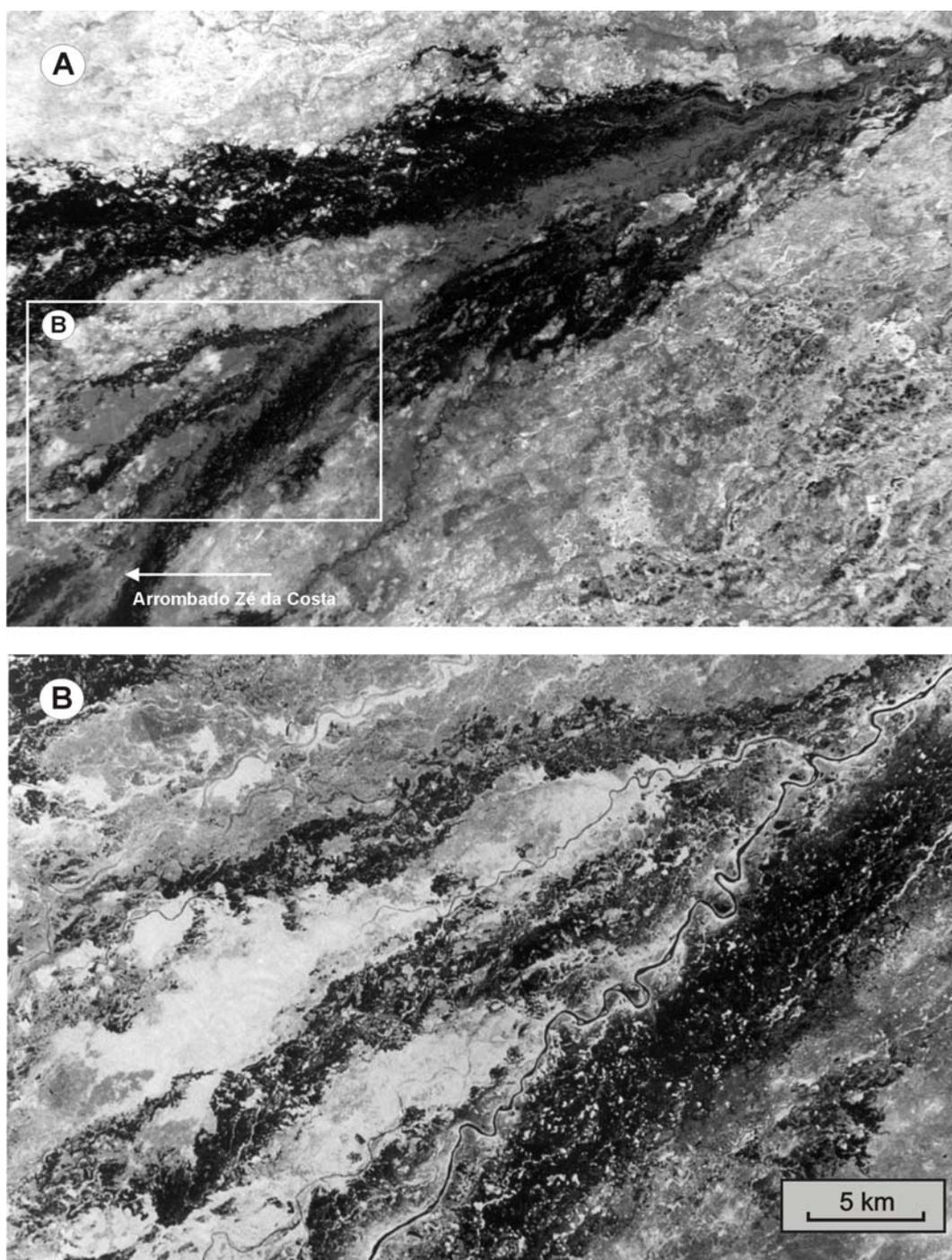


Figura 43 – Padrão de drenagem no lobo distributário atual. Áreas escuras são mais baixas úmidas nas planícies de inundação, onde ocorrem lóbulos construídos por antigos canais distributários. A figura B é um detalhe de A (imagem de satélite Landsat TM, banda 4, outubro de 1990, estação seca).

Para jusante, há um progressivo estreitamento do canal em direção à planície do rio Paraguai, com diminuição da sinuosidade e da altura dos diques marginais. Nesta área há muitos pontos de avulsão devido ao rompimento de diques marginais, com progradação de *crevasse splay*s sobre áreas baixas adjacentes, que ficam inundadas durante a época das cheias (Figura 44). Os pontos de rompimento dos diques marginais são conhecidos pela comunidade que vive no Pantanal como “arrombados”.

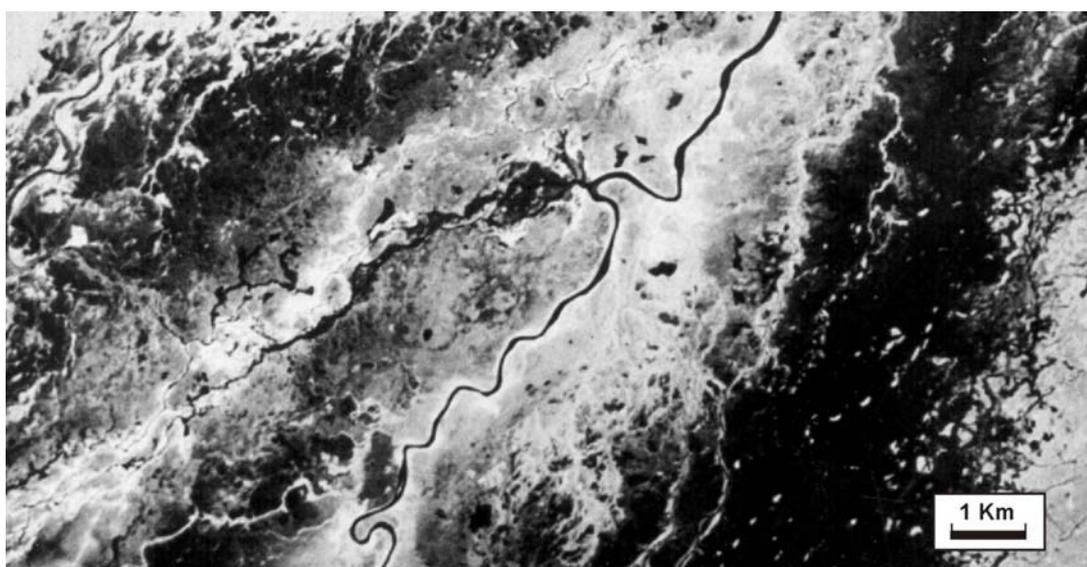


Figura 44 – Fenômeno de avulsão no baixo curso do rio Taquari, conhecido como arrombado Zé da Costa (imagem Landsat TM, banda 4, outubro de 1990; ver figura 43 para localização).

O fenômeno de avulsão ocorre sobretudo durante as cheias, quando a água flui para planícies adjacentes a partir dos locais onde há rompimento de diques marginais. O fluxo de água para as planícies adjacentes faz com que a vazão diminua para jusante no canal do rio. A redução na vazão pode ser verificada quando se compara as medidas de vazão nas estações fluviométricas de São Gonçalo e Porto Rolón (Figura 41). Nos meses de seca os fluxos são praticamente iguais nas duas estações, indicando que não há perda significativa de água por infiltração ou evaporação. No período das cheias, entretanto, a vazão é significativamente menor na estação de Porto Rolom, indicando que há perda de água para a planície devido a processos de avulsão.

5.4 - Lobos abandonados

Paleocanais pouco sinuosos, definindo uma paleodrenagem com padrão distributário, são evidentes na superfície de todo o leque quando se analisam imagens de satélite e de radar (figuras 25, 29 e 39), testemunhando a existência de lobos abandonados de diversas idades.

Os lobos abandonados revelam uma dinâmica sedimentar caracterizada pelo surgimento, progradação e abandono de lobos deposicionais. Tal sucessão de processos ocorreu repetidas vezes durante o Quaternário, dando origem a uma sucessão de lobos.

A primeira tentativa de identificar e hierarquizar tais lobos antigos no megaleque do Taquari foi reportada em Soares *et al.* (1978). Posteriormente, referências à existência e caracterização dos lobos foram comunicadas em alguns eventos científicos (Assine & Soares 1997, Assine *et al.* 1997). Entretanto, os detalhes dos trabalhos e os resultados obtidos não foram publicados, de forma que os lobos ainda estão por ser devidamente caracterizados e hierarquizados.

Lobos diferentes são distinguidos entre si pelas diferentes orientações dos conjuntos de paleocanais. Com base nestes critérios morfológicos e utilizando imagens Landsat SS e TM, foi possível caracterizar e tentativamente delimitar vários lobos abandonados dentro do leque do Taquari (Figura 45).

Os lobos da parte superior norte do leque são muito semelhantes ao lobo atual em termos morfológicos. Caracterizam-se por paleocanais bem definidos e padrão distributário nítido (Figura 46). Dadas às características destes lobos, conclui-se que foram construídos em condições climáticas semelhantes às atuais, o que significa dizer, com grande disponibilidade de água .

5.5 - Nhecolândia

Na porção sul deste megaleque, área conhecida como Nhecolândia, a morfologia é singular, completamente diferente dos lobos da parte norte do leque. Imagem mais conhecida do Pantanal, a paisagem é caracterizada pela existência de centenas de pequenas lagoas distribuídas em meio à trama de paleocanais distributários e de canais tributários recentes. (figuras 34 e 47)

As lagoas possuem formas as mais diversas (circulares, elípticas, piriformes, crescentiformes e irregulares). Podem ocorrer alinhadas e conectadas, como num rosário, recebendo contribuição de águas superficiais durante as cheias, de forma que suas águas são doces (Figura 48). A maior parte das lagoas é alongada na direção NE, direção que se ajusta perfeitamente ao padrão distributário do lobo.

Lagoas crescentiformes já foram interpretadas como *oxbow lakes* associados a meandros abandonados (Sternberg 1957). A origem de tal paisagem é, entretanto, mais complexa, tendo resultado da atuação pretérita de processos aluviais e eólicos (discussão no item 6.1).

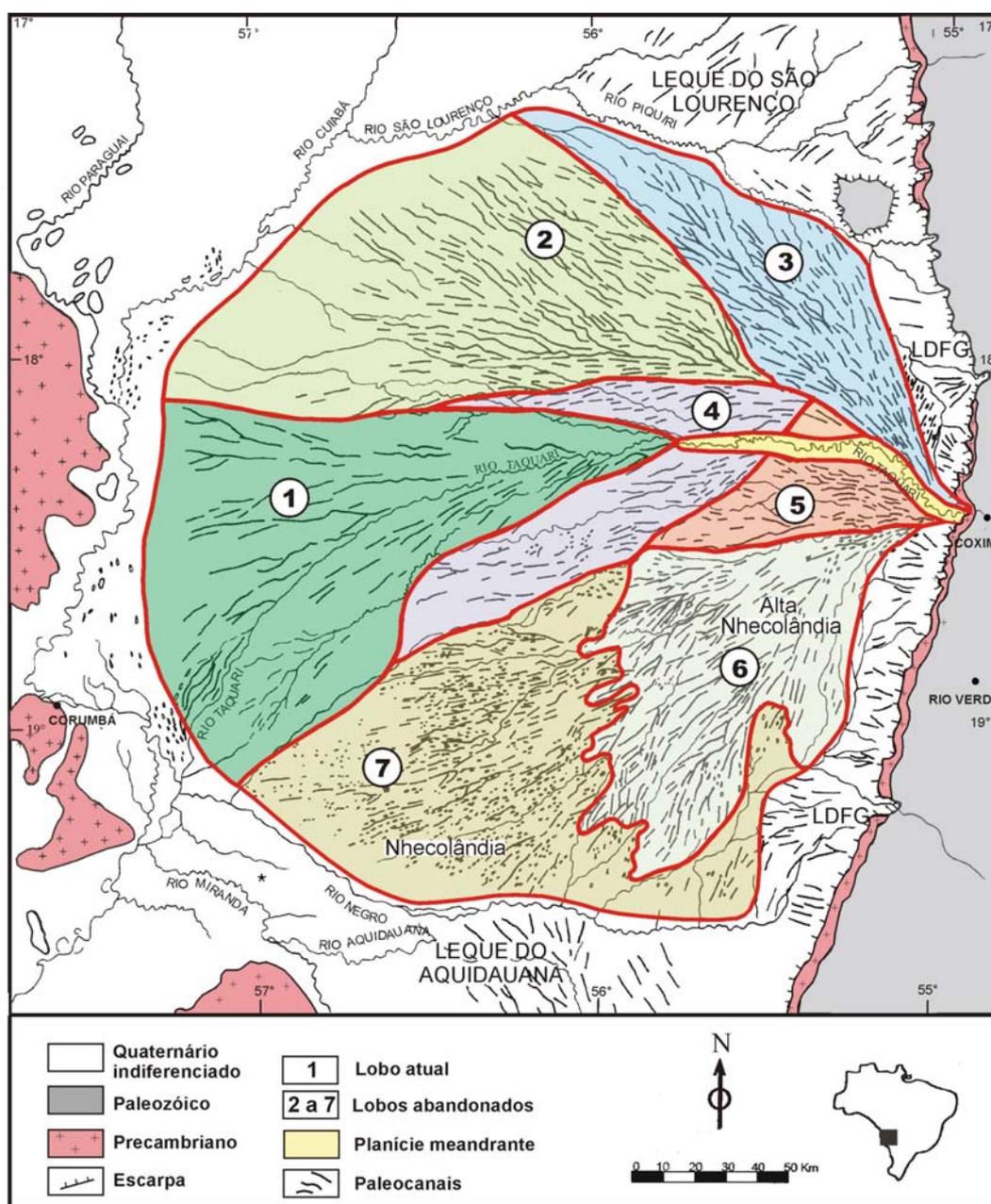


Figura 45 - Subdivisão morfológica do megaleque do Taquari com base no padrão geométrico dos paleocanais.



Figura 46 – Paleocanais na região norte do leque do Taquari(imagem Landsat TM, banda 4, outubro de 1990).

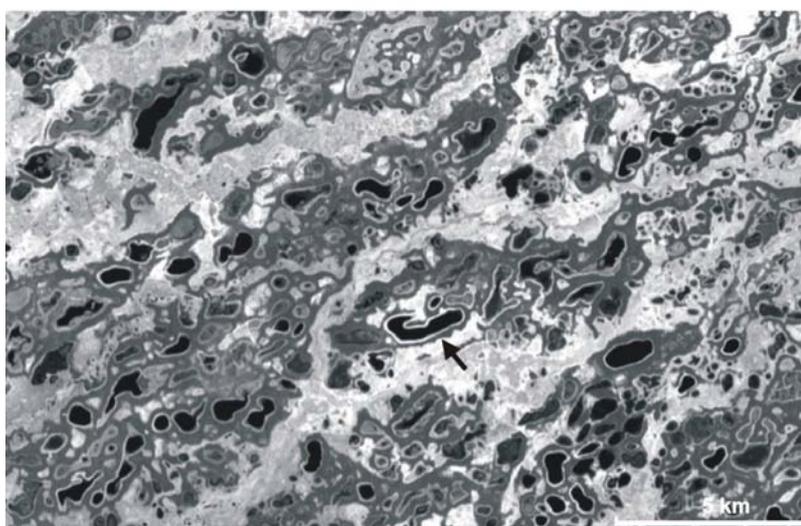
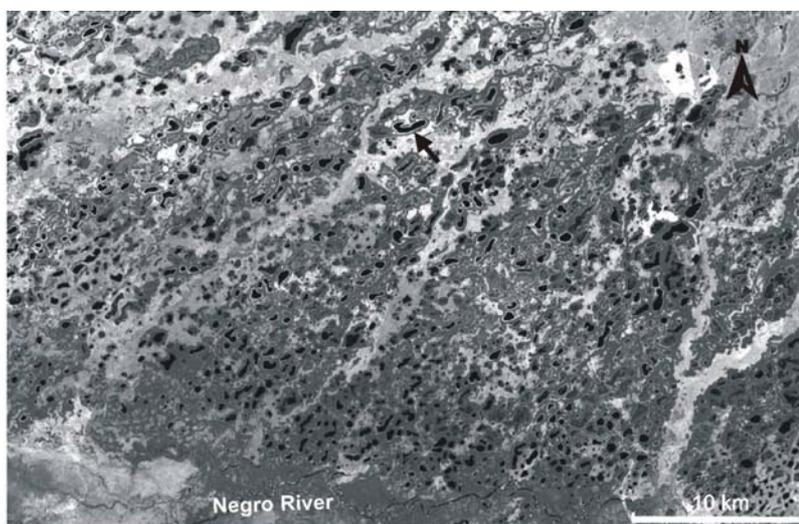


Figura 47 - Região da Nhecolândia (porção sul do leque), com a típica paisagem das lagoas, com canais tributários superimostos (imagem Landsat TM, banda 5, novembro 1999; B é um detalhe de A).



Figura 48 – Lagoas da Nhecolândia. As lagoas são conectadas à drenagem de superfície e, na estação seca, vão paulatinamente secando à medida que as águas vão escoando para fora do leque.

Algumas lagoas são isoladas da drenagem atual, muito raramente invadidas por águas de inundação e caracterizadas pela presença de águas salobras, recebendo a denominação local de “salinas” (Figura 49). São margeadas por elevações de areia fina com até quatro metros de altura, denominadas “cordilheiras”. Salinas e lagoas da Nhecolândia podem ser distinguidas das lagoas pela cor de suas águas em imagens de sensores remotos (Figura 50)

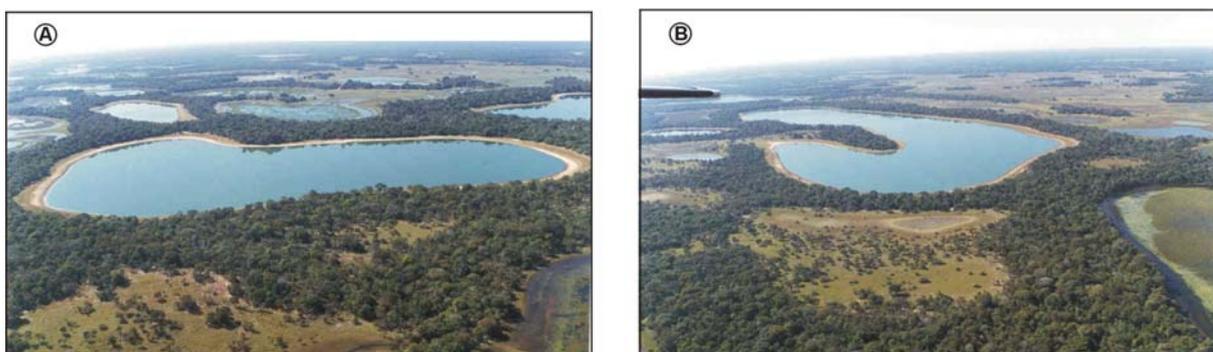


Figura 49 - Salinas são isoladas da drenagem superficial por cordões marginais de areia (cordilheiras).

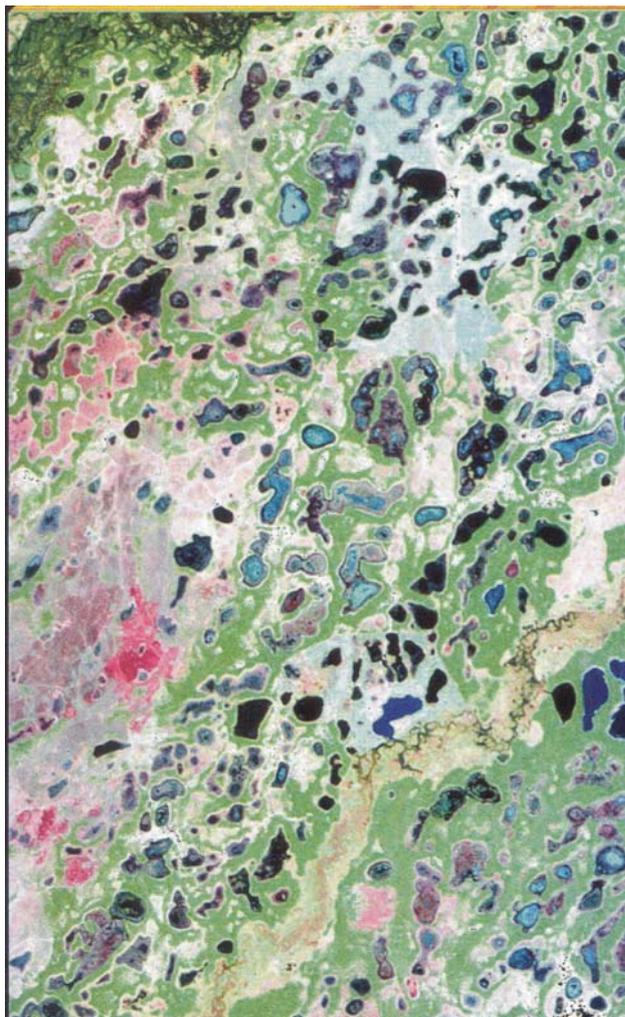


Figura 50 – Imagem AVIRIS (Airborne Visible / Infrared Imaging Spectrometer), que capta a porção inteira refletida do espectro eletromagnético solar (224 bandas em comparação com as 7 bandas do Landsat TM). Nesta imagem, obtida em agosto de 1995, no começo da estação seca, quando as águas abaixam e ficam restritas às lagoas e salinas, pode-se distingui-las pela cor: águas limpas (preto), vegetação flutuante (azul claro), alta salinidade (azul escuro). Cores marrom e vermelho representam áreas de pastagem onde a vegetação natural foi degradada (modificado de National Geographic 1998).

Drenagem tributária recente, manifestada por canais meandantes, vazantes e corixos, superimpõe aos padrões dos lobos antigos, mascarando em parte a paisagem das lagoas, o que evidencia história sedimentar complexa (figuras 47 e 51).

5.6 - Comparação com outros leques aluviais

O megaleque do Taquari tem diâmetro de cerca de 250 km, o que o coloca entre os maiores leques aluviais modernos, maior inclusive que os leques do rio Kosi na Índia (Singh *et al.* 1993) e do Okavango na África (Stanistreet & McCarthy 1993),

muitas vezes referidos como os maiores leques já identificados no planeta (Figura 52).

O leque do Taquari enquadra-se na categoria de leques aluviais de baixa sinuosidade / meandantes (losimean), sendo meandrante na parte superior e tendo evolução multi-lobos. Seu gradiente topográfico é muito baixo, semelhante ao do Okavango, como pode ser verificado na figura 42.



Figura 51 – Vazantes são canais recentes, freqüentemente formando padrão de drenagem tributário, que conectam as lagoas durante as enchentes e são responsáveis pelo escoamento da água após as cheias.

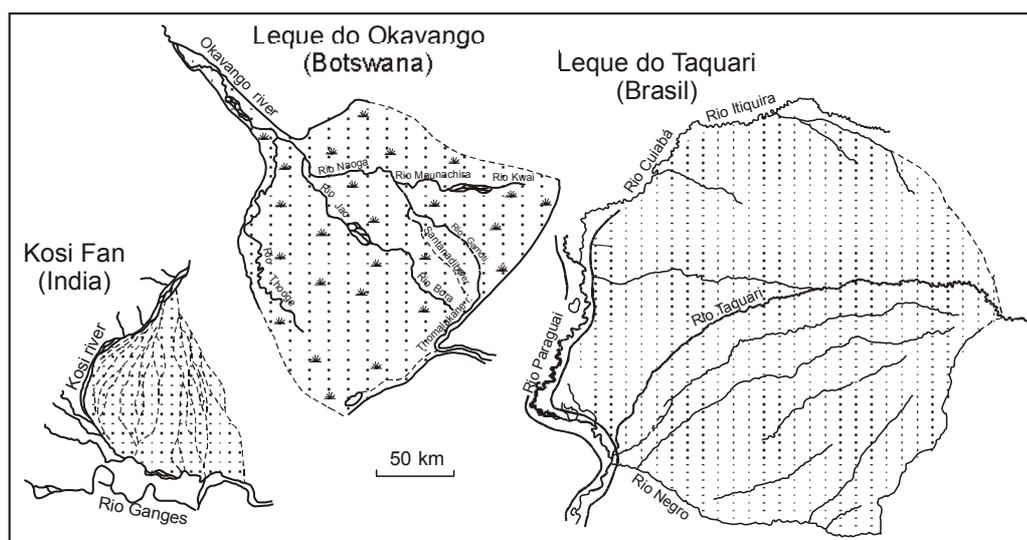


Figura 52 – Comparação do tamanho do Taquari com outros megaleques.

6. PALEOGEOGRAFIA E PALEOCLIMATOLOGIA

Grande tem sido o interesse internacional a respeito dos ciclos geológicos quaternários, em função das flutuações climáticas e conseqüentes variações do nível do mar. Paralelamente, os estudos no Quaternário continental vêm adquirindo importância. No Pantanal, uma complexa sucessão de eventos está impressa na área como um todo, mas seus registros são mais facilmente observados nos leques aluviais, sobretudo no do Taquari, que fundamentam a reconstituição histórica apresentada neste capítulo.

6.1 – Cronologia dos eventos

Os leques são o resultado de evolução complexa, produto da construção e abandono de lobos. Em tese, conjuntos de canais de um lobo mais antigo são truncados por conjuntos de canais de um lobo mais jovem, o que permite estabelecer sua sucessão no tempo.

Mas, há limitações e dificuldades na aplicação deste critério morfológico baseado nos truncamentos de paleocanais. A principal dificuldade é discriminar conjuntos de paleocanais de mesma hierarquia, uma vez que o padrão distributário é fractal nos leques, desde a escala macro (do leque como um todo) até a escala micro (lóbulo de *crevasse*).

Vários lobos foram discriminados no megaleque do Taquari a partir de interpretações feitas com base em imagens de sensores remotos (Figura 45). Utilizando os critérios morfológicos discutidos acima, uma sucessão para os lobos identificados na parte norte do megaleque foi tentativamente estabelecida, do lobo atual (lobo 1) ao mais antigo (lobo 5). Na parte sul, o lobo 6 é mais jovem que o 7, pois a paisagem das lagoas é recoberta por areiais formados por distributários mais jovens. A sucessão temporal integrada dos lobos dos dois conjuntos não pôde ser todavia estabelecida, porque não é clara a relação de truncamento entre paleocanais dos lobos 5 e 6.

Campanhas de campo para amostragem de diferentes áreas foram realizadas para testar a subdivisão feita e obter as primeiras informações sobre a idade dos sedimentos do Pantanal. Dentro das possibilidades de recursos, acesso e infraestrutura, quatro áreas foram selecionadas para realização de trabalhos de campo e de sondagens rasas com vibrotestemunhador, em três das quais foi recuperado material para datação. A localização dos pontos de amostragem está indicada nas figuras 53, 54 e 55.

Somente areias finas a muito finas, compactas e sem estruturas sedimentares, foram recuperadas nas sondagens realizadas na parte sul do megaleque. Areias mais imaturas, médias a grossas, com estratificação cruzada, foram recuperadas na parte norte do megaleque. A análise sedimentológica das amostras recuperadas está sendo realizada, devendo os resultados serem apresentados em trabalhos futuros. Na figura 56 estão mostrados testemunhos de uma sondagem na parte sul e de outra na parte norte do megaleque, onde se pode verificar a natureza diferente dos sedimentos das duas áreas investigadas.

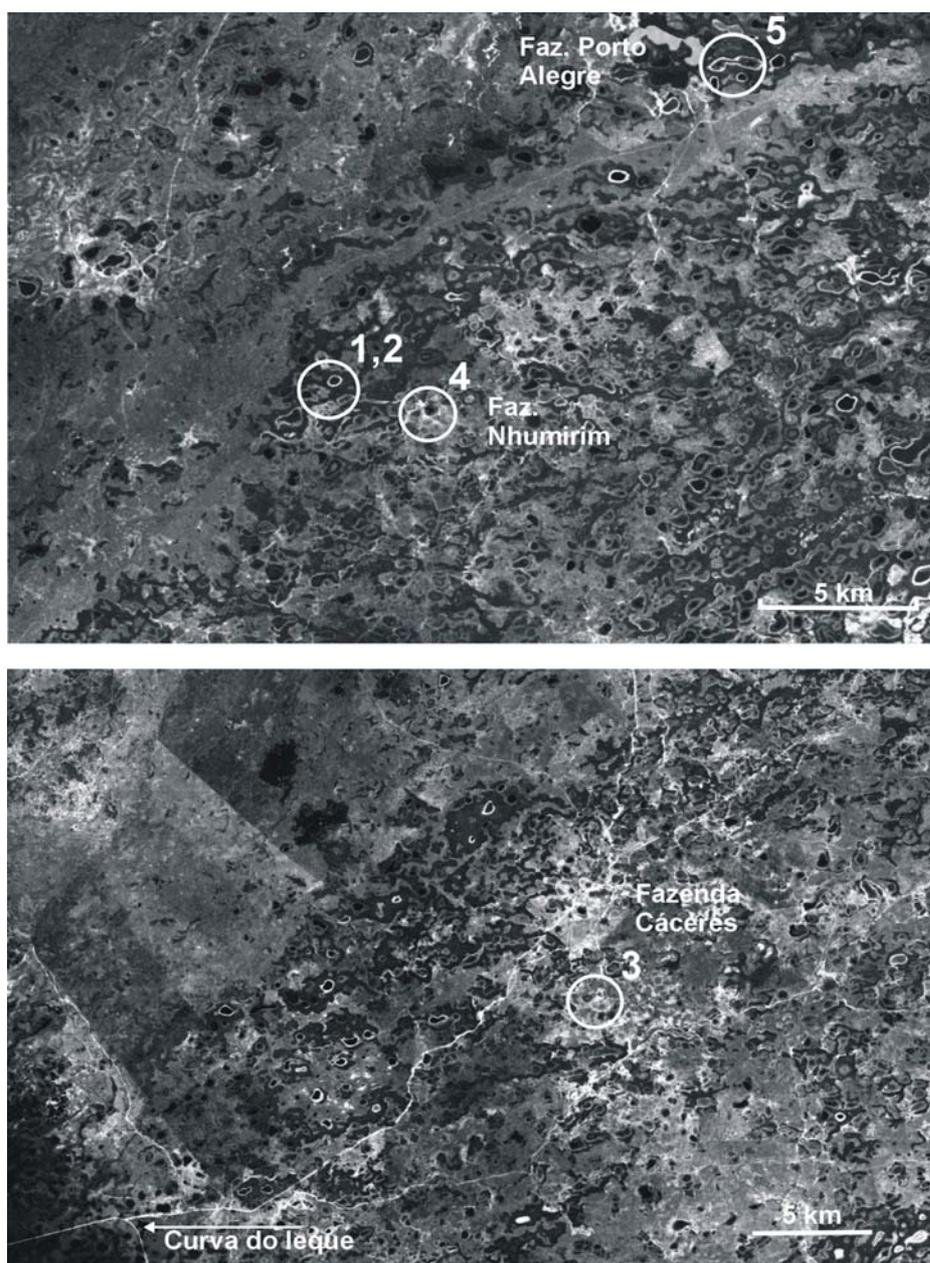


Figura 53 – Localização dos pontos de amostragem na Nhecolândia (área I na figura 6): A) fazendas Nhumirim e Porto Alegre: pontos 1, 2, 4 e 5; B) fazenda Cáceres: ponto 3. Na imagem superior, abaixo do ponto 5, vê-se a Vazante Riozinho, utilizada como estrada na estação seca (imagens Landsat TM, outubro 1996).

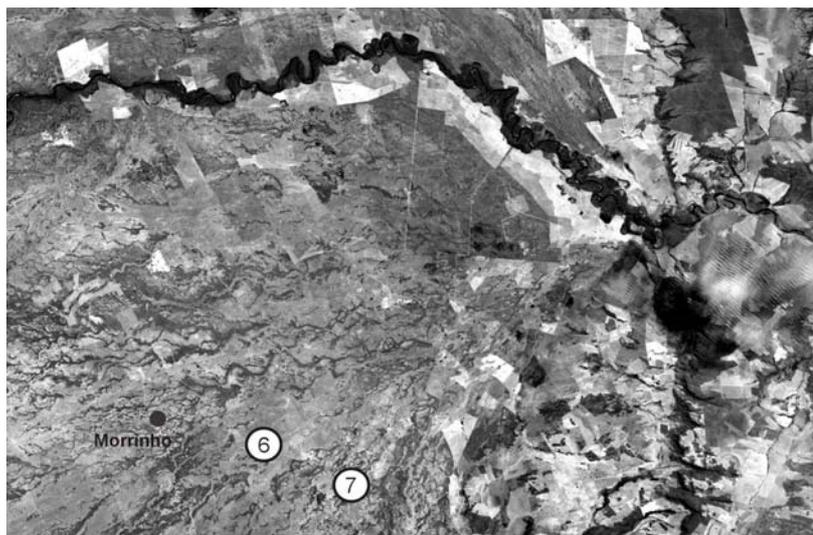


Figura 54 – Área investigada na Alta Nhecolândia (área III na figura 6): pontos 6 e 7 (Imagem de satélite Landsat TM, banda 5, outubro de 1996).

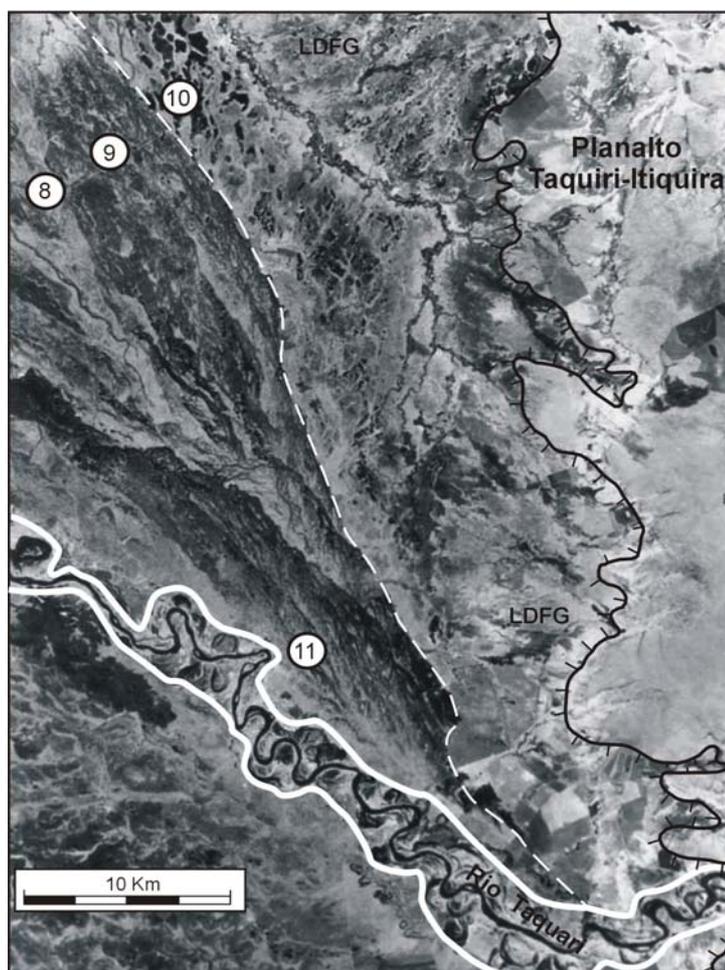


Figura 55 – Área investigada a norte do rio Taquari (área IV na figura 6): pontos 8 a 11 (Imagem de satélite Landsat TM, banda 4, outubro 1990). Ponto 11 corresponde à localidade de Barranqueiras. Linha tracejada é o limite do megaleque do Taquari. Na figura está indicada também a escarpa do Planalto de Taquari-Itiquira, situado a leste. (LDFG = leques dominados por fluxos gravitacionais)

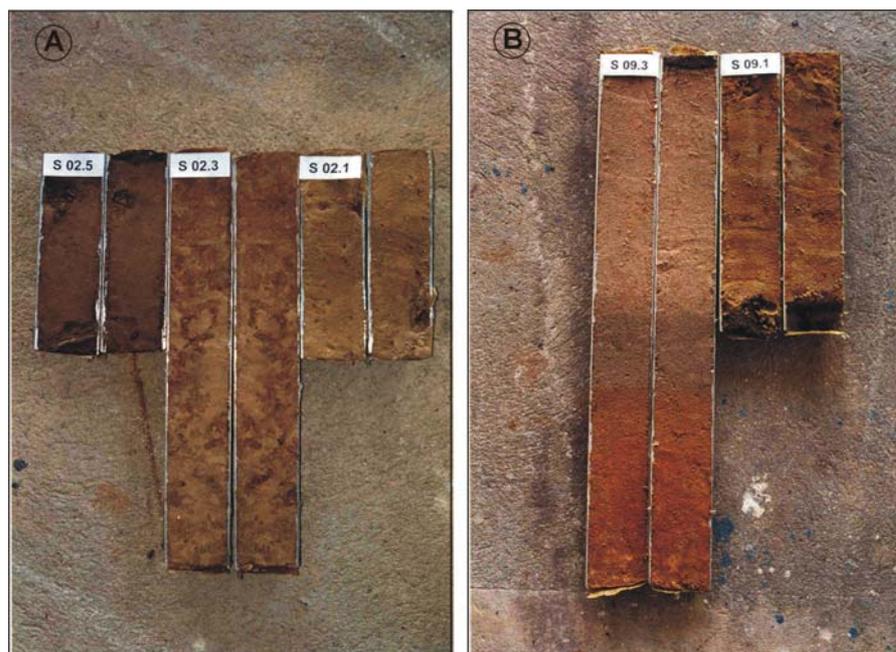


Figura 56 – Testemunhos obtidos nas sondagens realizadas : A) areias brancas, finas a muito finas, compactas e sem estruturas sedimentares, recuperadas da cordilheira da salina do Meio na fazenda Nhumirim (ponto 2); B) areias médias a grossas, com estratificação cruzada, sobrepostas em contato abrupto por areias brancas mais jovens, recuperadas em sondagem realizada em paleocanal na parte norte do megaleque (ponto 9). Nos dois testemunhos o topo está no alto à esquerda e a base embaixo à direita, faltando os intervalos que foram enviados para datação (as duas metades estão dos testemunhos estão apresentadas lado a lado).

Tabela 2 – Resultados das datações. Tipo de datação: TL = termoluminescência; ^{14}C = carbono 14 (AMS); AP = antes do presente; LVD = Laboratório de Vidro e Datação da FATEC (número entre parênteses refere-se à identificação da amostra no laboratório).

Ponto	Material datado	Profundidade amostra (m)	Tipo de datação	Idade (anos AP)	Laboratório
1	areia	0,95	TL	21.400 ± 2.000	LVD (nº 534)
2	areia	2,25	TL	19.700 ± 1.900	LVD (nº 535)
2	areia	1,30	TL	10.800 ± 1.000	LVD (nº 536)
3	areia	1,60	TL	21.000 ± 2.000	LVD (nº 537)
4	areia	1,35	TL	30.600 ± 3.000	LVD (nº 538)
5	areia	1,00	TL	27.800 ± 2.700	LVD (nº 544)
5	concha de gastrópodo	0,00	^{14}C	1.810 ± 40	Geochron
6	areia	1,20	TL	40.300 ± 4.000	LVD (nº 539)
7	areia	1,10	TL	11.900 ± 1.200	LVD (nº 540)
8	areia	1,25	TL	27.100 ± 2.700	LVD (nº 541)
9	areia	1,35	TL	18.800 ± 1.800	LVD (nº 542)
10	areia	1,05	TL	11.700 ± 1.100	LVD (nº 543)
11	argila cinza escura	0,00	^{14}C	6.210 ± 40	Geochron

Amostras de todas as sondagens, à exceção da realizada no ponto 11, foram datadas pelo método TL (termoluminescência), resultando em idades pleistocênicas que variaram de 10.800 a 40.300 anos AP (antes do presente). Também foram obtidas duas datações ^{14}C (AMS) de amostras de superfície. Sedimentos argilosos de cor cinza escura, de terraços existentes na margens do rio Taquari na parte superior do megaleque (ponto 11), foram amostrados e datados (6.210 ± 40 anos AP). Sedimentação ativa no Holoceno também foi comprovada pela idade de conchas de gastrópodos (1.810 ± 40 anos AP), recuperadas de lajes carbonáticas existentes na borda de uma salina da Nhecolândia (ponto 5). Os resultados das datações estão apresentados na Tabela 2.

As datações permitiram obter as primeiras informações sobre a idade dos sedimentos na superfície do megaleque e reconstituir em linhas gerais os principais eventos geológicos do final do Pleistoceno até o presente. Contudo, muito mais dados ainda são necessários para se avançar na tentativa de delimitar mais acuradamente os lobos e estabelecer com mais precisão sua sucessão o tempo. O que se verificou é que os lobos, apesar de sua grande extensão em área, podem ter espessuras bem reduzidas, de menos de um metro, havendo superposição de sedimentos de lobos de idades diferentes num perfil vertical de poucos metros, dificultando sobremaneira sua interpretação em imagens e no campo.

6.2 – Eventos no Pleistoceno

Muitos pesquisadores interpretaram que a formação dos leques ocorreu sob clima semi-árido no final do Pleistoceno (Braun, 1977; Tricart, 1982; Klammer, 1982; Ab'Sáber, 1988). Para Clappertom (1993), por exemplo, as características presentemente visíveis só podem ter-se formado durante o último intervalo de aridez, presumivelmente correspondente à última glaciação. A suposição de um clima prevalescentemente árido durante a maior parte do Pleistoceno terminal não foi, todavia, ainda comprovada por dados obtidos de amostras do Pantanal.

Os mais antigos sedimentos quaternários aflorantes são conglomerados de leques dominados por fluxos gravitacionais, comumente de cores avermelhadas e com horizontes lateríticos, que ocorrem em rampas de *piedmont* associadas às escarpas marginais, compartimento natural que separa o megaleque do Taquari dos planaltos adjacentes.

Depósitos similares ocorrem em rampas de pedimentos no bloco elevado em que se encontra a cidade de Corumbá, na borda oeste do Pantanal. Nesta área ocorrem também calcários impuros, constituindo uma unidade que foi denominada Formação Xaraiés por Almeida (1945). Em posição topográfica mais alta em relação

ao Pantanal, a unidade sobrepõe diretamente rochas pré-cambrianas. Embora seja fossilífera, pois os carbonatos são portadores de conchas de gastrópodos e fósseis vegetais, não foram encontrados na literatura dados referentes a datações da unidade. Segundo Boggiani & Coimbra (1995), os carbonatos da Formação Xaraiés são produto de pedogênese (caliche), o que sugere formação sob climas semi-áridos a áridos.

Areias de colorações avermelhadas, cimentadas parcialmente por óxidos de ferro (com concreções lateríticas), ocorrem também dentro do megaleque do Taquari, aflorando em posições topograficamente mais baixas, especialmente nos canais tributários atuais. Estas fácies são também sugestivas de climas passados mais quentes, mas não necessariamente áridos.

O padrão de paleocanais existente no megaleque do Taquari mostra que condições úmidas prevaleceram em determinados períodos no Pantanal durante o Pleistoceno. Estudos palinológicos em áreas vizinhas do Centro-Oeste do Brasil suportam esta interpretação. Baseados em estudos palinológicos de áreas localizadas na mesma latitude do Pantanal, distantes cerca de 500 a 600 km a leste, Ferraz-Vicentini & Salgado-Labouriau (1996) concluíram que predominaram no Brasil Central condições de clima quente semi-úmido antes de 32.400 anos AP.

Areias de origem aluvial recuperadas no Pantanal apresentaram idades TL compatíveis com este período mais úmido constatado em áreas vizinhas. Na parte sul do megaleque, areias recuperadas na fazenda Nhumirim na Nhecolândia (ponto 4) e na Alta Nhecolândia (ponto 6), apresentaram, respectivamente, idades de 30.600 ± 3000 e 40.300 ± 4.000 anos AP. Na parte norte do megaleque do Taquari, onde o padrão de paleocanais fluviais distributários é muito evidente, areias médias a grossas revelaram idade de 27.100 ± 2.700 anos AP (ponto 8).

Existe a possibilidade de que alguns dos depósitos do Pantanal possam ser mais antigos. Podem existir, inclusive, depósitos aflorantes cronocorrelatos aos depósitos pleistocênicos do litoral brasileiro, formados durante o mínimo glacial há 120.000 anos atrás (interglacial Eemiano), quando o nível global do mar estava cerca de 6 a 10 metros mais alto que o atual e a temperatura média global cerca de 2°C mais alta que hoje. Para testar esta possibilidade, é necessário expandir a área de investigação e datar um maior número de amostras em trabalhos futuros.

Para Ferraz-Vicentini & Salgado-Labouriau (1996), no Brasil Central passaram a predominar condições mais úmidas, provavelmente frias, no período entre 27.000 e 20.000 anos AP. Evidências de altos níveis de umidade associados com climas mais frios foram também encontradas na Lagoa de Serra Negra, Estado de Minas Gerais, em sedimentos atribuídos ao último ciclo glacial, o que teria permitido a expansão das florestas de Araucaria até a Região Nordeste do Brasil (De Oliveira 1992).

Areias brancas, finas a médias, com espessura de decímetros a poucos metros, que recobrem as areias e paleolatossolos avermelhados no Pantanal e no seu entorno, podem estar associados à essa mudança climática no final do Pleistoceno

Para explicar as características granulométricas das areias brancas, que são limpas e bimodais (finas a médias) na área da Nhecolândia, Almeida (1945) sugeriu que os sedimentos foram objeto de retrabalhamento eólico. Entretanto, não é possível concluir uma origem eólica com base unicamente nos resultados das análises granulométricas, porque as características observadas podem ser uma herança dos arenitos eólicos do Mesozóico da Bacia do Paraná, presentes na área-fonte.

Para corroborar sua interpretação, Almeida (1945) relatou a existência de uma lagoa formada pela obstrução de vale fluvial por uma barragem arenosa de dois metros de altura. Com base nesta observação e nos dados granulométricos, o referido autor sugeriu que as lagoas teriam sido originadas em vales barrados por dunas eólicas.

A partir do trabalho de Almeida (1945), a existência de paleodunas eólicas no Pantanal foi assumida como fato em vários trabalhos. Considerando a atuação do vento como agente geológico modelador de parte da paisagem pantaneira, Almeida & Lima (1959) sugeriram que processos de deflação eólica contribuíram para a gênese das lagoas da Nhecolândia. Valverde (1972), foi mais além, considerando que as cordilheiras são a expressão morfológica de antigas dunas eólicas formadas em condições desérticas pretéritas.

A hipótese foi retomada muitos anos depois por Tricart (1982), que considerou uma origem para as lagoas a partir de depressões de deflação, fazendo analogia com formas similares existentes na área da Pampa Deprimida, na Argentina. Com base na interpretação de imagens de satélite, mapeou as principais áreas de atuação pretérita de processos eólicos (Figura 57).

No mesmo ano, Klammer (1982) identificou milhares de dunas longitudinais fósseis, orientadas segundo as direções NNE-SSW e NNW-SSE, com base exclusivamente na interpretação de imagens de radar. Concluiu que predominaram paleoventos constantes de NNE e NNW e que “o relevo do Pantanal é como o de um deserto posto sob influência de clima úmido”. Klammer considerou que as lagoas se formaram em áreas interduna e as denominou, pela primeira vez, de *salt pans*.

Com base no padrão uniforme de dunas identificado por Klammer, Clapperton (1993) interpretou que o Anticiclone do Atlântico Sul estava numa posição mais austral durante a formação do campo de dunas.

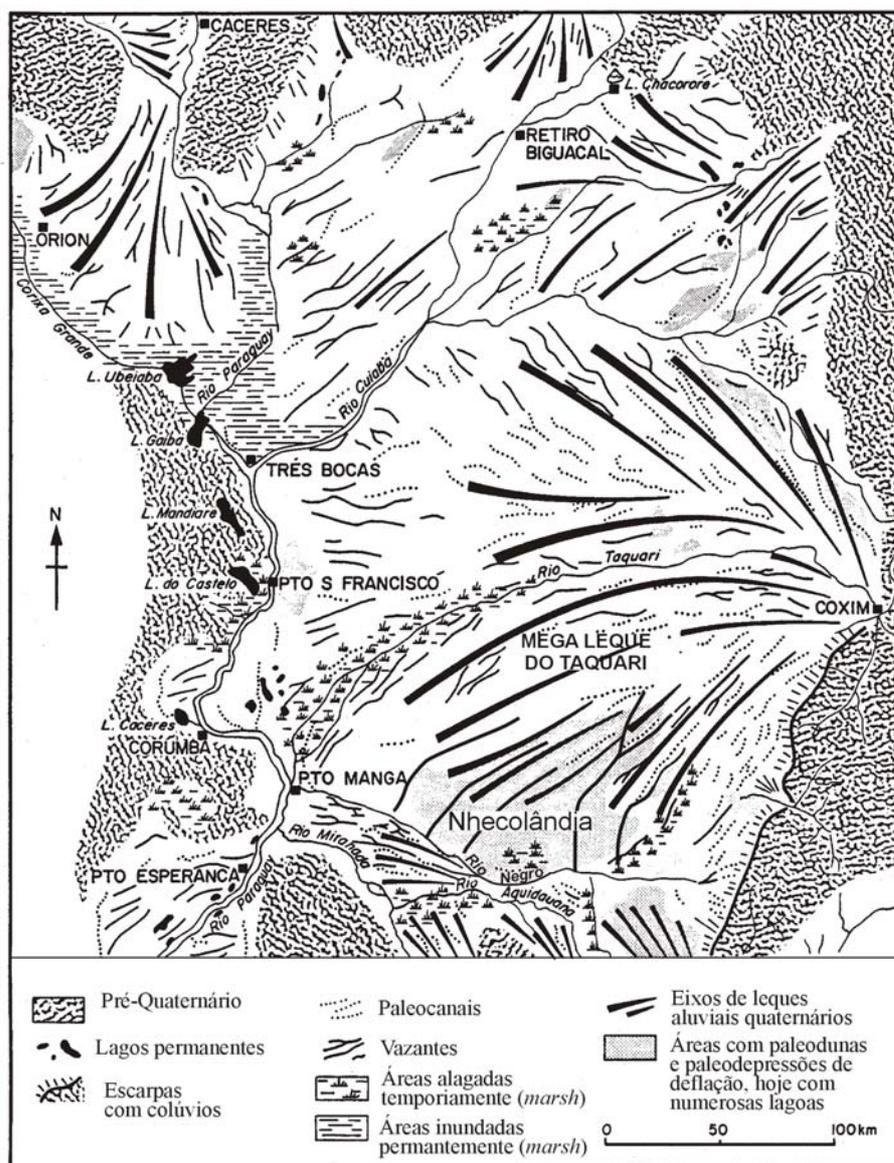


Figura 57 – Leques aluviais do Pantanal, cujo padrão distributário é ressaltado pelos paleocanais fluviais. As áreas hoje ocupadas por lagoas constituem paisagem reliquiar produzida por deflação eólica em leques inativos ou lobos abandonados. A principal área de ocorrência de paleodunas é a da Nhecolândia, na parte sul do megaleque do Taquari (modificado de Tricart 1982).

Para verificar a consistência das interpretações relatadas acima, foi feita uma análise conjunta de imagens de satélite e de radar, de fotografias aéreas verticais, de fotografias oblíquas tiradas em dois sobrevôos realizados na área, de formas observadas no campo e de dados obtidos de amostras de superfície e de sondagens. Resultados detalhados de parte dos estudos realizados estão no trabalho de Soares *et al.* (no prelo).

O estudo da geomorfologia da área da Nhecolândia permitiu verificar que muitas das formas existentes, especialmente as lagoas isoladas (salinas), não podem ser explicadas por processos aluviais. Processos eólicos, por outro lado, explicam satisfatoriamente tais feições, de forma que é bastante consistente a

interpretação de que existem na paisagem da Nhecolândia formas reliquiares, produzidas por deflação eólica.

As salinas e as lagoas têm cordões descontínuos de areia em suas bordas, chamadas cordilheiras na terminologia pantaneira (Figura 58). Tais feições constituem paleodunas de areia fina a muito fina com forma em meia-lua (*lunnete sand dunes*). Existem muitos exemplos de áreas atuais submetidas à ação do vento que apresentam morfologias semelhantes, podendo ser encontrados nos trabalhos de Goudie (1991) e Goudie & Wells (1995). São áreas com deficiência de areia disponível para o transporte devido a condições de nível freático alto, que é o nível de base para a deflação eólica. Nas depressões, devido à flutuação do freático, podem surgir corpos d'água efêmeros, que secam por evaporação. Por isso, tais depressões de deflação são referidas como *salt pans* na literatura internacional.

As paleodunas estão alinhadas aproximadamente segundo a direção NE, mas não são retilíneas uma vez que acompanham a forma das lagoas. Assim, embora a ação do vento tenha impresso sua marca na paisagem pantaneira, muito há ainda por ser caracterizado com relação às paleodunas e às paleodireções do vento, especialmente porque os enxames de dunas longitudinais de direção NNE e NNW, identificados por Klammer (1982) em imagens de radar, não foram constatados em imagens de satélite e em fotografias aéreas. Provavelmente a interpretação equivocada da presença de dunas lineares tenha sido consequência da baixa resolução das imagens de radar e de características inerentes ao método de obtenção das imagens (Figura 59).

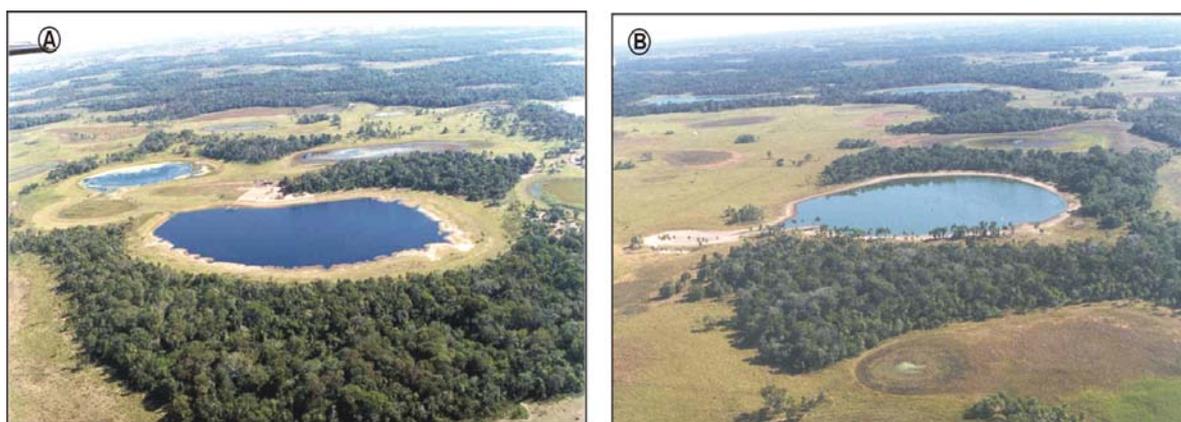


Figura 58 – Cordões arenosos, dois a três metros mais elevados que a superfície das salinas, hoje cobertos de vegetação arbustiva/arbórea, conhecidos na região pelo nome de “cordilheiras”, são considerados dunas em meia-lua (*lunnete sand dunes*).

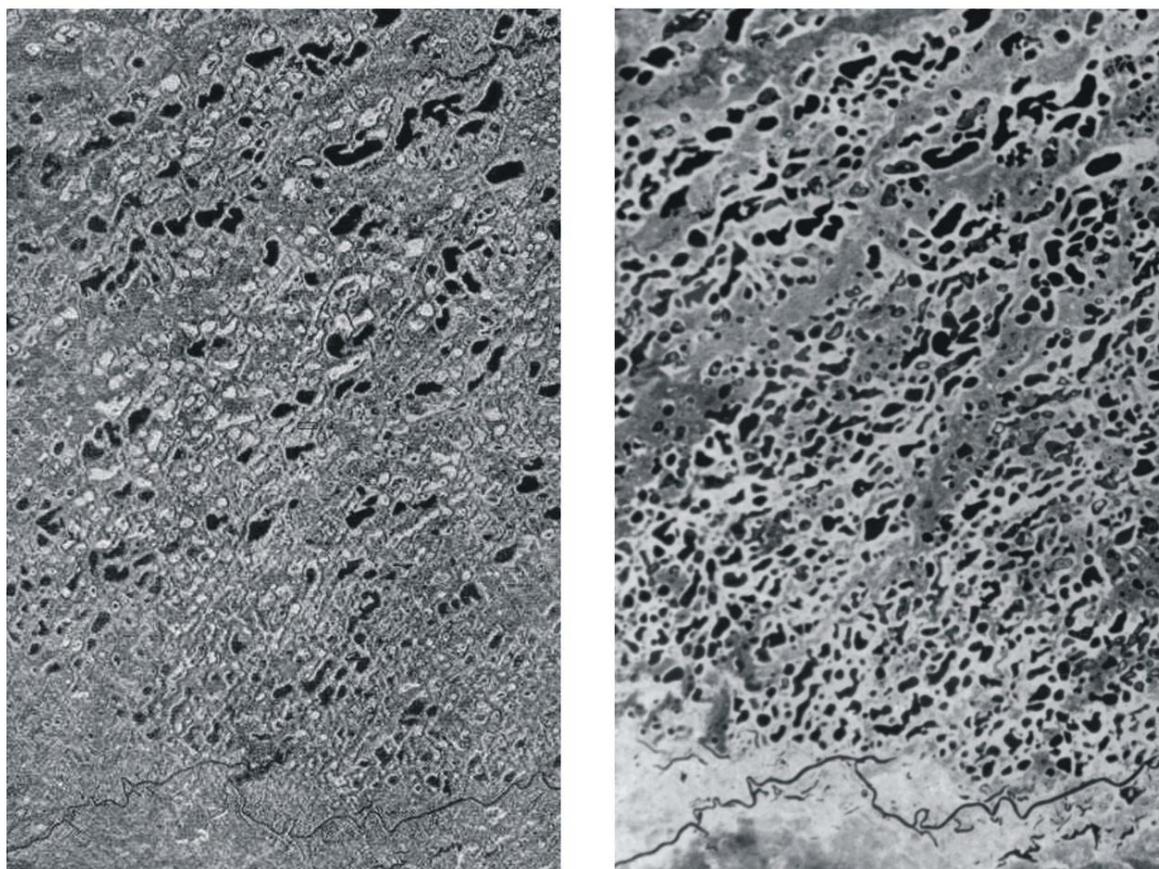


Figura 59 – Comparação entre imagens de radar e de satélite de uma área da Nhecolândia, imediatamente a norte do rio Negro. Lineamentos NNE e NNW, visíveis na imagem de radar (A) e interpretados como dunas por Klammer (1982), não têm expressão na imagem de satélite (B).

A erosão eólica foi mais efetiva no período de máximo glacial (18.000 a 22.000 anos AP) quando houver maior aridez, que se traduziu em redução na precipitação atmosférica e abaixamento do nível freático. Datação TL nas bordas da salina do Meio na fazenda Nhumirim (ponto 1) revelou idade de 21.400 ± 2.000 anos AP, compatível com a idade de 19.700 ± 1.900 anos AP obtida na cordilheira adjacente (ponto 2). Datação semelhante, de 21.000 ± 2000 anos AP, foi obtida na cordilheira da salina Bentevi na fazenda Cáceres (ponto 3), reforçando a interpretação de ação eólica coincidente com o período do último evento glacial (dados na tabela 2; localização na figura 53).

Os sistemas de leques aluviais continuaram, entretanto, ativos. Na porção norte do megaleque do Taquari, por exemplo, novos lobos foram formados contemporaneamente ao modelado da paisagem eólica da Nhecolândia. Areias médias a grossas recuperadas no ponto 9, em morfologia de paleocanal, revelaram idade TL de 18.800 ± 1.800 anos AP.

A deglaciação promoveu grandes mudanças no paleoclima, na paleoecologia e na paleogeografia em todo o mundo. Mudanças no padrão de circulação atmosférica promoveram instabilidade climática em muitas regiões. Como resultado,

diferentes interpretações paleoclimáticas para o fim do Pleistoceno têm sido feitas para diferentes áreas no Brasil. Ferraz-Vicentini & Salgado-Labouriau (1996), por exemplo, sugeriram uma fase seca e fria até o fim de Pleistoceno, enquanto Ledru *et al.* (1996) interpretaram um aumento gradual na umidade.

A região do Pantanal certamente experimentou forte flutuação paleoclimática durante o período de deglaciação, mas os eventos principais estão ainda por serem desvendados na área. No final do Pleistoceno começou o dismantelamento da paisagem eólica, na parte sul do megaleque do Taquari, por processos aluviais.

O aumento nos valores de precipitação atmosférica e da taxa de erosão de solos nas bacias de drenagem dos leques aluviais, sem cobertura vegetal densa, promoveu incremento acentuado na taxa de suprimento sedimentar para dentro do Pantanal. Areias que podem ser atribuídas a este evento foram encontradas na Alta Nhecolândia, onde datação de amostra no ponto 7 revelou idade de 11.900 ± 1.200 anos AP. Datação semelhante foi obtida também em areias presentes na parte superior da cordilheira da salina do Meio na fazenda Nhumirim (ponto 1), que revelaram idade TL 10.800 ± 1.000 anos AP. Depósitos de idade similar também foram encontrados a norte do rio Taquari, onde areias do ponto 10 revelaram idade de 11.700 ± 1.100 anos AP (ver Tabela 2 para as datações e figuras 53, 54 e 55 para a localização dos pontos). Estas ocorrências, que abrangem grande parte da área, mostram forte reativação dos sistemas aluviais nos derradeiros momentos do Pleistoceno, em consonância com mudanças globais derivadas da última deglaciação.

6.3 – Eventos no Holoceno

A paisagem no Pantanal tem mudado desde o fim do Pleistoceno numa adaptação ao clima do Holoceno, mais quente e úmido. O sistema de drenagem foi reorganizado e canais temporários tornaram-se permanentes. Surgiram os pantanais (*wetlands*), ou seja, as terras sazonalmente inundáveis que caracterizam a paisagem atual.

Os dados disponíveis indicam que o Pantanal, como hoje o conhecemos, surgiu na transição Pleistoceno/Holoceno. Esta interpretação é corroborada por dados obtidos a partir do estudos dos sistemas lacustres adjacentes à planície fluvial do rio Paraguai. Com base em datação ^{14}C e em dados palinológicos de amostras recuperadas por vibrotestemunhador nas lagoas do Castelo, Negra e do Jacadigo, Bezerra (1999) interpretou clima mais úmido a partir do início do Holoceno e a individualização dos sistemas lacustres estudados entre 10.200 anos (Lagoa Negra) e 5.190 anos AP (Lagoa do Castelo).

Esta interpretação está em consonância com climas progressivamente mais quentes e úmidos constatados em várias áreas da América do Sul para a primeira metade do Holoceno. De acordo com Ledru *et al.* (1996) e De Oliveira (1992), o período entre 9.500 e 5.000 anos A.P. foi caracterizado por marcado padrão sazonal e temperaturas altas no sudeste do Brasil. Um evento úmido de 8.500 a 3.500 anos AP foi reconhecido na nordeste da Argentina (Iriondo & Garcia 1993) e na bacia do alto rio Paraná (Stevaux 1994). Níveis progressivos de aumento na umidade e na temperatura foram também interpretados para a região do médio curso do rio São Francisco, bem a norte do Pantanal, para o intervalo de 10.540 a 6.790 anos AP (De Oliveira *et al.* 1999).

Embora o clima tenha mudado dramaticamente, os leques aluviais não se tornaram sistemas fósseis no Holoceno. Avulsão e abandono de lobos continuou a ocorrer, com formação em alguns locais de depósitos de lobos mais jovens sobre lobos pleistocênicos. Este parece ser o caso do lobo da região da Alta Nhecolândia, onde feições reliquias de lobos antigos, tais como paleolagoas e paleocanais, estão recobertas por uma extensa cobertura de areias brancas, finas a grossas. O lobo apresenta textura mais homogênea em imagens de satélite, o que sugere a existência de coberturas mais contínuas de depósitos arenosos, com a atuação mais recente de fluxos em lençol como processo deposicional expressivo. O limite sul do lobo é definido pelo término dos lóbulos arenosos distributários.

A cartografia dos sedimentos holocênicos ainda está por ser feita, mas alguns dados mostram uma multiplicidade de processos, formas e fácies sedimentares. Na porção superior do megaleque do Taquari, por exemplo, existem depósitos do Holoceno caracterizados pela existência de ciclos fluviais com granodecrescência ascendente, visíveis nos terraços do rio Taquari (Figura 40). Datação de argilas do topo de um dos ciclos, amostradas na localidade de Barranqueiras (ponto 11), revelou idade ^{14}C de 6.210 ± 40 anos.

Sedimentação holocênica na parte superior do megaleque do Taquari criou espaço de acomodação para agradação aluvial nos vales existentes na bacia de drenagem. Em depósitos assim gerados na bacia de drenagem foram encontrados fragmentos de matéria orgânica carbonizada, datados em 8.560 ± 120 anos AP pelo método do ^{14}C (Soares *et al* no prelo). Tais sedimentos estão hoje preservados sob a forma de terraços, pois mudanças no perfil de equilíbrio do rio promoveram a retomada de eventos erosivos na bacia de drenagem. O mesmo ocorreu na porção superior do megaleque, onde houve incisão e o rio ficou entrincheirado, correndo hoje num cinturão de meandramento.

A mudança para um clima mais úmido no Holoceno promoveu elevação do nível freático, dando origem às lagoas nas antigas depressões de deflação. Com o aumento do escoamento superficial, muitas lagoas foram conectadas, originando

conjuntos que foram rosários de lagoas de direção NE, que é a direção dos canais fluviais na área.

Em muitas lagoas, devido ao isolamento da drenagem superficial, as águas tornaram-se progressivamente salobras/alcalinas (elevados teores de sódio e potássio), fato originalmente constatado por Cunha (1943). As salinas são lagoas deste tipo, que permanecem ainda hoje isoladas das águas de superfície devido a não destruição das cordilheiras que as margeiam. A atual salinidade das águas das salinas não é necessariamente uma herança da formação das depressões de deflação (*salt pans*) pleistocênicas. Há atualmente uma contínua interação das águas das salinas com águas subterrâneas, e a salinidade pode ser explicada por processos geoquímicos recentes, ainda atuantes (Barbiéro *et al.* 2002).

Nas bordas de muitas salinas houve formação de bancos de arenitos com cimentação carbonática (caliche), onde ficaram preservados fragmentos de conchas de gastrópodos, num processo de diagênese precoce. Datação ^{14}C de conchas coletadas em delgadas camadas existentes nas bordas de salina na fazenda Porto Alegre (Figura 60) revelou idade de 1.810 ± 40 anos A.P., constituindo evidência de sedimentação moderna nas salinas.



Figura 60 – Lajes de calcários impuros (A), portadores de fragmentos de conchas de gastrópodes (B). Sedimentos aflorantes na borda da salina na fazenda Porto Alegre (ponto 5, localização na figura 53).

Muitas salinas estão sendo exumadas por processos erosivos recentes, especialmente na área da Baixa Nhecolândia, na parte sudoeste do megaleque do Taquari. Da erosão das salinas podem resultar bancos carbonáticos descontínuos, que ficam elevados um a dois metros acima da superfície do terreno. Conchas de moluscos de água doce, recuperadas de uma destas camadas no Pantanal de Miranda-Aquidauana, revelou idade ^{14}C de 3820 ± 70 anos AP (Assine *et al.* 1997). De acordo Boggiani & Coimbra (1995), os carbonatos foram originados por precipitação de carbonato em ambiente lacustre, embora a trama seja caracterizada

pela presença de grãos de quartzo subarredondados sustentada por matriz calcífica.

A formação destes bancos carbonáticos indica que, pelo menos em parte da segunda metade do Holoceno, ocorreram condições climáticas mais quentes e secas no Pantanal, que podem ser correlacionadas com período mais seco, de 3.500 a 1.400 anos AP, na vizinha região do Chaco (Iriondo 1993). A interpretação é corroborada pelo registro de espeleotemas da Caverna João Arruda no Município de Bonito (Planalto da Bodoquena), que segundo Bertaux *et al.* (2002) indicam recorrência de climas mais secos entre 3.800 e 2.500 AP.

O clima atual é semi-úmido, com precipitação decrescente de 1500 mm/ano a leste (planaltos Maracaju – Campo Grande e Taquari – Itiquira) para 800 mm/ano a oeste (planície do rio Paraguai). Os sistemas deposicionais continuam ativos, com sedimentação importante no lobo distributário atual do megaleque do Taquari, nos leques do Paraguai - Corixo Grande, do Cuiabá e do São Lourenço, assim como na planície do rio Paraguai a norte de Corumbá (Pantanal do Paraguai – Paiaguás).

De outra parte, intemperismo e erosão passou a ocorrer em lobos abandonados, existindo sistemas de drenagem tributários holocênicos sobrepostos a padrões distributários prévios, como na Nhecolândia. Fazem parte destes sistemas as vazantes, que são cursos rasos, com largura e extensão variáveis, podendo atingir dezenas de quilômetros de comprimento (Figura 51). Tais sistemas, que podem ser perenes, coletam água de nascentes, de avulsões e de inundações, desempenhando papel importante no ciclo das inundações do Pantanal. Um dos mais notáveis exemplos destes tributários erosivos que entalham lobos abandonados é a Vazante Riozinho, que aparece nitidamente no modelo digital do terreno apresentado na figura 10.

A superposição de tantos processos tem promovido deposição e remobilização de sedimentos dentro do Pantanal. Como observaram Soares *et al.* (no prelo), as areias da Nhecolândia têm boa seleção, muitas vezes são bimodais, finas a médias, com porcentagem muito baixa de finos, mas são mal arredondadas e exibem inversão textural devido à mistura de populações.

O número de datações disponíveis é ainda pequeno, mas corroboraram a sucessão de eventos delineada em Assine & Soares (no prelo). Nesta ótica, o presente é apenas mais um instante na história deposicional do Pantanal, cuja dinâmica está longe de ser compreendida nos seus detalhes. Um panorama geral de como se processa a sedimentação atual é apresentado no capítulo seguinte.

7. SEDIMENTAÇÃO ATUAL

Leques aluviais compõem tratos deposicionais diversos, dependendo dos sistemas deposicionais aos quais estão associados. Em regiões de clima semi-árido, podem compor tratos deposicionais com lagos temporários (*playa lakes*) e/ou campos de dunas eólicas. Em regiões tropicais úmidas e em regiões glaciais, os leques podem constituir ambientes sedimentares proximais de sistemas fluviais meandранtes ou entrelaçados. No caso do Pantanal, a planície fluvial do Paraguai é o sistema distal dos diversos leques aluviais.

A planície do rio Paraguai a norte da cidade de Corumbá (Pantanal do Paraguai-Paiaguás), englobando as franjas dos leques do Corixo Grande e Cuiabá, é quase completamente inundada pela água durante a estação das cheias (janeiro a maio). Constitui hoje o sítio mais subsidente da bacia, que tem captado a drenagem dos vários leques aluviais. Inúmeros lagos associados ocorrem na margem direita da planície em contato com terrenos pré-cambrianos, sugerindo basculamento para oeste.

A constatação de depósitos de leques aluviais tem sido considerada muitas vezes evidência suficiente para interpretar tectonismo contemporâneo à deposição. Entretanto, é prudente buscar evidências de tectonismo sinsedimentar, pois os leques, especialmente os dominados por rios, podem não estar diretamente associados a escarpas de falhas ativas (North *et al.* 1989). Além disso, muitas vezes é difícil distinguir o papel relativo de movimentações tectônicas e mudanças climáticas na origem e evolução de leques aluviais.

Por isso, antes de tecer considerações sobre a dinâmica sedimentar, serão discutidos, conceitual e brevemente, como atuam os processos alocíclicos e autocíclicos na evolução de leques aluviais.

7.1. Processos alocíclicos e autocíclicos

Quando o rio deixa o vale encaixado na bacia de drenagem e adentra numa planície, a deposição ocorre em resposta à existência de espaço de acomodação. Os leques primários, aqueles que estão no sopé das escarpas, são abandonados e leques secundários se formam por progradação em direção às áreas mais baixas. A repetição do processo, de abandono de leques antigos e progradação de novos, promove o preenchimento sedimentar, reduzindo o espaço de acomodação.

O padrão de empilhamento estratigráfico vertical dos depósitos de sistemas de leques aluviais depende de fatores inerentes à dinâmica sedimentar (processos autocíclicos) e de fatores extra-bacinais como clima e tectônica (processos

alocíclicos). Assim, a sedimentação em sistemas de leques aluviais é complexa e condicionada por muitas variáveis, discutidas em detalhe por Heward (1978).

Mudanças climáticas afetam o grau de intemperismo, a disponibilidade em água e a taxa de erosão na bacia de drenagem (área-fonte). Mudança de um clima árido para um clima úmido promove aumento de energia hidráulica nos canais e rebaixando do nível de base, provocando erosão do leque primário, aprofundamento do talvegue do rio alimentador e a formação de vales entrincheirados. Com isso, o leque primário é abandonado, ficando sujeito a processos erosivos, e os sedimentos carregados pelo rio dão origem a leques secundários a jusante do ponto de intersecção (Figura 61).

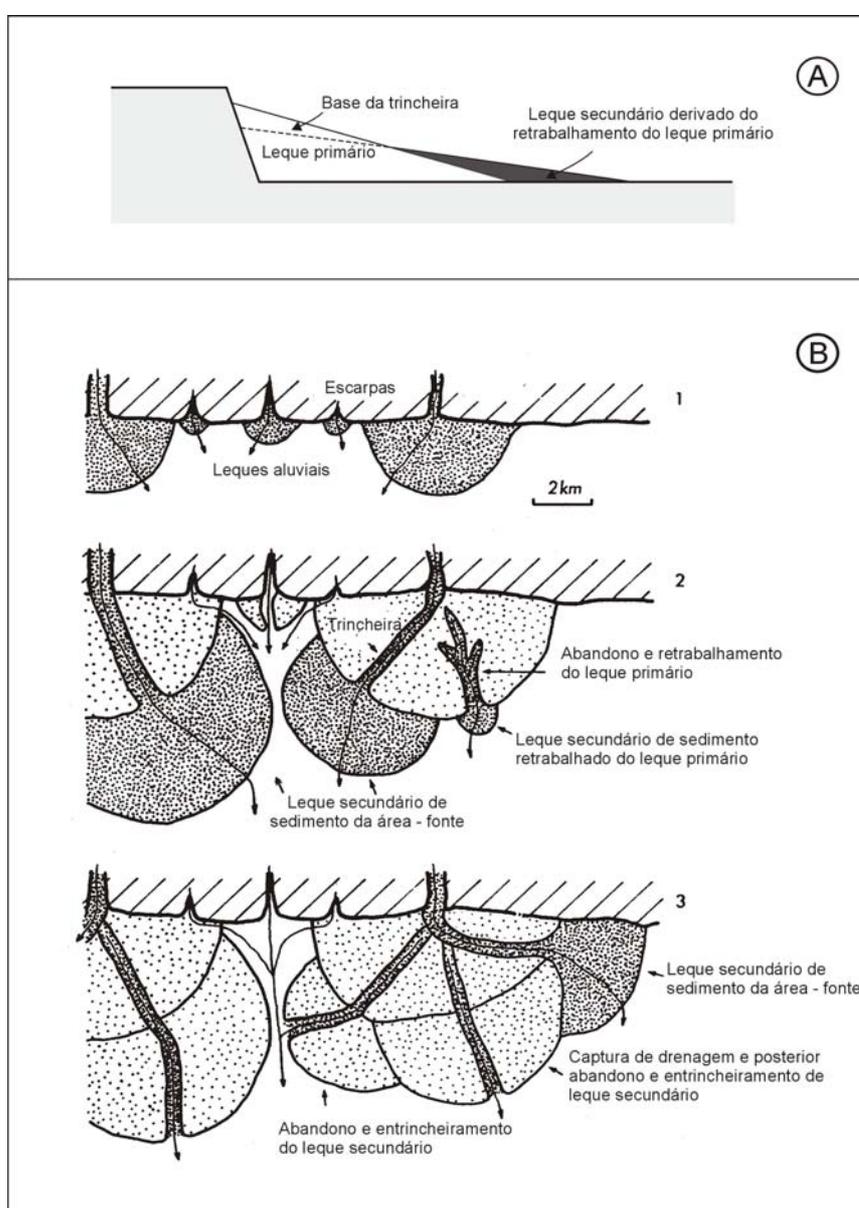


Figura 61 – Entincheiramento e formação de leques secundários: A) vista em perfil (baseado em Heward 1978); B) vista em mapa (Denny 1967).

Da interação entre tectônica e clima resultam seqüências sedimentares com diferentes padrões de empilhamento vertical de fácies. Se o soerguimento tectônico relativo da área-fonte excede a capacidade de dissecação do relevo pelos rios, o suprimento sedimentar é progressivamente aumentado causando progradação dos leques em direção à planície, o que resulta numa megasseqüência com granocrescência ascendente (Figura 62-A). Se a taxa de dissecação do relevo pelos rios excede o soerguimento tectônico relativo da área-fonte, ocorre rebaixamento do relevo, retração da escarpa e redução no suprimento sedimentar. Origina-se assim uma megasseqüência retrogradacional, com granodecrescência ascendente, onde as associações de fácies distais se superpõem às proximais (Figura 62-B).

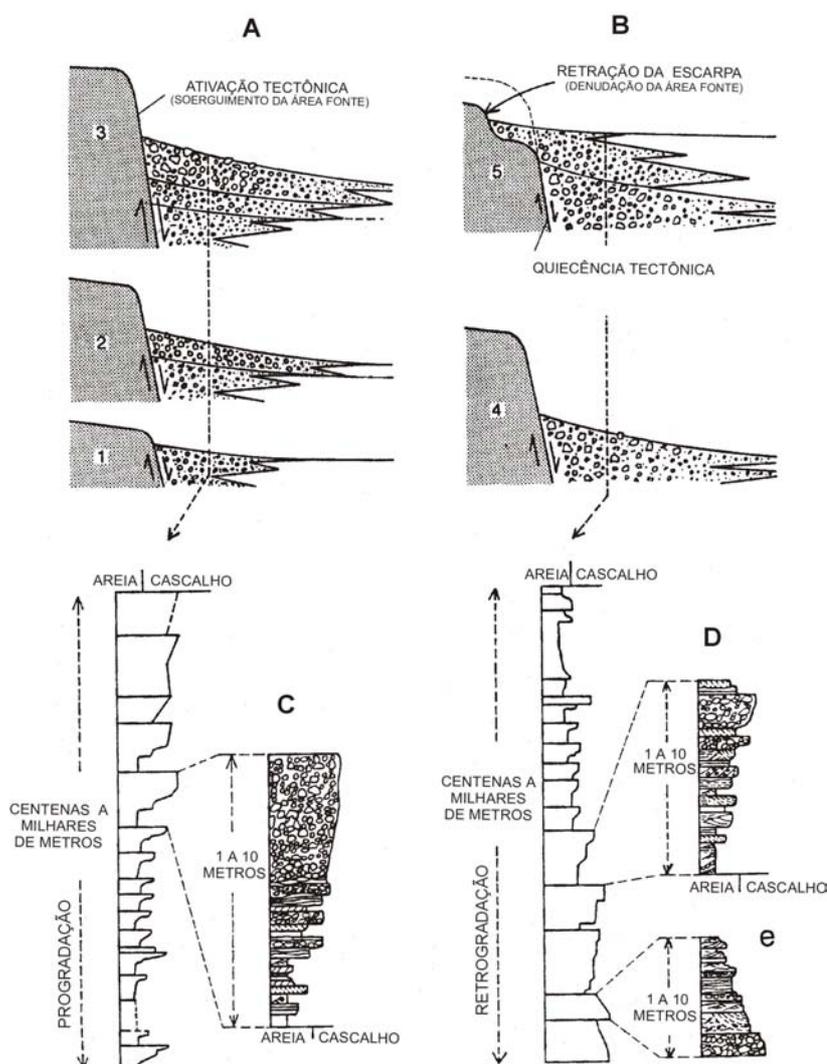


Figura 62 – Seqüência vertical de fácies em leques aluviais: A) granocrescência ascendente produzida por soergimento contínuo da área-fonte e progradação do leque (1 a 3); B) granodecrescência ascendente produzida por denudação da área-fonte, retração da escarpa e retrogradação do leque (4 a 5); C e D) ciclos menores com granocrescência ascendente devido à progradação de lobos em megasseqüências progradacional e retrogradacional; E) o padrão granocrescente de progradação dos lobos pode ser interrompido localmente pela presença de sucessões de fácies de canal (modificado de Ethridge 1985).

As megasseqüências progradacionais e retrogradacionais constituem ciclos estratigráficos maiores, com espessuras de centenas a milhares de metros, condicionados por fatores externos ao sistema deposicional. São alociclos produzidos por flutuações na intensidade relativa de movimentos tectônicos entre a área-fonte e a bacia de sedimentação.

Os efeitos da tectônica são particularmente evidentes no arcabouço estratigráfico de bacias transtensionais, condicionando a arquitetura das associações de fácies produzidas por leques aluviais. Um trabalho de referência sobre o assunto é o de Steel & Gloppen (1980), que identificaram ciclos de sedimentação de quatro diferentes ordens de magnitude em bacias devonianas do oeste da Noruega, cuja origem foi associada à conjugação de três diferentes causas: migração lateral de depocentros, movimentos verticais do assoalho da bacia e flutuação no soerguimento das áreas-fonte.

As megasseqüências progradacionais e retrogradacionais comportam ciclos menores, de dezenas de metros de espessura, constituídos de sucessões de fácies com granocrescência ascendente (Figura 62-C/D). Tais ciclos são produzidos por progradação e abandono de diversas gerações de leques, que podem resultar tanto de flutuações climáticas e tectônicas, quanto da dinâmica sedimentar. O fenômeno de construção e abandono de leques se repete dentro de cada leque com a construção e abandono de lobos deposicionais. Cada lobo tem canais alimentadores, cujo preenchimento resulta em sucessões de fácies com granodecrescência ascendente (Figura 62-E).

Aumento substancial de água no sistema, com o advento de climas úmidos pode ocasionar, por outro lado, soerguimento do nível de base, caso lagos perenes sejam formados nas depressões para onde os leques progradam. Neste caso, pode haver elevação geral do nível de base e agradação nos vales entrincheirados, dando origem a planícies fluviais meandrantas dentro do vale entrincheirado.

Movimentações tectônicas na bacia de sedimentação, derivadas de basculamentos ou soerguimentos diferenciais de blocos, também podem produzir o mesmo fenômeno de entrincheiramento e formação de leques secundários. Um excelente exemplo do fenômeno pode ser visto na figura 63, onde leques aluviais mais antigos, no centro da imagem, estão dissecados e cortados por vales entrincheirados que alimentam leques aluviais mais jovens (secundários), cujos canais alimentadores e partes distais estão sendo ocupados por empreendimentos antrópicos. No exemplo da figura 63 (do noroeste da China), a causa do abandono e entrincheiramento dos leques antigos está relacionada ao soerguimento dos leques primários em decorrência de tectônica de cavalgamento, uma vez que o contexto geotectônico é de borda de bacia de antepaís (*foreland*).

No Pantanal, fácies de granulação mais grossa, como os conglomerados dos leques aluviais das rampas de *piedmont* adjacentes às escarpas da borda leste, são recobertos por fácies de areias do megaleque do Taquari. Esta configuração de granodecrescência ascendente, que é verificada também em subsuperfície (capítulo 2), aponta para uma situação semelhante à da figura 62-B. Isto conduz à interpretação de que é grande a velocidade de dissecação do relevo nos planaltos adjacentes a leste, suplantando possíveis movimentos tectônicos de subsidência da bacia ou soerguimento da área-fonte. De fato, a denudação é grande na bacia de drenagem dos rios Taquari e Piquiri, assim como a sul, nas bacias de drenagem dos rios Negro e Aquidauana, e a norte, nas bacias de drenagem dos rios São Lourenço e Cuiabá (Figura 64).

7.2. Tectônica e sedimentação aluvial

A tectônica da bacia tem desempenhado um importante papel na desenvolvimento da paisagem do Pantanal como um todo, mudando níveis de base e gradientes topográficos. Efeitos da ação tectônica são evidentes na borda oeste da bacia, onde falhas condicionam ora o traçado do rio Paraguai, ora a extensão de sua planície.

No Pantanal do Paraguai-Paiaguás, o limite oeste da planície fluvial é condicionado por falhas normais de direção NE e NW, em cujo bloco alto afloram rochas do embasamento pré-cambriano. A disposição do rio Paraguai, que não está centrado na planície, mas que corre nas proximidades de sua margem oeste (Figura 31), é um indicativo morfológico de basculamento tectônico para oeste.

O curso do rio Paraguai está, às vezes, ajustado às falhas de borda. Na altura da cidade de Corumbá, por exemplo, o curso do rio sofre uma deflexão de cerca de 90° e passa a correr para leste, direção esta condicionada por falha de direção aproximada WNW (Figura 31). No bloco alto, situado a sul, erosão é processo dominante. No trecho em que o rio corre para leste, entre as cidades de Corumbá e Ladário, a margem direita do rio é erosiva e caracterizada pela presença de terraços de mais de vinte metros altura, onde na base afloram rochas metamórficas pré-cambrianas do Grupo Cuiabá e no topo rochas carbonáticas da Formação Xariés. No bloco alto afloram também rochas da seqüência neo-proterozóica do Grupo Corumbá, que formam o Planalto Residual do Urucum-Amolar, que atinge altitudes de mais de 1000m no Maciço do Urucum.

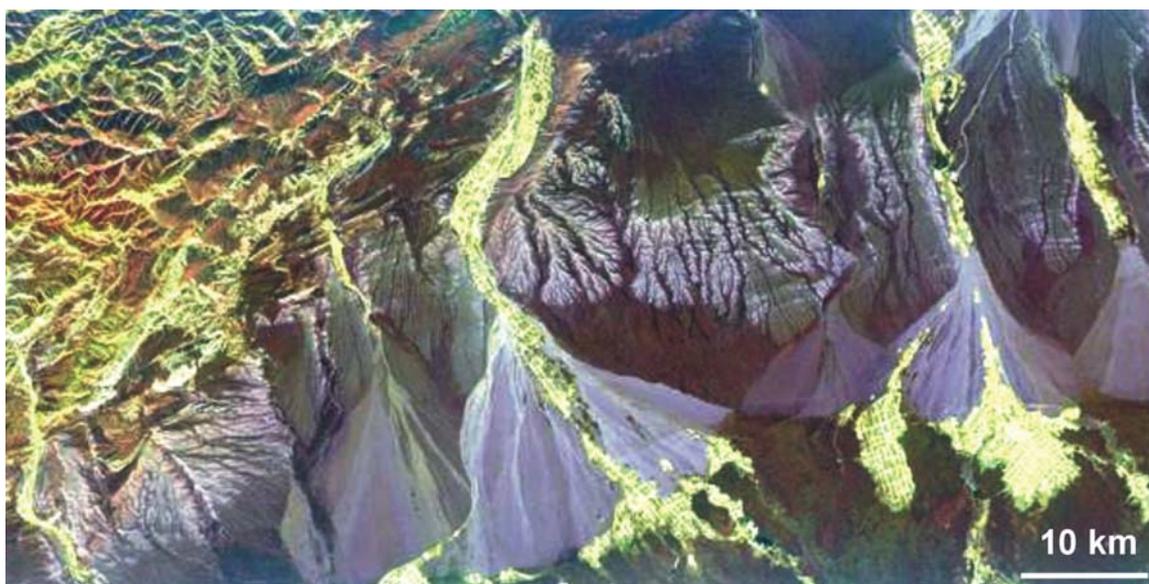


Figura 63 – Leques aluviais na província Xinjiang no noroeste da China (imagem de radar PIA01796, obtida em 1994 pelo ônibus espacial Endeavour, NASA). Área-fonte na parte superior da imagem. Oásis vegetados, com árvores plantadas em reticulado regular, aparecem em amarelo .

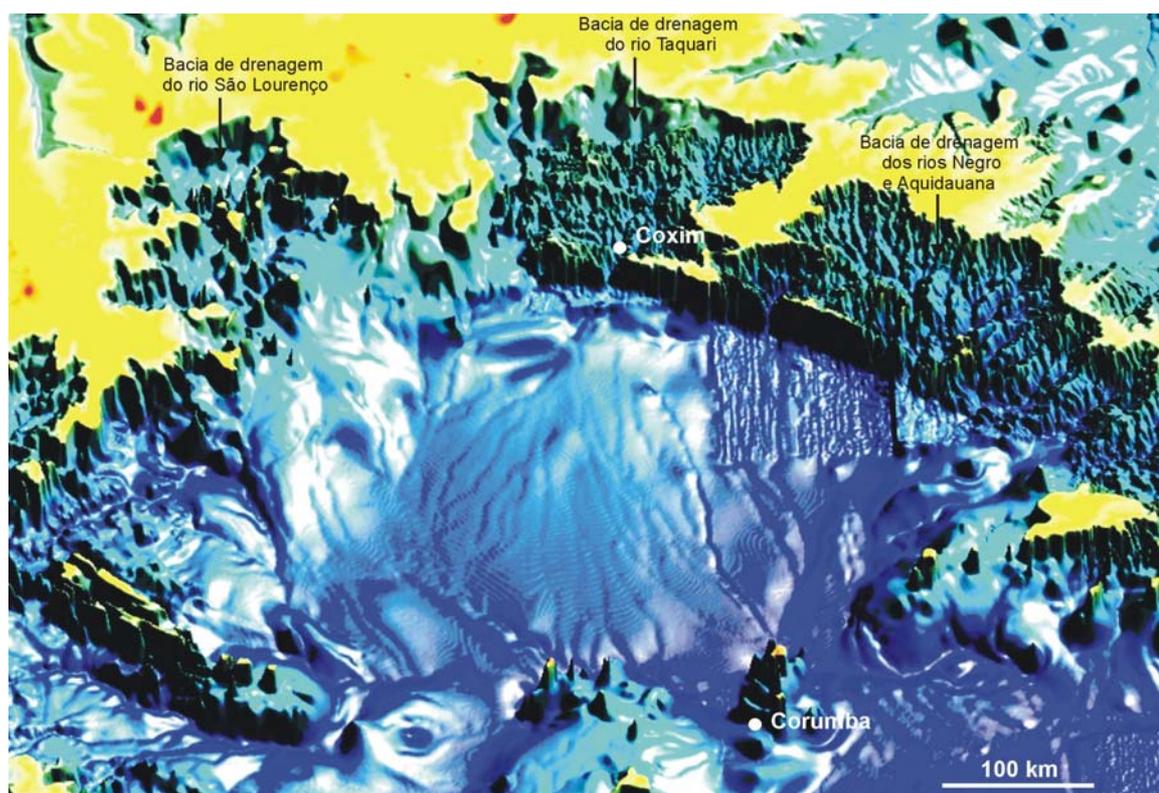


Figura 64 - Modelo digital do terreno, com relevo realçado para terrenos abaixo da cota altimétrica de 700m (confeccionado a partir de dados digitais do terreno, USGS - Dtopo30). Os planaltos a leste e a norte encontram-se bastante dissecados, tendo sido área-fonte do suprimento sedimentar para o trato deposicional do Pantanal. No megaleque do Taquari destacam-se o padrão distributário característico, a Vazante Riozinho que é um sistema fluvial erosivo sobre o leque, o Morrinho e lineamentos de direção NE dentro do leque, possivelmente relacionados a falhas associadas ao Lineamento Transbrasiliiano. Observações: a) norte está à direita; b) há imperfeições na figura em área a sul do Morrinho (polígono com lineações E-W), derivadas de erros no banco de dados naquele segmento, c) iluminação de oeste..

Na altura de Porto da Manga, antiga foz do rio Taquari, ocorre um estrangulamento da planície do rio Paraguai, que a seguir entra num bloco tectônico diferente, onde se aloja o Pantanal do Jacadigo-Nabileque. Trata-se de uma área menos subsidente, sendo significativamente menor a espessura de sedimentos da Formação Pantanal. Nesta área, a planície do rio Paraguai é estreita e encaixada, cortando paleocanais de um antigo leque aluvial, cujo ápice se encontra na altura da foz do rio Miranda.

A morfologia fluvial do rio evidencia superposição de padrões, onde canais menos sinuosos estão cortando uma rede prévia de canais meandantes abandonados (Figura 65), refletindo mudanças hidráulicas recentes e tendência de mudança para o padrão entrelaçado. Embora mudanças climáticas possam ser aventadas para explicar tal mudança de padrão do canal, que reflete aumento na energia de fluxo, a atuação da tectônica não deve ser desconsiderada, principalmente porque o curso do rio é controlado, por aproximadamente 100 km, por estruturas rúpteis de direção NE associadas ao Lineamento Transbrasiliano. O curso atual do rio Paraguai nesta área resultou de processo de mudança brusca do canal principal, sendo o canal abandonado hoje conhecido como Nabileque.

O Pantanal do Jacadigo-Nabileque representa o nível de base local para as planícies fluviais dos rios Paraguai e Negro, que, embora situados a montante, são áreas de sedimentação ativa com nível freático alto e muitas áreas pantanosas. Além disso, condiciona, indiretamente, o espaço de acomodação para o megaleque do Taquari, que tem como níveis de base as planícies do Paraguai e do Negro.

Como o Pantanal do Jacadigo-Nabileque é uma área estruturalmente ativa, com aparente basculamento para oeste, onde cria-se espaço de acomodação para a formação da lagoa do Jacadigo. Movimentações tectônicas na área podem alterar o nível de base do Pantanal como um todo, de um lado aumentando o espaço de acomodação que induz expansão nas áreas alagáveis, ou, pelo contrário, rebaixando o perfil de equilíbrio dos rios e promovendo incisão dos vales fluviais.

O grande escarpamento que limita o Pantanal a leste resultou de regressão erosiva de escarpas de falha na borda leste da Bacia do Pantanal. Os traços de falha estão cobertos pelos sedimentos quaternários da Formação Pantanal ou por depósitos de leques aluviais das rampas de *piedmont*, de forma que sua localização não é conhecida. A linearidade da escarpa sugere condicionamento por falhas próximas, de direção aproximada NNE.

Como já referido no capítulo 2, na fazenda Morrinho, dentro da planície do Pantanal, afloram arenitos vermelhos finos a grossos, provavelmente pertencentes à Formação Alto Garças (Neo-Ordoviciano). Esta formação aflora em posição topográfica mais alta em grande parte das escarpas a leste, sobre granitos e rochas metamórficas do Grupo Cuiabá. A existência desta ocorrência mostra que o

embasamento é raso na área da Alta Nhecolândia e que uma outra falha mais importante deve existir nas proximidades, a oeste do Morrinho, já que venulações e fraturas nos arenitos, preenchidas por quartzo, são indicativas de falha. Nas cercanias do Morrinho existem lineamentos orientados NE, visíveis em imagens de satélite (Figura 66), que podem corresponder a traços de falha. Neste caso, os sedimentos quaternários da Formação Pantanal estariam afetados pela deformação, o que implicaria considerar que as falhas são recentes.



Figura 65 – Rio Paraguai, fluindo de norte para sul no Pantanal do Jacadigo-Nabileque. O canal atual é largo e retilíneo e corta meandros abandonados de menor largura, evidenciando mudança recente no padrão fluvial (imagem de satélite Landsat TM, banda 4, outubro de 1990).

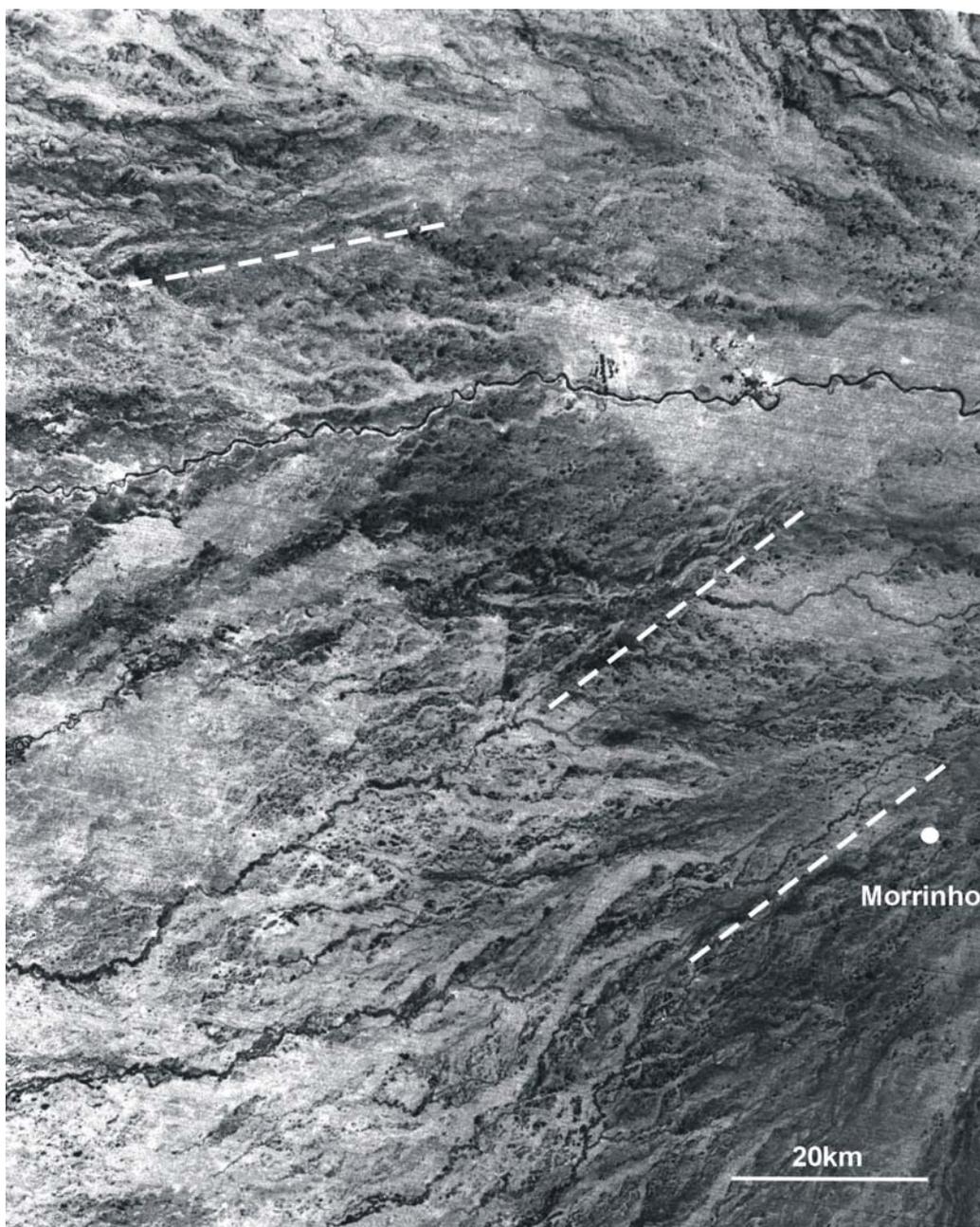


Figura 66 – Lineamentos em imagens de satélite, interpretados como traços de falhas ativas no interior do megaleque do Taquari (imagem satélite Landsat, banda 7, março de 1973).

Outras feições morfológicas e lineamentos dentro do megaleque do Taquari indicam atividade neotectônica. Na centro da figura 66 pode-se observar também um marcante lineamento NE em sedimentos quaternários. Faz parte de um *trend* de lineamentos na direção NE que cortam paleocanais do megaleque do Taquari. Tal feição tem expressão também no modelo digital do relevo apresentado na figura 64 e está relacionado ao Lineamento Transbrasiliano, que atravessa obliquamente o Pantanal Mato-grossense (discussão no capítulo 2, Figura 11). Outro lineamento, a norte do rio Taquari (Figura 66), coincide com o local da expressiva falha existente na parte direita da seção sísmica mostrada na figura 13. Segundo Ussami *et al.*

(2000) a falha coincide com epicentro de terremoto recente, corroborando interpretação de atividade neotectônica no interior da Bacia do Pantanal. Os dois lineamentos limitam conjuntos de paleocanais com direções diferentes, o que é sugestivo de que a construção e o abandono de lobos pode ser influenciada pela tectônica atuante na bacia

Sedimentação ativa ocorre principalmente no lobo atual de sedimentação do megaleque do Taquari, área que experimenta forte inundação anual e onde a drenagem fluvial apresenta notável padrão distributário. O lobo tem forma aproximadamente triangular, sendo o lado sul coincidente com o prolongamento do Lineamento Transbrasiliano na planície do Pantanal, sugerindo que o lobo atual está sendo formado por progradação sobre área mais subsidente a norte do Lineamento.

O rio Taquari apresenta padrão meandrante na porção superior do leque, estando confinado num cinturão de meandramento, entrincheirado em sedimentos de lobos antigos, margeado por terraços que ultrapassam cinco metros de altura. O entrincheiramento é interpretado como resultado de flutuação do nível de base, incisão e, finalmente, sedimentação por agradação em uma planície de meandramento. Basculamento tectônico poderia ser aventado para explicar a incisão, mas a causa verdadeira está ainda por ser descoberta, porque processos alocíclicos associados a mudanças climáticas também podem alterar níveis de base e a energia hidráulica dos sistemas fluviais, alterando conseqüentemente o perfil de equilíbrio dos rios. Encontrar a causa é problema de difícil solução, porque no mínimo quatro diferentes causas produzem incisão em leques aluviais, sendo um bom exemplo de convergência (Schumm 1991).

7.3. Dinâmica sedimentar

A sedimentação no Pantanal é fortemente influenciada pelo regime das cheias, que não são síncronas em todas as áreas. Durante as cheias os rios principais inundam suas planícies e canais abandonados e vazantes tornam-se ativos, ao mesmo tempo em que o nível freático sobe, fazendo com que grande parte da área fique inundada e origine a típica paisagem pantaneira.

Na planície do Paraguai (Pantanal do Paraguai-Paiguás) ocorrem os clássicos processos sedimentares atuantes em planícies meandrantas, desde a migração lateral dos canais e construção de barras em pontal (Figura 32), até o abandono de meandros na planície de inundação e formação de pequenas lagoas (*oxbow lakes*). Mas, a planície do Paraguai, nesta área, não é uma típica planície meandrante, pois há canais secundários que se entrecortam, resultando num padrão parcialmente anastomosado. O principal destes canais é conhecido como rio Paraguai Mirim.

A planície fluvial do Paraguai é o sistema distal dos leques aluviais do Corixo Grande, do Cuiabá e do Taquari, coletando as águas que deles fluem. Na verdade, a planície alagável do Paraguai está sendo assoreada pelos sedimentos destes leques, que sobre ela progradam. A franja do megaleque do Taquari, que avança para oeste progradando sobre a planície do Paraguai, é claramente visível em imagens de satélite (figuras 31 e 36).

Assim como o leque do São Lourenço (Figura 27), o leque do rio Cuiabá também está ativo e sedimentação ocorre numa área deprimida, provavelmente mais subsidente. Nela o rio Cuiabá se divide em vários canais distributários, que recebem nomes específicos como se outros rios fossem (Figura 67).

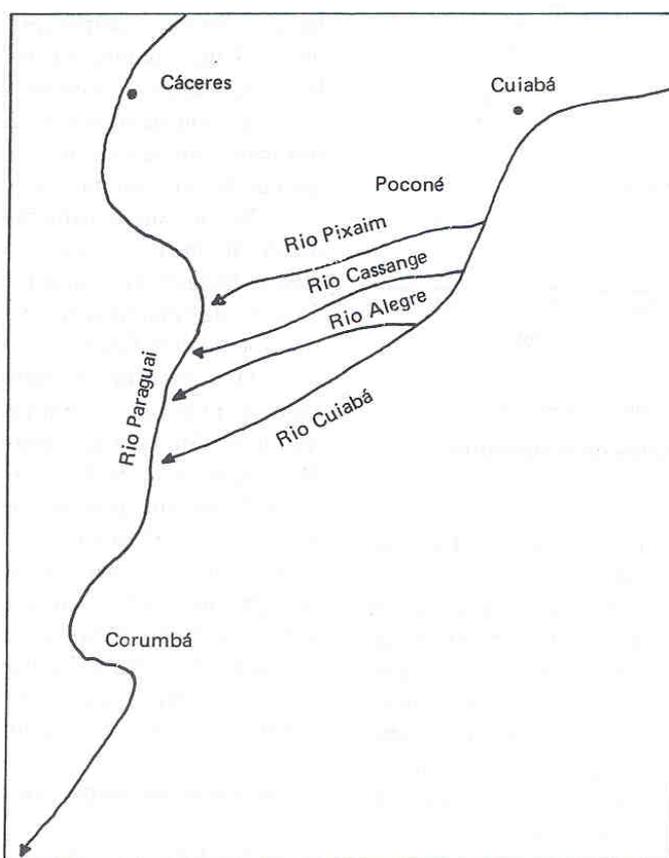


Figura 67 - Padrão distributário de drenagem no leque do Cuiabá, em esquema de Adámoli (1986).

Leques evoluem através da construção e do abandono de lobos, como visto no item 7.1. São sistemas em que o suprimento sedimentar é geralmente alto e episódico, sendo as cheias um bom exemplo de episodicidade. Sua evolução é dada pela construção e pelo abandono de lobos, que apresentam as seguintes tendências para jusante: 1) redução no tamanho dos clastos; 2) decréscimo na largura e na

profundidade dos canais; 3) aumento dos locais onde emerge a água infiltrada nas cabeceiras do leque.

Nos sistemas de leques, o canal fluvial principal não deriva lateralmente ao longo da planície do leque. A dinâmica é de mudança brusca no curso do rio. O processo é desencadeado pelo suprimento sedimentar vindo da bacia de drenagem, que faz com que o canal seja assoreado por agitação. Ao mesmo tempo, diques marginais são formados e crescem verticalmente durante as cheias, quando águas carregadas de sedimentos extravasam o canal, depositando sedimentos em suas margens com a diminuição da energia de transporte devido à dissipação do fluxo. Desta forma, ocorre estaqueamento vertical das fácies e o complexo canal/dique fica, com o tempo, mais alto que as planícies adjacentes. A tendência é de rompimento dos diques marginais (arrombados), com drenagem das águas e dos sedimentos para a planície de inundação. Ocorre, então, avulsão do canal principal, espraiamento e progradação sobre a planície aluvial, formando leques de crevasse e lóbulos arenosos lineares (Figura 68).

O fato de que o rios Taquari e São Lourenço correm em nível mais alto do que suas planícies de inundação, devido à formação dos diques marginais, não é novidade, tendo sido já ressaltado por Franco & Pinheiro (1982).

No megaleque do Taquari, o fenômeno de construção e abandono originou os inúmeros lobos existentes. O fenômeno, que está ilustrado de forma esquemática na figura 69, é a causa responsável pela exótica forma circular do megaleque. Como no esquema apresentado na figura 61, há várias evidências de incisão com formação de trincheiras, onde o rio corre confinado com padrão de canal diferente dos distributários do lobo abandonado. O mais evidente é o atual cinturão de meandramento na porção superior, confinado entre terraços esculpidos em depósitos de lobos mais antigos.

No lobo distributário atual, situado nas porções média e inferior do leque, processos de avulsão são freqüentes, resultando em rompimento do canal, formação de leques de crevasse e, em muitos casos, abandono e construção de lóbulos. Vários lóbulos antigos podem ser observados na margem direita no baixo curso do rio Taquari, testemunhando várias mudanças no curso do rio nas últimas centenas de anos (Figura 70). Comprova-se, assim, que o fenômeno de construção e abandono ocorrerá em diferentes escalas, gerando feições de magnitudes diversas. Desta forma, os antigos sistemas de canais distributários ficam impressos na paisagem como lóbulos de areia dentro da planície.

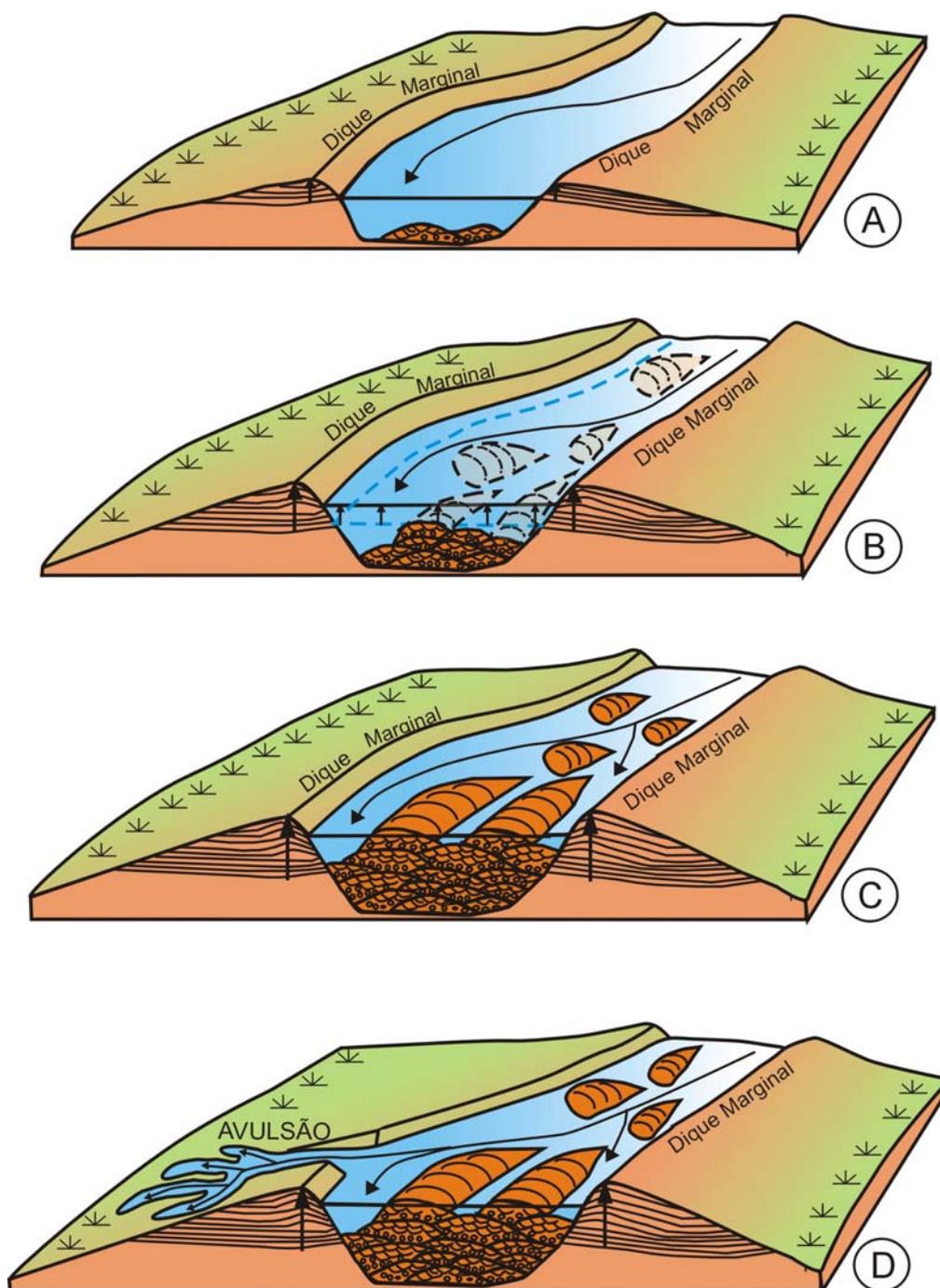


Figura 68 – Bloco diagrama representando a sucessão de processos que culmina com a avulsão do canal : A) o canal vai ficando mais alto que as áreas adjacentes, limitado destas pelos diques marginais que o rio constrói durante os transbordamentos nas épocas de cheias; B) deposição de sedimentos no canal forma dunas subaquôsas e o leito se eleva por agradação, assim como os diques marginais; C) com o assoreamento do canal as barras ficam emersas mesmo na época das cheias e a capacidade do canal de reter água fica cada vez menor; D) durante uma cheia, o canal rompe o dique marginal, formando um leque de *crevasse* e causando inundação na planície adjacente, o que pode resultar na mudança do curso do rio (avulsão)

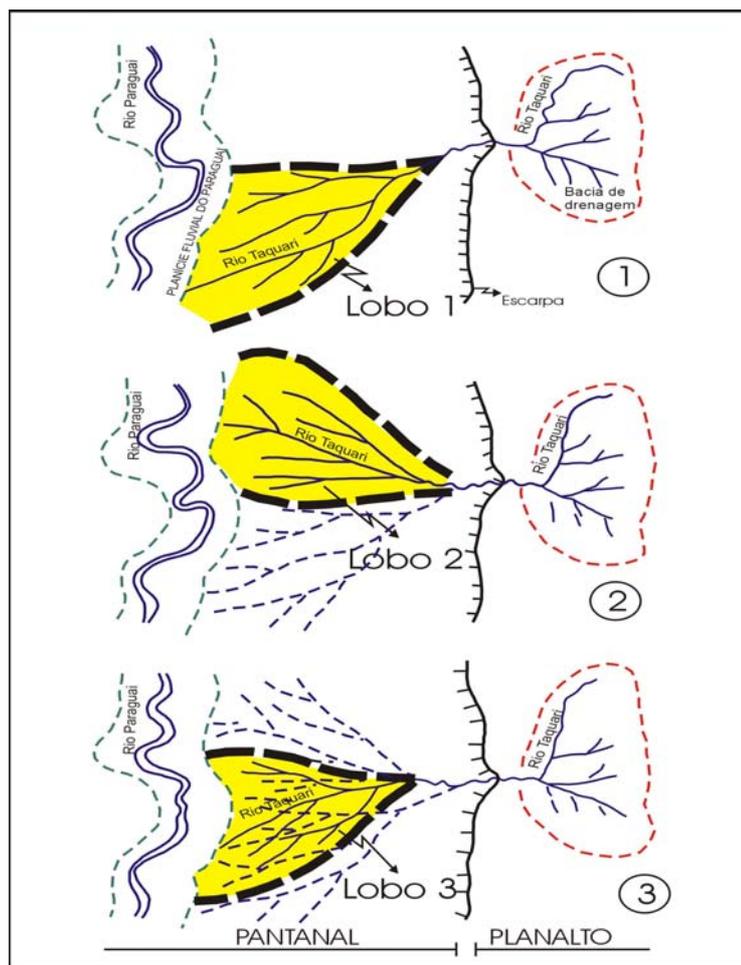


Figura 69 – Esquema ilustrativo da evolução do leque do Taquari, que se dá pela construção e abandono de lobos.

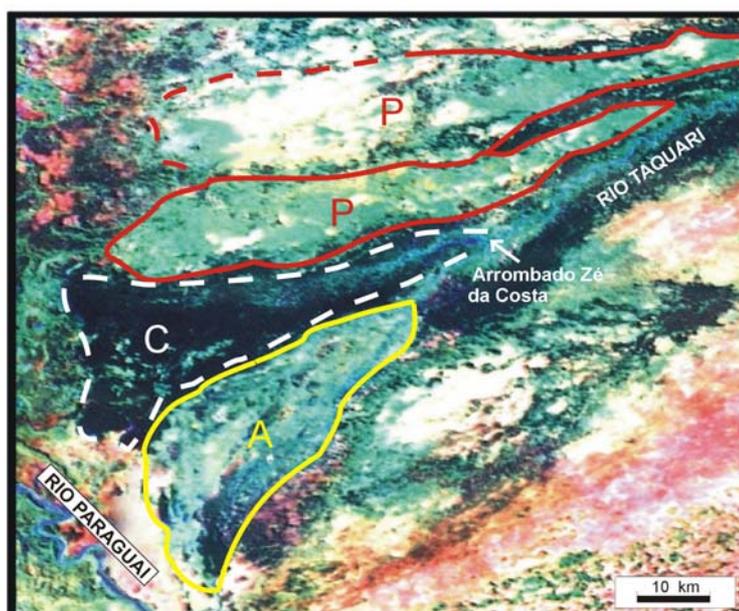


Figura 70 – Lóbulos em abandono (A) e em construção (C) na foz do rio Taquari. Lóbulos prévios são identificados pela letra P. (composição de imagens de satélite Landsat TM, falsa cor, R3/G4/B7, outubro 1990).

7.4. Paisagem mutante

Sistemas aluviais são ambientes deposicionais cuja morfologia muda constantemente em resposta à natureza de sua dinâmica sedimentar. Isto é especialmente evidente em leques dominados por rios, como os do Pantanal.

No leque do rio Kosi, por exemplo, mudanças sistemáticas e significativas ocorreram entre os anos de 1731 e 1963 (Figura 71), tendo o canal se deslocado cerca de 100 km para oeste no período. A partir da década de 60, obras de engenharia reduziram a migração do canal, que se mantém estável, ao menos por enquanto.

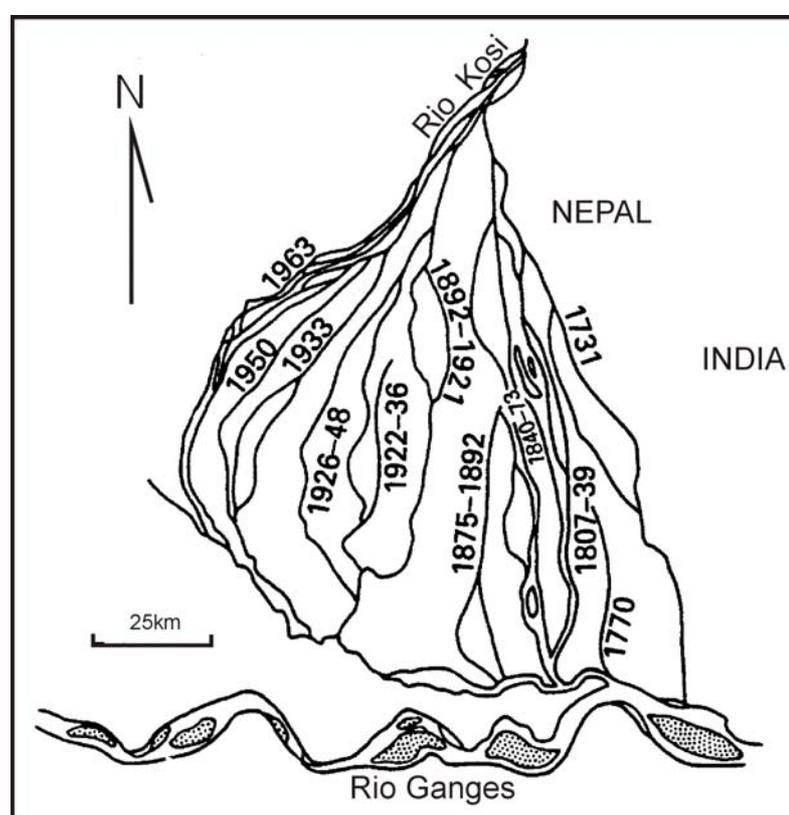


Figura 71 – Mudanças de curso do rio Kosi nos últimos 300 anos (Gole & Chitale 1966).

Assim como nos leques do Cuiabá e do São Lourenço, no megaleque do Taquari a paisagem é extremamente mutante em consequência da dinâmica do preenchimento sedimentar. Rompimento de diques marginais (arrombados), processos de avulsão e mudança no curso do rio são freqüentes.

Um exemplo notável é o do arrombado Zé da Costa, surgido na década de 90 e que causou mudança no baixo curso do rio Taquari. A mudança foi muito rápida e está documentada em imagens de satélite (Figura 72).

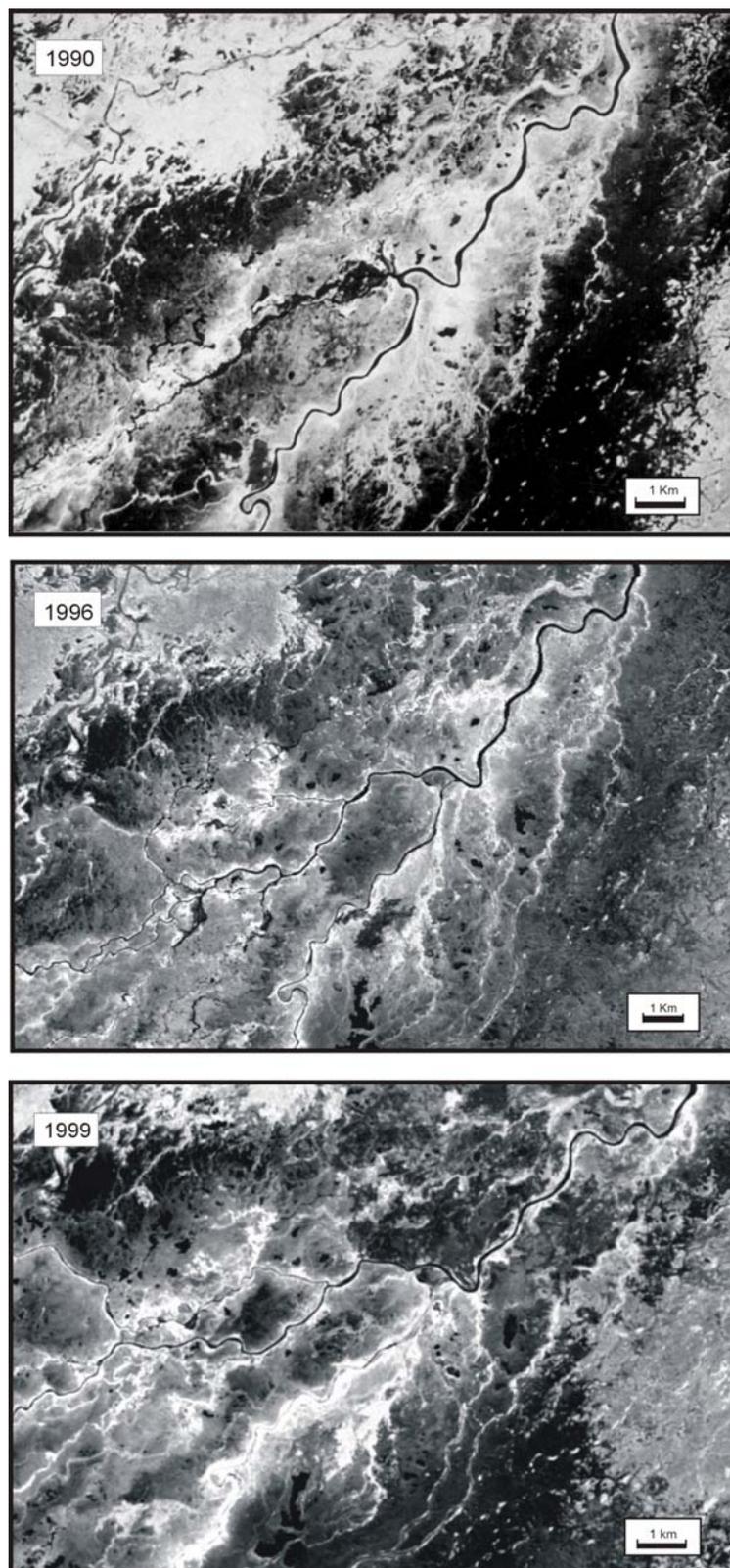


Figura 72 – Sucessão temporal de imagens de satélite registrando a mudança no curso do rio Taquari a partir da avulsão Zé da Costa durante a última década: 1) a imagem de 1990 já registra a avulsão e a formação de um leque de *crevasse*; 2) a divisão do canal é claramente visível na imagem de 1996; 3) na imagem de 1999 verifica-se que o rio já havia mudado completamente seu curso.

A partir do arrombado Zé da Costa, o rio Taquari passou a fluir para oeste e, aproveitando o canal do rio Negrinho, passou a desaguar suas águas no rio Paraguai Mirim, muitos quilômetros acima da antiga foz rio Paraguai em Porto da Manga. O novo curso, apresentado na figura 73, foi traçado a partir de marcações com GPS feitas pelo geólogo Alexandre Berner, durante descida do rio com canoa canadense em 1999. A mudança no curso do rio também foi documentada por Padovani *et al.* (2001).

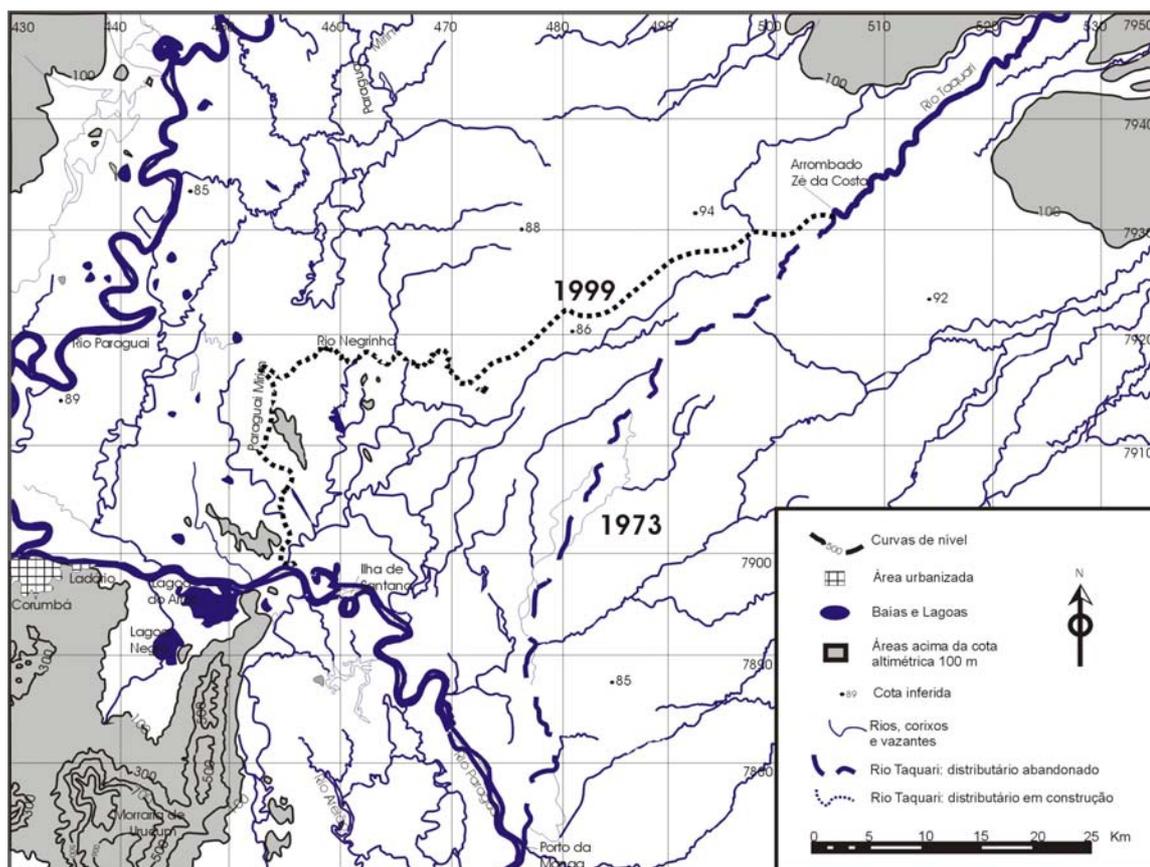


Figura 73 – Mapa da foz do rio Taquari, mostrando o atual canal do rio em 1999 e o antigo traçado do canal em 1973.

A história está novamente se repetindo, dezenas de quilômetros rio acima, na região da fazenda Caronal, que fica nas proximidades do ponto onde se inicia o lobo atual. O ponto coincide com uma mudança no gradiente topográfico após o rio Taquari sair do cinturão de meandramento (Figura 42) e pode ser considerado o ponto de intersecção no megaleque. Como era de se esperar, o canal neste ponto vem sendo palco de rápida agradação, o que se traduz na redução de sua profundidade, na emergência de barras arenosas e no desencadeamento de processos de avulsão com rompimento dos diques e formação de leques de crevasse (Figura 74).



Figura 74 – Parte superior do lobo distributário atual, onde o rio apresenta barras arenosas emergentes no seu leito (foto superior) e há rompimento dos diques marginais com formação de leques de crevasse (foto inferior).

Na área da fazenda Caronal, o dique da margem direita do rio está rompido em vários pontos, num processo acelerado de avulsão. Um novo canal distributário já se formou. A situação pode ser comparada àquela da avulsão Zé da Costa entre 1990 e 1996 (Figura 75 e 76).

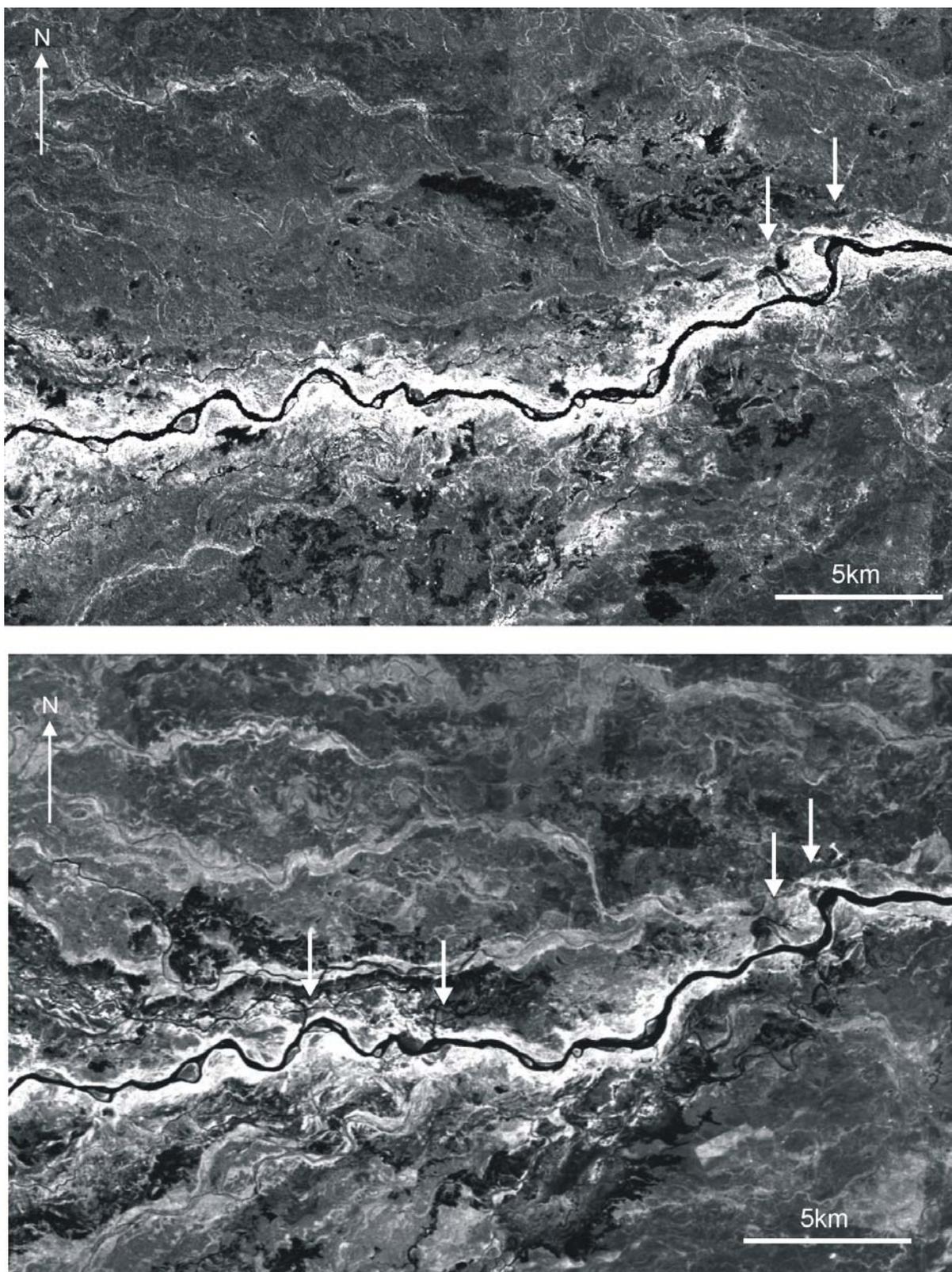


Figura 75 – Rompimento de diques marginais do rio Taquari na altura da fazenda Caronal: A) dois pontos de rompimento do canal em outubro de 1996: B) quatro pontos de rompimento do canal em novembro de 1999 (imagens de satélite Landsat TM, Banda 4).



Figura 76 – Fenômeno de avulsão do canal do Taquari na altura da fazenda Caronal: A) detalhe da figura 75-B, mostrando dois pontos de rompimento do canal; B) arrombados e novo canal em formação, vistos em fotografia aérea oblíqua obtida em fevereiro de 2000.

A partir das águas que saem do canal principal pelos locais de rompimento dos diques, ou seja, dos arrombados, formou-se um canal anastomosado na margem direita do rio Taquari (Figura 77). As águas estão sendo captadas para esta área mais baixa do lobo atual, por um processo natural, já que o complexo canal/dique está em posição topográfica mais alta.

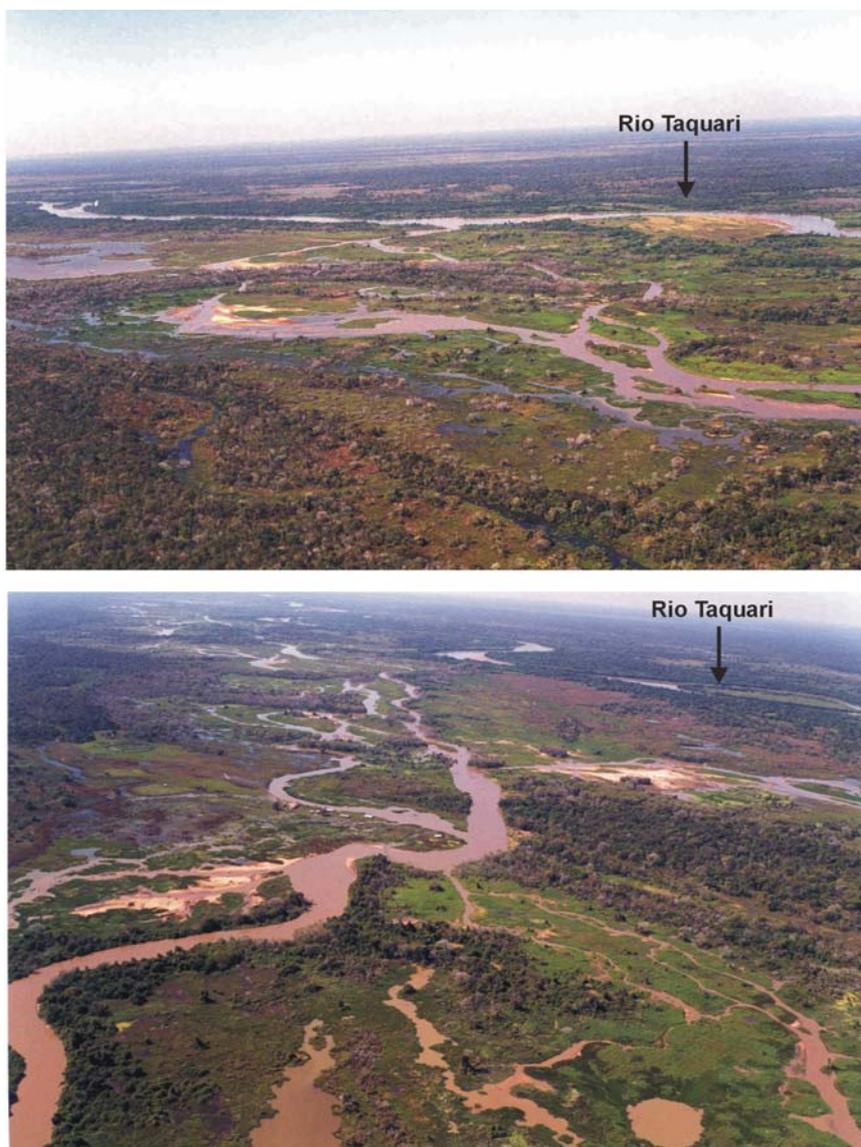


Figura 77 – Novo canal distributário na margem direita do rio Taquari, formado a partir de rompimento de diques marginais na altura da fazenda Caronal.

O traçado do novo distributário é apresentado de forma aproximada na figura 78, com sua posição também em imagem de satélite. A área mais baixa no lobo atual, que aparece em escuro nas imagens devido à umidade do solo, é o caminho natural para o estabelecimento de um novo curso para rio Taquari.

É possível que o rio mude definitivamente seu curso e o novo distributário passe a ser o novo rio Taquari. O que vai acontecer, e com que velocidade, dependerá de uma série de fatores, que interferem interativamente na dinâmica do sistema natural do Pantanal.

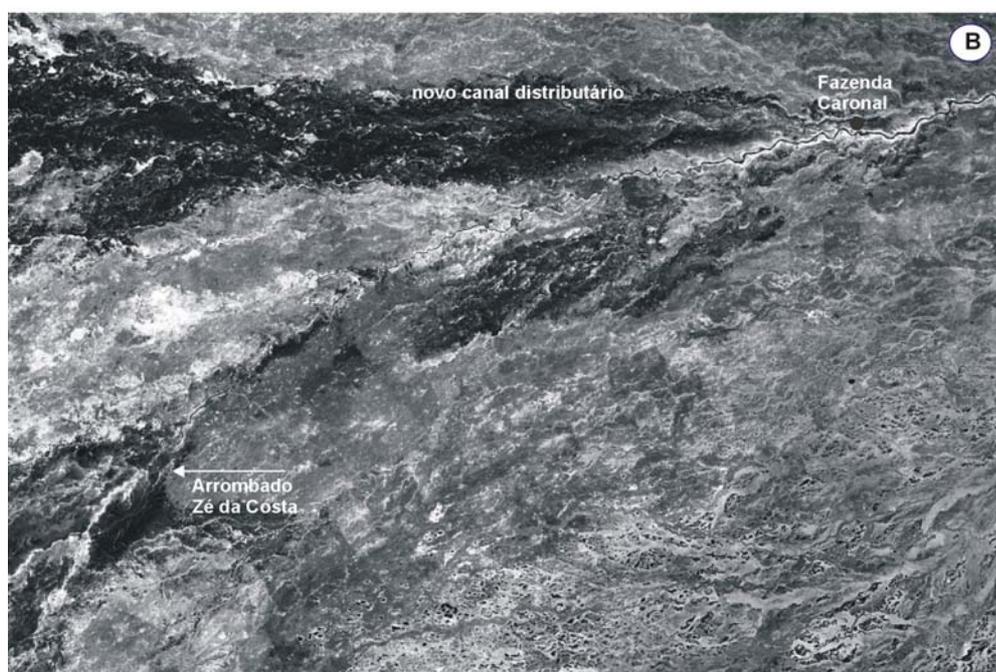
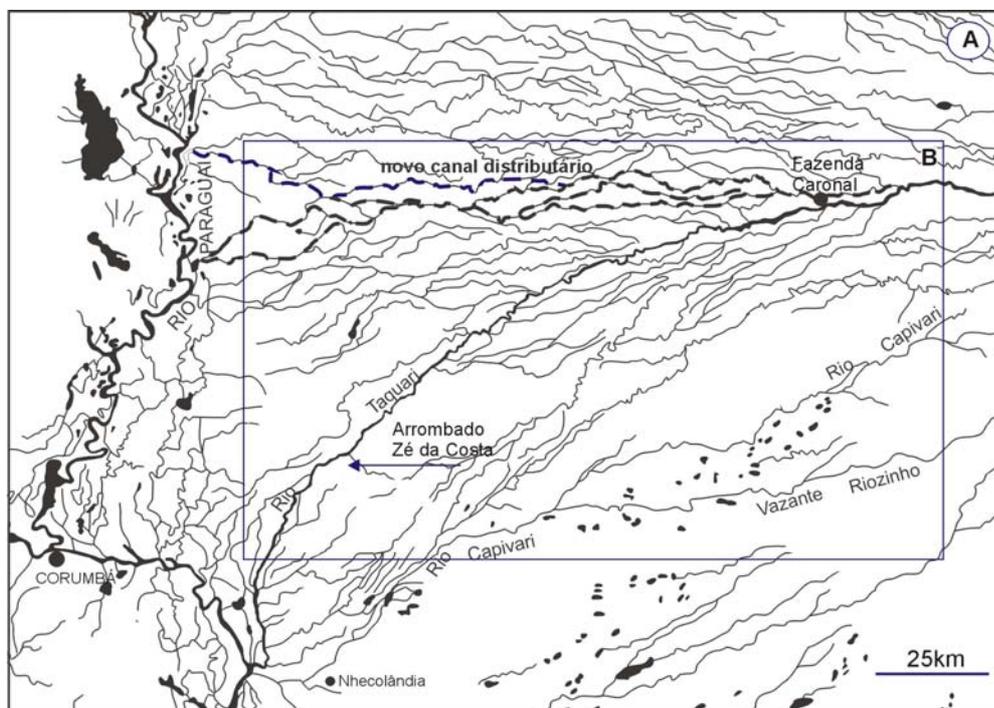


Figura 78 – Traçado aproximado do novo distributário na margem direita do rio Taquari, a partir de rompimentos do dique marginal na altura da fazenda Caronal.

8. INTERFERÊNCIA ANTRÓPICA NO SISTEMA NATURAL DO PANTANAL

Os sistemas deposicionais do Pantanal são sistemas naturais auto-reguladores, ou seja, reagem às alterações das variáveis do macroambiente na tentativa de retornar às condições de equilíbrio.

Para entendê-los é necessário equacionar corretamente como atuam os processos alocíclicos, que são controladores do macroambiente, como os movimentos tectônicos e as flutuações climáticas.

Diversos aspectos relacionados à tectônica atuante na bacia devem ser integrados na análise das mudanças induzidas pelo macroambiente, tais com a subsidência diferencial de blocos, movimentos verticais nas áreas-fonte, basculamento da bacia para oeste, reativação de falhamentos de borda, atuação de estruturas relacionadas ao Lineamento Transbrasiliano dentro da planície do Pantanal, mudanças do nível de base de erosão e do perfil de equilíbrio dos rios, adaptação dos rios a estruturas rúpteis como fraturas e falhas.

Processos derivados de mudanças climáticas também são de natureza alocíclica. Flutuações no clima promovem mudanças nos valores de precipitação atmosférica, que por sua vez aumenta a disponibilidade de água nos rios, aumentando a vazão e o nível das águas nas cheias. Aumento na precipitação também atua na biogeografia vegetal nas áreas-fonte, favorecendo o desenvolvimento de cobertura vegetal mais densa, que protege o solo e reduz os processos de erosão. Mas, a natureza da cobertura vegetal e a taxa de erosão dependem também da distribuição das chuvas, porque se forem concentradas em curtos períodos e durante longos meses não houver precipitação, a cobertura vegetal fica ineficiente e o solo ficará exposto à erosão acentuada quando da chegada das chuvas.

O clima no Pantanal é marcado por estações seca e úmida bem definidas. O pico chuvoso é no verão (Janeiro/Fevereiro), mas o pico das cheias no Pantanal do Paraguai-Nabileque, ocorre quatro meses mais tarde (Maio/Junho). Como resultado, há um longo período de inundações, começando em janeiro com a chegada das águas, que primeiro inundam os sistemas mais proximais, alcançando o máximo em abril, quando a onda da cheia cobre toda a planície do Paraguai a norte de Corumbá e a parte inferior do leque do Taquari (Figura 79).

Processos autocíclicos atuam como reguladores, respondendo às mudanças do macroambiente para que o sistema volte a funcionar novamente em equilíbrio. No Pantanal correspondem a processos que tendem a promover um balanço de massa, através da erosão de terrenos que ficaram posicionados acima do nível de base, e de sedimentação nos locais onde espaço de acomodação foi criado. Na análise de

como funcionam os processos alocíclicos devem ser considerados o escoamento superficial de água (tipos de fluxo, velocidade e volume), infiltração e escoamento subterrâneos, tempo de residência da água no sistema, flutuação do nível freático, erosão e transporte dos sedimentos (fluxos canalizados e em lençol), e deposição dos sedimentos nos canais e nas planícies de inundação (lobos de avulsão). Há que se considerar também a interação dos sistemas aluviais com sistemas lacustres na planície do Paraguai, e lagoas e salinas nos leques aluviais.

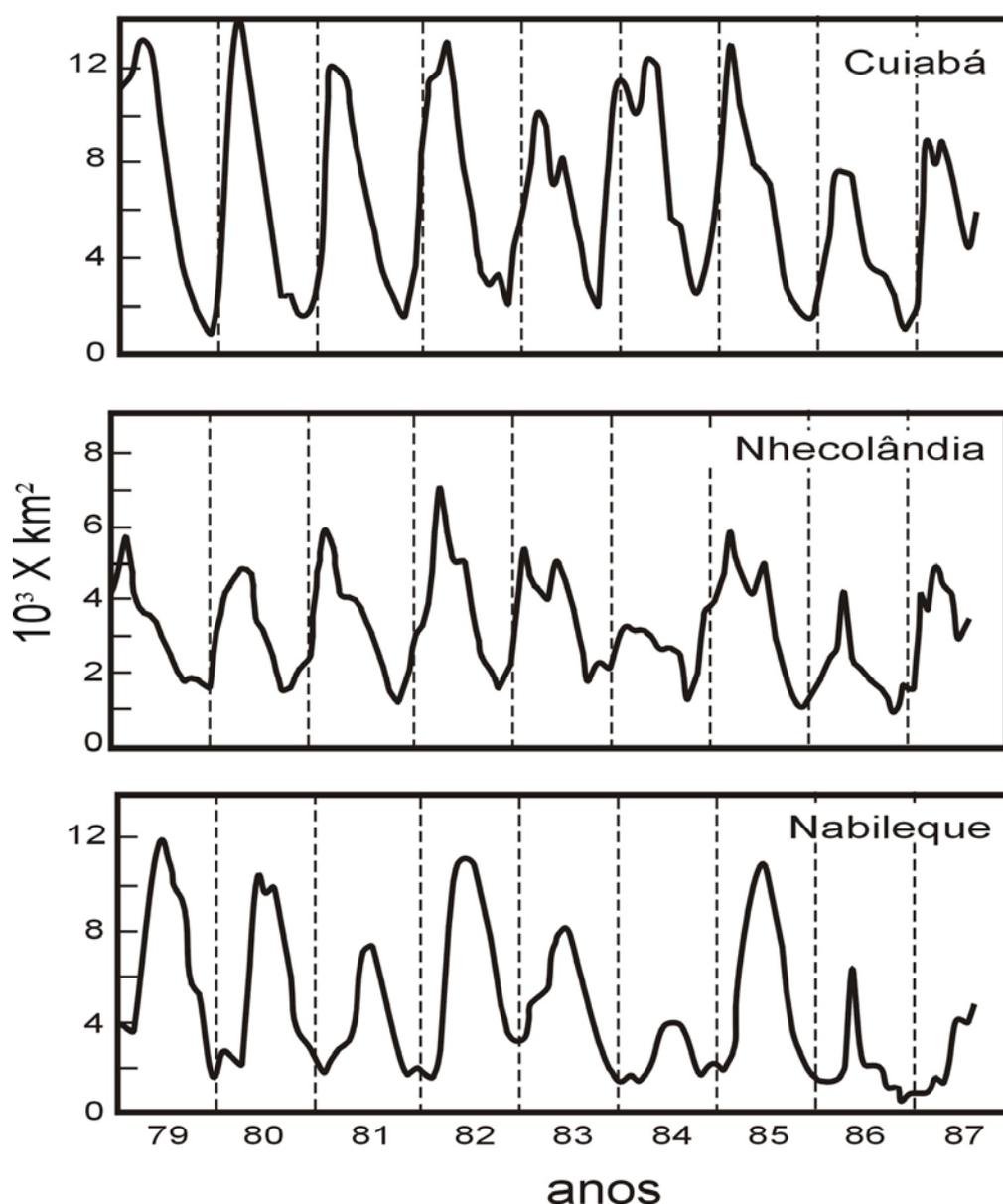


Figura 79 - Defasagem das cheias em diferentes pantanais, numa análise de um período de nove anos que mostra variação na magnitude das cheias (Sippel *et al.* 1995).

Do exposto neste trabalho, fica evidente que fenômenos de avulsão, abandono e construção de canais são processos naturais na dinâmica sedimentar de sistemas aluviais, em especial em leques, como os do Pantanal.

No caso do megaleque do Taquari, o canal no cinturão de meandramento está sendo rapidamente assoreado, tornando o leito mais raso e causando problemas de navegabilidade. No lobo distributário, freqüentes avulsões (arrombados), estão promovendo mudanças abruptas no curso do rio. Na década de 90, fenômeno de avulsão produziu o arrombado Zé da Costa e posterior mudança no baixo curso do rio, que passou a fluir para o canal do rio Negrinho, indo desaguar suas águas no Paraguai Mirim, cerca de 40 km a norte da antiga foz em Porto da Manga (Figura 73)

Abandono e reocupação de canais na porção distal do rio correspondem, em pequena escala, ao que ocorre no megaleque como um todo. Paleocanais, visíveis em imagens de satélite, testemunham uma história de abandono e construção de lobos dentro do leque, mostrando que o rio Taquari é, por natureza, mutante.

Fenômenos de arrombamento e avulsão estão ocorrendo agora na área da fazenda Caronal, em escala muito maior já que nesta localidade, localizada no ápice do lobo distributário atual, é maior também a descarga fluvial do rio. Um novo canal distributário já se formou e é possível que o rio definitivamente abandone seu antigo curso, indo desaguar no rio Paraguai muito a norte, cerca de 100 km de sua antiga foz em Porto da Manga (Figura 78).

O fenômeno de avulsão e abandono de canais no megaleque do Taquari está agora acelerado pelo aumento da taxa de suprimento sedimentar (Padovani *et al.* 1998a, Padovani *et al.* 1998b). Em parte, isto é consequência do desmatamento, ocupação e utilização das terras situadas na bacia de drenagem nos últimos 40 anos, o que tem acelerado a erosão e disponibilizado sedimentos que são transportados em direção ao Pantanal.

De outra parte, a velocidade com que tais fenômenos vêm ocorrendo pode ser função também de período de maior precipitação a partir da década de 70, que se traduz no aumento da vazão dos rios, como o do Taquari (Figura 41). Uma série histórica mais completa, na estação de Ladário, no rio Paraguai, mostra o mesmo fenômeno de aumento na vazão a partir de 1973, medida indiretamente pelo aumento no nível médio do rio (Figura 80).

De qualquer forma, para a ocupação e realização de grandes obras de engenharia em uma área tão sensível, tanto aos fatores do macroambiente quanto à ação antrópica, é fundamental que os estudos sejam integrados, porque somente uma análise sistêmica permitirá entender como funcionam os sistemas deposicionais do Pantanal.

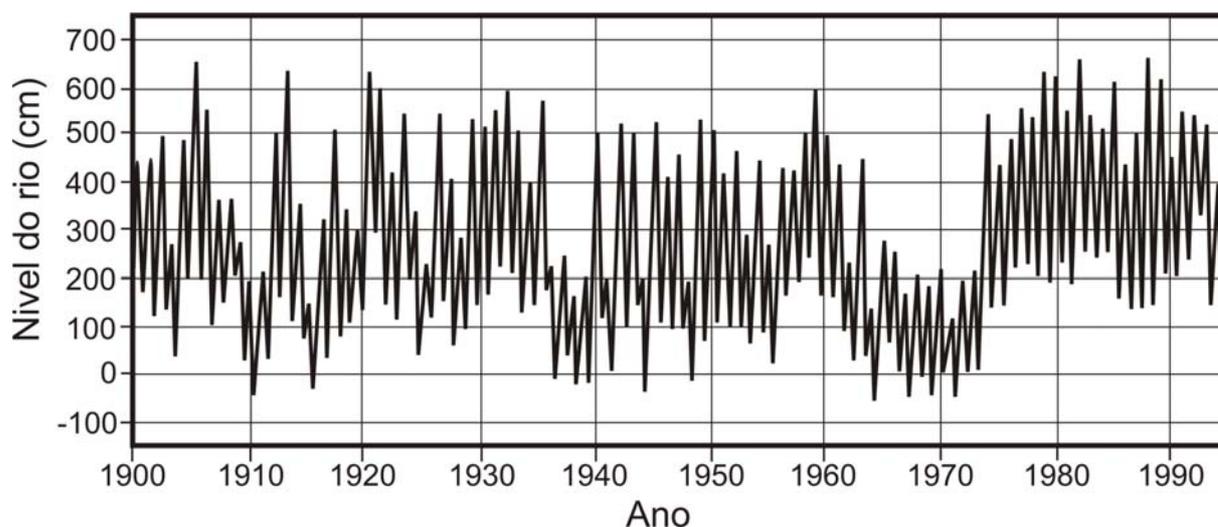


Figura 80 – Nível médio do rio Paraguai na estação fluviométrica de Ladário (Sá *et al.* 1995)

Como ressaltaram Soares & Assine (2000), a resposta de sistemas naturais auto-reguladores à interferência antrópica, na tentativa de retornar ao seu estado de equilíbrio, pode promover mudanças na paisagem consideradas catastróficas do ponto de vista humano. Sendo os sistemas deposicionais do Pantanal sistemas naturais auto-reguladores, sua ocupação deve ser feita levando-se em conta os processos alocíclicos e autocíclicos, além de processos derivados de um novo agente geológico, que promove erosão e sedimentação de forma acelerada: o homem.

O estudo das relações entre os processos alocíclicos e autocíclicos deve ser o caminho para se avaliar corretamente os riscos geoambientais na região do Pantanal. Sem uma análise criteriosa e simulações que procurem prever comportamentos em função das diferentes variáveis, resultados inesperados poderão ocorrer.

Caso venha a se concretizar o projeto de construção da Hidrovia Paraguai-Paraná, apesar de diversos estudos já feitos, como o de Bucher *et al.* (1994), é difícil prever, no atual estágio de conhecimentos, quais serão as conseqüências.

Num primeiro cenário, grande parte do ecossistema pantaneiro pode ser comprometido porque a canalização acelerará a vazão do rio, reduzindo o tempo de residência da água no sistema e a magnitude das inundações.

Num outro cenário, não menos provável, os sistemas deposicionais reagirão buscando o equilíbrio, que seria alcançado através do assoreamento do canal e transbordamento, aumentando a magnitude das inundações durante certos períodos. Neste caso, é certo que o homem reagiria, procurando dragar o canal para manter a viabilidade econômica dos seus empreendimentos. Quem venceria este embate? É difícil prever, por isso façam as suas apostas. A sorte também faz fortunas, mas sempre são poucos os vencedores e muitos os perdedores.

9. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O Pantanal é um dos mais importantes ecossistemas selvagens do mundo, famoso porque exibe extraordinária biodiversidade. Entretanto, o conhecimento sobre sua geologia é muito pobre. Muitas feições morfológicas são reliquias de uma história complexa de mudanças paleoclimáticas e paleogeográficas desde o fim do Pleistoceno até os dias de hoje.

Espera-se que futuros trabalhos possam ser realizados e que venham a contribuir para melhor conhecimento dos eventos quaternários. Importante será a obtenção de material datável pelo método ^{14}C e sua comparação com os resultados obtidos pelo método da termoluminescência. Além disso, amostras ricas em matéria orgânica poderão também ser férteis em termos palinológicos, permitindo a reconstituição paleoclimática da região do Pantanal.

O trato deposicional, composto por vários leques aluviais dominados por rios, é um interessante modelo para ser aplicado no estudo de seqüências aluviais antigas. Assim, o presente pode ser a chave para entender o passado.

A paisagem do Pantanal está continuamente mudando. Tais mudanças são induzidas por processos alocíclicos, tais como movimentos tectônicos e mudanças climáticas. Todavia, processos sedimentares autocíclicos são as causas diretas mais evidentes das mudanças na paisagem. A interferência do homem pode acelerar tais processos autocíclicos naturais, quando, por exemplo, suas atividades promovem aumento da erosão na área-fonte. Pode também retardá-los, quando se fecha os pontos de rompimento dos diques marginais (arrombados) e se impede temporariamente os processos de avulsão.

Mudanças no rio Taquari têm sido muito velozes. O rio vêm mudando seu curso de forma espetacular do ponto de vista da dinâmica do sistema, mas de forma dramática para os fazendeiros que lutam para impedir que o rio siga seu destino.

A avaliação dos impactos ambientais decorrentes de grandes obras depende do conhecimento de como funcionam os sistemas deposicionais existentes na planície do Pantanal. Neste caso, o presente pode ser a chave para o futuro.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ab'Sáber, A. N. 1988. O Pantanal Mato-Grossense e a teoria dos refúgios. *Revista Brasileira de Geografia*, **50** (número especial 1-2): 9-57.
- Adámoli, J. 1986. A dinâmica das inundações no Pantanal. In: 1º Simpósio sobre Recursos Naturais e Sócio-Econômicos do Pantanal, Corumbá, Anais..., p. 51-61.
- Almeida, F. F. M. 1945. Geologia do sudoeste Matogrossense. *Boletim do DNPM/DGM*, **116**: 1-118.
- Almeida, F. F. M. 1965. Geologia da Serra da Bodoquena (Mato Grosso). *DNPM/DGM*, **219**.
- Almeida, F. F. M. & Lima, M. A. 1959. *Planalto Centro-Occidental e Pantanal Matogrossense*. Rio de Janeiro, IBGE. Guia de Excursão nº 1 do Congresso Internacional de Geografia, 171p.
- Assine, M. L. & Soares, P. C. 1997. The giant Taquari wet alluvial fan, Pantanal basin, Brazil. In: IAS, 6th International Conference on Fluvial Sedimentology, Cape Town, *Abstracts*, p. 16.
- Assine, M. L.; Soares, P. C.; Angulo, R. J. 1997. Construção e abandono de lobos na evolução do leque do rio Taquari, Pantanal Mato-grossense. In: Abequa, 6º Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário, Curitiba, *Resumos Expandidos*, p. 431-433.
- Assine, M. L. & Soares, P. C. 1998. Megaleques aluviais: uma discussão tendo como exemplo o leque do Taquari, Pantanal Mato-Grossense. In: 40º Congresso Brasileiro de Geologia, Belo Horizonte, *Anais*, p. 433.
- Assine, M. L. & Soares, P. C. (no prelo). Quaternary of the Pantanal, west-central Brazil. *Quaternary International*.
- Barbiéro, L.; Queiróz-Neto, J. P.; Ciornei, G.; Sakamoto, A. Y.; Cappelari, B.; Fernandes, E.; Valles, V. 2002. Geochemistry of water and groundwater in the Nhecolândia, Pantanal of Mato Grosso, Brazil: variability and associated process. *Wetlands*, **22**: abstracts.
- Berrocal, J.; Assumpção, M.; Antezana, R.; Dias Neto, C. M.; Ortega, R.; França, H.; Veloso, J. A. V. 1984. *Sismicidade do Brasil*. São Paulo, Instituto Astronômico e Geofísico da USP, 320p.
- Bertaux, J.; Sondag, F.; Santos, R.; Soubiès, F.; Causse, C.; Plagnes, V.; Le Cornec, F.; Seidel, A. 2002. Paleoclimatic record of speleothems in a tropical region: study of laminated sequences from a Holocene stalagmite in Central-West Brazil. *Quaternary International*, **89**: 3-16.
- Bezerra, M. A. O. 1999. *O Uso de Multi-traçadores na Reconstrução do Holoceno no Pantanal Mato-grossense, Corumbá, MS*. Centro de Ciências Biológicas e da Saúde, Universidade Federal de São Carlos, Tese de Doutorado, São Carlos, 214p.
- Blair, T. C. & McPherson, J. G. 1994. Alluvial fans and their natural distinction from rivers based on morphology, hydraulic processes, sedimentary processes, and facies assemblages. *Journal Sedimentary Research*, **A64**: 450-489.
- Boggiani, P. C. & Coimbra, A. M. 1995. Quaternary limestones of the Pantanal area, Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, **67**: 344-349.
- Brasil, A. E. & Alvarenga, S. M. 1988. Relevo. In: IBGE (ed.) *Geografia do Brasil*. Rio de Janeiro, IBGE 1 (Região Centro-Oeste), p. 53-76.
- Braun, E. W. G. 1977. Cone aluvial do Taquari, unidade geomórfica marcante da planície quaternária do Pantanal. *Revista Brasileira Geografia*, **39**: 164-180.
- Bucher, E. H.; Bonetto, A.; Boyle, T.; Canevari, P.; Castro, G.; Huszar, P.; Stone, T. 1994. *Hidrovia. Uma análise ambiental inicial da via fluvial Paraguai-Paraná*. Buenos Aires, Humedales para Las Américas (Publicação nº 10), 72p.
- Bull, W. B. 1963. Alluvial fan deposits in western Fresno County, California. *Journal of Geology*, **71**: 243-251.
- Catto, A. J. 1975. *Análise geológica e geofísica da Bacia do Pantanal Matogrossense*. Rio de Janeiro. Petrobrás. (DEPEX/SEDOT nº 5296).
- Clapperton, C. 1993. *Quaternary Geology and Geomorphology of South America*. Amsterdam, Elsevier, 779p.

- Collinson, J. D. 1996. Alluvial sediments. In: Reading, H. G. (ed.) *Sedimentary Environments: Processes, Facies and Stratigraphy*. London, Blackwell Science, p. 37-82.
- Costa, M. F. 1999. *História de um país Inexistente: o Pantanal entre os séculos XVI e XVIII*. São Paulo, Livraria Kosmos Editora, 277p.
- Cunha, J. 1943. Cobre de Jaurú e lagoas alcalinas do Pantanal (Mato Grosso). *Boletim DNPM/LPM*, **6**: 1-53.
- Denny, C. S. 1967. Fans and pediments. *American Journal of Science*, **265**: 81-105.
- De Oliveira, P. E. 1992. *A palynological record of late Quaternary vegetational and climatic change in southeastern Brazil*. Ohio State University, Columbus, Ohio, Tese de Doutorado.
- De Oliveira, P. E.; Barreto, A. M. F.; Suguio, K. 1999. Late Pleistocene/Holocene climatic and vegetational history of the Brazilian caatinga: the fossil dunes of the middle São Francisco River. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **152**: 319-337.
- Dunne, L. A. 1988. Fan-deltas: varieties of coarse-grained deltas. Discussion. *Geological Society of America Bulletin*, **100**: 1038-1039.
- Ethridge, F. G. 1985. Modern alluvial fans and fan deltas. In: Flores, R. M.; Ethridge, F. G.; Miall, A. D.; Galloway, W. E.; Fouch, T. D. (ed.) *Recognition of Fluvial Systems and their Resource Potential*. Tulsa, SEPM (Short Course nº19), p. 101-126.
- Ferraz-Vicentini, K. R. & Salgado-Labouriau, M. L. 1996. Palynological analysis of a palm swamp in Central Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, **9**: 207-219.
- Franco, M. S. M. & Pinheiro, R. 1982. Geomorfologia. In: RADAMBRASIL (ed.) *Folha SE.21 Corumbá e parte da Folha SE.20*. Rio de Janeiro, Brasil/MMME/SG/RADAMBRASIL, vol. 27, p.161-224.
- Galloway, W. E. & Hobday, D. K. 1983. *Terrigenous Clastic Depositional Systems. Applications to Petroleum, Coal and Uranium Exploration*. Springer-Verlag, 423p.
- Gole, C. V. & Chitale, S. V. 1966. Inland delta building activity of the kosi River. *Journal of the Hydraulics Division (American Society of Civil Engineers)*, **92 (HY2)**: 111-126.
- Goudie, A. S. 1991. Pans. *Progress in Physical Geography*, **15**: 221-237.
- Goudie, A. S. & Wells, G. L. 1995. The nature, distribution and formation of pans in arid zones. *Earth-Science Reviews*, **38**: 1-69.
- Hales, F. W. 1981. Anomalias magnéticas de origem profunda na fossa do Araguaia e no Pantanal: suas implicações geológicas. *Mineração e Metalurgia*, **44(425)**: 24-30.
- Hamza, V. M. & Muñoz, M. 1996. Heat flow map of South America. *Geothermics*, **25**: 599-646.
- Heward, A. P. 1978. Alluvial fan sequence and megasequence models. In: Miall, A. D. (ed.) *Fluvial Sedimentology*. Calgary, Canadian Society of Petroleum Geologists (Memoir 5), p. 669-702.
- Hooke, R. B. 1967. Processes on arid-region alluvial fans. *Journal of Geology*, **75**: 438-460.
- Horton, B. K. & DeCelles, P. G. 2001. Modern and ancient fluvial megafans in the foreland basin system of the central Andes, southern Bolivia: implications for drainage network evolution in fold-thrust belts. *Basin Research*, **13**: 43-63.
- IAG/USP 2002. *Catálogo Sísmico do Brasil*. São Paulo, Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da USP.
- Innocencio, N. R. 1988. Hidrografia. In: IBGE (ed.) *Geografia do Brasil*. Rio de Janeiro, IBGE, vol. 1 (Região Centro-Oeste), p. 73-90.
- Iriondo, M. 1993. Geomorphology and late Quaternary of the Chaco (South America). *Geomorphology*, **7**: 289-303.
- Iriondo, M. H. & Garcia, N. O. 1993. Climatic variations in the Argentine plains during the last 18,000 years. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **101**: 209-220.
- Klammer, G. 1982. Die Paläovüste des Pantanal von Mato Grosso und die pleistozäne Klimageschichte der brasilianischen Randtropen. *Zeitschrift für Geomorphologie*, **26**: 393-416.
- Ledru, M. P.; Braga, M. P.; Soubies, F.; Fournier, M.; Martin, L.; Suguio, K. 1996. The last 50,000 years in the Neotropics (Southern Brazil): evolution of vegetation and climate. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **123**: 239-257.

- Lowe, D. R. 1979. Sediment gravity flows: their classification and some problems of application to natural flows and deposits. In: Doyle, L. J. & Pilkey, O. H. (ed.) *Geology of Continental Slopes*. Tulsa, Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, p.75-82.
- McCarthy, T. S.; Stanistreet, I. G.; Cairncroos, B. 1991. The sedimentary dynamics of active fluvial channels on the Okavango fan, Botswana. *Sedimentology*, **38**: 471 - 487.
- Miall, A. D. 1990. *Principles of Sedimentary Basin Analysis*. 2ª ed. Berlin, Springer 491p..
- Miall, A. D. 1996. *The Geology of Fluvial Deposits*. Berlin, Springer-Verlag, 582p.
- Miceli, P. 2003. *O Tesouro dos Mapas. A Cartografia na Formação do Brasil*. São Paulo, Instituto Cultural Banco Santos, 339p.
- National Geographic 1998. *Satellite Atlas of the World*. Washington, National Geographic, 222p.
- Nemec, W.; Porebski, S. J.; Steel, R. J. 1980. Texture and structure of resedimented conglomerates - examples from Ksiaz Formation (Famennian-Tournaisian), southwestern Poland. *Sedimentology*, **27**: 519-538.
- Nemec, W. & Steel, R. J. 1984. Alluvial and coastal conglomerates: their significant features and some comments on gravelly mass-flow deposits. In: Koster, E. H. & Steel, R. J. (ed.) *Sedimentology of Gravels and Conglomerates*. Calgary, Canadian Society of Petroleum Geologists (Memoir 10), p.1-31.
- North, C. P.; Todd, S. P.; Turner, J. P. 1989. Alluvial fans and their tectonic controls. *Journal of the Geological Society, London*, **146**: 507-508.
- Padovani, C. R.; Carvalho, N. O.; Galdino, S.; Vieira, L. M. 1998a. Deposição de sedimentos e perda de água do rio Taquari no Pantanal. In: ABRH, Encontro de Engenharia de Sedimentos, Belo Horizonte, p.127-134.
- Padovani, C. R.; Carvalho, N. O.; Galdino, S.; Vieira, L. M. 1998b. Produção de sedimentos da alta bacia do rio Taquari para o Pantanal. In: ABRH, Encontro de Engenharia de Sedimentos, Belo Horizonte, p.16-24.
- Padovani, C. R.; Pontara, R. C. P.; Pereira, J. G. 2001. Mudanças recentes de leito no baixo curso do rio Taquari, no Pantanal Mato-grossense. *Boletim de Geociências da UFPR*, **49**: 33-38.
- Rannie, W. F. 1990. The Portage La Prairie "Flood plain Fan". In: Rachocki, A. H. & Church, M. (ed.) *Alluvial Fans: a Field Approach*. Chichester, Wiley, p. 179-193.
- Sá, L. D. A.; Sambatti, B. M.; Galvão, G. P. 1995. Aplicação da transformada em ondeletas à análise de série temporal referente ao nível do rio Paraguai em Ladário, MS. In: Encontro sobre Sensoriamento Remoto Aplicado a Estudos no Pantanal. INPE/EMBRAPA, Corumbá, p. 65-67.
- Schobbenhaus, C. & Bellizzia, A. (ed.). 2000. *Mapa Geológico da América do Sul - Escala 1 : 5.000.000*. Rio de Janeiro, CGMW-DNPM-CPRM-UNESCO
- Schumm, S. A. 1991. *To interpret the Earth: Ten ways to be wrong*. Cambridge, Cambridge University Press, 133p.
- Shiraiwa, S. 1994. *Flexura da litosfera continental sob os Andes Centrais e a origem da Bacia do Pantanal*. Instituto Astronômico e Geofísico, Universidade de São Paulo, São Paulo, Tese de Doutorado, 86p.
- Shukla, U. K.; Singh, I. B.; Sharma, M.; Sharma, S. 2001. A model of alluvial megafan sedimentation: Ganga megafan. *Sedimentary Geology*, **144**: 243-262.
- Singh, H.; Parkash, B.; Gohain, K. 1993. Facies analysis of the Kosi megafan deposits. *Sedimentary Geology*, **85**: 87-113.
- Sippel, S. J.; Hamilton, S. K.; Silva, J. S. V.; Melack, J. M. 1995. Passive microwave remote sensing of flooding in the Pantanal. In: Encontro sobre Sensoriamento Remoto Aplicado a Estudos no Pantanal, INPE/EMBRAPA, Corumbá, p.105-107.
- Soares, A. P.; Soares, P. C.; Assine, M. L. (no prelo). Areiais e lagoas do Pantanal, Brasil: herança paleoclimática? *Revista Brasileira de Geociências*.
- Soares, P. C. & Assine, M. L. 2000. Controles geoambientais na dinâmica do Pantanal. In: Embrapa/UFMS, 3º Simpósio sobre recursos naturais e sócio-econômicos do Pantanal, Corumbá, Resumos, p. 119-120.

- Soares, P. C.; Gama Jr., E. G.; Landim, P. M. B.; Weyler, G.; Seignemartin, C. L. 1978. Foto-interpretção aplicada à sedimentação recente da Bacia do Pantanal. In: 1º Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, *Anais*, v.2, p. 575-576.
- Soares, P. C. & Landim, P. M. B. 1976. Comparison between the tectonic evolution of the intracratonic and marginal basins in South Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, **48**(suplemento): 313-324.
- Soares, P. C.; Rabelo, L.; Assine, M. L. 1998. The Pantanal Basin: recent tectonics, relationship to the Transbrasiliano Lineament. In: INPE, 9º Simpósio Brasileiro Sensoriamento Remoto., Santos, CD, 11p.
- Stanistreet, I. G.; Cairncross, B.; McCarthy, T. S. 1993. Low sinuosity and meandering bedload rivers of the Okavango Fan: channels confinement by vegetated levees without fine sediment. *Sedimentary Geology*, **85**: 135-156.
- Stanistreet, I. G. & McCarthy, T. S. 1993. The Okavango Fan and the classification of subaerial fan systems. *Sedimentary Geology*, **85**: 115-133.
- Steel, R. & Gloppen, T. G. 1980. Late Caledonian (Devonian) basin formation, western Norway: signs of strike-slip mobile zones. In: Ballance, P. L. & Reading, H. G. (ed.) *Sedimentation in oblique-slip mobile zones*. Oxford, Blackwell Science (International Association of Sedimentologists (Special Publication nº 4), p.79-103.
- Steel, R. J. 1974. New Red Sandstone floodplain and piedmont sedimentation in the Hebridean province, Scotland. *Journal of Sedimentary Petrology*, **44**: 336-357.
- Sternberg, H. O. 1957. A propósito de meandros. *Revista Brasileira de Geografia*, **19**: 477-497.
- Stevaux, J. C. 1994. The Upper Paraná River (Brazil): geomorphology, sedimentology and paleoclimatology. *Quaternary International*, **21**: 143-161.
- Tricart, J. 1982. El Pantanal: un ejemplo del impacto geomorfológico sobre el ambiente. *Informaciones Geográficas (Chile)*, **29**: 81-97.
- Urban, H.; Stribny, B.; H.J.Lippolt 1992. Iron and manganese deposits of the Urucum District, Mato Grosso do Sul, Brasil. *Economic Geology*, **87**: 1375-1392.
- Ussami, N.; Padilha, A. L.; Fisseha, S.; Porsani, J. L.; Souza, L. A. P.; Boggiani, P. C.; Carvalho, M. J. 2000. Investigações geofísicas integradas na planície do Pantanal Mato-Grossense: implicações tectônicas e hidrogeológicas de sub-superfície. In: 3º Simpósio sobre Recursos Naturais e Sócio-Econômicos do Pantanal, Corumbá, Resumos, 125.
- Ussami, N.; Shiraiwa, S.; Dominguez, J. M. L. 1999. Basement reactivation in a sub-Andean foreland flexural bulge: The Pantanal wetland, SW Brazil. *Tectonics*, **18**: 25-39.
- Valadão, R. C. 1998. *Evolução de Longo-Termo do Relevo do Brasil Oriental (Desnudação, Superfícies de Aplanamento e Soerguimentos Crustais)*. Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia, Tese de Doutorado, Salvador, 243p.
- Valverde, O. 1972. Fundamentos geográficos do planejamento do Município de Corumbá. *Revista Brasileira de Geografia*, **34**: 49-144.
- Wasson, R. J. 1979. Sedimentation history of the Mundi-Mundi alluvial fans, western New South Wales. *Sedimentary Geology*, **22**: 21-51.
- Wells, N. A. & Dorr Jr, J. A. 1987. A reconnaissance of sedimentation on the Kosi alluvial fan of Índia. In: Ethridge, F. G.; Flores, R. M.; Harvey, M. D. (ed.) *Recent Developments in Fluvial Sedimentology*. Tulsa, SEPM, p. 51-61.
- Weyler, G. 1962. *Relatório final dos poços perfurados no Pantanal Matogrossense - Projeto Pantanal*. Ponta Grossa. Petrobrás. (DESUD/SET/SEDOT nº 119-1455).