

PAISAGENS CÁRSTICAS DA SERRA DA BODOQUENA (MS)

William Sallun Filho

Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP
wsallun@usp.br

Ivo Karmann

Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP
ikarmann@usp.br

Paulo César Boggiani

Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP
boggiani@usp.br

Resumo:

A Serra da Bodoquena constitui um planalto carbonático desenvolvido nas rochas do Grupo Corumbá (Faixa Paraguai), que se ressalta topograficamente das planícies do Estado do Mato Grosso do Sul. Foi investigada pela primeira vez, do ponto de vista geológico e geomorfológico por Almeida (1965). Este autor notou que as condições da região eram favoráveis para carstificação, mas a incidência de feições cársticas por ele notada foi considerada baixa, ao contrário do que estudos mais específicos têm revelado desde então.

O carste da Serra da Bodoquena possui três compartimentos de relevo principais. O Planalto da Bodoquena é sustentado por calcários calcíticos, com um carste autogênico com pavimentos cársticos e carste poligonal dominado por cones na porção sul e sistemas fluviais com rios entalhados e menos influência de um sistema cárstico, na porção norte. A Depressão do Rio Miranda composta principalmente de calcários dolomíticos com morros residuais e dolinas, associadas a amplas planícies cársticas e feições vadosas de cavernas atualmente abaixo do NA (espeleotemas submersos). O extremo sul da Serra da Bodoquena apresenta um carste interestrat, evidenciado por dolinas desenvolvidas nos arenitos da Formação Aquidauana da Bacia do Paraná.

Quanto às cavernas observam-se três padrões principais: 1) salões de abatimentos irregulares em planta, formando planos inclinados em seção longitudinal; 2) cavernas em rede anastomosada em planta, com condutos circulares a elípticos e ramificações anastomosadas em seção transversal; 3) cavernas meandantes em planta, por vezes associados a sumidouros ativos ou fósseis, com recarga alogênica na maioria dos casos.

A existência de tectônica recente na Serra da Bodoquena é sustentada pela sua proximidade com a Bacia do Pantanal e por algumas feições como: espeleotemas subaéreos submersos; planalto sustentado por calcários calcíticos e planícies por calcários dolomíticos; escarpas delimitando o planalto; porção norte do planalto com rios mais entalhados que o sul; possíveis capturas de drenagem do Rio Perdido e uma estrutura linear, aparentemente relacionada ao Pantanal, que cruza a Serra da Bodoquena.

Palavras-chave: Geologia, Geoespeleologia, Carste, Geomorfologia, Cavernas, Serra da Bodoquena.

Abstract:

The Serra da Bodoquena comprises a carbonate plateau developed upon rocks of the Corumbá Group (Paraguay Belt), that stands above the broad, rolling plains of the State of Mato Grosso do Sul (central-western Brazil). It was first investigated from a geological and geomorphological standpoint by Almeida (1965). This author noted that the region's conditions favored karstification but he noted very few karstic features, contrary to what more recent detailed studies have revealed.

IN: mantesso - Neto, V. et al. [org.]
Geologia do continente sul-
americano. São Paulo:

Becco, 2004.

The Bodoquena plateau is supported by calcitic limestones, with an autogenic karst presenting limestone pavements and polygonal karst with karst cones in the south and fluvial systems with entrenched rivers and less evidence of karstic influence in the north. The Rio Miranda Depression has developed mainly upon dolomitic limestones and presents residual hills and dolines associated with broad karstic plains and vadose cave features presently below the groundwater level (submerged speleothems). The extreme southern Serra da Bodoquena exhibits interstratal karst as indicated by dolines in sandstones of the Aquidauana Formation which discordantly overlies the Corumbá Group.

As for the caverns, three principal patterns are observed: 1) breakdown chambers irregular in planview and presenting inclined planes in longitudinal section; 2) anastomosing caves in plan-view and cross-section with circular to elliptical conduits; 3) and meandering caves in plan-view, some associated with active or fossil sinks, with allogenic recharge in the majority of cases.

That the region has been affected by recent tectonism is supported by its proximity to the Pantanal basin and by the following observations: speleothems formed subaerially are now submerged; the plateau is sustained by calcitic limestones and the plains by dolomitic limestones; the plateau is delimited by scarps; rivers are more entrenched in the northern plateau than in the south; possible stream capture is evident along the Rio Perdido; and a linear structure apparently related to the border of the Pantanal cuts the Serra da Bodoquena.

Keywords: Geology, Geospeleology, Karst, Geomorphology, Caves, Serra da Bodoquena.

Resumen:

La Sierra de Bodoquena es una amplia meseta desarrollada en rocas carbonatadas del Grupo Corumbá, que resalta inmediatamente en las planicies del Estado de Mato Grosso do Sul. Una investigación pionera desde el punto de vista geológico y geomorfológico fue realizada por Almeida (1965). Al contrario de lo que indican los estudios más recientes, ese autor verificó una incoherencia entre las condiciones favorables para la formación de carst y la baja incidencia de rasgos cársticos en la región.

El sistema cárstico de la Sierra de Bodoquena posee tres compartimientos principales de relieve: (i) la meseta de Bodoquena, sustentado por calizas, formada en la parte sur por carst autogénico, con pavimentos cársticos y carste poligonal; y en la porción norte, un sistema fluvial conformado por ríos de cauces profundos, con menos influencia de un sistema cárstico; (ii) la depresión del Río Miranda, constituida esencialmente de dolomías, con elevaciones residuales y dolinas, asociadas con amplias planicies cársticas y rasgos de cavernas vadosas actualmente de bajo del nivel de agua (espeleotemas sumergidos) y (iii) en el extremo sur de la sierra ocurren campos de dolinas que muestran un compartimiento de relieve como un carst interestratos, desarrollado en areniscas de la Formación Aquidauana de la Cuenca del Paraná.

En cuanto a las cavernas, las mismas presentan tres principales patrones: 1) galerías de abatimiento irregular en planta y longitudinalmente formando planos inclinados, 2) cavernas en red anastomosada con conductos circulares a elípticos en planta y ramificaciones anastomosadas en sección transversal, 3) cavernas meandriiformes en planta, a veces asociados con sumideros activos o fósiles, con inyección alogénica en la mayoría de los casos.

La influencia de una tectónica más reciente en la Sierra de Bodoquena es posible deducir por la proximidad de la misma a la Cuenca del Pantanal y por la presencia de espeleotemas subaéreos sumergidos, mesetas sustentados por calizas y planicies de dolomías, escarpas delimitando mesetas, en la porción norte de la meseta el cauce de los ríos son más profundos que en el extremo sur; posible captura de drenaje del Río Perdido; y una estructura lineal que secciona la Sierra de Bodoquena.

Palabras llave: Geología, Geospeleología, Carst, Geomorfología, Serra da Bodoquena.

Introdução

A Serra da Bodoquena é uma feição geomorfológica marcante no Estado do Mato Grosso do Sul, com cerca de 200 km na direção norte-sul e até 800 metros de altitude (Fig. 1). Situa-se a sudeste da Planície do Pantanal entre 19° 45' e 22° 15' de latitude sul e entre 57° 30' e 56° 15' de longitude oeste.

Consiste de um planalto carbonático (serra propriamente dita) do Grupo Corumbá e de planícies de natureza terrígena e carbonática dos grupos Corumbá e Cuiabá, todos da Faixa Paraguai-Araguaia (Almeida *et al.*, 1976; Boggiani & Alvarenga, este volume) (Fig. 2).

No contexto desses dois compartimentos geomorfológicos principais, se desenvolvem sistemas cársticos, reunidos por Karmann & Sánchez (1979; 1986) na Província Espeleológica da Serra da Bodoquena.

O limite norte da Serra da Bodoquena é dado pelo recobrimento por sedimentos cenozóicos da Formação Pantanal e ao sul praticamente desaparece, ocorrendo apenas alguns morros isolados dos calcários do Grupo Itapucumi. Após a primeira citação da presença de carste e cavernas na região por Mendes (1957); Almeida (1965) faz uma primeira

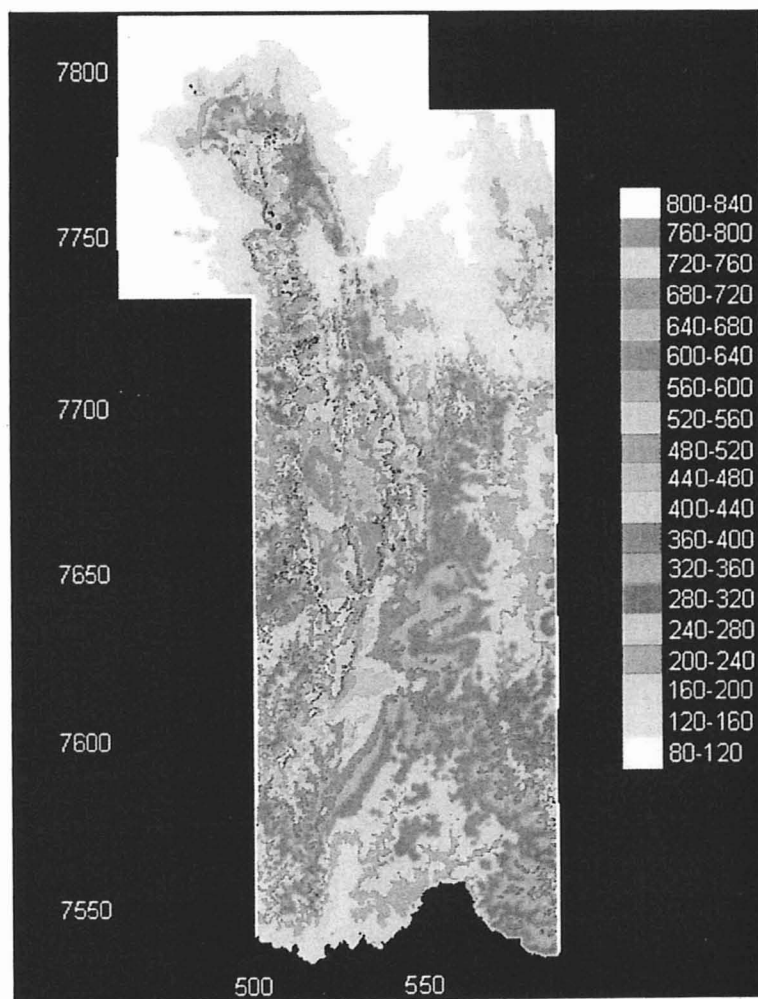


Fig. 1 - Mapa hipsométrico da Serra da Bodoquena

- Hypsometry of the Serra da Bodoquena

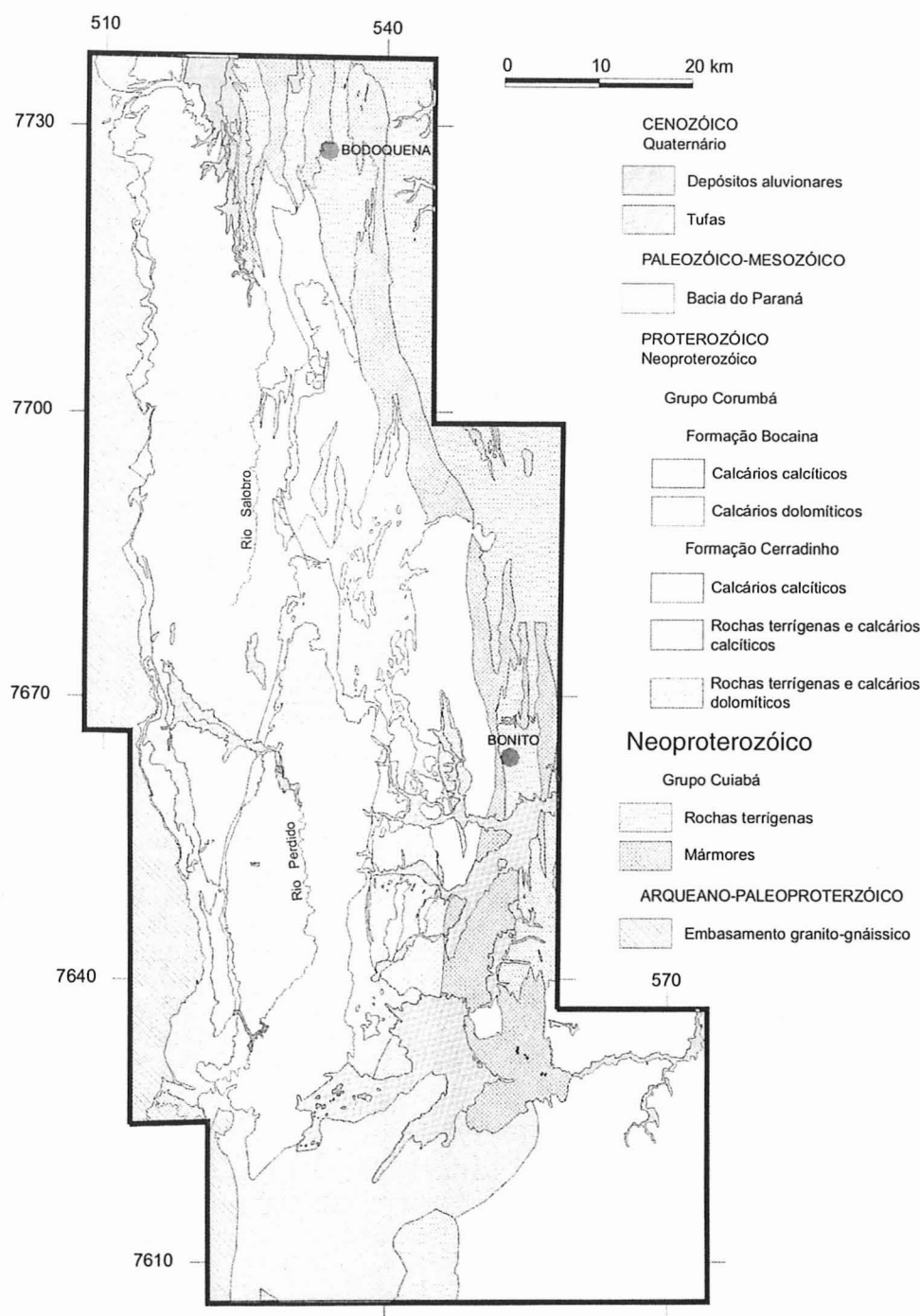


Fig. 2 - Mapa geológico simplificado com as unidades carbonáticas (Compilado de Nogueira & Oliveira, 1978; Corrêa *et al.*, 1976; Araújo *et al.*, 1982; Godoi, 2001)

- Geological outline showing carbonate rock units (Compiled from Nogueira & Oliveira, 1978; Corrêa *et al.*, 1976; Araújo *et al.*, 1982; Godoi, 2001)

caracterização em seu trabalho *Geologia da Serra da Bodoquena*.

Existem poucos trabalhos realizados na Serra da Bodoquena que enfocam o carste. Estudos específicos são cada vez mais necessários devido ao aumento do aporte de turistas, acompanhado da respectiva infra-estrutura necessária e, principalmente, os voltados ao planejamento do uso da terra e os necessários para elaboração do plano de manejo do Parque Nacional da Serra da Bodoquena, criado no dia 21 de agosto de 2000.

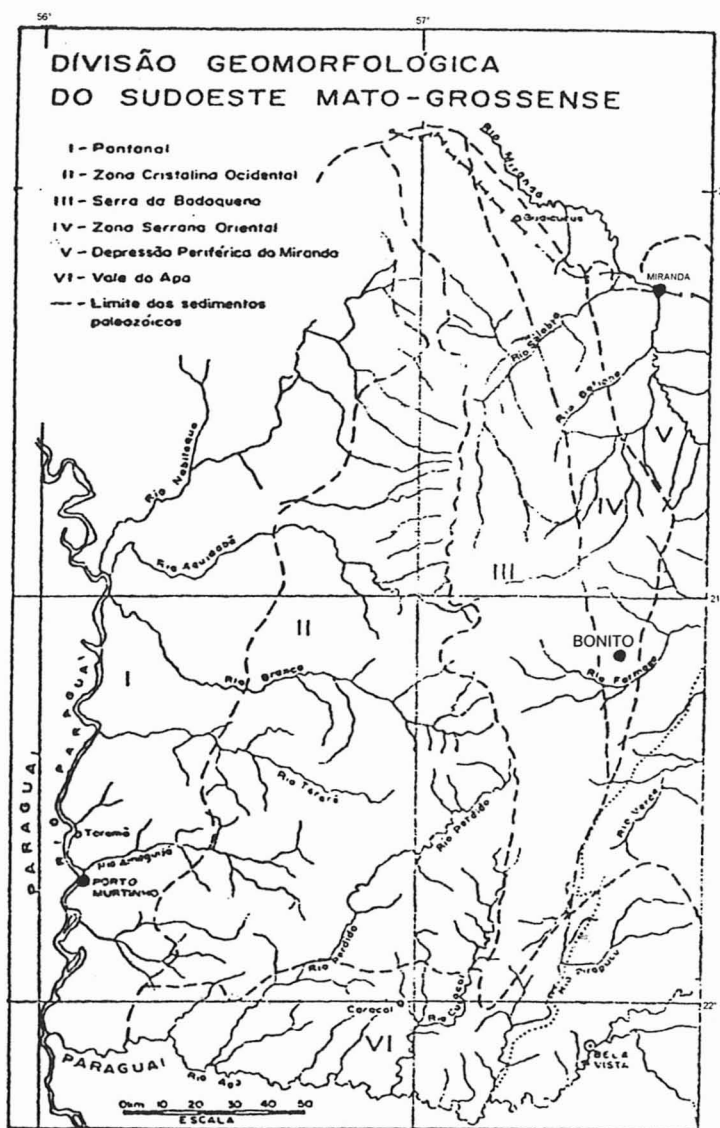
Geomorfologia do carste da Serra da Bodoquena

Almeida (1965) estabeleceu uma primeira compartimentação geomorfológica da área (Fig.3): Pantanal, Zona Cristalina Ocidental, Serra da Bodoquena, Zona Serrana

Oriental, Depressão Periférica do Miranda e Vale do Rio Apa. Segundo Almeida (1965, p. 81) a Serra da Bodoquena “é a mais importante feição geomorfológica regional, não só pelas altitudes a que se eleva, dentro do quadro de planícies do sul do Mato Grosso, como por sua extensão”.

Em trabalho mais recente, Alvarenga *et al.* (1982), no projeto RADAMBRASIL, reconheceram na área de estudo quatro unidades geomorfológicas: o Planalto da Bodoquena, o Planalto de Maracaju-Campo Grande, a Depressão do Rio Paraguai, as Planícies e Pantanaís Mato-grossenses. A classificação de Alvarenga *et al.* (1982) é a utilizada neste trabalho, apenas acrescentando a Depressão Periférica do Rio Miranda de Almeida (1965), que estaria incluída na Depressão do Rio Paraguai.

Na classificação de Almeida (1965) o carste corres-



existirem poldjes. O vale do córrego Lalima sugere tal feição, mas sua origem é certamente outra, ligada como se acha, à erosão de uma anticlinal dolomítica com a exposição do núcleo, em Formação Cerradinho. A natureza grandemente detrítica desta formação explica o relevo suave da depressão, uma centena de metros mais baixa que as cristas dolomíticas vizinhas, e a presença de solos ácidos, no interior de um planalto predominantemente constituído de rochas carbonatadas. De tal modo, apresenta-se a Bodoquena como um carst incompletamente desenvolvido, e isso é surpreendente quando se consideram as condições favoráveis ali reunidas para o desenvolvimento do relevo cárstico. As rochas carbonatadas existem por toda parte, em pacotes de centenas de metros de espessura, expostos em clima relativamente úmido, cuja pluviosidade deve oscilar entre 1200 e 1300 mm e, o que é importante, concentra-se nos meses de mais elevadas temperaturas. O planalto ergue-se suficientemente acima do nível das planícies do Pantanal para que seja grande a solicitação à infiltração subterrânea da drenagem.”

Atualmente sabe-se que as feições cársticas não são tão raras, nem o carste da Serra da Bodoquena é incompletamente desenvolvido, porém as feições mais evidentes, como sumidouros e cavernas, não são tão comuns como em outras áreas carbonáticas. Existe um amplo sistema de condutos cársticos predominantemente em ambiente freático, atingindo grandes profundidades, evidenciado por cavernas subaquáticas e por informações de poços perfurados na região. Grande parte da água subterrânea utilizada na Serra da Bodoquena provém de aquíferos cársticos. Dolinas, nascentes e cones cársticos são feições relativamente comuns tanto no Planalto da Bodoquena quanto na Depressão do Rio Miranda.

O Planalto da Bodoquena (Serra da Bodoquena, Almeida, 1965) consiste de um “*estreito e longo planalto calco-dolomítico*” (Almeida, 1965, p. 81) com altitudes variando entre 350 e 800 metros, mais comumente entre 400 e 600 metros, composta principalmente de calcários calcíticos da Formação Bocaina e de rochas terrígenas e carbonáticas (calcíticas e dolomíticas) da Formação Cerradinho (de menor expressão em área), ambas do Gr. Corumbá (Fig. 1, 2, 4, 5D). Compõe um carste principalmente autogênico caracterizado na porção sul (Unidade PB₁) por pavimentos cársticos (relevo com morros de topo plano recortados por vales na forma de fendas e corredores retilíneos com fundo estreito e vertentes verticais) gradando para áreas de carste poligonal dominado por cones cársticos (depressões poligonais com drenagem centrípeta e cones cársticos), próximo à planície do Rio Perdido (Fig. 5A, B), ambos com solo pouco espesso ou ausente, formando lajedos. Nesse setor, o Rio Perdido apresenta trechos com curso subterrâneo. A porção norte (Unidade PB₂) é composta por áreas fluviais, com o alto Rio Salobro como a principal drenagem, formando um *canion*, com afluentes em maior ou menor grau de entalhamento, alguns subterrâneos, e os interflúvios formando pavimentos cársticos e carste poligonal pouco desenvolvidos (Fig. 5G). No interior do Planalto da Bodoquena ocorrem planícies (Unidade PB₃) formadas por rochas carbonáticas ou terrígenas. O trecho mais alto do Planalto da Bodoquena é sustentado por granitos intrusivos (Unidade PB₅) (Fig. 1, 2, 4).

ponde às unidades da Serra da Bodoquena e de parte da Zona Serra Oriental, que correspondem respectivamente, na classificação de Alvarenga *et al.* (1982), ao Planalto da Bodoquena e a Depressão do Rio Miranda e ao Planalto de Maracaju-Campo Grande.

Em relação ao carste, Almeida (1965, p. 83-84) descreve: “Viajando-se na Bodoquena, certamente depara-se com aspectos típicos do relevo calcário. A hidrografia é em parte subterrânea; adaptados às direções tectônicas, sobretudo nas regiões dobradas da borda oriental, os cursos d'água perdem-se freqüentemente, em sumidouros, típicos avens afunilados, como o exibido na Fig. 5C. Diz-se que grande parte do córrego Lalima e alguns de seus afluentes, na zona norte do planalto, tem desenvolvimento subterrâneo, e que o próprio rio Formoso no município de Bonito, assim se apresenta em seu alto curso. Um ou outro pequeno lago existe sobre o planalto; sobrevoamos um deles na zona norte. É de supor que ocupem dolinas. (...) Embora tenhamos visto, no planalto da Bodoquena, muitas das feições características do carst, certo é que outras faltam ou escasseiam. Nunca vimos uma dolina típica, seja no terreno ou indicada nas fotografias aéreas que atentamente examinamos, de grande área da zona norte. A despeito da existência de cursos subterrâneos, parece-nos que a maior parte da drenagem seja superficial, fluindo em vales que se apresentavam secos por ocasião de nossas viagens, realizadas no rigor da estiagem. Não parece

1965, p. 81) inserida hoje na Depressão Periférica do Rio Miranda, limitada a oeste com o Planalto da Bodoquena e a leste pelo Planalto de Maracaju-Campo Grande, com altitudes entre 100 a 300 metros, composta de rochas terrígenas e carbonáticas (principalmente dolomíticas) do Gr. Corumbá e por mármore (calcíticos e dolomíticos) do Gr. Cuiabá (Fig. 1, 2, 4, 5D, 9B).

O carste na Depressão do Rio Miranda é composto essencialmente de morros residuais, mais frequentes na Unidade DRM₁ e mais isolados na Unidade DRM₂, geralmente de calcário, formando cones cársticos (Fig. 4, 5F). Nas planícies associadas ocorrem dolinas, a maioria em solo residual do calcário dolomítico (Fig. 6C). A Depressão do Rio Miranda, no Médio-Baixo Rio Salobro, se encontra inserida dentro da porção norte do Planalto da Bodoquena, em planícies aluviais, com altitudes comparáveis às do Pantanal Mato-grossense (80-250 m) (Unidade DRM₃) (Fig. 1, 2).

O carste da Serra da Bodoquena se diferencia pela abundante ocorrência de tufas calcárias, ainda em formação, ao longo da drenagem ativa. Estas tufas calcárias são encontradas na forma de cachoeiras e de inúmeras barragens naturais ao longo dos principais rios que cortam o planalto (Boggiani & Coimbra, 1995). Tufas pulverulentas formaram-se em meandros abandonados do Rio Formoso, constituindo depósitos de até seis metros de espessura, atualmente lavradas para corretivos de solo. A origem das cachoeiras e barragens de tufas se deve ao alto teor de bicarbonato de cálcio das águas dos rios, associadas à atividade combinada entre cianofíceas e musgo. Já as tufas pulverulentas podem ter sido originadas por indução durante a atividade fotossintetizante das cianofíceas em águas paradas (Boggiani *et al.*, 2000). Ao longo das drenagens atuais é comum observar a concentração de tubos calcários, os quais são atribuídos à permineralização e incrustação de talos de algas caráceas. Esses calcários quaternários foram descritos no trabalho de (Almeida, 1965). Na Formação Xaraiés, unidade esta definida por ele mesmo na escarpa de Corumbá-Ladário (Almeida, 1945). Considera-se, porém, essa inclusão não apropriada, por serem as Tufas Calcárias da Serra da Bodoquena (Boggiani & Coimbra, 1995) distintas dos calcretes da Formação Xaraiés, devendo portanto serem consideradas como unidades à parte.

Em sua porção norte, a Serra da Bodoquena apresenta um “relevo de morros dolomíticos mais ou menos isolados que se erguem da superfície de aplainamento que, como grande pedestal, desce suavemente das abas da serra ao Pantanal do Miranda, nas vizinhanças da estação de Bodoquena, tal como o ilustra a fotografia 11” (Almeida, 1965). Nessa área poucas feições cársticas são conhecidas.

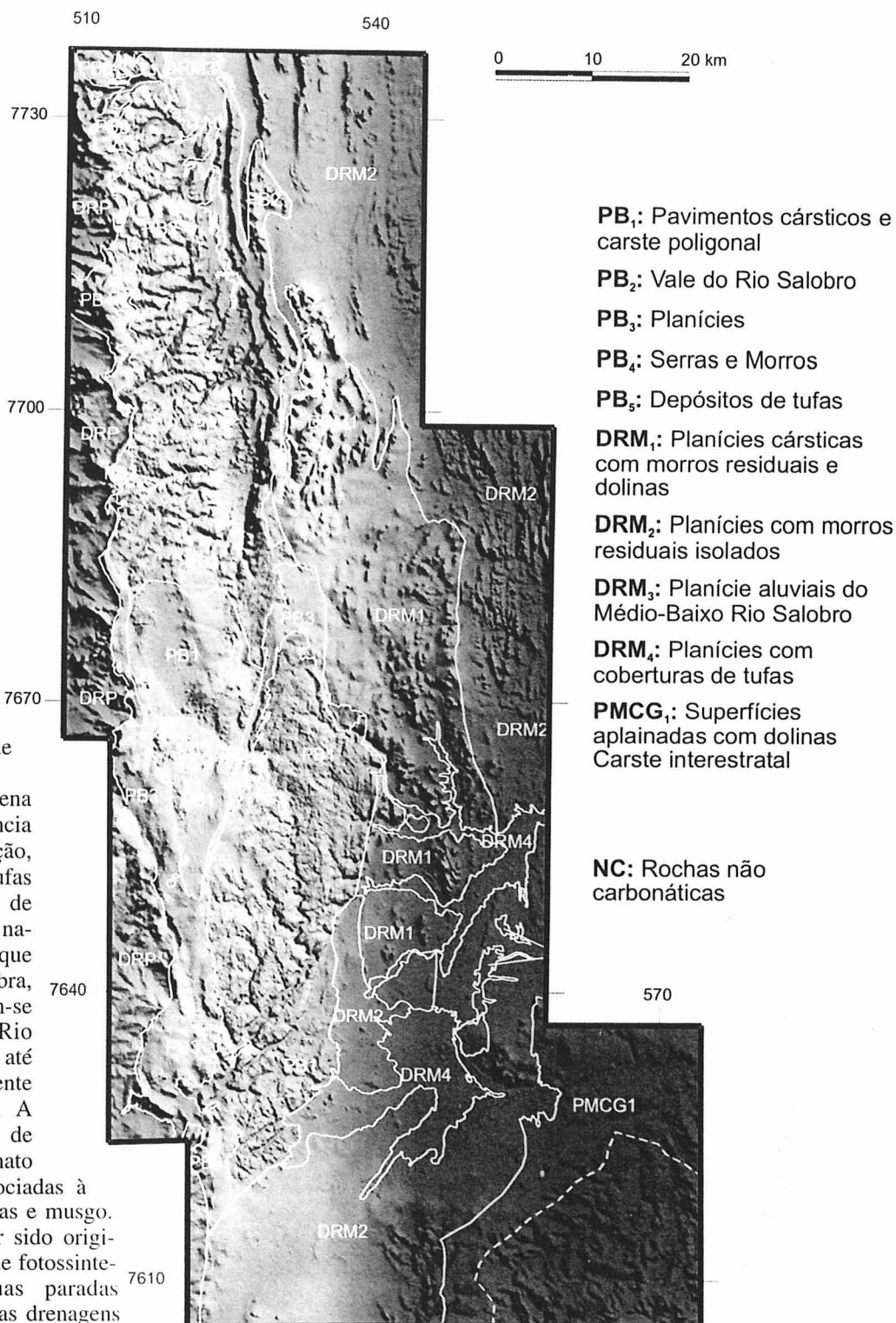
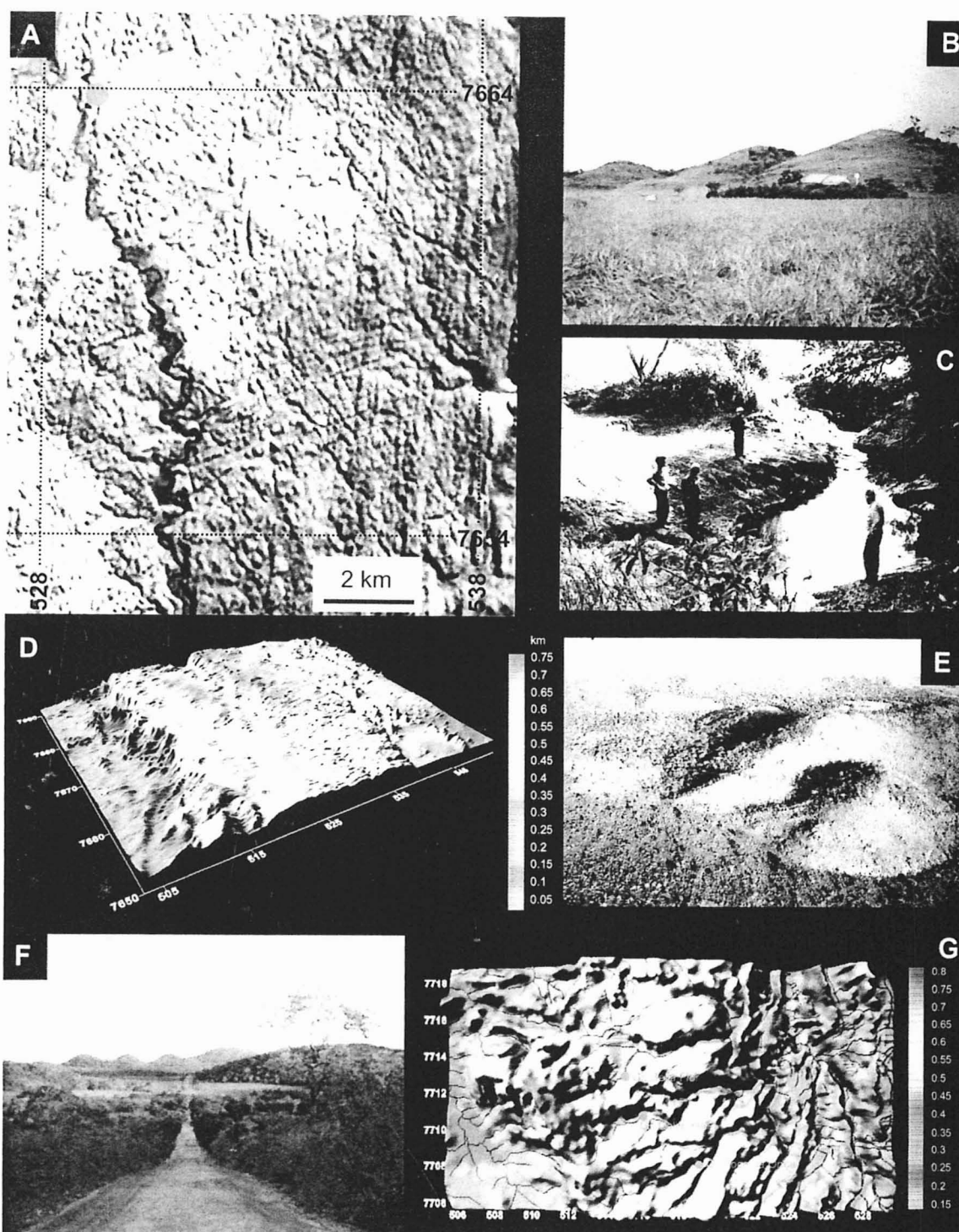


Fig. 4 - Compartimentação geomorfológica do carste da Serra da Bodoquena (base: imagem de radar SRTM)

- Geomorphological compartments of the Serra da Bodoquena Karst (base: radar image SRTM)

Fig. 5 - Feições do relevo cárstico da Serra da Bodoquena. A- Imagem de satélite (R7G5B3 mais PC1 na intensidade, agosto de 2001) exibindo cones cársticos, depressões poligonais e pavimentos cársticos na região do Rio Perdido (Unidade PB₁). O círculo vermelho indica o local da Fig.5B; B- Cones cársticos alinhados próximos ao Rio Perdido (Unidade PB₁); C- Sumidouro no Planalto da Bodoquena (Almeida, 1965, fotografia 16). Córrego Seputá, região de Três Morros (Unidade PB₁); D- Modelo digital de terreno do Planalto da Bodoquena e dos vales dos rios Perdido (sul) e Salobro (norte) (Unidades PB₁ e PB₂); E- Cones cársticos no Planalto da Bodoquena (Almeida, 1965, fotografia 12) (Unidade PB₁); F- Morros residuais de calcários dolomíticos, alinhados, próximo à Bonito (Unidade DRM₁); G- Modelo digital de terreno do setor norte do Planalto da Bodoquena (Unidade PB₂), na borda ocidental, exibindo a escarpa ocidental do planalto e um trecho do Rio Salobro



- Karst landforms of the Serra da Bodoquena. A- Sattelite image (R7G5B3 plus PC1 intensity , August 2001) showing karst cones, closed depressions and limestone pavements of the Perdido River Área (Unit PB₁). The red circle locates the Figure 5B; B- Aligned karst cones near the Perdido River (Unit PB₁); C- Sink in the Bodoquena Plateau (Almeida, 1965, picture 16). Seputá Stream, Três Morros region (Unit PB₁); D- Digital elevation model of the Bodoquena Plateau and Perdido (south) and Salobro (north) valleys (Units PB₁ and PB₂); E- Karst cones in the Bodoquena Plateau (Almeida, 1965, picture 12) (Unit PB₁); F- Aligned residual hills of dolomitic limestone near Bonito town (Unit DRM₁); G- Digital terrane of model of the north sector of the Bodoquena Plateau (Unit PB₂), showing the western border with escarpment of the plateau and a sector the Salobra River canyon

Na porção sul da Serra da Bodoquena, o Planalto da Bodoquena dá lugar a extensas planícies desenvolvidas sobre a Formação Cerradinho, mármores do Grupo Cuiabá ou arenitos da Formação Aquidauana (Carbonífero da Bacia do Paraná). Trata-se de uma superfície aplainada com cotas entre 200 e 400 m. No domínio da Formação Cerradinho, e também no Grupo Cuiabá, a superfície plana é interrompida pela ocorrência de dolinas, com diâmetros desde alguns metros até várias dezenas de metros, e profundidades também muito variadas, atingindo até 70 metros. A superfície carbonática gradativamente submerge na cobertura arenítica da Formação

Aquidauana, no sentido E-SE, onde a incidência de dolinas também é significativa, com depressões que atingem até 700 metros de diâmetro, como por exemplo a dolina da Fig. 6A, e o Buraco das Araras (Fig. 6B). Estas feições de colapso e erosão subterrânea nos arenitos evidenciam o desenvolvimento de um sistema cárstico profundo, em ambiente freático, nas rochas carbonáticas abaixo dos arenitos Aquidauana, caracterizando desta maneira, um carste interstratal associado principalmente à Formação Cerradinho, e também aos mármores do Grupo Cuiabá (Unidade PMCG₁).

Um fato interessante observado nesta compartimen-

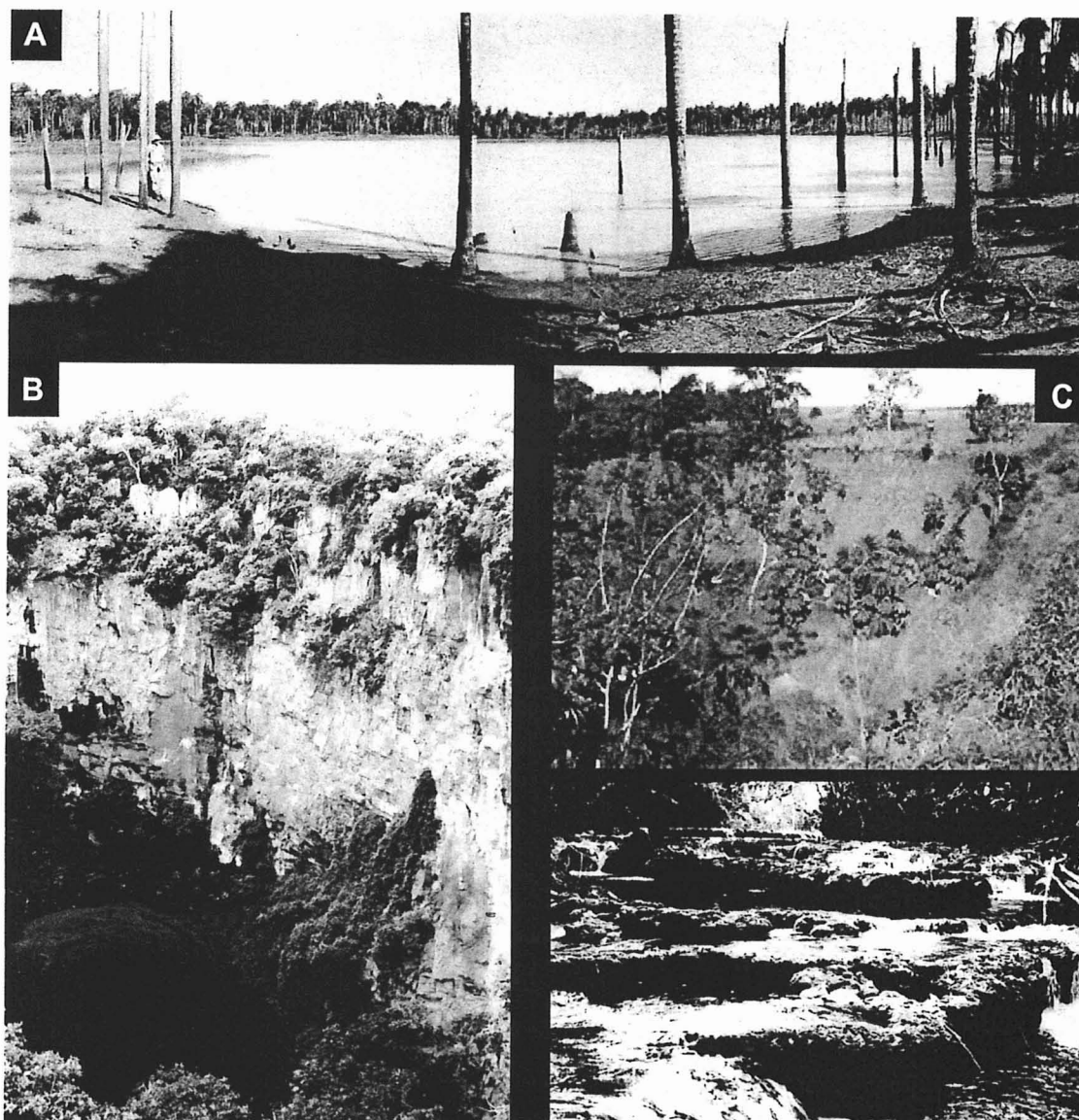


Fig. 6 - Feições do relevo cárstico da Serra da Bodoquena. A- Lago formado em dolina ampla e rasa em arenitos da Formação Aquidauana na Fazenda Chapéu de Pano, sul da Serra da Bodoquena (Unidade PCMCG1); B- Dolina escarpada e profunda, chamada de Buraco das Araras, em arenitos da Formação Aquidauana próximo a Jardim, sul da Serra da Bodoquena (Unidade PCMCG1); C- Dolina desenvolvida em solo na beira da estrada de terra Bonito-Jardim (Unidade DRM₁); D- Represas de tufas no Rio do Peixe, 15 km ao norte de Bonito (Unidade DRM₁).

- Karst features of the Serra da Bodoquena. A- Lake in a wide and shallow doline developed in Aquidauana Sandstones formation, southern part of the Serra da Bodoquena (Unit PCMCG1); B- Deep and scarped doline, called Buraco das Araras (Araras Hole), in Aquidauana Formation sandstones, near Jardim town, south Serra da Bodoquena (Unit PCMCG1); C- Doline in soil close to the Bonito-Jardim road (Unit DRM₁); D- Tufa dams in the Peixe River, 15 km at north of the Bonito town (Unidade DRM₁).

tação geomorfológica é que o Planalto da Bodoquena é constituído por calcários calcíticos, enquanto as planícies e morros isolados da Depressão do Rio Miranda (ou Zona Serrana Oriental) por calcários dolomíticos (Fig. 1, 2, 4, 5D). É um fato inesperado, pois a unidade mais solúvel (calcítica) encontra-se ressaltada no relevo, enquanto a unidade menos solúvel (dolomítica), ao contrário do esperado, encontra-se deprimida em relação à calcítica.

Cavernas da Serra da Bodoquena

A primeira descrição no meio científico de cavernas na Serra da Bodoquena é de Mendes (1957) que, em visita a Serra da Bodoquena, registra a ocorrência de pelo menos três grutas, além de outras feições cársticas na região. Apresenta esboços cartográficos e uma descrição geológica das grutas do Lago Azul (Gruta da Fazenda Anhumas), com uma seção esquemática mostrando um lago raso no interior da gruta (Fig. 7A) e Nossa Senhora Aparecida (Gruta da Fazenda Três Irmãos). Mendes (1957) ainda descreve a geologia regional, e chama atenção da potencialidade espeleológica da região.

Em relação às cavernas, Almeida (1965, p. 83) cita que: *"Pequenas grutas diz-se que são numerosas, sobretudo na borda oriental do planalto, e pelo menos duas grandes grutas em dolomitos existem no município de Bonito"*.

Atualmente existem 78 cavernas cadastradas na Sociedade Brasileira de Espeleologia (dados de novembro de 2003) na região da Serra da Bodoquena (Tabela 1).

Nº de cavernas cadastradas	78
Nº de cavernas mapeadas com precisão	30
Desenvolvimento total (62 cavernas)	13986,7 metros
Desenvolvimento médio (63 cavernas)	202,7 metros (mín. 8 e máx. 1900 m)
Desnível médio	29,9 metros (mín. 0 e máx. 220 m)

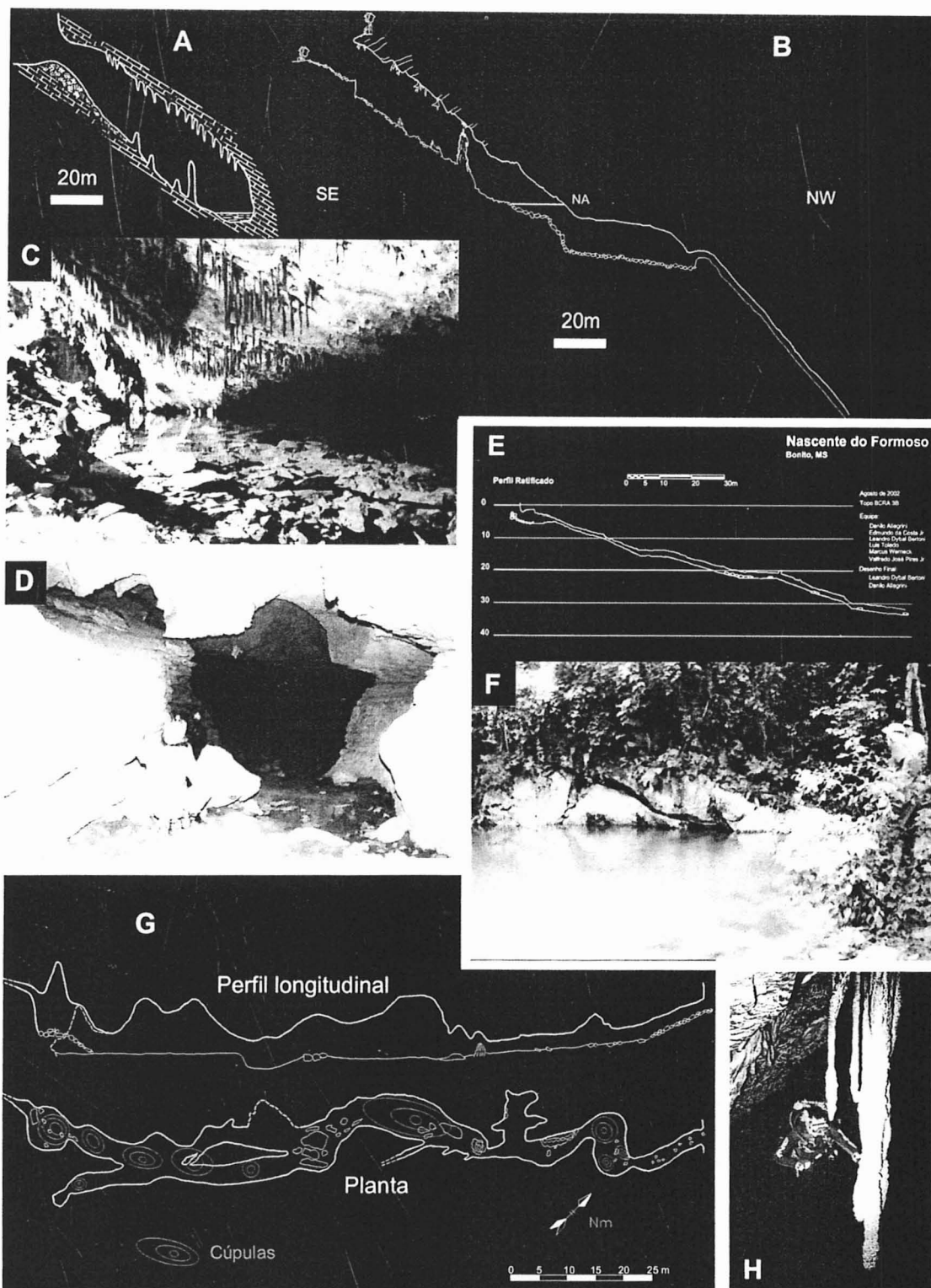
Tabela1. Dados morfométricos das cavernas da Serra da Bodoquena.

-Morphometric data of the Serra da Bodoquena

Um mapa de uma caverna com seu respectivo desenvolvimento e desnível, representa apenas parte do que existe na realidade. A maior caverna conhecida na região, o Buraco das Abelhas, possui 1900 metros de desenvolvimento e 58 metros de desnível, tratando-se de uma caverna freática (surgência). Em comparação com outras áreas cársticas do Brasil, a Serra da Bodoquena apresenta baixa incidência e pequeno desenvolvimento de cavernas. Por exemplo, para os Grupos Uma (BA) e Grupo Açungui (SP), Auler *et al.* (2001) considerando as cinquenta maiores cavernas do Brasil, obtiveram totais de desenvolvimento de cavernas de 240 e 29

Fig.7 - Aspectos gerais das cavernas da Serra da Bodoquena. Gruta do Lago Azul: A- Perfil longitudinal esquemático elaborado por Mendes (1957, fig. 6), B- Perfil longitudinal da porção seca (Ivo Karmann e Paulo Cesar Boggiani, em Lino *et al.*, 1984) e submersa (Marcos Augusto Philadelphi, Inédito), C- Fotografia do lago; Gruta Califórnia: D- Fotografia de uma seção no fundo da caverna exibindo um conduto principal e galerias anastomosadas laterais, desenvolvidas no acamamento; Nascente do Rio Formoso: E- Perfil longitudinal (parcial - Leandro Dybal Bertoni, Inédito), F- Fotografia da nascente; Gruta da Onça: G- Perfil longitudinal e planta da caverna exibindo padrão anastomosado com cúpulas; Gruta Mimosa: H- Estalactites submersas com revestimento de crosta subaquática (-12m) (Fotografia de Ismael Escote)

- General views of the Serra da Bodoquena caves. Lago Azul Cave: A- Schematic longitudinal profile by Mendes (1957, fig. 6), B- Longitudinal profile of the cave above the water level (Ivo Karmann and Paulo Cesar Boggiani, in Lino *et al.*, 1984) and the submerged cave (Marcos Augusto Philadelphi, unpublished), C- Lake of the cave; Califórnia Cave: D- Picture of a cave section showing the main gallery with lateral anastomosing conduits, guided by bedding planes; Rio Formoso Spring: E- Longitudinal profile (partial - Leandro Dybal Bertoni, unpublished), F- Spring of the cave; Onça Cave: G- Longitudinal profile and cave map showing anastomotic pattern with cupolas; Mimosa Cave: H- Submerged stalagmites with subaqueous crust (-12m) (Photo by Ismael Escote)



quilômetros, respectivamente. Para a Serra da Bodoquena, obteve-se um desenvolvimento total de 13 quilômetros de cavernas (Tabela 1).

Dois fatores contribuem para esse fenômeno. Houve poucos projetos de mapeamento e exploração de cavernas na região, comparado a outras regiões do Brasil, o que dificulta uma análise mais objetiva. Porém todos os projetos existentes na região chamam a atenção para o fato de que na Serra da Bodoquena não ocorre grande quantidade de cavernas, ou seja, a densidade de cavernas é baixa, e também com baixo desenvolvimento médio. Por outro lado, a quantidade de cavernas submersas é maior que em outras regiões. Provavelmente os maiores sistemas de cavernas da Serra da Bodoquena são submersos, e ainda estão no início da sua exploração e mapeamento.

Almeida (1965) visitou também a Gruta do Lago Azul

e notou que ela teria se desenvolvido ao longo de juntas ortogonais ao acamamento, ao contrário do descrito por Mendes (1957), fato este muito importante para o entendimento da formação desta cavidade, como posteriormente analisado por Lino *et al.* (1984) (Fig. 7B, C):

"Trata-se de uma cavidade inclinada, profunda de uma centena de metros, possuindo belo lago de águas azuladas. Josué C. Mendes, que a visitou em 1956, descreve-a brevemente, indicando que concorda com a queda das camadas (Fig. 6), mas realmente essa gruta abriu-se por infiltrações ao longo de juntas muito regulares, quase normais às camadas, que nela se inclinam de 45° para leste, na aba de uma sinclinal assimétrica em dolomitos da Formação Bocaina" (Almeida, 1965, p. 83).

Lino *et al.* (1984) realizaram, através do "Projeto Grutas de Bonito", o primeiro trabalho sistemático de explo-

ração, mapeamento e de pesquisa nas cavernas da Serra da Bodoquena. Lino *et al.* (1984) descreveram a presença comum de sumidouros, apesar da predominância da drenagem superficial, os que podem ocorrer associados aos leitos fluviais superficiais, que retomam seu curso superficial normal nas épocas mais chuvosas (Lino *et al.*, 1984). Esta drenagem subterrânea é penetrável apenas através de mergulho (Lino *et al.*, 1984). Lino *et al.* (1984) também descreveram a ocorrência de dolinas, principalmente na região ao sul de Bonito, como o caso da Lagoa Misteriosa e arredores.

Karmann & Sánchez (1979; 1986) definem a “Província Espeleológica da Serra da Bodoquena”, localizada no Estado do Mato Grosso do Sul e distribuída por 200 km na direção N-S. Segundo esses autores, na região da Serra da Bodoquena não se observa um carste típico, mas sim um com algumas características isoladas, como dolinas, sumidouros e ressurgências, raramente associadas a cavernas. Karmann & Sánchez (1979; 1986) citam que as cavernas mostram um avançado grau de evolução, com grandes salões de abatimento ao longo de planos de acamamento e juntas, que freqüentemente estão abaixo do nível da água.

Na década de 1990 projetos visando a exploração de cavernas submersas tiveram início. Em 1991 uma equipe franco-brasileira realizou mergulhos na Gruta do Lago Azul, Gruta do Mimoso, no Abismo Anhumas e na Nascente do Rio Formoso, dentro do que denominou-se “Expedição Bonito’91” (Auler, 1991). Além da elaboração de croquis das grutas exploradas tentou-se também determinar a conexão do Abismo Anhumas com a Gruta do Lago Azul, por estas estarem próximas, mas não foram encontrados condutos laterais no lago do abismo; foi também explorada uma gruta seca, a Gruta Pitangueiras, de padrão labiríntico. Outra expedição franco-brasileira foi realizada em 1992, na “Expedição franco-brasileira Bonito’92”, onde o trabalho de exploração subaquática foi expandido e foram exploradas e mapeadas as porções submersas das Grutas do Lago Azul, Gruta do Mimoso, Abismo Anhumas, nascente do Rio Formoso e Lagoa Misteriosa (Auler, 1992; Auler & Boller, 1992). Em 1992, os franceses participantes da “Expedição Bonito’92” fizeram uma publicação em seu país intitulada “*Plonger dans la Préhistoire Brésilienne*” (Mergulho na Pré-História Brasileira, Rosello *et al.*, 1992) na qual eles divulgam a região de Bonito, e as descobertas de ossadas de *Ereomotherium*, *Smilodon* e *Glyptodon*.

Os dois últimos projetos de exploração e mapeamento de cavernas na região foram de Gnaspini *et al.* (1994) e de Ayub *et al.* (1996). Gnaspini *et al.* (1994) cadastraram e topografaram 21 cavernas na área e agruparam as cavernas em cinco regiões com diferentes tipologias, fazendo também um levantamento faunístico. Neste trabalho, foi apresentada a topografia incompleta da Gruta Pitangueiras, com 532 m de desenvolvimento, sendo considerada a maior caverna conhecida do Mato Grosso do Sul. Já o trabalho de Ayub *et al.* (1996), dentro da Expedição Bonito’95 / PROJETO AKAKOR apresenta 21 cavernas mapeadas. Ayub *et al.* (1996) sugerem, de maneira preliminar, a existência de dois tipos principais de cavernas: um mais comum (ou mais conhecido) de grandes salões de abatimento e outro de cavernas menores e com morfologia original preservada. Esses dois tipos de cavernas parecem estar distribuídos, grosso modo, em duas faixas N-S, sendo o primeiro localizado na porção oriental da serra, e o segundo na porção ocidental, que aparentemente são condicionadas estruturalmente, correspondendo respectivamente às zonas mais e menos deformadas.

Atualmente são reconhecidos pelo menos três padrões morfológicos principais que correspondem a compartimentos geomorfológicos específicos:

- Salões de abatimento irregulares em planta, formando

planos inclinados em seção transversal (Fig. 7B), como nas Gruta Lago Azul, Anhumas e Mimoso. Encontram-se nas unidades DRM₁ e DRM₂ em ambiente vadoso ou freático submerso com a presença de lagos (Fig. 7B, C) e espeleotemas subaéreos submersos (Fig. 7H).

- Cavernas em rede anastomosada em planta, com condutos circulares a elípticos e ramificações anastomosadas em seção transversal (Fig. 7D). Encontram-se nas unidades PB₁ e PB₂ em ambiente vadoso ou freático (Fig. 7E, F). Também ocorrem, na Unidade DRM₁, como fragmentos de sistemas de cavernas em alguns morros residuais, como no caso da Gruta Pitangueiras.

- Cavernas meandantes em planta (Fig. 7G), por vezes associados a sumidouros ativos ou fósseis, com injeção alogênica na maioria dos casos, como nas grutas Beija Flor e Guaicurus. Em seção transversal apresentam seção de ampliação freática e vadosa, com presença de cúpulas em alguns locais (Fig. 7G). Ocorrem nas unidades PB₁ e PB₃

Tectônica e relevo cárstico

Desde os trabalhos de Almeida (1945; 1965) nos estados do Mato Grosso e Mato Grosso do Sul, estudos sobre a origem tectônica da Bacia do Pantanal foram realizados, conforme detalhado por Assine (Vide Capítulo IV). Pela sua proximidade com o Pantanal e por representar uma de suas bordas elevadas, diversos autores já chamaram a atenção para a existência de movimentações recentes na Serra da Bodoquena. Porém, nenhum trabalho específico sobre este assunto foi realizado, os poucos trabalhos já realizados se concentram na região do Pantanal.

Algumas feições sugerem movimentos tectônicos recentes na região, representadas na Fig. 8:

1- Presença de espeleotemas subaéreos submersos: Esses espeleotemas subaéreos foram identificados até 20 metros de profundidade abaixo do nível d’água médio, considerando as variações sazonais (Gruta Mimoso, Fig. 7H, e Abismo Anhumas). Esse valor é muito alto para ser efeito somente de variações climáticas, principalmente por se tratar de uma área continental, distante do litoral. Atribui-se influência de subsidência tectônica nesta submersão de espeleotemas.

2- Planalto sustentado por calcários calcíticos e planícies dolomíticas: Esse fato, já discutido anteriormente, chama a atenção, pois se considera os calcários calcíticos mais solúveis que os dolomíticos, esperando-se, portanto os calcíticos mais rebaixados no relevo. Mesmo em relação à Depressão do Rio Paraguai, a oeste do Planalto da Bodoquena, que é composta de rochas gnáissicas e graníticas, os calcários calcíticos (Planalto da Bodoquena) estão mais elevados. O Planalto da Bodoquena é um divisor de águas entres as depressões e bacias do Rio Miranda e a do Rio Paraguai, delimitado por escarpas reafeiçoadas que sugerem movimentos tectônicos recentes (Fig. 5D), onde o planalto estaria em soerguimento relativamente às áreas deprimidas, que estariam em subsidência, justamente onde estão localizadas as cavernas com os espeleotemas subaéreos submersos.

3- Escarpas delimitando o Planalto da Bodoquena: A escarpa ocidental da Serra da Bodoquena, que separa o Planalto da Bodoquena da Depressão do Rio Paraguai, com desníveis de até 500 metros, poderia ser interpretada como uma escarpa de erosão remontante de origem estratigráfica ou tectônica (Fig. 5D, 9A). Essa escarpa poderia estar associada às rochas mais resistentes que mantêm o relevo mais elevado. O problema de termos apenas a erosão remontante de uma

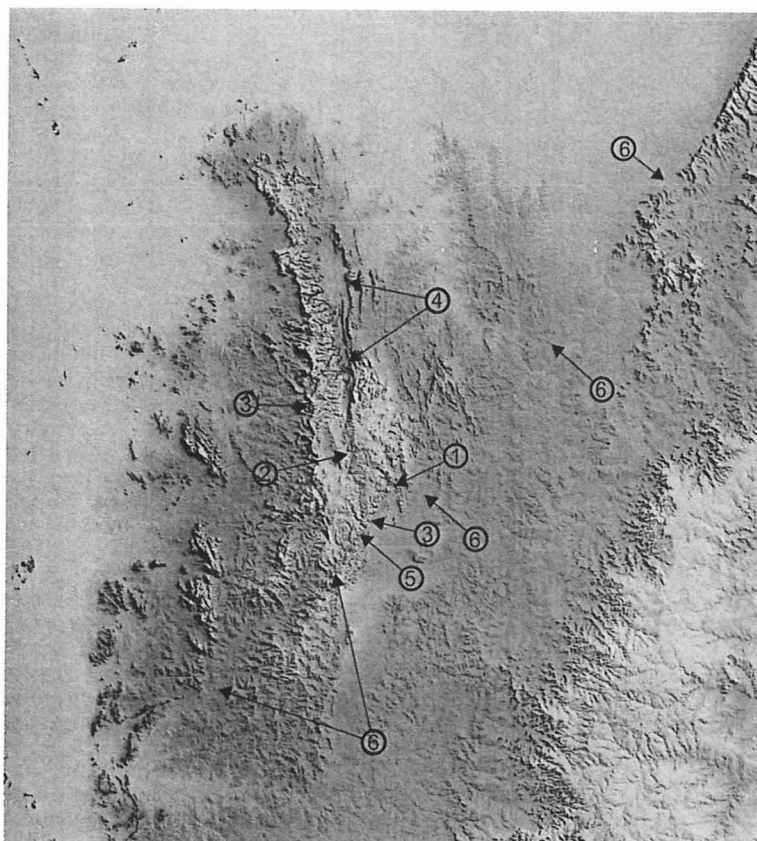


Fig. 8 - Principais feições que sugerem movimentos tectônicos recentes na área (base: imagem de radar SRTM, 2003). 1- Cavernas com espeleotemas subaéreos submersos; 2- Planalto sustentado por calcários calcíticos; 3- Escarpas do Planalto da Bodoquena; 4- Rios entalhados; 5- Possíveis capturas de drenagem do Rio Perdido; 6- Estrutura linear que cruza a Serra da Bodoquena

- Main features that suggest recent tectonic movements in the studied area (base: radar image SRTM, 2003). 1- Caves with submerged sub-aerial speleothems; 2- Calcitic limestone plateau; 3- Bodoquena Plateau scarps; 4- Entrenched rivers; 5- Possible Perdido River capture; 6- Linear structures cutting the Serra da Bodoquena

camada mais resistente é o mesmo levantado no item 2, pois os calcários calcíticos que compõe o Planalto da Bodoquena não poderiam estar agindo como rochas mais resistentes que mantêm o relevo elevado, em relação aos gnaisses e granitos mais baixos. A hipótese de origem tectônica dessa escarpa já havia sido levantada por Almeida (1965), que possuía dúvidas, na época, da origem tectônica da Bacia do Pantanal:

“A suposição de existir uma tectônica de falhas submeridianas à borda oriental da bacia do Gran Chaco, a oeste da Bodoquena, relaciona-se a uma segunda questão geomorfológica levantada pela presente investigação, qual seja a origem das escarpas ocidentais do planalto da Bodoquena. Seja qual for, certamente tais escarpas representam, atualmente, um abrupto fronte de erosão remontante, que em seu recuo vem abandonando relevo residual mantido pelas rochas mais resistentes, que se ergue de superfícies topográficas baixas e pouco acidentadas das rochas xistosas. Se comprovada for a presença de uma tectônica de falhas submeridianas nas vizinhanças do rio Paraguai, o frontão abrupto da Bodoquena pode muito bem constituir a frente escarpada de um grande bloco de falha”.

Na porção sudeste do Planalto da Bodoquena temos uma escarpa que delimita o planalto (Unidade PB₁) das planícies da Depressão do Rio Miranda (Unidades DRM₁ e DRM₂), com desníveis de até 400 metros (Fig. 5D, 9B). Novamente temos a questão já discutida anteriormente de que os calcários calcíticos não poderiam estar mais elevados de que os calcários dolomíticos que compõem as planícies, considerando condições climáticas úmidas.

4- Porção norte do planalto com rios mais entalhados que o sul: O Planalto da Bodoquena é subdividido em dois blocos principais, um ao norte com feições fluviais mais marcantes em relação às cársticas e com rios entalhados (*canyons*) (Unidade PB₂) (Fig. 5G), e outro ao sul com feições cársticas mais frequentes e poucas feições fluviais (Unidade PB₁), compondo duas bacias hidrográficas distintas. Visto que são formadas pela mesma rocha (calcário calcíticos) com estruturas similares, temos o bloco norte mais entalhado devido a um maior soerguimento tectônico relativo, pois o bloco em subsidência, neste caso, é o próprio Pantanal. Destaca-se o entalhamento do *canyon* do Rio Salobro que alcança até 400 metros de profundidade, e também do Córrego Serra (próximo a Morraria) que chega a 300 metros. Na vertente sul do vale do Córrego Serra encontra-se a Gruta Urubu-Rei que é uma nascente suspensa a cerca de 150 metros acima do nível do rio, o que evidencia um entalhamento fluvial muito mais intenso que a taxa de denudação cárstica e entalhamento vadoso ao longo de condutos cársticos. Além disso, nessa nascente a fonte da água é de origem provavelmente freática profunda, surgindo de uma fenda que ocorre no final da caverna. O baixo Rio Salobro quando atinge o nível de base regional, em torno de 100 metros de altitude, forma uma grande planície (Unidade DRM₃) dentro do próprio Planalto da Bodoquena, comparável às planícies da Depressão do Rio Miranda.

5- Possíveis capturas de drenagem do Rio Perdido: Em dois pontos o Rio Perdido muda de curso abruptamente, o que sugere capturas de drenagem. No primeiro ponto o rio segue de norte para sul e muda de curso, seguindo para sudoeste, próximo à escarpa entre o Planalto da Bodoquena (Unidade PB₁) e a Depressão do Rio Miranda (planícies Unidade DRM₁) (ver itens 2 e 3). Já no segundo ponto o rio muda de curso mais para oeste, seguindo uma estrutura linear de expressão regional detalhada a seguir no item 6. Estes pontos

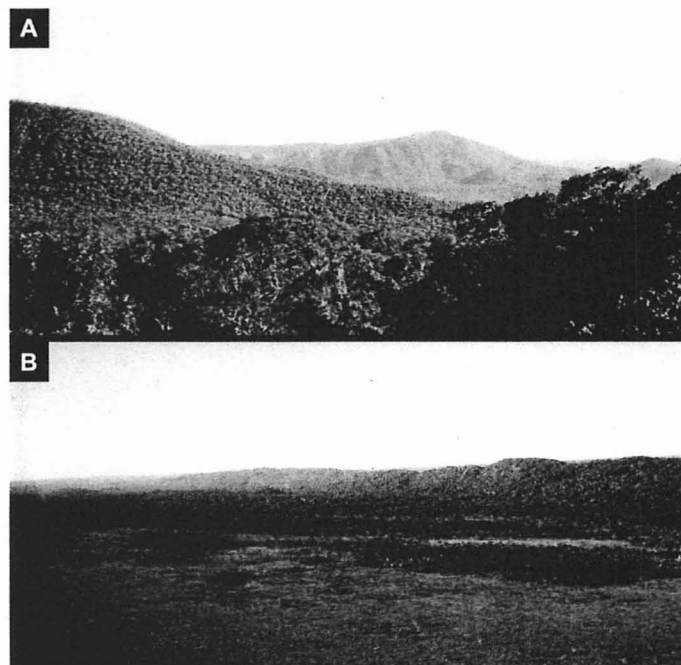


Fig. 9 - Escarpas do Planalto da Bodoquena: A- Escarpa ocidental, na região da Faz. Baía das Garças; B- Escarpa oriental, a sudoeste da Fazenda São Geraldo

- Bodoquena Plateau escarpments: A- Western scarp, near to the Baía das Garças Farm; B- Eastern scarp, in the southwest of São Geraldo Farm

se assemelham muito com capturas, pois seguindo o gradiente hidráulico geral para E-SE, a tendência natural do Rio Perdido seria de correr para a bacia do Rio Miranda ou diretamente para o Rio Apa, a sul.

6- Estrutura linear que cruza a Serra da Bodoquena: Essa estrutura chama a atenção por ser um prolongamento da borda leste-sudeste do Pantanal, cruzando a Serra da Bodoquena com uma direção NE, no ponto onde foi descrita a segunda mudança de curso do rio perdido, e delimitando de uma forma geral planícies com morros isolados a norte e planícies praticamente sem morros a sul.

A ação de movimentos de blocos tectônicos compartimentando a Serra da Bodoquena é muito provável e sugerida pelas características morfológicas acima apontadas. Mas as evidências diretas da ação de falhas recentes na serra que delimitariam os blocos descritos acima ainda não foram encontradas. As evidências mencionadas não confirmam seguramente a ação direta da tectônica recente na Serra da Bodoquena. Falhas em depósitos quaternários não foram observadas, tampouco escarpas exibindo facetas triangulares, o que pode ter sido mascarado pelos processos intempéricos no carste.

Considerações finais

A região da Bodoquena possui extensas áreas carbonáticas, primeiramente investigadas regionalmente do ponto de vista geológico e geomorfológico por Almeida (1965). Este autor ressalta em suas conclusões uma incoerência entre as condições favoráveis para carstificação da região e a baixa incidência de feições cársticas notadas por ele.

Essa incoerência impulsionou em grande parte as recentes expedições espeleológicas na região, assim como,

tornou-se uma questão importante do ponto de vista geocientífico, pois se há condições favoráveis, onde estariam os produtos da carstificação, ou então, quais são realmente os fatores determinantes para o pleno desenvolvimento de sistemas cársticos, com aquíferos de condutos, cavernas e formas de relevo características.

Pesquisas em andamento (Sallun Filho, inédito, Tese de Doutorado em preparação) estão revelando um quadro muito mais variado e complexo do carste da Bodoquena do que inicialmente esboçado por Almeida. Dois compartimentos principais são reconhecidos, com características contrastantes e opostas: setor norte com sistemas fluviais dominantes, epicarste exposto, alto entalhamento de rios e sistemas de circulação cárstica suspensos acima do nível de base dos rios, no Planalto da Bodoquena (Bacia do Rio Salobro) e setor sul (bacias dos rios Perdido e Miranda), com carste poligonal no Planalto da Bodoquena e amplas planícies cársticas apresentando agradação, feições vadosas de cavernas atualmente abaixo do NA (espeleotemas submersos) na Depressão do Rio Miranda. Também no setor sul há um aquífero de condutos muito desenvolvido, com rotas de fluxo profundas e sistema fluvial incipiente com baixo entalhamento de vales, tanto no Planalto da Bodoquena quanto na Depressão do Rio Miranda. Essas características morfológicas contrastantes são atribuídas a distintos regimes da tectônica Cenozóica destes setores, com soerguimento mais intenso no bloco norte e subsidência relativa no bloco sul.

Em relação às cavernas existe uma quantidade e uma variedade de padrões maior do que se tinha conhecimento, apesar de elas não serem tão abundantes quanto em outras regiões brasileiras. Existe ainda um potencial muito grande para explorações e estudos nas cavernas subaquáticas, visto que devem representar os maiores e mais completos sistemas de cavernas da Serra da Bodoquena.

