

A Deposição de Tufas Quaternárias no Estado de Mato Grosso do Sul: Proposta de Definição da Formação Serra da Bodoquena

The Deposition of Quaternary Tufas in Mato Grosso do Sul State: Proposal for the Definition of the Serra da Bodoquena Formation

William Sallun Filho¹ (wsallun@gmail.com), Ivo Karmann² (ikarmann@usp.br),
Paulo César Boggiani² (boggiani@usp.br), Setembrino Petri² (spetri@usp.br),
Patrícia de Souza Cristalli³ (cristalli@umc.br), Giselle Utida⁴ (giselleutida@hotmail.com)

¹Instituto Geológico - Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo
Av. Miguel Stefano 3.900, CEP 04301-903, São Paulo, SP, BR

²Departamento de Geologia Sedimentar e Ambiental - Instituto de Geociências - USP, São Paulo, SP, BR

³Laboratório de Ciências da Terra - UMC, Mogi das Cruzes, SP, BR

⁴Programa de Pós-graduação em Geoquímica e Geotectônica - Instituto de Geociências - USP, São Paulo, SP, BR

Recebido em 16 de janeiro de 2009; aceito em 30 de julho de 2009

RESUMO

Depósitos quaternários de tufas ocorrem extensamente na Serra da Bodoquena (MS), associados ao sistema cárstico desenvolvido sobre rochas carbonáticas do Grupo Corumbá. A deposição de tufa é favorecida na Serra da Bodoquena pela predominância de águas autogênicas, que permite o enriquecimento da água subterrânea em carbonato de cálcio, que, através de inúmeras nascentes, alimenta os rios de superfície onde as tufas são depositadas. Estes rios possuem baixas quantidades de sedimentos siliciclásticos tornando suas águas muito límpidas, o que favorece a atividade biológica e, conseqüentemente, a precipitação de carbonato. As características litológicas, a existência de contatos claros e abruptos e a mapeabilidade das tufas possibilitaram a criação de uma nova unidade, denominada Formação Serra da Bodoquena. A deposição em bacia hidrográfica e sistema cárstico distintos justificam sua separação da Formação Xaraiés (Corumbá, MS), mesmo que parte das litologias seja semelhante. A Formação Serra da Bodoquena é descontínua, devido à própria natureza dos depósitos, formados em associação com a rede de drenagem, nunca ligados entre si ou com a Formação Xaraiés. A nova unidade foi dividida em dois membros para representar os depósitos de represas e cachoeiras e os de micritos, respectivamente: membros Rio Formoso e Fazenda São Geraldo. Os depósitos antigos de tufas indicam deposição mais expressiva do que atualmente, desde 6.530 anos cal A.P. até 2.700 anos cal A.P. onde inicia um decréscimo. Esta deposição mais intensa representa um período de clima mais úmido, que se alterou a partir de 2.700 anos cal A.P. quando se estabeleceram condições próximas à atual. A deposição atual de tufas no Membro Rio Formoso ainda é expressiva, porém restrita ao leito das drenagens perenes ou intermitentes.

Palavras-chave: Tufa; Calcário; Carste; Formação Serra da Bodoquena; Quaternário.

ABSTRACT

Quaternary tufa deposits occur widely in the Serra da Bodoquena (state of Mato Grosso do Sul, Brazil), associated with the karst system that has developed on carbonate rocks of the Corumbá Group. The deposition of tufa is favored in the Serra da Bodoquena due to the predominance of autogenic waters, which allow for groundwater to be enriched in calcium carbonate. By means of numerous springs, this groundwater supplies the rivers of the area where tufas are deposited. These rivers have small quantities of siliciclastic sediment, making the water very clear, which favors biological activity and, as a result, the precipitation of carbonate. The lithological characteristics, the existence of clear and abrupt lines of contact and the easy mapping of the tufas make it possible to create a new unit, here named the Serra da Bodoquena Formation. Deposition in a distinct river basin and karst system justify separation from the Xaraiés Formation, even if their lithologies are partly similar. The Serra da Bodoquena Formation is discontinuous due to the nature of deposits, formed

in association with the surface drainage network. The individual outcropping areas never interconnected with each other or with the Xaraiés Formation in the Corumbá region. The new unit was divided into two members in order to represent catchment and waterfall deposits and micrite deposits named, respectively, Rio Formoso and Fazenda São Geraldo members. The older tufa deposits indicate greater deposition from 6530 cal years BP until 2700 cal years BP, when the decline began reaching the present fate. This more intensive deposition represents a period of more humid climate, which changed at around 2700 cal years BP when similar conditions to those found at present became established. The active deposition of tufas in the Rio Formoso Member is still significant, although limited to the courses of perennial or intermittent drainage channels.

Keywords: Tufa; Limestone; Karst; Serra da Bodoquena Formation; Quaternary.

INTRODUÇÃO

Depósitos sedimentares quaternários formados por tufas ocorrem extensamente na Serra da Bodoquena (MS), associados ao sistema cárstico desenvolvido sobre rochas carbonáticas do Grupo Corumbá (Neoproterozoico). Estas tufas representam feições construtivas associadas ao Sistema Cárstico da Serra da Bodoquena (MS) (Sallun Filho e Karmann, 2007) representando o mais expressivo registro de tufas na América do Sul, com intensa atividade turística face ao grande valor paisagístico e ambiental que apresentam.

A extensa deposição moderna e antiga de tufas na região se deve a associação entre o alto teor de carbonato de cálcio dissolvido na água (ampla predominância de recarga autogênica no sistema cárstico), a alta limpidez da água (ausência de sedimentos siliciclásticos), intensa atividade biológica e clima favorável.

As tufas da Serra da Bodoquena foram reconhecidas pela Comissão Brasileira dos Sítios Geológicos e Paleobiológicos (SIGEP) como um importante “Sítio Geológico” (Boggiani et al., 2002), de caráter científico e cultural, de conteúdo importante para o conhecimento e estudo da evolução dos processos geológicos do nosso planeta e se inserem em significativo contexto geológico, paleontológico e paisagístico que subsidia a proposição de um geoparque na região, segundo conceito da UNESCO, em fase de estruturação.

No presente trabalho propõe-se a formalização dos depósitos sedimentares de tufas calcárias, que ocorrem no Sistema Cárstico da Serra da Bodoquena, como uma nova unidade estratigráfica, denominada aqui de Formação Serra da Bodoquena, de acordo com as definições estabelecidas para unidades estratigráficas das normas vigentes: Código Brasileiro de Nomenclatura Estratigráfica e o Guia de Nomenclatura Estratigráfica (Petri et al., 1986a, 1986b). A nova unidade estratigráfica proposta vem no sentido de alterar propostas anteriores, nas quais as tufas calcárias são inseridas na Formação Xaraiés definida originalmente na escarpa de Corumbá-Ladário (Almeida, 1943, 1945), e posteriormente estendida para a Serra da Bodoquena (Almeida, 1965; Nogueira e Oliveira, 1978; Araújo et al., 1982).

CONTEXTO GEOLÓGICO E GEOMORFOLÓGICO

A Serra da Bodoquena situa-se no Estado do Mato Grosso do Sul, com cerca de 200 km na direção norte-sul, e com até 800 m de altitude, a sudoeste da Planície do Pantanal, entre os paralelos 19°45' e 22°15' de latitude sul e entre 57°30' e 56°15' de longitude oeste (Figura 1).

A Serra da Bodoquena (Almeida, 1965) compreende essencialmente um planalto denominado de “Planalto da Bodoquena” (Alvarenga, Brasil, Del’Arco, 1982) (Figura 2), como corpo principal de um conjunto de serras dispostas na direção norte-sul, denominadas de Serras Residuais do Rio Paraguai (Ross, 2000). Esta feição, constituída por rochas pouco metamorizadas de composição carbonática e terrígena do Grupo Corumbá (Ediacarano), apresenta relevo dissecado com porções conservadas e caráter residual por encontrar-se circundado pela Depressão do Rio Paraguai (Alvarenga, Brasil, Del’Arco, 1982) (Figura 2). A Depres-



Figura 1. Localização da Serra da Bodoquena.

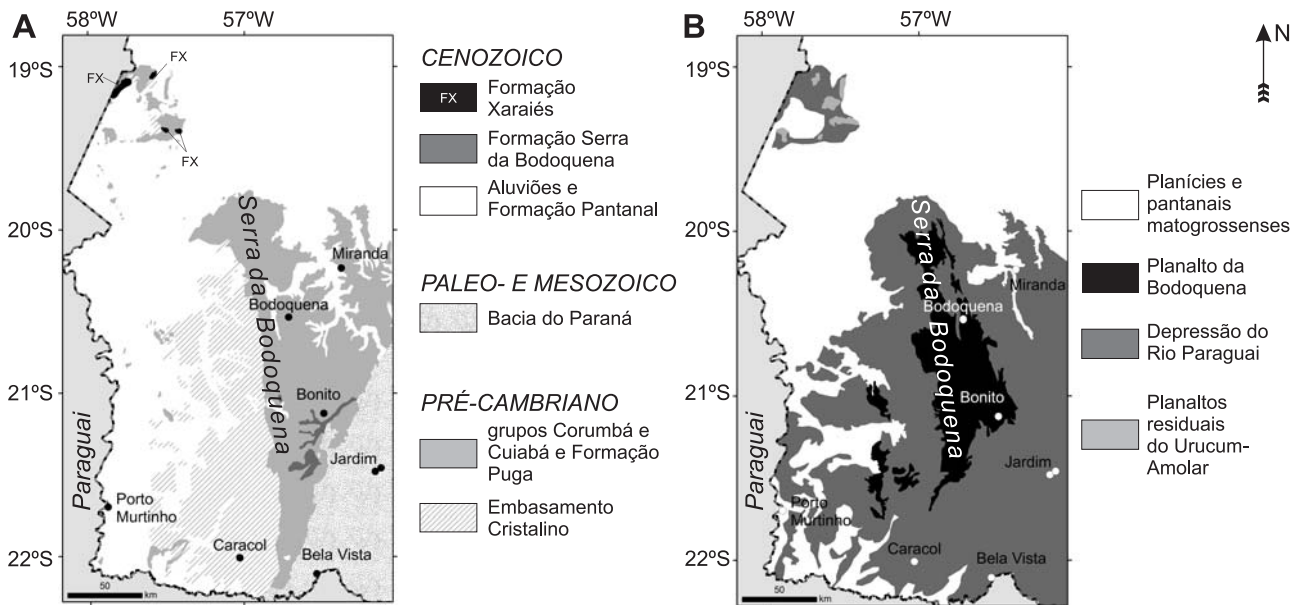


Figura 2. Contexto da região da Serra da Bodoquena (MS): **A.** geologia (modificado de Bizzi et al., 2001); **B.** geomorfologia (modificado de Alvarenga et al., 1982).

são do Rio Paraguai (Alvarenga, Brasil, Del'Arco, 1982; Depressão Periférica do Miranda e Zona Serra Oriental, Almeida, 1965) (Figura 2), constitui uma vasta superfície rebaixada (100 - 350 m de altitude) limitada a leste pelo Planalto de Maracaju-Campo Grande e a oeste e sudoeste pelas planícies do Pantanal, sendo interrompida pelo Planalto da Bodoquena, que se ergue na sua parte central. Esta depressão é constituída, na parte oeste, por rochas do embasamento granito-gnáissico do Bloco Rio Apa (Paleoproterozoico) e, na parte leste (conhecida como Depressão do Rio Miranda), por rochas terrígenas e carbonáticas (principalmente dolomíticas) dos grupos Corumbá e Cuiabá deformadas da Faixa Paraguai.

As tufas da Serra da Bodoquena ocorrem tanto no Planalto da Bodoquena quanto na Depressão do Rio Miranda.

CALCÁRIOS CENOZOICOS DE MATO GROSSO DO SUL

A deposição atual e antiga de tufa é rara no Brasil. Foram descritas tufas na Serra das Araras (MT) (Almeida, 1964; Corrêa, 2006; Corrêa e Auler, 2007), no sudoeste da Bacia Potiguar (Reyes, 2003; Reyes et al., 2003), na Paraíba, Ceará e Pernambuco (Muniz e Ramirez, 1971; Duarte e Vasconcelos, 1980a, 1980b), no norte da Bahia (Auler, 1999), no Rio de Janeiro (Ramos et al., 2005) e em Sergipe (Souza-Lima e Farias, 2007).

Em 1943 foi publicada a primeira referência da ocorrência de tufa no Estado do Mato Grosso do Sul por Almeida, com maior detalhe em 1945 pelo mesmo autor, na base de uma escarpa na região de Corumbá (MS). Almeida (1943) definiu como Formação Xaraiés estes depósitos, constituídos de 5,5 m de conglomerados basais com cimento carbonático, seguidos de 9,0 m de calcários, com a presença de vegetais e moluscos fósseis. Esta unidade apresentaria discordância erosiva e angular em relação às rochas subjacentes (Grupo Corumbá), em superfície praticamente plana e idade pleistocênica devido ao conteúdo fossilífero. Recebeu a denominação Xaraiés por Almeida (1943) em referência a antiga tribo indígena da região, sendo esse também o nome empregado em mapas do Brasil dos séculos XVI e XVIII para designar a imensa planície alagada do Pantanal (Leite, 2002; Presotti, 2004).

Posteriormente, na Serra da Bodoquena, Almeida (1965) estabelece uma correlação entre a Formação Xaraiés, que ocorre em Corumbá, e os depósitos de tufas com fósseis vegetais em terraços de alguns rios, como os dos rios Aquidabã e Formoso, e possivelmente com os depósitos ativos de tufa que ocorrem associadas às principais drenagens da região.

Os trabalhos de mapeamentos geológicos conduzidos na região da Serra da Bodoquena por Nogueira e Oliveira (1978) (escala 1:50.000) e pelo Projeto RADAMBRA-SIL (Araújo et al., 1982) (escala 1:1.000.000) utilizaram

a denominação Formação Xaraiés proposta por Almeida (1965) para descrever os depósitos de tufas da região (Figura 3). Nogueira e Oliveira (1978) registraram a ocorrência de 22 depósitos de tufas, sempre associados às planícies aluviais das principais drenagens na região. Estes autores destacaram os depósitos de tufas associados aos rios da Prata, Formoso e Perdido, assim como Araújo et al. (1982), devido à maior expressão em área.

Boggiani e Coimbra (1995) sugerem, pela primeira vez, uma denominação própria como “Tufas da Serra da Bodoquena” formadas pela deposição de carbonatos, por ação biológica em águas ricas em carbonato, originados pela dissolução de rochas carbonáticas do Grupo Corumbá, em áreas cársticas. Os autores não correlacionam estes depósitos de tufas com a Formação Xaraiés (Almeida, 1943), formada por calcretes de até 10 m de espessura, formado em condições climáticas mais secas que as atuais, de possível idade pleistocênica. As tufas da Serra da Bodoquena são consideradas originadas pela deposição fluvial da drenagem ainda ativa, sob condições climáticas úmidas, pouco ou não litificados e mais jovens que a Formação Xaraiés.

Boggiani et al. (2002) reconheceram dois tipos principais de formações tufáceas na Serra da Bodoquena: represas e cachoeiras de tufas e micritas inconsolidadas (calcários pulverulentos). A ocorrência de tufas da Ser-

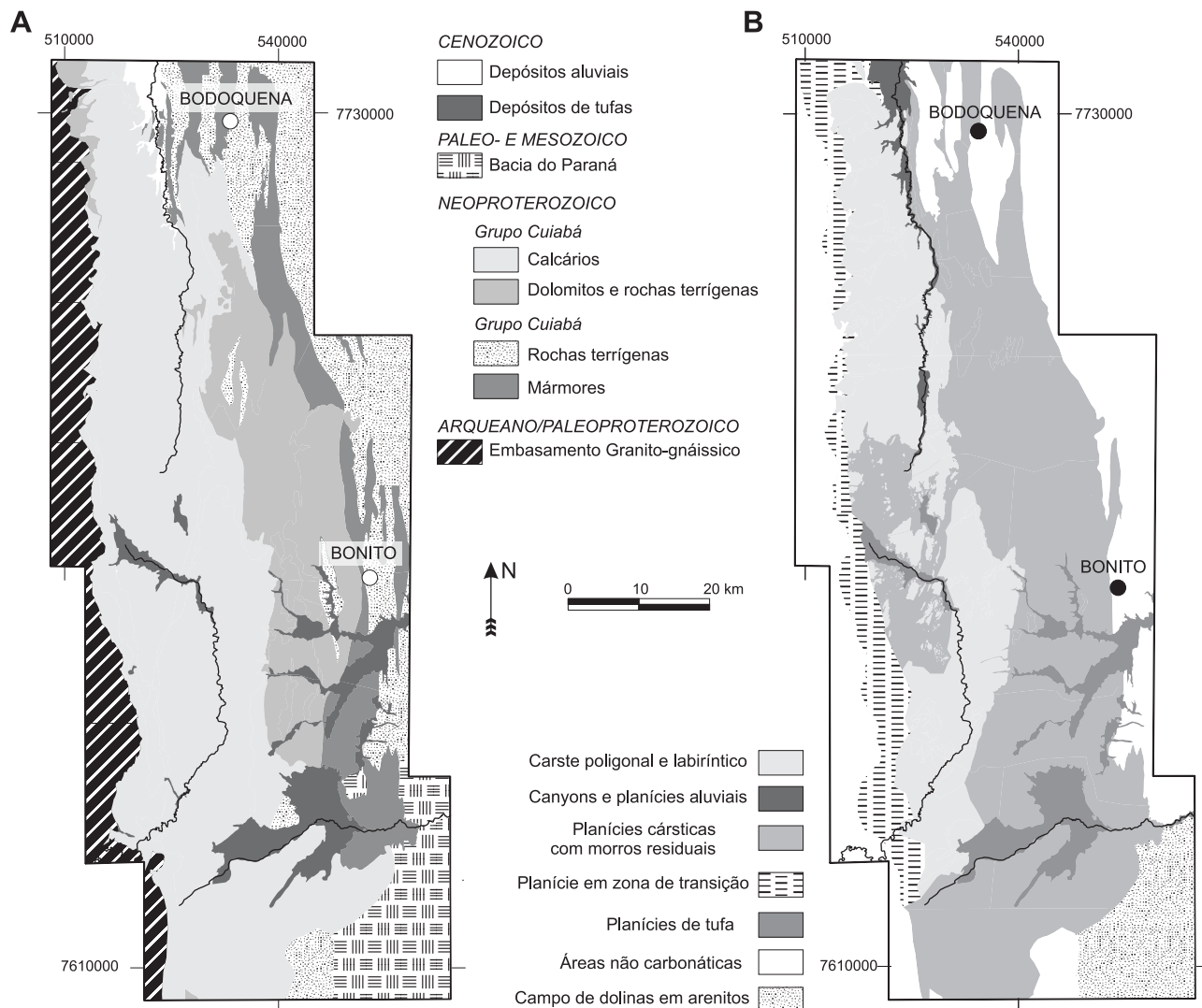


Figura 3. Porção central da Serra da Bodoquena (MS): **A.** mapa geológico (modificado de Nogueira e Oliveira, 1978); **B.** mapa geomorfológico (modificado de Sallun Filho e Karmann, 2007).

ra da Bodoquena foi reunida por Sallun Filho e Karman (2007), como “Planícies de tufa” (Figura 3), uma unidade morfológica do definido “Carste da Serra da Bodoquena” sendo que as datações disponíveis indicam idade quaternária (Turcq et al., 1987; Boggiani et al., 2002; Sallun Filho et al., 2009).

Neste trabalho propõe-se a formalização dos depósitos sedimentares de tufas calcárias que ocorrem no Sistema Cárstico da Serra da Bodoquena como unidade estratigráfica distinta, denominada aqui de Formação Serra da Bodoquena, de acordo com as definições estabelecidas para unidades estratigráficas das normas vigentes: Código Brasileiro de Nomenclatura Estratigráfica e o Guia de Nomenclatura Estratigráfica (Petri et al., 1986a e 1986b).

DEFINIÇÃO DA FORMAÇÃO SERRA DA BODOQUENA

Os motivos que conduzem à diferenciação das tufas presentes na Serra da Bodoquena como uma nova unidade estratigráfica são os seguintes: **a)** as tufas constituem conjunto de sedimentos que se distinguem e se delimitam com base em sua litologia (art. B-1, Petri et al., 1986a); **b)** os depósitos possuem limites definidos por contatos abruptos (art. B-2, Petri et al., 1986a); **c)** os depósitos possuem mapeabilidade (art. B-4, par. 3, Petri et al., 1986a).

Optou-se por adotar o nome “Serra da Bodoquena” para a unidade estratigráfica aqui definida, por se tratar do nome amplamente reconhecido como referência para a região, utilizado inclusive no parque nacional criado em 2000, que abrange representativa ocorrência de tufas - Parque Nacional da Serra da Bodoquena, garantindo que será empregado no futuro, sem o risco de cair em desuso, conforme exigência do Código de Nomenclatura Estratigráfica do Brasil (Petri et al., 1986a, 1986b).

A diferenciação entre os depósitos propostos para a nova unidade (Formação Serra da Bodoquena) e a Formação Xaraiés (na Serra da Bodoquena), baseia-se em: **a)** a Formação Serra da Bodoquena foi originada e situa-se atualmente em bacia hidrográfica e sistema cárstico distintos; **b)** a Formação Serra da Bodoquena encontra-se depositada sobre outra superfície, ambos distintos da Formação Xaraiés em Corumbá. Discordâncias regionais são critérios de diferenciação de unidades (art. B-2, par. 4, Petri et al., 1986a), mesmo que as litologias sejam semelhantes.

Por se tratar de uma unidade de natureza descontínua, a existência de continuidade lateral não é verificada. A formação é constituída de diversos corpos mapeáveis ou não sem continuidade lateral, devido à própria natureza dos depósitos. Os diferentes corpos, mesmo não contínuos, podem ser agrupados em uma mesma unidade, pois pertencem

ao mesmo contexto deposicional (Carste da Serra da Bodoquena), estão assentados sobre uma mesma superfície limitante, possuem semelhança de litologia e idade. Ressalta-se que os diversos corpos da Formação Serra da Bodoquena nunca estiveram ligados entre si, da mesma forma que com as ocorrências da Formação Xaraiés descritas em Corumbá.

Algumas destas características permitiriam incluir à Formação Serra da Bodoquena outra categoria: unidade aloestratigráfica, porém, como a aloestratigrafia ainda não constitui uma denominação formal de unidade estratigráfica no Brasil, optou-se pelo uso da litoestratigrafia para proposição desta unidade, apesar das limitações que apresenta.

Classificação e nomenclatura: tufa, tufa calcária, tufo calcário ou travertino?

O uso dos termos “tufo”, “tufa” e “travertino” no Brasil é ainda controverso. Trabalhos em português são publicados usando tufa, tufa calcária, tufo calcário e travertino, para os sedimentos carbonáticos continentais associados a drenagens fluviais, sendo que publicações mais recentes vêm utilizando com maior frequência o termo “tufa”.

Suguio (1998) define “travertino” como sendo “calcário poroso e celular, sedimentado quimicamente a partir da água de uma fonte ou de um lago ou, ainda, água subterrânea percolante. Sinônimos: tufo calcário (*calc tufa* em inglês) ou sinter calcário (*calc sinter* em inglês)”. Dicionários não técnicos trazem geralmente tufo para descrever estas rochas.

Em inglês também existe confusão com esta nomenclatura. Em uma extensa revisão deste tipo de depósito sedimentar por todo o mundo, Ford e Pedley (1996) definiram o termo tufa (*tufa*) como sendo “produto da precipitação de carbonatos em águas frias (não termais) e que tipicamente contém restos de micro- ou macrófitas, invertebrados e bactérias”. O termo “travertino” (*travertin*) é restrito a depósitos termais, e o termo “tufo” (*tuff*) a rochas vulcânicas piroclásticas (Ford e Pedley, 1996). A denominação “tufa” deriva de *tophus*, termo amplamente empregado, em tempos romanos, para descrever materiais porosos, tanto calcários como também vulcânicos, passando, atualmente, a ser empregado apenas para estes depósitos sedimentares carbonáticos (Ford e Pedley, 1996). Por outro lado, alguns autores consideram o termo travertino como mais adequado para designar calcários continentais formados em rios ou lagos (Pentecost, 2005).

Desta forma, o uso do termo “tufa” (em português) como tradução do termo “tufa” (em inglês), é empregado no presente trabalho no lugar de “tufo calcário”, “tufa calcária” ou travertino.

Descrição da Unidade

Os depósitos sedimentares antigos e tufas em deposição que constituem as ocorrências restritas à Serra da Bodoquena e entorno são definidos nesta proposição de nova unidade estratigráfica como Formação Serra da Bodoquena. Foram diferenciados em membros: Membro Rio Formoso para os depósitos de represas e cachoeiras de tufas (ativas ou não), e Membro Fazenda São Geraldo para os depósitos de micritos.

A unidade ocorre distribuída em diversos corpos individuais, geralmente associados a drenagem atual (Figura 4) em discordância erosiva e angular sobre rochas metasedimentares neoproterozoicas (carbonáticas e siliciclásticas) do grupo Corumbá, e, mais raramente, sobre o embasamento gnáissico-granítico paleoproterozoico do Bloco Rio Apa, representado pelo Grupo Amoguijá. Ocorre em diferentes compartimentos geomorfológicos, a maior parte na unidade cárstica “Planícies cársticas com morros residuais” da “Depressão do Rio Miranda”, e a menor no “Carste poligonal e labiríntico” do “Planalto da Bodoquena” (Sallun Filho e Karmann, 2007).

Os depósitos antigos possuem comportamento espectral que permite seu reconhecimento em imagens de satélites LANDSAT. Além disso, os depósitos antigos de cachoeiras e represas de tufas do membro Rio Formoso possuem padrão textural típico de vegetação e de linhas irregulares das represas fósseis, observado em imagens de alta resolução do Google Earth (Google Earth™ serviço de mapa) (Figura 7) e fotografias aéreas obtidas pela USAF em 1966, em escala 1:60.000 (Figura 8). Estas características permitiram o mapeamento da unidade, indicando ampla distribuição pela Serra da Bodoquena e constituindo uma unidade mapeável por no mínimo 290 km² de área em escala 1:50.000, porém sem diferenciação dos membros em mapa. Ressaltam-se três áreas onde a ocorrência de tufa é mais expressiva, associadas a bacias de drenagens atuais (Figura 4): rios da Prata, Formoso e Perdido. Na bacia do rio da Prata estão os depósitos mais extensos de tufa, com 144 km². Foram ainda reconhecidas “ocorrências indiferenciadas” de tufa, com pequena extensão em área e poucos dados disponíveis, como nos córregos Seputá e Campina, e rios do Peixe, Mimoso e Aquidabã.

Membro Rio Formoso

O Membro Rio Formoso reúne as tufas do tipo cachoeiras e represas, tanto em deposição, que ocorrem atualmente em praticamente todas as drenagens ou fluxos de água pluvial esporádicos na Serra da Bodoquena, quanto os depósitos sedimentares antigos, associados a algumas redes de drenagem. Estes depósitos sedimentares são correla-

cionáveis às “represas e cachoeiras de tufas” descritos por Boggiani et al. (2002). As tufas em deposição em cachoeiras e represas ocorrem tanto sobre as micritos inconsolidados do Membro São Geraldo quanto de forma restrita ao leito e margens das drenagens sobre outras litologias. As tufas em deposição apresentam pouca expressão em área pois estão restritas ao leito e canais fluviais, que não são mapeáveis em escala 1:50.000.

A deposição da tufa ocorre cobrindo as margens e os canais, sobre o material rochoso (incluindo os micritos do Membro São Geraldo), restos vegetais e construções de origem antrópica, formando represas e cachoeiras ao longo dos principais vales fluviais (Figuras 4 e 5). Destacam a deposição associada às drenagens dos rios Formoso, Perdido, Salobra, Peixe, Prata, Aquidabã e Campina (Figuras 4 e 5). As tufas formam represas decimétricas a métricas, muitas vezes formando patamares que desmoronam ocasionalmente por seu próprio peso, devido à grande quantidade de material que é depositado. As represas ocorrem em rios que possuem gradientes de baixo a moderado, pois quando é muito alto ocorrem depósitos diretamente sobre o leito dos fluxos de água, como no rio Aquidabã. O sedimento presente nos fundos dos rios é composto de partículas carbonáticas, como conchas (incrustadas ou não) e fragmentos de conchas, raros seixos de rochas (incrustados ou não), pisólitos, e muitas carapaças incrustadas de algas caráceas, com pouca a nenhuma contribuição de material terrígeno (Cristalli et al., 2007). Estromatólitos recentes foram reconhecidos por Sallun Filho, Silva e Silva e Karmann (2007) em tufas ativas do Rio Formoso, com cianobactérias preservadas.

A análise química por fluorescência de raios-X de uma amostra de tufa ativa da nascente da Gruta Urubu Rei (na localidade de Morraria - MS) indica composição de 92,42% de calcita, 3,73% de dolomita e 3,85% de material não carbonático. A presença de dolomita está associada a fragmentos de rocha carbonática e material não carbonático de sedimentação terrígena, ambos provenientes do embasamento pré-cambriano.

É comum a presença de impressões fósseis no carbonato: troncos de árvores que caem em rios com águas ricas em carbonato podem ficar completamente incrustados e bem preservados; porções proximais de vegetais parcialmente submersos tornam-se lentamente incrustados e muitas folhas são incorporadas nas tufas, constituindo, muitas vezes, boa parte do depósito. Já foi sugerido que as folhas representam um núcleo de precipitação para o carbonato de cálcio (Cristalli, 2006).

Membro Fazenda São Geraldo

O Membro Fazenda São Geraldo reúne os depósitos antigos de micritos (Figura 6), que ocorrem associados a

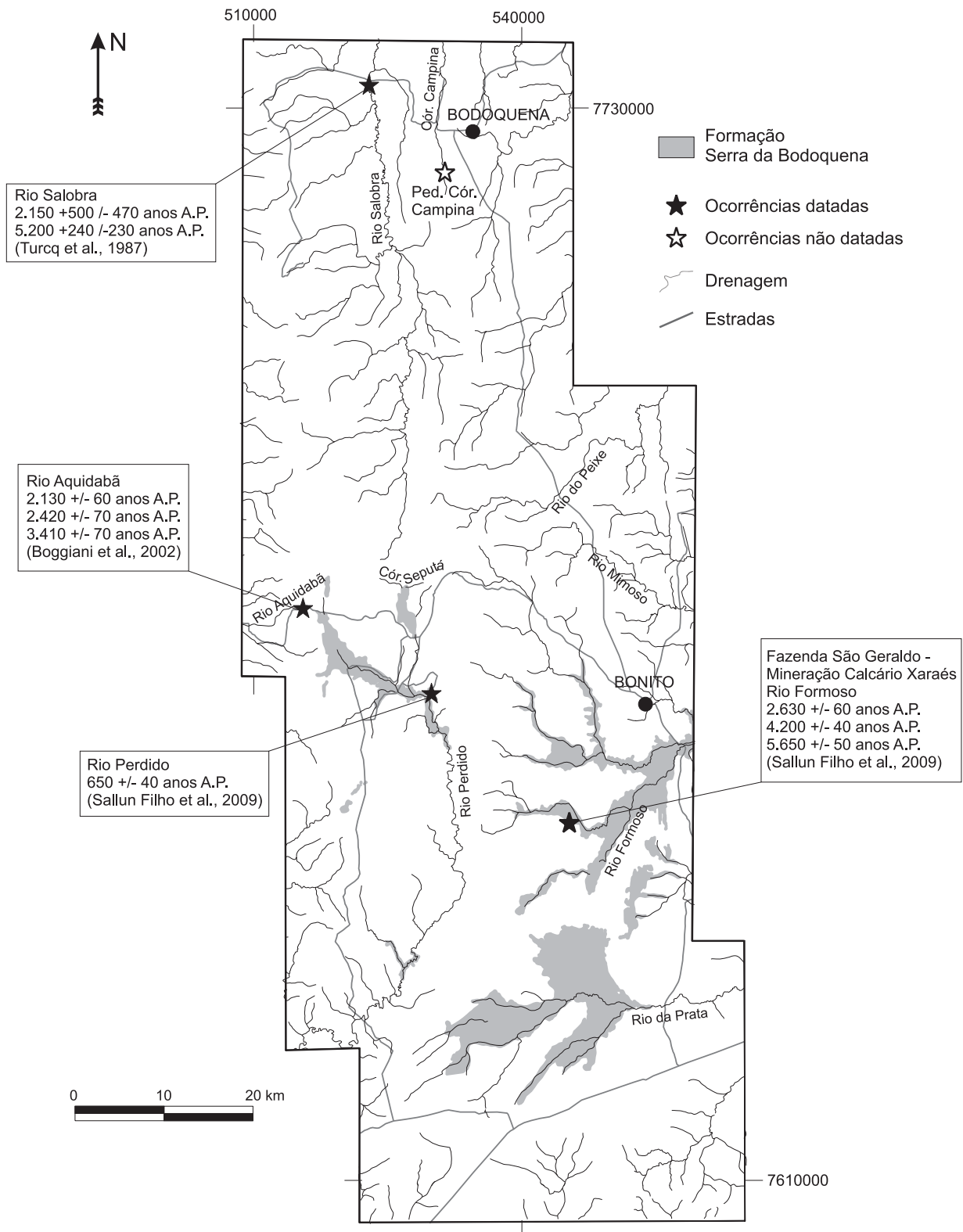


Figura 4. Mapa da distribuição dos principais depósitos de tufa da Formação Serra da Bodoquena e localidades com idades obtidas por radiocarbono.

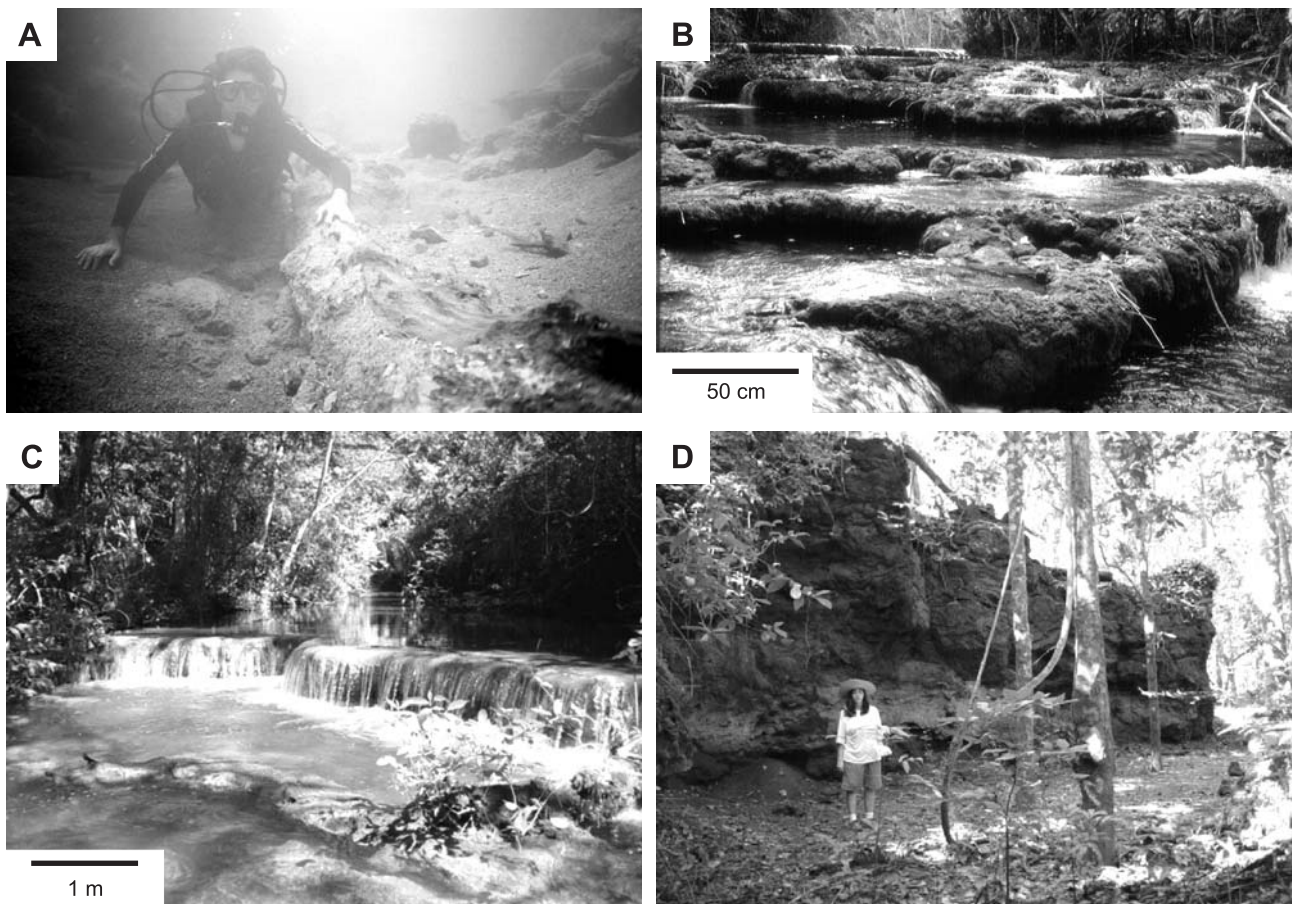


Figura 5. Deposição ativa e de depósitos antigos do Membro Rio Formoso: **A.** depósito sedimentar carbonático no leito do rio Formoso, composto por talos mineralizados de algas caráceas com troncos de árvores incrustados; **B.** represas e cachoeiras de rio do Peixe; **C.** represas e cachoeiras no rio Mimoso; **D.** terraços no rio Mimoso formado por depósito de represas e cachoeiras de tufas.

algumas drenagens na Serra da Bodoquena, em diferentes compartimentos geomorfológicos, sendo em unidades cársticas ou não. Este membro é constituído por depósitos de “micritas inconsolidadas” descritos por Boggiani et al. (2002). Estes depósitos ocorrem de maneira expressiva em planícies associados ao desenvolvimento de antigas regiões alagadas, lagos ou meandros abandonados nas bacias das drenagens dos rios Formoso, Perdido e Campina.

Uma análise química por fluorescência de raios-X de amostra de micrito do rio Perdido indica composição de 90,52% de calcita, 1,84% de dolomita e 7,64% de material não carbonático. A presença de dolomita está associada a fragmentos de rocha carbonática e material não carbonático de sedimentação terrígena, ambos provenientes do embasamento pré-cambriano. Uma análise por difração de raios-X de micritos da Fazenda São Geraldo indicou composição essencialmente de calcita, com pequenas frações de quartzo.

Os depósitos de micritos são ricos em Gastrópodes, com identificação das espécies *Pomacea canaliculata*, *Pomacea semperi*, *Idiopyrgus souleyetianus*, *Bulimulus angustus* e *Biomphalaria* sp. (Utida et al., 2007), todas espécies viventes. Segundo estes autores, o gênero *Pomacea* habita lagos, lagoas e áreas inundadas em geral, o mesmo ocorre com a *Biomphalaria*, mas exclusivamente em áreas de pouca correnteza. Neste depósito também ocorrem ostracodes, girogonites de algas caráceas e microgastrópodes, caracterizando um ambiente lacustre (Utida et al., 2008).

Estratótipo e seções de referência

A Formação Serra da Bodoquena é constituída de um estratótipo-de-unidade na localidade-tipo do Rio Formoso, na área-tipo de Bonito (MS). Foi escolhida esta seção por apresentar de forma mais completa a sequência da Forma-

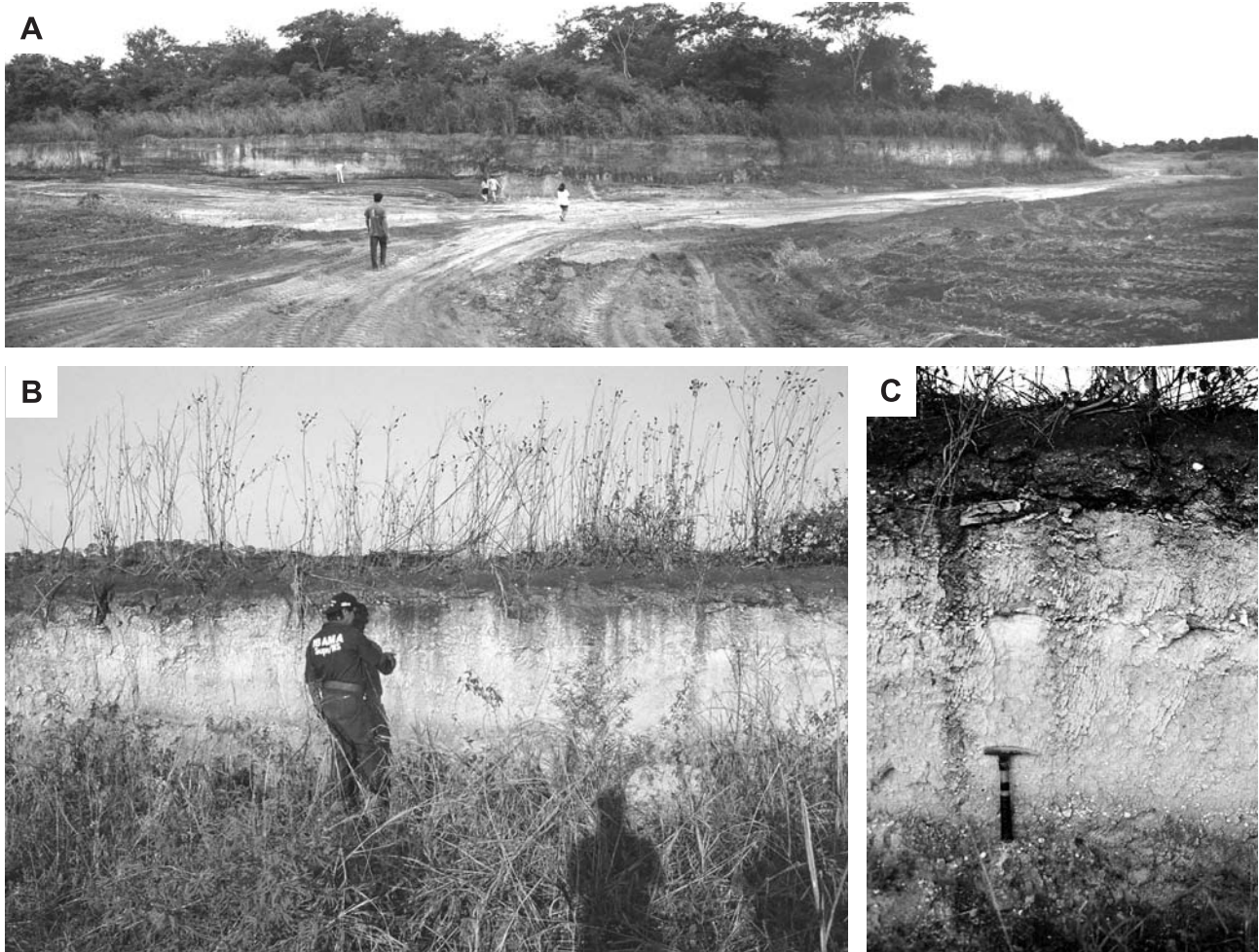


Figura 6. Micritos do Membro Fazenda São Geraldo: **A.** Holoestratótipo no rio Formoso em lavra na Fazenda Geraldo; **B.** seção de referência da Formação Serra da Bodoquena (Membro Fazenda São Geraldo) em lavra abandonada no córrego Campina; **C.** detalhe dos depósitos da Figura 6B, mostrando micritos maciços e ricos em fósseis de gastrópodes (martelo = 33 cm).

ção Serra da Bodoquena, representando assim o holoestratótipo. Para complementar a formalização da unidade estratigráfica e complementar à descrição da seção-tipo, são indicadas duas áreas e seções de referência.

Holoestratótipo: rio Formoso

A área do rio Formoso apresenta as melhores exposições de tufa da Serra da Bodoquena, além de grande extensão em área (Figuras 4 e 7). Terraços fluviais espessos de tufa são encontrados em diversos afluentes do rio Formoso e em cavas próximas à cidade de Bonito, onde o material é explorado para corretivo de solo. A lavra da Mineração Xaraés na Fazenda

Geraldo (Figura 4, UTM 544603E/7650015N, SAD69) apresenta a melhor exposição de afloramento de tufa, com no mínimo 5 m de espessura, sem alcançar o contato inferior. Nesta exposição observa-se principalmente os micritos do Membro Fazenda São Geraldo, cobertos parcialmente por depósitos de represas e cachoeiras do Membro Rio Formoso. Estes depósitos superiores de cachoeiras e represas são identificados em fotografias aéreas e imagens de satélite por toda área do vale fluvial atual do rio Formoso como uma sequência de represas justapostas, atualmente inativas com alguns depósitos ainda em regiões alagadas.

Esta localidade foi definida como a localidade-tipo da Formação Serra da Bodoquena.

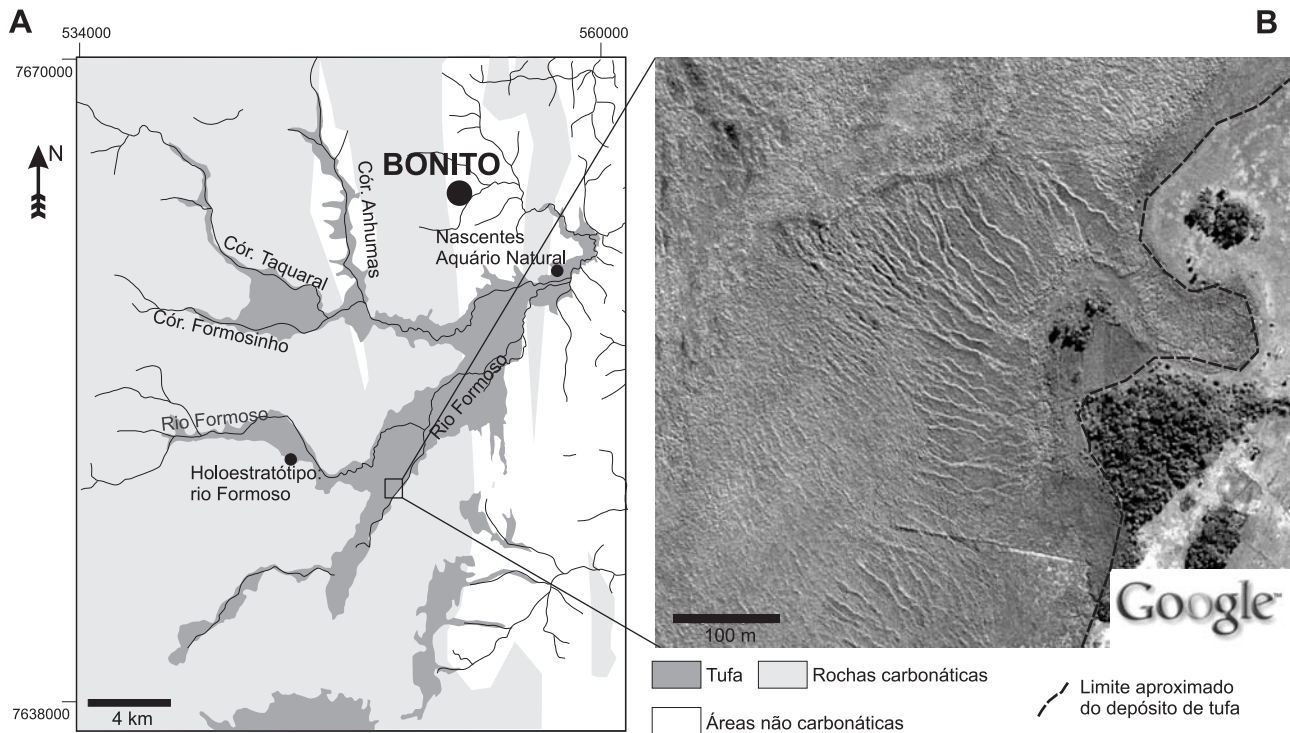


Figura 7. Depósitos do rio Formoso: **A.** mapa geológico da Formação Serra da Bodoquena e seu embasamento (simplificado), com a localização do holoestratótipo; **B.** imagem de detalhe da planície do rio Formoso (drenagem atual à direita) com depósitos antigos de tufa da Formação Serra da Bodoquena (imagem Google Earth™ serviço de mapa) mostrando sequência de represas justapostas.

Seção de referência: rio Perdido

Na área da bacia hidrográfica do rio Perdido as tufas distribuem-se ao longo das planícies alagáveis do rio Perdido e seus afluentes. Não ocorrem muitos afloramentos, porém os depósitos são extensos (Figuras 4 e 8) e com pouca espessura. São apresentadas três seções de referência (Figura 8), denominadas aqui rio Perdido A, B e C.

A primeira seção de referência (rio Perdido A, UTM 529069E/7664366N, SAD69) possui espessura de pouco mais de 1 m e situa-se nas proximidades do sumidouro do rio Perdido. A segunda seção de referência (rio Perdido B, UTM 521168E/7673472N, SAD69) situa-se em corte da estrada Bonito-Fazenda Baía das Garças, possui espessura de 5 m (Figura 9) e observa-se na base o contato com os calcários do Grupo Corumbá. A terceira seção de referência (rio Perdido C, UTM 523673E/7664941N, SAD69, no centro do polígono) compõe uma área retangular de 1.100 por 600 m, onde foram realizadas 28 sondagens para pesquisa mineral. Por meio destas sondagens observa-se espessuras de tufa entre 0,5 m aumentando até 4,5 m em direção ao rio Perdido, acompanhando o gradiente do terreno, de sudoeste

para nordeste. Alguns destes depósitos são atualmente regiões alagadiças, podendo ainda ser depósitos ativos de tufa, mas com baixíssima taxa de sedimentação.

Seção de referência: córrego Campina

A área da bacia hidrográfica do córrego Campina caracteriza-se por diversas ocorrências restritas (não mapeadas) de depósitos de tufa. Destacam-se os diversos terraços ao longo da planície aluvial do Córrego Campina, que forma uma extensa área alagável, destacando-se uma lavra abandonada que explorou tufa no Assentamento Campina, próximo à cidade de Bodoquena (Figura 4, ponto B). Neste local encontram-se tufas com 2 m de espessura e abundantes carapaças de algas caráceas e conchas de gastrópodes.

Idade

As datações indicam idade quaternária para a Formação Serra da Bodoquena (Figura 4). Turcq et al. (1987) obtiveram idades por meio do método do radiocarbono, para um terraço de tufa de 2,5 m de espessura na planície do rio

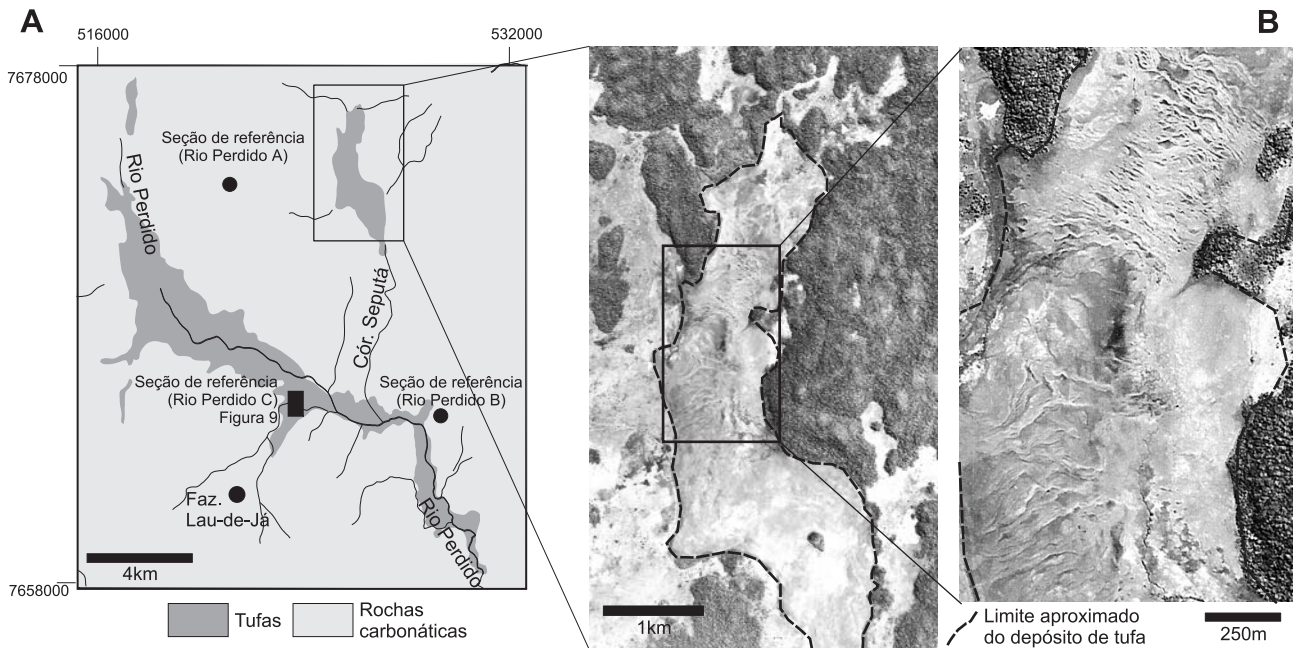
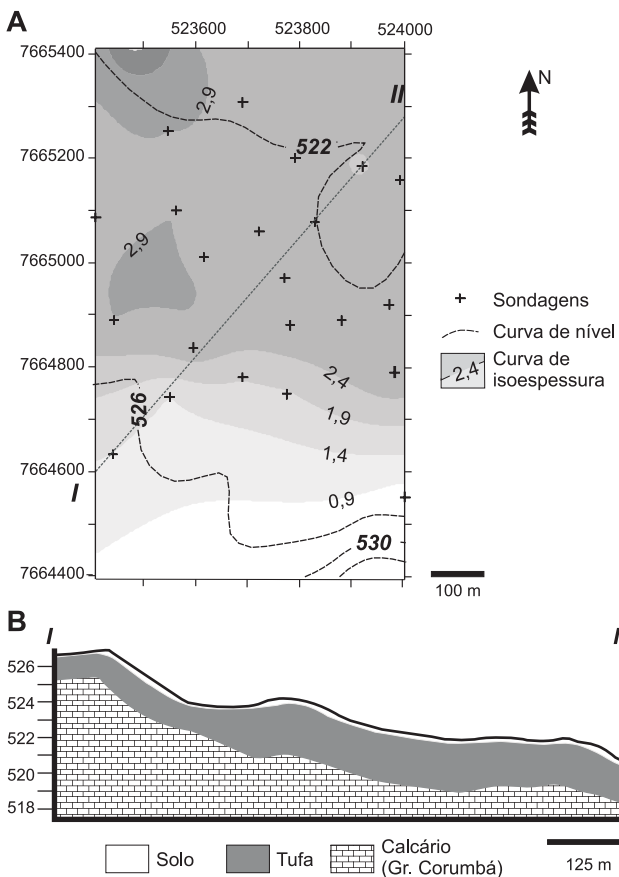


Figura 8. Depósitos do rio Perdido: **A.** mapa geológico da Formação Serra da Bodoquena e seu embasamento (simplificado), com a localização das seções de referência; **B.** fotografia aérea de detalhe da planície do rio Perdido com depósitos antigos de tufa da Formação Serra da Bodoquena (fotografia aérea USAF 1:60.000, de 1966) mostrando sequência de represas justapostas.



Salobro na estrada de Bodoquena para Morraria. Conchas situadas a 2 m do topo de terraço apresentaram 5.200 anos A.P. (5.647 a 6.469 anos cal A.P.) e matéria orgânica em sedimentos argilosos a cerca de 1,7 m do topo, 2.150 anos A.P. (1.169 a 3.345 anos cal A.P.). Boggiani et al. (2002) dataram por radiocarbono depósitos de tufas em terraços do rio Aquidabã e obtiveram idades de 3.410 ± 70 (3.479 a 3.835 anos cal A.P.), 2.420 ± 70 (2.343 a 2.623 anos cal A.P.) e 2.130 ± 60 anos A.P. (1.986 a 2.313 anos cal A.P.). Sallun Filho et al. (2009) obtiveram idades quaternárias por radiocarbono de conchas e tufa em depósitos do rio Formoso (Mineração Calcário Xaraés) e carvão em depósito localizado no sumidouro do rio Perdido. No depósito de tufa da Mineração Calcário Xaraés, em uma seção de 3 m, foram obtidas idades que indicam deposição das tufas de 5.650 ± 50 (6.310 a 6.530 anos cal A.P.), 4.200 ± 40 (4.600 a 4.840 anos cal A.P.) e 2.630 ± 60 anos A.P. (2.720 a 2.850 anos cal A.P.), e no depósito no rio Perdido, amostra de carvão na tufa forneceu uma idade de 650 ± 40 anos A.P. (550 a 670 anos cal A.P.) (Sallun Filho et al., 2009).

Figura 9. Sondagens realizadas nos depósitos de tufa da região do rio Perdido (seção de referência rio Perdido C): **A.** mapa de isoespessuras; **B.** perfil geológico SW-NE. Notar aumento de espessura em direção ao rio Perdido, a NE.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Depósitos antigos de tufa são raros e pouco estudados no Brasil, e encontram-se geralmente associados ao desenvolvimento de sistemas cársticos. No carste da Serra da Bodoquena a deposição atual de tufas é a mais expressiva no Brasil.

A denominação de unidades sedimentares quaternárias no Brasil sempre foi problemática devido à junção de unidades distintas e sem continuidade lateral, apenas por semelhança litológica. O mesmo ocorreu com a Formação Xaraiés, definida em Corumbá (MS) por Almeida (1943) e estendida por diversos autores por 300 km a norte às tufas da Serra das Araras (MT) e por 300 km a sul às tufas da Serra da Bodoquena (MS).

A Formação Serra da Bodoquena é descontínua, devido à própria natureza dos depósitos, nunca ligados entre si ou com a Formação Xaraiés em Corumbá. Foram identificados diversos corpos, mapeáveis ou não, em escala 1:50.000 sem continuidade lateral.

Desta forma, as tufas atuais e antigas da Serra da Bodoquena foram separadas da Formação Xaraiés, e definidas como nova unidade litoestratigráfica, denominada Formação Serra da Bodoquena. As características litológicas, a existência de contatos claros e abruptos e a sua mapeabilidade justificam a criação de uma nova unidade. A deposição em bacia hidrográfica e sistema cárstico distintos justificam sua separação da Formação Xaraiés, mesmo que parte das litologias sejam semelhantes. A nova unidade proposta, Formação Serra da Bodoquena, foi dividida em dois membros para representar as tufas do tipo cachoeiras e represas e os micritos, respectivamente: Membro Rio Formoso e Fazenda São Geraldo.

As evidências geológicas indicam que a deposição destas tufas ocorre como consequência da surgência de água subterrânea supersaturada em carbonato de cálcio, e é favorecida na Serra da Bodoquena pela predominância de águas autogênicas, quase não havendo áreas de captação alogênicas significativas. As poucas áreas de captação alogênica, situadas principalmente na borda oeste do Planalto da Bodoquena, percorrem um longo trecho nos calcários se enriquecendo, assim, de carbonatos em solução. Isto permite o enriquecimento da água subterrânea em carbonato de cálcio, que, através de inúmeras nascentes, alimenta os rios de superfície onde as tufas são depositadas. Estes rios transportam e depositam baixas quantidades de sedimentos siliciclásticos, e o pouco que entra em suspensão logo é depositado pela precipitação do carbonato. Esta característica torna a água dos rios muito límpida, o que favorece a atividade biológica e, conseqüentemente, a precipitação de carbonato.

A Formação Serra da Bodoquena possui idade quaternária, com deposição a partir de pelo menos 6.530 anos cal A.P. até o presente. A deposição de tufas foi mais expressi-

va do que atualmente, desde 6.530 anos cal A.P., com decréscimo por volta de 2.700 anos A.P.. Esta deposição mais intensa representa um período de clima mais úmido do que o atual ou condições hidrológicas distintas dentro do sistema cárstico, que se alteraram a partir de 2.700 anos A.P. quando se estabeleceram condições próximas à atual (Sallun Filho et al., 2009). Atualmente a deposição de tufas no Membro Rio Formoso ainda é expressiva, porém restrita ao leito das drenagens perenes ou intermitentes, constituindo possivelmente o melhor exemplo deste tipo de deposição no Brasil.

AGRADECIMENTOS

À FAPESP pelo financiamento das pesquisas (Proc. N° 01/07481-7). A Alethéa Ernandes Martins Sallun pela revisão do texto. Aos relatores pelas correções e sugestões apontadas. Ao Google Earth™ serviço de mapa pela autorização de uso das imagens.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, F. F. M. Geomorfologia da região de Corumbá. *Boletim da Associação dos Geógrafos Brasileiros*, v. 3, n. 3, p. 8-18, 1943.
- ALMEIDA, F. F. M. *Geologia do sudoeste mato-grossense. Boletim da Divisão de Geologia e Mineralogia*, DNPM, Rio de Janeiro, v. 116, p. 1-118, 1945.
- ALMEIDA, F. F. M. *Geologia do centro-oeste mato-grossense. Boletim da Divisão de Geologia e Mineralogia*, DNPM, Rio de Janeiro, v. 215, p. 1-133, 1964.
- ALMEIDA, F. F. M. Geologia da Serra da Bodoquena (Mato Grosso), Brasil. *Boletim da Divisão de Geologia e Mineralogia*, DNPM, Rio de Janeiro, v. 219, p. 1-96, 1965.
- ALVARENGA, S. M.; BRASIL, A. E.; DEL'ARCO, D. M. Geomorfologia. In: *Projeto RADAMBRASIL*. Folha SF-21 Campo Grande. Rio de Janeiro: MME, 1982. p. 125-184. (Levantamento de Recursos Naturais, 28).
- ARAÚJO, H. J. T.; SANTOS NETO, A.; TRINDADE, C. A. H.; PINTO, J. C. A.; MONTALVÃO, R. M. G.; DOURADO, T. D. C.; PALMEIRA, R. C. B.; TASSINARI, C. C. G. Geologia. In: *Projeto RADAMBRASIL*. Folha SF-21 Campo Grande. Rio de Janeiro: MME, 1982. p. 9-124. (Levantamento de Recursos Naturais, 28).
- AULER, A. S. *Karst Evolution and Palaeoclimate in Eastern Brazil*. 1999. 268 f. Tese (Doutorado) - University of Bristol, Bristol, 1999.

- BIZZI, L. A.; SCHOBENHAUS, C.; GONÇALVES, J. H.; BAARS, F. J.; DELGADO, I. M. O.; ABRAM, M. B.; LEÃO NETO, R.; MUNIZ DE MATOS, G. M.; SCHNEIDER SANTOS, J. O. Geologia, tectônica e recursos minerais do Brasil: sistema de informações geográficas - SIG e mapas na escala 1:2.500.000. Brasília: CPRM, 2001. 4 CD-ROM.
- BOGGIANI, P. C.; COIMBRA, A. M. Quaternary limestones of the Pantanal Area, Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, v. 67, n. 3, p. 343-349, 1995.
- BOGGIANI, P. C.; COIMBRA, A. M.; GESICKI, A. L. D.; SIAL, A. N.; FERREIRA, V. P.; BRENHA RIBEIRO, F.; FLEXOR, J. M. Tufas Calcárias da Serra da Boquena, MS: cachoeiras petrificadas ao longo dos rios. In: SCHOBENHAUS, C.; CAMPOS, D. A.; QUEIROZ, E. T.; WINGE, M.; BERBERT-BORN, M. (Eds.) *Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil*. Brasília: DNPM, 2002. p. 249-259.
- CORRÊA, D. *Caracterização, cronologia e gênese das tufas da Serra das Araras - Mato Grosso*. 2006. (Dissertação Mestrado) - Departamento de Geografia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2006.
- CORRÊA, D.; AULER, A. S. Tufas calcárias da Serra das Araras (MT): um notável depósito sedimentar Quaternário. In: ENCONTRO BRASILEIRO DE ESTUDOS DO CARSTE, 2., 2007. São Paulo. *Resumos Expandidos...* São Paulo: Redespeleo, 2007. p. 11-11.
- CRISTALLI, P. S. *Macrofitofósseis em tufos calcários quaternários do norte da Bahia como indicadores paleoclimáticos*. 2006. 195 f. Tese (Doutorado) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.
- CRISTALLI, P. S.; SALLUN FILHO, W.; PETRI, S.; KARMANN, I.; UTIDA, G.; MITTELSTAED, C. A. Tafonomia de folhas fósseis e características deposicionais de tufos Quaternários de Campo Formoso, Bahia, Brasil. In: CARVALHO, I. S.; CASSAB, R. C. T.; SCHWANKE, C.; CARVALHO, M. A.; FERNANDES, A. C. S.; RODRIGUES, M. A. C.; CARVALHO, M. S. S.; ARAI, M.; OLIVEIRA, M. E. Q. (Orgs.) *Paleontologia: cenários da vida*. Rio de Janeiro: Interciência, v. 2, 2007. p. 251-260.
- DUARTE, L.; VASCONCELOS, M. E. C. Vegetais do Quaternário do Brasil. I- Flórua de Russas, CE. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, v. 52, n. 1, p. 37-48, 1980a.
- DUARTE, L.; VASCONCELOS, M. E. C. Vegetais do Quaternário do Brasil. I- Flórua de Umbuzeiro, PB, CE. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, v. 52, n. 1, p. 93-180, 1980b.
- FORD, T. D.; PEDLEY, H. M. A review of tufa and travertine deposits of the world. *Earth Science Reviews*, v. 41, p. 117-175, 1996.
- LEITE, M. C. S. Mar de Xaraés ou as "reinações" do Pantanal. *Sociedade e Cultura*, v. 5, n. 1, p. 7-24, 2002.
- MUNIZ, G. C. B.; RAMIREZ, L. V. O. Tufo calcário (tufa) quaternário com moluscos, nos estados da Paraíba e Pernambuco. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, v. 43, p. 611-618, 1971. Suplemento.
- NOGUEIRA, V. L.; OLIVEIRA, C. C. *Projeto Bonito-Aquidauana*. Goiânia: DNPM/CPRM 1978, 121 p. (Relatório n 2744).
- PENTECOST, A. *Travertine*. Berlin: Springer-Verlag, 2005. 445 p.
- PETRI, S.; COIMBRA, A. M.; AMARAL, G.; OJEDA, H. O.; FULFARO, V. J.; PONÇANO, W. L. Código de Nomenclatura Estratigráfica. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 16, n. 4, p. 372-376, 1986a.
- PETRI, S.; COIMBRA, A. M.; AMARAL, G.; OJEDA, H. O.; FULFARO, V. J.; PONÇANO, W. L. Guia de Nomenclatura Estratigráfica. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 16, n. 4, p. 376-415, 1986b.
- PRESOTTI, T. M. B. Entre o paraíso e o inferno-a natureza nas representações da conquista dos sertões do Cuiabá e do Mato Grosso (século XVIII). In: ENCONTRO DA ANPPAS (ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA EM AMBIENTE E SOCIEDADE), 3., 2004. Indaiatuba. *Anais eletrônicos...* Indaiatuba, 2004. Disponível em: <http://www.anppas.org.br/encontro_anual/encontro2/GT/GT16/gt16_thereza.pdf>. Acesso em: 17 dez. 2008.
- RAMOS, R. R. C.; BRAGA, M. V. C.; OZANICK, C.; JATOBA, L. O.; CASTRO, J. W. A. Primeiro registro de tufas calcárias no Estado do Rio de Janeiro. In: CONGRESSO DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ESTUDOS DO QUATERNÁRIO, 10., 2005, Guarapari. *Anais...* Guarapari: ABEQUA, 2005. v. 1, p. 1-6.
- REYES, Y. A. *Caracterização da geometria de depósitos sedimentares na borda sudoeste da Bacia Potiguar*. 2003. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2003.

- REYES, Y. A.; BEZERRA, F. H. R.; LIMA FILHO, F. P. Falhas de gravidade em tufas calcárias na Bacia Potiguar, NE do Brasil. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ESTUDOS TECTÔNICOS, 9., 2003, Búzios. *Boletim de resumos...* Búzios: SBG, 2003. p. 276-279.
- ROSS, J. L. S. Fundamentos da geografia da natureza. In: ROSS, J. L. S. (Ed.) *Geografia do Brasil*. São Paulo: EDUSP, 2000. p. 13-65.
- SALLUN FILHO, W.; KARMANN, I.; SALLUN, A. E. M.; SUGUIO, K. Quaternary tufa in the Serra da Bodoquena karst, west-central Brazil: Evidence of wet period. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science (Climate Change: Global Risks, Challenges and Decisions)*, v. 6, 2009. Disponível em: http://www.iop.org/EJ/article/1755-1315/6/7/072055/ees9_6_072055.pdf. Acesso em: 15 abr. 2009.
- SALLUN FILHO, W.; KARMANN, I. Geomorphological map of the Serra da Bodoquena karst, west-central Brazil. *Journal of Maps*, p. 282-295, 2007. Disponível em: <http://www.journalofmaps.com/>. Acesso em: 17 dez. 2008.
- SALLUN FILHO, W.; SILVA E SILVA, L. H.; KARMANN, I. Estromatólitos recentes do Rio Formoso, Bonito, MS. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PALEONTOLOGIA, 20., 2007. Búzios. *Anais de resumos...* Búzios: SBP, 2007. p. 119.
- SOUZA-LIMA, W.; FARIAS, R.M. A flora quaternária dos travertinos de Itabaiana, Sergipe. In: PALEO 2007, 2007. Itabaiana. *Resumos...* Itabaiana: SBP, 2007. p. 7. Disponível em: http://www.phoenix.org.br/Paleo2007_Boletim.pdf. Acesso em: 18 dez. 2008.
- SUGUIO, K. *Dicionário de Geologia Sedimentar e Áreas Afins*. Rio de Janeiro: Editora Bertrand Brasil, 1998. 1217 p.
- TURCQ, B.; SUGUIO, K.; SOUBIES, F.; SERVANT, M.; PRESSINOTTI, M. M. N. Alguns terraços fluviais do Sudeste e do Centro-oeste brasileiro datados por radiocarbono: possíveis significados paleoclimáticos. In: CONGRESSO DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ESTUDOS DO QUATERNÁRIO, 1., 1987. Porto Alegre. *Anais...* Porto Alegre: ABEQUA, 1987. p. 379-392.
- UTIDA, G.; PETRI, S.; SALLUN FILHO, W.; BOGGIANI, P. C. Gastrópodes em tufos calcários quaternários da Serra da Bodoquena, Bonito, MS. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PALEONTOLOGIA, 20., 2007. Búzios. *Anais...* Búzios: SBP, 2007. p. 146-147.
- UTIDA, G.; OLIVEIRA, E. C.; PETRI, S.; BOGGIANI, P. C. Microfósseis em micritos quaternários da Serra da Bodoquena-MS como indicadores paleoambientais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 44., 2008. Curitiba. *Anais...* Curitiba: SBG, 2008. p. 796.