

Tufas Calcárias da Serra da Bodoquena, MS

Cachoeiras petrificadas ao longo dos rios

SIGEP 34

Paulo César Boggiani¹
Armando Márcio Coimbra²
Ana Lúcia Desenzi Gesicki¹
Alcides Nóbrega Sial³
Valderez Pinto Ferreira⁴
Fernando Brenha Ribeiro⁴
Jean-Marie Flexor⁵

No Planalto da Bodoquena, situado na borda sudeste do Pantanal Mato-Grossense, Estado de Mato Grosso do Sul, encontram-se em desenvolvimento inúmeros depósitos de tufas calcárias ao longo da drenagem atual, na forma de cachoeiras e barragens naturais.

As drenagens apresentam águas bicarbonatadas muito limpidas, o que proporciona o crescimento das tufas associada a musgos e algas. A turbidez das águas dos rios é praticamente nula, e isto se deve ao fato de suas cabeceiras, que cortam o planalto e desembocam na margem esquerda do Rio Miranda, situarem-se em áreas de exposição de calcários muito puros da Formação Tamengo do Grupo Corumbá (Neoproterozoico III).

Tufas calcárias modernas e antigas, estas últimas situadas em canais de drenagem abandonados, apresentam excelentes moldes de folhas, os quais, juntamente com estudos de isótopos de C e O, possibilitam interpretações paleoclimáticas e paleohidrológicas. Além deste interesse científico, as tufas calcárias formam conjuntos paisagísticos de inusitada beleza, muito procurados pelos turistas, motivos estes que implicam na necessidade de preservação deste depósito e atenção especial para a qualidade das águas de seus rios, do que depende a continuidade do processo de formação destes depósitos.

Palavras-Chave: tufas; Serra da Bodoquena; Pantanal; calcário; algas; Bonito

Calcareous Tufa of Bodoquena Ridge, State of Mato Grosso do Sul - Petrified Waterfalls along the Rivers

On the southeastern border of the Pantanal, there is a carbonate plateau, denominated Serra da Bodoquena, where there are several calcareous tufa deposits. These freshwater calcareous structures are still in the process of formation, along the present drainage system, forming dams and waterfalls of rare beauty, representing important tourist attractions in the region.

The rivers of the Bodoquena Plateau have clean, bicarbonate waters, which help the formation of tufas associated with moss and algae. The waters have almost zero turbidity because the rivers, which cross the plateau and join, the Miranda River on its left bank, have their headwaters located on calcitic

limestones of the Tamengo Formation of the Corumbá Group (Neoproterozoic III).

There are plant moulds in the modern and old tufas, which, in conjunction with C and O isotope studies, can provide paleoclimatological and paleohydrological informations. Besides the scientific interest, calcareous tufas form beautiful structures with tourist potential. Thus, it is important that these structures be preserved, and that the clean state of the water be maintained, thereby assuring the process of tufa formation.

INTRODUÇÃO

A região de Bonito, no Estado de Mato Grosso do Sul, é conhecida pelos singulares atrativos naturais que apresenta, em especial aqueles relacionados aos seus rios, com águas de incrível transparência, repletos de inúmeros depósitos de tufas calcárias que compõem cachoeiras e barragens naturais de excepcional beleza (Figura 1). Estes depósitos de calcário fluvial, ainda em formação, apresentam interesse científico por possibilitarem estudos sobre os processos de sedimentação carbonática e investigações paleohidrológicas e paleoclimáticas.

O conjunto paisagístico das tufas calcárias se insere no Planalto da Bodoquena (Figura 2), onde se desenvolveu relevo cárstico em extensa exposição de rochas calcárias muito puras do Grupo Corumbá (Neoproterozóico III). Em praticamente todas drenagens que cortam o planalto, há formação de tufas calcárias, o que torna o relevo do Planalto da Bodoquena distinto das demais áreas cársticas brasileiras. No mundo, este conjunto de tufas calcárias talvez seja superado, em beleza e tamanho, apenas pelos depósitos de tufas do Parque Plitivice na Croácia, reconhecido como Patrimônio da Humanidade pela UNESCO.

Causa preocupação, no entanto, a acelerada ocupação da área, pela agricultura e pecuária, e os desmatamentos generalizados que não pouparam nem as florestas ripárias ao longo dos rios. Preocupa também o crescimento da atividade turística na região, principalmente após 1995, que tem os seus rios e as cachoeiras de tufas calcárias como principais atrativos.

LOCALIZAÇÃO

A Serra da Bodoquena (Figura 2) constitui planalto escarpado a oeste, no sentido da Planície do Pantanal, e suavemente inclinado a leste, onde transiciona para a planície de inundação do Rio Miranda. Apresenta-se alongado no sentido norte-sul, com cerca de 300 km de comprimento e largura variando de 20 km a 50 km, sustentado por rochas calcárias do Grupo Corumbá (Neoproterozóico III).

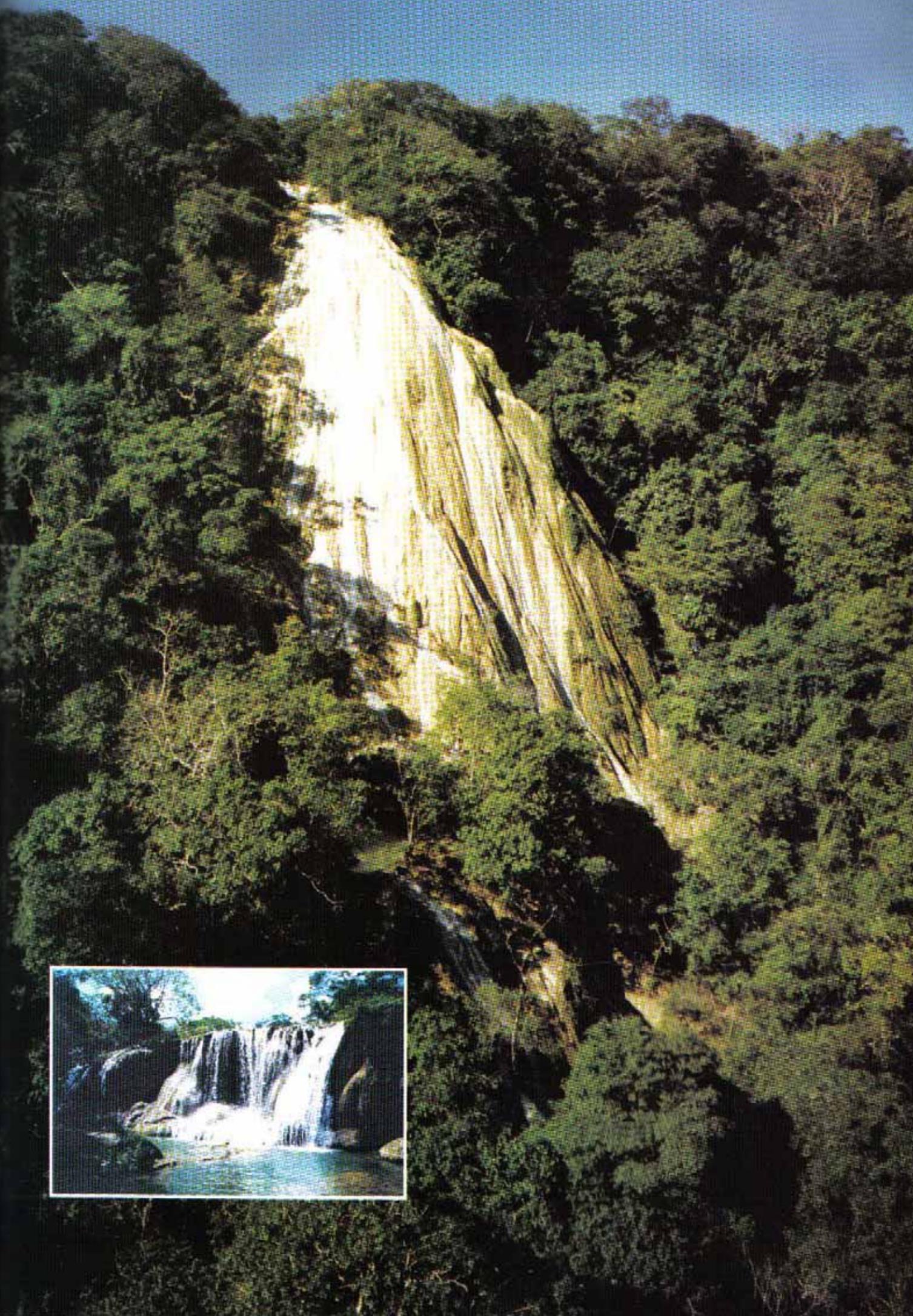
O Planalto apresenta sua conformação superficial com forte influência das estruturas tectônicas relacionadas à Faixa de Dobramentos Paraguai, onde as camadas foram intensamente dobradas na porção oriental, na forma de dobras isoclinais associadas a falhas de empurrão com vergência para oeste, no sentido do Bloco Rio Apa. Já a oeste de Bonito, no interior do Planalto, as camadas encontram-se na forma de dobras abertas, com destaque para os sinclinais do Rio Perdido e do Rio Salobrá. Em função desta estruturação tectônica, a porção central do Planalto é caracterizada por um maciço rochoso elevado onde predominam exposições dos calcários calcíticos da Formação Tamengo.

Neste maciço rochoso elevado, com altitudes que variam de 450 m a 650 m, praticamente não ocorreu desenvolvimento de solo. O substrato rochoso é coberto por um dos últimos remanescentes de vegetação do Planalto, caracterizado por matas estacionais semi-deciduas, motivo pelo qual foi criado em 21/09/2000 o Parque Nacional da Serra da Bodoquena, com área de 76.400 hectares. A proteção desta área é fundamental para a preservação da Serra da Bodoquena como um todo em função de ser um reservatório subterrâneo das águas que ressurgem na planície a leste, onde ocorrem inúmeras ressurgências cársticas.

No Planalto da Bodoquena existem dezenas de cavernas, das quais encontram-se mapeadas cerca de 50 delas (Lino *et al.*, 1984, Gnaspi Netto *et al.*, 1994, Ayub *et al.*, 1996). Entre estas, as grutas do Lago Azul e Nossa Senhora Aparecida, situadas 15 km a oeste da cidade de Bonito, foram tombadas pelo Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional - IPHAN, do Ministério da Cultura, em 13/10/1978 (processo nº 79-T-1978), em função do excepcional valor cênico e importância científica. Na primeira caverna ocorre fauna endêmica de crustáceos aquáticos e concentração de fósseis representantes da mega fauna pleistocénica, motivos pelos quais, entre outros, a Gruta do Lago Azul foi indicada à Comissão Brasileira de Sítios Geológicos e Paleobiológicos (SIGEP) para compor a lista mundial indicativa de Sítios Geológicos de interesse para serem reconhecidos como Patrimônio da Humanidade (*Global Indicative List of Geological Sites – GILGES*).

Figura 1– Cachoeira do Aquidaban, localizada na borda oeste do Planalto da Bodoquena com aproximadamente 40 m de altura (fotografia – Juca Ygarapé). No detalhe, tufas calcárias na forma de cachoeira, Rio Mimoso, Bonito-MS.

Figure 1 – Aquidaban falls situated in the west border of Bodoquena Plateau, 50 m high. (foto Juca Ygarapé). In detail, calcareous tufas as falls in the Rio Mimoso, Bonito-MS.



As cavernas da região destacam-se pela presença de cavidades subaquáticas, consideradas entre as melhores do mundo para espeleomergulho. As cavidades submersas apresentam dimensões de dezenas de metros, na forma de salões, como a Gruta do Lago Azul, com 50 metros de profundidade, ou mesmo a dolina de dissolução da Lagoa Misteriosa, onde foram medidos 220 m de coluna d'água, e o Abismo Anhumas, com 70 m de desnível, tendo ao fundo um lago com 12m de profundidade. Há ainda outros condutos subterrâneos, como o Buraco das Abelhas, a Nascente do Rio Formoso, a Gruta Mimoso e o Buraco do Japonês, este último com ocorrências fossilíferas de megafauna pleistocênica.

A leste do Maciço do Rio Perdido, ocorrem inúmeras surgências de água, conhecidas regionalmente por "olhos d'água". Entre estas destacam-se a do Rio Sucuri, Baía Bonita e Nascente do Rio Formoso, em Bonito, a Nascente do Prata, em Jardim, e a do Córrego

Azul em Bodoquena, algumas com intensa atividade turística (Scremin-Dias *et al.*, 1999).

EVOLUÇÃO DOS CONHECIMENTOS

O conhecimento da geologia do Planalto da Bodoquena se deu no início do século 20, com os trabalhos de Miguel Arrojado Ribeiro Lisboa que, em 1907, participou da Comissão Schnoor de reconhecimento do traçado da Estrada de Ferro Noroeste do Brasil, a qual corta o extremo nordeste do planalto (Lisboa, 1909). Deve-se a este geólogo a correlação dos calcários pré-cambrianos ali presentes com os de Corumbá, já conhecidos há mais tempo, em função do acesso à região através do Rio Paraguai.

Seguiram-se os trabalhos de Glycon de Paiva que, em 1937, percorreu a região no sentido de examinar possíveis ocorrências de petróleo (Paiva & Leinz, 1939). Vieram, em seguida, os trabalhos de Avelino Ignácio de Oliveira e Pedro de Moura, relatados na 2^a edição do livro Geologia do Brasil de Oliveira & Leonardo (1943), e os trabalhos de Barbosa (1957) e Beurlen & Sommer (1957).

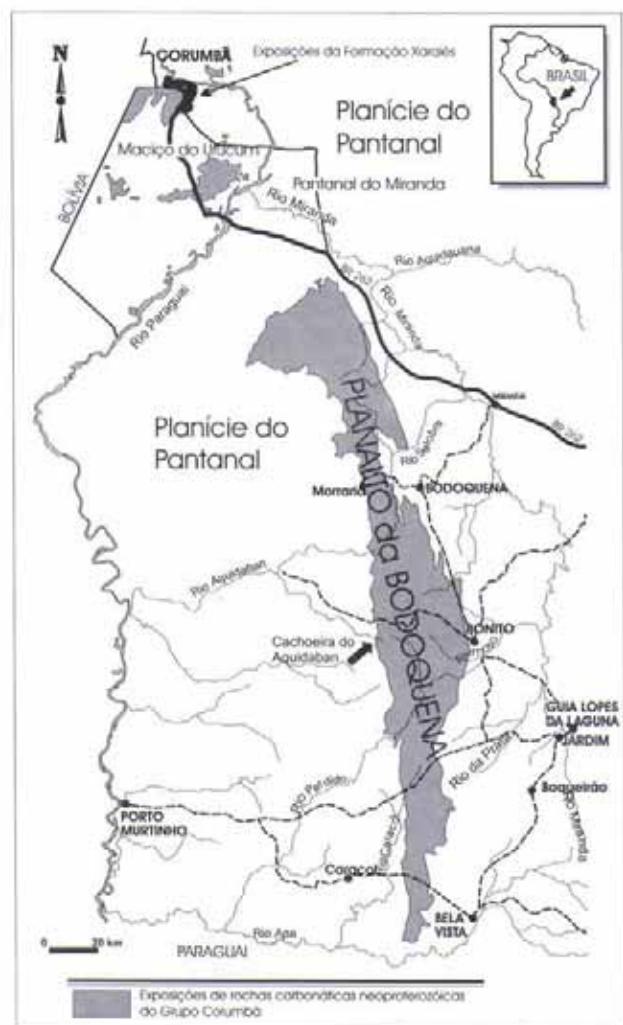
Foi apenas no início da década de sessenta, no entanto, que a região foi objeto de estudo geológico sistemático com objetivo de entender sua estratigrafia e evolução geológica através dos trabalhos de Almeida (1965), o qual fez as primeiras menções sobre as tufas calcárias.

Seguiram-se aos trabalhos de Almeida (1965), projetos de mapeamento sistemático da Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM), na escala 1: 250.000 – Projeto Bodoquena (Corrêa *et al.*, 1979) e na escala 1: 500.000 - Projeto Bonito – Aquidauana (Nogueira *et al.*, 1978) e os de mapeamento do Projeto RADAMBRASIL (Araújo *et al.*, 1982).

Com a descoberta de importantes ocorrências fossilíferas do Grupo Corumbá, na cidade homônima (Zaine & Fairchild, 1985, 1987; Hahn & Pflug, 1985; Walde *et al.*, 1982; Hahn *et al.*; 1982), esta unidade passou a despertar o interesse para estudos sobre a evolução neoproterozoica (Boggiani *et al.*; 1993, 1996, 1997, 1998; Boggiani & Coimbra, 1998 e Fairchild *et al.*, 1999).

Com relação à evolução quaternária do Planalto da Bodoquena, no entanto, poucos trabalhos foram realizados, restritos aos de Almeida (1965) e levantamentos espeleológicos (Mendes, 1957; Lino *et al.*, 1984; Boggiani *et al.*, 1986; Gnaspi Netto *et al.*, 1994; Ayub *et al.*, 1996).

Figura 2 – Planalto da Bodoquena.
Figure 2 – Bodoquena Plateau.



Menção e breve descrição sobre as tufas calcárias foi apresentada por Boggiani & Coimbra (1995), os quais as definiram como Tufas Calcárias da Serra da Bodoquena. Neste trabalho, as ocorrências de tufas foram interpretadas como unidade à parte da Formação Xaraiés, mais antiga, provavelmente pleistocênica, originalmente descrita por Almeida (1945) na escarpa do Rio Paraguai em Corumbá, como unidade basal da Bacia do Pantanal, constituída de calcretes.

TUFAS CALCÁRIAS

Entre os depósitos carbonáticos continentais, existem as tufas, os travertinos e os espeleotemas, os quais se diferenciam dos calcretes por serem estes associados a processos pedogenéticos de substituição. As tufas distinguem-se dos travertinos por se originarem em águas com a temperatura ambiente, enquanto os travertinos têm origem em águas termais, apesar de alguns autores considerarem a tufa como variedade porosa do travertino (Pentecost, 1996). Já os espeleotemas são os depósitos minerais originados em cavernas, na forma, por exemplo, de estalactites e stalagmites.

Segundo revisão sobre as tufas e travertinos de Ford & Pedley (1996), as tufas são depósitos recentes que se formam sob condições climáticas diversas, desde águas frias temperadas até sob regimes semi-áridos. A denominação "tufa" deriva de *taphus*, termo este amplamente empregado, em tempos romanos, para descrever materiais porosos, tanto calcários como também vulcânicos, passando, atualmente, a ser empregado apenas para depósitos carbonáticos originados em águas continentais sob temperatura ambiente, tendo como característica distintiva a presença de remanescentes de macrófitas, invertebrados e bactérias.

O termo travertino é Italiano, constituindo uma derivação de *lapis tiburtinus*, cuja tradução do Latim significa "pedra de Tibur", nome antigo da atual cidade de Tivoli, também conhecida como Bagni di Tivoli ("Termas de Tivoli"), situada 30 km a leste de Roma (Chafetz & Folk, 1984). Os travertinos originam-se em águas termais e não apresentam nenhum vestígio de plantas ou animais, apenas de atividade microbiana, principalmente bactérias, tolerantes ao calor, e diatomáceas (Folk, 1993; Guo & Riding, 1994). Por serem mais resistentes que as tufas, os travertinos italianos foram amplamente empregados nas construções romanas e até hoje são intensamente explorados para este fim.

O grau de dureza não diferencia as tufas dos travertinos, podendo ocorrer tufas endurecidas assim como travertinos friáveis. O principal critério de campo para diferenciar um depósito de outro é a presença de vestígios de macrófitas e de animais, característica esta restrita às tufas.

Como terceiro tipo de depósito carbonático continental, ocorrem os espeleotemas, os quais são depósitos de cavernas originados através de processos físico-químicos de precipitação de carbonato de cálcio, onde não é evidente a atividade biológica, como é o caso da tufa, embora existam inúmeros exemplos de atividade microbiana na formação de espeleotemas.

TUFAS NO BRASIL E NO MUNDO

A maior parte dos depósitos de tufas estudados situa-se na Europa e Ásia (Pentecost, 1996; Andrews *et al.*, 1997), apesar do conhecimento de ocorrências de diversos depósitos de tufas na América Central e do Sul (Putzer, 1961; Boulange *et al.*, 1981) e África (Casanova & Hillaire-Marcel, 1992 a,b).

Os depósitos de tufa no Brasil tendem a ser diferentes dos da Europa e América do Norte, sendo estes caracterizados por marcante estratificação produzida pelo contraste das estações climáticas. Nas estações quentes ocorre abundante crescimento das tufas, enquanto que nas frias ocorre até mesmo a dissolução e consequente formação de crosta carbonática fina (Dean & Fouch, 1983).

No Brasil, além das Tufas Calcárias da Serra da Bodoquena, foram descritas tufas com fósseis de vegetais muito bem preservados por Duarte & Vasconcelos (1980a, b) nos estados da Paraíba e Ceará.

Os calcários da Formação Caatinga, originalmente definida por Branner (1910), não constituem tufas calcárias típicas e sim calcretes resultantes de processos pedogenéticos em clima semi-árido (Suguió *et al.*, 1980; Penha & Leão, 1996), de forma semelhante ao que foi interpretado para parte da Formação Xaraiés na escarpa de Corumbá e Ladário, em Mato Grosso do Sul (Almeida, 1943).

CALCÁRIOS QUATERNÁRIOS DE MATO GROSSO DO SUL

No Estado de Mato Grosso do Sul os calcários quaternários ocorrem no Planalto da Bodoquena, no Maciço do Urucum e ao longo da planície do Rio Miranda, no Pantanal. Nestas regiões os depósitos ocorrem na forma de três unidades distintas, Formação

Xaraiés, Tufas Calcárias da Serra da Bodoquena e Lentes Calcárias do Pantanal do Miranda (Boggiani & Coimbra, 1995). Além destes depósitos, existem também os espeleotemas de cavernas.

A Formação Xaraiés foi descrita na escarpa de Corumbá – Ladário, nos arredores do Maciço do Urucum (MS), e na Serra das Araras (MT) (Almeida 1943, 1945, 1954), associada às áreas de exposição de calcários e folhelhos pré-cambrianos do Grupo Corumbá e Formação Araras, respectivamente. Esta unidade foi interpretada como produto de cones de deposição originados por chuvas torrenciais sob clima semi-árido que teriam remobilizado típicos depósitos de calcreto. Em sua exposição em Corumbá, os folhelhos intercalados aos calcários do Grupo Corumbá apresentam fraturas preenchidas por calcretos, passando transicionalmente a corpos mais expressivos e maciços de calcários de aspecto terroso e pulverulento, nas proximidades da superfície do terreno, situação esta visível na Escadaria do Porto em Corumbá. Em determinadas localidades, calcretos formam corpos compactos e litificados, alguns com conchas de moluscos no meio da matriz carbonática.

As lentes calcárias do Pantanal do Miranda ocorrem ao longo da planície de inundação do rio Miranda, onde constituem elevações de forma circular (10 m a 15 m de diâmetro), com 2 m a 3 m de altura em cuja superfície são encontrados vestígios arqueológicos (Oliveira & Boggiani, 1999). Estas lentes são constituídas predominantemente por calcita e, secundariamente, aragonita com grãos esparsos de quartzo. É frequente, também, a ocorrência de conchas inteiras de gastrópodos de água doce de espécies ainda vivas no Pantanal (*pomacea* e *biophalaria*). Datação pelo método ¹⁴C destas conchas forneceu a idade de 3 910 ± 110 anos A.P. (Laboratório # 539/cena # 212 - Boggiani et al., 1998).

Estudos sobre os espeleotemas encontram-se em desenvolvimento com material coletado da Gruta João de Arruda em Bonito, MS (Soubiès et al., 1999 - Licença do IBAMA nº 002/99, processo 02001.005519/98-22), a partir dos quais pretende-se estabelecer correlações com a deposição das tufas calcárias. Estudos deste gênero, desenvolvidos na região central da Itália (Taddeucci et al., 1994), relacionando dados obtidos de espeleotema de caverna com terraços de travertinos do Rio Esino, possibilitaram estimar, por exemplo, quando teria ocorrido rebaixamento do nível de base e relacionar as fases de crescimento abundante de espeleotemas e travertinos aos períodos interglaciais.

Tufas calcárias da Serra da Bodoquena

As Tufas da Serra da Bodoquena ocorrem ao longo de praticamente todas drenagens, onde formam represas, cachoeiras e depósitos de micrita pulverulenta. Nos leitos ativos dos rios são freqüentes, também, concentrações de tubos carbonáticos milimétricos (Figura 3), atribuídos a permineralizações e incrustações carbonáticas de talos de algas caráceas, semelhantes aos *phytoclast tufa* descritos por Buccino et al. (1978).

Represas e cachoeiras de tufas

As tufas que constituem represas e cachoeiras são estruturadas em camadas de 2 a 3 cm de espessura, porosas e com filamentos carbonáticos verticais, paralelos entre si (Figura 4). Cada camada é separada por um nível milimétrico de calcário maciço, constituindo pares provavelmente relacionadas à ciclos anuais, quando, nos períodos mais quentes e chuvosos, haveria rápido crescimento e nos períodos mais frios o processo seria menos acelerado ou inexistente. Em determinadas épocas do ano, observam-se musgos cujos talos se sobressaem da superfície calcária (Figura 5), encontrando-se parcialmente incrustados por carbonato. Tal observação permite atribuir a origem e desenvolvimento destas represas ao crescimento de musgos. Nestes haveria o aprisionamento de diatomáceas e cianoficeas e indução da precipitação de carbonato de cálcio ao redor dos talos dos musgos, em função do que tendem a crescer verticalmente para expor novos brotos. Desta busca constante pela luz, concomitante à precipitação de carbonato, decorre o crescimento de paredes verticais de tufas, que barram naturalmente os rios.

Em cachoeiras ativas e em encostas com escorrimientos d'água esporádicos formam-se tufas pendentes com forma de leque e com perfil convexo para cima, na forma de uma grande concha, originando cavidades acrescionais (cavidades primárias). Estas chegam a formar cavernas de grandes dimensões em seu interior, inclusive com formação de stalactites.

Micritas inconsolidadas (calcários pulverulentos)

As micritas são inconsolidadas e maciças, com conchas preservadas de moluscos aquáticos dos gêneros *Biophalaria*, *Phisa* e *Aquitanania*, viventes na região. Constituem depósitos de espessura variando de 0,5 a 6 metros, geralmente cobertos por camada de argila preta, situados às margens de rios atuais, sendo explorados para uso na agricultura e para ração animal.

Apresentam teores de MgO por volta de 1% e praticamente inexistem impurezas. Ao microscópio eletrônico de varredura, este material se apresenta na forma de uma trama de cristais prismáticos alongados com 10 a 15 m de comprimento e 1 m de diâmetro, como cristais de calcita, mineralogia esta identificada através de difratometria de raios X.

No caso dos depósitos situados na margem do Rio Formoso, interpreta-se que tenham sido originados em meandros abandonados do rio, formando uma série de depósitos isolados com volume ao redor de 300.000 m³ cada.

Davis (1900, 1901) originalmente denominou micritas inconsolidadas de lagos do Estado de Michigan (EUA) como *marl*, associando-as à atividade fotossintetizante de algas do gênero *chara*. Dean (1981) e Dean & Fouch (1983), estudando a formação destes depósitos em lagoas alcalinas, também considerou que o mais importante mecanismo de precipitação tenha sido a absorção de CO₂ pelo fitoplâncton (precipitação bio-induzida) e pela atividade de algas caráceas. Carbonatos semelhantes foram definidos como *shallow lake-fill deposits* (Chafetz & Folk, 1984) e o mesmo processo foi interpretado para carbonatos marinhos (*whiting*) das Bahamas (Robbins & Blackwelder, 1992).

A proliferação de algas caráceas em lagoas alcalinas seria devido ao fato destas empregarem os íons HCO₃⁻ na fotossíntese, como forma de obter o CO₂, já que este não se encontra livre nas águas bicarbonatadas. Por este motivo, existem locais onde as algas caráceas são as únicas plantas encontradas, uma vez que a ausência de CO₂ livre impossibilita a sobrevivência de demais plantas aquáticas (Tucker & Wright, 1990). Com a absorção do bicarbonato ocorre precipitação de carbonato na superfície e no interior dos talos das algas, sendo muito comuns também nos girogônios (órgão reprodutor feminino). Estas incrustações se desagregam facilmente, o que seria uma das possíveis causas da formação da lama calcária. No Planalto da Bodoquena, Scremen-Dias *et al.* (1999) identificaram as espécies *Chara rusbyana*, *Chara fibrosa* e *Nitella furcata* da família Caráceas,



Figura 3 – Talos de alga Carácea permineralizado com carbonato de cálcio (fotografia – Paulo Robson de Souza)

Figure 3 – Stems of Characeae algae permineralized with carbonate (photo – Paulo Robson de Souza).

Figura 4 – Tufa calcária estratificada

Figure 4 – Stratified tufa

Figura 5 – Talos de musgos em processo de incrustação carbonática (fotografia – Paulo Robson de Souza)

Figure 5 – Moss stems incrusted (photo – Paulo Robson de Souza).

Amostra	Idade anos	% carbono moderno	$\Delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}^{\text{0/0}}$	Identificação
AQDB-03-A3	2.130 ± 60	76.75 ± 0.62	-5.25	#619/CEN-1#266
AQDB-03-B3	2.420 ± 70	74.02 ± 0.60	-5.39	#620/CEN-1#267
AQDB-03-C3	3.410 ± 70	65.41 ± 0.57	-5.66	#621/CEN-1#268

Figura 6: Valores de idades obtidos pelo método ^{14}C .

Figure 6: Values of the ages obtained by ^{14}C method.

Figura 7: Valores isotópicos de C e O de tufas calcárias do vale do Rio Aquidaban.

Figure 7: C and O isotopic values of calcareous tufa from Aquidaban River Valley.

Tufas modernas	$\Delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}^{\text{0/0}}$	$\Delta^{18}\text{O}_{\text{PDB}}^{\text{0/0}}$	$\Delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}^{\text{0/0}}$
AQDB-02-C1	+20.517	-10.034	-8.319
AQDB-02-C2	+19.455	-11.063	-8.358
AQDB-02-C3	+22.165	-8.435	-8.211
AQDB-02-B1	+22.935	-7.688	-7.902
AQDB-02-B2	+23.145	-7.484	-7.836
AQDB-02-B3	+23.259	-7.373	-7.886
AQDB-02-A1	+22.970	-7.654	-6.872
AQDB-02-A2	+23.225	-7.406	-6.799
AQDB-02-A3	+23.211	-7.420	-7.413

Tufas antigas	$\Delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}^{\text{0/0}}$	$\Delta^{18}\text{O}_{\text{PDB}}^{\text{0/0}}$	$\Delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}^{\text{0/0}}$
AQDB-03-C1	+23.596	-7.046	-5.846
AQDB-03-C2	+23.962	-6.691	-4.400
AQDB-03-C3	+23.583	-7.059	-5.515
AQDB-03-B1	+23.917	-6.735	-5.872
AQDB-03-B2	+23.736	-6.911	-4.985
AQDB-03-B3	+23.813	-6.832	-4.793
AQDB-03-A1	+22.989	-7.635	-6.198
AQDB-03-A2	+23.482	-7.157	-6.078
AQDB-03-A3	+23.705	-6.941	-5.368

com predominância da primeira espécie formando extensos mantos sobre o leito dos rios. Emeis *et al.* (1987) supõem que a origem da lama micritica seria biogenética, associada à produção explosiva de algas planetônicas, as quais provocariam intensa absorção de CO_2 . Com o consumo excessivo deste gás, ocorreria elevação do pH e nucleação de partículas carbonáticas.

No caso dos depósitos do Rio Formoso, a acumulação da micrita em meandros abandonados promove a diminuição da profundidade do lago, resultando na formação de brejos ao final da deposição, os quais resultariam na deposição de camadas orgânicas superficiais. A presença da matéria orgânica promove a percolação de águas aciduladas, impedindo, assim, a consolidação da lama calcária o que torna também as conchas de moluscos frágeis.

No vale do Rio Salobra, a noroeste de Bonito, Turcq *et al.* (1987) obtiveram idade de 5.200 anos A. P. em conchas de gastrópodes e a idade de 2.150 anos A.P. em argila orgânica que recobre os depósitos carbonáticos.

ESTUDOS ISOTÓPICOS

Estudos vêm sendo desenvolvidos com a investigação da série de desequilíbrio do Urânio e dos isótopos de C e O, com resultados parciais em Ribeiro *et al.* (1999), Boggiani *et al.* (1999) e Ribeiro *et al.* (2001).

No lado oeste do Planalto da Bodoquena, próximo à Fazenda Baía das Garças, existe uma das poucas drenagens que nasce no planalto e que corre para oeste, denominado Rio Aquidaban. Esta drenagem forma na escarpa do Planalto uma das maiores cachoeiras da região, com cerca de 40 m de altura.

Nas proximidades desta cachoeira, foram coletadas amostras de tufas calcárias de depósitos atuais e de depósitos antigos, provenientes de um canal de drenagem abandonado. Datação pelo método ^{14}C das tufas antigas forneceram os valores de 2.130 e 3.410 anos A.P. (Figura 6), os quais devem ser interpretados com ressalvas devido ao fato de não representarem a idade de formação das tufas devido aos problemas de contaminação por carbono das águas bicarbonatadas (“efeito água dura”).

Nas tufas antigas, os valores de D¹⁸O_{PDB} variam de -6.7‰ a -7.8‰ e os de D¹³C_{PDB} de -4.4‰ a -5.9‰, enquanto que na tufas modernas, os dados de D¹⁸O_{PDB} se distribuem de -7.0‰ a -11.1‰ e os de D¹³C_{PDB} de -6.8‰ a -8.6‰ (Figura 7).

Os baixos valores de D¹⁸O_{PDB} das tufas modernas são coerentes com condições hidrológicas da drenagem, caracterizada por condições de fluxo de água contínuo, sem águas paradas, o que possibilitaria a concentração de ¹⁸O. A presença de valores também baixos de D¹⁸O_{PDB} nas tufas antigas conduz à interpretação de que as condições hidrológicas durante a formação destas seriam semelhantes às atuais. Portanto, se a idade fornecida pelas datações ¹⁴C forem corretas, é possível trabalhar com a hipótese de que as condições hidrológicas da região permaneceram sem modificações consideráveis pelo menos nos últimos 3.000 anos A. P (Boggiani *et al.*, 1999).

MEDIDAS DE PROTEÇÃO

Estudos desenvolvidos sobre tufas da Inglaterra e Alemanha (Viles *et al.*, 1994) identificaram que a deposição calcária havia declinado dramaticamente e que as tufas foram escurecidas, provavelmente em função de mudanças climáticas e influência humana.

O principal fator de influência no crescimento das tufas calcáreas, dentre outros conhecidos atualmente, refere-se à temperatura das águas. Além disso, a presença de magnésio, fosfato e certos componentes orgânicos, mesmo em baixas concentrações, podem inibir a precipitação da calcita. Contudo, atenção maior deve ser dada às condições de turbidez das águas, uma vez que o aumento deste parâmetro pode prejudicar o desenvolvimento das algas, às quais está associado o crescimento das tufas.

Até o momento, nenhuma medida vem sendo tomada no sentido de preservar as tufas calcárias da região, apesar de constituírem seus principais atrativos turísticos. Se nenhuma providência for tomada, existe o risco das mesmas sofrerem degradações irreversíveis, comprometendo a atividade turística que vem se tornando importante fonte de geração de emprego e renda na região.

Alterações na qualidade das águas já são visíveis em função dos desmatamentos, principalmente das florestas ripárias (matas ciliares), o que requer a implementação urgente de programas de recuperação de áreas degradadas na região.

Como medida compensatória pela construção do Gasoduto Bolívia – Brasil, foi criado o Parque

Nacional da Serra da Bodoquena, com área de 76.400 hectares. Esta área encontra-se na região central do Planalto, a qual constitui um maciço calcário rochoso que se destaca pelas maiores altitudes da região, onde as exposições rochosas dificultaram o avanço do desmatamento. Nesta área elevada infiltram as águas que abastecem os rios que cortam o Planalto, principalmente o Rio Formoso, de tal forma que a manutenção das condições ambientais desta parte da Serra da Bodoquena é fundamental para preservação das tufas calcárias.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Almeida, E.F.M. de 1943. Geomorfologia da região de Corumbá. *Boletim da Associação dos Geógrafos Brasileiros*, São Paulo, 3(3): 8-18.
- Almeida, E.F.M. de 1945. Geologia do sudoeste matogrossense. *Boletim da Divisão de Geologia e Mineralogia*, Departamento Nacional de Produção Mineral-DNPM, Rio de Janeiro, (116):1-118.
- Almeida, E.F.M. de 1954. Geologia do centro-leste mato-grossense. *Boletim da Divisão de Geologia e Mineralogia*, Departamento Nacional de Produção Mineral-DNPM, 150:1-97.
- Almeida, E.F.M. de 1965. Geologia da Serra da Bodoquena (Mato Grosso), Brasil. *Boletim de Geologia e Mineralogia*, Departamento Nacional de Produção Mineral-DNPM, Rio de Janeiro, (219):1-96.
- Andrews, J.E.; Riding, R.; Dennis, P.F. 1997. The stable isotope of environmental and climatic signals in modern terrestrial microbial carbonates from Europe. *Paleogeography, Paleoclimatology, Palaeoecology*, 129:171-189.
- 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. 1982. Folha SF-21- Campo Grande, 1-Geologia. Projeto RADAMBRASIL, Rio de Janeiro, v.28, p.9-124.
- Ayub, S.; Sallum Filho, W.; Ferreira, N.B.; Abreu, A.E.S.; Teixeira, A.I.G.P.; Eleuterio, T.S.H. 1996. Caracterização geoespeleológica preliminar das cavernas da porção central da Serra da Bodoquena, na região de Bonito, M.S. Relatório elaborado pelo Grupo Espeleológico da Universidade de São Paulo - GGE, 51 p., 11 mapas.
- Barbosa, O. 1957. Nota sobre a idade da Série Corumbá. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, Rio de Janeiro, 29(2):249-250.
- Beurlen, K.; Sommer, F.W. 1957. Observações estratigráficas e paleontológicas sobre o Calcário Corumbá. *Boletim da Divisão de Geologia e Mineralogia*, Departamento Nacional de Produção Mineral - DNPM, (168):1-35.
- Boggiani, P.C.; Coimbra, A.M. 1995. Quaternary limestone of the pantanal area, Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 67(3): 343-349.
- Boggiani, P.C.; Coimbra, A.M. 1998. Evolução da Bacia Corumbá (Neoproterozóico) no contexto de rift-drift do Supercontinente Pannotia. In: CONGRESO URUGUAYO DE GEOLOGIA, 2, Punta del Este, 1998. Actas..., Montevideo, Sociedad Uruguaya de Geología, Facultad de Ciencias, 259-262.
- Boggiani, P.C.; Fairchild, T.R.; Coimbra, A.M. 1993. O Grupo Corumbá (Neoproterozóico-Cambriano) na região Central

- da Serra da Bodoquena, Mato Grosso do Sul (Faixa Paraguai). *Revista Brasileira de Geociências*, 23(3):301-305.
- Boggiani, P.C.; Atêncio,D.; Karmann,I. 1986. Carbonatos secundários da gruta do Lago Azul (Bonito, MS): nesquonita, hidromagnesita, aragonita e calcita. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 34, Goiânia, GO. Sociedade Brasileira de Geologia. Boletim de Resumos:117.
- Boggiani, P.C.; Sial,A.N.; Coimbra,A.M.; Ferreira,V.P. 1997. The carbon and oxygen isotope record of Neoproterozoic carbonate rocks of the Paraguay Fold Belt (Central South America). In: SIMPÓSIO SULAMERICANO DE GEOLOGIA ISOTÓPICA, Campos do Jordão, 1997, CEPEGEO-IGUSP. Extended Abstracts:57-59.
- Boggiani, P.C.; Coimbra, A.M.; Ribeiro,F.R.; Flexor,J-M.; Sial,A.N.; Ferreira,V.P. 1998. Significado paleoclimático das Lentes Calcárias do Pantanal do Miranda - Mato Grosso do Sul. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 40, Belo Horizonte, 1998, Sociedade Brasileira de Geologia. Anais: 88.
- Boggiani, P.C.; Sial, A.N.; Ribeiro, F.R.; Flexor,J-M.; Roque,A.; Ferreira,V.P. 1999. Paleoenvironmental indications from stable isotopes in freshwater Quaternary limestones in the Bodoquena Plateau, Central South America. In: SIMPÓSIO SUDAMERICANO DE GEOLOGIA ISOTÓPICA, Ciudad de Villa Carlos Paz, 1999, Buenos Aires, Associação Geológica Argentina e outras. Actas, 1:380-382.
- Boggiani, P.C.; Coimbra, A.M.; Hachiro,J. 1996. Evolução Paleogeográfica do Grupo Corumbá (Neoproterozóico). In: Congresso Brasileiro de Geologia, 39, Salvador, 1996, SBG. Anais: 6:132-134.
- Boulangé,B.; Vargas,C.; Rodrigo,L.A. 1981. La sédimentation actuelle dans le lac Titicaca. *Rev. Hydrobiol. trop.*, 14(4): 299-309.
- Branner,J.C. 1910. Agraded Limestone Plain of the Interior of Bahia and the Climatic Changes Suggested by them. *Geological Society American Bulletin*, 2(2): 187-206. (Texto traduzido por Telmo Rodrigues e Leopoldo Barreto, Publicação Especial n. 1. Sociedade Brasileira de Geologia, Núcleo Bahia, 1977, 31-50).
- Buccino,G.; D'Argenio,B.; Ferreri,V.; Brancaccio,L.; Ferreri,M.; Panichi,C.; Stazione,D. 1978. I travertine della basse valle del tanagro (Campania) . *Studio geomorfologico, sedimentologico e geochimico. Boll. Soc. Geol. Ital.* 98: 617-646.
- Casanova,J.; Hillaire-Marcel,C. 1992a. Chronology and paleohydrology of Late Quaternary High Lake Levels in the Manyara Basin (Tanzania) from isotopic data (^{18}O , ^{13}C , ^{14}C , Th/U) on fossil stromatolites. *Quaternary Research*, 38: 205-226.
- Casanova, J.; Hillaire-Marcel, C. 1992b. Late Holocene hydrological history of Lake Tanganyika, East Africa, from isotopic data on fossil stromatolites. *Palaeogeogr., Palaeoclimat., Palaeocol.*, 91: 35-48.
- Chafetz,H.S.; Folk,P.L. 1984. Travertines: Depositional morphology and the bacterially constructed constituents. *Journal of Sedimentary Petrology*, 54(1): 289-316.
- Corrêa,J.A.; Correia Filho,F.C.L.; Cislewski,G.; Neto,C.; Cavallon,L.A.; Cerqueira,N.L.S.; Nogueira,V.L. 1979. Geologia das regiões Centro e Oeste de Mato Grosso. Projeto Bodoquena. Departamento Nacional de Produção Mineral-DNPM/CPRM. Série Geologia Básica nº 3, 111p., mapa geológico esc. 1:250 000.
- Davis,C.A. 1900. A contribution to the natural history of marl. *Jour. of Geology*, 8: 485-497.
- Davis, C.A. 1901. A second contribuition to the natural history of marl. *Jour. Geology*, 9:491-506.
- Dean, W.E. 1981. Carbonate minerals and organic matter in sediments, of modern north temperate hard-water lakes. In: Ethridge, G.F. & Flores, R.M. ed. *Recent and ancient nonmarine depositional environments: models for explorations*. SEPM, Special Publication, 31:213-231.
- Dean,W.E.; Fouch,T.D. 1983. Lacustrine environment. In: P.A. Scholle & C.H. Moore (eds.) *Carbonate Depositional Environments*, AAPG Memoir 33: 98-130.
- Duarte, L. & Vasconcelos, M.E.C. de. 1980a. Vegetais do Quaternário do Brasil, I – Flórida de Russas, CE. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 52(1): 37-48.
- Duarte, L. & Vasconcelos, M.E.C. de. 1980b. Vegetais do Quaternário do Brasil, II – Flórida de Umbuzeiro, PB. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 52(1): 93-108.
- Emeis, K.C.; Richnow, H.H.; Kempe, S. 1987. Travertine formation in Plitvice National Park, Yugoslavia:chemical versus biological control. *Sedimentology*, 34: 595-609.
- Fairchild, T.R.; Sallun Filho, W.; Sallun, A. E.M.; Boggiani, P.C.; Hidalgo, R.L.L. 1999. Revisão da biota fóssil do Grupo Corumbá (MS), limite Neoproterozóico-Cambriano. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PALEONTOLOGIA, 16. Boletim de Resumos, Crato, p.42.
- Ford, T.D. & Pedley, H.M. 1996. A review of tufa and travertine deposits of the world. *Earth-Science Reviews*, 41:117-175.
- Folk, R. L. 1993. SEM imaging of bacteria and nannobacteria in carbonate sediments and rocks. *Journal of sedimentary Petrology*, 63(5): 990-999.
- Gnaspini Netto, P.; Trajano, E.; Sánchez L.E. 1994. Província espelhística da Serra da Bodoquena, MS: exploração, topografia e biologia. *Espelo-Tema*, 17:19-44.
- Guo, L.; Riding, R. 1994. Origin and diagenesis of Quaternary travertine shrub fabrics, Rapolano Terme, central Italy. *Sedimentology*, 41: 499-520.
- Hahn, G.; Pflug, H.D. 1985. Die Cloudinidae n. fam.; Kalk-Röhren aus dem Vendium und Unter-Kambrium. *Seckenbergiana lethaea*, 65(4/6):413-431.
- Hahn, G.; Hahn, R.; Pflug, H.D.; Leonards, O.H.; Walde, D.A.G. 1982. Körplich erhaltene scyphozoen - reste aus dem Jungpräkambrium Brasiliens. *Geologica et Paleontologica*, 16:1-18.
- Lino, C.F.; Boggiani, P.C.; Cortesa J.; J. Gödoy, N.M.; Karmann, I. 1984. Projeto Grutas de Bonito. Diretrizes para um plano de manejo turístico. Relatório inédito, SPAN/MS-TUR. 212 p, mapas.
- Lisboa, M.A.R. 1909. Oeste de São Paulo, Sul de Mato Grosso; geologia, indústria mineral, clima, vegetação, solo agrícola, indústria pastoral. Rio de Janeiro, TYP. do Jornal do Commercio, 172 p.
- Mendes,J.C. 1957. Grutas calcárias na Serra da Bodoquena, Mato Grosso. *Boletim. Paulista de Geografia*, 25: 70-77.
- Nogueira , V. L.; Oliveira, C.C.; Figueiredo J.A.; Corrêa Filho, F.C.L.; Seoslewski, N. G.; Souza, M.R.; Moraes Filho, J.C.R.; Leite, E.A.; Souza, N.B.; Souza, J.O.; Cerqueira, N.L.S.; Vanderlei, A.A.; Takaschi, A.T.; Abreu Filho, W.; Rosito, J.; Olivatti, O.; Hausen, J.E.P.; Gonçalves, G.N.D.; Ramalho, R.; Pererira L.C.B. 1978. Projeto Bonito-Aquidauana. Relatório Final. Goiânia, DNPM/CPRM, 14 v. (Relatório do Arquivo Técnico da DGM, 2744).
- Oliveira, J.E. & Boggiani, P.C. 1999. (Re)Pensando a Origem dos Aterros do Pantanal à Luz da Arqueologia e da Geologia. In: REUNIÃO CIENTÍFICA DA SOCIEDADE DE ARQUEOLOGIA BRASILEIRA, 10, Resumos... Recife, FASA, 1999, p.167.

- Oliveira, A.I. & Leonardo, O.H. 1943. *Geologia do Brasil*. 2^a edição revisada e atualizada. Rio de Janeiro, Serviço de Informação Agrícola, 1943, 813 p.
- Paiva G. de & Leinz, V. 1939. Contribuição para a geologia do petróleo no sudoeste de Mato Grosso. *Boletim da Divisão de Fomento e Produção Mineral*, Departamento Nacional da Produção Mineral-DNPM, (37), 99p.
- Penha, A. E. P.P. & Leão, Z.M.A.N. 1996. Origem e evolução de um perfil calcareo, Ouricuriá, Bahia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 39, Salvador, 1996. *Anais...SBG*, v. 1, p.121-124.
- Pentecost, A. 1996. The quaternary travertine deposits of Europe and Asia Minor. *Quatern. Sci. Reviews*, 14: 1005-1028.
- Putzer, H. 1961. Formação de crostas quaternárias na América do Sul. *Engenharia, Mineração e Metalurgia*, 33(193): 13-18.
- Ribeiro, F. B.; Roque A.; Boggiani, P.C.; Flexor, J.-M. 1999. Uranium and thorium series disequilibrium in quaternary carbonate deposits from the serra da bodoquena and pantanal do miranda, Mato Grosso do Sul, Central Brazil. In: *Actas, Simposio Sudamericano de Geología Isotópica*, Ciudad de Villa Carlos Paz, 1999, Buenos Aires: Asociación Geológica Argentina e outras, v. 1, p.383-386.
- Ribeiro, F. B.; Roque A.; Boggiani, P.C.; Flexor, J.-M. 2001. Uranium and Thorium series disequilibrium in Quaternary carbonate deposits from the Serra da Bodoquena and Pantanal do Miranda, Mato Grosso do Sul State, Central Brazil. *Applied Radiation and Isotopes*, 54(1): 153-173.
- Robbins, L.L. & Blackwelder, P.L. 1992. Biochemical and ultrastructural evidence for the origin of whittings: a biologically induced calcium carbonate precipitation mechanism. *Geology*, 20: 464-468.
- Sermin-Dias, E.; Pott, V.J.; Hora, R.C.; Souza, P.R. de 1999. *Nos Jardins Suspensos da Bodoquena – Guia para identificação de plantas aquáticas de Bonito e região*. Editora UFMS, Campo Grande, MS, 160p.
- Soubiès, F.; Sondag F., Santos R.V. dos, Boggiani, P.C. 1999. Estudo de paleoclima continental com base em espeleotemas: primeiros resultados das pesquisas em andamento no IG/UNB. In: CONGRESSO DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ESTUDOS DO QUATERNÁRIO, Porto Seguro, 1999, Resumos..., São Paulo, ABEQUA, vol. 1, p.34.
- SUGUIÓ, K.; BARCELOS, J.H.; MATSUI, E. 1980. Significados paleoclimáticos e paleoambientais das rochas calcárias da Formação Caatinga (BA) e do Grupo Bauru (MG/SP). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, SBG, 31, Balneário Camboriú, *Anais*, 1: 607-617.
- Taddeucci, A.; Tuccimei, P.; Voltaggio, M. 1994. Series dating of espeleothems and travertines from Esino River Valley (Central Italy) and their paleoclimatic and geomorphic significance. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON GEOCHRONOLOGY, COSMOCHRONOLOGY AND ISOTOPE GEOLOGY, 8, Berkeley California, USA, *Abstracts*, v.1, p. 313.
- Tucker, M. & Wright, V.P. 1990. *Carbonate Sedimentology*. Blackwell Scientific Publications, Oxford, 479 p.
- Turcq, B.; Suguió, K.; Soubiès, F.; Servant, M.; Pressinotti, M.N. 1987. Alguns terraços fluviais do Sudeste e do Centro-Oeste brasileiro datados por radio-carbono: possíveis significados paleoclimáticos. In: CONGRESSO DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ESTUDOS DO QUATERNÁRIO - ABEQUA, 1, Porto Alegre, *Anais*, p. 379-392.
- Viles, H.; Goudie, A.; Pentecost A. 1994. The sensitivity of tufas to human interference – INTERNATIONAL SYMPOSIUM CHANGING KARST ENVIRONMENTS, *Abstracts..., Cave & Karst Science*, 21(1):21.
- Walde, D.H.G.; Leonards, O.H.; Hahn, G.; Hahn, R.; Pflug, H. 1982. The first Precambrian megafossil from South America, *Corumbella wernerii*. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 54(2):461.
- Zaine, M.F. & Fairchild, F.R. 1985. Comparison of *Autophycus lucianoi*, Beurlen & Sommer from Ladário (MS) and the genus *Cloudina*, Germs, Ediacaran of Namibia. *Anais de Academia Brasileira de Ciências*, Resumo das Comunicações, 57(1):130.
- Zaine, M. F. & Fairchild, T.R. 1987. Novas considerações sobre os fósseis da Formação Tamengo, Grupo Corumbá, SW Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PALEONTOLOGIA, 10, Rio de Janeiro, 1987 *Resumo das Comunicações...* Rio de Janeiro, Sociedade Brasileira de Paleontologia , p. 54.

¹ Departamento de Geologia Sedimentar e Ambiental do Instituto de Geociências da USP - boggiani@usp.br

² Instituto de Geociências – USP - *In memoriam*

³ Laboratório de Isótopos Estáveis – LABISE-UFPE - 14ans@npd.ufpe.br

⁴ Instituto Astronômico e Geofísico – USP

⁵ Observatório Nacional