

ICNOFÓSSEIS (PALEOTOCAS E CROTOVINAS) ATRIBUÍDOS A MAMÍFEROS EXTINTOS NO SUDESTE E SUL DO BRASIL

FRANCISCO SEKIGUCHI BUCHMANN

UNESP, Praça Inf. D. Henrique, s/nº, 11330-900, São Vicente, SP, Brasil. *buchmann@clp.unesp.br*

RENATO PEREIRA LOPES

Instituto de Oceanografia, FURG, Campus Carreiros, Av. Itália, km 08, 96201-900, Rio Grande, RS, Brasil.
paleonto_furg@yahoo.com.br

FELIPE CARON

Programa de Pós Graduação em Geociências, Instituto de Geociências, UFRGS, Av. Bento Gonçalves, 9500, 91509-900,
Porto Alegre, RS, Brasil. *caronfelipe@yahoo.com.br*

ABSTRACT – ICHNOFOSSILS (PALEO-BURROWS AND CROTOVINES) ATTRIBUTED TO EXTINCT MAMMALS IN SOUTHEASTERN AND SOUTH BRAZIL. This work presents information regarding tunnels which are attributed to large extinct mammals. These structures can be found in several places in southeastern and southern Brazil, in different types of substrate, occurring as hollow structures (paleo-burrows) or those filled with sediments (crotovines). The dimensions and osteoderm and claw imprints found along the internal walls of the paleo-burrow found on alluvial fan deposits near the town of Cristal (Rio Grande do Sul State) suggest that a dasypodid xenarthran might have dug this structure. Comparison with similar structures found in Argentina can provide more detailed information regarding the paleoecology and biostratigraphy of the organisms that made these burrows.

Key words: ichnofossils, paleo-burrows, crotovines, Xenarthra, Dasypodidae.

RESUMO – Neste trabalho são apresentadas informações sobre túneis atribuídos a grandes mamíferos extintos. Essas estruturas são encontradas em diversos locais do sudeste e sul do Brasil, ocorrendo em diferentes tipos de substratos, desobstruídas (paleotocas) ou preenchidas por sedimentos (crotovinas). A paleotoca encontrada no município de Cristal (RS) foi escavada nos depósitos de leques aluviais terciários e marcas de garras e impressões da carapaça podem ser vistas ao longo da superfície interna da galeria. As dimensões da estrutura, as marcas de escavação e marcas de osteodermos presentes ao longo das paredes da paleotoca sugerem que tenha sido produzida por um xenartro dasipodídeo. A comparação com estruturas similares encontradas na Argentina pode fornecer informações mais detalhadas a respeito da paleoecologia e bioestratigrafia dos organismos responsáveis por sua escavação.

Palavras-chave: icnofósseis, paleotocas, crotovinas, Xenarthra, Dasypodidae.

INTRODUÇÃO

Icnofósseis de vertebrados terrestres constituídos por marcas de deslocamento fossilizadas, principalmente rastros e pegadas, são feições relativamente comuns no registro fossilífero. No território brasileiro, são registrados icnofósseis associados a diversos tipos de vertebrados, em variados paleoambientes, como: mesossauros em ambiente marinho da Formação Irati (Sedor & Silva, 2004) e répteis terrestres da Formação Rio do Rastro (Leonardi *et al.*, 2002), ambas do Permiano; lacertóides em ambiente fluviais triássicos da Formação Santa Maria (Silva *et al.*, 2008); tetrápodes do Jurássico em arenitos de origem desértica das formações Guará e

Botucatu (Leonardi & Carvalho, 1999; Schultz *et al.*, 2002); dinossauros do Cretáceo em sedimentos fluviais, aluviais, lacustres e costeiros nas bacias da região nordeste (Carvalho, 2004); e um urólito atribuído a dinossauros (Fernandes *et al.*, 2004).

Com relação a mamíferos, os primeiros icnofósseis registrados no Brasil são grandes estruturas registradas por Bergqvist & Maciel (1994) e Buchmann *et al.* (2003). Essas estruturas ocorrem na forma de galerias com 1,5 m de diâmetro e dezenas de metros de comprimento, e são classificadas em dois tipos: paleotocas, quando se encontram desobstruídas, possibilitando acesso ao seu interior, e crotovinas, quando estão preenchidas por sedimento.

Buchmann *et al.* (2008) identificaram paleotocas em siltitos permianos e arenitos jurássicos no estado de Santa Catarina e Frank *et al.* (2008a,b) em basaltos alterados no estado do Rio Grande do Sul. A maioria das paleotocas foi escavada em rochas alteradas, ou seja, escavadas no saprolito. O termo saprolito refere-se ao manto de alteração de rochas, onde minerais primários e secundários constituem o material em alteração pela ação do intemperismo; apresentam desenvolvimento *in situ* e isovolumétrico, mantendo a estrutura e textura da rocha de origem (Cremeens *et al.*, 1994; Oliveira, 2001; Eggleton, 2001).

Uma vez que são consideradas estruturas de moradia temporária ou permanente, podem ser incluídas na classe etológica *Domichnia* (Seilacher, 1953; Frey, 1975; Bromley, 1990). No registro fossilífero, estruturas desse tipo também foram atribuídas a arcossauro-morfos, terapsídeos e cinodontes permo-triássicos (Groenwald *et al.*, 2001; Smith & Swart, 2002; Damiani *et al.*, 2003; Abdala *et al.*, 2006) e dinossauros cretácicos (Varrichio *et al.*, 2007). Por serem evidência de comportamento e potencialmente conterem fósseis preservados em seu interior, são valiosas fontes de dados paleoecológicos e paleobiológicos sobre as espécies que as produziram.

As paleotocas e crotovinas na América do Sul foram primeiramente descritas em afloramentos do litoral argentino entre as cidades de Mar del Plata e Miramar (Província de Buenos Aires), em sedimentos arenolamosos de coloração castanha amarelada a castanho avermelhada, de idade Plio-Pleistoceno (Ameghino, 1908; Kraglievich, 1952). Nestes afloramentos, são encontrados icnofósseis com diâmetros entre 0,7 e 1,5 m, inicialmente atribuídos a xenartros

dasipodídeos (Zárate & Fasano, 1989; Quintana, 1992; Zárate *et al.*, 1998; Vizcaíno *et al.*, 2001). Estruturas menores, com cerca de 13 cm de diâmetro, foram associadas à atividade de micromamíferos, como os roedores do gênero *Actenomys* (Rodentia, Octodontidae) e outros animais cavadores extintos de pequeno porte (Genise, 1989). O trabalho de Genise (1989) analisou cerca de 200 crotovinas; o abundante registro de icnofósseis com seus construtores (*Actenomys*) no interior das galerias gerou estudos sobre a morfologia funcional e a paleobiologia desses organismos, possibilitando inferir a evolução do modo de vida subterrâneo (Santis & Morcira, 2000; Fernández *et al.*, 2000).

Os objetivos deste artigo são apresentar uma descrição e caracterização da morfologia superficial interna das paleotocas e crotovinas que ocorrem em diversos locais e tipos de substratos no sudeste e sul do Brasil, e tentar estabelecer uma correlação genética com icnofósseis similares descritos na Argentina.

LOCALIZAÇÃO E CONTEXTO GEOLÓGICO

Os icnofósseis aqui descritos foram encontrados em municípios dos estados de São Paulo e do Rio Grande do Sul (Figura 1, Tabela 1). Em São Paulo, duas crotovinas foram registradas, uma no município de Mogi-Mirim, próximo à nascente do rio Itapanhaú, escavada em domínio geomorfológico de leque aluvial da formação Serra do Mar, e outra em Apiaí, próxima ao rio Ribeira de Iguape, em metacalcários eonoproterozóicos alterados associados às sequências metassedimentares do Grupo Açungui (Karmann & Ferrari, 2005).

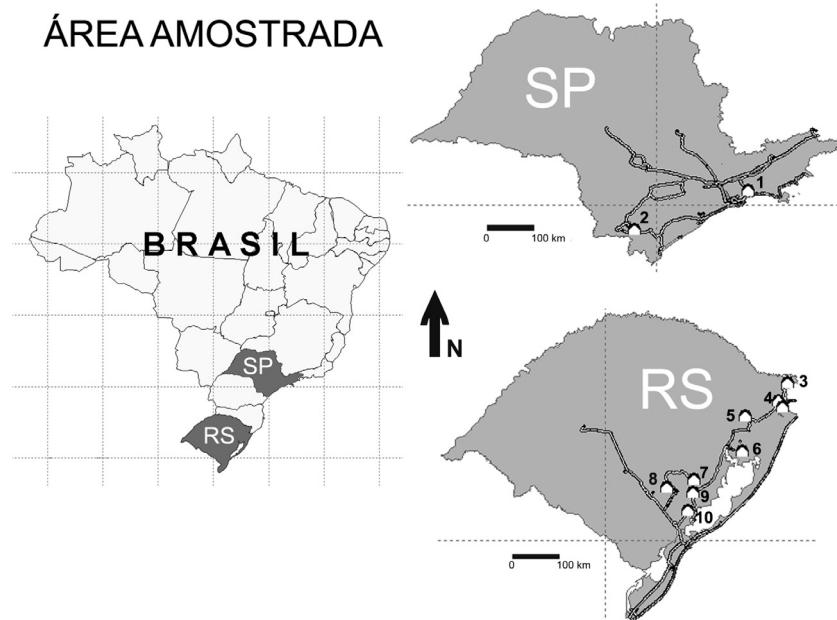


Figura 1. Mapa de localização das paleotocas e crotovinas nos estados de São Paulo e Rio Grande do Sul. 1, Mogi Mirim; 2, Apiaí; 3, São José dos Ausentes; 4, Cambará do Sul; 5, Gramado; 6, Viamão; 7, Chuvisca; 8, Encruzilhada do Sul; 9, Cristal; 10, São Lourenço do Sul.

Figure 1. Location of the paleo-burrows and crotovines in the states of São Paulo and Rio Grande do Sul. 1, Mogi Mirim; 2, Apiaí; 3, São José dos Ausentes; 4, Cambará do Sul; 5, Gramado; 6, Viamão; 7, Chuvisca; 8, Encruzilhada do Sul; 9, Cristal; 10, São Lourenço do Sul.

No Rio Grande do Sul, o registro é mais abundante, com ocorrência de duas paleotocas e 24 crotovinas. No município de São Lourenço do Sul foi encontrada uma crotovina em rocha granítica neoproterozóica alterada associada, segundo Fragoso-César *et al.* (1986), ao Escudo Sul-Riograndense. Nos municípios de Cambará do Sul, São José dos Ausentes e Gramado, as estruturas ocorrem em rochas basálticas alteradas da Formação Serra Geral, cuja origem é relacionada ao vulcanismo resultante do processo de separação entre América do Sul e África no Cretáceo (segundo Erlank *et al.*, 1984; Bellieni *et al.*, 1984; Roisenberg & Viero, 2000). Nos municípios de Encruzilhada do Sul, Chuvisca e Cristal foram registradas crotovinas e paleotocas em arcossios associados ao Sistema de Leques Aluviais, depósitos sedimentares oriundos de processos de fluxo de grão em encosta ocorridos principalmente durante o Terciário, de acordo com Tomazelli & Villwock (2000). No município de Viamão, essas estruturas ocorrem em depósitos eólicos pleistocênicos associados ao Sistema Laguna-Barreira I, formado durante um evento transgressor marinho há cerca de 400 ka AP (Villwock *et al.*, 1986).

METODOLOGIA

Em todos os locais estudados, as paleotocas e crotovinas encontram-se expostas nas margens de rodovias. A identificação e a descrição dos icnofósseis envolveram uma sequência de etapas resumida na Figura 2. Quando localizadas, sua posição geográfica foi determinada com o uso de GPS modelo *Etrex Legend* da marca *Garmin*, que, posteriormente, permitiu correlacionar os afloramentos dentro do contexto geológico regional. Procurou-se determinar os aspectos da geomorfologia (relevo, cursos d'água) dos terrenos próximos aos icnofósseis. Descreveu-se a alteração (intemperismo), textura, coloração das rochas e /ou sedimentos que se encontravam circundando o icnofóssil. Consideraram-se distintas abordagens no estudo das paleotocas e crotovinas, devido à ausência ou presença de preenchimento.

No caso das paleotocas, a possibilidade de acesso ao interior permitiu o levantamento topográfico, metro a metro,

com o uso de bússola, trena e nível tomando-se medidas de rumo, largura, altura, elevação e comprimento. Quando a paleotoca encontrava-se com água pluvial acumulada foi usado um bote inflável para entrar no interior da galeria e transportar o material de campo. Uma bomba submersa e um gerador a gasolina foram usados para drenar a água acumulada no interior das paleotocas. As análises tiveram como objetivo a descrição das dimensões e estrutura interna da galeria (morfologia, orientação, ramificações) que permitiram visualizar seu posicionamento espacial. Foram feitos registros fotográficos da estrutura interna e das marcas observadas ao longo das paredes, e foram feitos moldes em silicone, a partir dos quais obtiveram-se réplicas em gesso. A classificação das marcas atribuídas à ação biogênica foi feita a partir da comparação das descrições obtidas da literatura.

No estudo das crotovinas, os depósitos resultantes do preenchimento interno foram caracterizados quanto a sua estrutura (maciço, estratificado) e litologia (textura, coloração, discordâncias). Essas análises possibilitaram avaliar os processos deposicionais envolvidos no preenchimento sedimentar das galerias.

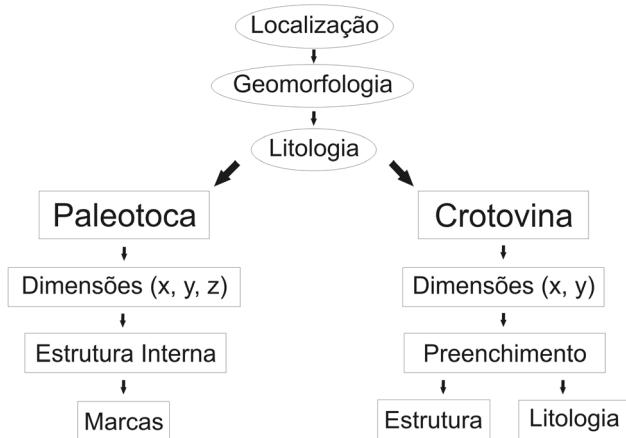


Figura 2. Quadro resumo da metodologia aplicada a este estudo.

Figure 2. Summary of the methodology applied to this study.

Tabela 1. Localização das paleotocas e crotovinas.

Table 1. Paleo-burrow and crotovine locations.

	Município	Coordenada UTM	Substrato
01 crotovina	Mogi Mirim (SP)	23K 389557/7378132	sedimento aluvial
01 crotovina	Apiaí (SP)	22J 758554/7282076	metacalcário alterado
06 crotovinas	São José dos Ausentes (RS)	22J 603531/6830951	basalto alterado
02 crotovinas		22J 584604/6788390	basalto alterado
01 paleotoca	Cambará do Sul (RS)	22J 592529/6774245	basalto alterado
03 crotovinas	Gramado (RS)	22J 512869/6751538	basalto alterado
01 crotovina	Encruzilhada (RS)	22J 345969/6579994	sedimento aluvial
01 crotovina	Chuvisca (RS)	22J 403663/6599913	sedimento aluvial
02 crotovinas	Viamão (RS)	22J 505780/6668870	areia siltico-argilosa
03 crotovinas	São Lourenço do Sul (RS)	22J 390467/6526560	granito alterado
06 crotovinas			
01 paleotoca	Cristal (RS)	22J 400269/6570572	sedimento aluvial

RESULTADOS

Paleotocas

Nos municípios de Cristal e Cambará do Sul (RS), foram registradas duas estruturas em forma de galeria, não preenchidas, interpretadas como paleotocas. Em Cristal, a paleotoca se encontrava exposta em um barranco às margens da BR-116, que foi escavado em 2003 para construção de um paradouro; segundo informações dos operários da obra, cerca de 30 m da paleotoca foram destruídos durante a escavação do barranco da estrada (talude). A área do afloramento em que se encontram as estruturas mede cerca de 30 m de largura e 10 m de altura. A matriz sedimentar em que as estruturas foram escavadas consiste em areias grossas em matriz silticó-argilosa maciça, de natureza arcoseana, resultante da alteração de rochas graníticas do Escudo Sul-Riograndense e depositada em leques aluviais (Tomazelli & Villwock, 2000). Esta paleotoca tem sua entrada semipreenchida por sedimento (Figura 3). Os primeiros 8 m da galeria encontravam-se parcialmente cheios de água, o restante encontrava-se totalmente desobstruído, o que possibilitou o acesso até o final da paleotoca. O levantamento topográfico revelou um túnel com 33 m de comprimento, pouco sinuoso, com alinhamento norte-sul e apresentando uma ramificação transversal em sua porção média (Figura 4). Ao todo, foram feitas 33 medidas (Tabela 2), que mostraram largura média de 1,46 m e altura média de 0,9 m. A

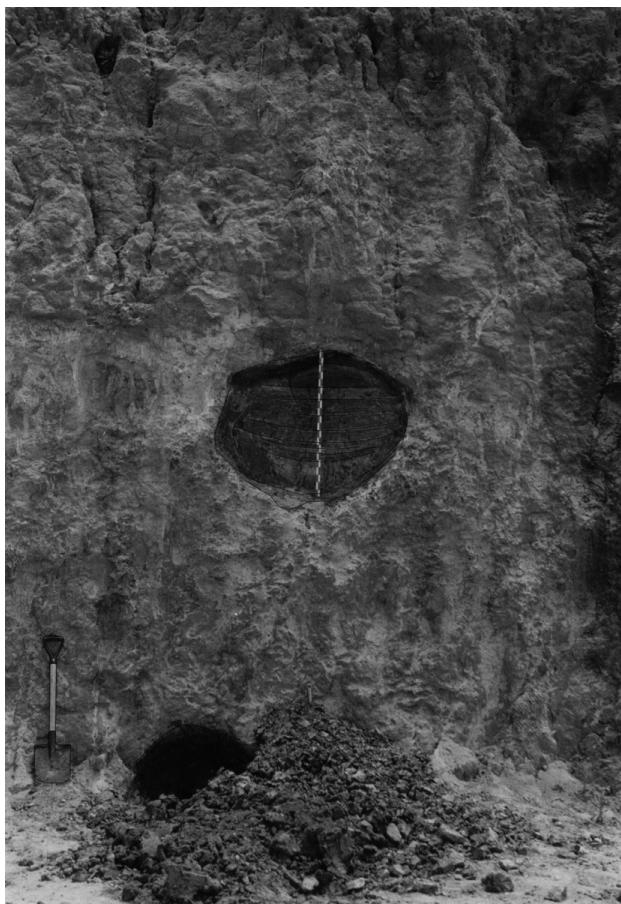


Figura 3. A paleotoca (na porção inferior da foto) e uma crotovina encontradas próximo a Cristal (RS).

Figure 3. The paleo-burrow (in the lower portion of the photo) and a crotovine found near Cristal town (RS).

maior e menor largura foram, respectivamente, de 2,13 m e 1,18 m; a máxima e mínima altura foram de 1,13 m e 0,68 m. A seção transversal da paleotoca varia de subcircular a sub-elíptico (Figura 5). A diferença altimétrica mostrou um desnível ascendente de 2 m entre a entrada e o final da galeria. As áreas com maior largura e formato arredondado foram consideradas como sendo câmaras de giro. A ramificação transversal mede 3,5 m de comprimento e apresenta largura média 0,82 m e altura média de 0,78 m, variando entre 0,7 m e 1,15 m de altura.

A natureza silticó-argilosa da matriz sedimentar da paleotoca de Cristal (RS) permitiu que ficassem impressas ao longo das paredes internas diversas marcas paralelas feitas pelo organismo construtor, mais bem preservadas nas porções média e final da galeria. Foram registrados dois tipos de marcas: cristas paralelas longas e estreitas, e sulcos curtos e profundos. As cristas paralelas longas e estreitas (marca Tipo I), são múltiplas (até 10 marcas paralelas), medem entre 10 a 14 mm de largura divididas por cristas de 2 a 3 mm de altura destacando-se da parede (Figuras 6A, B). Os sulcos curtos e profundos (marca Tipo II), ocorrem em grupos de 3 ou 4 sulcos, têm cerca de 30 a 40 mm de largura e 12 mm de profundidade, sulcando a parede (Figura 6C).

A paleotoca de Cambará do Sul (RS) foi parcialmente destruída durante a construção da estrada RS 427, encontrando-se exposta no talude. A rocha matriz basáltica apresenta-se em condição friável, parcialmente desagregada devido o intemperismo. Seu perfil é semicircular, devido ao preenchimento parcial na base por sedimento inconsolidado, depositado no interior da estrutura. As medidas internas revelaram uma galeria com largura em torno de 1,6 m, altura de 1,2 m e 6,5 m de comprimento, sem ramificações. Também foram observadas marcas curtas e profundas (marca Tipo II) ao longo da superfície da galeria.

Crotovinas

No total, foram identificadas 26 galerias preenchidas classificadas como crotovinas, duas em São Paulo e 24 no Rio Grande do Sul. As crotovinas são caracterizadas pelo preenchimento total ou quase total por sedimentos transportados para o interior da estrutura.

As crotovinas encontradas no município de Mogi-Mirim encontram-se em sedimentos de leques aluviais; no município de Apiaí, foram registradas em metacalcários alterados, associados às seqüências metassedimentares do Grupo Açuengui.

No município de Cristal (RS), as seis crotovinas estão inseridas em arcossios associados ao Sistema de Leques Aluviais, depósitos sedimentares oriundos de processos de fluxo de grão em encosta ocorridos principalmente durante o Terciário (Tomazelli & Villwock, 2000). As crotovinas de Cristal foram encontradas no mesmo afloramento da paleotoca. Distinguem-se da matriz circundante pela diferença na textura, coloração e estratificação do sedimento que as preenche. Das diversas crotovinas encontradas, uma encontrava-se muito bem preservada, sem alterações significativas por intemperismo, o que possibilitou uma análise detalhada do preenchimento (Figura 7). Foram observadas camadas milimétricas a decimétricas de lama e areia grossa, com cores que variavam do bege-claro a marrom-avermelhado. Também foram observadas fendas de ressecamento nas camadas lamosas, posteriormente preenchidas por areia.

Nos municípios de São José dos Ausentes, Gramado e Cambará do Sul (RS) as estruturas ocorrem em rochas basálticas alteradas da Formação Serra Geral. As seis crotovinas de São José dos Ausentes encontram-se inteiramente preenchida por sedimentos arenolamosos, de coloração bege a marrom-claro. Uma destas estruturas apresenta evidências de bioturbação, na forma de escavações posteri-

ores em forma circular a oval, preenchidas por sedimentos maciços de coloração distinta (Figura 8). Possivelmente, representam reocupações sucessivas da mesma estrutura por organismos menores, após a morte ou abandono pelo organismo construtor original (crotovina dentro de crotovina). As outras crotovinas apresentam preenchimento maciço, sem estruturas de bioturbação.

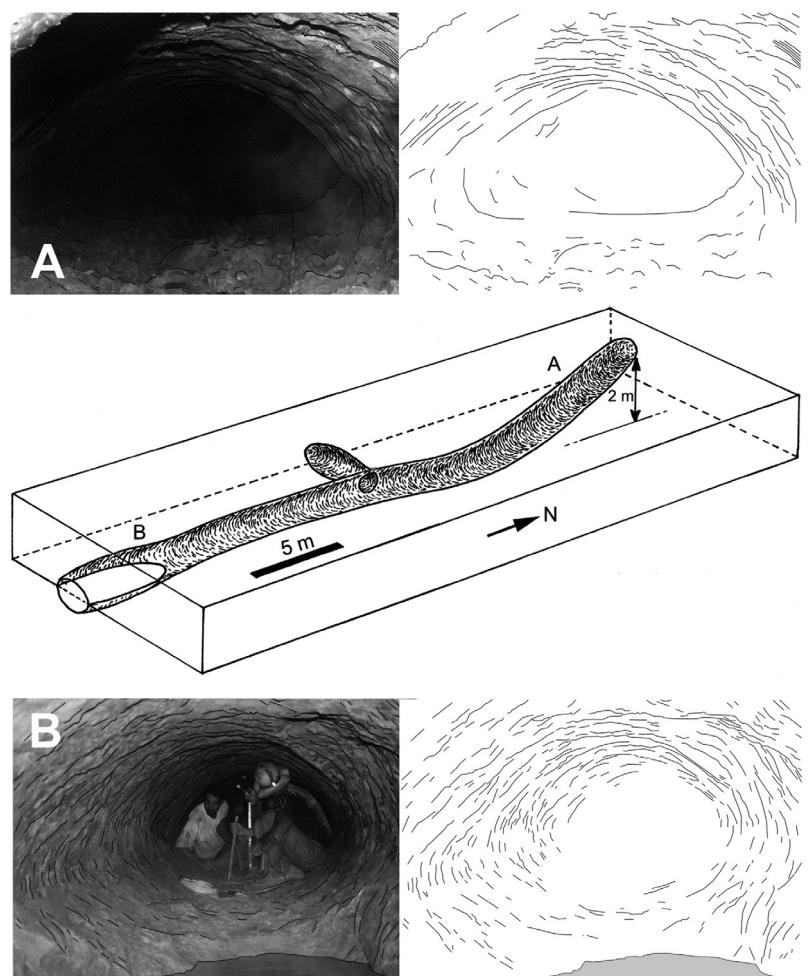


Figura 4. Representação gráfica da paleotoca de Cristal (RS). **A**, interior da estrutura; **B**, entrada semi-inundada.

Figure 4. Graphic representation of the paleo-burrow in Cristal town (RS). **A**, inside; **B**, the entrance, half-flooded.

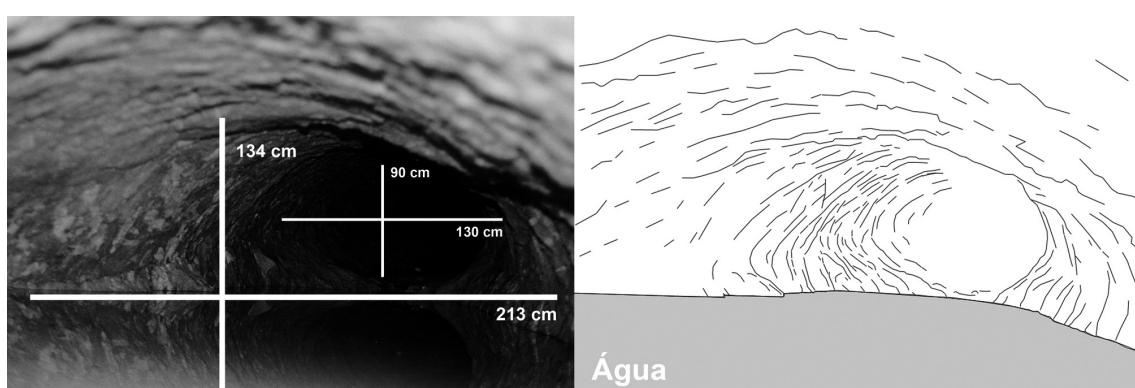


Figura 5. Detalhe da entrada da paleotoca de Cristal (RS).

Figure 5. Detail of the entrance of the paleo-burrow in Cristal town (RS).

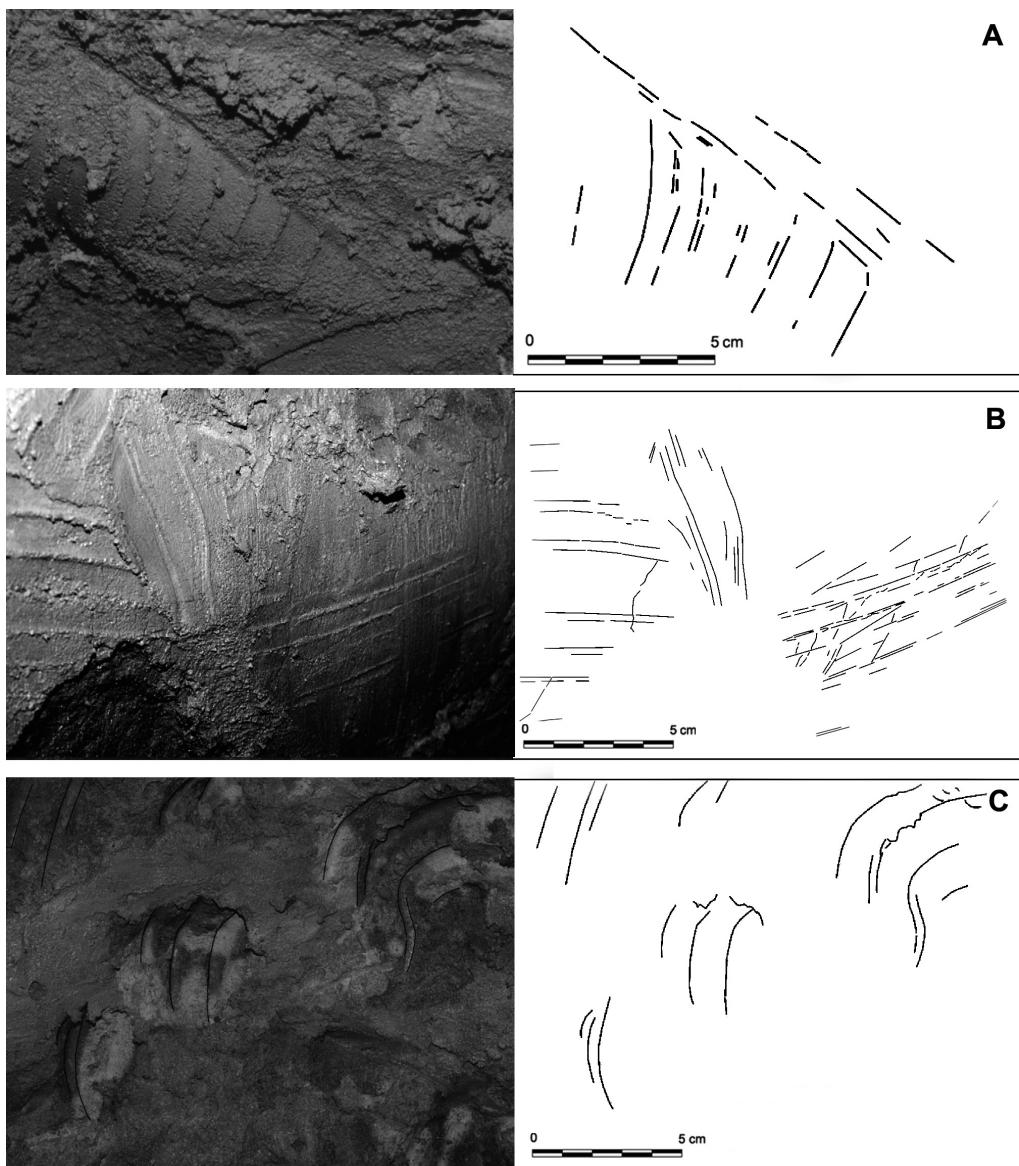


Figura 6. Marcas nas paredes da paleotoca de Cristal (RS). **A-B**, marcas Tipo I; **C**, marcas Tipo II.

Figura 6. Imprints along the walls of the paleo-burrow in Cristal town (RS). **A-B**, Type I imprints; **C**, Type II imprints.

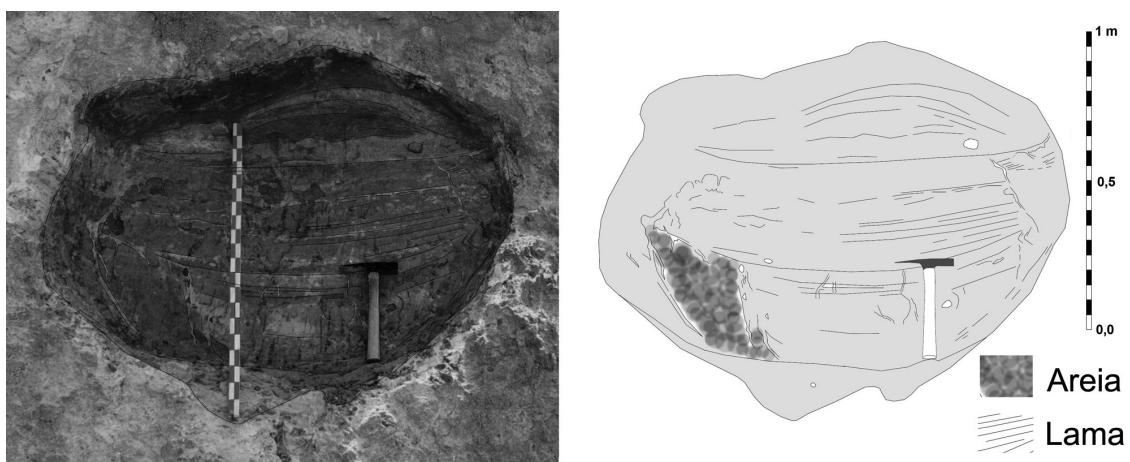
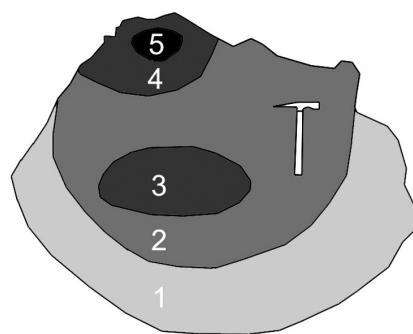
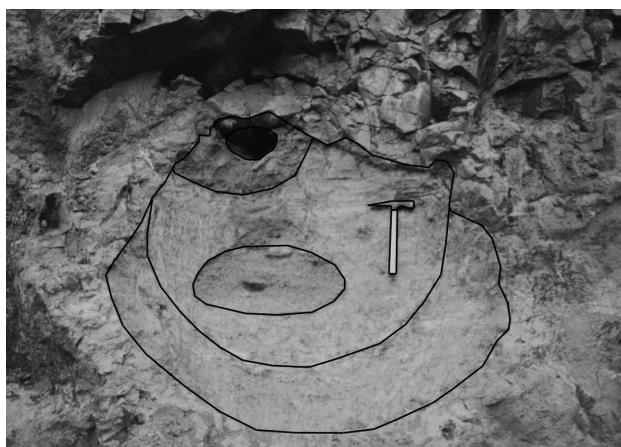


Figura 7. Uma das crotovinas de Cristal (RS), mostrando preenchimento por camadas distintas de areia e lama. Escalas = 1 m.

Figure 7. One of the crotovines in Cristal town (RS), exhibiting distinct sand and mud layers. Scale bars = 1 m.

Tabela 2. Dimensões da paleotoca no município de Cristal (RS).**Table 2.** Dimensions of the paleo-burrow discovered near Cristal (RS).

Comprimento (m)	Largura (cm)	Altura (cm)	Rumo (grau)	Elevação (cm)	Elevação acumulada	Forma
0		fundo		0	0	
1	130	89	140	-10	-10	elíptica
2	128	82	140	-2	-12	elíptica
3	159	88	140	-6	-18	meia lua
4	182	91	145	-10	-28	meia lua
5	192	87	150	-7	-35	meia lua
6	182	107	160	-18	-53	meia lua
7	175	107	165	-14	-67	elíptica
8	154	97	165	-16	-83	elíptica
9	146	90	170	-10	-93	elíptica
10	124	97	170	-12	-105	elíptica
11	130	90	170	-20	-125	elíptica
12	130	118	180	-20	-145	água
13	120	68	185	2	-143	água
14	114	78	185	4	-139	água
15	113	87	200	-9	-148	água
16	140	84	200	-8	-156	elíptica
17	124	85	200	-12	-168	elíptica
18	125	95	200	-9	-177	elíptica
19	131	97	200	-1	-178	elíptica
20	130	84	200	-11	-189	elíptica
21	130	72	190	-7	-196	elíptica
22	139	90	185	-7	-203	elíptica
23	134	90	180	-5	-208	elíptica
24	130	91	180	-1	-209	elíptica
25	130	94	180	-9	-218	água
26	150	134	180	-46	-264	água
27	144	88	180	0	-264	água
28	152	79	180	-2	-266	água
29	173	84	180	0	-266	água
30	213	79	180	9	-257	água
31	191	96	180	20	-237	água
32	160	64	180	20	-217	água
33						
34				entrada		

**Figura 8.** A crotovina de São José dos Ausentes (RS), mostrando sinal de ocupação sucessiva.**Figure 8.** The crotovine in São José dos Ausentes town (RS), showing signs of successive occupation.

As três crotovinas no Município de Gramado estão expostas no talude de uma estrada secundária, apresentam seção sub-circular. O preenchimento é maciço e composto por matriz areno-lamosa contendo grânulos e seixos angulosos. A rocha circundante constitui-se de basalto alterado, com coloração marrom escuro a bege.

As crotovinas dos municípios de Encruzilhada do Sul e Chuvisca (RS) ocorrem em sedimentos arcoseanos associados ao Sistema de Leques Aluviais, expostas durante a escavação de uma estrada. Embora estejam mal preservadas, seu preenchimento é maciço e constituído por sedimento semiconsolidado, com evidentes sinais de intemperismo. No município de São Lourenço do Sul (RS), ocorrem em rochas graníticas alteradas, associadas ao Escudo-Sul-Riograndense. Em Viamão (RS), as crotovinas foram registradas em areias silticó-argilosas, que constituem depósitos eólicos pleistocênicos associados ao Sistema Laguna-Barreira I.

DISCUSSÃO

As paleotocas e crotovinas encontram-se em locais de terreno inclinado e com fonte de água próxima. Arteaga *et al.* (2008) estudaram como as características físicas explicam a escolha dos tatus para cavar suas tocas e sugerem que a topografia é o principal fator. Os tatus não escolhem aleatoriamente onde querem construir suas tocas, mas ativamente selecionam áreas inclinadas e próximas a cursos d'água (Carter & Encarnação, 1983; Zimmermann, 1990; González *et al.*, 2001).

A ausência de restos fósseis no interior das galerias impede a precisa identificação do vertebrado responsável por sua escavação. A primeira descrição do interior de uma paleotoca foi feita por Quintana (1992), que sugeriu que a escavação de paleotocas poderia ser atribuída a mamíferos cingulados da Família Dasypodidae. Zárate *et al.* (1998) interpretaram as paleotocas como escavações feitas por dasipodídeos de grande tamanho, como *Pampatherium* sp. e/ou *Holmesina* sp. (*Pampatheriinae*), e *Eutatus* e/ou *Propraopus* sp. (*Dasypodinae*). Saffer *et al.* (2003) registraram fósseis de preguiça-gigante (*Scelidotherium* sp.) e de urso (*Arctotherium latidens*) no interior de uma paleotoca, cuja presença foi atribuída a uma fase de reocupação da paleotoca, após o abandono pelo construtor original. Estudos biomecânicos de Bargo *et al.* (2000) e Vizcaíno *et al.* (2001), baseados no índice de fossorialidade, sugerem que os Mylodontidae do Lujanense da Argentina (*Scelidotherium*, *Glossotherium* e *Lestodon*) teriam hábitos cavadores e seriam capazes de escavar galerias. Abrantes *et al.* (2003) discorda, sugerindo que apenas *Megalocnus* (Megalonychidae) teria hábito fossorial, sendo o único *Phyllophaga* apto para atuar como cavador de tocas.

A fim de tentar estabelecer a identificação do organismo construtor da paleotoca de Cristal, comparou-se as marcas ao longo das paredes internas com os dados disponíveis na literatura. As marcas do Tipo I, cristas múltiplas e paralelas, foram interpretadas como impressões da carapaça de um dasipodídeo durante a locomoção no interior da paleotoca (Figuras 6A, B). As marcas do Tipo I tem largura de 1 cm, dimensões equivalentes aos osteodermos das cintas móveis

na porção intermediária da carapaça de um *Propraopus* (Paula Couto, 1980a,b, 1982; Pitana & Ribeiro, 2007; Ríncon *et al.* 2008) e bastante diferentes da descrição de osteodermos de *Pampatherium* e *Holmesina*, ambos com 3 cm de largura (Edmond, 1985a,b; Scillato-Yané *et al.*, 2005; Chávez-Aponte *et al.*, 2008; Ríncon *et al.*, 2008). Os gliptodontes também foram descartados, pois têm osteodermos com 5 cm de largura (Paula Couto, 1973; Hill, 2006; Ríncon *et al.*, 2008). As marcas do Tipo I (marcas de carapaça), além de descartar as preguiças-gigantes, sugerem que o escavador das galerias era um cingulado. Os sulcos curtos e profundos (Tipo II) foram interpretados como marcas de garras, resultantes do processo de escavação da paleotoca (Figura 6C). As garras dianteiras (4 dedos) e traseiras (5 dedos) produziriam marcas de larguras e profundidades diferentes em função das diferenças de densidade, do índice de compactação e do teor de umidade da rocha alterada. Não se descarta a possibilidade de que marcas diferentes possam ter sido feitas por diferentes organismos, que teriam reocupado sucessivamente a estrutura após a morte ou abandono do construtor original.

Quintana (1992) descreveu em Mar del Plata (Argentina), duas galerias interconectadas por um pequeno túnel, uma com 23 m e outra com 3 m (esta parcialmente bloqueada). Assim como na paleotoca de Cristal (RS), pode-se supor que esta é uma estrutura parcial, que possivelmente atingia extensões maiores durante o período de ocupação pelo organismo construtor. Em comparação, a paleotoca de Cristal (Brasil) era formada por uma longa galeria (com talvez 70 m de comprimento) de orientação N-S, e pouca sinuosidade. Galerias com tamanhas dimensões exigiriam um grande investimento de esforço e tempo, e, portanto, seriam ocupações relativamente permanentes. Partindo do pressuposto que tanto a paleotoca de Cristal quanto a descrita por Quintana (1992) na Argentina são fragmentos da galeria, podemos supor que a galeria principal e suas ramificações podem ter atingido várias dezenas, talvez centenas de metros, durante a ocupação pelo organismo gerador. Na paleotoca de Cristal, a galeria principal apresentou largura máxima de 2,13 m, largura média de 1,46 m e altura média de 0,90 m, enquanto Quintana (1992) registra na paleotoca largura máxima de 1,30 m, largura média de 0,90 m e altura média de 0,70 m. Estas dimensões se aproximam das dimensões da pequena ramificação da paleotoca de Cristal, com largura máxima de 1,15 m, largura média 0,82 m e altura média 0,78 m. Estas dimensões sugerem que o organismo fossorial descrito por Quintana (1992) pode ser menor do que o organismo da paleotoca de Cristal; que duas espécies distintas podem ter escavado essas estruturas; ou que representem diferenças entre juvenil e adulto.

As crotovinas são resultantes de modificações ocorridas após a morte ou abandono da galeria pelo organismo construtor. Segundo Frank *et al.* (2008a,b), a presença de preenchimento maciço, constituído por sedimento de mesma textura e coloração, sugere que a obstrução da paleotoca original foi resultado eventos episódicos e relativamente rápidos. Já no caso das crotovinas com sedimento estratificado, exibindo diferenças na coloração e granulometria do material de preenchimento, sugere a obstrução gradual da estrutura ao longo do tempo, em resposta a diversos episódios de sedimentação, relacionados a condições variáveis de fluxo hídrico e clima.

A região em que se localiza São José dos Ausentes (RS) é chamada de “Campos de Cima da Serra”, correspondente ao topo do Planalto das Araucárias, caracterizada pela paisagem de coxilhas suaves e pelo substrato de rocha basáltica, resultando em poucos locais favoráveis onde escavar galerias. Isso restringiria a presença dessas estruturas à porção superficial do terreno, em local onde a rocha alterada (saprolito) apresentasse espessura adequada às dimensões dos organismos escavadores, e em terrenos adjacentes aos vales fluviais, que são os únicos desniveis topográficos consideráveis na região, como se observa no caso das crotovinas aí encontradas. A presença de uma estrutura relativamente ampla, preenchida por sedimento macio, teria favorecido a ocupação sucessiva por organismos menores observada na crotovina de São José dos Ausentes, formando crotovinas dentro de crotovinas (Figura 8).

Embora tenha sido registrada em variados tipos de substratos, de natureza e idades distintas, a presença de crotovinas em sedimentos quaternários com cerca de 400 mil anos sugerem que o organismo construtor tenha surgido em época mais recente ou tenha sobrevivido até pelo menos pouco depois dessa data.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A ocorrência de paleotocas e crotovinas em locais de terreno inclinado, e relativamente elevado, sugere a preferência dos organismos para lugares altos com visão panorâmica e fonte de água próxima para a escavação das galerias. O levantamento topográfico da paleotoca de Cristal (RS) revelou um túnel com seção transversal subcircular a sub-elíptico e às vezes com a base plana (devido ao preenchimento parcial), com 33 m de comprimento, largura média de 1,46 m e altura média de 0,9 m, pouco sinuoso, com alinhamento norte-sul e apresentando uma ramificação com 3,5 m. As áreas com maior largura e formato arredondado foram consideradas como sendo câmaras de giro. O tamanho do organismo gerador deve ser menor que a largura mínima (1,18 m), e altura mínima (0,68 m) da galeria. As dimensões da paleotoca de Cristal (RS) são maiores que as descritas na Argentina, e sugere que o organismo fossorial na Argentina (Mar del Plata) pode ser menor do que o organismo no Brasil (Cristal). As marcas do Tipo I, cristas múltiplas e paralelas foram interpretadas como impressões da carapaça de um dasipodídeo durante a locomoção no interior da paleotoca. As marcas Tipo II, sulcos curtos e profundos, foram interpretadas como marcas de garras, resultantes do processo de escavação da paleotoca. As marcas de carapaça, além de descartar as preguiças-gigantes, sugerem que o escavador das galerias era um cingulado. A comparação das marcas na paleotoca de Cristal (RS) com a literatura permite sugerir que um organismo fossorial semelhante a *Propraopus* ou *Eutatus* foi responsável pelas marcas, excluindo *Pampatherium* e *Holmesina*. A idade das paleotocas e crotovinas não foi determinada, entretanto, a crotovina de Viamão (RS) pode ser considerada a idade mínima, pois ocorre em depósitos eólicos pleistocênicos associados ao Sistema Laguna-Barreira I, formado há cerca de 400 ka.

REFERÊNCIAS

- Abdala, F.; Cisneros, J.C. & Smith, R.M.H. 2006. Faunal aggregation in the Early Triassic Karoo Basin: Earliest evidence of shelter-sharing behavior among tetrapods? *Palaios*, **21**(5):507-512.
- Abrantes, E.A.L.; Avilla, L.S. & Abranches, C.T.S. 2003. Revisão dos hábitos fossoriais em preguiças (Phyllophaga, Xenarthra, Mammalia) do Pleistoceno superior-Holoceno inferior. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PALEONTOLOGIA, 18, 2003. *Livro de Resumos*, Brasília, UnB, p. 1-2.
- Ameghino, F. 1908. Las formaciones sedimentarias de la región litoral de Mar del Plata y Chapadmalal. *Museo de Historia Natural de Buenos Aires*, **7**(3):343-428.
- Arteaga, M.C. & Venticinque, E.M. 2008. Influence of topography on the location and density of armadillo burrows (Dasypodidae: Xenarthra) in the central Amazon, Brazil. *Mammalian Biology*, **73**:262-266.
- Bargo, S.M.; Vizcaíno, S.F.; Archuby, F.M. & Blanco, R.E. 2000. Limb bone proportions, strength and digging in some Lujanian (Late Pleistocene-Early Holocene) mylodontid ground sloths (Mammalia, Xenarthra). *Journal of Vertebrate Paleontology*, **20**(3):601-610.
- Bellieni, G.; Comim-Chiaromonti, P.; Marques, L.S.; Melfi, A.J.; Nardy, A.J.R.; Papatrechas, C.; Piccirillo, E.M.; Roisenberg, A. & Stolfa, D. 1984. High and low TiO₂ flood basalts from the Paraná plateau (Brazil): petrology and geochemical aspects bearing on their mantle origin. *Neues Jahrbuch für Mineralogie, Abhandlungen*, **150**:273-306.
- Bergqvist, L.P. & Maciel, L. 1994. Icnofósseis de mamíferos (crotovinas) na planície costeira do Rio Grande do Sul. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, **66**(2):189-197.
- Bromley, R.G. 1990: *Trace fossils: biology and taphonomy*. London, Unwin Hyman, 280 p.
- Buchmann, F.S.C.; Caron, F.; Lopes, R.P. & Tomazelli, L.J. 2003. Traços fósseis (paleotocas e crotovinas) da megafauna extinta no Rio Grande do Sul, Brasil. In: CONGRESSO DA ABEQUA, 9, 2003. *Anais*, Recife, ABEQUA, cd-rom.
- Buchmann, F.S.C.; Farias, D.S.E. & Fornari, M. 2008. Ocupação das paleotocas de tatus gigantes extintos por índios do grupo Jê no sul de Santa Catarina, Brasil. In: ENCONTRO DO NÚCLEO REGIONAL SUL DA SAB, 6, 2008. *Resumos*, Tubarão, SAB, p. 35.
- Carter, T.S. & Encarnação, C. 1983. Characteristics and use of burrows by four species of armadillos in Brazil. *Journal of Mammalogy*, **64**:337-358
- Carvalho, I.S. 2004. Dinosaur footprints from northeastern Brazil: taphonomy and environmental setting. *Ichnos*, **11**(3-4):311-321.
- Chávez-Aponte, E.O.; Alfonzo-Hernández, I.; Finol, H.J.; Barrios, C.E.; Boada-Sucre, A. & Carrilo-Briceño, J.D. 2008. Histología y ultraestrutura de los osteodermos fósiles de *Glyptodon clavipes* y *Holmesina* sp. (XENARTHRA: CINGULATA). *Interciencia*, **33**(8):616-619.
- Cremeens, D.L.; Randall, B.B. & Huddleston, J.H. 1994. *Whole regolith pedology*. Madison, Soil Science Society of America, 136 p.
- Damiani, R.; Modesto, S.; Yates, A. & Neveling, J. 2003. Earliest evidence of cynodont burrowing. *Proceedings of the Royal Society of London, B*, **270**:1747-1751.
- Edmond, G. 1985a. The fossil giant armadillos of North America (Pampatheriinae, Xenarthra = Edentata). In: G.G. Montgomery (ed.) *The evolution and ecology of armadillos, sloths, and vermilinguas*, Smithsonian Institution Press, p. 83-93.
- Edmond, G. 1985b. *The armor of fossil giant armadillos (Pampatheriinae, Xenarthra = Edentata)*. Austin, Texas Memorial Museum, University of Texas, 40 p. (Pearce-Sellards Series, n° 40).
- Eggleton, R.A. 2001. *The regolith glossary: surficial geology, soils and landscapes*. Camberra, CRC LEME, 152 p.
- Erlank, A.J.; Marsh, J.S.; Duncan, A.R.; Miller, R.McG.; Hawkesworth, C.J.; Betton, P.J. & Rex, D.C. 1984. Geochemistry and petrogenesis of the Etendeka volcanic rocks from SWA/Namibia. *Special Publication of Geological Society of South Africa*, **13**:195-245.

- Fernandes, M.A.; Fernandes, L.B.R.; Souto, P.R.F. 2004. Occurrence of urolites related to dinosaurs in the Lower Cretaceous of the Botucatu Formation, Paraná Basin, São Paulo State, Brazil. *Revista Brasileira de Paleontologia*, **7**(2):263-268.
- Fernandez, M.E.; Vassalo, A.I. & Zárate, M. 2000. Functional morphology and palaeobiology of the Pliocene rodent *Actenomys* (Caviomorpha: Octodontidae): the evolution to a subterranean mode of life. *Biological Journal of the Linnean Society*, **71**(1):71-90.
- Fragoso César, A.R.S.F.; Figueiredo, M.C.H.; Soliani Jr., E. & Faccini, U.F. 1986. O batólito de Pelotas (Proterozoico Superior/Eo-Paleozóico) no escudo do Rio Grande do Sul: In: CONGRESO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 34, 1986. *Anais*, Goiânia, SBG, **3**:1322-1343.
- Frank, H.T.; Buchmann, F.S.C.; Ribeiro, A.M.; Lopes, R.P.; Caron, F. & Lima, L.G. 2008a. New palaeoburrows (ichnofossils) in the State of Rio Grande do Sul, Brazil (Southeastern edge of the Paraná Basin, South America). In: REUNIÃO REGIONAL DE PALEONTOLOGIA-PALEO 2008. *Resumos*, Porto Alegre, UFRGS, p. 27.
- Frank, H.T.; Buchmann, F.S.C.; Ribeiro, A.M.; Lopes, R.P.; Caron, F. & Lima, L.G. 2008b. Crotovine (filled palaeoburrows) patterns on the southeast limit of the Paraná basin (Rio Grande do Sul, Brazil). In: REUNIÃO REGIONAL DE PALEONTOLOGIA-PALEO 2008. *Resumos*, Porto Alegre, UFRGS, p. 26.
- Frey, R. 1975. *The study of traces fossil*. Berlim, Springer-Verlag, 562 p.
- Genise, J.F. 1989. Las cuevas con *Actenomys* (Rodentia, Octodontidae) de la Formación Chapadmalal (Plioceno superior) de Mar del Plata y Miramar (provincia de Buenos Aires). *Ameghiniana*, **26**(1-2):33-42.
- González, E.M.; Soutullo, A. & Altuna, C.A. 2001. The burrow of *Dasyurus hybridus* (Cingulata: Dasypodidae). *Acta Theriologica*, **46**(1):53-59.
- Groenwald, G.H.; Welamn, J. & Maceachern, J.A. 2001. Vertebrate burrow complexes from the Early Triassic *Cynognathus* Zone (Driekoppen Formation, Beaufort Group) of the Karoo Basin, South Africa. *Palaios*, **16**(2):148-160.
- Hill, R.V. 2006. Comparative anatomy and histology of Xenarthran osteoderms. *Journal of Morphology*, **267**:1441-1460.
- Karmann, I. & Ferrari, J.A. 2005. Carste e cavernas do Parque Estadual Turístico do Alto Ribeira (PETAR), SP. In: M. Winge; C. Schobbenhaus; M. Berbert-Born; E.T. Queiroz; D.A. Campos; C.R.G. Souza & A.C.S. Fernandes (eds.) Sítios geológicos e paleontológicos do Brasil. Disponível em <http://www.unb.br/ig/sigep/sitio043/sitio043.pdf>; acessado em 23/05/2007.
- Kraglievich, J. 1952. El perfil geológico de Chapadmalal y Miramar, Prov. de Buenos Aires. *Revista del Museo de Ciencias Naturales y Tradicionales de Mar del Plata*, **1**:8-37.
- Leonardi, G. & Carvalho, I.S. 1999. Jazigo icnofossilífero do Ouro-Araraquara (SP). In: M. Winge; C. Schobbenhaus; M. Berbert-Born; E.T. Queiroz; D.A. Campos; C.R.G. Souza & A.C.S. Fernandes (eds.) Sítios geológicos e paleontológicos do Brasil. Disponível em <http://www.unb.br/ig/sigep/sitio079/sitio079.htm>; acessado em 07/11/2007.
- Leonardi, G.; Sedor, F.A. & Costa, R. 2002. Pegadas de répteis terrestres na Formação Rio do Rastro (Permiano Superior da Bacia do Paraná), Estado do Paraná, Brasil. *Arquivos do Museu Nacional*, **60**(3):213-216.
- Oliveira, J.B. 2001. *Pedología aplicada*. Jaboticabal, FUNEP, 414 p.
- Paula-Couto, C. 1973. Edentados fósseis de São Paulo. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, **45**(2):261-275.
- Paula-Couto, C. 1980a. *Propraopus punctatus* (Lund, 1840) no Pleistoceno de Cerca Grande, Minas Gerais. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, **52**(2):323-325.
- Paula-Couto, C. 1980b. Um tatu gigante do Pleistoceno de Santa Catarina. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, **52**(3):527-531.
- Paula-Couto, C. 1982. Pleistocene armadillo from Cantagalo, State Rio de Janeiro. *Iheringia, Série Geologia*, **7**:65-68.
- Pitana, V.R. & Ribeiro, A.M. 2007. Novos materiais de *Propraopus* Ameghino, 1881 (Mammalia, Xenarthra, Cingulata) do Pleistoceno final, Rio Grande do Sul, Brasil. *Gaea*, **3**(2):60-67.
- Quintana, C.A. 1992. Estructura interna de una paleocueva, posiblemente de un Dasypodidae (Mammalia, Edentata) del Pleistoceno de Mar del Plata (Provincia de Buenos Aires, Argentina). *Ameghiniana*, **29**(1):87-91.
- Rícon, A.D.; White, R.S. & McDonald, H.G. 2008. Late Pleistocene cingulates (Mammalia: Xenarthra) from Mene de Inciarte Tar Pits, Sierra de Perijá, western Venezuela. *Journal of Vertebrate Paleontology*, **28**(1):197-207.
- Roisenberg, A. & Viero, A.P. 2000. O vulcanismo mesozóico da Bacia do Paraná no Rio Grande do Sul, 355-375. In: M. Holz & L.F. De Ros (eds.) *Geologia do Rio Grande do Sul*, CIGO/UFRGS, p. 355-374.
- Santis, L.J.M. & Morcira, G.J. 2000. El aparato masticador del género extinto *Actenomys* Burmeister, 1888 (Rodentia, Ctenomyidae): inferencias sobre su modo de vida. *Estudios Geológicos*, **56**:63-72.
- Saffer, M.M.; Dondas, A. & Scaglia, O. 2003. Hallazgo de paleocuevas con estructura interna realizadas por mamíferos gigantes extintos del Pleistoceno bonaerense. *Miramar Prehistorica*, Disponível em www.miramar.prehistorica.arg.net.ar; acessado em 23/05/2007.
- Schultz, C.L.; Scherer, C.M.S. & Lavina, E.L.C. 2002. Dinosaur's footprints from Guará Formation (Upper Jurassic), Paraná Basin, Southern Brazil. In: CONGRESO ARGENTINO DE PALEONTOLOGÍA Y BIOESTRATIGRAFÍA, 8, 2002. *Livro de Resumos*, Corrientes, APA, p. 8.
- Scillato-Yané, G.J.; Carlini, A.A.; Tonni, E.P. & Noriega, J.I. 2005. Paleoibiogeography of the late Pleistocene pampatheres of South America. *Journal of South American Earth Sciences*, **20**:131-138.
- Sedor, F.A. & Silva, R.C. 2004. Primeiro registro de pegadas de Mesosauridae (Amniota, Sauropsida) na Formação Irati (Permiano Superior da Bacia do Paraná) no Estado de Goiás, Brasil. *Revista Brasileira de Paleontologia*, **7**(2):269-274.
- Seilacher, A. 1953. Studien zur paläontologie: 1. Über die methoden der palichnologie. *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie, Abhandlungen*, **96**:421-452.
- Silva, R.C.; Ferigolo, J.; Carvalho, I.S. & Fernandes, A.C.S. 2008. Lacertoid footprints from the Upper Triassic (Santa Maria Formation) of Southern Brazil. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **262**(3-4):140-156.
- Smith, R.M.H. & Swart, R. 2002. Changing fluvial environments and vertebrate taphonomy in response to climatic drying in a Mid-Triassic rift valley fill: the Omingonde Formation (Karoo Supergroup) of central Namibia. *Palaios*, **17**:249-267.
- Tomazelli, L.J. & Villwock, J.A. 2000. O Cenozoico do Rio Grande do Sul: geologia da planície costeira. In: M. Holz & L.F. DeRos (eds.) *Geologia do Rio Grande do Sul*, CIGO/UFRGS, p. 375-406.
- Varricchio, D.J.; Martin A.J. & Katsura, Y. 2007. First trace and body fossil evidence of a burrowing, denning dinosaur. *Proceedings of the Royal Society of London*, **B**, **274**:1361-1368.
- Villwock, J.A.; Tomazelli, L.J.; Loss, E.L.; Dehnhardt, E.A., Horn, N.O.; Bach, F.A. & Dehnhardt, B.A. 1986. Geology of the Rio Grande do Sul coastal province. *Quaternary of the South America and Antarctic Peninsula*, **4**:79-97.
- Vizcaíno, S.F.; Zárate, M.A.; Bargo, M.S. & Dondas, A. 2001. Pleistocene burrows in the Mar del Plata area (Argentina) and their probable builders. *Acta Palaeontologica Polonica*, **46**:157-169.
- Zárate, M.A.; Bargo, M.S.; Vizcaíno, S.F.; Dondas, A. & Scaglia, O. 1998. Estructuras biogénicas en el Cenozoico tardío de Mar del Plata (Argentina) atribuibles a grandes mamíferos. *Revista de la Sociedad Argentina de Sedimentología*, **5**(2):95-103.
- Zárate, M.A. & Fasano, J.L. 1989. The Plio-Pleistocene record of the central eastern Pampas, Buenos Aires Province, Argentina: the Chapadmalal case study. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **72**:27-52.
- Zimmermann, J.W. 1990. Burrow characteristics of the nine-banded armadillo *Dasyurus novemcinctus*. *The Southwestern Naturalist*, **35**(2):226-227.

Received in July, 2008; accepted in September, 2009.