

PRIMEIRA EVIDÊNCIA ICNOLÓGICA DE UM TETRÁPODE NATANTE NO MEMBRO CRATO (CRETÁCEO INFERIOR), FORMAÇÃO SANTANA (BACIA DO ARARIPE, NORDESTE DO BRASIL)

PAULA C. DENTZIEN-DIAS, ANA EMILIA Q. DE FIGUEIREDO, FELIPE L. PINHEIRO & CESAR L. SCHULTZ

Departamento de Paleontologia e Estratigrafia, IGeo, UFRGS, Cx.P. 15001, 91501-970, Porto Alegre, RS, Brasil.
pauladentzien@gmail.com, aquezado@yahoo.com.br, fl_pinheiro@yahoo.com.br, cesar.schultz@ufrgs.br

ABSTRACT – FIRST ICHNOLOGICAL EVIDENCE OF A SWIMMING TETRAPOD IN THE CRATO MEMBER OF SANTANA FORMATION (ARARIPE BASIN, NORTHEASTERN BRAZIL). The so-called Ipubi layers (Aptian/Albian) of the Crato Member of Santana Formation (Araripe Basin, NE Brazil) are composed by a series of discontinuous evaporite packages interbedded by black and green shales. An unusual isolated footprint preserved in a block of black shale *ex situ* from the Ipubi layers (Mina Pedra Branca, Nova Olinda, Ceará) is described herein. The footprint has 36.7 mm wide and 21.26 mm long and the track have five parallel scratch marks that describe a curve to the left. The mark corresponding to the digit I begins with a thin and short claw mark, while those attributed to digits II, III and IV begin with a rounded claw mark. The mark produced by digit V is the shortest. The marks at the beginning of the footprint are much deeper and thicker than the end. The morphology of these marks suggest they were produced by the autopodium of a tetrapod animal while swimming near the bottom and are consistent with the anatomical features of the manus of a turtle. The preservation of this unusual footprint increases the fossil record of the Santana Formation and opens a new research line to the Araripe Basin.

Key words: swimming traces, ichnofossil, Cretaceous, Ipubi layers, Araripe Basin, tetrapod.

RESUMO – As chamadas camadas Ipubi (Aptiano/Albiano) do Membro Crato da Formação Santana (bacia do Araripe, NE Brasil) são compostas por uma série de pacotes descontínuos de evaporitos com intercalações de folhelhos verdes e pretos. Aqui é descrita uma pegada isolada, preservada em um bloco de folhelho preto *ex situ* das camadas Ipubi (Mina Pedra Branca, Nova Olinda, Ceará). A pegada tem 36,7 mm de largura por 21,26 de comprimento e possui cinco marcas em forma de arranhão, aproximadamente paralelas, descrevendo uma curva para a esquerda. As marcas da parte anterior da pegada são mais profundas e espessas que as de seu final. O dígito I inicia-se com uma fina marca pontiaguda de garra, enquanto as marcas dos dígitos II, III, IV e V começam com uma marca arredondada. A marca deixada pelo dígito V é bem menor que as dos outros. A morfologia destas marcas sugere que as mesmas foram produzidas pelo autopódio de um tetrápode nadando próximo ao fundo e é compatível com o padrão anatômico do autopódio de uma tartaruga tocando o fundo enquanto se deslocava nadando. A preservação desta pegada amplia o registro fóssil da Formação Santana e abre uma nova linha de pesquisas para a bacia do Araripe.

Palavras-chave: marcas de natação, icnofóssil, Cretáceo, Camadas Ipubi, bacia do Araripe, tetrápode.

INTRODUÇÃO

A bacia do Araripe, situada nas divisas dos estados do Ceará, Pernambuco e Piauí, NE Brasil (Figura 1), é conhecida mundialmente por seu diversificado conteúdo paleontológico do período Cretáceo (Aptiano-Albiano). Destacam-se fósseis de insetos, vegetais, moluscos, peixes e pterossauros, encontrados em excelente estado de preservação, principalmente nas camadas da Formação Santana (Maisey, 1991; Martill, 2007). Registros de pegadas de dinossauros (Viana *et al.*, 1993; Carvalho *et al.*, 1995) além de coprólitos atribuídos a peixes (Viana & Richter, 1998) também ocorrem na bacia.

MATERIAL E MÉTODOS

O material estudado foi encontrado na Pedreira Pedra Branca (coordenadas UTM 24M-423549/9213269, datum SAD 69), município de Nova Olinda, Ceará, em um bloco rolado de folhelho preto, o que impossibilitou uma contextualização estratigráfica mais precisa.

Estratigraficamente, a amostra que contém o icnofóssil aqui descrito provém das “Camadas Ipubi”, posicionadas no topo do Membro Crato (Assine, 2007) e caracterizadas por camadas descontínuas de gipsita intercaladas por folhelhos contendo conchostráceos e por folhelhos pirobetuminosos pretos, ricos em ostracodes não-marinheiros, fragmentos de

vegetais carbonificados, peixes e coprólitos, além de restos de uma tartaruga, provavelmente pertencente ao gênero *Araripemys* (Viana *et al.*, 1989; Assine, 2007). Estas camadas caracterizam depósitos evaporíticos em ambiente variando entre deltaico e lacustre (Assine, 2007; Martill, 2007).

O espécime coletado foi tombado na Universidade Federal do Rio Grande do Sul, no Laboratório de Paleontologia de Vertebrados, sob o número UFRGS-PV0055K.

DESCRIÇÃO

O icnofóssil estudado foi preservado em epirrelevo côncavo e possui largura de 36,7 mm e comprimento de 21,3 mm (Figura 2). Consiste numa marca com cinco traços alongados e paralelos, com a maior profundidade medida em 2,3 mm. A extremidade anterior dos traços é mais rasa e encurvada, des-

crevendo uma curva para a direita, em forma de vírgula. Não é possível visualizar a impressão do autopódio completo do animal, o que caracteriza uma marca de arranhão (*scratch mark*).

A marca correspondente ao dígito I (considerado que o rastro em questão corresponda à impressão de um autopódio esquerdo, como será abordado na discussão) parece ter sido produzida por uma garra fina e curta, com 1,8 mm de largura e 5,4 mm de comprimento. A marca atribuída ao dígito II também é fina, porém muito mais alongada que a do dígito I, com largura de 2 mm e comprimento de 13,7 mm. Os dígitos III e IV deixaram as marcas mais longas e fáceis de visualizar, com 4 mm de largura e 19,5 mm de comprimento para o primeiro e 5,2 mm de largura e 20,5 mm de comprimento para o dígito IV. O último dígito deixou uma marca menor e muito mais superficial que os anteriores, com apenas 1,0 mm de largura e 4,0 mm de comprimento.

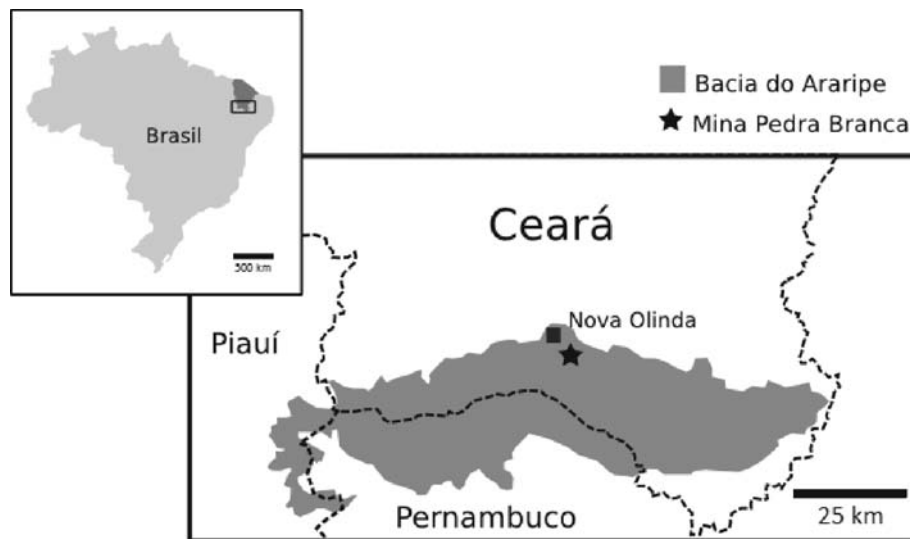


Figura 1. Mapa de localização da bacia do Araripe.

Figure 1. Location map of the Araripe Basin.

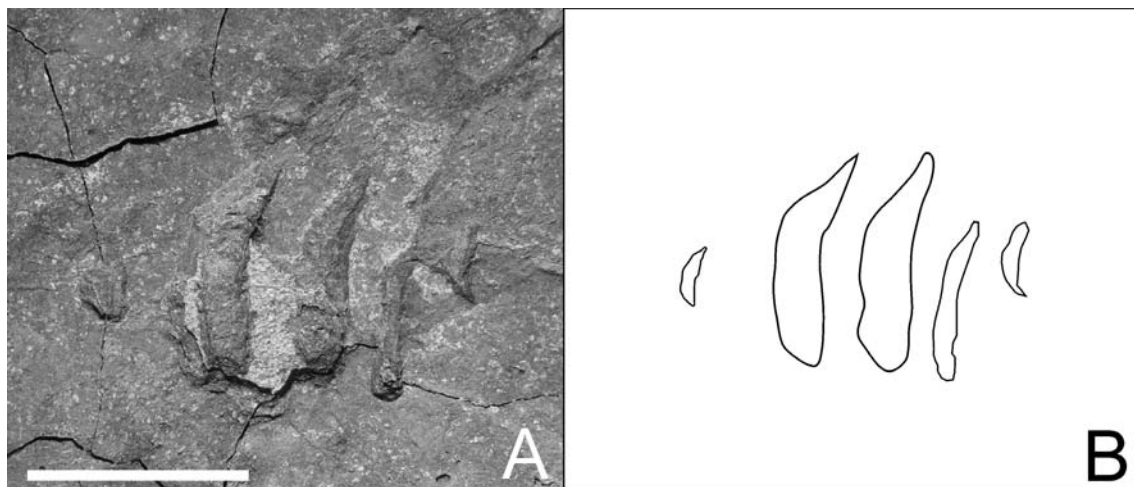


Figura 2. A, Pegada com marcas de arraste; B, Desenho esquemático da pegada. Escala = 10 mm.

Figure 2. A, Footprint with scratch marks; B, Schematic drawing of the track. Scale bar = 10 mm.

DISCUSSÃO

As características deste icnofóssil, incluindo a forma em arco, os arranhões alongados e paralelos, além da impressão preferencial das extremidades distais dos dígitos, são típicas de pegadas produzidas em meio subaquático, em situações em que o animal está nadando junto ao leito de um corpo de água e raspa a extremidade do autopódio no fundo (Brand, 1996; McAllister & Kirby, 1998; McAllister, 1989). Marcas de garras semelhantes (denominadas *scratch marks*) já foram descritas na literatura para diversas idades (McAllister, 1989; Sedor & Silva, 2004; Milner & Lockley, 2006; Bujok *et al.*, 2008; Silva *et al.*, 2008).

O fato de haver sido encontrada, até o momento, apenas uma marca de natação isolada, em um bloco de folhelhos negros, sugere que a profundidade do corpo lacustre era suficiente para encobrir todo o corpo do animal. Em águas muito rasas, é comum encontrar trilhas com marcas de arraste dos autopódios, corpo e cauda, formadas quando o animal nada na superfície da água, mas tocando o corpo e os apêndices locomotores no fundo (McAllister, 1989; Silva *et al.*, 2008). Quando as pegadas são produzidas em ambientes de águas um pouco mais profundas, a trilha costuma apresentar características diferentes das preservadas em águas rasas, tais como: (i) ausência de marcas da cauda e do corpo; (ii) a passada do animal pode aumentar, pois este, parcialmente sustentado pela água, irá tocar o fundo com os autopódios mais espaçadamente; (iii) as pegadas ficam pequenas, podendo apresentar somente a marca das garras, uma vez que o animal mal encosta no sedimento (McAllister, 1989).

Mesmo que esta pegada tenha sido encontrada em um bloco *ex-situ*, e não caracterize uma típica *undertrack*, não há evidências de que o estrato que a contém corresponda à superfície original do substrato, sendo possível que as camadas superiores tenham sido erodidas. Contudo, a morfologia da pegada não foi afetada. Pode-se também inferir que o animal mergulhava com sua massa sustentada pela

água, já que não há sinais de que tenha pisado no fundo do lago, deformando as camadas pela ação de seu peso.

Alguns indícios nos permitem especular sobre o autor da pegada, como o fato de que os dígitos I e V deixaram marcas apenas superficiais, indicando que os mesmos seriam mais curtos que os dedos medianos. Dentre os animais conhecidos para a Formação Santana, os que poderiam deixar marcas de garras no fundo do grande lago Araripe seriam anfíbios, lagartos, crocodilomorfos e tartarugas. Os anfíbios registrados até agora na Formação Santana apresentam tamanho menor em relação à pegada em questão, enquanto que a disposição dos dígitos, em lagartos, é diferente do padrão presente no icnofóssil. Em crocodilomorfos, por sua vez, a pata traseira tem sempre quatro dígitos, enquanto a dianteira apresenta, na maioria das vezes, cinco. Entretanto, estes animais costumam permanecer próximo à superfície da água e utilizam a cauda (e não os membros) para propulsão, de modo que não costumam tocar o fundo com os autopódios (Kelly, 2006), embora haja registros deste tipo de locomoção (Foster & Lockley, 1997; Campos *et al.*, 2010). Em águas rasas, estes animais usam os autopódios para se locomover, especialmente para entrar/sair da água e para saltar sobre as presas que se aproximam para beber água. Nesses casos, porém, são produzidas trilhas com as impressões completas dos autopódios, acompanhadas de marcas produzidas pelo corpo e pela cauda. O bloco isolado contendo a pegada é suficientemente grande para preservar uma trilha completa, caso ela existisse.

As tartarugas, por seu turno, têm como hábito mergulhar para explorar o fundo dos corpos de água, nadando com movimentos ventrolaterais alternados dos autopódios, os quais, quando tocam o leito sedimentar, deixam marcas compatíveis com aquela aqui descrita (Bernier *et al.*, 1982). No caso em questão, a marca de arranhão pode ter sido produzida quando o animal flexionava o membro, gerando propulsão para frente ou para cima, com o autopódio tendo raspado no sedimento do fundo do lago. Desta maneira, apenas a extremidade de uma dos autopódios teria tocado o substrato, enquanto o resto do corpo flutuava na água (Figura 3). Este mesmo

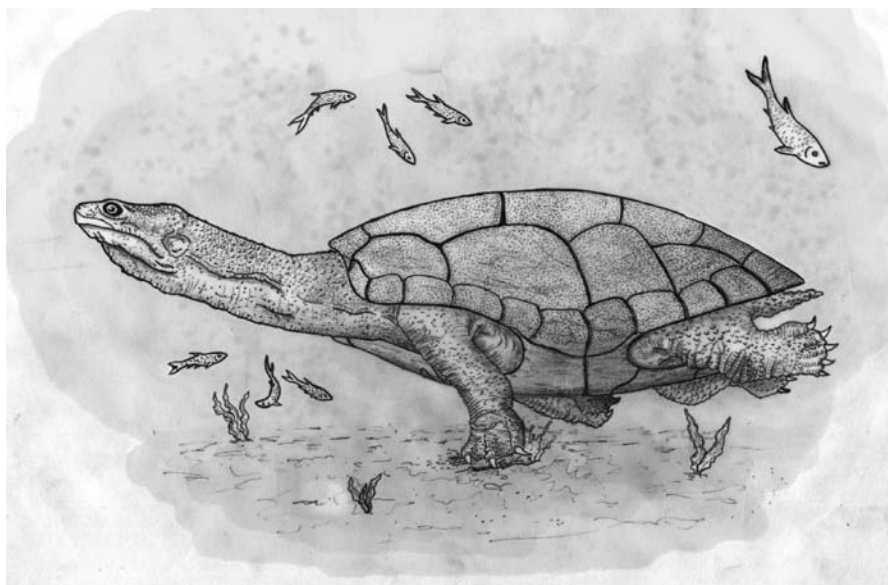


Figura 3. Reconstrução de um possível produtor da marca de arraste.

Figure 3. Reconstruction of a possible scratch-maker.

tipo de icnofóssil – com idêntica interpretação – já foi descrito por outros autores, em diferentes unidades estratigráficas (Silva *et al.*, 2008; McAllister, 1989).

O único registro de tetrápode para as camadas Ipubi do Membro Crato da Formação Santana é o de uma tartaruga Pleurodira (cf. *Araripemys* Price, 1973) (Fielding *et al.*, 2005). Tanto os autopódios anteriores quanto as posteriores desta tartaruga possuem cinco dígitos (Fielding *et al.*, 2005). Entretanto, o quinto dígito do autopódio traseiro é muito menor que os outros, de modo que não deixaria sua impressão em uma marca de arraste.

Com base nas evidências até o momento disponíveis, considera-se plausível que a pegada aqui descrita tenha sido produzida pela extremidade de um autopódio esquerdo de uma tartaruga. Entretanto, não se pode descartar a possibilidade desta pegada pertencer a algum animal ainda desconhecido para as “camadas Ipubi”.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A presença de uma *scratch mark* isolada em sedimentos finos e depositados em ambiente redutor sugere que os corpos lacustres que constituem as “camadas Ipubi” do Membro Crato eram suficientemente profundos para encobrir completamente o corpo do animal. Isto é corroborado pela interpretação faciológica do sedimento, que sugere um ambiente lacustre profundo, de modo que os tetrápodes ali viventes raramente chegariam ao fundo do corpo de água. Uma tartaruga seria a melhor candidata a autora da pegada, uma vez que a morfologia de seus autopódios e seu hábito de vida são, dentre os animais conhecidos nos depósitos da bacia do Araripe, os mais compatíveis para explicar a produção de uma marca tal como a que foi preservada.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a equipe de paleontologia da URCA (Universidade Regional do Cariri) pelo auxílio e apoio logístico, especialmente a A. F. Saraiva e R. A. M. Bantim. Agradecem também a V. D. Paes pela reconstrução apresentada na Figura 3, ao CNPq pela concessão de bolsas de doutorado e mestrado e pelo financiamento do projeto (proc. 78537/2008-5).

REFERÊNCIAS

Assine, M.L. 2007. Bacia do Araripe. *Boletim de Geociências da Petrobrás*, **15**(2):371-387.

Bernier, P.; Barale, G.; Bourseau, J.; Buffetaut, E.; Demathieu, G.; Gaillard, C. & Gall, J. 1982. Trace nouvelle de locomotion de Chélonien et figures d'émersion associées dans lês calcaires litographiques de Cerin (Kimméridgien Supérieur), Ain, France. *Geobios*, **15**(4):447-467.

Brand, L.R. 1996. Variations in salamander trackways resulting from substrate differences. *Journal of Paleontology*, **70**(6):1004-1010.

Bujok, A.; Sadlok, G.; Pienkowi, G. & Niedzwiedzki, G. 2008.

Baranów, Lower Trassica, Upper Spathian. In: INTERNATIONAL CONGRESS ON ICHNOLOGY, 2, 2008. *The Pre-Congress and Post-Congress Field Trip Guidebook: Ichological Sites of Poland*, Cracow, Polish Geological Institute, p. 54 -59.

Campos, H.B.N.; Silva, R.C. & Milàn, J. 2010. Traces of a large crocodylian from the Lower Cretaceous Sousa Formation, Brazil. *New Mexico Museum of Natural History and Science Bulletin*, **51**:109-114.

Carvalho, I.S.; Viana, M.S.S. & Lima, M.F.L. 1995. Os icnofósseis de dinossauros da bacia do Araripe (Cretáceo Inferior, Ceará, Brasil). *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, **67**(4):433-442.

Fielding, S.; Martill, D.M. & Naish, D. 2005. Solnhofen-style soft-tissue preservation in a new species of turtle from the Crato Formation (Early Cretaceous, Aptian) of North-east Brazil. *Palaeontology*, **48**:1301-1310.

Foster J.R. & Lockley M.G. 1997. Probable crocodylian tracks and traces from the Morrison Formation (Upper Jurassic) of eastern Utah. *Ichmos*, **5**:121-129.

Kelly, L. 2006. *Crocodyle: evolution's greatest survivor*. Crows Nest, Allen & Unwin, 272 p.

Maisey, J.G. 1991. *Santana fossils: an illustrated Atlas*. New York, T.F.H. Publishers, 459 p.

Martill, D. 2007. *The Crato fossil beds of Brazil*. Cambridge, Cambridge University Press, 675 p.

McAllister, J.A. 1989. Dakota Formation tracks from Kansas: implications for the recognition of tetrapod subaqueous traces. In: D.D. Gillette & M.G. Lockley (eds.), *Dinosaur Tracks and Traces*. Cambridge University Press, p. 343-348.

McAllister, J.A. & Kirby, J. 1998. An occurrence of reptile subaqueous traces in the Moenkopi Formation (Triassic) of Capitol Reef National Park, South Central Utah, USA. *National Park Service, Technical Report*, **98**(1):45-49.

Milner, A.R.C. & Lockley, M.G. 2006. History, geology and paleontology: St. George dinosaur discovery site at Johnson Farm, Utah. In: R.E. Reynolds (ed.) *Making tracks across the southwest: the 2006 desert symposium field guide and abstracts from proceedings*, Desert Studies Consortium and LSA Associates, p. 35-48.

Sedor, F.A. & Silva, R.C., 2004. Primeiro registro de pegadas de Mesosauridae (Amniota, Sauropsida) na Formação Irati (Permiano Superior da bacia do Paraná) do Estado de Goiás, Brasil. *Revista Brasileira de Paleontologia*, **7**(2):269-274.

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**:140-156.

Viana, M.S.S.; Brito, P.M. & Silva-Telles, A.C. 1989. Paleontologia de uma camada de folhelhos pirobetuminosos do Membro Romualdo, Formação Santana, na Mina Pedra Branca, Município de Nova Olinda, Ceará. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PALEONTOLOGIA, 11, 1989. *Anais*, Curitiba, UFPR/SBP, p. 207-217.

Viana, M.S.S.V.; Lima, M.F. & Carvalho, I.S. 1993. Borborema megatracksite: uma base para correlação dos “Arenitos Inferiores” das bacias intra-continentais do Nordeste do Brasil. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO NORDESTE, 15, 1993. *Anais*, Natal, UFRN/SBG, p. 23-25.

Viana, M.S.S. & Richter, M. 1998. Coprolites of the Santana Formation (Lower Cretaceous, NE Brazil): Which organisms produced them? In: JORNADAS ARGENTINAS DE PALEONTOLOGIA DE VERTEBRADOS, 1, 1998. *Resúmenes*, Neuquén, Universidad de Neuquén, p. 49.

Received in April, 2010; accepted in October, 2010.

INSTRUCTIONS TO AUTHORS (Normas em português em www.sbpbrasil.org)

1. The Revista Brasileira de Paleontologia (RBP) is an official publication of the Sociedade Brasileira de Paleontologia (SBP) whose goal is to publish original scientific papers of broad interest in the field of Paleontology.
2. All submitted manuscripts must be in accord with the ICZN, ICBN.
3. Manuscripts may be written in Portuguese, Spanish or English. Articles in Portuguese or Spanish must include an English abstract.
4. Manuscripts may be up to 40 typed, double-spaced pages (A4 or standard letter size) in length, including illustrations and bibliography. Papers exceeding this limit or having color illustrations may be published pursuant payment by the authors of the additional publication costs.

MANUSCRIPT PREPARATION

5. Manuscripts must be submitted as digital files to João Carlos Coimbra, via e-mail: joao.coimbra@ufrgs.br
The first page should begin with the title, author's name and the complete address (both postal and electronic), followed by the English abstract, resumo, full text, references, and illustrations. Manuscript title centralized, upper case, font size 14, bold type. Authors name in upper case, font size 10, centralized. Author addresses in lower case, font size 10. Other titles in the text in upper case, and centralized. Subtitles in lower case, bold and left aligned. The abstract and resumo should not exceed 20 lines and should be followed by up to six key words and palavras-chave, respectively. For articles in Portuguese or Spanish, the English translation of the title in upper case (capital) letters should follow the word Abstract. Submit only the digital files of text, tables and illustrations. Send the files in a CD, DVD or through e-mail (joao.coimbra@ufrgs.br). Text must be in *Word for Windows*, Times New Roman font with a font size 12. Text should be double-spaced and left-aligned, with margins of 2.5 cm on all sides. Tables must be created in Table mode of Word. Each illustration and table must be sent in a separate file.

Illustrations

6. All graphic illustrations, photographs and photomicrographs should be referred to as Figures, including plates, and numbered sequentially in the order of their citation in the text. The figures should be submitted at the size they are to appear in the RBP: maximum width 8 cm (one column) or 17 cm (two columns). Elaboration of the figures making the most economical use of the available space is strongly recommended. Illustrations must be of high-quality. Digital files of illustrations should have at least 300 dpi (at final publication size), and in image format (**jpg** or **tiff**).
7. Font sizes and symbols within figures should be planned such that they will remain legible even if printed at reduced size. Oversized illustrations will not be accepted. Graphic scales should be used within the figures. All symbols must be explained. All captions must be sent on separate at the end of the text. Captions in Portuguese or Spanish should also include an English translation.

References

8. Bibliographic citations within the text should be made as

follows: Costa (1999), Costa & Silva (1992a, 1992b), and for three or more authors, Costa *et al.* (2000).

9. References should be listed alphabetically by last name at the end of the text. The following models should be used:

Articles in periodicals:

- Costa, S.O. 1994. Estudo morfoestrutural ao microscópio óptico dos nanofósseis de *Chiasmolithus* (Família Coccolithaceae) reconhecidos no intervalo Paleoceno/Eoceno Médio da Bacia do Espírito Santo. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, **66**(2):145-165.
- Drehmer, C.J. & Ribeiro, A.M. 1998. A temporal bone of an Otariidae (Mammalia, Pinnipedia), from the Late Pleistocene of Rio Grande de Sul State, Brazil. *Revista Universidade de Guarulhos, Geociências*, **3**(6):39-44.

Articles in serial publications:

- Price, L.I. 1953. *Os quelônios da Formação Bauru, Cretáceo terrestre do Brasil Meridional*. Rio de Janeiro, Departamento Nacional da Produção Mineral, Divisão de Geologia e Mineralogia, 34 p. (Boletim 147).
- Vicalvi, M.A.; Kotzian, S.C.B. & Forti-Esteves, I.R. 1977. A ocorrência de microfauna estuarina no Quaternário da plataforma continental de São Paulo. *In: Evolução Sedimentar Holocênica da Plataforma Continental e do Talude do Sul do Brasil*, Rio de Janeiro, CENPES/DINTEP, p. 77-97 (Série Projeto REMAC 2).

Dissertations and theses:

- Morais, M.H.C. 1998. *Equinóides regulares da Formação Pirabas (Oligo-Mioceno), Pará, Brasil - Sistemática, Tafonomia e Paleoeologia*. Programa de Pós-graduação em Geologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, M.Sc. thesis, 69 p.

Publications appearing in conjunction with scientific meetings:

- Dias-Brito, D. 1992. Ocorrências de calcisferas em depósitos carbonáticos do Atlântico Sul: impacto na configuração paleoceanográfica do Tétis Cretácico. *In: SIMPÓSIO SOBRE AS BACIAS CRETÁDICAS BRASILEIRAS*, 2, 1992. *Resumos expandidos*, Rio Claro, UNESP, p. 30-34.

Books:

- Taylor, T.N. & Taylor, E.L. 1993. *The Biology and Evolution of Fossil Plants*. 1^ª ed. Nova Jersey, Prentice Hall, 982 p.

Chapters in books:

- Ostrom, J.H. 1992. Dromaeosauridae. *In: D.B. Weishampel; P. Dodson & H. Osmólska (eds.) The Dinosauria*, University of California Press, p. 269-279.

PEER REVIEW AND EVALUATION OF THE MANUSCRIPT

10. Manuscripts will be reviewed by at least two *ad hoc* referees and/or by the Editors or members of the Editorial Council.

FINAL MANUSCRIPT PREPARATION

11. Articles accepted for publication will be returned to the corresponding author together with a list of editorial recommendations. The corrected version of the text (doc) and images (jpeg or tiff) should be returned to RBP in electronic format.
12. Proofs of accepted papers will be sent to the corresponding author for correction prior to printing.

REPRINTS

13. The journal provides each author with a pdf file of his/her article, and 25 hard-copy reprints free of charge.