

Paleontologia: Cenários de Vida - Paleoclimas

Editores:

Ismar de Souza Carvalho

Maria Judite Garcia

Cecília Cunha Lana

Oscar Strohschoen Jr.

Volume 5



EDITORA INTERCIÊNCIA



PALEODESERTO BOTUCATU: INFERÊNCIAS AMBIENTAIS E CLIMÁTICAS COM BASE NA OCORRÊNCIA DE ICNOFÓSSEIS

BOTUCATU PALEODESERT: ENVIRONMENTAL AND CLIMATIC INFERENCES BASED ON THE OCCURRENCE OF ICHNOFOSSILS

Marcelo Adorna Fernandes¹, Aline Marcelle Ghilardi² & Ismar de Souza Carvalho²

¹Universidade Federal de São Carlos, Depto de Ecologia e Biologia Evolutiva, Laboratório de Paleoecologia e Paleoicnologia. Via Washington Luis, km 235, Caixa Postal 676. 13565-905 São Carlos, SP, Brasil

²Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências, Departamento de Geologia. Av. Athos da Silveira Ramos, 274, 21.949-900 Cidade Universitária, Ilha do Fundão, Rio de Janeiro, RJ, Brasil

E-mails: mafernandes@ufscar.br, alinemghilardi@yahoo.com.br, ismar@geologia.ufrj.br

RESUMO

Os icnofósseis auxiliam nas interpretações paleoambientais e paleoecológicas ao longo do tempo geológico, bem como possibilitam o estudo do comportamento dos diversos organismos fósseis e das condições sedimentológicas dos ambientes pretéritos. A Formação Botucatu que cobre a maior parte da Bacia do Paraná, de idade Neocomiana, apresenta inúmeros icnofósseis atribuídos a vertebrados e invertebrados e se constitui numa das maiores deposições eólicas contínuas do mundo, com extensos *ergs*. Tais icnofósseis, associados às ocorrências de estruturas sedimentares não-biogênicas, possibilitam uma melhor interpretação e confirmação da existência de um ambiente desértico com relativa umidade ocasional, principalmente nas regiões de interduna e em subsuperfície.

Palavras-chave: Paleodeserto, Formação Botucatu, Icnofósseis, Neocomiano

ABSTRACT

Ichnofossils contribute to paleoenvironmental and paleoecological interpretations through geological time, as-well-as enable the study of the behavior of extinct organisms and the sedimentological conditions of ancient environments. The Botucatu Formation covers most of the Paraná Basin and is recognized as Neocomian in age, being one of the largest continuous aeolian environment in the world, with the occurrence of extensive *ergs*. It presents numerous ichnofossils attributed to vertebrates and invertebrates. Many of these are associated with non-biogenic sedimentary structures, which allow a better interpretation of the Botucatu depositional environment, and help to confirm the existence of occasional humidity associated with the interdune area and also in the subsurface of the sand dunes.

Keywords: Paleodesert, Botucatu Formation, Ichnofossils, Neocomian

1. INTRODUÇÃO

O estudo de um icnito ou icnofóssil (vestígio preservado da atividade de um organismo) é de grande importância, pois pode auxiliar nas interpretações paleoambientais e paleoecológicas de um determinado período de tempo geológico, assim como evidenciar o comportamento dos diversos organismos fósseis e as condições sedimentológicas dos ambientes pretéritos.

As icnocenoses e icnofácies continentais são o resultado de variações ambientais, como por exemplo, o grau de oxigenação, tipos de substratos e taxas de sedimentação. Nos ambientes continentais, muitas vezes, os icnofósseis são as únicas fontes para estudos paleoecológicos, pois estão diretamente relacionados às condições físicas e químicas do ambiente, uma vez que foram formados exclusivamente em depósitos autóctones.

Basicamente, as icnocenoses ocorrem como um padrão de associação recorrente ao longo do tempo geológico em vários ambientes terrestres, definindo-se assim diferentes icnofácies, relacionadas a vertebrados e invertebrados. A icnocenose representa uma assembléia de pistas ou trilhas preservadas em um horizonte estratigráfico. A icnofácies refere-se a múltiplas icnocenoses com composições icnotaxonômicas similares, e que mostram associações recorrentes em ambientes particulares.

Os depósitos eólicos podem conter registros de vários icnofósseis de invertebrados, como: *Octopodichnus* e *Paleohelcura* (produzidos por escorpiões), *Oniscoidichnus* (provocados por isópodes), *Diplopodichnus* (criados por miriápodes), *Taenidium* e *Beaconites* (tubos meniscados originados possivelmente por animais vermiformes), *Skolithos* (provocados por larvas de coleópteros) e *Arenicolites* (tubos verticais produzidos por anelídeos). Os icnofósseis de tetrápodes também podem estar associados ao ambiente eólico, como por exemplo, pegadas correspondentes à icnoespécie *Brasilichnium elusivum* (um pequeno mamífero primitivo), identificadas por Leonardi (1981), que são encontradas em arenitos da Formação Botucatu (Figura 1) na região de Araraquara, Estado de São Paulo.



Figura 1. Área de exposição da paleoduna da Formação Botucatu na Pedreira São Bento de Araraquara, São Paulo.

2. GEOLOGIA REGIONAL

Na divisão do Mesozoico, para a Bacia no Paraná, distingue-se o Grupo São Bento com as formações Pirambóia, Botucatu e Serra Geral. A Formação Botucatu acha-se em grande parte entremeadada com os basaltos da Serra Geral, e sua idade se estende de um tempo não definido, do Jurássico ao Cretáceo Inferior.

Bigarella & Salamuni (1961) sugeriram que os arenitos eólicos teriam se acumulado entre o Jurássico Médio-Superior e o Cretáceo Inferior pré-Aptiano. Porém, de acordo com Scherer *et al.* (2000), o limite superior da idade da Formação Botucatu corresponde ao Neocomiano, mesmo intervalo temporal dos derrames mais novos da Formação Serra Geral.

A Formação Botucatu representa os diversos subambientes de um grande deserto climático de aridez crescente, cuja existência se prolongou até a ocasião do vulcanismo basáltico. O empilhamento de grandes dunas, em vasta área, constituindo *ergs* foi a característica dominante desse deserto. Das regiões cristalinas periféricas e daquelas em que os sedimentos da bacia sedimentar se achavam então expostos à zona de acumulação eólica, provinham *oueds* de regime torrencial, e seus depósitos, sujeitando-se a deflação e abrasão eólica, formavam *regs* aluviais. Pequenas e raras lagoas periódicas acumulavam sedimentação de clásticos finos, nas planícies. O vulcanismo basáltico iniciou sua atividade quando imperavam essas condições desérticas (Almeida & Melo, 1981).

As estruturas sedimentares mais típicas são as estratificações cruzadas tangenciais em grandes cunhas que, para o topo, passam à estratificação plano-paralela e cruzada acanalada. Zonas silicificadas também são comuns nos arenitos da Formação Botucatu principalmente na porção superior próxima ao contato com as vulcânicas da Formação Serra Geral (Paragassu, 1970).

Além da influência tectônica, o clima foi um importante controlador da sedimentação eólica devido às condições paleogeográficas do Gondwana (Scherer *et al.*, 2000), onde a presença da cordilheira pré-andina deve ter impedido que os ventos *westerlies* deslocassem umidade para o interior do continente, produzindo uma ampla faixa de aridez e gerando campos de dunas eólicas que cobriam grande parte da Plataforma Sul-Americana. Além disso, para Milani (1997), na borda da cadeia de montanhas, desenvolveu-se um amplo sistema de leques aluviais, que serviram como área fonte das areias das dunas eólicas da Formação Botucatu. Segundo Bigarella & Salamuni (1961), os ventos que moviam as dunas do paleodeserto Botucatu no Estado de São Paulo sopravam primordialmente de N a NNE.

O Arenito Botucatu cobre a maior parte da Bacia do Paraná, o Paraguai Oriental e o nordeste da Argentina, perfazendo uma área de mais de 1.300.000 km², constituindo uma das maiores deposições áridas contínuas do mundo. No contexto paleontológico, além dos icnofósseis, poucos são os fósseis corporais presentes na Formação Botucatu, sendo encontrados troncos e conchostráceos na porção norte da área de distribuição desta unidade litoestratigráfica (Campos, 1889 *apud* Almeida & Melo, 1981).

3. A ICNOLOGIA E AS INTERPRETAÇÕES PALEOAMBIENTAIS

Na icnofácies *Brasilichnium* ocorrem pistas de tetrápodes relacionadas a dinossauros bípedes, cujas pegadas são bem preservadas, além de inúmeras pistas de outros mamíferos primitivos, evidenciando uma relativa umidade nas regiões de interdunas, ou mesmo nas próprias dunas que se manteriam úmidas em função do lençol freático de pouca profundidade. Também são comuns nesta icnofácies as pistas de invertebrados, atribuídas principalmente ao icnogênero *Taenidium* e a alguns artrópodes como coleópteros (Figura 2) e escorpiões (Figura 3).



Figura 2. Representação de Coleoptera no Paleodeserto Botucatu (reconstituição por Aline M. Ghilardi).

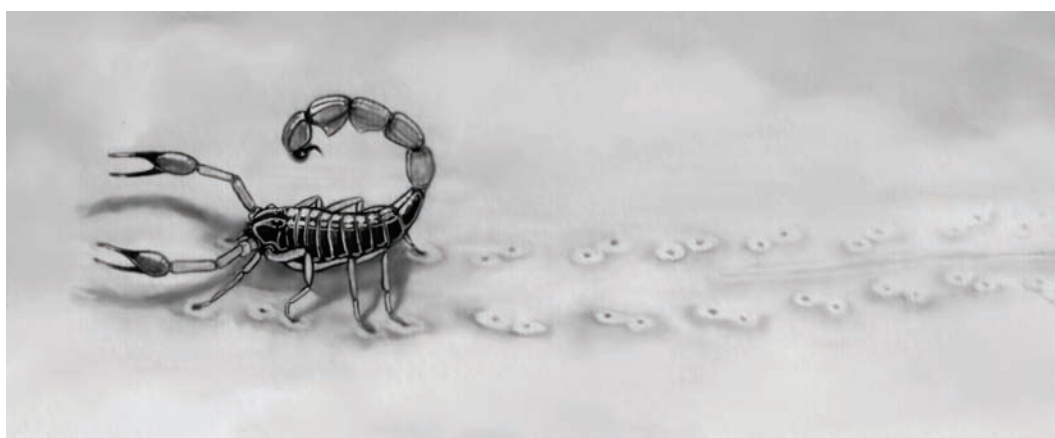


Figura 3. Representação de Scorpionidae no Paleodeserto Botucatu (reconstituição por Aline M. Ghilardi).

Leonardi (1991) estudando as icnofaunas sul-americanas observou que havia uma frequência de dinossauros Theropoda de até 87%, com predominância de Coelurosauria (Figuras 4 e 5) para paleoambientes desérticos, sugerindo que este grupo seria mais bem adaptado às regiões áridas e

desérticas que outros grupos de dinossauros. No entanto, isso pode ser um reflexo das condições preservacionais do ambiente, que favoreceria a preservação de pegadas, ou *undertracks*, com proporções menores produzidas por dinossauros com pequena massa corporal e que também dependeriam da maior ou menor umidade em subsuperfície. Esse tipo de origem para pegadas acontece quando ocorre o deslocamento em um *foreset* aparentemente seco, porém quando se aprofunda o pé em subsuperfície existe o contato e a deformação real do substrato inferior, marcando e crenulando a areia circundante.

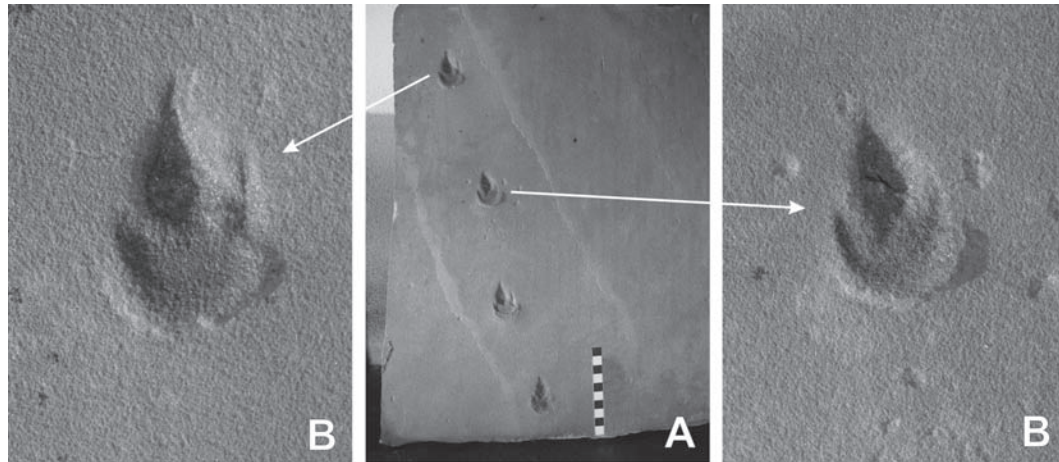


Figura 4. (A) Pista com quatro pegadas de dinossauro terópode (Coelurosauria). (B) Detalhes das pegadas. Escala em centímetros.



Figura 5. Reconstrução de um dinossauro celurosauro (reconstituição por Aline M. Ghilardi).

As alterações de velocidade durante a locomoção, direção de movimento no *foreset* e das condições preservacionais, são fatores que podem ser decisivos para a formação e preservação de pistas inclusive com padrões distintos e que podem ser produzidas por um mesmo animal.

4. AS ESTRUTURAS NÃO-BIOGÊNICAS

Dentre as várias ocorrências icnológicas, são inúmeras as feições naturais não-biogênicas encontradas nos arenitos da Formação Botucatu.

Muitas *ripple-marks* eólicas são identificadas, indicando também a direção de predominância dos paleoventos de NE para SW. As *ripples* são constantes tanto em *foreset* quanto em *topset*. Nos *foreset* formam-se as *ripples* de adesão devido ao alto teor de umidade. Estas *ripples* de adesão são freqüentes nos arenitos da Formação Botucatu, sendo mais um indicativo da relativa umidade no paleoambiente desértico.

Ocorrem também as concreções ferromagnesianas, que se formaram no interior das camadas sedimentares em eventos pós-deposicionais, porém antes da completa litificação, onde pequenas partículas metálicas transportadas pelo vento acumulavam-se em camadas no meio do depósito eólico. Com a interferência da umidade percolante nas areias, houve a oxidação destas partículas criando uma dispersão radial dos óxidos, tingindo a areia circundante ao grão, o que acarretou na limonitização da parte mais externa após a oxidação total, criando a concreção que atualmente sofre o processo de decomposição diferencial em relação ao arenito circundante.

As marcas dos pingos de chuva ficaram preservadas nas areias do paleodeserto, indicando que a umidade ocasional deveria realmente ocorrer em determinadas épocas do ano. Após um momento de chuva, o vento trazendo areia seca, recobria diferencialmente as dunas umedecidas, criando superfícies com marcas preservadas de pingos de chuva associados a *ripple-marks*.

Talvez na porção norte da Bacia do Paraná, onde se localiza atualmente o estado de São Paulo, houvesse um aumento da umidade devido à elevação do nível do lençol freático nos sedimentos dos depósitos anteriores aos arenitos da Formação Botucatu. Já na porção sul da Bacia do Paraná, onde se localiza o Estado do Rio Grande do Sul, as mudanças topográficas durante o Cretáceo Inferior tornariam as condições ambientais desfavoráveis para promover a preservação e fossilização no paleodeserto, que deveria ser mais quente e seco.

5. CONDIÇÕES PRESERVACIONAIS EM PALEOAMBIENTES DESÉRTICOS

Segundo Ahlbrandt *et al.* (1978), a preservação de estruturas biogênicas em arenitos eólicos está relacionada à condição de coesão dos sedimentos arenosos quando da atividade dos organismos. Em condições de relativa umidade e de rápido soterramento, existe maior probabilidade de se preservar as pegadas dos animais. Winkler *et al.* (1991), sugere que essas condições ambientais são mais prováveis de acontecerem em um deserto nas áreas de sotavento e interdunas.

De acordo com Leonardi (1980), existiriam duas possibilidades para explicar a preservação das pegadas encontradas nos arenitos da Formação Botucatu, sendo a umidade do sereno da noite

a responsável pela preservação dos detalhes morfológicos das pegadas, e também a existência de um lençol freático alto na duna, que tornaria mais rápida a preservação das pegadas no *foreset*. O mais provável, após a comparação com ambiente similar atual, é o nível de umidade de subsuperfície mais elevado.

Devido à umidade das regiões de interduna seria possível a existência de lagoas efêmeras com o estabelecimento temporário da biota, fato que justificaria a grande ocorrência de pegadas preferencialmente direcionadas ao longo do *foreset* da paleoduna.

Não são registradas pegadas atribuídas aos saurópodes na Formação Botucatu e como Leonardi (1991) já sugerira, este fato está relacionado à aridez do ambiente com escassez de alimento.

Quando a areia está úmida, torna-se mais densa e os artrópodes não têm massa corporal suficiente para transferir as impressões de seus elementos tarsais (Figura 6). Na areia seca existe a impressão destes elementos inclusive num padrão definido para diferentes formas específicas de artrópodes.

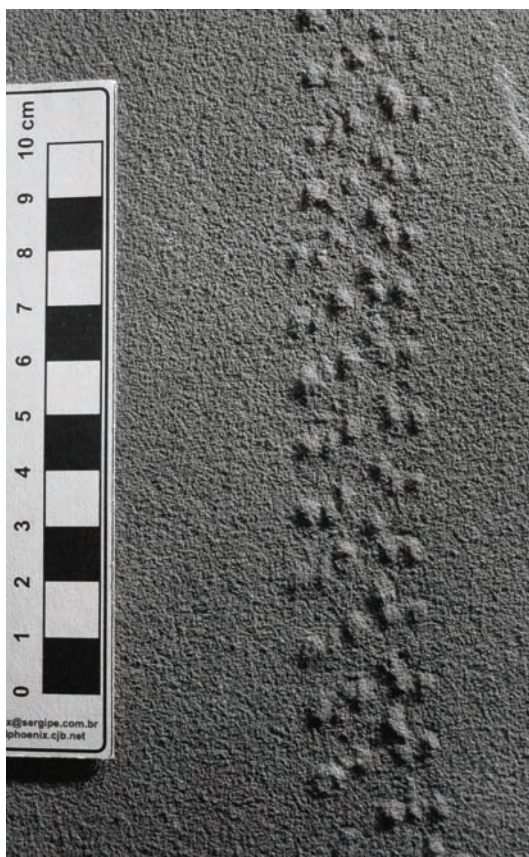


Figura 6. Pista produzida por um artrópode, possivelmente um Coleoptera. Escala em centímetros.

As variações preservacionais das pegadas fossilizadas nos arenitos da Formação Botucatu condizem com aspectos relacionados à consistência do substrato em função da umidade e também das velocidades e direções diferentes, adotadas pelos animais durante o percurso através das paleodunas.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

De acordo com Pires (2008), uma associação monotípica de coníferas com afinidade a Pinaceae atuais, preservada na porção norte da área de distribuição da Formação Botucatu, sugere alguma umidade presente nas condições áridas do paleodeserto. As análises dendrológicas indicam que as condições de crescimento eram periódicas, mas altamente estressantes durante o ciclo de vida das plantas. Os parâmetros quantitativos, que controlaram o desenvolvimento dos anéis de crescimento são relacionados a caracteres ambientais.

Pires (2008) ainda acrescenta que a associação de coníferas desenvolveu-se durante o clímax de uma fase *greenhouse* com aumento na disponibilidade de CO₂ atmosférico. Simulações de paleoclimas do Cretáceo Inferior para esta latitude de 18°S indicam biomas áridos desérticos associados a condições hiperáridas durante a fase pré-rifte do Pangeia.

No paleoambiente Botucatu coexistiram mamíferos de pequeno a médio porte (Figura 7), dinossauros Theropoda (carnívoros de pequeno a médio porte), dinossauros Ornithopoda (herbívoros de médio a grande porte), além de invertebrados como coleópteros e aracnídeos. Essas ocorrências sugerem uma relação paleoecológica bem diversificada, com organismos detritívoros e coprofágicos, como os coleópteros; escorpiões que deles se alimentariam; mamíferos que poderiam também se alimentar de coleópteros e escorpiões; dinossauros herbívoros que pastariam às margens do paleodeserto e das pequenas lagoas formadas em períodos de maior umidade; dinossauros carnívoros de pequeno porte que poderiam se alimentar dos pequenos mamíferos (Figura 8); até carnossauros de topo das cadeias alimentares.



Figura 7. Cenário de vida do mamífero *Brasilichnium elusivum* (reconstituição por Aline M. Ghilardi).



Figura 8. Reconstituição ambiental do Paleodeserto Botucatu, com dois elementos representados em sua icnofauna: carnossauro e mamífero (reconstituição por Aline M. Ghilardi).

No paleodeserto Botucatu pelo menos seis grupos diferentes de dinossauros (Theropoda: Coelurosauria, Carnosauria e Ornithopoda) conviveram e caminharam por entre as dunas, deixando suas pegadas preservadas em áreas de *foreset* das interdunas úmidas, como verificado através dos vestígios de pingos de chuva, *ripples* de adesão e gretas de contração associadas às pegadas dos animais.

Os icnofósseis de vertebrados e invertebrados presentes nos arenitos da Formação Botucatu, associados às ocorrências de estruturas sedimentares não-biogênicas, possibilitam uma melhor

interpretação e confirmação da existência de um paleoambiente desértico com relativa umidade ocasional, principalmente nas regiões de interduna e em subsuperfície.

A ocorrência de pistas de artrópodes associadas a pegadas de *B. elusivum*, corroboram a interpretação para a areia seca em superfície, pois a umidade tornaria impraticável a formação dos icnofósseis de invertebrados com massa corporal diminuta.

7. AGRADECIMENTOS

Ao Professor Dr. Giuseppe Leonardi pelo material cedido para consulta e referência. A Dr^a Luciana Bueno dos Reis Fernandes pelo auxílio no trabalho de campo. Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e Fundação Carlos Chagas Filho de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro (FAPERJ) pelo suporte financeiro.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AHLBRANDT, T.S.; ANDREWS, S. & GWYNE, D.T. 1978. Bioturbation in eolian deposits. *Journal of Sedimentary Petrology*, 48(3):839-848.
- ALMEIDA, F.F.M. & MELO, C. 1981. A Bacia do Paraná e o vulcanismo Mesozoico. In: BISTRICHI, C.A.; CARNEIRO, C.D.R.; DANTAS, A.S.L. & PONÇANO, W.L. (eds.). *Mapa Geológico do Estado de São Paulo* ✕ *nota explicativa*. Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1, p. 46-47.
- BIGARELLA, J.J. & SALAMUNI, R. 1961. Early Mesozoic wind patterns as suggested by dune bedding in the Botucatu Sandstone of Brazil and Uruguai. *Geological Society American Bulletin*, 72:1089-1106.
- LEONARDI, G. 1980. On the discovery of an abundant ichno-fauna (vertebrates and invertebrates) in the Botucatu Formation s.s. in Araraquara, São Paulo, Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 52(3):559-567.
- LEONARDI, G. 1981. Novo Ichnogênero de Tetrápode Mesozoico da Formação Botucatu, Araraquara, SP. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 53(4):793-805.
- LEONARDI, G. 1991. Inventory and statistics of the South American dinosaurian ichnofauna and its paleobiological interpretation. In: GILLETTE, D.D. & LOCKLEY, M.G. (eds.). *Dinosaur tracks and traces*. Cambridge University Press, p. 165-178.
- MILANI, E.J. 1997. *Evolução tectono-estratigráfica da Bacia do Paraná e seu relacionamento com a geodinâmica fanerozoica do Gondwana sul-ocidental*. Programa de Pós-graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Tese de Doutorado, 2 v., 255 p.
- PARAGUASSU, A.B. 1970. Estruturas sedimentares da Formação Botucatu. *Revista Mineração e Metalurgia*, Rio de Janeiro, 51(301):25-30.
- PIRES, E.F. 2008. *Análises dendrológicas no Cretáceo Inferior das Bacias do Araripe e Paraná: determinação de paleoclimas regionais e relação com biomas globais do Mesozoico*. Programa de Pós-graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Tese de Doutorado, 181p.
- SCHERER, C.M.S.; FACCINI, U.F. & LAVINA, E.L. 2000. Arcabouço estratigráfico do Mesozoico da Bacia do Paraná. In: HOLZ, M. & ROS, L.F. (eds.). *Geologia do Rio Grande do Sul*. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, CIGO, p. 335-354.
- WINKLER, D.A.; JACOBS, L.L.; CONGLETON, J.D. & DOWNS, W.R. 1991. Life in a sand sea: biota from Jurassic interdunes. *Geology*, 19:889-892.