

As Pegadas Fósseis do Paleodeserto da Bacia Sanfranciscana (Jurássico Superior-Cretáceo Inferior, Minas Gerais)

ISMAR DE SOUZA CARVALHO¹ e SENIRA DA SILVA KATTAH²

¹Universidade Federal do Rio de Janeiro, Departamento de Geologia, CCMN, Cidade Universitária, Ilha do Fundão – 21949-900 Rio de Janeiro, RJ

²University of Texas at Austin, Department of Geological Sciences, 78713, P. O. Box 7909 – Austin, Texas, USA

*Manuscrito recebido em 21 de janeiro de 1996; aceito para publicação em 19 de agosto de 1997
credenciado por CANDIDO SIMÕES FERREIRA*

ABSTRACT

Sedimentary rocks in most Brazilian basins indicate the establishment of extensive paleodeserts from the Jurassic through the whole Cretaceous. In many basins, the occurrences of reptiles associated to these desertic settings are commonly recorded. This paper registers and describes eleven dinosaur footprints that occur in the upper Jurassic(?) / lower Cretaceous of the Sanfranciscana Basin, Minas Gerais state, Brazil. The ichnofossils are present at the basal part of the Areado Group in a reddish sandstone interpreted as eolian facies of a humid interdune environment. These fossil footprints contribute to a better understanding of the paleogeographic distribution of the reptilian fauna in the south hemisphere during the Mesozoic times. The ichnofossils were codified as JPAR-01 to JPAR-11. The footprints were preserved as epireliefs filled with sandstone similar to the surrounding matrix. Three of them represent a small trackway, the rest are isolated forms, generally tridactyl, mesaxonitic with the digitigrade aspects preserved in some cases. The general morphology attributes those fossil footprints to biped dinosaur – Theropoda, most probably carnosaurs and coelurosaurs.

Some considerations about the occurrence and preservation of footprints in desertic environments are included. The more diverse biologic activity in deserts are concentrated in interdune areas. The parameters controlling the kind of activity in those settings are: humidity, sedimentation rate, and the size of surrounding dunes.

The described footprints are analogs to some ichnofossils that occur in wadis facies of the Botucatu and Caiuá formations (Paraná Basin) and some of the Corda Formation (Parnaíba Basin). Unfortunately, the wide temporal amplitude and the preservational features of these prints make it difficult to obtain a detailed inference of their producers.

Key words: dinosaur footprints, Sanfranciscana Basin, lower Cretaceous.

INTRODUÇÃO

A formação da Pangea e a sua posição no final do Paleozóico favoreceram o estabelecimento de extensas áreas desertificadas no grande núcleo

continental. Em várias partes do globo, observa-se que esses paleodesertos, quando associados a contextos subsidentes e a contínuo suprimento de material terrígeno, foram responsáveis pela deposição de espessas sucessões sedimentares do Permiano ao Cretáceo Superior (Kattah, 1991). Nas bacias sedimentares brasileiras, o Jurássico Superior e o

Correspondência para: Ismar de Souza Carvalho

Cretáceo evidenciam condições climáticas quentes associadas a extrema aridez. Os arenitos Botucatu e Caiuá (Bacia do Paraná), Areado e Urucua (Bacia Sanfranciscana), Sergi (Bacia do Recôncavo) e Corda (Bacia do Parnaíba) representam alguns dos registros desses paleodesertos.

Condições oxidantes extremas em ambientes desérticos conduzem a inviabilidade de preservação dos restos orgânicos. A raridade de fósseis neste tipo de ambiente faz com que as informações a respeito da biota dos paleodesertos restrinja-se quase sempre ao material icnológico, o qual é representado por escavações e pistas de artrópodes e anelídeos, além das pegadas de répteis e mamíferos. Em áreas desertificadas, a atividade bioturadora dos organismos tende a ocorrer e preservar-se em ambientes com maior disponibilidade de água, e.g. interdunas úmidas a subúmidas e ambientes lacustres.

Pouco se conhece sobre a fauna reptiliana da Bacia Sanfranciscana durante a existência do paleodeserto representado pelas rochas do segmento basal do Grupo Areado, as quais provavelmente distribuem-se temporalmente entre o Neo-Jurássico (? andar Dom João) e o Eo-Cretáceo (andares Rio da Serra e Aratu), segundo Cardoso (1971). Deve-se ressaltar que através da análise palinológica somente foram detectados estratos sedimentares pós-barremianos na bacia (Arai *et al.*, 1995). A datação baseou-se em palinóforos provenientes da localidade de Varjão (Fazenda São José) e da região de Galena. A identificação de pegadas de dinossauros nesse contexto paleoambiental e temporal possibilita uma melhor visualização da distribuição das faunas reptilianas no hemisfério sul, quando da ocorrência desses extensos desertos, pois amplia a distribuição paleogeográfica deste grupo paleozoológico durante o Eo-Cretáceo.

As pegadas do Grupo Areado compreendem formas atribuídas aos terópodes (carnossauros e celurosauros), tendo sido preservadas em fácies relacionadas com ambientes interdunas, sítio de desenvolvimento ocasional de ambientes fluviais efêmeros (Kattah, 1993). Apesar de não possuírem detalhes morfológicos nítidos, analogias com pegadas existentes em fácies similares das formações Botucatu, Caiuá e Corda são possíveis.

O MESOZÓICO DA BACIA SANFRANCISCANA

As rochas que constituem o Mesozóico da Bacia Sanfranciscana ocorrem em uma área de cerca de 140.000 km², distribuídas em uma faixa com orientação NS pelos estados de Minas Gerais, Goiás, Tocantins, Bahia e Maranhão (Fig. 1). O limite erosional sul é o Arco do Alto Parnaíba, o qual promove a separação dessa bacia da Bacia do Paraná. As bordas leste e oeste são delimitadas respectivamente pelas faixas de dobramento Espinhaço e Brasília (Petri & Fúlvaro, 1983). Ao norte, o Alto de São Francisco é a feição estrutural que separa as rochas mesozóicas da Bacia Sanfranciscana das da Bacia do Parnaíba (Kattah, 1991).

As rochas sedimentares mesozóicas da Bacia Sanfranciscana foram litoestratigraficamente divididas em formações Areado, Mata da Corda e Urucua (Barbosa, 1965; Grossi Sad *et al.*, 1971). Cardoso (1968) sugeriu que fácies terrígenas e químicas da Formação Areado fossem elevadas à categoria de grupo, o que foi retomado por Kattah (1991). A sucessão Areado é constituída por conglomerados, arenitos conglomeráticos, arenitos, siltitos, folhelhos e carbonatos, os quais associam-se a diversos contextos deposicionais e posicionam-se entre o Neo-Jurássico (?) e o Eo-Cretáceo. A Formação Mata da Corda engloba rochas vulcânicas alcalinas e fácies areníticas e conglomeráticas vulcanoclásticas associadas. A Formação Urucua é constituída por conglomerados, arenitos conglomeráticos, arenitos, siltitos, folhelhos e carbonatos de ambientes continentais. As sucessões Mata da Corda e Urucua pertencem ao Cretáceo Superior.

A análise faciológica e estratigráfica do Grupo Areado, apresentada em Kattah (1991), divide essa sucessão sedimentar em seqüências deposicionais A, B e C (Fig. 2). A seqüência deposicional **A** equivale aos andares Dom João e Rio da Serra da fase pré-rifte de evolução das bacias sedimentares brasileiras e contém fácies típicas de ambientes fluviais, eólicos, lacustres e deflacionários associados a um paleodeserto. A seqüência deposicional **B** possivelmente representa os andares Rio da Serra, Aratu e Buracica da fase rifte de evolução da bacia e engloba fácies de um ambiente lacustre associado

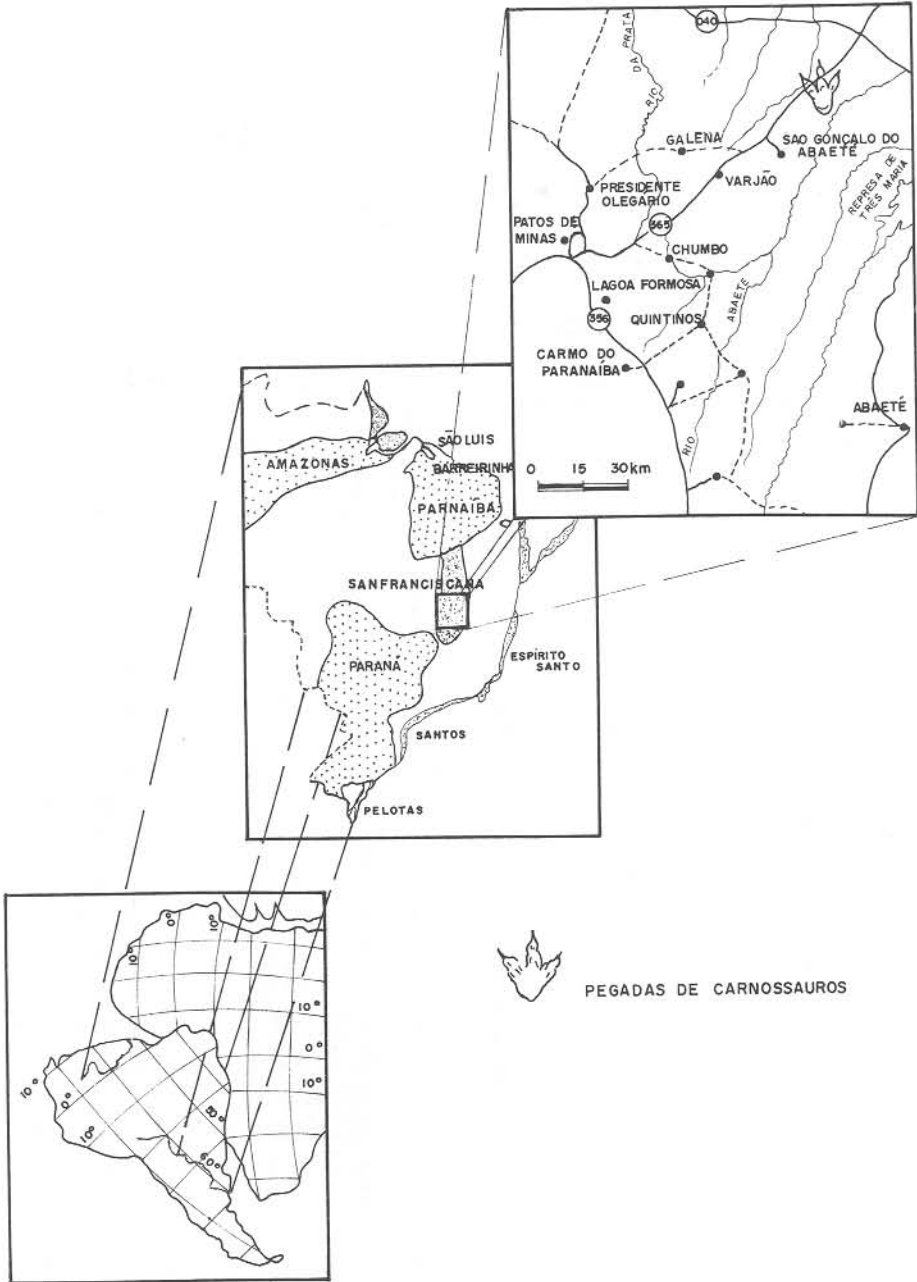


Fig. 1 — Mapa de localização da ocorrência icnofossilífera da Bacia Sanfranciscana (JAPR). A situação paleogeográfica da América do Sul e África quando da formação destas pegadas pode ser visualizada na parte inferior da ilustração.

a leques aluviais, fandeltas e dunas eólicas. A seqüência C é constituída por fácies continentais flúvio-lacustres na base, sucedidas verticalmente por folhelhos, carbonatos e arenitos de ambientes transicionais e marinhos relacionados a eventos glo-

bais de nível de mar alto e condições de extrema anoxia oceânica. A última seqüência é correlacionável aos andares Jiquiá e Alagoas da fase pós-rifte das bacias marginais brasileiras e é possível que tenha se estendido temporalmente até o Albiano.

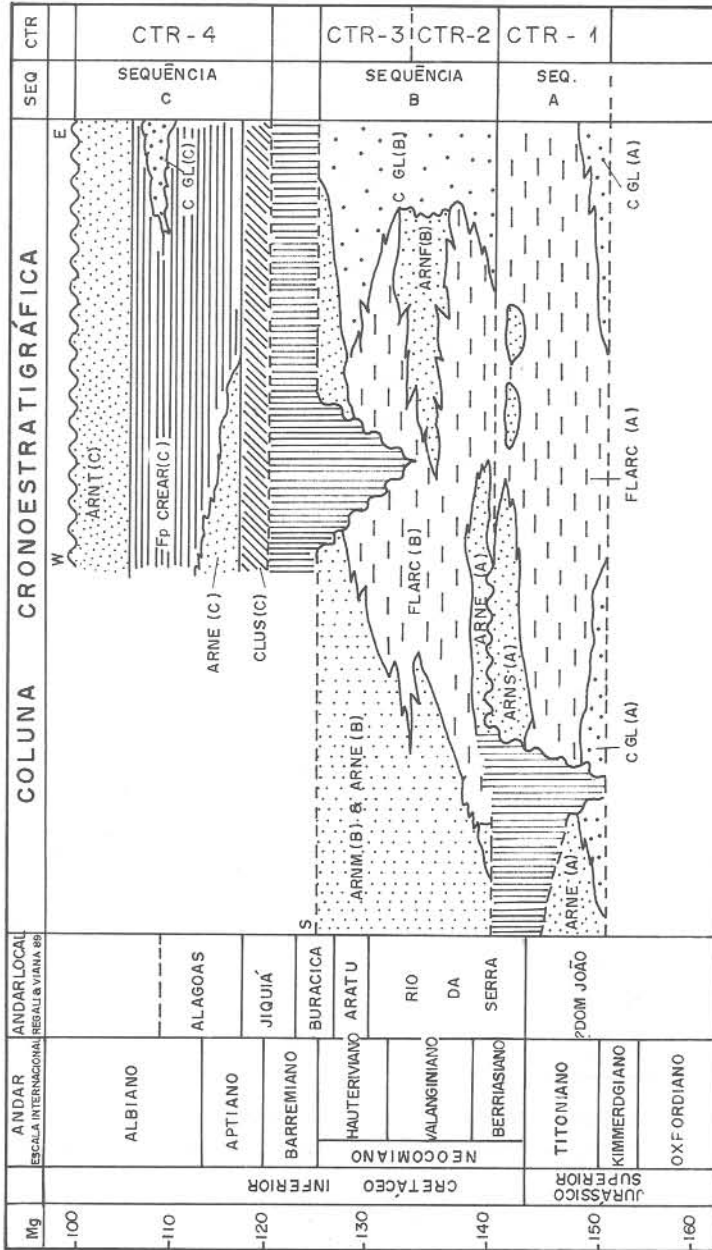


Fig. 2 — Coluna cronostratigráfica e distribuição das litofácies e seqüências deposicionais da Bacia Sanfranciscana (segundo Kattah, 1991). Convenções (associações faciológicas): ARNE = arcólios líticos (granulometria grossa-fina); ARNF = arenitos líticos; ARNM = arenitos arcólios; ARNS = arcólios líticos (granulometria média-fina); ARNT = arenitos feldspáticos com folhelhos; C GL = conglomerados polimíticos e arcólios líticos; CLUS = folhelhos com intercalações de silites e arenitos; Fp CREAR = folhelhos orgânicos e calcíferos; (A) = seqüência A; (B) = seqüência B; (C) = seqüência C; CTR = ciclo transgressivo-regressivo.

Os icnofósseis de vertebrados aqui descritos compõem um conjunto de pegadas de dinossauros preservado em fácies torrencial de tipo *wadi* em arenito quartzoso, com granulometria fina-média e coloração avermelhada (Fig. 3). Essa fácies pertence à porção basal da seqüência deposicional A, a qual em geral registra ambientes oxidantes associados a condições climáticas quentes e de extrema aridez. O paleodeserto responsável pela deposição dessa seqüência abrangia uma vasta área exposta quase que exclusivamente à ação dos ventos. Campos de dunas constituíam os principais ambientes de sedimentação. Como as precipitações pluviométricas eram esporádicas, a vegetação era escassa. Ambientes fluviais temporários (*wadis*) direcionavam-se para as regiões centrais mais deprimidas da bacia onde ocorriam lagos efêmeros num contexto de paleoplayas. Regiões interdunas também representavam ocasionalmente sítios de deposição fluvial ou, subordinadamente, constituíam ambientes de deflação eólica.

As pegadas fósseis são encontradas no nível estratigráfico indicado na figura 3. Kattah (1991) interpretou tais fácies como depósitos característicos de ambientes fluviais entrelaçados os quais se estabeleciam temporariamente em áreas de interdunas e marcam superfícies limitantes de ordem 1 em depósitos eólicos. Conglomerados maciços representam fácies *lag* de canais. Arenitos conglomeráticos com estratificação cruzada tabular associam-se à migração de barras longitudinais, enquanto arenitos com estratificações cruzadas acanaladas representam depósitos resultantes da migração de barras linguóides e dunas subaquosas de regime de fluxo inferior.

Os demais fósseis da bacia Sanfranciscana até agora conhecidos são palinórfos, radiolários, ostracóides, conchostráceos, crustáceos *incertae sedis*, peixes e vegetais (Lima, 1979; Chateaufort *et al.*, 1981; Carvalho *et al.*, 1995; Duarte, 1969, 1985; Cardoso, 1968, 1971; Santos, 1971; Scorza & Santos, 1955; Kattah & Koutsoukos, 1992). Em Carvalho *et al.* (1994) pode ser encontrada a listagem destes grupos fósseis, os quais favorecem o posicionamento do Grupo Areado entre o Neo-Jurássico e o Eo-Cretáceo.

DESCRIÇÃO DAS PEGADAS

Foram identificadas onze pegadas preservadas como epirrelevo, sendo que a maior parte ocorre de forma isolada. Há apenas uma pista curta, composta por três pegadas tridáctilas consecutivas. Todo o material icnológico mostra-se preenchido por um arenito quartzoso, de granulometria fina e coloração avermelhada, similar ao da matriz circundante. Em algumas das pegadas (JPAR-06; JPAR-08; JPAR-09) é possível a observação de uma zona de deformação ao redor destas, indicando uma fluidização do sedimento situado ao redor dos dedos e da margem posterior (Fig. 4).

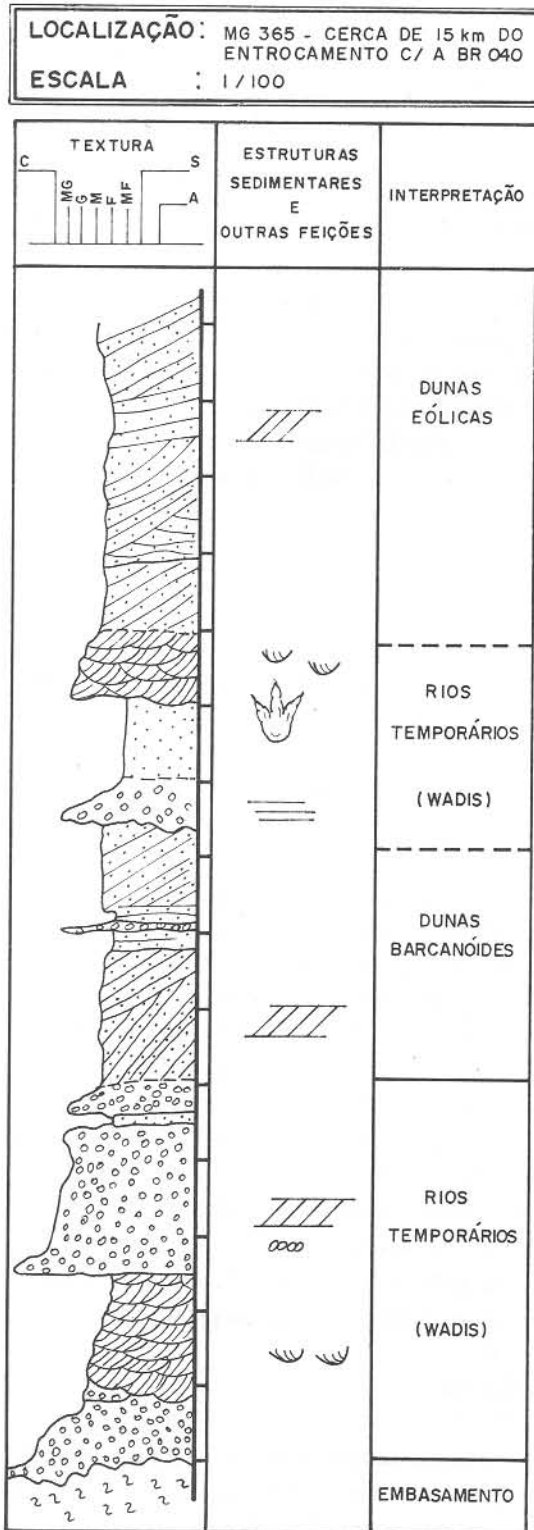
As pegadas foram codificadas alfa-numericamente. As quatro primeiras letras – JPAR – referem-se ao município em que foram encontradas (João Pinheiro) e a unidade litoestratigráfica em que ocorrem (Grupo Areado). Discute-se a seguir as principais características morfológicas de cada uma, utilizando-se da metodologia proposta por Casamiquela *et al.* (1987) e Leonardi *et al.* (1987a, b, c).

JPAR-01/JPAR-02/JPAR-03

Estas três pegadas consecutivas compõem uma pista curta. Todas são formas funcionalmente tridáctilas, mesaxônicas e digitigradas. As pegadas mostram-se preservadas sob a forma de epirrelevo convexo (JPAR-01) e epirrelevo côncavo (JPAR-02 e JPAR-03). Em JPAR-01 (Fig. 5) e JPAR-02 ocorrem em seus bordos posteriores uma projeção alongada, a qual deve corresponder ao dedo I. Os dedos são afilados, havendo em JPAR-01 e JPAR-03 a presença nítida de garras. O valor angular entre os dígitos II-III e III-IV são bem agudos, tendo valores médios de 30°. O comprimento e a largura das pegadas é de 15 cm. O valor do meio-passo é de 60 cm e o ângulo do passo possui 155°.

JPAR-04

Pegada isolada, tridáctila e mesaxônica. Não possui os detalhes morfológicos evidentes, estando preservada como epirrelevo côncavo. O maior dígito é o III, o qual mostra-se muito largo em sua base e pontiagudo na extremidade. Os dois outros



possuem aproximadamente mesmo tamanho, sendo curtos e afilados. As extremidades pontiagudas dos dedos sugerem a presença de garras. Os hípex entre os dígitos II-III e III-IV são agudos (valor angular de 35°). O comprimento da pegada é de 30 cm e sua largura 20 cm.

JPAR-05

Pegada isolada, tridáctila e mesaxônica. A preservação não é boa, estando a mesma sob a forma de epirrelevo côncavo. O dígito III é o de maior comprimento, apresentando-se curvado em sua extremidade. Os dígitos I e IV são de mesmo tamanho, sendo que o I mostra-se mais pontiagudo. Os

CONVENÇÕES

	- Pegadas de dinossauros
	- Estratificação cruzada tabular
	- Estratificação cruzada acanalada
	- Laminação plano-paralela
	- Ondulações truncadas
	- Ondulações de origem eólica
	- Ondulações cavalgantes subcriticas
	- Marcas onduladas
	- Gretas de ressecamento
	- Contato erosivo
	- Contato transicional
A	- Argila
S	- Silte
MF	- Areia muito fina
F	- Areia fina
M	- Areia média
G	- Areia grossa
MG	- Areia muito grossa
C	- Conglomerado

Fig. 3 — Perfil estratigráfico do afloramento onde são encontradas as pegadas de dinossauros do Grupo Areado (Rodovia BR-365, a 15 km do entroncamento com a BR-040), município de João Pinheiro, estado de Minas Gerais (modificado de Kattah, 1991).

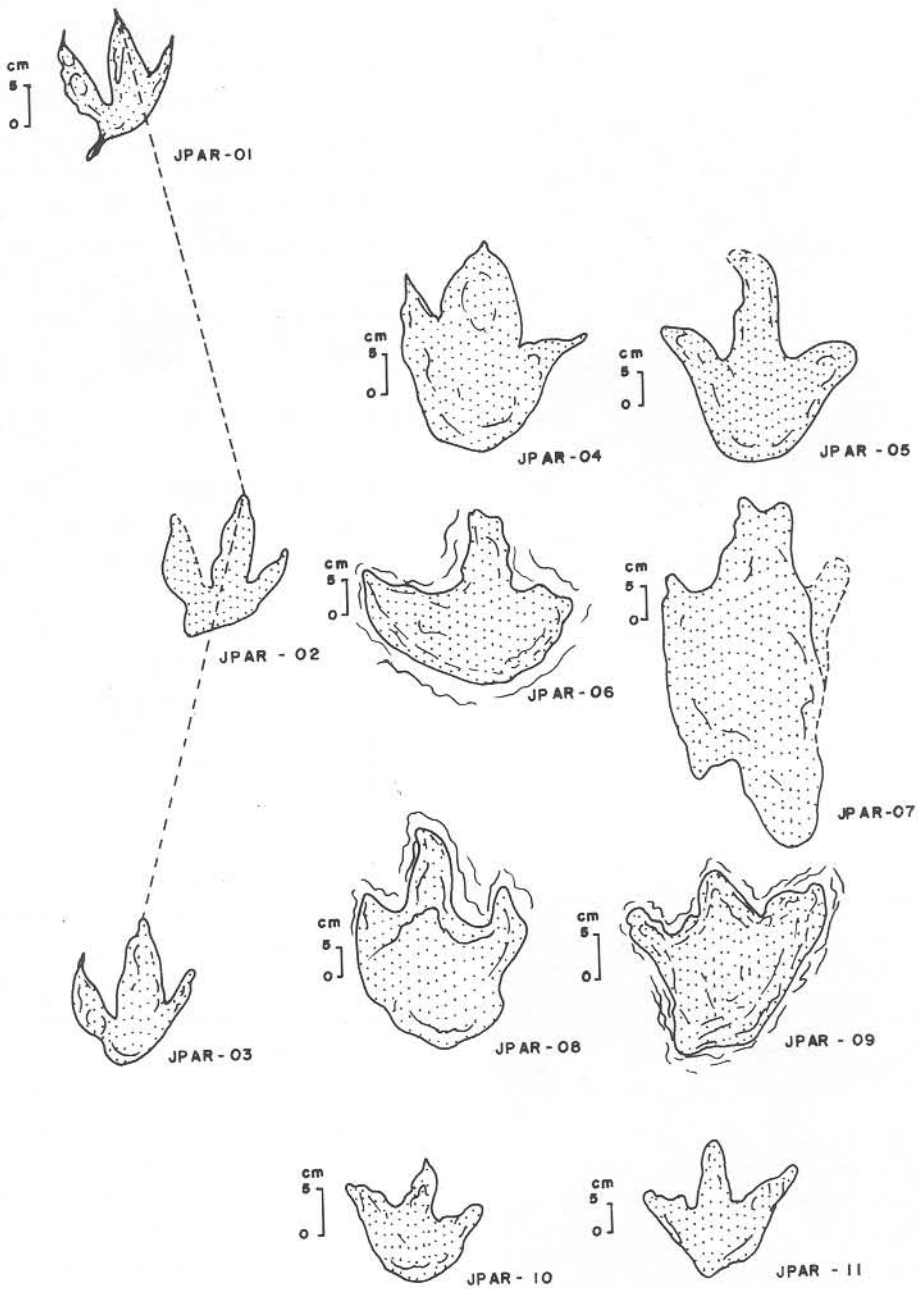


Fig. 4 — Aspectos morfológicos das pegadas de dinossauros da Bacia Sanfranciscana.

hípex são agudos. O valor angular entre os dígitos II-III e III-IV é agudo (30°). A margem posterior da pegada é bem definida e possui forma arredondada. O comprimento e a largura da pegada possuem respectivamente 30 cm e 24 cm (Fig. 6).

JPAR-06

Pegada isolada, tridáctila e mesaxônica. A preservação ocorreu sob a forma de epirrelevo côncavo, sendo que ao redor dos dígitos e do bordo

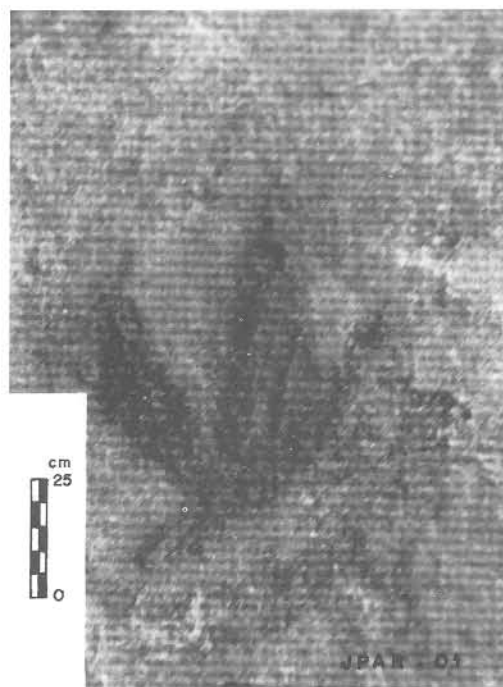


Fig. 5 — Pegada JPAR-01 considerada como pertencente a um celurosauro.

posterior, há a crenulação do sedimento gerando feições de fluidização. O dígito IV não foi preservado. O dígito II é pontiagudo, mostrando dimensões maiores que as do dedo III. Porém este último não se apresenta completo, tendo apenas sua porção inferior preservada. O hípex entre os dígitos II-III é amplo e bem arredondado. O valor angular entre os dígitos II-III é de 40° . O rebordo posterior descreve uma curva contínua, e bem aberta. O comprimento da pegada é de 23 cm, e a largura tem 28 cm.

JPAR-07

Pegada isolada, não possuindo de forma nítida os detalhes morfológicos e contorno. A preservação ocorre como epirrelevo côncavo. Estão preservados parcialmente os dígitos II e III. Há um grande alongamento da margem posterior da pegada. O ângulo interdigital II-III possui valor de 35° e o hypex apresenta uma forma parabólica. A pegada possui comprimento de 48 cm e largura de 20 cm.

JPAR-08

Pegada isolada, tridáctila e mesaxônica. A preservação não é de boa qualidade apresentando-se como um epirrelevo convexo. Possui feições de crenulação da rocha matriz ao redor dos dígitos, indicando a fluidização do sedimento. Os dígitos mostram-se com uma base larga e um afilamento na porção distal. Têm aproximadamente as mesmas dimensões, sendo que o dedo III é um pouco maior que os demais (10 cm de comprimento) e possui um suave arqueamento em sua extremidade. O valor angular entre os dígitos II-III e III-IV é de 50° . O bordo posterior da pegada é arredondado. Seu comprimento é de aproximadamente 38 cm e sua largura 25 cm (Fig. 7).

JPAR-09

Pegada isolada, tridáctila e mesaxônica. A preservação ocorreu sob a forma de epirrelevo convexo (Fig. 8). Ao redor da pegada observam-se deformações da rocha matriz. Tal situação é mais

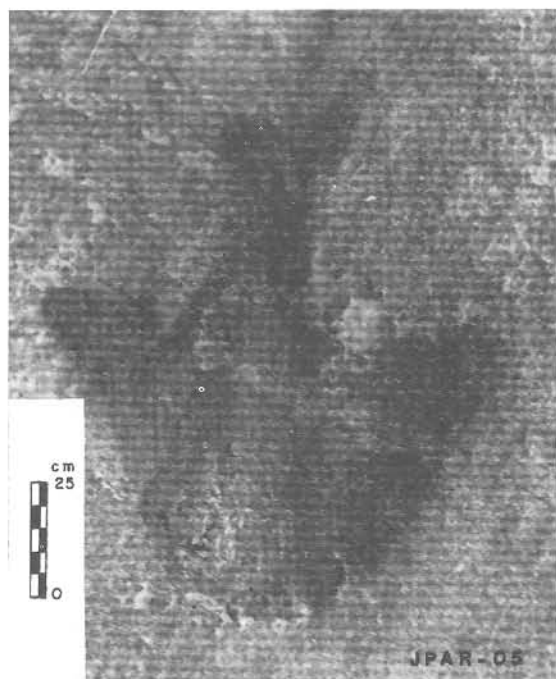


Fig. 6 — Pegada JPAR-05. Forma tridáctila e mesaxônica. Interpretada como produzida por um carnossauro.

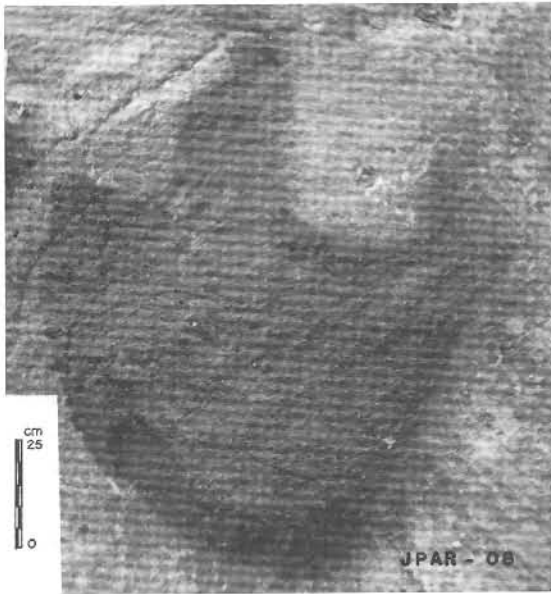


Fig. 7 — A pegada JPAR-08 ocorre isoladamente e possui feições de crenulação do sedimento ao redor dos dígitos.

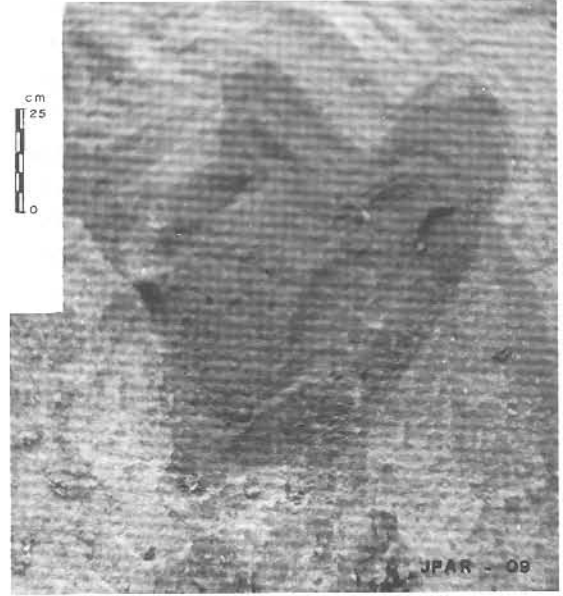


Fig. 8 — A pegada JPAR-09 também possui deformações na matriz ao redor dos dígitos, havendo inclusive a deformação da laminação.

evidente no dígito IV, onde ocorre inclusive a deformação da laminação. Os três dígitos possuem aproximadamente mesmo tamanho (12 cm), tendo uma base bem larga: a porção distal apresenta-se arredondada, apesar de no dedo IV haver um maior afilamento de sua extremidade. Os hípex são angulosos, e o valor angular entre os dígitos II-III é de 20° e entre o III-IV é de 30° . A borda posterior da pegada é angulosa havendo um possível dedo I. O comprimento da pegada é de 25 cm e a largura é 20 cm. A preservação ocorreu sob a forma de epirrelevo convexo (Fig. 8).

JPAR-10

Pegada isolada, tridáctila e mesaxônica. Preservada como epirrelevo côncavo. Os dígitos são pontiagudos, havendo no dedo III a possível presença de uma garra; possuem aproximadamente mesmo tamanho (7 cm). Os hípex mostram-se angulosos, e o valor angular entre os dígitos II-III e III-IV é de 40° . O bordo posterior da pegada é arredondado descrevendo uma curva contínua entre os dígitos II e IV. O comprimento da pegada é de 12 cm, e possui uma largura de 10 cm.

JPAR-11

Pegada isolada, tridáctila e mesaxônica. A preservação não é de boa qualidade, mostrando-se como um epirrelevo côncavo. Os dígitos apesar de serem pontiagudos, têm as extremidades arredondadas. Os hípex mostram-se angulosos, e o valor angular entre os dedos II-III e III-IV é de 45° . A margem posterior da pegada é angulosa, sendo pontiaguda. O comprimento da pegada é 22 cm e sua largura 16 cm.

CLASSIFICAÇÃO DAS PEGADAS

A identificação dos produtores de pegadas tridáctilas baseia-se essencialmente na presença ou não de garras, forma dos dígitos e do contorno das pegadas, além das dimensões das mesmas.

A pista composta pelas pegadas JPAR-01, JPAR-02 e JPAR-03, representa uma forma bípede e de pequenas dimensões. A morfologia das pegadas é bastante sugestiva de tratar-se de um terópode celurosauriforme. Na pegada JPAR-01 a impressão das garras nos dígitos II, III e IV é evidente, bem como a presença de um dedo I (halux) na margem posterior da pegada. As pegadas JPAR-10 e JPAR-11, formas tridáctilas e digitígradas po-

deriam representar as impressões dos autopódios de celurossauros; entretanto, devido a forma triangular da metade posterior da pegada, e ao espalhamento simétrico dos dígitos podem associar-se a carnossauros de pequenas dimensões (Giuseppe Leonardi, comunicação pessoal). No caso da distinção das impressões de pegadas de terópodes, a classificação baseia-se essencialmente num critério arbitrário de tamanho. Thulborn (1990) considerou como regra geral que as pegadas com comprimento menor que 25 cm deveriam ser atribuídas a celurossauros, e as com tamanho maior que este, aos carnossauros. Porém, quando as dimensões situam-se próximas deste valor, a atribuição à um dos dois grupos é problemática.

O conjunto de pegadas JPAR-04, JPAR-05, JPAR-08 e JPAR-09 possui uma identidade morfológica muito grande. O adelgaçamento contínuo dos dígitos lhes conferem um aspecto em "V". O dígito III mostra-se quase sempre como o mais largo (JPAR-04, JPAR-05 e JPAR-08). A forma pontiaguda em que terminam alguns dos dígitos destas pegadas é indicativa de garras, e as dimensões avantajadas (comprimento entre 25 e 40 cm e largura entre 20 e 25 cm) nos induz a classificá-las como de terópodes carnossauros.

Já a pegada JPAR-06 possui um padrão morfológico bastante incomum. A margem posterior e o hípex entre os dígitos II-III amplamente abertos sugerem um autopódio com membranas interdigitais. Reynolds (1991) e Zhen *et al.* (1991) reconheceram pegadas com morfologia semelhante a esta, que entretanto possuíam o dígito III mais evidenciado. Em ambos os casos as pegadas ocorrem em rochas do Jurássico Inferior. A afinidade paleobiológica desta forma bípede não foi definida por estes autores, porém Reynolds (1991), sugeriu que o aspecto de grande abertura no autopódio poderia relacionar-se à uma resposta locomotora à superfície ondulada do terreno arenoso por onde o animal transitava, não indicando necessariamente a existência de membranas interdigitais. A falta de garras nítidas torna esta pegada semelhante à de alguns ornitópodes, conforme ilustrado por Leonardi (1994).

No caso da pegada JPAR-07, o grande alongamento da margem posterior pode representar uma

impressão metatarsal, a qual é comum em ornitópodes conforme apresentado por Thulborn (1990) e Ellenberger (1970) nas ilustrações de *Anomoepus scambus* Lull, 1953 e *Moyenisauropus natator* Ellenberger, 1970 ambos do Jurássico Inferior. Porém, tais feições também ocorrem em terópodes do Triássico e Cretáceo (Lockley & Gillette, 1991). A análise do significado da impressão do metatarso em dinossauros bípedes apresentada por Kuban (1991) considerou que poderiam representar uma resposta comportamental às condições de inconsistência do substrato ou a uma modificação de "postura" do animal durante seu deslocamento.

ASPECTOS PRESERVACIONAIS DAS PEGADAS FÓSSEIS EM PALEOAMBIENTES DESÉRTICOS

A preservação de estruturas biogênicas em arenitos eólicos relaciona-se diretamente ao estado de coesão dos sedimentos arenosos quando da atividade dos organismos (Ahlbrandt *et al.*, 1978). No caso da preservação das pegadas fósseis, a coesão das areias resulta quase sempre das condições de boa umidade. Além disso o rápido soterramento também desempenha um papel importante, sendo então as áreas de sotavento e interdunas as mais propícias para a conservação das pegadas.

Leonardi (1980a) considerou que a melhor preservação das pegadas no paleodeserto Botucatu estaria relacionada à uma maior umidade da superfície arenosa durante a noite, momento no qual seriam produzidas as pegadas que têm os detalhes morfológicos mais nítidos; ao amanhecer haveria o subsequente recobrimento destas por areia seca. Outra possibilidade seria a existência de um lençol freático alto, o qual possibilitaria devido a uma maior umidade dos sedimentos, a preservação das pegadas no *foreset* das dunas. Entretanto, o modelo preditivo de Winkler *et al.* (1991), de restrição das ocorrências fósseis em depósitos eólicos às áreas de interdunas, é certamente o mais comum. Os depósitos de interduna representam um complexo de ambientes eólicos e não-eólicos que variam de superfícies de deflação a lagos efêmeros. Uma das feições sedimentares encontradas nestes depósitos são as pistas de vertebrados. Em função da alta

taxa de sedimentação local e tamanho dos grãos das dunas ativas circundantes, o potencial de preservação para vertebrados em áreas interdunas é bom. Além disso, a observação dos ambientes atuais demonstra que as condições de umidade que predominam nestas áreas, possibilitam o florescimento da biota.

Desta forma, a falta de fósseis em depósitos adjacentes ao interdunas refletiria a baixa produtividade biológica original e a baixa diversidade de grandes animais em área de dunas ativas. Winkler *et al.* (1991) postularam que a presença de pistas e fósseis de grandes vertebrados nos depósitos interdunas do Arenito Navajo (Jurássico Médio, Arizona – EUA) implicaria na existência de uma complexa cadeia alimentar, podendo inclusive representar intervalos temporais não típicos da hiperaridez dos desertos, momento em que as dunas são mais ativas.

Leonardi (1991) no estudo das icnofaunas sul-americanas observou que as pistas de dinossauros nos paleoambientes desérticos representados pelos depósitos da Formação Botucatu (Bacia do Paraná, Brasil) e os do Complexo Porfirico (Patagônia, Argentina), são pertencentes à formas bípedes. Quase todas as pegadas destas unidades indicam que os dinossauros deveriam ter pequeno tamanho. A frequência dos terópodes é alta (87%) com a predominância dos celurossauros. Há a ausência dos saurópodes (certamente relacionada à aridez), e os ornitópodes são raros. Os celurossauros, pelo menos na América do Sul, teriam se adaptado melhor às regiões áridas e desérticas, que outros grupos de dinossauros. Os desertos da América do Sul durante o Jurássico caracterizavam-se assim por uma fauna anã, quase que totalmente composta por bípedes – celurossauros, carnoassauros e ornitópodes, com a nítida predominância dos terópodes. É provável que os maiores dinossauros neste ambiente tenham sido os ornitópodes.

Também Lockley & Conrad (1991), no estudo dos grupos Glen Canyon e San Rafael (Jurássico, EUA), consideraram que apesar da escassa documentação é possível demonstrar que a maioria dos icnofósseis de vertebrados em sistemas desérticos, são aqueles produzidos por terópodes (carnoassauros e celurossauros). Haveria uma distribuição pre-

ferencial destes nos depósitos de *playa* e fluviais de interduna, em comparação aos paleoambientes que representam campos de dunas.

No Grupo Areado (Bacia Sanfranciscana) as pegadas ocorrem num contexto de arenitos com granulometria fina a média, mal selecionados; há a intercalação de níveis centimétricos de arenitos de granulometria grossa, argilitos e siltitos. A coloração é rósea a avermelhada. Ao microscópio observam-se cristais de calcita e dolomita nos siltitos. As estruturas sedimentares presentes são gretas de ressecamento, marcas onduladas simétricas e cavalgantes, além de estratificações cruzadas acanaladas. O pavimento onde são encontradas as pegadas apresentam-se num arenito quartzoso mal selecionado, havendo localmente marcas onduladas e estratificações cruzadas tabulares. Acima do nível de pegadas ocorre um arenito conglomerático com seixos facetados. Kattah (1991) interpretou este nível estratigráfico como indicativo de uma área de interdunas úmidas, havendo subordinadamente pavimentos deflacionários. A maioria das pegadas preservadas nesta superfície não possui os detalhes morfológicos nítidos, o que deve relacionar-se a um substrato arenoso inconsistente. Entretanto em alguns casos (JPAR-01 e JPAR-03) os detalhes anatômicos, tais como garras e almofadas falangeais são bem evidentes. Tal situação foi considerada por Reynolds (1991) e Lockley (1991) como resultante das flutuações do nível freático durante a formação das pegadas. As pistas ou pegadas com uma morfologia nítida indicariam os momentos de maior umidade do substrato. As demais teriam se formado em condições de maior aridez, quando do rebaixamento do lençol freático; a areia mais seca não teria sido então coesa o suficiente para permitir uma melhor preservação das pegadas.

ANALOGIAS COM AS PEGADAS FÓSSEIS DE AMBIENTES ÁRIDOS DO MESOZÓICO BRASILEIRO

Na Bacia do Paraná, os depósitos sedimentares do Jurássico e Cretáceo cuja interpretação paleoambiental indica terem sido originados em condições climáticas áridas, e que possuem icno-

fósseis de vertebrados, são abrangidos pelas formações Botucatu e Caiuá.

A icnofauna existente na Formação Botucatu representa de acordo com Leonardi & Sarjeant (1986), uma fauna endêmica de ambiente extremamente árido – um deserto ou planaltos de altitude semi-desérticos. Esta unidade litoestratigráfica caracteriza-se por arenitos quartzosos, cujos grãos denotam alta esfericidade, têm coloração avermelhada e as principais estruturas sedimentares são estratificações cruzadas tabulares de grande porte. Sua idade estaria compreendida entre o Jurássico Inferior e o Jurássico Médio, segundo a associação icnológica existente, a qual abrange pegadas de celurosauros, carnoossauros, ornitópodes, terapsídeos e de possíveis mamíferos (Leonardi, 1980a; Leonardi, 1981a,b; Leonardi, 1991; Leonardi & Godoy, 1980). Porém, Cardoso (1965) com base em microfósseis de conchostráceos considera que seu topo poderia abranger rochas do Cretáceo Inferior. As pegadas de dinossauros ilustradas por Leonardi & Godoy (1980) e Leonardi & Lima (1990) denotam algumas semelhanças com as do Arenito Areado. As pegadas com ampla margem posterior, assemelhando-se à icnoespécie *Zhengichnus jinningensis* Zhen, Li & Rao, 1986 e a *Xiangxipus chenxiensis* Zeng, 1982 além das que apresentam uma região metatarsal bem definida, remetem-nos a algumas das formas encontradas na Bacia Sanfranciscana (JPAR-06 e JPAR-07).

A Formação Caiuá compreende um conjunto de arenitos quartzosos e feldspáticos, de granulometria média-fina, coloração avermelhada, com estratificações cruzadas de grande porte. Sua idade é eocretácea (baseado na associação icnofossilífera), e possui uma icnofauna composta por terópodes e prováveis mamíferos primitivos (Leonardi, 1977; Leonardi, 1981a,b; Leonardi, 1991). As pegadas de dinossauros nesta unidade são poucas, havendo apenas uma pista de carnoossauro, uma pista e uma pegada isolada de um possível celurossauro. Nenhuma destas assemelha-se as encontradas na Bacia Sanfranciscana, pois suas morfologias são mascaradas por uma ampla área de deformação da matriz arenosa, inviabilizando o reconhecimento nítido dos contornos das pegadas e de seus dígitos.

Já na Bacia do Parnaíba, os icnofósseis de vertebrados que ocorrem em seqüências interpretadas pelo menos parcialmente como eólicas, são do neojurássico – Formação Corda. Esta unidade é composta por arenitos quartzosos de coloração creme a avermelhada, com grãos de alta esfericidade, estratificações cruzadas e níveis de sílex, a qual teria se originado segundo Caputo (1984) num clima árido a semi-árido em ambientes eólicos e de leques aluviais. Leonardi (1980b) descreveu sete pistas de dinossauros bípedes e tridáctilos desta formação, tendo-as atribuído como originadas por ornitópodes (provavelmente iguanodontídeos). Contudo, Leonardi (1994) na reavaliação destas pegadas admite poderem pertencer a saurópodos. As morfologias de tais pegadas, apesar de tridáctilas, em nada se assemelham as do Arenito Areado, pois denotam dígitos com uma porção livre curta, maciços, sem unhas e possuindo baixa divergência angular. É possível a existência de contemporaneidade na deposição de alguns dos arenitos encontrados nas bacias do Paraná, Sanfranciscana e Parnaíba como sugerido por Kattah (1991, 1993). O final da sedimentação Botucatu seria então temporalmente correlato aos arenitos Areado (Seqüência Depositional A) e Corda. Apesar das ocorrências icnofossilíferas anteriormente citadas terem se originado em ambientes áridos, a amplitude temporal de tais depósitos e os aspectos preservacionais das pegadas dificultam analogias e inferências mais detalhadas quanto a seus produtores.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal do Rio de Janeiro/IGEO e Fundação Universitária José Bonifácio pelo suporte financeiro e em infraestrutura. Este estudo é uma contribuição ao IGCP 381/ UNESCO (South Atlantic Mesozoic Correlations).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AHLBRANDT, T. S.; ANDREWS, S. & GWYNE, D. T., (1978), Bioturbation in eolian deposits. *Journal of Sedimentary Petrology*, **48** (3): 839-848.

- ARAI, M.; DINO, R.; MILHOMEN, P. S. & SGARBI, G. N. C., (1995), Micropaleontologia da Formação Areado, Cretáceo da bacia Sanfranciscana: estudos de ostracodes e palinologia. In: Congresso Brasileiro de Paleontologia, 14, Uberaba, MG, 1995. *Atas...* Uberaba, p. 2-3.
- BARBOSA, O., (1965), Geologia econômica e aplicada a uma parte do Planalto Brasileiro. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 19, Rio de Janeiro, Simpósio das Formações Eopaleozóicas do Brasil, SBG, 1965. *Anais...* Rio de Janeiro.
- CAPUTO, M. V., (1984), *Stratigraphy, tectonics, paleoclimatology and paleogeography of Northern basins of Brazil*. PhD Thesis, University of California, 583p.
- CARDOSO, R. N., (1965), *Sobre a ocorrência no Brasil de Monoleiophinae e Afrograptidae, conchostráceos carenados*. Divisão de Geologia e Mineralogia, Departamento Nacional da Produção Mineral (Boletim nº 221, Rio de Janeiro), 35p.
- CARDOSO, R. N., (1968), Contribuição ao estudo do Grupo Areado: estratigrafia e descrição dos filópodos fósseis. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 22, Belo Horizonte, SBG, 1968. *Resumos...* Belo Horizonte, p. 56-57.
- CARDOSO, R. N., (1971), Contribuição ao estudo da formação Areado: estratigrafia e descrição de filópodos fósseis. *Arquivos Museu de História Natural, Universidade Federal de Minas Gerais*, Belo Horizonte, 1: 8-43.
- CARVALHO, I. S.; BERTOLINO, L. C.; BORGHI, L. F.; DUARTE, L.; CARVALHO, M. S. S. & CASSAB, R. C. T., (1994), São Francisco Basin. In: BEURLEN, G., CAMPOS, D. A. & VIVIERS, M. C. (eds.), *Stratigraphic range of Cretaceous mega- and microfossils of Brazil*, Instituto de Geociências, UFRJ, 407p.
- CARVALHO, M. S. S.; CAMPOS, D. A.; DARDENNE, M. A.; SGARBI, G. N. C.; CAMPOS, J. E. G. & CARTELLE, C., (1995), Celacantos do Cretáceo Inferior de Minas Gerais, Brasil. In: Congresso Brasileiro de Paleontologia, 14, Uberaba, MG, 1995. *Atas...* Uberaba, p. 35.
- CASAMIQUELA, R. M.; DEMATHIEU, G. R.; HAUBOLD, H.; LEONARDI, G. & SARJEANT, W. A. S., (1987), Glossary and manual of tetrapod footprint palaeoichnology. In: LEONARDI, G. ed. Brasil, DNPM, *Série Geologia*, 117p.
- CHATEAUNEUF, J. J.; FAUCONNIER, D. & GIOT, D., (1981), Étude palynostratigraphique et sedimentologique de deux sondages dans les Kimberlites de Japacanga 6 (Minas Gerais, Brésil). *Rapport du B.R.G.M.* 81 SGN 430. *GEO*: 1-20.
- DUARTE, L., (1969), Restos vegetais fósseis da Formação Areado. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 22, Belo Horizonte, SBG, 1968. *Resumos...* Belo Horizonte, p. 68.
- DUARTE, L., (1985), Vegetais fósseis da Formação Areado, município de Presidente Olegário, Minas Gerais. In: Congresso Brasileiro de Paleontologia, 9, Fortaleza, SBG, 1985. *Resumos...* Fortaleza, p. 59.
- ELLENBERGER, P., (1970), Les niveaux paleontologiques de première apparition des mamifères primordiaux en Afrique du Sud et leur ichnologie. Etablissement de zones stratigraphiques détaillées dans le Stormberg du Lesotho (Afrique du Sud) (Trias Supérieure à Jurassique). In: HAUGHTON, S. H. (ed.), *Proceedings and papers of the Second Gondwana Symposium*, South Africa, 1970, South African Council for Scientific and Industrial Research, Pretoria, p. 343-370.
- GROSSI SAD, J. H.; CARDOSO, R. N. & COSTA, M. T., (1971), Formações cretácicas em Minas Gerais: uma revisão. *Revista Brasileira de Geociências*, 1: 2-13.
- KATTAH, S. S., (1991), *Análise faciológica e estratigráfica do Jurássico Superior/ Cretáceo Inferior na porção meridional da bacia do São Francisco, oeste do estado de Minas Gerais*. Universidade Federal de Ouro Preto, Escola de Minas, Departamento de Geologia (Dissertação de Mestrado, inédita), 227p.
- KATTAH, S. S., (1993), A ocorrência de pegadas de dinossauros no Grupo Areado, porção meridional da bacia Sanfranciscana, oeste de Minas Gerais. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 65 (2): 217-218.
- KATTAH, S. S. & KOUTSOUKOS, E. A. M., (1992), A ocorrência de radiolários em fácies sedimentares de origem marinha no Mesozóico da bacia Sanfranciscana. *Revista Escola de Minas, Ouro Preto*, 45 (1/2): 214.
- KUBAN, G. J., (1991), Elongate dinosaur tracks. In: GILLETTE, D. D. & LOCKLEY, M. G. (eds.), *Dinosaur Tracks and Traces*, Cambridge University Press, Cambridge, p. 57-72.

- LEONARDI, G., (1977), Two new ichnofaunas (vertebrates and invertebrates) in the colian Cretaceous sandstones of the Caiuá Formation in northwest Paraná. In: *Simpósio Regional de Geologia*, 1, São Paulo, 1977. *Actas...* São Paulo, p. 112-128.
- LEONARDI, G., (1980a), On the discovery of an abundant ichnofauna (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., (1980b), Ornithischian trackways of the Corda Formation (Jurassic), Goiás, Brazil. In: *Congreso Latinoamericano de Paleontología y Bioestratigrafía*, 2, Congreso Latinoamericano de Paleontología, 1, Buenos Aires, 1978. *Actas...* Buenos Aires, **1**: 215-222.
- LEONARDI, G., (1981a), As localidades com rastros fósseis de tetrápodes na América Latina. In: *Congreso Latino-americano de Paleontología*, 2, Porto Alegre, 1981. *Anais...* Porto Alegre, **2**: 929-940.
- LEONARDI, G., (1981b), Novo icnogênero de tetrápode mesozóico 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, Cambridge, p. 165-178.
- LEONARDI, G., (1994), *Annotated Atlas of South American Tetrapod Footprints (Devonian to Holocene)*. Ministério das Minas e Energia, Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais, Rio de Janeiro, 247p.
- LEONARDI, G. & GODOY, L. C., (1980), Novas pistas de tetrápodes da Formação Botucatu no estado de São Paulo. In: *Congresso Brasileiro de Geologia*, 31, Camboriú, 1980. *Anais...* Camboriú, Santa Catarina, **5**: 3080-3089.
- LEONARDI, G. & LIMA, F. H. O., (1990), A revision of the Triassic and Jurassic tetrapod footprints of Argentina and a new approach on the age and meaning of the Botucatu Formation footprints (Brazil). *Revista Brasileira de Geociências*, **20** (1-4): 216-229.
- LEONARDI, G. & SARJEANT, W. A. S., (1986), Footprints representing a new Mesozoic vertebrate fauna from Brazil. *Modern Geology*, **10**: 73-84.
- LEONARDI, G.; LIMA, C. V. & LIMA, F. H. O., (1987a), Os dados numéricos relativos às pistas (e suas pegadas) das icnofaunas dinossaurianas do Cretáceo Inferior da Paraíba, e sua interpretação estatística. I – Parâmetros das pistas. In: *Congresso Brasileiro de Paleontologia*, 10, Rio de Janeiro, 1987. *Anais...* Rio de Janeiro, Sociedade Brasileira de Paleontologia, **1**: 377-394.
- LEONARDI, G.; LIMA, C. V. & LIMA, F. H. O., (1987b), Os dados numéricos relativos às pistas (e suas pegadas) das icnofaunas dinossaurianas do Cretáceo Inferior da Paraíba, e sua interpretação estatística. II – Parâmetros das pegadas. In: *Congresso Brasileiro de Paleontologia*, 10, Rio de Janeiro, 1987. *Anais...* Rio de Janeiro, Sociedade Brasileira de Paleontologia, **1**: 395-417.
- LEONARDI, G.; LIMA, C. V. & LIMA, F. H. O., (1987c), Os dados numéricos relativos às pistas (e suas pegadas) das icnofaunas dinossaurianas do Cretáceo Inferior da Paraíba, e sua interpretação estatística. III – Estudo estatístico. In: *Congresso Brasileiro de Paleontologia*, 10, Rio de Janeiro, 1987. *Anais...* Rio de Janeiro, Sociedade Brasileira de Paleontologia, **1**: 419-444.
- LIMA, M. R., (1979), Palinologia dos calcários laminados da Formação Areado, Cretáceo de Minas Gerais. In: *Simpósio Regional de Geologia*, 2, Rio Claro, SBG, 1979. *Atas...* Rio Claro, **1**: 203-216.
- LOCKLEY, M., (1991), *Tracking dinosaurs*. Cambridge University Press, Cambridge, 238p.
- LOCKLEY, M. & CONRAD, K., (1991), The paleoenvironmental context, preservation and paleoecological significance of dinosaur tracksites in the Western USA. In: GILLETTE, D. D. & LOCKLEY, M. G. (eds.), *Dinosaur Tracks and Traces*. Cambridge University Press, Cambridge, p. 121-134.
- LOCKLEY, M. G. & GILLETTE, D. D., (1991), Dinosaur tracks and Traces: an overview. In: GILLETTE, D. D. & LOCKLEY, M. G. (eds.), *Dinosaur Tracks and Traces*. Cambridge University Press, Cambridge, p. 3-10.
- PETRI, S. & FULFARO, V. J., (1983), *Geologia do Brasil*. Edusp, T. A. Queiroz Editor Ltda., São Paulo, 631p.
- REYNOLDS, R. E., (1991), Dinosaur trackways in the Lower Jurassic Aztec Sandstone of California. In: GILLETTE, D. D. & LOCKLEY, M. G. (eds.), *Dinosaur Tracks and Traces*. Cambridge University Press, Cambridge, p. 285-292.

- SANTOS, M. E. C. M., (1971), Um novo artrópodo da Formação Areado, Estado de Minas Gerais. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, **43** (2): 415-420.
- SCORZA, E. P. & SANTOS, R. S., (1955), Ocorrência de folhelho fossilífero cretácico no município de Presidente Olegário, Minas Gerais. Divisão de Geologia e Mineralogia, Departamento Nacional da Produção Mineral (Boletim nº 155, Rio de Janeiro), 27p.
- ZHEN, S.; JIANJUN, L.; CHENGGANG, R.; MATEER, N. J. & LOCKLEY, M. G., (1991), A review of dinosaur footprints in China. In: GILLETTE, D. D. & LOCKLEY, M. G. (eds.), *Dinosaur Tracks and Traces*. Cambridge University Press, Cambridge, p. 187-197.
- THULBORN, T., (1990), *Dinosaur Tracks*. Chapman and Hall, London, 410p.
- 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.