

# O Cretáceo na Bacia de São Luís-Grajaú

Dilce de Fátima Rossetti

Ana Maria Goés

Werner Truckenbrodt  
(Editores)



Museu Paraense Emílio Goeldi  
Coleção Friedrich Katzer

# Pegadas de dinossauros em depósitos estuarinos (Cenomaniano) da Bacia de São Luís (MA), Brasil

## Dinosaur footprints in estuarine deposits (Cenomanian) of the São Luís Basin (MA), Brazil

I. S. CARVALHO

*UFRJ/Instituto de Geociências. Depto de Geologia. Cidade Universitária.  
Ilha do Fundão. Cep 21949-900. Rio de Janeiro-RJ  
ismar@igeo.ufrj.br*

### Abstract

The Cenomanian rocks of São Luís Basin contain dinosaur footprints and trackways in six localities of the São Luís and Alcântara counties: Ponta da Guia, Ponta do Farol, Praia do Boqueirão, Ilha do Medo, Alcântara-Praia da Baronesa and Alcântara-Prefeitura. There are trackways and isolated footprints attributed to large and small theropods and ornithischians. The best preserved footprints are found at Ponta da Guia and Praia da Baronesa. The footprint-bearing strata of São Luís Basin are considered to compose a megatracksite (São Luís Megatracksite) along the early equatorial Atlantic ocean. The environmental scenery during the Cenomanian in the São Luís Basin comprises many subenvironments associated with an estuary that occupied a low gradient coastal plain. Distinct dinosaur communities are found in this geological context.

### Introdução

A Bacia de São Luís, localizada na margem equatorial brasileira, possui várias ocorrências de icnofósseis de vertebrados em rochas cenomanianas expostas ao longo das falésias da baía de São Marcos. Estes icnofósseis ocorrem em diferentes localidades, e são considerados como representativos de uma superfície correlacionável estratigraficamente e com ampla distribuição

geográfica, denominado como *Megatracksite* São Luís, com uma área de distribuição de pegadas com cerca de 50 km<sup>2</sup>.

Até o momento, já foram identificadas seis localidades icnofossilíferas, compreendendo pistas e pegadas isoladas (Figura 1). O mapeamento e a análise dos caracteres morfológicos das pegadas e pistas indicam a existência de alguns grupos de dinossauros ainda sem registro

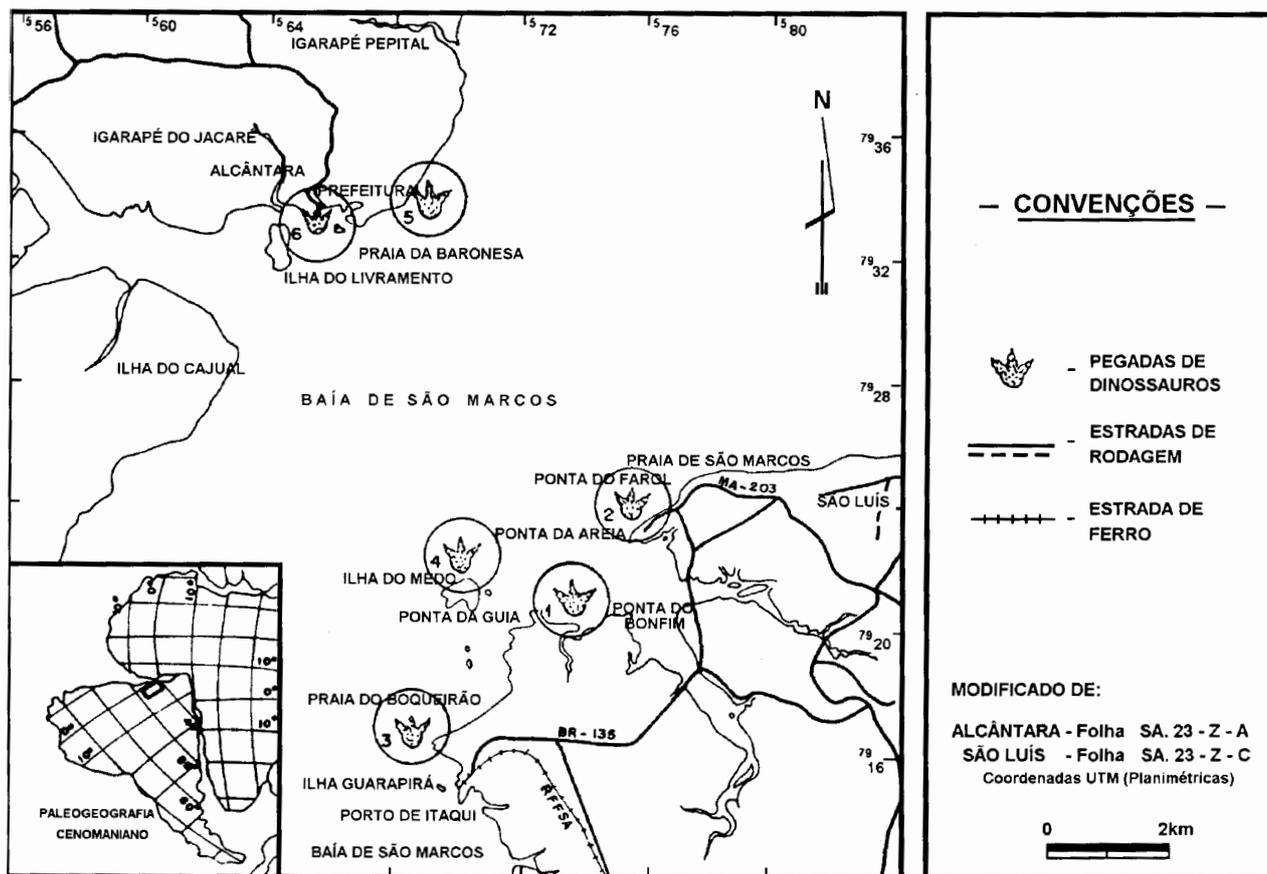


Figura 1: Mapa de distribuição das pegadas de dinossauros na Bacia de São Luís (Grupo Itapecuru, Cenomaniano).

osteológico, atribuídos a carnossauros, terópodes de pequeno tamanho, além de ornitíscios bípedes e quadrúpedes. Tais pegadas ocorrem em rochas de idade cenomaniana, estando no âmbito do último ciclo deposicional do Cretáceo na bacia, transcorrido entre o Albiano e o Cenomaniano

A Bacia de São Luís, situada na região norte do Estado do Maranhão, é limitada pelos altos estruturais Tocantins (Oeste), Rosário (Leste) e Ferrer-Urbano Santos (Sul), sendo a influência deste último como divisor de bacia amplamente discutida em Góes & Rossetti (2001). Trata-se de uma bacia do tipo *rift*, cuja evolução relaciona-se ao desenvolvimento da margem equatorial brasi-

leira. A partir dos movimentos de separação dos continentes africano e sul-americano, ocorreu um intenso processo de falhamento ao longo da atual costa norte do Estado do Maranhão, causando subsidência e, conseqüentemente, acúmulo de sedimentos. As condições tectônicas dominantes durante o final do Eocretáceo levaram à individualização desta área sedimentar como uma bacia isolada da Bacia do Parnaíba. As rochas pré-cambrianas foram soerguidas neste momento geológico, delimitando as bacias São Luís-Grajaú e Barreirinhas.

As rochas cretáceas aflorantes na Bacia de São Luís recebem a denominação de Grupo Itapecuru (Rossetti & Truckenbrodt 1999), o qual abrange arenitos finos a conglomeráticos, siltitos,

folhelhos, argilitos e, subordinadamente calcários. Estes depósitos formaram-se dentro de contextos paleoambientais predominantemente marinho-transicionais, mais provavelmente estuarinos (Rossetti 1997, 1998).

## Os Fósseis do Grupo Itapecuru

No Grupo Itapecuru são encontrados fósseis de vegetais (angiospermas), moluscos, peixes (fragmentos ósseos, escamas e dentes) e répteis (ossos, placas ósseas, dentes e icnitos). Oliveira (1958) descreveu uma espécie de gastrópode (*Nerinea pontagrossensis*) proveniente do Farol de São Marcos, na Praia de São Marcos (São Luís, MA), fato que possibilitou a datação destas rochas como de idade cenomaniana-turoniana. Porém, um estudo mais detalhado da malacofauna do Grupo Itapecuru foi apresentado por Klein & Ferreira (1979), que descreveram os moluscos do Farol de São Marcos, porto de Itaqui, Alcântara e Ilha da Madeira. Os pelecípodes analisados por estes autores foram atribuídos às famílias Mytilidae, Inoceramidae, Pectinidae, Plicatulidae, Limidae, Ostreidae, Trigonidae e Mactridae, os quais possibilitaram a determinação de uma idade cenomaniana e a inferência de um ambiente estuarino para estas rochas.

A identificação dos primeiros fósseis de vertebrados deve-se a Price (1947), que reconheceu ossos de dinossauros provenientes da Ilha do Livramento, município de Alcântara. Tais fósseis possibilitaram uma primeira datação das rochas da Bacia de São Luís, tendo então sido consideradas como do Jurássico-Cretáceo. Posteriormente, Price (1960) coletou restos ósseos nas ilhas do Livramento, Itaúna e do Medo, classificando-os como répteis (Theropoda, Sauropoda, Crocodylomorpha, Chelonia) e peixes (Elasmobranchia, Dipnoi e Actinopterygii). Dentes de Dinosauria são bastante freqüentes em toda a bacia, tendo

sido reconhecidas as famílias Dromeosauridae e Tyransauridae-gênero *Charcarodontosaurus* por Vilas Bôas (1999) e Vilas Bôas *et al.* (1999).

Cunha & Ferreira (1978) reconheceram placas dentárias de peixes do gênero *Ceratodus* (Ceratodontidae, Dipnoi). Os autores descreveram uma nova espécie, *Ceratodus brasiliensis*, forma bastante similar a *Ceratodus africanus*, dipnóico encontrado no norte da África e ainda no Porto de Itaqui, Maranhão, denotando antigas ligações terrestres intercontinentais.

Na Ilha do Cajual, Medeiros *et al.* (1996) e Medeiros & Schultz (2001) identificaram uma grande quantidade de fragmentos de ossos e dentes de Dinosauria (Sauropoda e Carnosauria), Crocodylomorpha, escamas e placas ósseas de peixes holósteos, bem como fragmentos de troncos de traqueófitas de grande porte. Desta mesma região, Carvalho *et al.* (1997) reconheceram dentes de aspecto cônico alongado e recurvado, cujo esmalte conserva finos sulcos e estrias sinuosas que se ramificam próximo à base, os quais atribuíram à plesiossauros. Formas similares foram encontradas em rochas maastrichtianas da Bacia de Cuanzo (Angola).

Além de plesiossauros, outros répteis marinhos como mosassauros ocorrem na localidade de praia da Baronesa (Eugênio 1994; Vilas Bôas & Carvalho 1999), sendo representados por dentes atribuídos a espécimens da subfamília Mososaurinae.

## As Icnocenos de Vertebrados

As pegadas fósseis são reconhecidas em seis localidades: Ponta da Guia, Ponta do Farol, Praia do Boqueirão, Ilha do Medo, Praia da Baronesa e Prefeitura de Alcântara (Carvalho & Araújo 1995). Nessas localidades, afloram depósitos da Formação Alcântara (Rossetti & Truckenbrodt 1999). A acentuada oxidação das rochas aflorantes praticamente inviabiliza a utilização da

palinologia como ferramenta de correlação estratigráfica. Porém amostra proveniente da Ponta do Farol apresentou assembléia polínica indicativa de idade cenomaniana, dada à presença de *Elateroplicites africaensis* e *Galeacornea causea* B (Pedrão *et al.* 1993).

As pegadas fósseis estudadas, atribuídas a carnossauros, terópodes de pequeno tamanho, ornitíscios bípedes e quadrúpedes (Figura 2), representam o primeiro registro de icnofaunas dinossaurianas em rochas do Cretáceo Superior no Brasil. Estas pegadas teriam sido produzidas num ambiente litorâneo, em uma planície de maré de baixo gradiente em condições paleoclimáticas quentes e secas (Pedrão *et al.* 1993; Carvalho 1994a, b, c; Carvalho & Pedrão 1998). São interpretadas como tendo sido originadas durante um mesmo evento temporal, situando-se em uma superfície correlacionável estratigraficamente, com ampla distribuição geográfica, ou seja, um *megatracksite* (conceituação de Lockley 1991).

### Ponta da Guia

Os dados morfométricos das pegadas isoladas e pistas desta localidade, preservadas sob a forma de epirrelevo côncavo (Figura 3), foram descritos por Carvalho (1994b), sendo abaixo sumarizados.

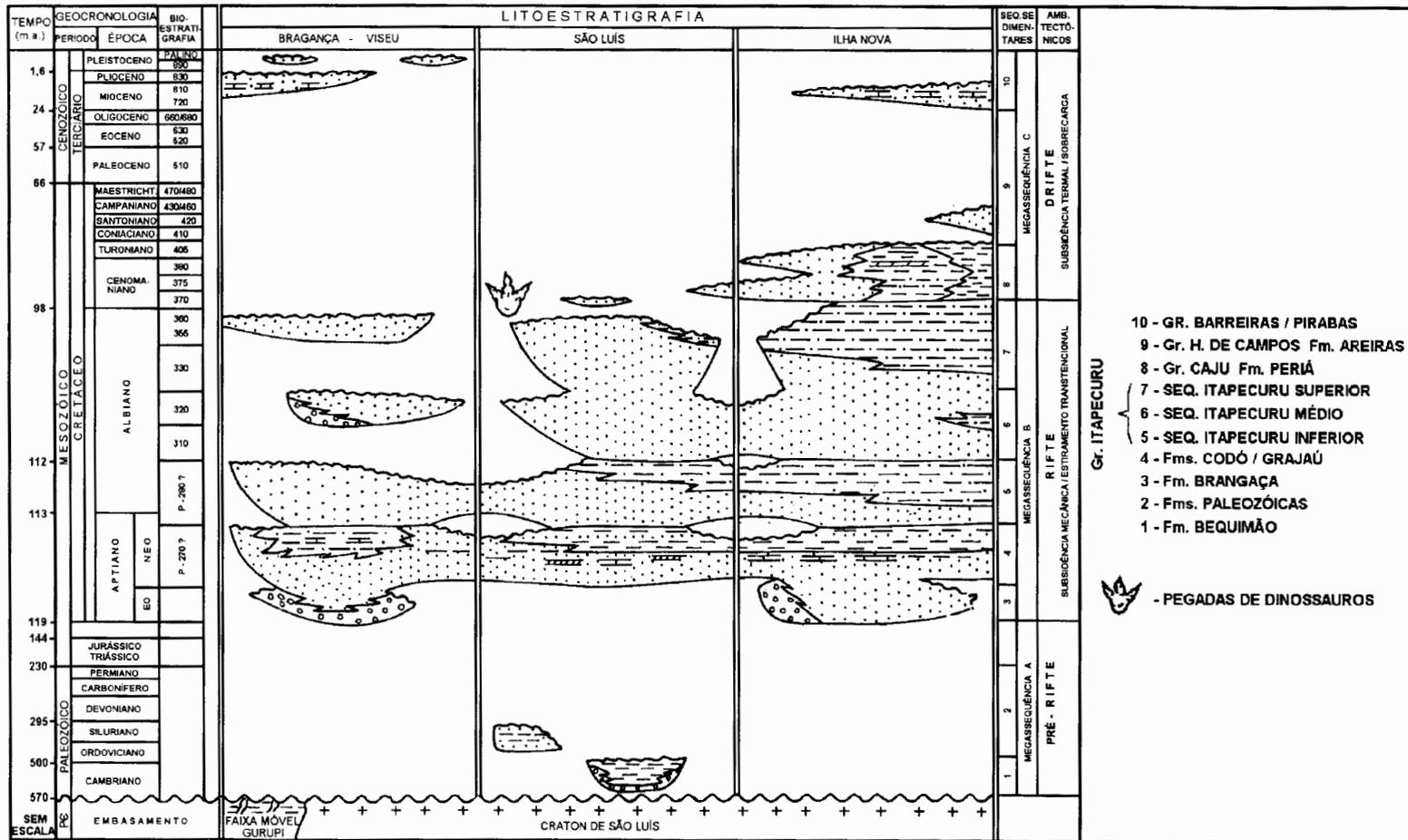
*SLPG-A*: pista constituída por quatro pegadas tridáctilas consecutivas (SLPG-A02, SLPG-A03, SLPG-A04, SLPG-A05). Ângulo do passo com valor obtuso ( $165^\circ$ ) e valor médio do meio-passo de 245 cm, tendo as extremidades dos dedos afiladas (SLPG-A02 e SLPG-A05) ou arredondadas (SLPG-A03 e SLPG-A04). Tais diferenças resultam da ação erosiva sobre a superfície onde ocorrem. As margens posteriores das pegadas mostram-se arredondadas. Os dígitos possuem aproximadamente mesmo tamanho.

*SLPG-B*: pista composta por quatro pegadas consecutivas (SLPG-B06, SLPG-B s/nº, SLPG-B07, SLPG-B08). Ângulo do passo com valor obtuso ( $175^\circ$ ) e valor médio do meio-passo de 175 cm, estando bastante erodidas. As pegadas têm um contorno arredondado (em especial SLPG-B07 e SLPG-B08), são mesaxônicas e tridáctilas.

*SLPG-C*: pista composta por três pegadas tridáctilas consecutivas (SLPG-C09, SLPG-C10, SLPG-C11). O ângulo do passo é obtuso ( $170^\circ$ ) e o valor médio de 257 cm para o meio-passo foi o maior obtido dentre as sete pistas da ponta da Guia. Os valores angulares entre os dígitos II-III e III-IV são bastante agudos. Os contornos posteriores das pegadas são angulosos. Os dígitos têm as extremidades afiladas, havendo a presença de uma garra no dígito III de uma delas (SLPG-C09). Os hipex mostram-se bastante angulosos.

*SLPG-D*: pista formada por três pegadas consecutivas (SLPG-D13, SLPG-D14, SLPG-D15). O ângulo do passo é de  $165^\circ$ , e o valor médio do meio-passo de 238 cm. As pegadas são tridáctilas, mesaxônicas e uma delas (SLPG-D15) denota nitidamente a presença marcas de garras (Figura 4). Nas demais (SLPG-D13 e SLPG-D14) as extremidades de alguns dos dígitos (III e IV) mostram-se afiladas. Os hipex são angulosos.

*SLPG-E*: pista constituída por quatro pegadas não consecutivas (SLPG-E18, SLPG-E19, SLPG-E20, SLPG-E21). Entre as pegadas SLPG-E19 e SLPG-E20 ocorre uma área de erosão que destruiu a continuidade da superfície onde estão distribuídas. São todas formas mesaxônicas, tridáctilas e com dedos afilados. Em SLPG-E19 ocorre uma acentuada reentrância no bordo posterior sugerindo-se tratar-se do dedo I. Os valores médios do ângulo do passo e do meio-passo são de  $153^\circ$  e 195 cm respectivamente.

Figura 2: Contexto estratigráfico das ocorrências de pegadas de dinossauros na Bacia de São Luís. Modificado de Pedrão *et al.* (1993).

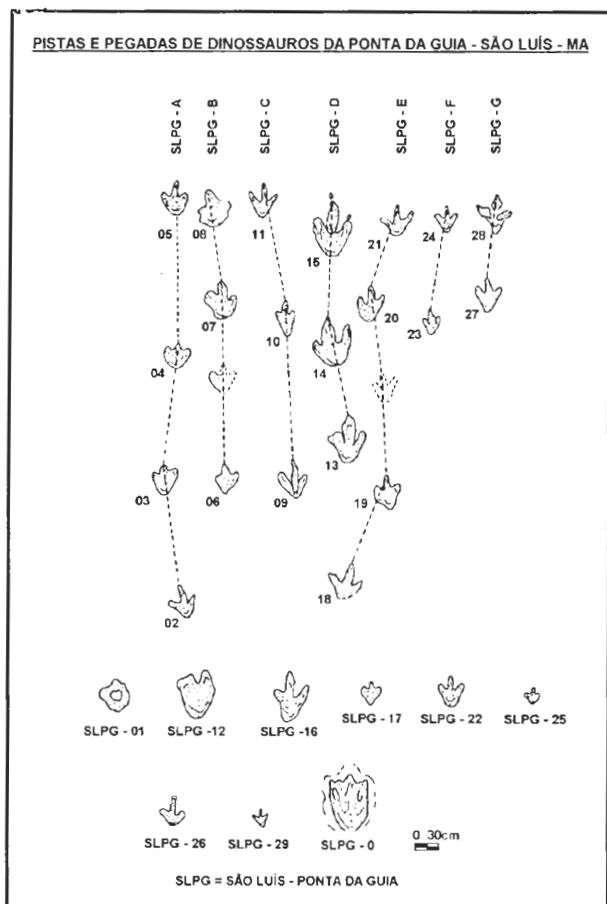


Figura 3: Pistas e pegadas fósseis da ponta da Guia, município de São Luís.

*SLPG-F*: compreende duas pegadas consecutivas (SLPG-F23 e SLPG-F24), tridáctilas e mesaxônicas. Não são observadas garras, porém as extremidades dos dígitos são afiladas. As bordas posteriores das pegadas mostram-se bem angulosas. Os hipex entre os dígitos II-III e III-IV também são angulosos. O valor do meio-passo é de 190 cm.

*SLPG-G*: é composta por duas pegadas consecutivas (SLPG-G27 e SLPG-G28). São formas mesaxônicas e tridáctilas. Em SLPG-G28 há a presença nítida de garras em todos os dígitos; a



Figura 4: Pegada de um terópode de grande porte (SLPG-D15) da ponta da Guia. Escala com 30 cm de comprimento.

morfologia desta pegada possui um aspecto cruciforme, sendo o bordo posterior muito anguloso. Já na pegada SLPG-G27 não se observam garras; o dígito III é afilado e os demais têm a extremidade arredondada. O bordo posterior da pegada é bem afilado, podendo indicar a presença do dedo I. O valor do meio-passo é de 190 cm.

*SLPG-01*: pegada isolada, não possuindo os dígitos individualizados. A morfologia geral é arredondada, estando preservada em epirrelevo convexo; a região central da pegada mostra-se côncava.

*SLPG-12*: pegada isolada, tendo dois dígitos; as extremidades destes são arredondadas, sem a presença de garras. O hipex formado por estes dois dígitos é anguloso. O bordo posterior é arredondado.

*SLPG-16*: pegada isolada, tridáctila e mesaxônica. Os dígitos são afilados, não ocorrendo contudo a presença de garras. O dedo III é o de maior tamanho e os hipex formados entre os dígitos II-III e III-IV são arredondados. O bordo posterior da pegada é arredondado.

*SLPG-17*: pegada isolada, tridáctila e mesaxônica. As extremidades dos dígitos e os hipex são arredondados. A região posterior da pegada é bastante afilada sugerindo a presença do dígito I.

*SLPG-22*: pegada isolada, tridáctila e mesaxônica. Dígitos aproximadamente do mesmo tamanho, tendo as extremidades arredondadas; hipex (entre os dígitos II-III e III-IV) e borda posterior arredondadas.

*SLPG-25*: pegada isolada, tridáctila e mesaxônica. Dígitos de mesmo tamanho, sendo suas extremidades arredondadas; o hipex entre os dígitos II-III é arredondado e entre os dígitos III-IV é agudo. Margem posterior da pegada arredondada. A preservação ocorreu sob a forma de epirrelevo côncavo.

*SLPG-26*: pegada isolada, tridáctila e mesaxônica. O dígito III é o de maior comprimento, possuindo a extremidade afilada. Os dígitos III e IV mostram-se arredondados. A margem posterior é estreita, porém curva. Não se observam a presença de garras. O hipex entre os dígitos II-III é arredondado e entre os dígitos III-IV é anguloso.

*SLPG-29*: pegada isolada, tridáctila e mesaxônica. Os dígitos têm aproximadamente mesmo tamanho e possuem as extremidades bastante afiladas. O hipex entre os dígitos II-III e III-IV é anguloso. A margem posterior é bem estreita e levemente angulosa.

*SLPG-0*: pegada isolada, tridáctila e mesaxônica. Os dígitos são bem curtos e o hipex entre os dígitos II-III e III-IV são amplos e arredondados. Não se observam garras; os dígitos II e IV são afilados e o III possui a extremidade arredondada. A margem posterior da pegada é arredondada; seu comprimento é bastante avantajado (70 cm). Ao redor da pegada forma-se uma zona de deformação, caracterizada por uma suave ondulação que acompanha praticamente todo o seu contorno. Está preservada como epirrelevo côncavo, mostrando-se bastante profunda no substrato (valor máximo de 25 cm).

#### *Prováveis Produtores da Icnocenose da Ponta da Guia*

Nesta icnocenose, identificou-se a presença de seis pistas de carnossauros (sendo uma duvidosa), uma provável pista de ornitópode, quatro pegadas de carnossauros e quatro (sendo duas duvidosas) de ornitópodes. De acordo com Carvalho (1994b), nas pistas SLPG-A e SLPG-B, apesar do aspecto morfológico e dimensões semelhantes às atribuídas aos ornitópodes, ocorrem pegadas com três dedos pontiagudos, bem definidos e esguios, indicando que a morfologia apresentada pelas demais reflete apenas um aspecto preservacional. Assim, o conjunto de três pistas sub paralelas (SLPG-A, SLPG-B e SLPG-C) devem pertencer a terópodes de grande porte. Aos terópodes de grande porte também são atribuídas a pegada SLPG-16 e a pista SLPG-D, cuja última pegada (SLPG-D15) possui marcas de

garras bem nítidas. Aquelas com dedos arredondados, largura e comprimento da pegada aproximadamente iguais, sugerem que os produtores poderiam ter sido ornitópodes (SLPG-0, SLPG-12, SLPG-17, SLPG-22 e SLPG-E). As pegadas de dinossauros tridáctilos de pequeno tamanho são raras nesta localidade. Ocorrem apenas duas, que poderiam ser atribuídas à celurosauriformes ou a carnossauros de pequeno porte. De acordo com Lockley *et al.* (1986) tal aspecto pode representar um habitat diferenciado ou uma segregação ecológica entre as formas tridáctilas de grande porte e as de pequeno porte.

#### *Ponta do Farol*

Foi identificada apenas uma pegada, codificada como SLPF-01 (Figura 5A). É uma forma tridáctila, digitigrada e mesaxônica. Os dígitos são bem afilados sugerindo a presença de garras. Encontra-se preservada como epirrelevo côncavo. Nas proximidades ocorrem feições de deformação associadas à estruturas de fluidização semelhantes à pegadas tridáctilas.

#### *Praia do Boqueirão*

As pegadas são raras nesta localidade (Figura 5B). Preservam-se como epirrelevo côncavo em um arenito fino. É possível observar estruturas de fluidização ao redor de algumas das pegadas (SLPB-01), sendo que a matriz situada no bordo posterior e ao longo dos dígitos mostra-se crenulada. Geralmente não é possível a individualização dos dígitos (SLPB-02, SLPB-03, SLPB-04), tendo sido preservada apenas uma estrutura circular, com anéis concêntricos. Estas feições são o resultado da deformação do substrato devido a pressão causada pelo autopódio do animal (pressão dinostática).

*SLPB-01*: pegada tridáctila, mesaxônica, com as extremidades dos dígitos arredondadas. Possui uma ampla e arredondada margem posterior. O ângulo interdigital II-III possui 35° e o III-IV cerca de 40°. O comprimento é de 30 cm e a largura 47 cm. Em sua margem posterior ocorre um halo de deformação, conferindo um aspecto crenulado à matriz circundante.

*SLPB-02, SLPB-03 e SLPB-04*: Conjunto de três pegadas, compondo provavelmente uma pista curta. Não são distinguíveis os dedos ou a margem posterior das pegadas. Tratam-se de estruturas de deformação, preservadas como epirrelevo convexo em um arenito muito fino. Possuem coloração avermelhada, mostrando-se imersas numa matriz esverdeada. SLPB-02 possui 44 cm de comprimento e 40 cm de largura. SLPB-03 e SLPB-04 têm aproximadamente mesmas dimensões, com 40 cm de comprimento e 30 cm de largura. Em SLPB-03 há uma depressão central, sendo sucedida por cristas e depressões concêntricas; na região mais externa formam-se estruturas de fluidização.

#### *Prováveis produtores da pegadas da praia do Boqueirão*

A pegada SLPB-01, com dedos arredondados e a largura maior que o comprimento, sugere que tenha sido originada por um ornitópode. Pegadas semelhantes a estas foram descritas por Alonso (1980, 1989), Carpenter (1992), Currie (1983) e Thulborn (1990). Em relação ao conjunto SLPB-02, SLPB-03 e SLPB-04 em função da inexistência de detalhes da morfologia das pegadas é inviável a atribuição a um grupo específico, podendo ser consideradas como estruturas de dinoturbação, resultantes do deslocamento de um dinossauro sobre um substrato arenoso saturado em água.

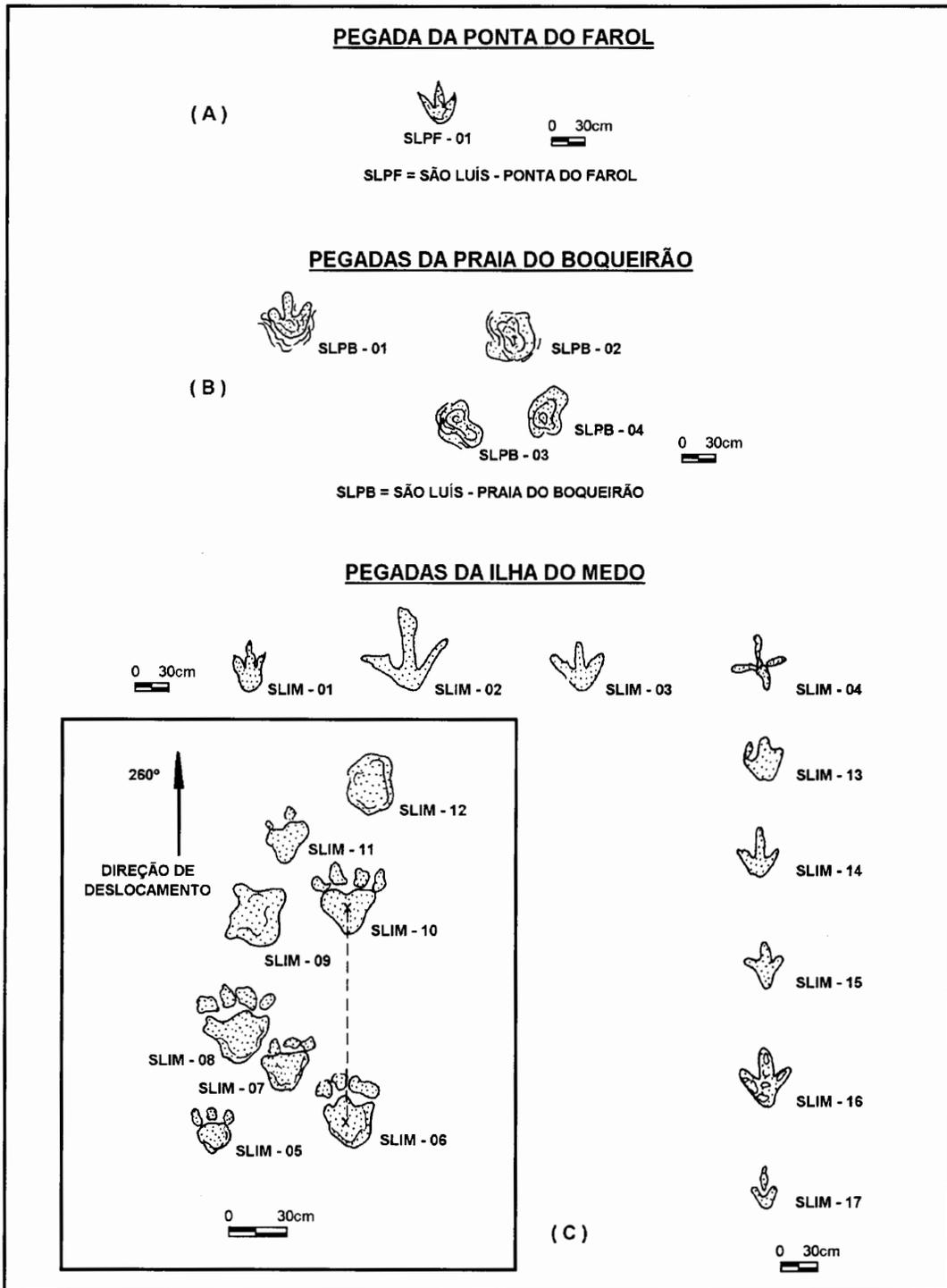


Figura 5: A) Pegada tridáctila de um provável terópode da localidade de Ponta do Farol, município de São Luís. B) Pegadas fósseis da Praia do Boqueirão, município de São Luís. C) Pegadas da Ilha do Medo, município de São Luís.

### *Ilha do Medo*

Predominam as pegadas tridáctilas, mesaxônicas, preservadas sob a forma de epirrelevo convexo. Não são evidentes marcas de garras nas extremidades dos dígitos, porém alguns mostram-se pontiagudos, sugerindo tratar-se de pegadas de terópodes. Algumas das pegadas tridáctilas têm as extremidades dos dígitos arredondadas, podendo terem sido originadas por ornitópodes. Ocorre também uma pista de um indivíduo quadrúpede, cuja maior pegada é tetradáctila (autopódios posteriores?) e a menor tridáctila (autopódios anteriores?). O produtor desta pista foi provavelmente um ornitíscuo (Figura 5C).

*SLIM-01*: pegada isolada, tridáctila, mesaxônica, com os detalhes morfológicos muito pouco evidentes. Preservada em epirrelevo convexo. O ângulo interdígital II-III é de 35° e o III-IV possui valor de 40°. Apresenta comprimento de 45 cm e largura de 30 cm.

*SLIM-02*: pegada isolada, tridáctila, mesaxônica, preservada em epirrelevo côncavo. Os dígitos possuem as extremidades arredondadas. O dígito III apresenta maior tamanho e espessura. O ângulo interdígital II-III é de 45° e o III-IV é de 40°. O bordo posterior é afilado, mostrando-se bastante curto em relação ao comprimento total da pegada. Esta possui comprimento e largura com 60 cm.

*SLIM-03*: pegada isolada, tridáctila, mesaxônica, preservada em epirrelevo côncavo. Os dígitos possuem aproximadamente mesmo tamanho e suas extremidades são arredondadas. O ângulo interdígital II-III mede 20° e o III-IV tem valor de 30°. O bordo posterior é afilado e curto. O comprimento da pegada é de 35 cm e sua largura é de 30 cm.

*SLIM-04*: pegada isolada, tetradáctila, com aspecto cruciforme. Preservada em epirrelevo côncavo. Os dígitos II, III e IV possuem aproximadamente mesmo tamanho (30 cm), enquanto o dígito I é o de menor dimensão (comprimento de 15 cm). Os ângulos interdigitais variam entre 80° e 95°. Não se reconhece uma região plantar na pegada. O comprimento total é de 60 cm e a largura é de 50 cm.

*SLIM-05*, *SLIM-06*, *SLIM-07*, *SLIM-08*, *SLIM-09*, *SLIM-10*, *SLIM-11* e *SLIM-12*: conjunto de pegadas tetradáctilas (*SLIM-06*, *SLIM-08* e *SLIM-10*), tridáctilas (*SLIM-05*, *SLIM-07*, *SLIM-09* e *SLIM-11*) e sem dígitos individualizados (*SLIM-12*), que compõem uma pista curta. As pegadas tetradáctilas apresentam, como valores angulares interdigitais, ângulos entre 20° e 25°. Os dígitos estão direcionados para frente, e caracterizam-se por serem formas arredondadas, muito curtas e destacadas da região plantar. Estas têm morfologia triangular, com a margem posterior mais estreita. As dimensões médias são de 30 cm de comprimento e 43 cm de largura. As pegadas tridáctilas têm um aspecto semelhante. A região plantar é mais estreita posteriormente e a margem anterior mostra-se mais retilínea, com os dedos destacados e direcionados para frente. Os ângulos interdigitais II-III e III-IV têm valor médio de 20°. O comprimento e a largura média da pegada é de 25 cm. O meio-passo entre as pegadas *SLIM-06* e *SLIM-08* é de 1,20 m. A pegada *SLIM-12* não possui os dígitos preservados. Trata-se de uma estrutura elíptica, com comprimento de 30 cm e largura de 28 cm.

*SLIM-13*: pegada tridáctila, mesaxônica, preservada em epirrelevo côncavo. Apenas dois dígitos são evidentes, formando um ângulo interdígital (II-III) de 50°. Possuem mesmo comprimento e largura (30 cm).

*SLIM-14*: pegada tridáctila, mesaxônica, preservada em epirrelevo côncavo. O dígito III é o de maior tamanho, possuindo a extremidade arredondada. Os dígitos II e IV têm aproximadamente as mesmas dimensões; suas extremidades são pontiagudas. O ângulo entre os dígitos II-III é de 50° e entre os dígitos III-IV é de 45°. A pegada possui comprimento de 30 cm e largura de 25 cm.

*SLIM-15*: pegada tridáctila, mesaxônica, preservada em epirrelevo côncavo. Os dígitos têm aproximadamente mesmo tamanho, sendo o 35° o ângulo interdígital II-III e de 40° o ângulo entre os dígitos III-IV. A margem posterior é estreita e arredondada. A pegada possui comprimento de 45 cm e largura de 40 cm.

*SLIM-16*: pegada tridáctila, mesaxônica, preservada em epirrelevo côncavo. Os dígitos apresentam as extremidades arredondadas. O dígito III é o de maior tamanho. Os valores interdígital II-III é de 40° e entre os dígitos III-IV é de 45°. A pegada tem comprimento de 60 cm e largura de 45 cm.

*SLIM-17*: pegada tridáctila, mesaxônica, preservada em epirrelevo côncavo. O dígito III é o de maior tamanho e apresenta a extremidade afilada. Os dígitos II e IV possuem mesmas proporções e não estão completos. O ângulo interdígital II-III é de 35° e o III-IV é de 30°. A pegada tem comprimento de 30 cm e largura de 20 cm.

#### *Prováveis Produtores das Pegadas da Ilha do Medo*

Os dinossauros que produziram as pegadas encontradas na Ilha do Medo eram, principalmente, ornitópodes. Normalmente as pegadas apresentam as extremidades dos dígitos arredon-

dadas e não são observadas marcas de garras (SLIM-03, SLIM-04, SLIM-13, SLIM-16). Entretanto, em pegadas tais como SLIM-01, SLIM-02, SLIM-14, SLIM-15 e SLIM-17, a existência de dedos pontiagudos e afilados, podem ser indicativas da existência de garra e, portanto, seria adequado atribuí-las a terópodes de grande porte. As pegadas representadas pelo conjunto SLIM-05, SLIM-06, SLIM-07, SLIM-08, SLIM-09, SLIM-10, SLIM-11 e SLIM-12, que compõem uma pista curta, têm um aspecto morfológico distinto de todas as demais pegadas da Bacia de São Luís. Tratam-se provavelmente de pegadas de um ornitíscio quadrúpede.

#### *Alcântara - Praia da Baronesa*

Na Praia da Baronesa, município de Alcântara, as pegadas ocorrem principalmente isoladas ou formando pistas curtas (no máximo três pegadas consecutivas). As vinte e duas pegadas analisadas estão preservadas em epirrelevo convexo, sendo o sedimento que as preenche de granulometria e composição mineralógica muito próxima a da matriz (Figura 6A). As características mais marcantes no que concerne à preservação dessas pegadas são a forte coloração vermelha que as destaca da rocha matriz e as feições de fluidização (Figura 7) que circundam os dígitos e o bordo posterior de cada uma das pegadas (Carvalho & Gonçalves 1994).

O aspecto em relevo e coloração distinta da matriz em algumas das pegadas observadas na praia da Baronesa pode ser explicado através do processo de compactação exercido pela “pressão dinostática”, definida por Lockley (1991) como a pressão exercida pelas passadas de dinossauros, pressão esta capaz de deformar o sedimento subjacente e circundante ao local onde o animal pisava. A compactação diferencial do sedimento torna a superfície onde se formou

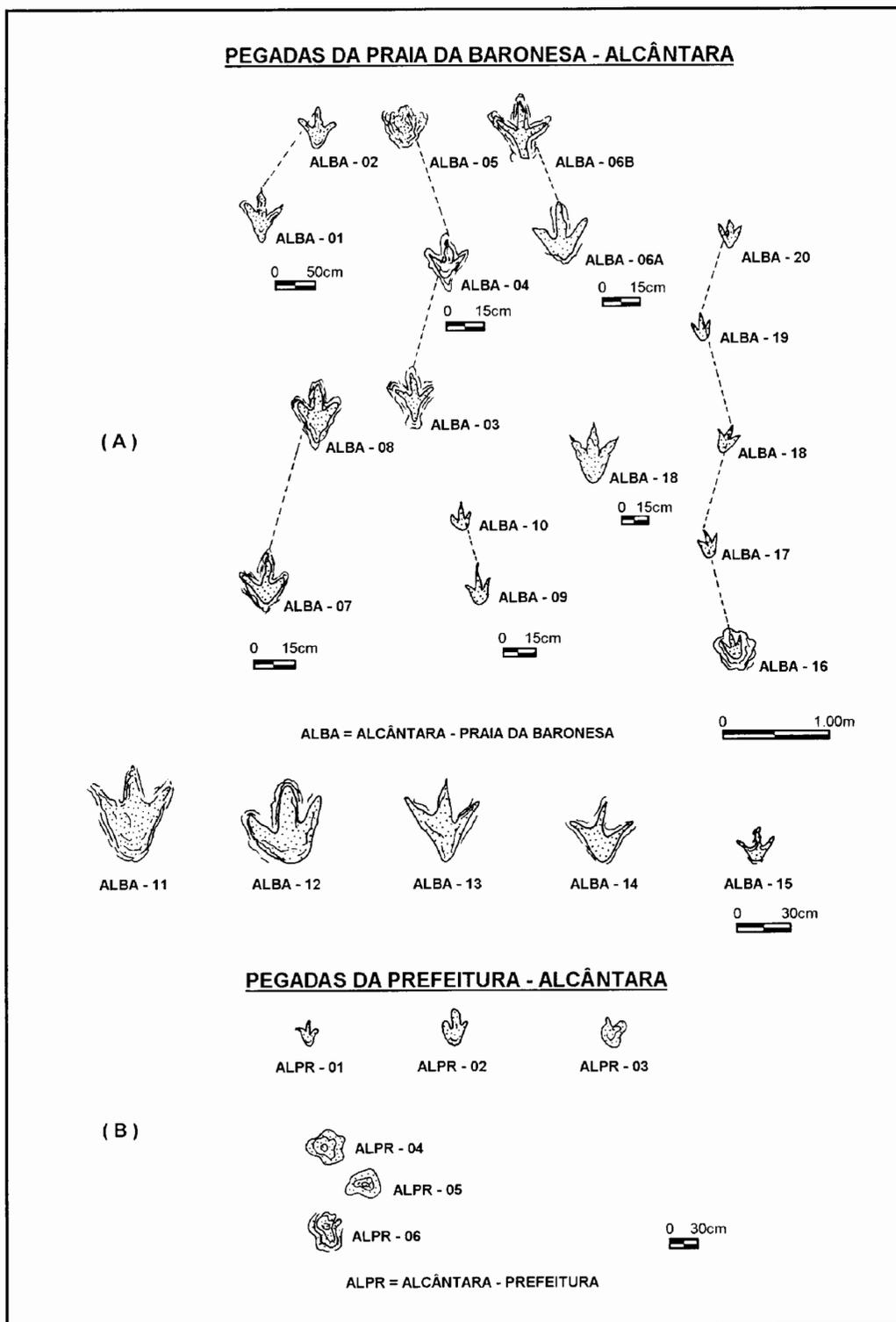


Figura 6: Pegadas de dinossauros do município de Alcântara.



Figura 7: Estruturas de fluidização circundando pegada de um pequeno terópode da praia da Baronesa. Escala com 30 cm de comprimento.

a pegada mais resistente à ação dos agentes erosivos, em comparação com o sedimento fora do limite de atuação desta força compressiva. A este processo quase sempre estaria associada uma modificação na coloração local. Desta forma, em virtude do tipo de preservação que as destaca da matriz em forma, cor e relevo, as pegadas localizadas nos arenitos avermelhados da praia da Baronesa, são passíveis de reconhecimento fácil e direto.

As pegadas são tridáctilas, digitígradas e mesaxônicas. Em algumas é possível observar a

presença de estruturas que denotam garras bem distintas, assim como almofadas falangeais. O comprimento das pegadas varia entre 22 e 33 cm e a largura média é da ordem de 18 cm. O tamanho dos dígitos é, na maioria das vezes, aproximadamente igual, havendo em alguns casos isolados um maior pronunciamento do dedo III. Os valores médios das divergências angulares entre os dedos II e III são da ordem de  $38^\circ$ , e dos dedos III e IV, de  $40^\circ$ .

Essas formas podem ser atribuídas a dinossauros carnívoros (terópodes), sendo que, em função de suas dimensões, presença marcada de garras e, em geral, não proeminência do dedo III, optamos por atribuí-las ao grupo dos carnossauros.

Algumas poucas pegadas de maior tamanho foram também localizadas, porém estas não apresentavam um estado de preservação que permitisse a determinação precisa do tipo de dinossauro que as teria originado.

#### *Alcântara - Prefeitura*

Ocorrem pegadas isoladas, tridáctilas, preservadas em epirrelevo côncavo. Não possuem garras, com exceção de ALPR-01. Também estão presentes estruturas arredondadas, concêntricas e que denotam uma deformação do substrato; algumas por apresentarem-se de maneira consecutiva sugerem a formação de pistas (ALPR-04, ALPR-05, ALPR-06), podendo tratar-se de pegadas de saurópodes (Figuras 6B e 8).

*ALPR-01*: pegada tridáctila e mesaxônica. Possui as extremidades dos dígitos afiladas, sugerindo a existência de garras. A margem posterior é arredondada. Hípex anguloso. Os dígitos II-III formam um ângulo de  $35^\circ$  e os dígitos III-IV têm  $40^\circ$ . O comprimento da pegada é de 20 cm e sua largura é de 10 cm.



Figura 8: Estrutura circular da localidade Prefeitura - Alcântara, que pode ter sido produzida por um saurópode. Escala com 15 cm de comprimento.

*ALPR-02*: pegada tridáctila e mesaxônica. Os dígitos têm a extremidade arredondada, sendo o dedo III o de maior comprimento. A margem posterior é arredondada. Híplex angulosos. Os valores angulares interdigitais II-III e III-IV são de 40° e 30° respectivamente. O comprimento da pegada é de 30 cm e sua largura é de 15 cm.

*ALPR-03*: pegada com a impressão de dois dígitos (?III-IV), possuindo um aspecto semi circular. O valor angular interdigital é de 45°. O comprimento da pegada é de 30 cm e sua largura tem 20 cm.

*ALPR-04*, *ALPR-05* e *ALPR-06*: seqüência de estruturas semi circulares, com halos concêntricos e regularmente espaçadas (1 m). As pegadas não possuem impressões de dígitos e não é possível identificar as regiões anterior e posterior destas. O comprimento e a largura têm em torno de 30 cm.

#### *Prováveis produtores das pegadas de Alcântara - Prefeitura*

Trata-se de uma assembléia icnológica pouca numerosa composta de um terópode de pequeno porte (*ALPR-01*) e possivelmente saurópodes (*ALPR-04*, *ALPR-05* e *ALPR-06*). As demais pegadas encontradas nesta localidade não possibilitam uma atribuição a um produtor em função do mal estado de preservação.

#### *Aspectos Paleoecológicos*

O estudo das icnocenoses de dinossauros da Bacia de São Luís denota grande importância, pois possibilita o conhecimento da fauna de dinossauros que viveu durante o Cretáceo Superior na região equatorial brasileira. Trata-se de um registro único, já que segundo Leonardi (1994) os icnofósseis de dinossauros no Brasil restringem-se, principalmente, ao Jurássico Superior e Cretáceo Inferior. As pegadas ocorrem em camadas na "sucessão inferior" de Rossetti (1994, 1996a, b), a qual foi posteriormente formalizada como Formação Alcântara em Rossetti & Truckenbrodt (1997). Estes depósitos são atribuídos a processos de correntes de maré e tempestades que atuaram em ambiente tipicamente litorâneo, com formação de ilhas barreiras e lagunas conectadas a um sistema estuarino do tipo dominado por onda (Rossetti 1996a), sendo este ambiente condizente com as pegadas registradas neste trabalho. Os horizontes portadores



Figura 9: Reconstituição ambiental da localidade ponta da Guia, demonstrando o hábito gregário dos dinossauros terópodes (ilustração de Ariel Milani Martine).

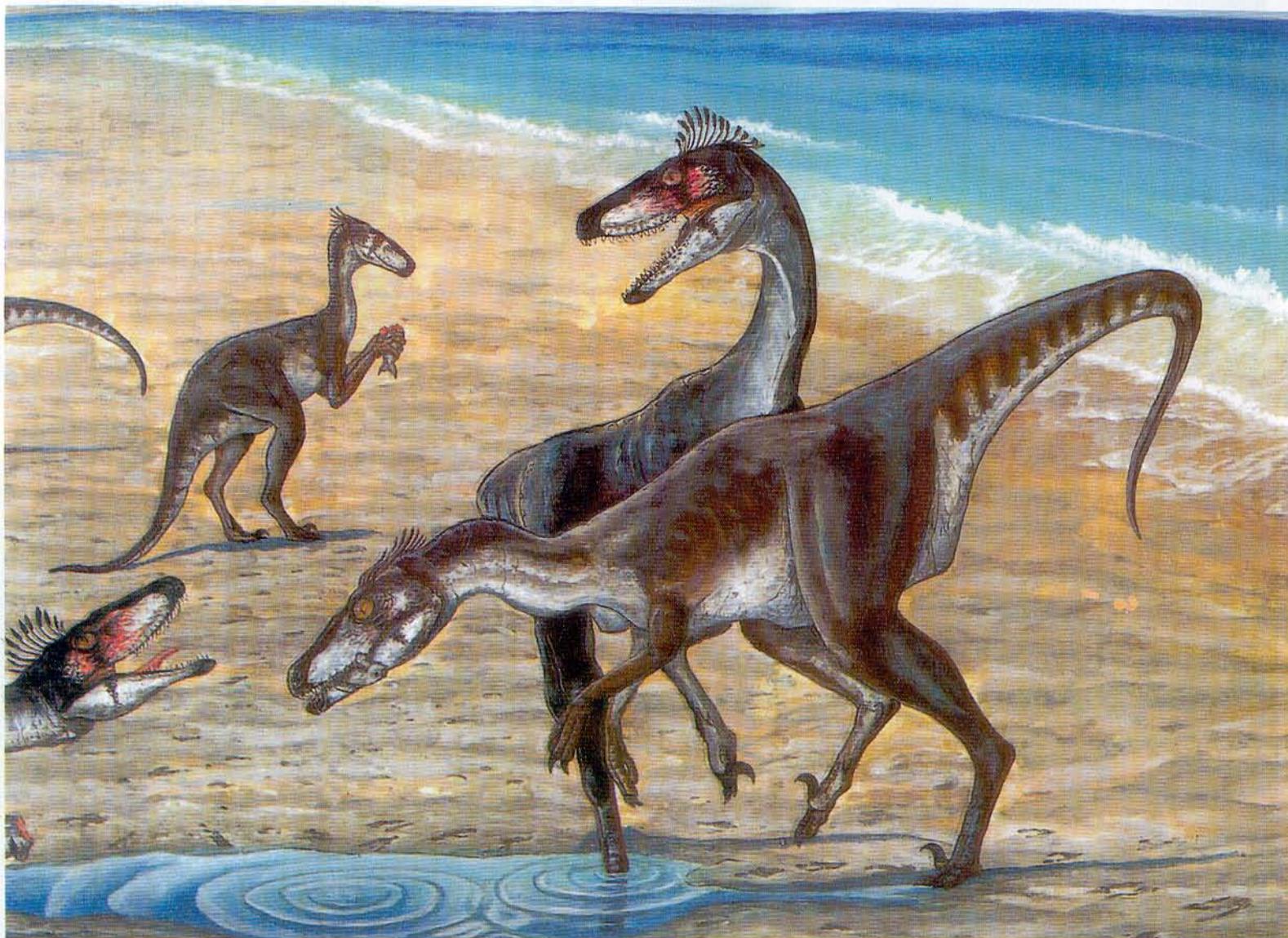


Figura 10: Reconstituição ambiental da "zona de alimentação" da praia da Baronesa, na qual dinossauros semelhantes aos dromeossaurídeos vagavam em busca de alimentos (ilustração de Ariel Milani Martine).

de restos fragmentados e dentes de dinossauros, crocodilianos, quelônios e peixes, permitem considerá-los como formados pelo acúmulo de detritos

A distribuição das pegadas ao longo da costa de São Luís (Ponta da Guia) e Alcântara (Praia da Baronesa) é interpretada como pertencente a uma mesma superfície temporal. Os níveis com dentes, ossos e pegadas de dinossauros e outros vertebrados associados podem, assim, ser usados como elementos de correlação, pois são freqüentemente identificados nos afloramentos da bacia. As camadas com pegadas fossilizadas são de ampla distribuição geográfica e provavelmente correspondem a um *megatracksite*.

Em condições litorâneas, as pistas são freqüentemente produzidas em situações de maré vazante. Quando a maré inicia sua vazante, as pegadas podem ser formadas na zona *intertidal*. Assim, aquelas originadas precocemente, na fase vazante, próximas ao maior nível de água, permanecerão por um ciclo de aproximadamente 12 horas, enquanto que as realizadas na fase de enchimento da maré não irão permanecer mais do que 6 horas até que sejam recobertas. Uma praia arenosa que apresente um acentuado declive não constitui o ambiente mais apropriado para a preservação de pistas, pois as rápidas "lavagens" da superfície a cada ciclo de maré constituiriam agentes de destruição das marcas deixadas pelos dinossauros. Já em planícies costeiras de baixo gradiente, a enchente e vazante de cada ciclo de maré ocorre de forma mais lenta, facilitando a preservação de pistas e pegadas (Lockley 1991).

Nas Ponta da Guia observa-se nitidamente um conjunto de quatro pistas de carnoossauros (SLPG-A, SLPG-B, SLPG-C e SLPG-D), que denotam uma clara identidade morfológica: o desvio angular na direção das pistas é de apenas 20° e o

espaçamento máximo é de quatro metros. Tais características são fortes indicativos de hábito gregário entre seus produtores (Figura 9). Além disso, pode-se pressupor a inexistência de uma barreira física que condicionasse o deslocamento, face à ocorrência de pegadas isoladas e pistas em outras direções. O comportamento social gregário ocorre com maior freqüência entre saurópodes e ornitópodes (Carvalho 1989; Leonardi 1980; Leonardi 1981; Lockley *et al.* 1986; Lockley *et al.* 1992; Nadon 1993), pois, entre os terópodes o deslocamento e a caça devem ter se processado mais freqüentemente de forma isolada, e não em grupo (Farlow 1976 *apud* Thulborn 1990). Entretanto, Leonardi (1984, 1989), Thulborn & Wade (1979, 1984) e Currie (1998) consideraram a existência de comportamento gregário entre terópodes através da análise de material icnológico e de tanatocenoses osteológicas.

O padrão irregular de distribuição das pegadas ocorrentes na praia da Baronesa poderia indicar que, à época de sua formação, este paleoambiente seria caracterizado como "zona de alimentação" de dinossauros. As espécies então viventes percorreriam de maneira irregular as planícies de maré em busca de organismos que lhes pudessem servir de alimento, deixando registrado no sedimento os indícios desta busca (Figura 10).

## Agradecimentos

Os autores expressam seus agradecimentos ao Professor Cândido Simões Ferreira (UFRJ) por seu apoio e estímulo nos estudos concernentes à paleontologia da região norte do Brasil. Ao Prof. Ronaldo Antônio Gonçalves (UFMA), cujo apoio nas várias etapas de campo foi de fundamental importância para o mapeamento das localidades fossilíferas. À Prof<sup>ta</sup>. Wilma dos Santos

Eugênio (UFMA), Prof. Manoel Alfredo de Medeiros (UFMA), Dr. Sérgio Antonio Frazão Araújo, geólogos Francisco Rodrigues da Silva Jr., Marcelo Henrique Blunk Santos, Sandro Rosito Mercio, Heitor Bolivar Pezzi D'Arrigo e biólogas Helena Pontes e Itapotiará do Carmo Corrêa Vilas Bôas, pelo auxílio nas atividades de campo. Ao Prof. Ricardo Néstor Melchor (Universidad Nacional de la Pampa) e Prof<sup>a</sup>. Renata Guimarães Netto (UNISINOS) pela acurada revisão crítica deste artigo. O conhecimento da icnofauna da Bacia de São Luís foi possível através do apoio em infraestrutura fornecidos pela Secretaria de Estado da Cultura do Estado do Maranhão, Universidade Federal do Maranhão, Universidade Federal do Rio de Janeiro e dos recursos financeiros advindos da Fundação Universitária José Bonifácio (FUJB), Fundação Carlos Chagas Filho de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro (FAPERJ) e Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

## Referências Bibliográficas

- ALONSO, R.N. 1980. Icnitas de dinosaurios (Ornithopoda, Hadrosauridae) en el Cretacico Superior del Norte de Argentina. *Acta Geol. Lilloana*, 15: 53-63.
- ALONSO, R.N. 1989. Late Cretaceous dinosaur trackways in Northern Argentina. In: GILLETTE, D.D. & LOCKLEY, M.G. (Eds). *Dinosaur Tracks and Traces*. New York, Cambridge University Press, p. 223-228.
- CARPENTER, K. 1992. Behavior of hadrosaurs as interpreted from footprints in the "Mesaverde" Group (Campanian) of Colorado, Utah, and Wyoming. *Contr. Geol. Wyoming*, 29: 81-96.
- CARVALHO, I.S. 1989. *Icnocenoses continentais: Bacias de Sousa, Uiraúna-Brejo da Freiras e Mangabeira*. Rio de Janeiro, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 167 p. Dissertação de Mestrado.
- CARVALHO, I.S. 1994a. As ocorrências de icnofósseis de vertebrados na Bacia de São Luís, Cretáceo Superior, estado do Maranhão. SIMPÓSIO SOBRE O CRETÁCEO DO BRASIL, 3. Resumos. Rio Claro: 119-122.
- CARVALHO, I.S. 1994b. As pistas de dinossauros da ponta da Guia (Bacia de São Luís, Cretáceo Superior - Maranhão, Brasil). *An. Acad. Bras. Ciênc.*, 67: 413-431.
- CARVALHO, I.S. 1994c. Contexto tafonômico das pegadas de terópodes da Praia da Baronesa (Cenomaniano, Bacia de São Luís). CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 38. Resumos Expandidos. Camburiú, 3: 211-212.
- CARVALHO, I.S. & GONÇALVES, R.A. 1994. Pegadas de dinossauros neocretáceas da Formação Itapecuru, Bacia de São Luís (Maranhão, Brasil). *An. Acad. Bras. Ciênc.*, 66: 279-292.
- CARVALHO, I.S. & ARAÚJO, S.A.F. 1995. A distribuição geográfica dos fósseis e icnofósseis de Dinosauria na Bacia de São Luís (Cretáceo Superior, Maranhão). REUNIÃO ANUAL DA SBPC, 47. Anais. São Luís, 2: 439.
- CARVALHO, I.S. & PEDRÃO, E. 1998. Brazilian Theropods from the Equatorial Atlantic margin: behavior and environmental setting. *Gaia*, 15: 369-378.
- CARVALHO, I.S.; VILAS BÔAS, I.C.C. & BERGQVIST, L.P. 1997. Plesiosauros da região equatorial brasileira-Bacia de São Luís (Cretáceo Superior), Brasil. CONGRESSO BRASILEIRO DE PALEONTOLOGIA, 15. Resumos. São Pedro: '93.
- CUNHA, E.L.S. & FERREIRA, C.S. 1978. Um dipnoi na Formação (Cenomaniano), Maranhão, Brasil. CONGRESO ARGENTINO DE PALEONTOLOGIA Itapecuru Y BIOESTRATIGRAFIA, 2, CONGRESO LATINOAMERICANO DE PALEONTOLOGIA. Actas. Buenos Aires, 2: 1-9.
- CURRIE, P.J. 1983. Hadrosaur trackways from the Lower Cretaceous of Canada. *Acta Paleontol. Pol.*, 28: 63-73.
- CURRIE, P.J. 1998. Possible evidence of gregarious behavior in Tyrannosaurids. *Gaia*, 15: 271-277.
- EUGÊNIO, W.S. 1994. *Aspectos Paleontológicos do Cretáceo da Baía de São Marcos, Maranhão, Brasil*. Rio de Janeiro, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 74 p. Dissertação de Mestrado.

- GÓES, A.M. & ROSSETTI, D.F. 2001. Gênese da Bacia de São Luís-Grajaú, Meio Norte do Brasil. In: ROSSETTI, D.F.; GÓES, A.M. & TRUCKENBRODT, W. (eds.). *O Cretáceo na Bacia de São Luís-Grajaú*, Belém, p. 15-30.
- KLEIN, V.C. & FERREIRA, C.S. 1979. Paleontologia e estratigrafia de uma fácies estuarina da Formação Itapecuru, Estado do Maranhão. *An. Acad. Bras. Ciênc.*, 51: 523-533.
- LEONARDI, G. 1980. Ornithischian trackway of the Corda Formation (Jurassic), Goiás, Brasil. CONGRESO ARGENTINO DE PALEONTOLOGIA Y BIOESTRATIGRAFIA, 2, CONGRESO LATINO AMERICANO DE PALEONTOLOGIA. Actas. Buenos Aires, 1: 215-222.
- LEONARDI, G. 1981. Ichnological data on the rarity of young in North East Brazil dinosaurian populations. *An. Acad. Bras. Ciênc.*, 53: 345-346.
- LEONARDI, G. 1984. Le impronte fossili di dinosauri. In: LIGABUE, G. (ed.). *Sulle Orme dei Dinosauri*. Venezia, Erizzo, p. 165-186.
- LEONARDI, G. 1989. 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, Cambridge University Press, p. 165-178.
- LEONARDI, G. 1994. *Annotated atlas of South America tetrapod footprints (Devonian to Holocene)*. SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL CPRM, 284 p.
- LOCKLEY, M.G. 1991. *Tracking Dinosaurs - A new Look at an Ancient World*. Cambridge, Cambridge University Press, 238 p.
- LOCKLEY, M.G.; HOUCK, K.J. & PRINCE N.K. 1986. North America's largest dinosaur trackway site: implications for Morrison Formation paleoecology. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 97: 1163-1176.
- LOCKLEY, M.G.; HUNT, A.; HOLBROOK, J.; MATSUKAWA, M. & MEYER, C. 1992. The dinosaur freeway: a preliminary report on the Cretaceous megatracksite, Dakota Group, Rocky Mountain Front Range, and High Plains, Colorado, Oklahoma and New Mexico. In: FLORES, R.M. (ed.). *Field Guidebook-Mesozoic of the Western Inferior*. Theme Meeting. Rocky Mountain Section, Colorado State University, Publications and Creative Services. Fort Collins, p. 39-54.
- MEDEIROS, M.A.; MARTINS, F.C.; SILVA JR., F.R.; PONTES, H. & VILAS BÔAS, I.C.C. 1996. A lage do Coringa (Ilha do Cajual, Maranhão): depósitos conglomeráticos fossilíferos contendo restos de dinossauros. *Revista de Geologia*, 9: 123-129.
- MEDEIROS, M.A. & SHULTZ, C.L. 2001. Uma paleocomunidade de vertebrados do Cretáceo Médio, Bacia de São Luís. In: ROSSETTI, D.F.; GÓES, A.M. & TRUCKENBRODT, W. (eds.). *O Cretáceo na Bacia de São Luís-Grajaú*, Belém, p. 209-222.
- NADON, G.C. 1993. The association of anastomosed fluvial deposits and dinosaur tracks, eggs, and nests: implications for the interpretation of floodplain environments and a possible survival strategy for ornithopods. *Palaios*, 8: 31-44.
- OLIVEIRA, P.E. 1958. *Sobre a idade do calcário de Ponta Grossa, Estado do Maranhão*. In: RELATÓRIO Interno DNPM, 7 p. (*Notas Preliminares e Estudos*, 107).
- PEDRÃO, E.; ARAI, M.; CARVALHO, I.S. & SANTOS, M.H.B. 1993. Palinomorfos cenomanianos da Formação Itapecuru - análise palinológica do afloramento da ponta do Farol, município de São Luís (MA). CONGRESSO BRASILEIRO DE PALEONTOLOGIA, 13. Resumos. São Leopoldo: 61.
- PRICE, L.I. 1947. *Sedimentos mesozóicos na Bacia de São Marcos, estado do Maranhão*. In: RELATÓRIO Interno DNPM/Divisão de Geologia e Mineralogia, Rio de Janeiro, 12 p.
- PRICE, L.I. 1960. Dentes de Theropoda num testemunho de sondagem no Estado do Amazonas. *An. Acad. Bras. Ciênc.*, 32: 79-84.
- ROSSETTI, D.F. 1994. Morphology and internal structures of mixed tide and storm-generated bedforms: Upper Cretaceous Itapecuru Formation, Northern Brazil. INTERNATIONAL SEDIMENTOLOGICAL CONGRESS, 14. Abstracts, Recife: A21-A22.
- ROSSETTI, D.F. 1996a. Genesis of large-scale cross beddings from the Cenomanian Upper Itapecuru Formation, northern Brazil. SIMPÓSIO SOBRE O

- CRETÁCEO DO BRASIL, 4. Resumos. São Pedro: 147-149.
- ROSSETTI, D.F. 1996b. Depositional evolution of two estuarine successions: the Upper Itapecuru Formation, São Luís Basin, Northern Brazil. CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 39. Anais. Salvador: 187-188.
- ROSSETTI, D.F. 1997. Facies analysis of the Lower Succession of the Upper Itapecuru Formation, São Luís Basin, northern Brazil. In: COSTA, M.L. & ANGELICA, R. (eds.). *Contribuições à Geologia da Amazônia*. Belém, Falângola, p. 241-284.
- ROSSETTI, D.F. 1998. Facies architecture and sequential evolution of incised valley estuarine fills: the Upper Itapecuru Formation (São Luís Basin), northern Brazil. *J. Sediment. Res.*, 68: 299-310.
- ROSSETTI, D.F. & TRUCKENBRODT, W. 1999. Nomenclatura estratigráfica de depósitos cretáceos expostos na Bacia de São Luís (MA). SIMPÓSIO SOBRE O CRETÁCEO DO BRASIL, 5. Resumos Expandidos. Serra Negra: 485-490.
- THULBORN, T. 1990. *Dinosaur tracks*. St. Edmundsbury, Chapman and Hall, 410 p.
- THULBORN, R. A. & WADE, M. 1979. Dinosaur stampede in the Cretaceous of Queensland. *Lethaia*, 12: 275-279.
- THULBORN, R. A. & WADE, M. 1984. Dinosaur trackways in the Winton Formation (Mid-Cretaceous) of Queensland. *Mem. Qd. Mus.*, 21: 413-517.
- VILAS BÔAS, I.C.C. 1999. *Dentes de Terópodes e Associação Fossilífera da Praia da Baronesa, Alcântara - MA (Formação Itapecuru, Bacia de São Luís)*. Rio de Janeiro, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 60 p. Dissertação de Mestrado.
- VILAS BÔAS, I.C.C.; CARVALHO, I.S.; MEDEIROS, M.A. & PONTES H. 1999. Dentes de *Charcarodontosaurus* (Dinosauria, Tyrannosauridae) do Cenomaniano, Bacia de São Luís (Norte do Brasil). *An. Acad. Bras. Ciênc.*, 71: 846-847.
- VILAS BÔAS, I.C.C. & CARVALHO, I.S. 1999. Mosasauros de la Formación Itapecuru (Cretácico Superior), Playa de la Baronesa, Alcântara (Estado do Maranhão), Brasil. *Ameghiniana*, 36: 24R