

Paleontologia: Cenários de Vida



Editores:

Ismar de Souza Carvalho

Rita de Cassia Tardin Cassab

Cibele Schwanke

Marcelo de Araujo Carvalho

Antonio Carlos Sequeira Fernandes

Maria Antonieta da Conceição Rodrigues

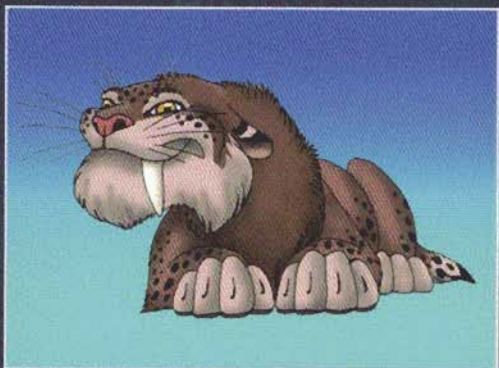
Marise Sardenberg Salgado de Carvalho

Mitsuru Arai

Maria Emília Queiroz Oliveira



Volume 1



PATROCÍNIO:



PETROBRAS



EDITORA INTERCIÊNCIA

PRESERVAÇÃO E CONTEXTO PALEOAMBIENTAL DAS PEGADAS DE TETRÁPODES DA FORMAÇÃO SANTA MARIA (TRIÁSSICO SUPERIOR) DO SUL DO BRASIL

PRESERVATION AND PALEOENVIRONMENTAL CONTEXT OF THE TETRAPOD FOOTPRINTS FROM SANTA MARIA FORMATION (LATE TRIASSIC) OF SOUTHERN BRAZIL

Rafael Costa da Silva¹, Ismar de Souza Carvalho¹, Antonio Carlos Sequeira Fernandes² & Jorge Ferigolo³

¹ Departamento de Geologia, IGEO/CCMN, UFRJ – Cidade Universitária, Ilha do Fundão, Rio de Janeiro, CEP 21910-200

² Museu Nacional/UFRJ - Quinta da Boa Vista s/n, São Cristóvão, Rio de Janeiro, CEP 20940-040

³ Museu de Ciências Naturais, Fundação Zoobotânica do Rio Grande do Sul, Av. Dr. S. França 1427, CEP 90690-000, Porto Alegre.

E-mails: *paleoicno@yahoo.com.br*, *ismar@geologia.ufrj.br*, *fernande@acd.ufrj.br*, *jorge.ferigolo@fzb.rs.gov.br*

RESUMO

Este trabalho consiste no registro preliminar de pegadas de tetrápodes da Formação Santa Maria e na análise de suas condições de preservação e do contexto paleoambiental. As pegadas em estudo podem ser classificadas em cinco estágios em relação ao conteúdo ou nível d'água no momento em que foram produzidas e à posterior exposição subaérea: pegadas subaquáticas, pegadas semi-aquáticas, pegadas semi-terrestres, pegadas em substrato encharcado e pegadas em substrato úmido. A preservação ocorreu como resultado de três etapas: (1) as pegadas foram produzidas tanto em sedimento úmido como subaquático; (2) com a diminuição do nível d'água, a superfície secou de forma diferencial, ficando levemente endurecida; (3) as pegadas foram soterradas por uma fina camada de areia, com baixa energia.

Palavras-chave: pegadas, Triássico, Formação Santa Maria, Bacia do Paraná

ABSTRACT

This is a preliminary record of tetrapod footprints from Santa Maria Formation, as well as the analysis of their preservation conditions and the paleoenvironmental context. The footprints and trackways from the Santa Maria Formation are classified in five different stages with their water content or water level during the moment in which they were produced and to the posterior subaerial exposition: underwater tracks, semi-aquatic footprints, semi-terrestrial tracks, wet substrate tracks and damp substrate tracks. The footprints were preserved as the result of three stages: (1) the footprints were produced both in damp and in subaquatic substrate; (2) with the change of the water level the surface dried in a differentiated way and became slightly hardened; (3) the footprints were buried by a thin sand layer during flooding in a low energy context.

Key-words: *footprints, Triassic, Santa Maria Formation, Paraná Basin*

1. INTRODUÇÃO

As unidades geológicas do Triássico do Sul do Brasil são amplamente conhecidas por sua rica paleofauna de tetrápodes, cujos registros incluem inúmeros esqueletos fossilizados (*e.g.* Huene, 1990; Holz & De Ros, 2000). Icnofósseis de vertebrados do Triássico são relativamente abundantes em todo o mundo, mas poucos foram registrados no Brasil. Na Formação Santa Maria (Triássico Superior da Bacia do Paraná, Estado do Rio Grande do Sul) há registros preliminares de pegadas fósseis encontradas apenas recentemente (Silva *et al.*, 2005a, 2005b, 2006), tendo sido reconhecidas pegadas de esfenodontídeos, terapsídeos, dinossauros e pegadas de semi-natação, mas sua forma de preservação e contexto paleoambiental permanecem desconhecidos.

O presente trabalho objetiva analisar as condições que ocasionaram a preservação de tais pegadas e suas relações com o ambiente deposicional.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O material de estudo consiste em 28 amostras de rocha contendo icnofósseis de vertebrados e invertebrados, provenientes da Formação Santa Maria, coletadas entre 2002 e 2005 e depositadas na Coleção Paleontológica de Icnofósseis do Museu de Ciências Naturais (MCN), Fundação Zoobotânica do Rio Grande do Sul (FZBRS), Porto Alegre, RS, sob a sigla MCN-PIC. Este material procede do afloramento Predebon, situado no Município de São João do Polêsine, Estado do Rio Grande do Sul (Figura 1). As pegadas são raras no afloramento e as amostras coletadas estavam deslocadas de camadas lenticulares. Nenhuma pegada coletada foi encontrada *in situ* e dessa forma não é possível conhecer a posição azimutal em que se encontravam.

Expedições foram realizadas em parceria com o MCN/FZBRS e CPRM (Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – Serviço Geológico Brasileiro) a diversos outros afloramentos da Formação Santa Maria no Município de São João do Polêsine e municípios vizinhos para levantamento de dados geológicos e prospecção. Todos os fósseis estudados são do mesmo afloramento.

3. CONTEXTO GEOLÓGICO

A Formação Santa Maria (Grupo Rosário do Sul, Bacia do Paraná) foi depositada em um sistema continental flúvio-lacustre (Faccini, 1989; Zerfass *et al.*, 2003; Da-Rosa, 2005), sendo dividida nos Membros Passo das Tropas e Alemoa (Andreis *et al.*, 1980). A unidade mais basal (Membro Passo das Tropas) é formada por conglomerados e arenitos grossos, correspondendo a um sistema fluvial entrelaçado (Faccini, 1989; Zerfass *et al.*, 2003). O Membro Alemoa, superior, é caracterizado por pelitos avermelhados, maciços ou finamente laminados, intercalados com siltitos e arenitos finos, níveis de calcretes e paleosolos (Faccini, 1989; Zerfass *et al.*, 2003; Da-Rosa, 2005). No topo da unidade, os pelitos são intercalados com arenitos esbranquiçados finos a médios, tabulares e lenticulares, ricos em intraclastos, com laminação horizontal e estratificações cruzadas de pequeno a médio porte (Schultz *et al.*, 2000). Esses depósitos podem ser inclusos na Superseqüência Gondwana II, temporalmente distribuída entre o Triássico Médio e Superior (Milani, 2002). De acordo com Scherer *et al.* (2000), a Formação Santa Maria e a porção inferior da Formação Caturrita correspondem à seqüência Ladiniano-Eonoriano.

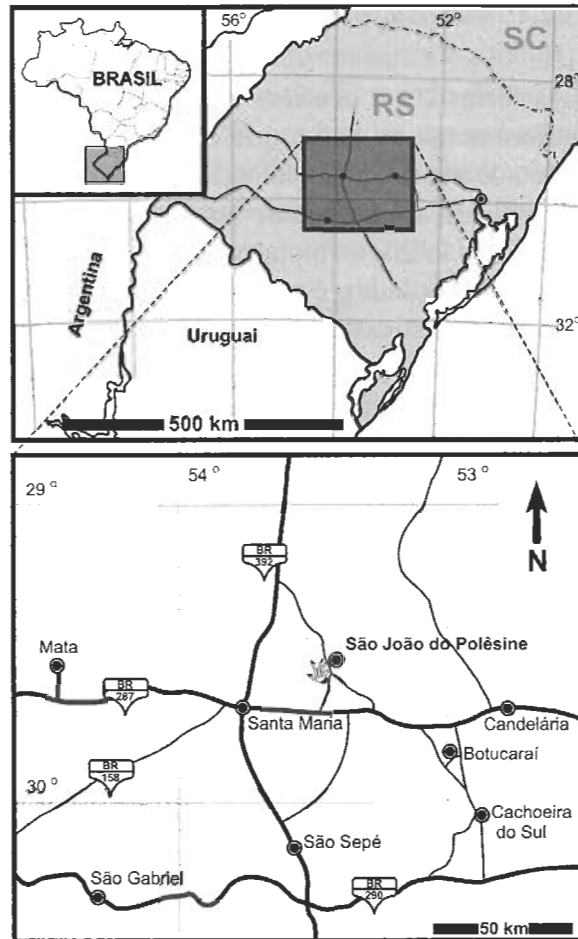


Fig. 1: Localização do afloramento Predebon, Formação Santa Maria (Triássico, Bacia do Paraná), Município de São João do Polêsine, Estado do Rio Grande do Sul, Brasil.

O afloramento Predebon (Figura 2) apresenta cerca de 100 metros de extensão e 6 metros de espessura. A seção estudada corresponde à porção superior do Membro Alemoa da Formação Santa Maria, estando próximo ao contato com a Formação Caturrita. Pode ser dividido em quatro fácies distintas:

Fácies 1 – Siltito argiloso avermelhado maciço contendo nódulos calcíferos e fósseis de Rhynchosauria.

Fácies 2 – Arenito fino avermelhado ou esbranquiçado de estrutura tabular com estratificação cruzada acanalada de pequeno porte. No topo da camada ocorrem nódulos calcíferos. Esta fácies apresenta icnofósseis de invertebrados, principalmente *Skolithos* isp.

Fácies 3 – Arenito fino avermelhado tabular. Apresenta laminação plano-paralela no topo da camada e grande densidade de bioturbações, principalmente *Skolithos* isp.

Fácies 4 – Arenitos finos avermelhados a alaranjados com laminação horizontal de espessura milimétrica a centimétrica, intercalados com siltitos argilosos, formando lentes de poucos metros de extensão. Ocorrem icnofósseis de invertebrados (*Skolithos* isp. e *Arenicolites* isp.) e pegadas fósseis de vertebrados. Esta fácies apresenta ainda gretas de contração por ressecamento e estruturas de deformação por fluidização.

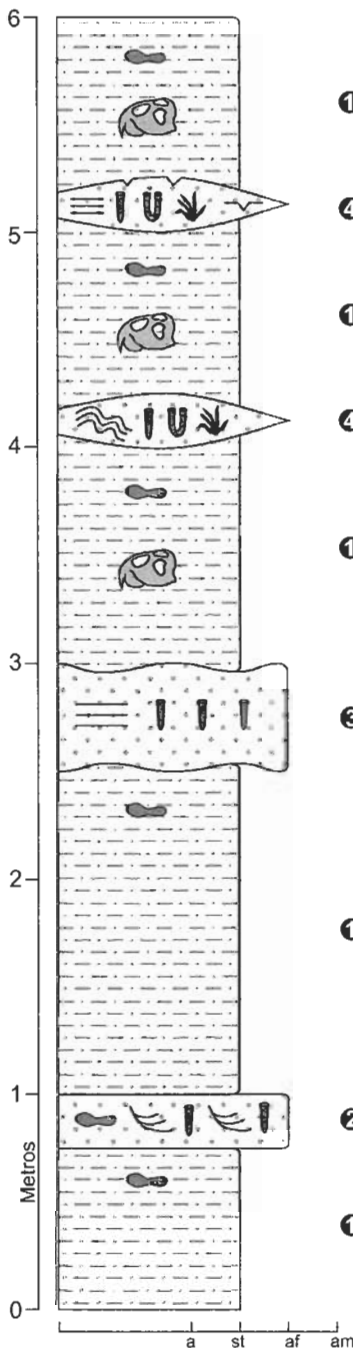


Fig. 2: Perfil geológico do afloramento Predebon.

- ① As fácies 2 e 3 ocorrem intercaladas à fácies 1 na metade inferior do afloramento ao passo que a fácies 4 ocorre intercalada à fácies 1 na metade superior. As camadas tabulares representadas pelas fácies 2 e 3 indicam a presença de um corpo de água rasa, o que é corroborado pelo alto índice de bioturbação. Embora as pegadas fósseis ocorram em amostras isoladas, é possível determinar sua origem na fácies 4 devido às características litológicas. A fácies 1 é tradicionalmente interpretada como um corpo d'água lacustre, sendo que as camadas lenticulares corresponderiam a pequenos canais (Zerfass *et al.*, 2003). Uma explicação alternativa sugere que os siltitos seriam formados em uma planície de inundação, eventualmente cortada por canais temporários de pequeno porte (Schultz *et al.*, 2000).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

- ② Várias feições relacionadas às pegadas permitem inferir as condições de plasticidade do sedimento e da coluna d'água em que estas foram produzidas e os fatores que permitiram posteriormente sua preservação. Apesar de algumas dessas feições, tais como redução do número de dígitos e digitigradia, serem típicas de subpegadas (*undertracks*), esta interpretação não é consistente devido à presença de marcas de arraste de cauda, que são um indicativo de que as superfícies com pegadas correspondem às originais (vide Swanson & Carlson, 2002; Milàn & Bromley, 2006). Dessa forma, o nível de exposição subaérea posterior à produção das pegadas pôde ser estimado com base na ausência de gretas de ressecamento ou sua presença apenas em parte ou em toda a superfície das amostras. A presença dos tipos morfológicos (semi-natação ou tração) e de feições preservacionais (bordos de sedimento, marcas de arraste e outros) permitiu inferir a quantidade de água no momento da produção dos icnitos.

- ① As pegadas e pistas em estudo podem ser classificadas em cinco estágios diferentes (Figura 3) em relação ao conteúdo ou nível d'água no momento em que foram produzidas e à posterior exposição subaérea: (1) Pegadas subaquáticas - apenas pegadas de semi-natação sem gretas de ressecamento, com lâmina d'água de alguns centímetros ↑, o sedimento permaneceu úmido até o soterramento, sem exposição subaérea; (2) Pegadas semi-aquáticas - prevalência de pegadas de semi-natação mas também ocorrem pegadas de tração, sem gretas de ressecamento, ↑ pequena lâmina d'água, exposição subaérea mínima ou nenhuma; (3) Pegadas semi-terrestres - prevalência de pegadas de tração mas também ocorrem pegadas de semi-natação e marcas de arraste, podendo ocorrer gretas de ressecamento, ↑ lâmina d'água mínima, exposição subaérea moderada; (4) Pegadas em substrato encharcado - pegadas formando

	Laminação plano-paralela
	Estratificação cruzada acanalada
	Estrutura de fluidização
	Gretas de ressecamento
	Nódulos calcíferos
	Ossos de Rhynchosauria
	<i>Skolithos</i> isp.
	<i>Arenicolites</i> isp.
	Pegadas fósseis
	Fácies

pistas irregulares, com marcas de arraste de cauda intermitentes e gretas de ressecamento cobrindo parcialmente a superfície, produzidas em sedimento encharcado e muito plástico, ↑ exposição subaérea moderada; (5) Pegadas em substrato úmido - pegadas formando pistas regulares, com marcas de arraste de cauda contínuas e gretas de ressecamento, produzidas em sedimento úmido e pouco plástico, ↑ exposição subaérea prolongada. Formas semelhantes de preservação foram descritas por Diedrich (2000, 2002). As pegadas em substrato encharcado constituem o tipo preservacional mais abundante dentre o material estudado (Figura 4).

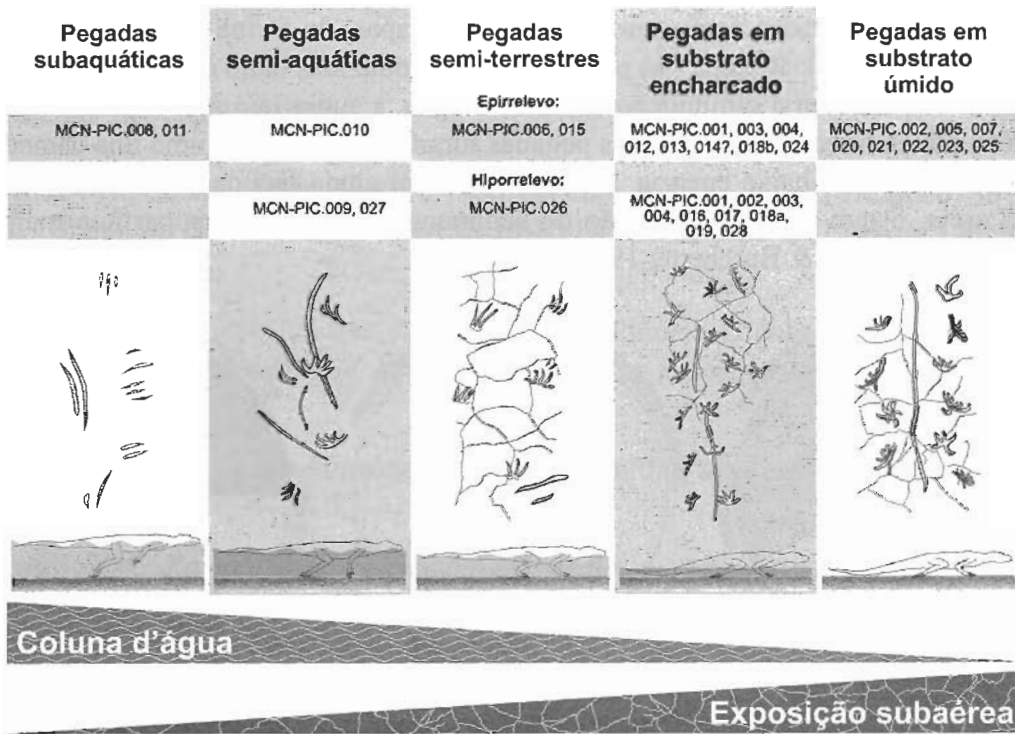


Fig. 3: Classificação das amostras contendo pegadas da Formação Santa Maria segundo o conteúdo de água na ocasião da sua geração e a posterior exposição subaérea.

As características preservacionais das pegadas fósseis podem ser compreendidas levando-se em conta o ambiente deposicional em que foram produzidas. A presença de pequenos canais temporários em clima sazonal, com alternância de estações secas e úmidas (Schultz *et al.*, 2000), tanto em um ambiente lacustre com secas esporádicas quanto em uma planície de inundação, implica em porções com coluna d'água mais profunda, na parte central do canal, e outras mais rasas, nas margens, ambas sujeitas a um ressecamento gradativo. As porções mais profundas apresentariam um ressecamento menor antes do soterramento, sofrendo um endurecimento da superfície suficiente apenas para receber uma nova carga de sedimento sem haver erosão. De um modo geral, essas porções poderiam ter gerado as pegadas subaquáticas e semi-aquáticas, ao passo que as porções mais próximas às margens e mais sujeitas à exposição subaérea teriam originado as demais formas preservacionais. Um padrão semelhante foi encontrado em pistas, produzidas por tartarugas, descritas por Avanzini *et al.* (2005).

A influência da espessura da coluna d'água, quando da preservação, também pode ser percebida, em especial nas pegadas semi-terrestres: embora tenham sido produzidas com uma lâmina d'água mais alta que aquela das pegadas em substrato encharcado (o que pode ser inferido pela presença

de marcas de arraste de dígitos) ambas apresentam gretas de ressecamento na mesma proporção. As pegadas semi-terrestres possivelmente foram produzidas próximas às margens, porém em um momento em que o canal apresentava um volume d'água maior, ao passo que aquelas em substrato encharcado seriam produzidas também próximas à margem, mas em um momento posterior, com nível d'água menor. Assim, após o ressecamento, as pegadas de ambas as formas preservacionais ficariam igualmente expostas. As pegadas em substrato encharcado e em substrato úmido apresentam a preservação mais detalhada, estando de acordo com os experimentos efetuados por Brand (1996).

As pegadas foram preservadas como resultado de três etapas, de forma semelhante à descrita por Tucker & Burchette (1977): 1ª etapa - as pegadas foram produzidas tanto em sedimento úmido como subaquático; 2ª etapa - com a diminuição do nível d'água, a superfície secou de forma diferencial, ficando levemente endurecida; 3ª etapa - as pegadas foram soterradas por uma fina camada de areia, por um fluxo d'água com baixa energia. A preservação foi ainda facilitada pela presença de argila misturada à areia, o que aumenta a coesão do sedimento tornando sua superfície mais resistente quando ressecada (Tucker & Burchette, 1977).

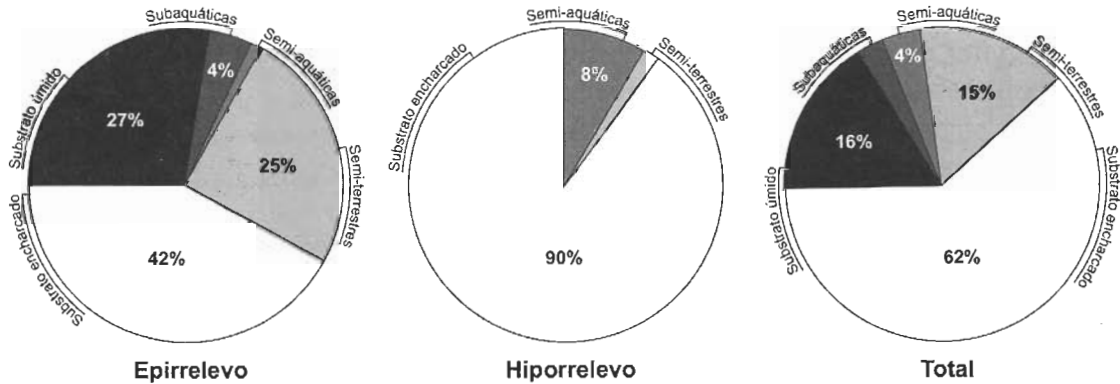


Fig. 4: Proporção entre as formas de preservação das pegadas da Formação Santa Maria.

5. CONCLUSÕES

A preservação das pegadas foi influenciada pela presença e espessura de uma lâmina d'água durante a sua produção e pela exposição subaérea posterior, sendo classificadas em cinco categorias: pegadas subaquáticas, pegadas semi-aquáticas, pegadas semi-terrestres, pegadas em substrato encharcado e pegadas em substrato úmido. O grau de exposição subaérea aumenta da primeira para a última. As pegadas em substrato encharcado e úmido proporcionaram a melhor preservação. A presença de pequenos canais temporários em clima sazonal, onde as pegadas foram produzidas, implica em regiões com lâmina d'água mais profunda, na parte central do canal, e outras mais rasas, nas margens, ambas sujeitas a um ressecamento gradativo. As regiões mais profundas poderiam ter gerado as pegadas subaquáticas e semi-aquáticas, ao passo que aquelas mais próximas às margens e mais sujeitas à exposição subaérea teriam originado as demais formas preservacionais. Esses dados constituem a base para a reconstituição da forma dos animais produtores das pegadas, seus hábitos e relação com o ambiente em que viviam.

6. AGRADECIMENTOS

À Ana Maria Ribeiro (Museu de Ciências Naturais, Fundação Zoobotânica do Rio Grande do Sul) e Ricardo Negri, pela colaboração nos trabalhos de campo; Henrique Zerfass (CPRM - Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais) pelas críticas e apoio ao levantamento geológico; Cibele Schwanke (Universidade do Estado do Rio de Janeiro) pelas críticas e sugestões; e Albino João Predebon, proprietário da área onde se situa o afloramento. O apoio financeiro ao desenvolvimento deste estudo foi realizado através do CNPq, FAPERJ e CAPES.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Andreis, R.R.; Bossi, G.E. & Montardo, D.K. 1980. O Grupo Rosário do Sul (Triássico) no Rio Grande do Sul - Brasil. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA*, 31. *Anais*, Camboriú, SBG, 2: 659-673.
- Avanzini, M.; García-Ramos, J.C.; Lires, J.; Menegon, M.; Piñuela, L. & Fernández, L.A. 2005. Turtle tracks from the Late Jurassic of Asturias, Spain. *Acta Palaeontologica Polonica*, 50(4):743-755.
- Brand, L.R. 1996. Variations in salamander trackways resulting from substrate differences. *Journal of Paleontology*, 70:1004-1010.
- Da-Rosa, A.A.S. 2005. *Paleoalterações em depósitos sedimentares de planícies aluviais do Triássico Médio a Superior do sul do Brasil: caracterização, análise estratigráfica e preservação fossilífera*. Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Programa de Pós-Graduação em Geologia, São Leopoldo. *Tese de Doutorado*, 211p.
- Diedrich, C. 2000. Neue Wirbeltierfährten aus dem Unteren Muschelkalk (Mitteltrias) des Osnabrücker Berglandes and Teutoburger Waldes (NW-Deutschland) und ihre stratigraphische und paläogeographische Bedeutung im Germanischen Becken. *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläeontologie*, 217(3):369-395.
- Diedrich, C. 2002. Vertebrate track bed stratigraphy at new megatrack sites in the Upper Wellenkalk Member and *orbicularis* Member (Muschelkalk, Middle Triassic) in carbonate tidal flat environments of the western Germanic Basin. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 183(3-4):185-208.
- Faccini, U.F. 1989. *O Permo-Triássico do Rio Grande do Sul. Uma análise sob o ponto de vista das seqüências deposicionais*. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Curso de Pós-Graduação em Geociências, Porto Alegre. *Dissertação de Mestrado*, 121 p.
- Holz, M.; De Ros, L.F. (eds.). 2000. *Paleontologia do Rio Grande do Sul*. Porto Alegre: UFRGS/ Instituto de Geociências - CIGO, 397 p.
- Huene, F.F. von. 1990. *Répteis fósseis do Gondwana Sul-Americano*. Santa Maria: CCNE, UFSM. 353 p.

- Milà, J. & Bromley, R.G. 2006. True tracks, undertracks and eroded tracks, experimental work with tetrapod tracks in laboratory and field. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 231:253-264.
- Milani, E.J. 2002. Geodinâmica fanerozóica do Gondwana sul-ocidental e a evolução geológica da Bacia do Paraná. In: HOLZ, M. & DE ROS, L.F. (eds.). *Geologia do Rio Grande do Sul*. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Instituto de Geociências. Centro de Investigação do Gondwana, p. 275-302.
- Scherer, C.M.S.; Faccini, U.F. & Lavina, E.L. 2000. Arcabouço estratigráfico do Mesozóico da Bacia do Paraná. In: HOLZ, M. & DE ROS, L.F. (eds.). *Geologia do Rio Grande do Sul*. UFRGS/ Instituto de Geociências - CIGO, p. 335-354.
- Schultz, C.L.; Scherer, C.M.S. & Barberena, M.C. 2000. Biostratigraphy of Southern Brazilian Middle-Upper Triassic. *Revista Brasileira de Geociências*, 30(3):495-498.
- Silva, R.C.; Ferigolo, J.; Carvalho, I.S. & Fernandes, A.C.S. 2005a. A new vertebrate ichnocoenosis from the Triassic of Brazil. In: GONDWANA 12. *Abstracts*, Mendoza, Academia Nacional de Ciencias, p.115.
- Silva, R.C.; Ferigolo, J.; Ribeiro, A.M.; Carvalho, I.S. & Fernandes, A.C.S. 2005b. Ocorrência de pegadas fósseis no Grupo Rosário do Sul, Triássico do Estado do Rio Grande do Sul. *Paleontologia em Destaque*, 20(49):38.
- Silva, R.C.; Ferigolo, J.; Ribeiro, A.M.; Carvalho, I.S. & Fernandes, A.C.S. 2006. Pegadas fósseis de Cynodontia (Therapsida) e Theropoda (Dinosauria) do Triássico da Bacia do Paraná. *Revista Ciência e Natura*, volume especial, agosto/2006, p.38.
- Swanson, B.A. & Carlson, K.J. 2002. Walk, wade or swim? Vertebrate traces on an Early Permian Lakeshore. *Palaios*, 17(2):123-133.
- Tucker, M.E. & Burchette, T.P. 1977. Triassic dinosaur footprints from South Wales: their context and preservation. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 22:195-208.
- Zerfass, H.; Lavina, E.L.; Schultz, C.L.; Garcia, A.G.V.; Faccini, U.F. & Chemale Jr., F. 2003. Sequence stratigraphy of continental Triassic strata of southernmost Brazil: a contribution to Southwestern Gondwana palaeogeography and palaeoclimate. *Sedimentary Geology*, 161:85-105.