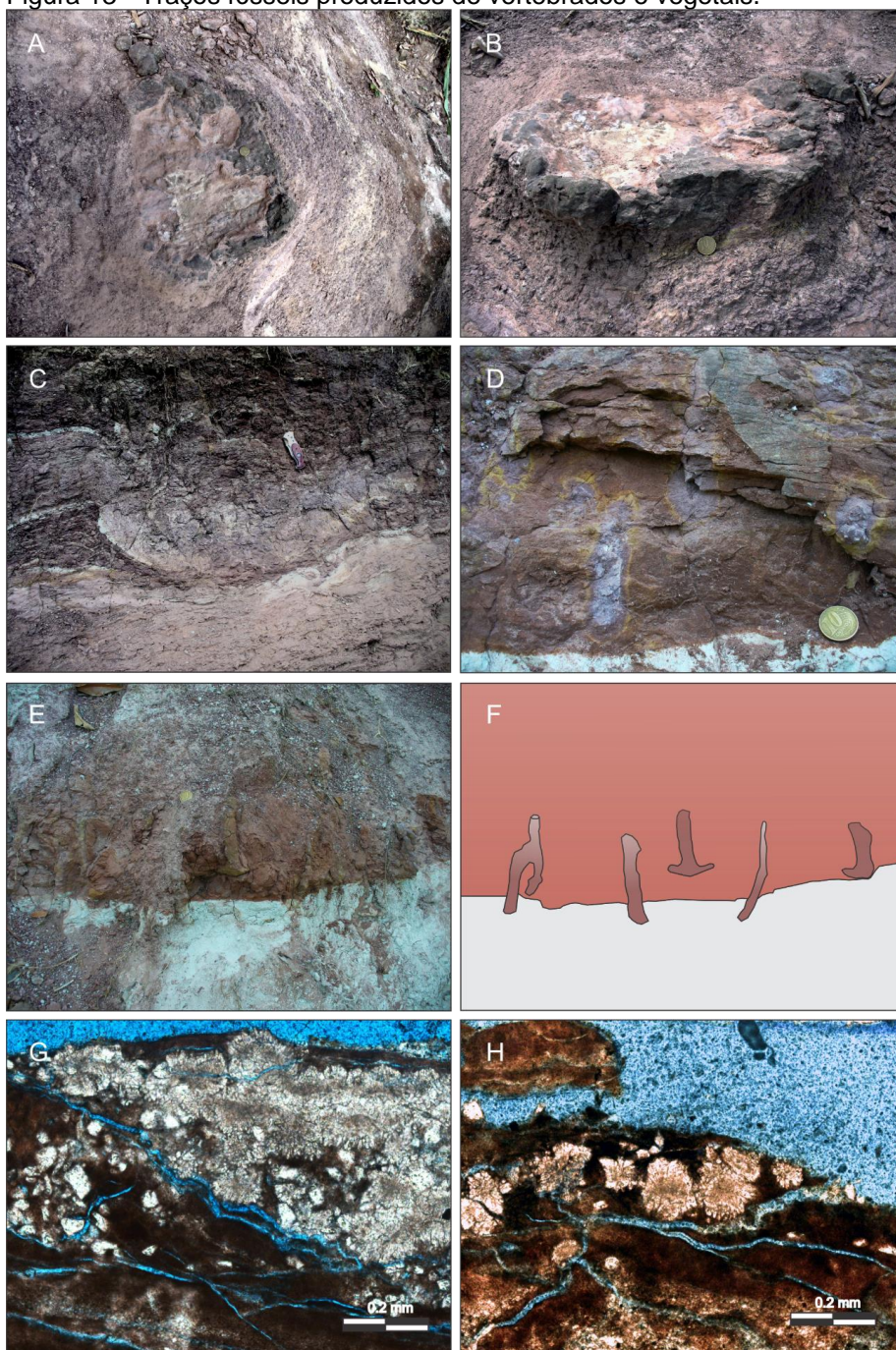


Figura 13 - Traços fósseis produzidos de vertebrados e vegetais.



Legenda: A) *Caririchnium* visto em planta nas camadas heterolíticas do afloramento Guanáré; B) *Caririchnium* visto em perfil; C) Relevo transmitido evidenciando a deformação dos paleossolos pela pressão da pegada de dinossauro saurópode; D) Rizohalos em paleossolos do afloramento Prata; E) Rizoconcreções calcárias em posição de vida em horizontes avermelhados do afloramento Prata; F) Ilustração representativa da figura 14E; G) Agregados de grãos de *Microcodium* tipo a, vistos em lamina delgadas dos arenitos dos afloramento Jundiaí; H) *Microcodium* tipo a em grãos isolados, subesféricos, com prismas irradiando de um núcleo central caracterizando feição de roseta.

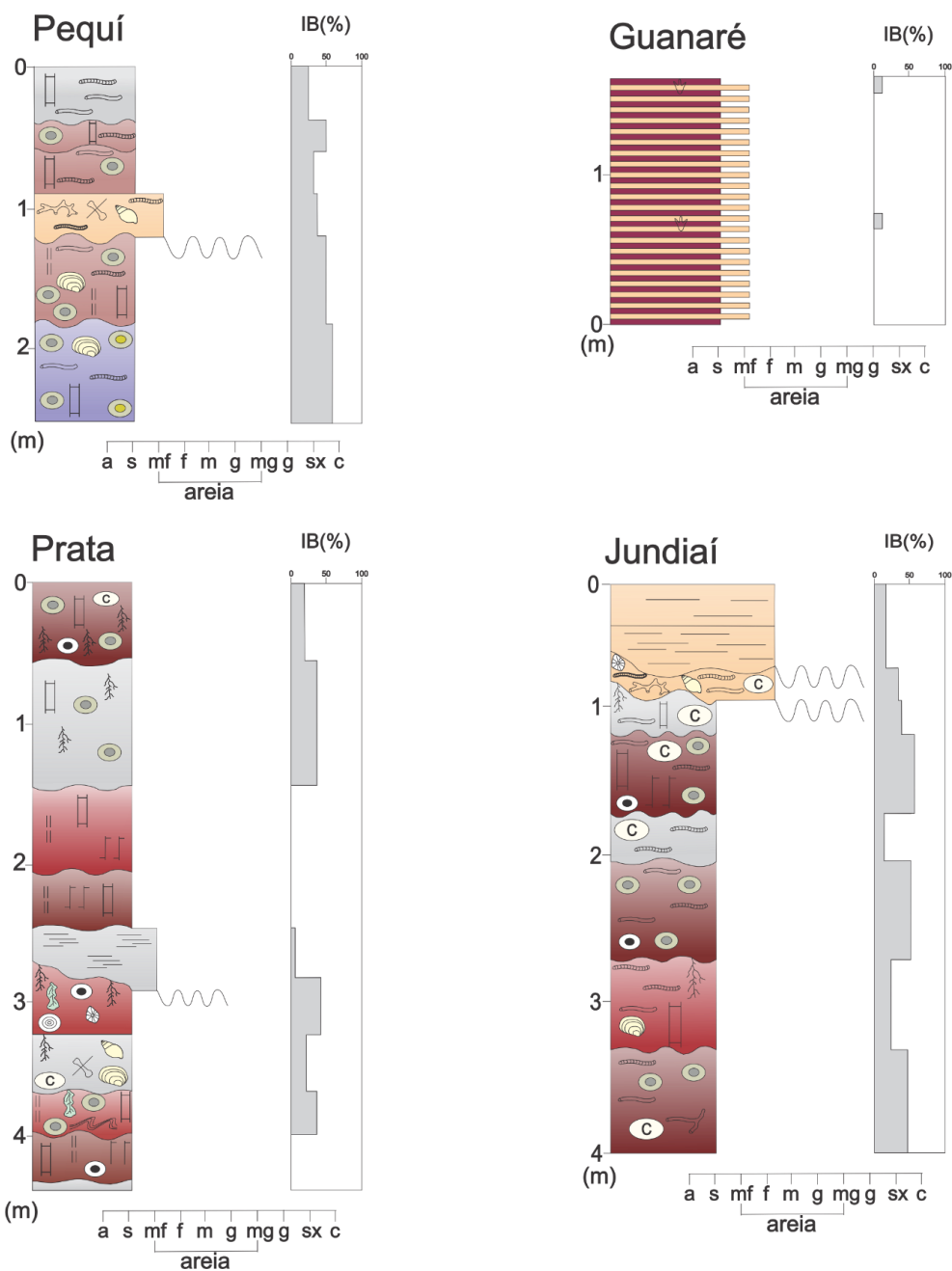
Fonte: Menezes, 2018

5.4 Índice de bioturbação

O sistema sedimentar é derivado de processos que iniciam com a degradação do corpo rochoso por intemperismo e erosão, transporte e deposição dos sedimentos. A acumulação progressiva e episódica forma períodos de baixa deposição ou estabilidade na sedimentação. Colônias de organismos aproveitam o substrato estável para repouso, alimentação, habitação, locomoção e nidificação, ou seja, uma série de comportamentos distintos que podem vir a ser preservados por toda a camada. O índice de bioturbação relaciona a intensidade de tubos e marcas de organismos com a preservação das feições deposicionais primárias (TAYLOR e GOLDRING, 1993; TAYLOR et al., 2003), isto é, indica a extensão em que as estruturas sedimentares primárias ainda são observáveis. A classificação de bioturbação tem índices de 0 a 6, estimados pela frequência e sobreposição de tubos, bem como estruturas primárias preservadas (TAYLOR e GOLDRING, 1993). No índice 0 os estratos não apresentam bioturbação; 1, equivale à porcentagem de 1 a 5%, com bioturbação fraca (traços discretos e pouco frequentes); 2, porcentagem de 6 a 30%, com bioturbação baixa; níveis 3 e 4, porcentagens de 31 a 60% e 61 a 90%, respectivamente. Nesses níveis as bioturbações são moderadas a altas, com progressivo aumento da densidade e sobreposição de traços; e por fim, estratos intensamente ou completamente bioturbados e retrabalhados apresentam indicadores de 91 a 99% e 100% e estão relacionados aos níveis 5 e 6, respectivamente (TAYLOR e GOLDRING, 1993; TAYLOR et al., 2003). Neste trabalho, foram atribuídos valores em porcentagem para o índice de bioturbação, já que muitos dos traços fósseis foram registrados como mosqueamentos, sem distinção do icnogênero (Figura 14). Outro aspecto importante a salientar é que o intemperismo físico, químico e biológico oblitera feições primárias deposicionais, ocasionando características divergentes das originais (GENISE et al., 2004b). Muitas destas feições pedogênicas estão associadas aos traços de organismos, com isso a utilização de feições deposicionais ou pedogênicas não forneceria dados confiáveis, assim sendo, os índices de bioturbação foram considerados quanto à porcentagem por espaço não bioturbado em cada horizonte dos paleossolos.

Figura 14 - Perfis dos afloramentos estudados com os índices de bioturbações relacionados aos horizontes.

Índice de bioturbação



Fonte: Menezes, 2018

6 Discussão

6.1 Caracterização icnofaciológica dos depósitos aluviais

As icnofácies são caracterizadas por um conjunto de atributos compartilhados por diferentes icnocenoses, em condições ambientais e intervalos de tempo similares (BUATOIS e MÁNGANO, 2011). O reconhecimento e agrupamento dos icnotáxons em icnofácies auxiliam na interpretação paleoambiental (MCILROY, 2004a). Sendo assim, foram definidos modelos para os ambientes continentais e marinhos. Desses modelos, seis icnofácies arquetípicas foram propostas ao domínio continental: *Scoyenia* (SEILACHER, 1967), *Mermia* (BUATOIS e MÁNGANO, 1995b), *Coprinisphaera* (GENISE et al., 2000), *Termitichnus* (SMITH et al., 1993; GENISE et al., 2000), *Celliforma* (GENISE et al., 2010) e *Entradichnus-Octopodichnus* (BUATOIS e MÁNGANO, 2008).

Os paleossolos são elementos frequentes que compõem ambientes aluviais, palustres, lacustres e eólicos (WRIGHT et al., 1995; RETALLACK, 2001). Das icnofácies continentais citadas, quatro estão relacionadas a paleossolos. São elas: *Scoyenia*, *Coprinisphaera*, *Celliforma* e *Termitichnus*. A icnofácies *Coprinisphaera* inclui icnocenoses com icnodiversidade moderada a alta, ocorrentes em paleossolos moderadamente desenvolvidos em ambientes aluviais e eólicos, bem documentados do Paleoceno aos dias atuais. Os icnotáxons atrelados a essa icnofácies são *Celliforma*, *Uruguay Ellipsoideichnus*, *Palmiraichnus*, *Rosellichnus*, *Coprinisphaera*, *Pallichnus*, *Eatonichnus*, *Monesichnus*, *Fontanai*, *Teisseirei* e *Tacuruichnus* (GENISE et al., 2000). *Termitichnus* consiste em uma icnofácies de baixa diversidade, alta abundância de traços fósseis, dominância de icnogêneros produzidos de térmitas, sendo frequentes em paleossolos formados em florestas densas, quentes e úmidas (GENISE et al., 2000). Os principais icnotáxons que compõem este conjunto são *Termitichnus*, *Vondrichnus*, *Fleaglellius* e *Krausichnus* (Genise e Bown, 1994), além de rizólitos de dimensões variadas (GENISE et al., 2010). Genise et al. (2010) introduziram a icnofácies *Celliforma* para caracterizar um agrupamento específico de traços fósseis recorrentes em paleossolos ricos em

carbonatos, de clima árido a semiárido, em ambientes palustres. Essa icnofácies exibe icnodiversidade moderada e alta abundância, dominância de ninhos de abelhas e câmaras pulpais de coleópteros (RETALLACK, 1984; GENISE et al., 2010). Essas biotubações ocorrem juntas a endocarpos de hackberry, gastrópodes terrestres, rizólitos, invertebrados aquáticos, coprólitos, trilhas de vertebrados e fragmentos de vertebrados aquáticos e terrestres. Os componentes típicos são *Celliforma*, *Rosselichnus*, *Pallichnus*, *Rebuffoichnus*, *Palmiraichnus*, *Teisseirei*, *Taenidium* e *Rizólitos* (GENISE et al., 2010). A icnofácies *Scoyenia* é caracterizada por baixa a moderada icnodiversidade, alta abundância localizada, presença de traços fósseis verticais e horizontais de invertebrados, vertebrados e marcas de raízes, abundância de traços de locomoção e bioturbações exibindo meniscos produzidos por atividade alimentar sobre o substrato (BUATOIS e MÁNGANO, 2004). O conjunto de traços que compõe a icnofácies *Scoyenia* inclui *Taenidium*, *Beaconites*, *Scoyenia*, *Fuersichnus*, *Rusophycus*, *Camborygma*, *Diplichnites*, *Mirandaichnium*, *Umfolozia* e *Cruziana* (BUATOIS e MÁNGANO, 2011). Icnotáxons como *Planolites*, *Palaeophycus* e *Cochlichnus* são comuns. Os ambientes relacionados a este conjunto de icnofósseis apresenta indicativos de exposição subaérea periódica em sequências fluviais, lacustres e eólicas, ocorrendo especificamente em planícies aluviais, margem de lagos e zonas de interduna úmido, respectivamente (BUATOIS e MÁNGANO, 2004, 2011).

Os depósitos sedimentares e paleossolos que compõem os perfis estudados apresentam um conjunto icnofossilífero moderadamente diverso com alta abundância de bioturbações por todo o empilhamento descrito. Os icnotáxons presentes nos perfis variam desde tubos de invertebrados, pegadas e relevos transmitidos de vertebrados a marcas de raízes com dimensões variadas. A assembleia observada na Formação Itapecuru inclui *Taenidium*, *Thalassinoides*, *Planolites*, *Palaeophycus*, *Beaconites*, *Caririchnium*, relevo transmitido (Sauropoda), rizohalos, rizoconcreções e *Microcodium* tipo a. Dentre as associações de traços fósseis encontradas em ambientes continentais apresentadas anteriormente, a icnofácies que mais se aproxima ao conjunto detalhado para a área de estudo é *Scoyenia*. Esta icnofácies é assinalada por conter uma assembleia icnofossilífera que relaciona traços fósseis de invertebrados, vertebrados e rizólitos, além de ser inserida em um ambiente aluvial, como proposto para os depósitos sedimentares e paleossolos na área de estudo por Rossetti et al. (2001a) e Menezes et al. (2015).

6.2 Icnotrama

Os paleossolos da Formação Itapecuru exibem uma alternância na intensidade de bioturbações por todos os horizontes. Foram calculadas as porcentagens de bioturbações em relação aos espaços não bioturbados ou mosqueados, visto que ocorrem a presença de ambos nos horizontes. Como a distinção dos mosqueamentos é impossível – a não ser que os tubos ainda estejam associados aos mosqueamentos –, a porcentagem foi definida com base no valor total de tubos e mosqueamentos, enquanto que a icnotrama foi caracterizada pela intensidade de colonização do substrato por cada icnogênero que compõe os horizontes.

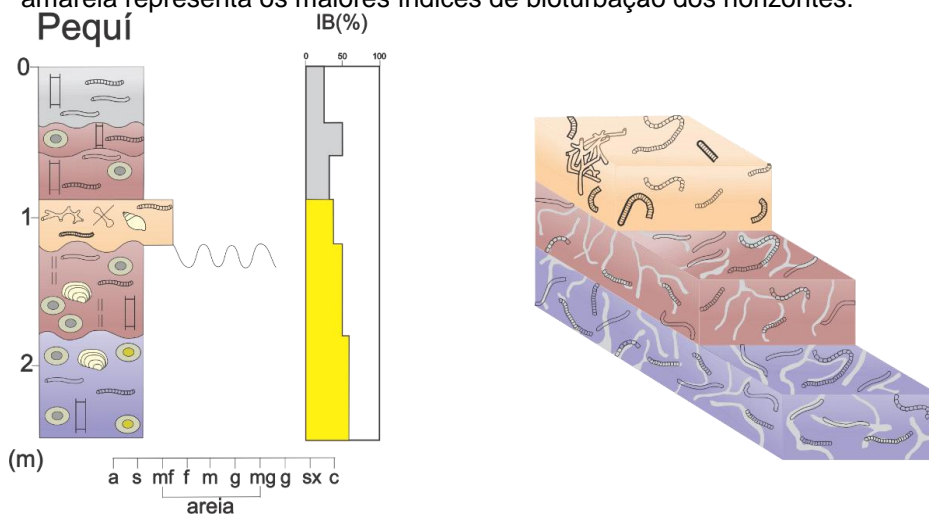
No afloramento Pequí os índices de bioturbação variam de 25% a 65% de tubos em relação ao substrato. Os três últimos horizontes apresentam o maior índice de tubos, com porcentagens de 40 a 65%. Os icnogêneros que prevalecem são *Planolites*, *Thalassinoides*, *Taenidium* e *Beaconites*. Destes citados, duas icnotramas são sugeridas de acordo com a frequência dos tubos, *Planolites*–*Taenidium* e *Thalassinoides*–*Taenidium*. A icnotrama *Planolites*–*Taenidium* é muito frequente nos horizontes de paleossolos do afloramento Pequí, sendo abundante e bem diagnosticável por toda a sucessão. A icnotrama *Thalassinoides*–*Taenidium* ocorre particularmente no depósitos sedimentares dos afloramentos Pequí e Jundiaí. Os tubos sinuosos e ramificados são relacionados a pequenos crustáceos de água doce que colonizaram o substrato após a deposição da camada sedimentar. Os tubos meniscados são característicos de anélideos que colonizaram o substrato após a deposição, sobre um substrato firme e moderadamente úmido. Contrariamente, *Thalassinoides* foram formados em um substrato encharcado. Traços de *Beaconites* são pouco frequentes, porém presentes nos substratos sedimentares e concomitantes a *Taenidium* (Figura 15).

No afloramento Prata, a icnotrama é composta por rizólitos de diferentes dimensões. Os horizontes apresentam índices de bioturbação de 5% a 45%, porém nem todos são bioturbados, resultando no índice 0. Outros são caracterizados por mosqueamentos de morfologia similar a condutos, porém a atribuição icnotaxonomica é inviável, visto que não há tubos associados. Deste modo, feições organossedimentares (Klappa, 1980) como rizoconcreções, rizohalos e *Microcodium*, são frequentes em alguns horizontes e classificam a icnotrama do afloramento como

rizólito. Os rizólitos estão particularmente nos horizontes superficiais com exposição subaérea, com ramos primários e secundários de dimensões variadas. No horizonte que antecede a base do perfil foi encontrada uma estrutura de deformação por carga associada à pegada de um animal de grande porte, mas esta feição é localizada e restrita a este horizonte (Figura 16).

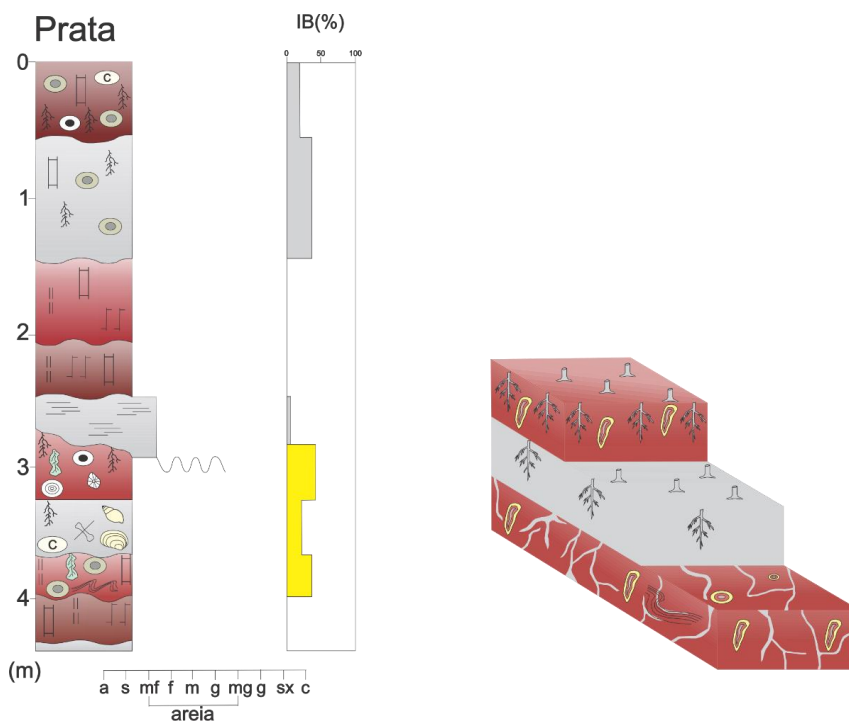
A icnotrama definida para o afloramento Jundaí foi *Planolites-Taenidium*. Nesse afloramento os índices de bioturbação variam de 20% a 65%, com os últimos três horizontes exibindo as maiores quantidades de tubos e mosqueamentos. Os traços fósseis encontrados foram *Taenidium*, *Planolites*, *Beaconites*, *Palaeophycus*, *Thalassinoides*, rizólitos, contudo os icnogêneros *Taenidium* e *Planolites* estão distribuídos por todos os horizontes e depósitos sedimentares da sucessão. *Palaeophycus* está presente na base do afloramento como tubos cilíndricos e retilíneos extensos, porém com baixa frequência; *Thalassinoides* e *Beaconites* são encontrados nos depósitos sedimentares, principalmente na camada basal de arenito muito fino. Os rizólitos estão restritos a dois horizontes de paleossolos e ocorrem de forma esparsa e pouco frequente. A presença de *Thalassinoides* nos corpos arenosos indica que a colonização foi feita em períodos sin-deposicionais com sedimentos encharcados por água, seguida da diminuição da água no sistema, permitindo que outros seres infestassem o substrato como local de habitação e alimentação. Nos paleossolos são encontrados tubos de anelídeos e artrópodes que revolvem o substrato à procura de alimento e o utilizaram para habitação (Figura 17).

Figura 15 - Principais horizontes de paleossolos bioturbados do afloramento Pequí. A cor amarela representa os maiores índices de bioturbação dos horizontes.



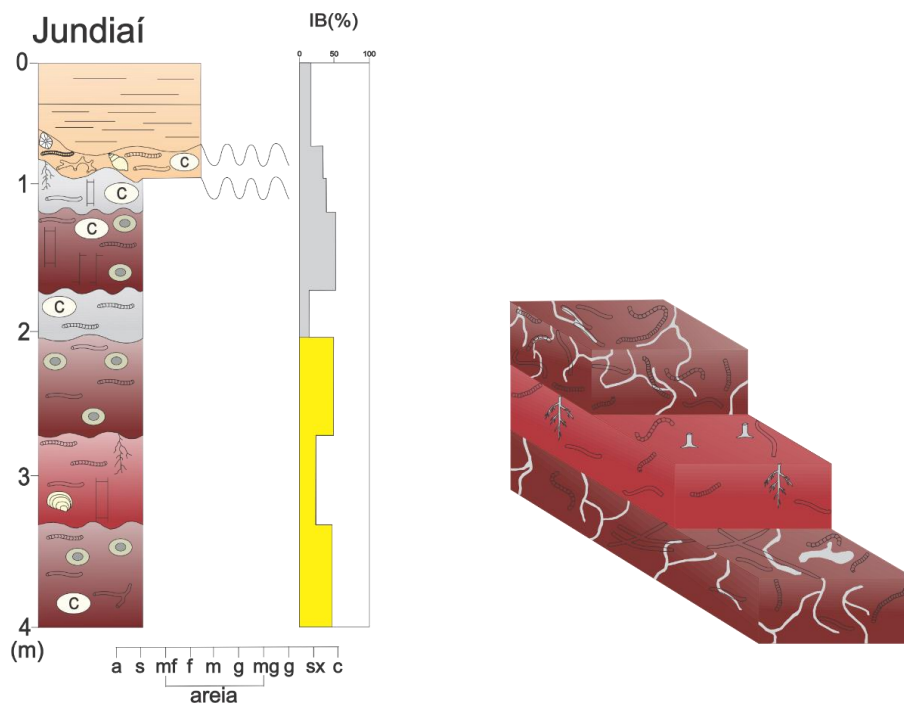
Fonte: Menezes, 2018

Figura 16 - Principais horizontes de paleossolos bioturbados do afloramento Prata. A cor amarela representa maiores índices de bioturbação dos horizontes.



Fonte: Menezes, 2018

Figura 17 - Principais horizontes de paleossolos bioturbados do afloramento Jundiaí. A cor amarela representa maiores índices de bioturbação dos horizontes.



Fonte: Menezes, 2018

6.3 Paleodrenagem

A formação de um solo pode estar intimamente relacionada a períodos de saturação total ou parcial em água. Os níveis de saturação são organizados em classes de drenagem, que por sua vez, estão relacionadas ao nível de umidade dos solos, variação do lençol freático, posição na paisagem e morfologia do solo (SOIL SURVEY MANUAL, 2017). Em solos aluviais, os níveis de umidade são regidos por períodos de precipitação, descarga fluvial e flutuação do lençol freático (KRAUS e ASLAN, 1999). Sete classes de drenagem natural de solos foram estabelecidas pelo Soil Survey Manual (2017): Excessivamente drenado; Um pouco excessivamente drenado; Bem drenado; Moderadamente bem drenado; Um pouco mal drenado; Mal drenado; Muito mal drenado.

As icnocenoses em sedimentos pedogenizados de ambientes continentais antigos podem indicar flutuação do nível freático, índices de precipitação sazonal e a variabilidade espacial e temporal no regime paleohidrológico para uma área local ou regional (HASIOTIS et al., 2007). A disponibilidade de água é o fator restritivo para a vida em um ambiente continental, onde o controle pluviométrico determina a quantidade de água disponível para os organismos, bem como para os processos de formação do solo e modelagem da paisagem (HASIOTIS et al., 2007). Desta forma, a biodiversidade em um solo é o produto da interação solo-água e, em conjunto, reflete o equilíbrio para uma área específica (HASIOTIS, 2002; HASIOTIS et al., 2007). Nesse sentido, os traços fósseis continentais podem ser separados de acordo com a distribuição vertical em relação à variação do lençol freático, ou seja, organismos que vivem acima do lençol freático, organismos que vivem em solos com variação de umidade sazonal e aqueles que vivem em zonas freáticas (HASIOTIS e BOWN, 1992). Deste modo, três grupos de icnofósseis com base em reações comportamentais aos níveis de umidade dos solos foram descritos, sendo eles: (i) terráfilos, são organismos que vivem entre a superfície e a zona vadosa superior, e toleram períodos curtos de umidade do solo; (ii) higrófilos, são organismos que vivem na zona vadosa; (iii) hidrofílicos, são aqueles que vivem em equilíbrio com lençol freático (HASIOTIS et al., 2007). Somados, a associação icnopedológica e as relações comportamentais dos traços fósseis aos níveis de umidade em paleossolos

podem complementar as análises de feições pedogênicas para a caracterização dos níveis de drenagem do solo.

Os rizohalos encontrados no afloramento Prata ocorrem sob condições específicas de saturação com água estagnada, presença de matéria orgânica, microorganismos ativos e temperatura que permite a atividade biológica (VEPRASKAS et al., 1992). Quando as raízes morrem, os macroporos são preenchidos com água decorrente do aumento da saturação hídrica do solo. As bactérias vão consumir o tecido radicular utilizando elementos como oxigênio, nitrogênio, ferro e manganês, que por sua vez serão reduzidos e remobilizados para zonas oxidantes (VEPRASKAS et al., 1992; KRAUS e HASIOTIS, 2006; LINDBO et al., 2010). Os rizohalos apresentam cores que variam de vermelho claro a vermelho escuro e amarelo. As cores são formadas pela concentração do mineral hematita e goethita (SCHWERTMANN e TAYLOR, 1989; KRAUS e HASIOTIS, 2006). A presença de óxido de ferro hidratado (goethita) indica um aumento do período de saturação de água no horizonte (PIPUJOL e BUURMAN, 1994). As rizoconcreções são abundantes nos afloramentos Prata e Jundiáí, são precipitações de carbonato de cálcio em forma de nódulos e concreções em macroporos gerados por raízes. O mecanismo para o preenchimento dos canais por carbonato de cálcio e a incursão de água pluvial em períodos úmidos e secagem durante estações mais quentes criam soluções hipersaturadas, seguido de precipitação (BRIAN JONES e KWOK-CHING, 1988; PIPUJOL e BUURMAN, 1997; KRAUS e HASIOTIS, 2006).

As icnocenoses dos paleossolos da Formação Itapecuru englobam *Taenidium*, *Planolites*, *Thalassinoides*, *Palaeophycus*, *Beaconites*, *Caririchnium* e rizólitos, caracterizando uma icnodiversidade moderada. Considerando que muitos dos traços mencionados representam os comportamentos de alimentação (Fodinichnia) e habitação (Domichnia) de anelídeos, artrópodes e moluscos, é possível caracterizar os traços fósseis superficiais como terráfilos, ou seja, produzidos por organismos que vivem em superfícies com baixa umidade ou pouca água disponível; e higrófilos, por organismos que vivem dentro da zona vadosa. Além disso, os índices de bioturbação variam de baixo a alto nos diferentes horizontes, o que sugere variação na umidade nos paleossolos.

Em termos paleopedológicos, os paleossolos exibem variação de cores dos horizontes nos afloramentos Jundiáí, Pequi e Prata. As cores predominantes são vermelho, vermelho escuro e cinza claro, sendo os horizontes avermelhados aqueles

que apresentam maior concentração do mineral hematita, o que ocorre devido ao esgotamento do ferro nos horizontes sotopostos de cor cinza claro que apresentam períodos mais duradouros de água estagnada (PIPUJOL e BUURMAN, 1994; SCHWERTMANN e TAYLOR, 1989). Os nódulos e concreções de ferro – que refletem ciclicidade da umidade – são habituais em alguns horizontes vermelhos, de composição arenosa, e no interior da carapaça dos gastrópodes, sugerindo forte relação com ambientes com marcada estacionalidade. Adicionalmente, os mosqueamentos de cor cinza claro e cinza esverdeado ocorrem nos horizontes avermelhados, seguindo direções preferenciais ao longo de macroporos formados por traços fósseis. Podem ser atribuídos à remobilização dos compostos de ferro em consequência de estagnação de água pluvial em canais preenchidos por ar em horizontes impermeáveis. Nesse sentido, sua presença nos paleossolos da Formação Itapecuru aponta para percolação de água durante a estação úmida e, provavelmente, dessecação completa durante a estação seca.

Em suma, as interpretações icnológicas e paleopedológicas acima apresentadas indicam que os horizontes da Formação Itapecuru podem representar paleossolos moderadamente drenados.

6.4 Reconstrução paleoambiental

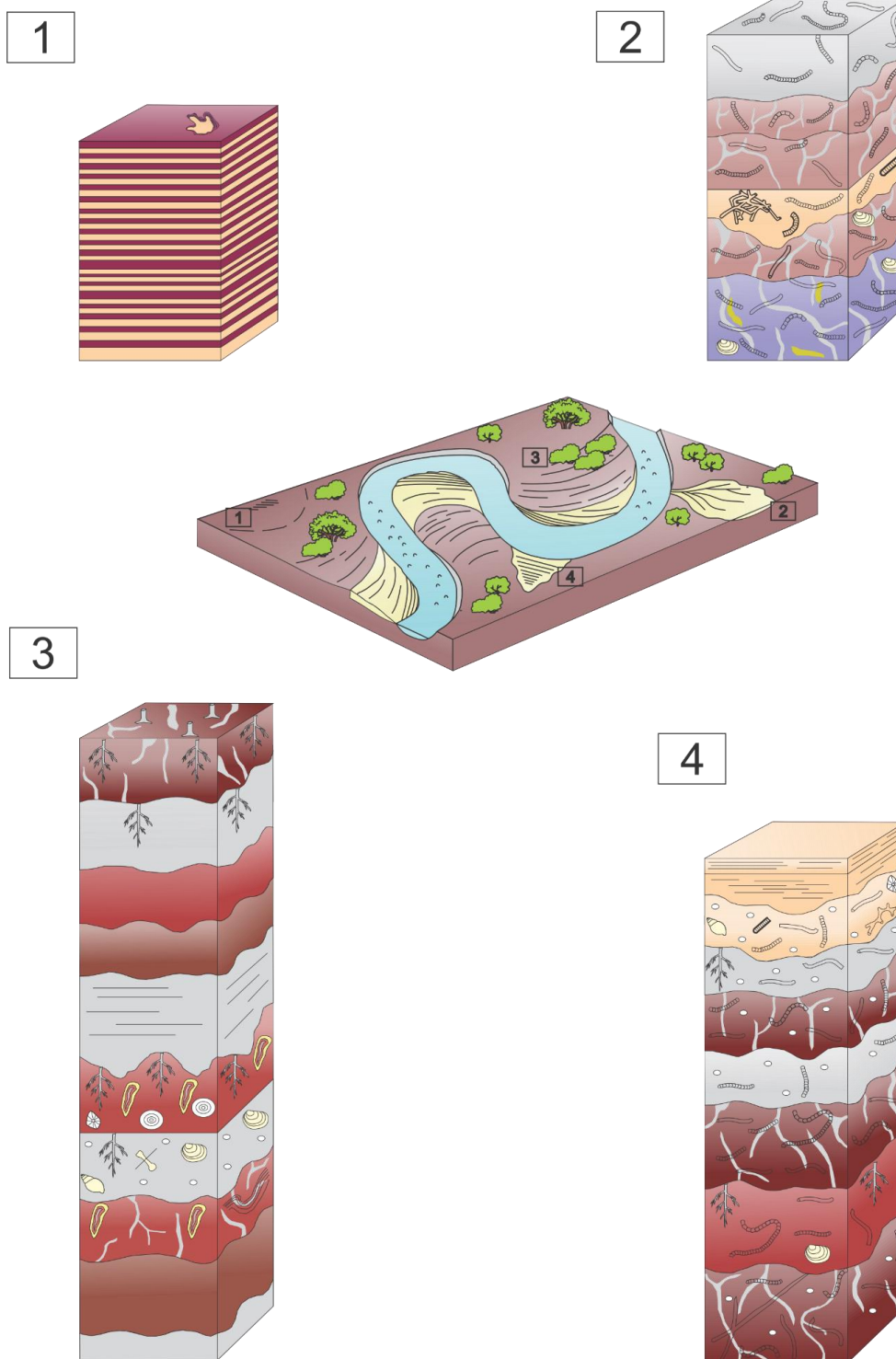
A diversidade de depósitos sedimentares da Formação Itapecuru causa dissenso na comunidade científica quanto à sua interpretação paleoambiental. Os ambientes deposicionais mais citados em estudos interpretativos são fluvial, lacustre, flúvio-deltaico e estuarino (CAMPBELL, 1984; CAPUTO, 1984; GONÇALVES e CARVALHO, 1996; ROSSETTI et al., 2001b, CARVALHO et al., 2003; ROSSETTI e GÓES, 2003; MIRANDA e ROSSETTI, 2006; PESSOA e BORGHI, 2007; FERREIRA et al., 2015). Os afloramentos estudados exibem intercalações entre paleossolos e sedimentos, com elementos arquiteturais de uma planície aluvial como lenções de areia, leque de crevasse, finos da planície de inundação e paleossolos (MENEZES et al., 2015, 2016). A representação da icnofácies *Scoyenia* nesses horizontes sugere que essas planícies estiveram sujeitas à exposição subaérea periódica (BUATOIS e MÁNGANO, 2004, 2011).

Adicionalmente, a frequência e intensidade de tubos visto nos índices de bioturbação indicam um ambiente estável com baixa sedimentação e eventos episódicos. É nesse contexto que invertebrados e raízes desempenharam o papel ativo no desenvolvimento do solo, agitando e misturando materiais no horizontes (HASIOTIS et al., 2007). *Thalassinoides* ocorrem restritamente nos depósitos de arenitos de desconfinamento de fluxo do canal, os quais remobilizaram sedimentos, água e pequenos organismos para planície de inundação. Os pequenos crustáceos de água doce que vivem nas margens dos canais possivelmente foram enviados com os sedimentos de rompimento do dique marginal e extravasamento do canal fluvial para dentro das planícies de inundação e acabaram colonizando esses depósitos quando se encontravam ainda encharcados por água. Por fim, os depósitos sedimentares são relacionados a elementos de avulsão do canal principal, como lençol de areia e crevasse. Os paleossolos são de moderados a bem desenvolvidos integrando perfis compostos que representam empilhamentos verticais separados por depósitos de avulsão. Os processos de deposição controlam amplas diferenças de composição dos sedimentos e dos paleossolos da planície aluvial. A compartimentação da planície de inundação consiste, em grande parte, em depósitos de aluvção, que preenchem áreas baixas da planície de inundação em que os paleossolos se desenvolveram (Figura 18).

Com base em estudos palinológicos, Pedrão et al. (1993) sugeriram que a Formação Itapecuru foi depositada em contexto de clima árido a semiárido quente com chuvas sazonais. Posteriormente, Pedrão (1995) e Ferreira et al. (2015) sugeriram um clima tropical a subtropical pela presença de *Elaterates* e abundância de esporos de Marsileaceae, Selaginellaceae e *Afropollis*, padrão que tem forte relação com clima tropical úmido. Os paleossolos aqui analisados apresentam características paleoclimáticas sazonais. A presença de pseudogleys, nódulos e concreções nos paleossolos sugere climas sazonais com percolação de água durante a estação úmida e secagem na estação seca. No caso das rizoconcreções, esta variação sazonal leva à precipitação de carbonato nos macroporos (PIPUJOL e BUURMAN 1994; KRAUS e HASIOTIS, 2006). Feições redoximórficas indicam condições de saturação do solo em períodos do ano, com condições moderadas de drenagem do solo e baixa condutividade hidráulica devido à diferença de material, preservando assim a umidade nos horizontes. A presença de gastrópodes e bivalves em alguns horizontes comprova os altos níveis de umidade e saturação do solo por

água. Traços de invertebrados terráfilos e higrófilos reforçam a ideia de paleossolos com níveis de umidade regidos por sazonalidade.

Figura 18 - Bloco diagrama posicionando os perfis e icnoscenários em relação ao ambiente aluvial da Formação Itapecuru.



Fonte: Menezes, 2018

7 Conclusão

O estudo de afloramentos da Formação Itapecuru demonstra aspectos inter-relacionados entre paleossolos e depósitos sedimentares externos ao canal fluvial. Os depósitos sedimentares foram caracterizadas como: a primeira, um arenito com laminação-plano paralela associado a elementos como lençóis de areia e espraçamento de crevasse; a segunda, camadas heterolíticas interpretadas como elementos overbank. Os paleossolos são espessos e bem desenvolvidos, formando perfis compostos com estruturas pedogênicas e características redoxmórficas.

Os icnofósseis encontrados mostram-se presentes tanto nos sedimentos quanto nos paleossolos. A icnofácies proposta foi Scoyenia, com assembleia icnofóssilífera contendo *Taenidium*, *Thalassinoides*, *Planolites*, *Palaeophycus*, *Beaconites*, *Caririchnium*, relevo transmitido (Sauropoda), rizohalos, rizoconcreções e *Microcodium* tipo a. A icnotrama apresenta índices de bioturbação variando de 25% a 65% no afloramento Pequí, 5 % a 45% no afloramento Prata e 20% a 65% no afloramento Jundiaí. As icnotramas propostas foram *Planolites–Taenidium*, *Thalassinoides–Taenidium* e rizólito, exibindo icnodiversidade moderada e frequências de tubos variando de baixa a alta.

O índice de drenagem dos paleossolos foi definido como moderado, por apresentar feições características de níveis sazonais de estagnação de água e icnofósseis de organismos terráfilos e higrófilos, ou seja, que toleram períodos curtos de alta saturação de água no solo. O paleoambiente sugerido foi de planície aluvial, testificando os trabalhos de Menezes et al. (2015, 2016). O paleoclima é caracterizado por marcada sazonalidade, com períodos chuvosos e momentos mais secos.

REFERÊNCIAS

- ABRANTES JUNIOR, F.R.; NOGUEIRA, A.C.R. Reconstrução paleoambiental das formações Motuca e Sambaíba, Permo-Triássico da Bacia do Parnaíba no sudoeste do Estado do Maranhão, Brasil. *Revista de Geociência*, v.13, n.3, p.65-82, 2013.
- ALLEN, J.R.L. A review of the origin and characteristics of recent alluvial sediments. *Sedimentology*, v. 5, p. 89-191, 1965.
- ALONSO-ZARZA A.M. Initial stages of laminar calcrete formation by roots: examples from the Neogene of central Spain. *Sedimentary Geology*, v. 126, p.177–191, 1999.
- ALONSO-ZARZA, A.M.; SANZ, M.E.; CALVO, J.P.; ESTEVEZ, P. Calcified root cells in Miocene pedogenic carbonates of the Madrid Basin: evidences for the origin of *Microcodium* b. *Sedimentary Geology*, v. 116, p. 81–97, 1998.
- ALONSO-ZARZA, A.M. et al. Megarhizoliths in Pleistocene aeolian deposits from Gran Canaria (Spain): ichnological and palaeoenvironmental significance. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, v. 265, p. 39–51, 2008.
- ANAISSÉ JR., J.; TRUCKENBRODT, W.; ROSSETTI, D. F. Fácies de um sistema estuarino-lagunar no Grupo Itapecuru, região de Açailândia/MA, Bacia do Grajaú. In: D. F. ROSSETTI, A. M. GÓES & W. TRUCKENBRODT (Eds.): *O Cretáceo na Bacia de São Luís-Grajaú*. Museu Paraense Emílio Goeldi (Coleção Friedrich Katzer), Belém, 2001. p. 119-150.
- ARAI, M. Palinologia de depósitos cretáceos no Norte e Meio-Norte do Brasil: histórico e estado-de-arte. In: D. F. ROSSETTI, A. M. GÓES & W. TRUCKENBRODT (Eds.): *O Cretáceo na Bacia de São Luís-Grajaú*. Museu Paraense Emílio Goeldi (Coleção Friedrich Katzer), Belém, 2001. p. 31-46.
- ASMUS, H.E., PORTO, R. Classificação das bacias sedimentares brasileiras segundo a tectônica de placas. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 26, Belém, 1972. Anais, Belém:SBG, v.2, p. 67-90, 1972.
- AZEVEDO, R.P. Tectonic Evolution of Brazilian Equatorial Continental Margin Basins. 1991. Thesis (Phd in Geology) – Royal School of Mines Imperial College, University of London, London.
- BASILICI, G.; DAL' BÓ, P.F.F.; LADEIRA, F.S.B. Climate-induced sediment-palaeosol cycles in a Late Cretaceous dry aeolian sand sheet: Marília Formation (North-West Bauru Basin, Brazil). *Sedimentology*, v. 56, p. 1876-1904, 2009.
- BODERGAT, A.M. Les *Microcodium*s. Milieux et modes de développement. Documents des Laboratoires de Géologie de la Faculté des Sciences de Lyon, *Notes et Mémoires*, v. 62, p. 173–235, pls. 1–10, 1974.

BOTTJER, D. J.; AUSICH, W. I. Tiering and sampling requirements in paleocommunity reconstruction. Proceedings of the 3rd North American Paleontological Convention, v.1, 57-59, 1982.

BOTTJER, D. J.; DROSER, M. L. The history of Phanerozoic bioturbation. In: S. K. Donovan (ed.) . *The Palaeobiology of Trace Fossils*, Chichester: Wiley, 1994. p. 155-76,

BOTTJER, D. J.; DROSER, M. L. Ichnofabric and basin analysis. *Palaos*, v. 6, p. 199–205, 1991.

BOWN, T.M.; M.J. KRAUS. Geology and paleoenvironment of the Oligocene Gebel el Qatrani Formation and adjacent rocks, Fayum depression Egypt. *United States Geological Survey*, Professional Paper, n. 1452, p. 1-60, 1987.

BROMLEY, R.G. *Trace Fossils. Biology and Taphonomy*. London: Unwin Hyman, 1990.

BROMLEY, R.G. The palaeoecology of bioerosion. In: S.K. Donovan (ed.). *The Palaeobiology of Trace Fossils*. Chichester: John Wiley & Sons, 1994. p. 134–154.

BROMLEY, R.G. Trace fossils. Biology, Taphonomy and Applications. London: Chapman & Hall. 1996.

BROMLEY, R.G.; ASGAARD, U. Endolithic community replacement on a Pliocene rocky coast. *Ichnos*, v. 2, p. 93–116, 1993.

BROMLEY, R.G.; EKDALE, A.A. Trace fossil preservation in Flint in the European chalk. *Journal of Paleontology*, v. 58, p. 298–311, 1984.

BUATOIS, L.; MÁNGANO, M.G. Ichnology. Organism–Substrate Interactions in Space and Time. New York: Cambridge University Press, 2011.

BUATOIS, L.A.; MÁNGANO, M.G. The paleoenvironmental and paleoecological significance of the lacustrine *Mermia* ichnofacies: an archetypical subaqueous nonmarine trace fossil assemblage. *Ichnos*, v. 4, p. 151-161, 1995.

BUATOIS, L.A.; MÁNGANO, M.G. Animal–substrate interactions in freshwater environments: applications of ichnology in facies and sequence stratigraphic analysis of fluvio-lacustrine successions. In: D. McIlroy (ed.). *The Application of Ichnology to Palaeoenvironmental and Stratigraphic Analysis*. Geological Society Special Publication, v. 228, p. 311–333, 2004.

BUATOIS, L.A.; MÁNGANO, M.G. Continental ichnology and the marine–nonmarine transition. *Ichnia 2008*, 2nd International Congress on Ichnology, Crakow, Poland, p. 22, 2008.

BUATOIS, L.A., MÁNGANO, M.G., ALISSA, A., CARR, T.R.. Sequence stratigraphic and sedimentologic significance of biogenic structures from a late Paleozoic marginal

to open-marine reservoir, Morrow Sandstone, subsurface of southwest Kansas, USA. *Sedimentary Geology*, v. 152, p. 99–132, 2002b.

CAMPBELL, D. F., ALMEIDA, L. A., de SILVA, S. O. Relatório preliminar sobre a geologia da bacia do Maranhão. Conselho Nacional do Petróleo, Rio de Janeiro. p. 160 (Boletim, 1), 1949.

CAPUTO M.V.; LIMA E.C. Estratigrafia, idade e correlação do Grupo Serra Grande – Bacia do Parnaíba. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 38., 1984, Rio de Janeiro. *Anais...* Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Geologia, 1984. p. 740.

CAPUTO, M. V. Stratigraphy, tectonics, paleoclimatology and paleogeography of Northern Basins of Brazil. 1984. Thesis (PhD in Geology) - University of California, California (US)

CARVALHO, I. S.; AVILLA, L. S.; SALGADO, L. *Amazonsaurus maranhensis* gen. nov. sp. nov. (Sauropoda, Diplodocoidea) from the Lower Cretaceous (Aptian-Albian) of Brazil. *Cretaceous Research*, v. 24(6), p. 697-713, 2003.

CARVALHO, I.S.; CAMPOS, D.A. Um mamífero triconodonte do Cretáceo Inferior do Maranhão, Brasil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, v. 60, n.4 p. 437-446, 1988.

CARVALHO, I.S. As ocorrências de icnofósseis de vertebrados na Bacia de São Luís, Cretáceo Superior, estado do Maranhão. In: *SIMPÓSIO SOBRE O CRETÁCEO DO BRASIL*, 3. , 1994. Rio Claro. Resumo, Rio Claro: SBP, 1994. p.119-122

CAERVALHO, I.S.; GONÇALVES, R.A. Pegadas de dinossauros neocretáceas da Formação Itapecuru, Bacia de São Luís (Maranhão, Brasil). *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, Rio de Janeiro, v. 66, n. 3, p. 279-292, 1994.

CARVALHO, M. S. S. Primeira ocorrência de Picnodontídeos (Pisces) na Formação Itapecuru, Cretáceo inferior da bacia do Parnaíba, Estado do Maranhão Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PALEONTOLOGIA, 15. 1999, São Pedro. Boletim, São Pedro: SBP, 1999. p.79.

CARVALHO, M.S.S; MAISEY, J.G. Ocorrência de peixes Celacantídeos no Cretáceo Inferior da Bacia do Parnaíba, Estado do Maranhão, Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PALEONTOLOGIA, 16., 1999. Crato, *Boletim de Resumo*, Crato: SBP, p.35, 1999.

CATT, J.A. Paleopedology manual. *Quaternary International*, v.6, p. 1-95, 1990.

COLLINSON, J.; MOUNTNEY, N.; THOMPSON, D. Sedimentary structures. 3rd Edition. London: George Allen & Unwin, 2006.

CUNHA, F. M. B. *Evolução Paleozóica da Bacia do Parnaíba e seu arcabouço tectônico*. 1986. Dissertação (Mestrado em Geologia) - Instituto de Geociências, Universidade Federal de Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

DAL'BÓ P.F.F. *Caracterização de mecanismos deposicionais e processos paleopedogenéticos em lençóis de areia eólica: a Formação Marília, Neocretáceo da Bacia Bauru e La Salina, Holoceno da Bacia Tulum*. 2011. Tese (Doutorado em Geologia) - Departamento de Geologia Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

DECKART, K.T.; BERTRAND, H.; LIÉGEOIS, J.P. Geochemistry and Sr, Nd, Pb isotopic composition of the Central Atlantic Magmatic Province (CAMP) in Guyana and Guinea. *Lithos*, v. 82, p. 289–314, 2005.

DELLA FÁVERA, J. C. *Tempestitos da Bacia do Parnaíba: um ensaio holístico*. 1990. Tese (Doutorado em Geologia) - Instituto de Geologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

DELLA FÁVERA, J. C. *Fundamentos de Estratigrafia Moderna*. Ed. Rio de Janeiro: Univ. do Estado do Rio de Janeiro. p.121-192, 2001.

DRIESE, S. G.; SIPSON, E.; ERKKSON, K. A. Redoxomorphic paleosols in alluvial lacustrine deposits, 1.8 Ga Lochness Formation, Mt Isa: pedogenic processes and implications for paleoclimate. *Journal of Sedimentary Research*, v. A66, p. 58-70, 1995

DUTRA, M. F. A.; MALABARBA, C. S. L. Peixes do Albiano-Cenomaniano do Grupo Itapecuru no Estado do Maranhão, Brasil. In: Rossetti, D. F.; Góes, A. M.; Truckenbrodt, W. (Eds.). *O Cretáceo da Bacia de São Luís-Grajaú*. Editora Museu Paraense Emílio Goeldi Friedrich Katzer, Belém, 2001. p. 191-208.

EKDALE, A.A.; BROMLEY, R.G. Analysis of composite ichnofabrics: an example in uppermost Cretaceous chalk of Denmark. *Palaios*, v. 6, p. 232–249, 1991.

ESTEBAN, M. Caliche textures and “Microcodium”. *Società Geologica Italiana, Bolletino (Supplemento)*, v. 92 (Suppl. 1973), p. 105–125, 1974

FERNANDES, A.C.S.; BORGHI, L.; CARVALHO, I.S.; ABREU, C.J. *Guia dos icnofósseis de invertebrados do Brasil*. Rio de Janeiro, Editora Interciência, 2002.

FERREIRA, C.S.; VICALVI, M.A.; CARVALHO, I.S. A malacofauna dulcícola da Formação Itapecuru (Bacia do Parnaíba-Cretáceo Inferior). *Anais da Academia Brasileira de Ciência*, Rio de Janeiro, v.67, n.3, p. 381-382, 1995.

FERREIRA, N. N.; PEDRÃO, E. F.; RAMOS, R. R.C. Palynological and sedimentary analysis of the Igarapé Ipiranga and Querru 1 outcrops of the Itapecuru Formation (Lower Cretaceous, Parnaíba Basin), Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, v. 66, p. 15-31, 2015.

FERREIRA, N. N.; PEDRÃO, E. F.; RAMOS, R. R.C. Palynological and sedimentary analysis of the Igarapé Ipiranga and Querru 1 outcrops of the Itapecuru Formation (Lower Cretaceous, Parnaíba Basin), Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, v. 66, p. 15-31, 2015.

FREY, R.W. Ichnology: the study of fossil and recent lebenspuren. In: B.F. Perkins (ed.). *Trace Fossils, A Field Guide to Selected Localities in Pennsylvanian, Permian, Cretaceous and Tertiary Rocks of Texas, and Related Papers*. Louisiana State University School of Geoscience, Miscellaneous Publication, 1971. v. 71, p. 91–125

FREY, R.W. Concepts in the study of biogenic sedimentary structures. *Journal of Sedimentary Petrology*, v. 43, p. 6–19, 1973.

FREY, R.W. The realm of ichnology, its strengths and limitations. In: R.W. Frey (ed.). *The Study of Trace Fossils. A Synthesis of Principles, Problems, and Procedures in Ichnology*. New York: Springer-Verlag, 1975. p. 13–38.

FREY, R.W. Trace fossils and hummocky cross-stratification, Upper Cretaceous of Utah. *Palaaios*, v. 5, p. 203–218, 1990.

FREY, R.W.; PEMBERTON, S.G. Trace fossils Facies Models. In: R.G. Walker (ed.). *Facies Models. Geoscience Canada Reprint Series*, 1984. p.189–207.

FREY, R.W.; PEMBERTON, S.G. Biogenic structures in outcrops and cores; I, Approaches to ichnology. *Bulletin of Canadian Petroleum Geology*, v. 33, p. 72–115, 1985.

FREY, R.W.; WHEATCROFT, R.A. Organism–substrate relations and their impact on sedimentary petrology. *Journal of Geological Education*, v. 37, p. 261–279, 1989.

FREYTET, P.; PLAZIAT, J.C. Continental carbonate sedimentation and pedogenesis— Late Cretaceous and early Tertiary of southern France: Stuttgart, Schweitzerbart'sche Verlagsbuchhandlung, *Contributions to Sedimentology*, v. 12, p. 213, 1982.

FOLK, R.L. *Petrology of Sedimentary Rocks*. Texas :Hemphill Publishing Company, 1968.

GENISE, J.F.; BOWN, T. M. New trace fossils of termites (Insecta: Isoptera) from the Late Eocene fossils of termites debr and the reconstruction of ancient isopteran social behavior. *Ichnos*, v. 3 , p. 155-183, 1994.

GENISE, J.F.; PAZOS, P.J.; GONZALEZ, M.G.; TÓ FALO, R.O.; VERDE, M. Hallazgo de termiteros y tubos meniscados en la Formación Asencio (Cretacico Superior-Terciario Inferior). *R.O. del Uruguay: Resúmenes de la Tercera Reunión Argentina de Icnología y Primera Reunión de Icnología del Mercosur*, p. 12–13, 1998.

GENISE, J.F.; MÁNGANO, M.G.; BUATOIS, L.A.; LAZA, J.; VERDE, M. Insect trace fossil associations in paleosols: The *Coprinisphaera* ichnofacies. *Palaaios*, v. 15 (1), p. 49-64, 2000.

GENISE, J.F. Ichnotaxonomy and ichnostratigraphy of chambered trace fossils in palaeosols attributed to coleopterans, ants and termites. In: D. McIlroy (ed.). *The*

application of ichnology to palaeoenvironmental and stratigraphic analysis, *Geological Society Special Publication*, v. 228, p. 419–453, 2004.

GENISE, J.F.; BELLOSI, E.S.; GONZALEZ, M.G. An approach to the description and interpretation of ichnofabrics in palaeosols. In: D. McIlroy (ed.). *The Application of Ichnology to Palaeoenvironmental and Stratigraphic Analysis. Geological Society Special Publication*, v. 228, p. 355-382, 2004.

GENISE, J.F.; MELCHOR, R.N.; BELLOSI, E.S.; GONZALEZ, M.G.; KRAUS, M. New insect pupation chambers (Pupichnia) from the Upper Cretaceous of Patagonia, Argentina. *Cretaceous Research*, v. 28, p. 545–559, 2007.

GENISE, J.F.; MELCHOR R.N.; BELLOSI, E.S.; VERDE, M. Invertebrate and Vertebrate Trace Fossils from Continental Carbonates. In: Alonso-Zarza, A. M. Tanner, L. (ed.). *Carbonates in Continental Settings: Facies, Environments, and Processes*, Developments in Sedimentology, 2010. v. 61, p. 319-369.

GÓES, A. M. O.; FEIJÓ, F. J. Bacia do Parnaíba. *Boletim de Geociências da Petrobrás*, v. 8, n.1, p. 57-68, 1994.

GÓES, A. M. O.; TRAVASSOS, W.A.; NUNES, K. C. Projeto Parnaíba: reavaliação da bacia e perspectivas exploratórias. *Relatório interno*, PETROBRÁS, 1992.

GÓES, A.M. *A Formação Poti (Carbonífero Superior) da Bacia do Parnaíba*. 1995. Tese (Doutorado em Geologia) – Departamento de Geologia, Universidade de São Paulo, São Paulo.

GOLDRING, R.; POLLARD, J.E.; TAYLOR, A.M. *Anconichnus horizontalis*: a pervasive ichnofabric-forming trace fossil in post-Paleozoic offshore siliciclastic facies. *Palaos*, v. 6, p. 250–263, 1991.

GONÇALVES, R. A.; CARVALHO, I. S. Contribuição ao Estudo da Sedimentação da Formação Itapecuru - Região de Itapecuru-Mirim, Bacia do Parnaíba (Cretáceo Inferior). *Revista Brasileira de Geologia*, v. 9, p. 75-81, 1996.

HASIOTIS, S. T. 2002. *Continental trace fossils*. Society for Sedimentary Geology Short Course Notes, 2002.

HASIOTIS, S.T.; BOWN, T.M. Invertebrate trace fossils: the backbone of continental ichnology. In: Maples C.; West, R. (eds.). *Trace Fossils: Their Paleobiological Aspects*. Paleontological Society Short Course Notes, 1992. v. 5, p. 64-104.

HASIOTIS, S.T.; KRAUS, M.J.; DEMKO, T.M. Climatic Controls on Continental Trace Fossils. In: Miller III W. (ed.). *Trace Fossils: Concepts, Problems, Prospects*. Amsterdam: Elsevier, 2007. p. 172–195.

HASUI, Y.; CARNEIRO, C.D.R.; ALMEIDA, F.F.M.; BARTORELLI A. *Geologia do Brasil*. São Paulo: Ed. Beca. 2012.

HEINBERG, C. A dynamic model for a meniscus filled tunnel (*Ancorichnus* n. ichnogen.) from the Jurassic *Pecten* Sandstone of Milne Land, East Greenland. *Gronlands Geologiske Undersogelse, Rapporter*, v. 62, p. 20, 1974.

JAILLARD, B.; GUYON, A.; MAURIN, A.F. Structure and composition of calcified roots, and their identification in calcareous soils. *Geoderma*, v. 50, p. 197–210, 1991.

JONES, B.; NG, K.C. The structure and diagenesis of rhizoliths from Cayman Brac, British West Indies. *Journal of Sedimentary Petrology*, v. 58, p. 457–467, 1988.

KABANOV, P.; Anadón, P.; Krumbein, W.E. Microcodium: An extensive review and a proposed non-rhizogenic biologically induced origin for its formation. *Sedimentary Geology*, v. 205, p. 79–99, 2008.

KEIGHLEY, D. G.; PICKERILL, R. K. The ichnogenus *Beaconites* and its distinction from *Ancorichnus* and *Taenidium*. *Palaeontology*, v. 37, p. 305–337, 1994.

KEIGHLEY, D. G.; PICKERILL, R. K. The ichnotaxa *Palaeophycus* and *Planolites*: historical perspectives and recommendations. *Ichnos*, v. 3, p. 301–309, 1995.

KERN, J.P.; WARME, J.E. Trace fossils and bathymetry of the Upper Cretaceous Point Loma Formation, San Diego, California. *Geological Society of America, Bulletin*, v. 85, p. 893–900, 1974.

KILSCHLAT, E.E.; CARVALHO I.S. A specimen of *Araripemys barretoi* Price (Chelonii, Pleurodira) from the Itapecuru Formation (Lower Cretaceous of northeastern Brazil). In: SIMPÓSIO DE PALEONTOLOGIA DE VERTEBRADOS, 2., 2000, Rio de Janeiro. *Boletim de Resumos*, Rio de Janeiro: SBP, 2000, p. 33.

KLAPPA, C.F. Biolithogenesis of *Microcodium*: elucidation. *Sedimentology*, v. 25, p. 489–522. 1978.

KLAPPA, C.F. Rhizoliths in terrestrial carbonates: classification, recognition, genesis, and significance. *Sedimentology*, v. 26, p. 613–629, 1980.

Košir, A. Microcodium revisited: root calcification products of terrestrial plants on carbonate-rich substrates. *Jornal Sedimentary Research* . v. 74, p. 845–857, 2004.

KRAUS, M.J. Paleosols in clastic sedimentary rocks: their geologic applications. *Earth-Science Reviews*, v. 47, p. 41–70, 1999.

KRAUS, M.J.; HASIOTIS, S.T. Significance of different modes of rhizolith preservation to interpreting paleoenvironmental and paleohydrologic settings: examples from Paleogene paleosols, Bighorn Basin, Wyoming, USA. *Journal of Sedimentary Research*, v. 76, p. 633–646, 2006.

KRAUS, M.J.; ASLAN, A. Paleosol sequences in floodplain environments: a hierarchical approach. In: Thiry, M. (ed.). *Palaeoweathering, Palaeosurfaces and Related Continental Deposits*. Int. Assoc. Sedimentol. Special Publication, 1999. v. 27, p. 303–321.

- LIMA, R. D.; ROSSETTI, D. F. Análise faciológica e sequencial de depósitos de delta de baía (Neocretáceo), Bacia do Grajaú, MA. In: D. F. ROSSETTI; A. M. GÓES; W. TRUCKENBRODT. *O Cretáceo na Bacia de São Luís-Grajaú*, Museu Paraense Emílio Goeldi (Coleção Friedrich Katzer). Belém, 2001. p.151-175.
- LINDBO, D.L.; STOLT, M.H.; VEPRASKAS, M.J. Redoximorphic features. In: Stoops, G.; Marcelino, V.; Mees, F. (eds.). *Interpretation of Micromorphological Features of Soils and Regoliths*. Elsevier, Amsterdam, 2010. p. 129–147.
- LISBOA, M.A.R. The Permian geology of Northern Brazil. *American Journal Of Science*, v.37, n. 4, p. 425-443, 1914.
- LOCKLEY, M.G. Dinosaur footprints from the Dakota Group of eastern Colorado. *The Mountain Geologist*, v. 24, p. 107–122, 1987.
- LOCKLEY, M.G., HUNT, A.P., MEYER, C.A. Vertebrate tracks and the ichnofacies concept: Implications for palaeoecology and palichnostratigraphy. In: S.K. Donovan (ed.). *The Palaeobiology of Trace Fossils*, Chichester: John Wiley & Sons, 1994. p. 241–268.
- LUCAS, G.; MONTENAT, C. Observations sur les structures internes et de développement des *Microcodium*. *Société Géologique de France*, Bulletin, v. 7, n. 9, p. 909–918, 1967.
- MÁNGANO, M.G.; BUATOIS, L.A. Ichnology of Carboniferous tide-influenced environments and tidal flat variability in the North American Midcontinent. In: Mcllroy D. (ed.). *The application of ichnology to palaeoenvironmental and stratigraphic analysis*. Geological Society Special Publication, 2004. v. 228, p. 157–178
- MARTINI, I.P.; CHESWORTH, W. *Weathering, Soils and Paleosols*. Amsterdam: Elsevier, 2013.
- MCLLROY, D. Some Ichnological concepts, methodologies, applications and frontiers. In: Mcllroy D. (ed.). *The Application of Ichnology to Palaeoenvironmental and Stratigraphic Analysis*. Geological Society Special Publication, 2004. v. 228, p. 3-27.
- MENEZES, M.N.; DAL' BÓ, P. F. F.; MEDEIROS, M. A. Arquitetura aluvial da Formação Itapecuru (Eocretáceo da bacia do Parnaíba). In: *SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO SUDESTE, 14; SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO CRETÁCEO, 8; SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO E HISTÓRIA DE CIÊNCIA DA TERRA, 6*. Campos do Jordão, 2015. Resumo, Campos do Jordão, SBG, p.38, 2015.
- MENEZES, M.N. *Paleossolos aluviais e elementos arquiteturais da Formação Itapecuru na região de Itapecuru-Mirim - MA*. 2016. Monografia (Conclusão de curso Geologia) - Departamento de Geologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- MIALL, A. D. *Principle of Sedimentary Analysis*. 1ª ed. New York: Springer-Verlag, 1984

MIRANDA, M. C. C.; ROSSETTI, D. F. Reconstituição paleoambiental de depósitos albianos na borda leste da bacia de Grajaú, MA. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 36, p. 623-635, 2006.

MOREIRA, F.M.S.; SIQUEIRA, J.O. *Microbiologia e bioquímica do solo*. 2.ed. Lavras: Universidade Federal de Lavras, 2006.

NOBRE, P.H.; CARVALHO, I. S. Osteologia do crânio de *Candidodon itapecuruense* (Crocodylomorpha, Mesoeucrocodylia) do Cretáceo do Brasil. In: *SIMPÓSIO SOBRE O CRETÁCEO DO BRASIL*, 6. *Boletim*, São Pedro, p. 77-82, 2002.

PAIVA, G. Estratigrafia da sondagem n 125. Bol. Serv. Fom. Prod. Min. DNPM, Rio de Janeiro, n.18, p.107, 1937.

PEDRÃO, E. *Palinoestratigrafia e evolução paleoambiental de rochas sedimentares aptianas-cenomanianas das bacias de Bragança-Viseu e São Luís*. 1995. Tese (Doutorado em Geologia) – Departamento de Geologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro.

PEDRÃO, E.; BARRILARI, I. M. R.; LIMA, H. P. Estudos palinológicos dos sedimentos cretáceos da bacia do Parnaíba. *CENPES/Divisão de Geologia e Mineralogia*, p. 12, 1993.

PEDRÃO, E.; ARAI, M.; CARVALHO, I.S.; FERREIRA, C.S. Palinomorfos de sedimentos albianos (Formação Itapecuru) da Bacia Parnaíba. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, Rio de Janeiro, v. 66, n.1, p.118, 1994.

PEMBERTON, S. G.; FREY, R. W. Trace fossil nomenclature and the *Planolites-Palaeophycus* dilemma. *Journal of Paleontology*, v. 56, p.843-881, 1982.

PEMBERTON, S.G.; FREY, R.W.; SAUNDERS, T.D.A. Trace fossils. In: Briggs, D. E. G.; Crowther, P. R. (eds.). *Palaeobiology, a Synthesis*. Oxford: Blackwell Science, 1990. p. 355–362

PESSOA, V. C. O. *Estratigrafia e Arquitetura Depositional da Formação Itapecuru (Cretáceo, Bacia do Parnaíba) em testemunho de sondagem*. 2007. Dissertação (Mestrado em Geologia) - Departamento de Geologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

PIPUJOL, M.D.; BUURMAN, P. The distinction between ground-water gley and surface-water gley phenomena in Tertiary Paleosols of the Ebro Basin, NE Spain. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, v. 110, p. 103–113, 1994.

PIPUJOL, M.D.; BUURMAN, P. Dynamics of iron and calcium carbonate redistribution and palaeohydrology in middle Eocene alluvial paleosols of the southeast Ebro Basin margin (Catalonia, northeast Spain). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, v. 134, p. 87–107, 1997.

POLYNOV, B.B. *Contributions of Russian Scientists to Paleopedology*. USSR Academy of Sciences, Leningrad. 1927.

RETALLACK, G.J. Trace fossils of burrowing beetles and bees in an Oligocene paleosol. Badlands National Park, South Dakota. *Journal of Paleontology*, v.58, p. 71-592, 1984.

RETALLACK, G.J. *Soils of the Past*, 2^a ed. Oxford, Blackwell. 2001.

RETALLACK, G.J. A short history and long future of paleopedology. In: Driese, S.G. (ed.). *New frontiers in paleopedology and terrestrial paleoclimatology*. Society of Economic Paleontologists and Mineralogists Special Paper, 2013. v. 44, p. 5-16.

RODRIGUES, R. Estudo Sedimentológico dos depósitos Silurianos e devonianos da Bacia do Parnaíba. Belém. *Relatório Técnico Petrobrás*, p. 61, 1967.

ROSSETTI, D. F. Facies analysis of the Lower Succession of the Upper Itapecuru Formation, São Luís Basin, northern Brazil. In: Costa, M. L. & Angélica, R. (eds.) *Contribuições à Geologia da Amazônia*. Belém, Falangola, 1997. p.241-284.

ROSSETTI, D. F. Arquitetura deposicional da Bacia de São Luís-Grajaú. In: Rossetti, D. F.; Góes, A. M.; Truckenbrodt, W. (eds.) *O cretáceo na Bacia de São Luís-Grajaú*, Belém, , 2001. 31-46p.

ROSSETTI, D. F. Sequence stratigraphic of two estuarine valley fills: The Upper Itapecuru Formation in the São Luís Basin, Northern Brasil. *Acta Geologica Leopoldensia*, Porto Alegre, v. 19, n.43, p. 111-125, 1996a.

ROSSETTI, D. F. Sequence stratigraphy and depositional evolution of itapecuru Formation (Later Cretaceous) in the São Luís Basin, northern Brazil. *Acta Geologica Leopoldensia*, Porto Alegre, v. 19, p. 11-126, 1996b.

ROSSETTI, D. F.; GÓES, A.M. Caracterização paleoambiental de depósitos albianos na Borda Sul da Bacia de São Luís-Grajaú. Modelo de delta fluvial influenciado por tempestade. *Revista Brasileira de Geociências*, São Paulo, v. 33, n. 3, p. 299-312, 2003.

ROSSETTI, D.; GÓES, A. M., ARAI, M. A passagem Aptiano-Albiano na Bacia do Grajaú, MA. In: Rossetti, D. F.; Góes, A. M.; Truckenbrodt, W. (eds.) *O cretáceo na Bacia de São Luís-Grajaú*. Editora Museu Paraense Emílio Goeldi Friedrich Katzer, Belém, 2001. p.101-117.

ROSSETTI, D.F.; GÓES, A.M.; TRUCKENBRODT, W. O Cretáceo na Bacia de São Luís- Grajaú. 1 ed. Editora Museu Paraense Emílio Goeldi Friedrich Katzer. 2001.

ROSSETTI, D.F. Facies architecture and sequential evolution of incised valley estuarine fills, the Upper Itapecuru Formation (São Luis Basin, northern Brazil. *Jornal Sedimentary Research*, v. 68, p. 299-310, 1998.

ROSSI, C. Microcodium y trazas fósiles de invertebrados en facies continentales (Paleoceno de la Guenca de Ager, Lérida). *Revista de la Sociedad Geológica de España*, v. 10, p. 371–391, 1997.

SANTOS, M. E. C. M.; CARVALHO, M. S. S. *Paleontologia das Bacias do Parnaíba, Grajaú e São Luís*. 2 Ed. Rio de Janeiro: CPRM-Serviço Geológico do Brasil/DIEDIG/DEPAT, 2009.

SARJEANT, W.A.S. Plant trace fossils, In: Frey, R.W. (ed.). *The Study of Trace Fossils*. New York: Springer Verlag, p. 163–179, 1975.

SCHOBENHAUS, C.; CAMPOS, D.A.; DERZE, G.R.; ASMUS, H.E. DNPM. Departamento Nacional de Produção Mineral. Texto explicativo do Mapa Geológico do Brasil e da área Oceânica adjacente incluindo depósitos minerais. Brasília, 1981. 1 mapa (em 4 partes). Escala 1:2. 500.000. Brasília.

SCHWERTMANN, U.; TAYLOR, R.M. Iron oxides. In: Dixon, J.B.; Weed, S.B. (eds.). *Minerals in Soil Environments*. 2 Ed. Wisconsin, Soil Science Society of America, 1989. p. 379–438.

SEILACHER, A. Bathymetry of trace fossils. *Marine Geology*, v. 5, p. 413, 1967.

SHELDON, N. D.; TABOR, N. J. Quantitative paleoenvironmental and paleoclimatic reconstruction using paleosols. *Earth-Science Reviews*, v.95, p. 1-52, 2009.

SMITH, J.J.; HASIOTIS, S.T.; KRAUS, M.J.; WOODY, D. *Naktodemasis bowni*: new ichnogenus and ichnospecies for adhesive meniscate burrows (AMB), and paleoenvironmental implications, Paleogene Willwood Formation, Bighorn Basin, Wyoming. *Journal of Paleontology*, v. 82, p. 267–278, 2008.

SMITH, R.M.H.; MASON, T.R.; WARD, J.D. Flash–flood sediments and ichnofacies of the Late Pleistocene Homeb Silts, Kuiseb River, Namibia. *Sedimentary Geology*, v.85, p. 579-599 , 1993.

SOIL SURVEY STAFF. Soil taxonomy: a basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys. *USDA Natural Resource Conservation Service Agriculture Handbook # 436*. U.S. Government Printing Office, Washington DC. 2017.

SUGUIO, K. *Geologia Sedimentar*. São Paulo: Edgard Blucher, 2003.

SZATMARI, P.; PORTO, R. Classificação tectônica das bacias sedimentares terrestres do Brasil. *Relatório interno Petrobrás*, p.673-2703, 1982.

TANNER, L. H. Palustrine/lacustrine and alluvial facies of the Norian Owl Rock formation (Chinle group), four Corners region, southwestern USA: implications for late Triassic paleoclimate. *Journal of Sedimentary Research*, v. 70, n. 5, p. 1280-1289, 2000.

TAYLOR, A.M.; GOLDRING, R.; GOWLAND, S. Analysis and application of ichnofabrics. *Earth Science Reviews*, v. 60, p. 227–259, 2003.

TAYLOR, A.M.; GOLDRING, R. Description and analysis of bioturbation and ichnofabric. *Journal of the Geological Society (London)*, v. 150, p. 141– 148, 1993.

THULBORN, T. Impact of sauropod dinosaurs on lagoonal substrates in the broome Sandstone (Lower Cretaceous), Western Australia. *PloS One* 7:e36208, 2012.

VAZ, P. T.; REZENDE, N. G. A.; FILHO, J. R. W.; TRAVASSOS, W. A. S. Bacia do Parnaíba. *Boletim de Geociências da Petrobras*, Rio de Janeiro, v.15, n.2, p.253-263, 2007.

VEPRASKAS, M.J. Redoximorphic Features for Identifying Aquic Conditions. North Carolina Agricultural Research Service, *Technical Bulletin*, v. 301, p. 1 – 33, 2015.

VEPRASKAS, M.J.; WILDING, L.P.; DREES, L.R. Aquic conditions for soil taxonomy: concepts, soil morphology, and micromorphology. In: Ringrose-Voase, A.J.; Humphreys, G.S. (eds.). *Soil Micromorphology: Studies in Management and Genesis. Developments in Soil Science*. Elsevier, Amsterdam, 1994. v. 22, pp. 117–131.

VEPRASKAS, M.J.; WILDING, L.P.; DREES, L.R. Aquic conditions for soil taxonomy: concepts, soil morphology and micromorphology. In: Ringrose-Voase, A.J.; Humphreys, G.S. (eds.). *Soil Micromorphology: Studies in Management and Genesis*. Elsevier, Amsterdam, 1992. v. 22, p. 117–131.

VEPRASKAS, M.J.; RICHARDSON, J.L.; TANDARICH, J.P. Dynamics of redoximorphic feature formation under controlled ponding in a created riverine wetland. *Wetlands*. v. 26, p. 486-496, 2006.

VICALVI, M.A.; MILHOMEM, P.S.; CARVALHO, I.S. Ostracodes e carófitas da Formação Itapecuru (Pirapema, Bacia do Parnaíba). *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, v. 68, n2, p.271-272, 1996.

WALKER, E.F. Arthropod ichnofauna of the Old Red Sandstone at Dunure and Montrose, Scotland. *Transactions Royal Society of Edinburgh: Earth Sciences*, v. 76, p. 287–297, 1985.

WRIGHT, V.P.; PLATT, N.H.; MARRIOT, S.B.; BECK, V.H. A classification of rhizogenic (root-fanned) calcretes, with examples from the Upper Jurassic-Lower Carboniferous of Spain and Upper Cretaceous of southern France. *Sedimentary Geology*, v. 100, 143-158, 1995.

ZALAN, P. V. Evolução Fanerozóica das Bacias Sedimentares Brasileiras. In: Geologia do Continente Sul-Americano: Evolução da Obra de Fernando Flávio Marques de Almeida. Organizado por: Virgínio Mantesso-Neto et al.; Ed. Beca Produções Culturais, Ltda, São Paulo, p. 647, 2004.