

Pesquisas em Geociências

<http://seer.ufrgs.br/PesquisasemGeociencias>

Paleoalterações e Carbonatos em Depósitos Aluviais na Região de Santa Maria, Triássico Médio a Superior do Sul do Brasil

Átila Augusto Stock da Rosa, Nuno Lamas Valente Pimentel, Ubiratan Ferrucio Faccini

Pesquisas em Geociências, 31 (1): 3-16, jan./abr., 2004.

Versão online disponível em:

<http://seer.ufrgs.br/PesquisasemGeociencias/article/view/19561>

Publicado por

Instituto de Geociências



Portal de Periódicos UFRGS

UNIVERSIDADE FEDERAL
DO RIO GRANDE DO SUL

Informações Adicionais

Email: pesquisas@ufrgs.br

Políticas: <http://seer.ufrgs.br/PesquisasemGeociencias/about/editorialPolicies#openAccessPolicy>

Submissão: <http://seer.ufrgs.br/PesquisasemGeociencias/about/submissions#onlineSubmissions>

Diretrizes: <http://seer.ufrgs.br/PesquisasemGeociencias/about/submissions#authorGuidelines>

Data de publicação - jan./abr., 2004.

Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil

Paleoalterações e Carbonatos em Depósitos Aluviais na Região de Santa Maria, Triássico Médio a Superior do Sul do Brasil

ÁTILA AUGUSTO STOCK DA ROSA¹, NUNO LAMAS VALENTE PIMENTEL²
& UBIRATAN FERRUCIO FACCINI¹

¹ Programa de Pós-Graduação em Geologia, Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Av. Unisinos, n. 950, São Leopoldo, RS, CEP 93022-000 e-mail: atila@base.ufsm.br

² Departamento e Centro de Geologia, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Campo Grande C-2, 5º, 1749-016 Lisboa, Portugal

(Recebido em 03/03. Aceito para publicação em 04/04)

Abstract - Five types of paleo-weathering and carbonate precipitation were recognized in fine-grained deposits of the Alemoa Member, Santa Maria Formation, Middle to Upper Triassic of southern Brazil. The fauna and flora found in these lithologies are important dating tools, but only in a generic way, misleading the time involved in periods of deposition and non deposition. The identified types of deposits are (i) reddish mudstones, with none or little paleo-weathering, (ii) mottled mudstones, with incipient pedogenesis, mainly mottling, destratification, animal and vegetal colonization, (iii) carbonate veins, with more evidences of exposure and root action, (iv) carbonate siltstones/sandstones, where restricted fluvial deposits are cemented by phreatic carbonate, and (v) carbonate nodules and lenses, in which small lenses of a very compact calcrete are at the top and in the center of carbonated siltstone/sandstone beds, distinguished by its crystalinity, hardness and brighter color. The recorded microfacies point to a cyclic variation of the mainly high phreatic level, forming cracks and pedotubules (pedogenesis) filled with carbonate and Fe and Mn oxides (phreatic). The identification of five distinct pedofacies and the stratigraphic correlation in the sedimentary package of the Alemoa Member (base, middle or topmost position) suggest a probable association of paleo-weathering processes and vertebrate preservation. Near channel facies, mainly at the base and top, present smaller exposure periods and higher variations on the phreatic level, and consequently, the best preserved vertebrate fossils. On the other hand, facies which are far from the channel, record more subaerial exposure and more significant phreatic variation, leading to more advanced (although still incipient) paleo-weathering and carbonate precipitation, and to a worst fossil preservation.

Keywords - weathering, carbonate, Triassic.

INTRODUÇÃO

O Triássico Médio a Superior sulbrasileiro, representado por arenitos e siltitos avermelhados, é bastante conhecido por seu conteúdo fossilífero, como cenário da evolução de vários grupos de paleovertebrados, em especial dos primeiros dinossauros (Schultz *et al.*, 2000), da transição de répteis mamaliformes a mamíferos propriamente ditos (Bonaparte & Barberena, 1975) e da mudança florística com o surgimento e extinção da Flora *Dicroidium* e o surgimento das coníferas (Guerra-Sommer & Scherer, 2000). A geologia e estratigrafia da referida região têm sido continuamente estudadas nas últimas décadas, fornecendo importantes dados para a construção de um arcabouço biocronostratigráfico confiável (Faccini, 1989, 2000). Entretanto, algumas vezes estes dados são insuficientes para a solução

de problemas, tais como a eventual existência de variações verticais dentro da sucessão sedimentar, o conceito de tempo envolvido nos períodos de deposição e não-deposição e a tafonomia de vertebrados, sendo necessária uma nova abordagem metodológica para a região estudada.

A ocorrência de níveis com carbonatos, sob a forma de finos leitões, lentículas, nódulos, etc., num contexto deposicional predominantemente terrígeno, levou a procurar compreender seu significado, no sentido de detalhar os processos e ajudar a reconstituir a paleogeografia destas unidades. Genericamente, estas ocorrências podem ser relacionadas com eventos mais ou menos longos de sedimentação química, de extensão variável, correspondendo por isso a situações de pausa de sedimentação terrígena e neoformação de carbonatos (Alonso-Zarza *et al.*, 1992, Bowen & Bloch, 2002). O seu estudo detalhado,

quanto a processos e significado paleoambiental, deverá, portanto trazer indicações acerca do ritmo deposicional e das razões para a existência momentânea e local de condições favoráveis à formação de carbonatos. A relação destes aspectos com o nível freático, enquanto fator chave destas neofomações, é outra questão que deverá ser realçada, posto que as suas oscilações estão condicionadas pela própria dinâmica deposicional à pequena escala (Sanz *et al.*, 1995; Carlisle *apud* Tucker & Wright, 1990, fig 16). Desta forma, esta ferramenta integradora deverá auxiliar no detalhamento pormenorizado de seu empilhamento sedimentar, bem como no estudo sobre a tafonomia e preservação dos fósseis animais e vegetais contidos nas formações geológicas estudadas.

Neste trabalho são apresentados os dados coletados na região central do Estado do Rio Grande do Sul (Fig. 1), nas imediações da cidade de Santa Maria, em particular nos diferentes tipos de acumulações carbonáticas reconhecidas nas diversas seções estudadas.

GEOLOGIA REGIONAL

A área estudada, situada num raio de 20 km em torno da cidade de Santa Maria, está localizada na região central do estado do Rio Grande do Sul, extremo sul do Brasil. As unidades litoestratigráficas em estudo (Fig. 2) compõem uma parte do registro sedimentar da Bacia do Paraná (Zalán *et al.*, 1990), desenvolvida inicialmente como uma bacia sedimentar do tipo sinéclise (Siluriano-Devoniano), transformando-se gradualmente em uma bacia francamente intracontinental (Carbonífero-Permiano), até a fragmentação total dos continentes de Pangéia e Gondwana (Jurássico-Cretáceo). O registro Triássico está materializado no Grupo Rosário do Sul, de idades entre o Scitiano e o Rético e com uma espessura total em torno de duas centenas de metros. Segundo Andreis *et al.* (1980), este Grupo encontra-se dividido em três Formações: Sanga do Cabral, Santa Maria e Caturrita, com base principalmente na razão arenito-pelito e em seu conteúdo fossilífero.

A Formação Sanga do Cabral é composta por duas associações de litofácies em posição estratigráfica bastante uniforme (Lavina, 1991): na base, arenitos finos alaranjados, com estratificações planares e cruzadas de baixo ângulo, com raros pelitos avermelhados associados; e no topo, arenitos finos a muito finos alaranjados, com estruturas pla-

nares, cortados por conglomerados a arenitos grossos intraclásticos, em níveis lenticulares amalgamados, de relativa continuidade lateral (relação espessura x comprimento, 1:100).

A Formação Santa Maria é subdividida em dois membros: Membro Passo das Tropas, constituído por arenitos grossos seixosos a médios, com níveis intraclásticos na base de estratificações cruzadas acanaladas de médio porte, em leitos amalgamados (relação espessura x comprimento, 1:10), contendo impressões vegetais da Flora de *Dicroidium*, bem como insetos e escamas de peixes (Pinto, 1956; Lima *et al.*, 1984); e Membro Alemoa, tema principal deste estudo, caracterizado pela abundância de pelitos avermelhados, com abundantes tetrápodes fósseis, principalmente terapsídeos e arcossauros (Schultz *et al.*, 2000).

A Formação Caturrita é composta por arenitos médios a finos bordô, localizadamente grossos a conglomeráticos, com níveis intraclásticos, ora dispostos na base de estratificações cruzadas acanaladas de médio porte, ora em pacotes erosivos discordantes, de granulometria mais fina, com pouca continuidade lateral, mas amalgamados. Litoestratigraficamente, correspondem ao aparecimento dos primeiros arenitos a cortar os pelitos vermelhos no topo da Formação Santa Maria, antes mesmo dos canais arenosos mais bem desenvolvidos e regionalmente dispostos (Faccini, 1989, 2000).

As seções aqui estudadas compreendem os depósitos pelíticos do Membro Alemoa da Formação Santa Maria, incluindo depósitos da base, centro e topo dessa unidade (Quadro 1).

MÉTODOS

O reconhecimento das rochas sedimentares do Triássico Médio a Superior do sul do Brasil envolveu estudos geológicos de variada escala, incluindo seu mapeamento geológico de semidetalhe (escala 1:25.000), definição de blocos estruturais mais ou menos homogêneos, descrição de seções de afloramento, amostragem e descrição petrográfica de amostras chave.

Delimitação de blocos estruturais

A região alvo foi dividida em blocos estruturais, com base em trabalhos de campo e laboratório, sobre aerofotos 1:25.000, imagens de radar, satélite Landsat TM 5 e 7, e cartas topográficas 1:50.000 (Da Rosa & Faccini, em preparação).

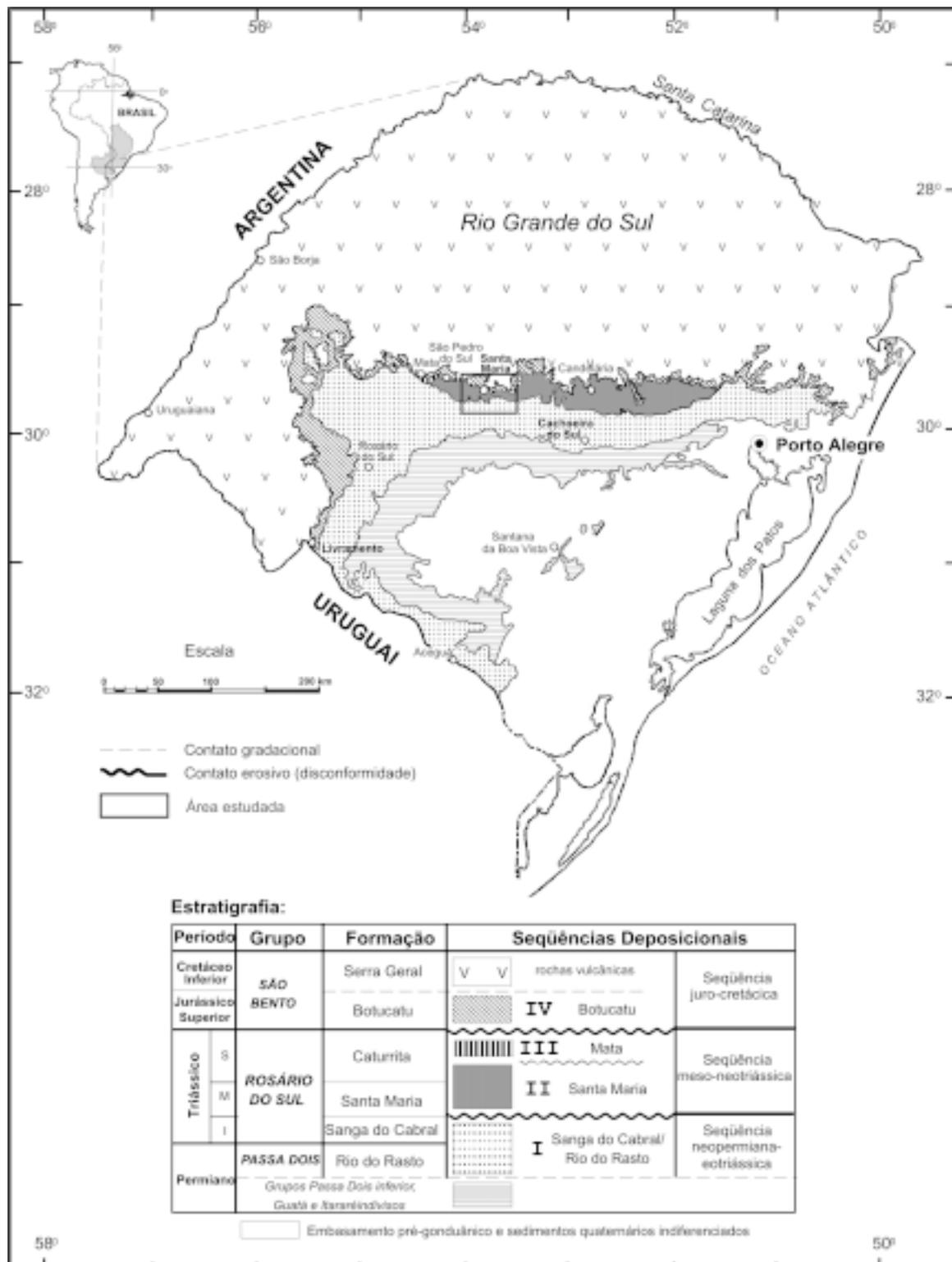


Figura 1 - Mapa geológico simplificado da porção gonduânica superior do Rio Grande do Sul, com indicação das unidades litoestratigráficas e seqüências deposicionais equivalentes (modificado de Faccini, 2000).

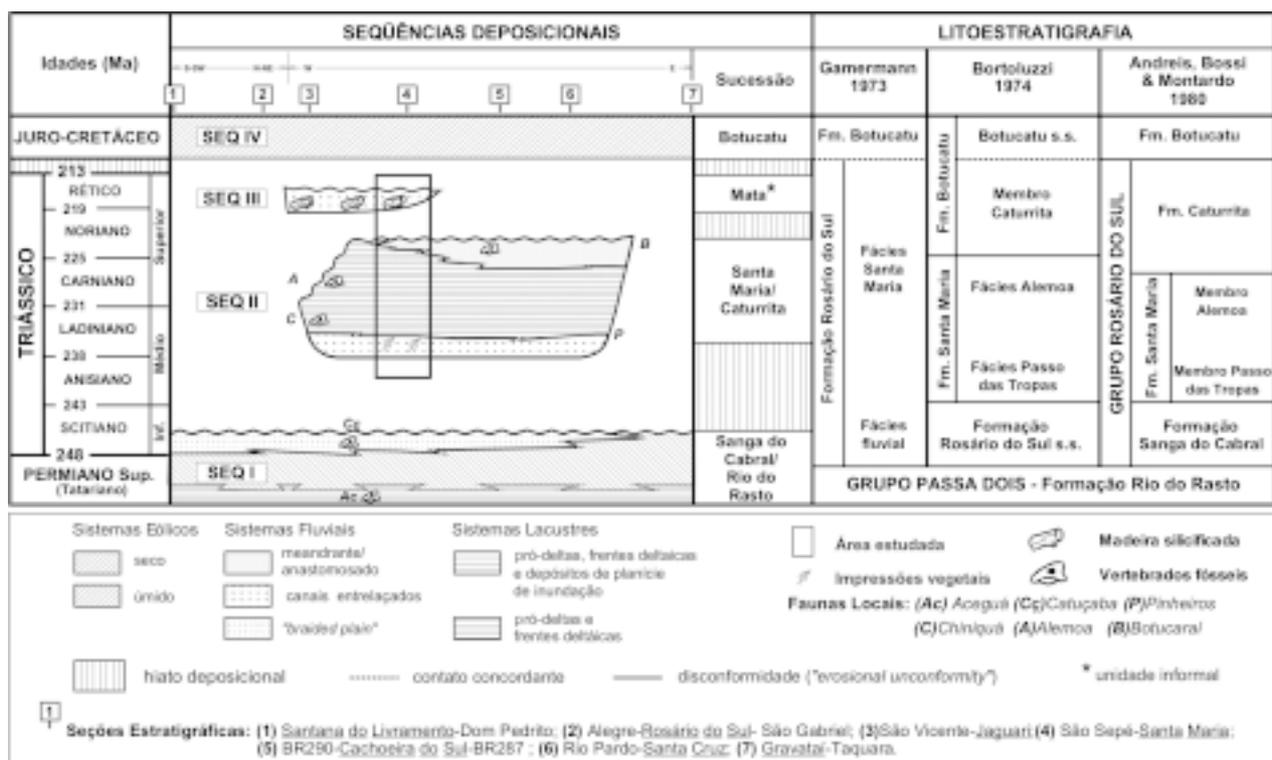


Figura 2 - Arcabouço litoeostratigráfico da região de Santa Maria (modificado de Faccini, 2000). Diagrama cronoestratigráfico esquemático baseado em seções regionais, com calibração de tempo de duração das seqüências e hiatos deposicionais estimados a partir das idades das “faunas locais” estabelecidas por Barberena (1977) e redefinições posteriores (Schultz, 1995; Scherer *et al.*, 1995; Schultz *et al.*, 2000).

Quadro 1 - Localização das seções estudadas (em itálico, seções apresentadas na Fig. 5).

Afloramento	Coordenadas UTM (Fuso 22)		Descrição e Posição Estratigráfica no Membro Alemoa
	E	N	
<i>Vila Rossi 1(a e b)</i>	222947 m	6710116 m	Siltitos e arenitos; Base
Vila Rossi 2	223456 m	6710145 m	Siltitos e arenitos; Base
Distrito Industrial 2	222127 m	6712840 m	Siltitos e arenitos; Base
<i>Promorar (base e topo)</i>	233714 m	6710493 m	Siltitos e arenitos; Meio
<i>Vila dos Sargentos</i>	234943 m	6711624 m	Siltitos e arenitos; Meio
Vila Madre Paulina	227956 m	6710763 m	Siltitos e arenitos; Meio
Faixa Nova (Cerrito I)	229955 m	6711041 m	Siltitos; Meio
Faixa Nova (Cerrito II)	230246 m	6710710 m	Siltitos e arenitos; Topo
<i>Faixa Nova (Cerrito III)</i>	230455 m	6710531 m	Siltitos e arenitos; Topo
Cidade dos Meninos	236733 m	6713329 m	Siltitos; Topo
Arroio do Meio 1	239664 m	6714163 m	Siltitos; Topo
Vila Caturrita	224909 m	6714870 m	Siltitos e arenitos; Topo
Entrada para Quilombo	218381 m	6720567 m	Siltitos e arenitos; Topo

A partir do reconhecimento de feições estruturais de grande magnitude (lineamentos na ordem de dezenas de quilômetros) e de discontinuidades no terreno (falhas geológicas mapeadas e/ou inferidas) foi possível reconhecer seis blocos estruturais, onde as rochas sedimentares do Triássico Médio a Superior do sul do Brasil encontram-se pouco perturbadas. Estas áreas recebem os nomes das cidades mais importantes da região que ocupam, quais sejam: Santa Maria, Silveira Martins, Faxinal do Soturno, Agudo, Paraíso do Sul, Candelária. Este trabalho refere-se ao bloco Santa Maria, com razoável conhecimento geológico e paleontológico, em adição a trabalhos em andamento (mapeamento geológico 1:25.000, análise geométrica 3D do sistema aquífero Passo das Tropas, doutoramento do primeiro autor). As feições aqui identificadas serão correlacionadas, se possível, aos outros blocos estruturais acima descritos.

Identificação das paleoalterações

Os sedimentos aluviais, enquanto conjunto de materiais transportados e depositados por um fluxo aquoso em permanente movimento, são constituídos quase exclusivamente por partículas terrígenas, de granulometria variável em função da energia. No entanto, uma vez processada a deposição dessas partículas, todo esse material fica disponível para modificações físico-químicas mais ou menos profundas, incluindo a neoformação de carbonatos, sendo este o assunto a ser desenvolvido neste trabalho. Em ambientes continentais, em relação com a existência mais ou menos prolongada de corpos aquosos relativamente extensos (a partir dos quais se dá a precipitação de minerais), podem também se encontrar carbonatos considerados então já de gênese lacustre. Portanto, pode-se considerar que a forma e intensidade dos processos de paleoalteração e carbonatação estão associados diretamente à profundidade e frequência de oscilação do nível freático

(Fig. 3), onde um nível freático muito baixo leva à exposição prolongada dos depósitos, um nível alto a quase aflorante leva à carbonatação lateralmente extensa, e um nível mais alto que a superfície topográfica gera condições palustres e/ou lacustres. Este balanço entre a velocidade de ascensão do nível freático regional e a taxa de agradação da superfície topográfica pode ser uma importante ferramenta para o entendimento dos fatores controladores da evolução de uma bacia aluvial (Pimentel, 2003).

As paleoalterações em depósitos aluviais associam-se essencialmente com a exposição sub-aérea e a colonização vegetal. Tal ponto de vista corresponde ao conceito de pedogênese, em sentido estrito, enquanto conjunto de processos de formação de solos em estreita interação com a biosfera e a atmosfera (Retallack, 1997). No entanto, também em níveis subjacentes, no interior da faixa freática, podem ocorrer transformações importantes. Todo este conjunto de transformações inclui marcas físicas, químicas e biológicas, atribuíveis a processos de diversos tipos (Wright, 1989; Retallack, 2001; entre outros):

- i) biogênicos, incluindo a bioturbação mecânica, acumulação de matéria orgânica e gênese de rizoconcreções;
- ii) de neoformação, constituindo acumulações mais ou menos extensas de minerais de natureza variada (carbonatos, argilas, óxidos de Fe e Mn, sílica, etc.), cuja natureza traduz as condições geoquímicas locais, podendo gerar também colorações, por modificação da cor inicial, total ou em áreas parciais;
- iii) de modificação textural, resultante da movimentação de partículas no interior do solo, por ação gravitacional ou arrastadas pela circulação de fluidos intersticiais, contribuindo para a eluviação e iluviação;

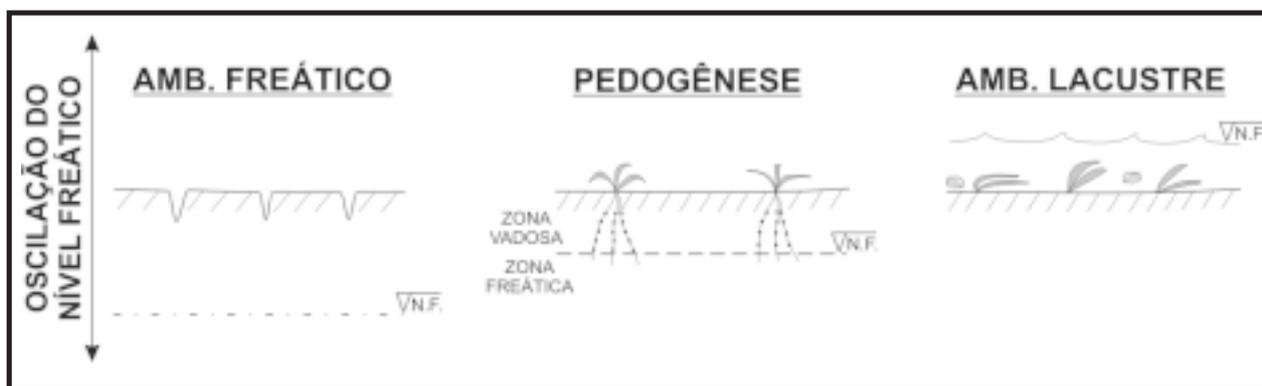


Figura 3 - Posições do nível freático em um perfil de solo.

iv) de modificação estrutural, resultante de movimentações de água, ar e partículas, contribuindo para a formação de horizontes pedogênicos e feições macro-estruturais (colunas, “torrões” ou “*peds*”, fendas, pseudo-anticlinais, etc.).

No decurso do reconhecimento de campo, estas feições foram sistematicamente identificadas, no sentido de estudar e compreender a sua gênese, bem como caracterizar a sua ocorrência e abundância. A distinção destas situações contribuiu para uma melhor compreensão das paleoalterações no Membro Alemoa.

Petrografia

A descrição dos carbonatos e paleoalterações do Membro Alemoa baseou-se na análise de 18 lâminas delgadas, coletadas em 13 afloramentos nas imediações da cidade de Santa Maria. Cinco afloramentos foram escolhidos para representar as feições aqui apresentadas (Tab. I, Figs. 4 e 5). As amostras de rochas foram laminadas com impregnação e utilização de corante azul de Ceres, para identificação da porosidade original.

A descrição petrográfica convencional foi feita no Laboratório de Microscopia do Programa de Pós-Graduação em Geologia da UNISINOS e na Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, seguindo a metodologia descrita em Retallack (1997, 2001). Foram reconhecidas, entre outras feições, a litologia original, as modificações biogênicas (traços de raízes e pedotúbulos), a presença de fendas (tipos, extensão, preenchimento), carbonatação (localização, volume, modificação da estrutura original), e as relações genéticas e temporais entre os processos.

DESCRIÇÃO DOS CARBONATOS E PALEOALTERAÇÕES

Neste ponto serão descritas as principais seções selecionadas e estudadas em detalhe, a tipologia das feições macroscópicas nelas observadas e a caracterização petrográfica dos carbonatos e paleoalterações em geral.

Feições macroscópicas

As seções estudadas compreendem afloramentos na região urbana de Santa Maria, correspondendo a porções de base, meio e topo do Membro Alemoa, Formação Santa Maria (Figs. 4 e 5).

Os afloramentos Vila Rossi 1 e 2 correspondem a afloramentos artificiais à margem da rodovia BR

158, que liga Santa Maria a Rosário do Sul, nas imediações da vila homônima. Representam pelitos avermelhados com intercalações areníticas, próximas ao contato com o Membro Passo das Tropas, portanto na porção basal do Membro Alemoa. É possível observar, à escala do afloramento Vila Rossi 2, um conjunto de camadas lateralmente extensas de arenitos, ora descoloridas, ora carbonatadas (Fig. 4c). Os pelitos apresentam feições de descoloração (mosqueamento), enquanto os arenitos possuem traços de raízes e bioturbações verticais de espessura milimétrica. Já o afloramento Vila Rossi 1 possui menor intercalação de arenitos, encontrando-se estes lateralmente contínuos e moderadamente carbonatados (Fig. 4a).

O afloramento Promorar localiza-se na RST 287, rodovia popularmente conhecida como “Faixa Nova”, a meio caminho entre o centro da cidade e o bairro Camobi. Ocupa uma posição intermediária do Membro Alemoa. Pode ser dividido, com base em suas feições, como base e topo. Na base, um conjunto de lentes areníticas de largura e espessura reduzidas encontram-se regularmente espaçadas, vertical e lateralmente (Fig. 4b). Em geral, há um aumento do grau de carbonatação em direção ao topo destas lentes, feição que será analisada mais adiante. A porção superior do afloramento Promorar apresenta pelitos avermelhados, com intercalações milimétricas de arenitos finos, lateralmente persistentes, apresentando descoloração, traços de raízes e cutanes argilosos.

O afloramento Vila dos Sargentos está localizado na rua Antônio Gonçalves Amaral, Parque Residencial Alto da Colina, defronte à esquina com a rua 8. Ocupa uma posição intermediária no Membro Alemoa. Constitui-se em uma intercalação de níveis pelíticos e areníticos, muito localizadamente carbonatados. As lentes areníticas centimétricas podem apresentar bioturbações verticalizadas tipo *Scoyenia* (Fig. 4d).

O afloramento Cidade dos Meninos, conjuntamente com o afloramento Faixa Nova, ocupa a porção de topo do Membro Alemoa. O afloramento Faixa Nova – Cerrito I localiza-se no entroncamento entre as rodovias BR 158 e RST 287, enquanto os afloramentos Faixa Nova – Cerrito II e III representam as porções aflorantes na rodovia RST 287, sentido Centro-Camobi. O afloramento Cidade dos Meninos está localizado no Orfanato Don Luis Guanella, no sopé do Morro do Elefante, bairro Camobi. São visíveis os siltitos argilosos avermelhados, maciços, com milimétricos níveis arenosos, parcialmente carbonatados (Fig. 4e). Nestes

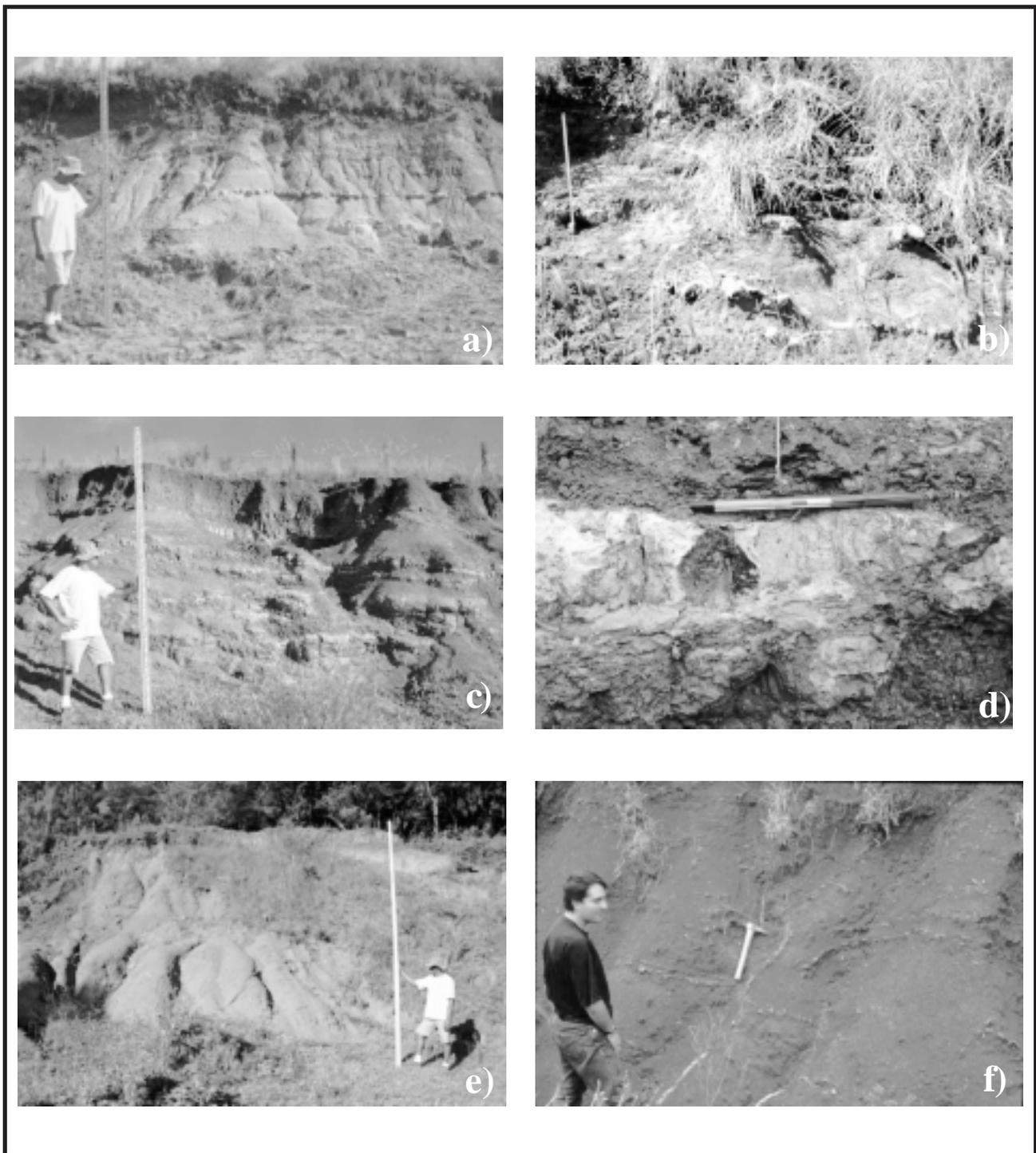


Figura 4 - Feições macro e mesoscópicas dos carbonatos e paleoalterações do Membro Alemoa, Formação Santa Maria, visíveis à escala de afloramento. (a) Afloramento Vila Rossi 1a, pelitos vermelhos com níveis de nódulos carbonáticos; (b) Afloramento Promorar base, lentes carbonáticas (*ponds*); (c) Afloramento Vila Rossi 2, intercalação de pelitos (mais escuros) e arenitos (mais claros); (d) Afloramento Vila dos Sargentos, bioturbações tipo *Scoyenia* em arenitos intercalados em pelitos vermelhos; (e) Afloramento Cidade dos Meninos, pelitos vermelhos, com carbonatação localizada; (f) Afloramento Faixa Nova – Cerrito III, fraturas horizontais e verticalizadas com preenchimento carbonático em pelitos vermelhos. Escala: (a), (c), (e) Régua topográfica, 3 m; (b) Trena, 1 m; (d) Caneta esferográfica, 15 cm; (f) Martelo, 30 cm.

níveis formam-se, ocasionalmente, nódulos e concreções carbonáticas. São comuns as substituições por calcedônia (Silvério da Silva, 1997).

Feições mesoscópicas

No interior dos depósitos predominantemente pelíticos e avermelhados do Membro Alemoa, são freqüentes os níveis descontínuos ou concreções de cor clara, por vezes carbonatados. Na área estudada foram reconhecidas diversas feições em afloramento, traduzindo diferentes graus de paleoalteração e neoformação carbonática. Suas feições mesoscópicas, visíveis em escala de afloramento, são descritas como segue (Fig. 5):

- i) Pelito Vermelho – siltitos argilosos vermelhos (padrão de cores Munsell, 5YR 5/6 a 6/4, até 10R 4/6), em leitos métricos maciços ou com

laminação fina, com fraturas decimétricas verticais a oblíquas, de espessura milimétrica (~ 1-2 mm), preenchidas por argila escura (10R 5/4). Os tetrápodes fósseis encontrados nestas litologias estão perfeitamente preservados por processos de substituição carbonática e rara a inexistente incrustação por carbonato mais óxidos de ferro e manganês (Holz & Barberena, 1994; Holz & Schultz, 1998; Holz & Souto-Ribeiro, 2000);

- ii) Pelito Mosqueado – siltitos pouco argilosos, alaranjados (10R 6/6) a esbranquiçados (10Y 6/2), maciços a laminados, em leitos de espessura inferior a um metro. Observam-se estruturas prismáticas centimétricas (“torrões” ou *angular to subangular blocky peds*, Retallack, 2001), definindo sucessivos leitos com grande continuidade lateral, separados por finas inter-

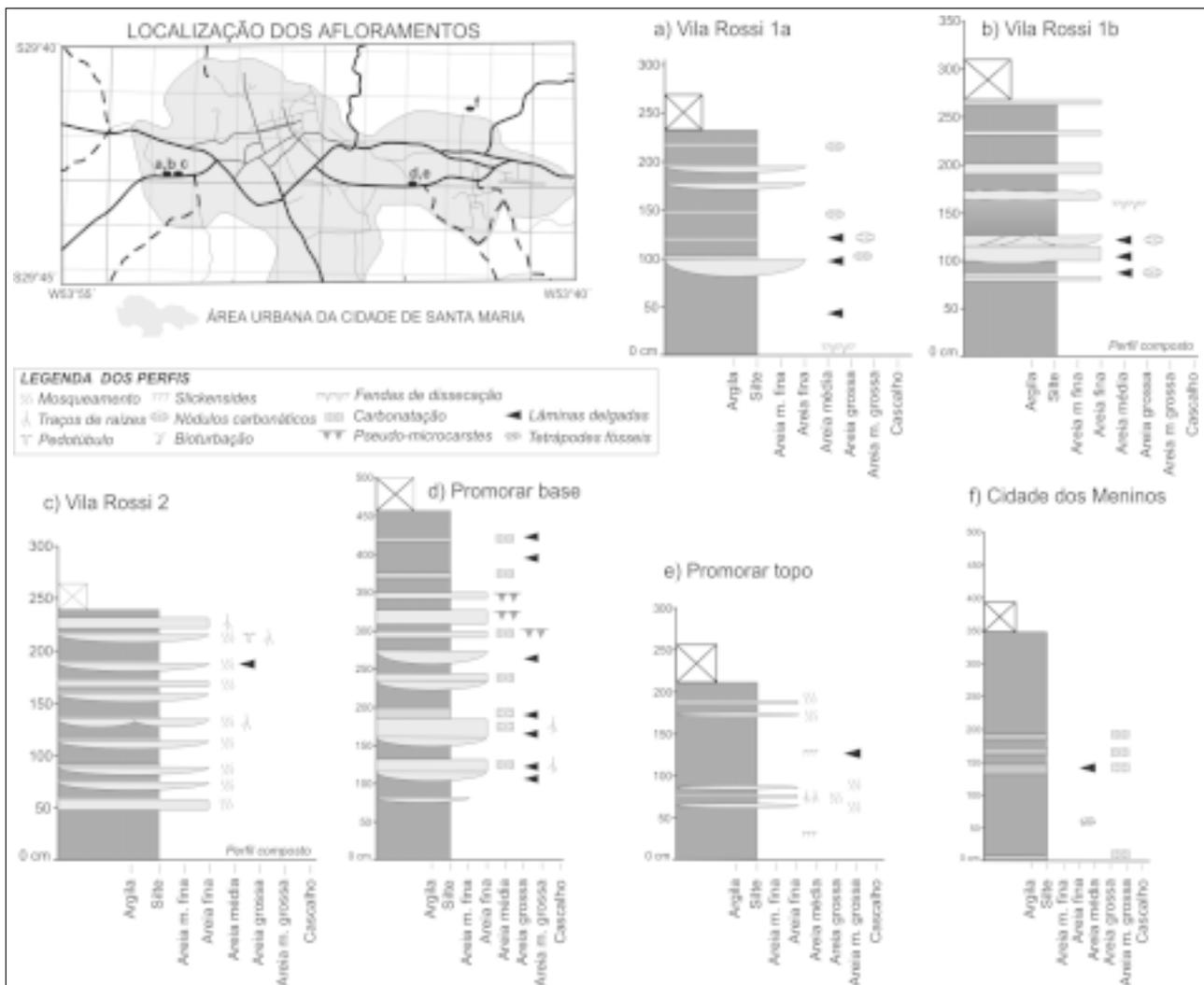


Figura 5 - Perfis colunares de afloramentos selecionados, evidenciando carbonatações e paleoalterações.

- calações de níveis pelíticos maciços vermelhos. A periferia dos torrões apresenta-se localizadamente esbranquiçada (reduzida), em manchas dispersas ou segundo orientações geralmente verticais, por vezes com preenchimento argiloso estriado (*slickensides*), conferindo a esta litologia seu aspecto mosqueado característico;
- iii) Vênulas Carbonáticas – rede de finos veios carbonáticos milimétricos esbranquiçados, no interior de pelitos vermelhos, com padrão arborescente. Esta malha pode ser mais ou menos densa e por vezes coalescente. Esta feição ocorre em manchas decimétricas lateralmente muito descontínuas, podendo desenvolver-se mais na vertical do que na horizontal;
- iv) Siltito/Arenito Carbonatado – Arenitos finos a muito finos ou silticos, em camadas lenticulares, com cerca de 10 a 20 cm de espessura e 1 a 5 m de extensão lateral. Em afloramento, apresentam-se esbranquiçados a cinzentos e endurecidos, destacando-se dos pelitos encaixantes. No interior destes leitos, é possível reconhecer manchas mais ou menos difusas com a cor avermelhada original. São observáveis algumas bioturbações verticalizadas, irregulares e com preenchimento argiloso vermelho, de espessura milimétrica (1-2 mm), ou outras mais tubulares, com 1-2 cm de espessura e preenchimento siltico-arenoso (tipo *Scoyenia*). Os vertebrados fósseis aí encontrados apresentam graus crescentes de destruição das paredes ósseas, por crescimento displacivo dos carbonatos e incrustação grosseira (Holz & Barberena, 1994; Holz & Schultz, 1998; Holz & Souto-Ribeiro, 2000);
- v) Lentículas Carbonáticas – lentículas esbranquiçadas a cinzentas, de espessura decimétrica (5-20 cm) e reduzida extensão lateral (0,5 a 1 m). A descontinuidade lateral é acentuada, encontrando-se estas lentículas geralmente afastadas mais de 3-5 m, enquanto na vertical o espaçamento é variável (0,5 a 2 m). Na maioria dos casos, estas lentículas encontram-se no topo e no centro das camadas de siltito/arenito carbonatado, distinguindo-se por sua maior cristalinidade, dureza e cor mais clara. Trata-se de um calcário muito compacto, sendo frequente a ocorrência de veios entrecruzados com preenchimento espático e/ou óxidos de Fe-Mn negros.

Feições microscópicas

A descrição das lâminas permitiu a caracterização de diferentes feições microscópicas (Fig. 6) nos cinco litótipos considerados:

- i) Pelito Vermelho – os grãos de silte a areia fina estão envoltos em uma massa argilosa oxidada, sem fábrica visível. A presença de argila dificulta o processo de impregnação e laminação, porém Silvério da Silva (1997) descreve a presença predominante de argilominerais do grupo das esmectitas;
- ii) Pelito Mosqueado – uma diminuição do conteúdo argiloso, provavelmente por iluviação, leva à modificação da cor nesta fácies para tons mais claros, apesar da maior oxidação apresentada;
- iii) Vênulas Carbonáticas – caoticamente ramificados, estes pequenos veios apresentam carbonato espático de média cristalinidade (esparita). Três microfácies podem ser identificadas: veios “limpos”, veios “sujos” (com óxidos de Fe e Mn) e veios com esparita rômbrica (Fig. 6f);
- iv) Siltito/Arenito Carbonatado – foram observados dois tipos de lâminas, correspondentes a graus crescentes de carbonatação. Em lâminas delgadas dos siltitos/arenitos menos carbonatados (Fig. 6a) observa-se a presença de grãos, essencialmente quartzosos, angulosos, por vezes com bordos corroídos, matriz argilosa com poros arredondados, elipsóides e alongados, com cerca de 2 mm de diâmetro, sempre com preenchimento por carbonato espático monocristalino, ou seja, apenas um cristal espático preenche totalmente os poros (Fig. 6b). Em outros siltitos, observam-se grãos igualmente quartzosos e com bordos corroídos, porém com matriz carbonatada micrítica e pequenas áreas arredondadas ou irregulares de microesparita (Fig. 6d). Na matriz observam-se quer orifícios preenchidos por esparita monocristalina, por vezes engolfando grãos quartzosos, quer fendas com 1 a 2 mm de largura e preenchimento espático policristalino ou de calcedônia.
- v) Nódulos/Lentículas Carbonáticas - geralmente constituídos por material carbonatado micrítico e microespático, dispostos em manchas irregulares, levando à formação de nódulos (nodulização) ou *pellets* micríticos (*grainification*, Freydet & Plaziat, 1982; Alonso Zarza *et al.*, 1992). No topo de algumas lentes carbonáticas, pode-se

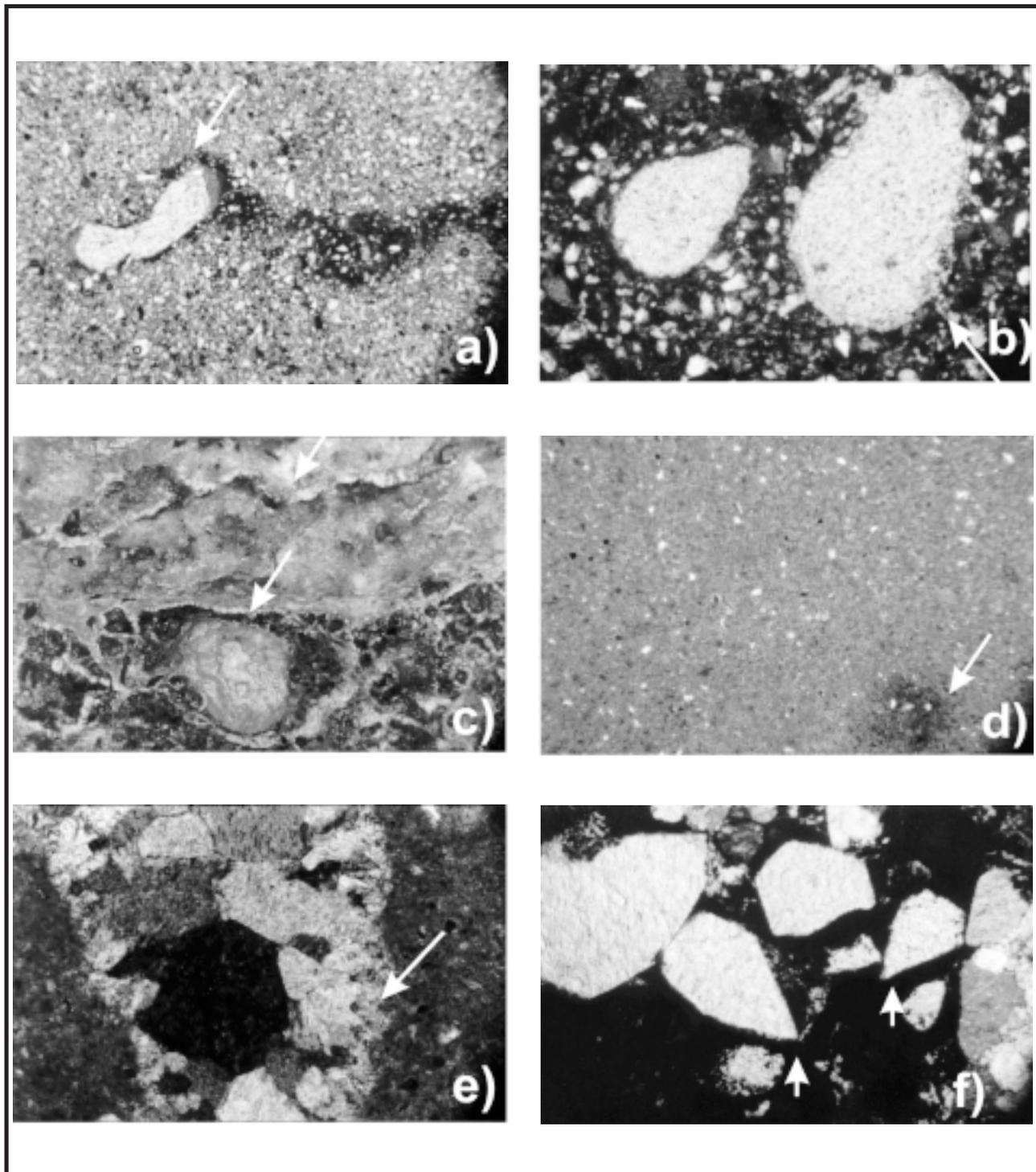


Figura 6 - Feições microscópicas dos carbonatos e paleoalterações do Membro Alemoa, visíveis em lâmina delgada. (a) Pedotúbulos com argila meniscada e preenchimento carbonático monocristalino, LN. Arenito fino carbonatado, afloramento Promorar base; (b) Detalhe de argila meniscada e preenchimento espático geopetal em pedotúbulo, LP. Siltito carbonatado, afloramento Promorar base; (c) Biolaminação em pelito vermelho oxidado, LP. Nódulo carbonático, afloramento Promorar base; (d) Siltito com matriz carbonática micrítica e oxidação localizada, LN. Afloramento Faixa Nova – Cerrito III; (e) Detalhe de preenchimento de fendas por carbonato espático policristalino, LP. Nódulo carbonático, afloramento Promorar base; (f) detalhe de carbonato rômboico associado a óxido de manganês no preenchimento tardio de veios; LP, nódulo carbonático, afloramento Promorar base. Luz natural = LN, luz polarizada = LP, escala = 500 μ m para todas as amostras.

formar biolaminação, pelo acúmulo de matéria orgânica depositada provavelmente por cianobactérias (“algas azuis-verdes”), com espessura total em lâmina delgada na ordem de poucos milímetros (Fig. 6e). Este material encontra-se atravessado por veios mais ou menos espessos, com preenchimento microespático seguido por intercrescimento espático (Fig. 6e), e a seguir a presença de óxidos negros (Fe-Mn). No centro encontram-se, por vezes, cristais rômnicos, bordados por óxidos.

Wright (1989, fig. 19) sugere uma subdivisão genética de calcretes com base em estudos de microfábrica de calcários, de acordo com sua origem química ou biogênica, nominando-os texturas alfa ou beta, respectivamente. As feições aqui descritas são predominantemente relacionadas à textura alfa, com microfábrica densa, nodulização, fendas complexas e/ou circum-granulares, carbonatos em cristais rômnicos e grãos sedimentares flutuantes.

INTERPRETAÇÃO

A análise lateral e vertical das características deposicionais preservadas nas litologias em estudo permite inferir que a evolução sedimentar deu-se em um ambiente de planície de inundação, com variações localizadas de relevo, drenagem e vegetação (Fig. 7). Um modelo deposicional para a região pode ser visualizado pelo análogo moderno do lago salgado (*salt pan*) Etosha, Namíbia (Buch & Rose, 1996), onde uma ampla região deprimida recebe anualmente a descarga pluvial, gerando um grande, porém raso, lago. O advento da estação seca promove o ressecamento generalizado da região e a formação de pequenos corpos d’água, geralmente alcalinos.

Faccini (2000) admite que o paleoambiente deposicional do Membro Alemoa, Formação Santa

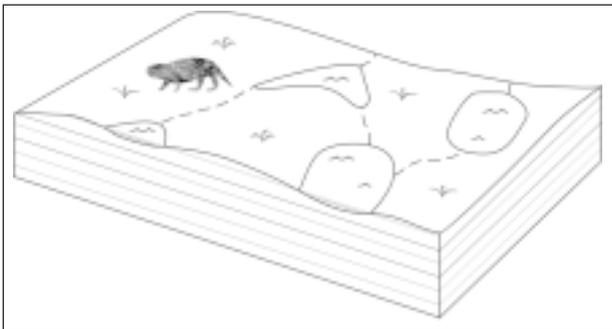


Figura 7 - Modelo paleoambiental das feições identificadas. Distância aproximada entre os corpos d’água: 2-3 m.

Maria, corresponde a planícies de inundação com esparsos e temporários corpos d’água, e a periódica formação de *crevasse splays*. Fonseca & Scherer (1998) indicam uma deposição de rios meandantes e suas respectivas planícies de inundação como o provável paleoambiente do pacote sedimentar representado pelas Formações Santa Maria e Caturrita.

Em muitas das feições observadas (descritas em 4), um nível freático próximo da superfície e oscilações mais ou menos rápidas ou pronunciadas foram condições favoráveis e potencializadoras da carbonatação e outras paleoalterações, na medida em que permitiram a mobilidade física e química dos materiais (Alonso-Zarza, 2003). Foram observadas feições que podem ser relacionadas com diferentes zonas, em função do nível freático no interior do perfil de um solo (Fig. 3): processos desenvolvidos em partes tendencialmente aeradas do solo (como é o caso das fendas de dissecação), desenvolvidos na zona vadosa periodicamente aerada (rizoconcreções, por exemplo) ou já na faixa freática com poros permanentemente colmatados por água (cimentação espática, por exemplo). Estas três situações são geralmente encaradas como definindo uma sucessão vertical descendente, da superfície para a profundidade. No entanto, para um mesmo relevo, o nível freático pode estar de tal modo alto que se aproxima, coincide ou ultrapassa mesmo a superfície. Neste último caso passaremos da pedogênese para condições de tipo lacustre extremamente raso, de ordem centimétrica (e.g., Sanz *et al.*, 1995). Deste modo, os processos pedogênicos (vadosos ou freáticos) e palustres poderão estar intimamente associados, como veremos em seguida.

Os Pelitos Vermelhos são fruto de deposição terrígena, em planície de inundação, sofrendo exposição sub-aérea e conseqüente oxidação das argilas. Sua pouca espessura indica níveis d’água relativamente rasos e extremamente efêmeros. Algumas feições de umedecimento-ressecamento das argilas estão presentes (*slickensides*), revelando a ocorrência de inundações periódicas.

Os Pelitos Mosqueados são depositados da mesma forma que os anteriores, sofrendo a ação de hidromorfismo pseudo-*gley*, como resultado de oscilação rápida do nível freático. Como conseqüência, apresentam-se oxidados, com fendas e *peds* em posições de nível freático baixo (Fig. 8a), e reduzidos (claros) em posições de nível freático alto.

As Vênulas Carbonáticas indicam um pelito de planície de inundação oxidado, seguido de colonização vegetal e rizoconcreções. Estas feições indi-

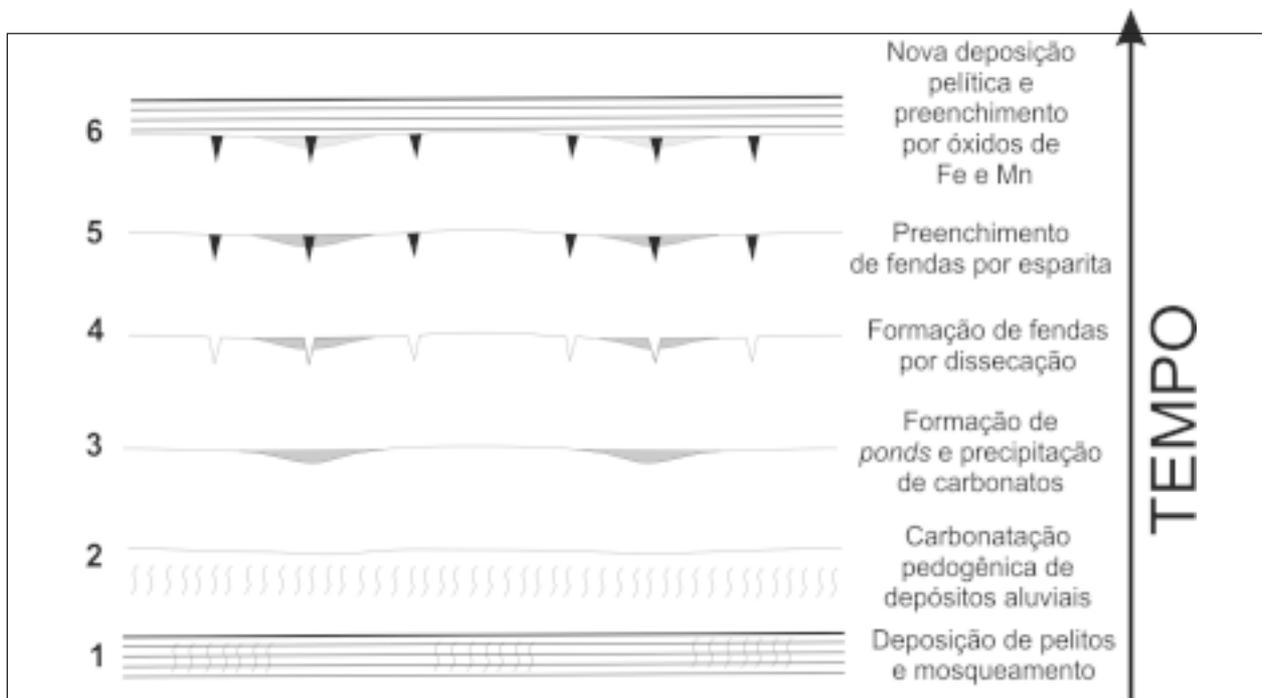


Figura 8 - Modelo interpretativo para as carbonatações presentes no Membro Alemoa, Formação Santa Maria, com base nas feições microscópicas e sobreposições observadas. As etapas 1 a 6 constituem um ciclo completo, resultante das oscilações do nível freático em relação com a deposição e exposição sub-aérea. Este ciclo pode ser interrompido e reiniciado, em função da própria dinâmica deposicional do sistema aluvial.

cam um período de tempo de exposição mais prolongado, com o nível freático variando, porém quase sempre abaixo da superfície e ao alcance das raízes (Fig. 8b). Retallack (2001) aponta as diferenças entre rizoconcreções em solos, indicando uma relação entre a profundidade e extensão lateral das raízes com o grau de umidade. Nos afloramentos estudados, os traços de raízes são centimétricos e sempre verticais, indicando baixa umidade superficial do solo, porém com relativa umidade em sub-superfície.

Os Siltitos/arenitos carbonatados representam a deposição siliciclástica de sedimentos finos por fluxo aquoso, com colonização vegetal e/ou animal, gerando poros, preenchidos por carbonatos (Fig. 6a,b). Em outros casos, ocorre cimentação total, por carbonato displacivo micrítico sin-deposicional e corrosivo sobre os grãos do arcabouço. Estes últimos depósitos são depois emersos e ressecados, formando fendas, depois preenchidas de novo por carbonato espático (com ou sem óxidos de Fe e Mn), em ambiente vadoso-freático.

A presença de Lentículas Carbonatadas micríticas indica a precipitação (bio)química de carbonatos em ambiente aquático, mas com repetidas variações da lâmina d'água (nodulização), gerando

um calcário de ambiente palustre (Alonso Zarza *et al.*, 1992; Bowen & Bloch, 2002; Calvo *et al.*, 1995; Sanz *et al.*, 1995; Wright & Platt, 1995). Da mesma forma que os depósitos anteriores, são submetidos a emersão e formação de fendas, com preenchimento espático (vide anterior). As pequenas irregularidades do relevo na planície de inundação parecem ser o local de deposição, posto que as lentes são de dimensões diminutas, vertical e lateralmente, porém persistentes na porção mediana da sucessão sedimentar. A equidistância entre as lentes parece corroborar esta hipótese (Figs. 4b e 7), possivelmente correspondendo ao padrão de preenchimento de pequenas depressões do relevo e a conseqüente formação de diminutos corpos d'água ('poças' ou ponds, Alonso-Zarza *et al.*, 1992).

CONCLUSÕES

Cada um dos tipos de fácies descritos corresponde no essencial ao resultado de posições globalmente mais ou menos elevadas e oscilantes do nível freático. Em nível freático baixo ocorreu a deposição e geração das principais feições pedogênicas registradas, como a formação de *slickensides*, *peds* e mosqueamento. Já em situa-

ções de nível freático alto a tendencialmente aflorante, a colonização animal e vegetal permitiu a geração de estruturas de maior porosidade, preenchidas por carbonato. O registro de corpos d'água de extensão lateral métrica ("poças d'água", *ponds*) na planície de inundação, com a formação de biolaminação por ação de cianofíceas (?), indica uma posição aflorante do nível freático.

Na medida em que o nível freático tende a variar ao longo do tempo, é de supor que tais situações possam gradar entre si. Uma tendência de subida do nível freático poderá ficar registrada como uma sucessão das feições observadas (Fig. 8): Pelito Vermelho → Pelito Mosqueado → formação de Vênulas Carbonáticas → Carbonatação freática (lateralmente extensa) ou vadosa (localizada) → geração de Lentes Carbonáticas. Esta sucessão indica, respectivamente, posições do nível freático: profundo e rapidamente exposto, vadoso oscilante, vadoso, freático, palustre. A associação vertical destes aspectos traduz a seqüência de acontecimentos à pequena escala local e temporal, sendo que a posição dos *ponds* ao centro/topo dos siltitos poderá resultar da microtopografia e drenagem interna.

Acresce que estas tendências são freqüentemente oscilatórias, devido à própria dinâmica deposicional, resultando na sobreposição de feições, tal como observado em lâmina. Assim se explica que um calcário depositado em ambiente sub-aquático palustre apresente marcas de variação da lâmina d'água (nodulização), de emersão prolongada (fendas de dissecação), seguidas por marcas de colmatação freática das mesmas (esparita freática). Em resumo, os aspectos observados traduzem essencialmente a posição predominante do nível freático relativamente à superfície, posição essa que variou ao longo do tempo.

A presença de cada um destes aspectos traduz, portanto, as condições hidrológicas e, conseqüentemente, a dinâmica deposicional. Variações verticais da ocorrência e abundância destas marcas, já observadas nas diferentes seções e em vias de sistematização à escala de seqüência, traduzem a maior ou menor tendência do sistema deposicional para alagar/encharcar, ou seja, o balanço entre os controles relacionados com o fluxo terrígeno e aquoso, espaço de acomodação, etc.

Os processos de paleoalterações ocorreram indistintamente sobre os depósitos sedimentares e seu conteúdo bioclástico, fato que tem grande importância tafonômica. Holz & Schultz (1998) descrevem os mesmos processos de carbonatação em

vertebrados fósseis do Triássico sul-rio-grandense, com formação de fendas e preenchimento por carbonato espático displacivo, e a presença de óxidos de Fe e Mn. Reconhecimentos de campo e de trabalhos anteriores baseados nas coleções paleontológicas existentes (e.g., Holz & Barberena, 1994) permitiram associar as classes tafonômicas de preservação com a distância dos canais e/ou o tempo de exposição.

Os freqüentes achados de tetrápodes fósseis nos pelitos vermelhos do Membro Alemoa foram transmitindo a idéia de que estas litologias representassem a maior parte do registro litológico aflorante (e.g., Bortoluzzi, 1974). Por outro lado, a falta de controle geológico-estratigráfico entre os afloramentos fossilíferos igualmente não permitia reconhecer as relações existentes entre modos de preservação, nível stratigráfico e presença de nódulos carbonáticos. Assim, o entendimento destas relações passa a ser possível mediante a observação de que, na região de Santa Maria, os fósseis mais bem preservados ocorrem no topo do Membro Alemoa, onde os processos pedogênico-freáticos são mais difusos. Estudos em andamento indicam que tais processos tiveram influência determinante na diagênese subsequente e, portanto, no estado de preservação dos achados fósseis (Holz & Schultz, 1998).

Da mesma forma, os processos de paleoalterações existentes poderão, no futuro, auxiliar para a quantificação do tempo envolvido na exposição e modificação da paisagem triássica, bem como no entendimento da evolução do sistema fluvial e da própria evolução biológica.

Agradecimentos - Externamos nossos agradecimentos ao Servidor João Batista Pinto Pereira (UFSM), pelo auxílio nos trabalhos de campo, ao Editor Chefe desta revista, Prof. Dr. Lauro Valentim Stoll Nardi, ao Dr. Gerson J. Terra e um revisor anônimo pelas sugestões apresentadas para a melhoria do manuscrito original.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alonso Zarza, A.M. 2003. Palaeoenvironmental significance of palustrine carbonates and calcretes in the geological record. *Earth Science Reviews*, **60**:261-298.
- Alonso Zarza, A.M.; Calvo, J.P. & García del Cura, M.A. 1992. Palustrine sedimentation and associated features – grainification and pseudo-microkarst – in the Middle Miocene (Intermediate Unit) of the Madrid Basin, Spain. *Sedimentary Geology*, **76**:43-61.
- Andreis, R.R.; Bossi, G.E. & Montardo, D.K. 1980. O Grupo Rosário do Sul (Triássico) no Rio grande do Sul. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 31, Balneário

- Camboriú, 1980. **Anais...** Balneário de Camboriú, SBG, v. 2, p.659-673.
- Andreis, R.R.; Lavina, E.L.; Montardo, D.K. & Teixeira, A.M. de S. 1982. Considerações sobre os troncos fósseis da Formação Caturrita (Triássico Superior) no Município de Mata, RS – Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 32, Salvador, 1982. **Anais...** Salvador, SBG, v. 4, p.1284-1295.
- Andreis, R.R. & Montardo, D.K. 1980. Paleosolos na Formação Caturrita (Triássico Superior), Santa Cruz do Sul, RS. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 31, Balneário Camboriú, 1980. **Anais...** Balneário Camboriú, SBG, v. 2, p. 674-682.
- Barberena, M.C. 1977. Bioestratigrafia Preliminar da Formação Santa Maria. **Pesquisas**, 7:111-129.
- Bortoluzzi, C.A. 1974. Contribuição à Geologia da Região de Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil. **Pesquisas**, 4 (1):7-86
- Bowen, G.J. & Bloch, J.I. 2002. Petrography and geochemistry of floodplain limestones from the Clarks Fork Basin, Wyoming, U.S.A.: carbonate deposition and fossil accumulation on a Paleocene-Eocene floodplain. **Journal of Sedimentary Research**, 72 (1):46-58.
- Buch, M.W. & Rose, D. 1996. Mineralogy and geochemistry of the sediments of the Etosha Pan region in northern Namibia: A reconstruction of the depositional environment. **Journal of African Earth Sciences**, 22(3):355-378.
- Calvo, J.P.; Jones, B.F.; Bustillo, M.; Fort, R.; Alonso Zarza, A.M. & Kendall, C. 1995. Sedimentology and geochemistry of carbonates from lacustrine sequences in the Madrid Basin, central Spain. **Chemical Geology**, 123:173-191.
- Da Rosa, Á.A.S. & Faccini, U.F. 2004. Delimitação de blocos estruturais na região central do estado do Rio Grande do Sul, Brasil. **Acta Geologica Leopoldensia**, (em preparação).
- Faccini, U.F. 1989. **O Permo-Triássico do Rio Grande do Sul – Uma Análise sobre o Ponto de Vista das Sequências Depositionais**. Dissertação de Mestrado, 133 p. Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- Faccini, U.F. 2000. **Estratigrafia do Permo-Triássico do Rio Grande do Sul: Estilos Depositionais versus Espaço de Acomodação**. Tese de Doutorado, 297 p., Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- Fonseca, M.M. & Scherer, C.M.S. 1998. The Meso and Late Triassic of south Brazilian Gondwanaland: a process oriented analysis of the fluvial deposits. In: EPICONTINENTAL TRIASSIC INTERNATIONAL SYMPOSIUM, 1, **Abstracts**, Alemanha, p. 51-52.
- Freytet, P. & Plaziat, J.C. 1982. Continental carbonate sedimentation and pedogenesis – Late Cretaceous and Early Tertiary of Southern France. **Contributions to Sedimentology**, 12, 213 p.
- Holz, M. & Barberena, M.C. 1994. Taphonomy of the south Brazilian Triassic paleoherpetofauna: pattern of death, transport and burial. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, 107:179-197.
- Holz, M. & Scherer, C.M.S. 2000. Sedimentological and paleontological evidence of paleoclimatic change during the SouthBrazilian Triassic: the register of a global trend towards a humid paleoclimate. **Zentralblatt für Geologie und Paläontologie**, 11-12: 1589-1609.
- Holz, M. & Schultz, C.L. 1998. Taphonomy of the south Brazilian Triassic herpetofauna: fossilization mode and implications for morphological studies. **Lethaia**, 31:335-345.
- Holz, M. & Souto-Ribeiro, A. 2000. Taphonomy of the south-Brazilian Triassic vertebrates. **Revista Brasileira de Geociências**, 30(3):487-490.
- Lavina, E.L.C. 1991. **Geologia sedimentar e paleogeografia do Neopermiano e Eotriássico (intervalo Kazaniano - Scitiano)**. Tese de Doutorado, 336 p. Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- Lima, M.C.F.S.; Richter, M. & Lavina, E.L.C. 1984. Paleoiictiologia da Formação Santa Maria (Grupo Rosário do Sul), RS - Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 33, **Anais...**, Rio de Janeiro,RJ., p. 563-573.
- Pinto, I.D. 1956. Artrópodos da Formação Santa Maria (Triássico Superior) do Rio Grande do Sul, com notícias sobre alguns restos vegetais. **Boletim da Sociedade Brasileira de Geologia**, 5 (1):75-87.
- Pimentel, N.L.V. 2002. Pedogenic and early diagenetic processes in Palaeogene alluvial fan and lacustrine deposits from the Sado Basin (S Portugal). **Sedimentary Geology**, 148: 123-138.
- Pimentel, N.L.V. 2003. Carbonate accumulations in alluvial deposits – pedogenic, palustrine, phreatic, or all together? In: 3rd LATINAMERICAN CONGRESS OF SEDIMENTOLOGY, **Abstracts**, Belém, PA, p. 52-54.
- Retallack, G.J. 1997. **A Colour Guide to Paleosols**. John Wiley & Sons, 175 p.
- Retallack, G.J. 2001. **Soils of the Past – An Introduction to Paleopedology**. Blackwell Science, 2nd. Edition, 404 p.
- Sanz, M.E.; Alonso Zarza, A.M. & Calvo, J.P. 1995. Carbonate pond deposits related to semi-arid alluvial systems: examples from the Tertiary Madrid Basin, Spain. **Sedimentology**, 42:437-452.
- Schneider, R.L.; Mühlmann, H.; Tommasi, Medeiros, R.A.; Daemon, R. & Nogueira, A.A. 1974. Revisão estratigráfica da Bacia do Paraná. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 27, Porto Alegre, 1974. **Anais...** Porto Alegre, SBG, v.1, p.41-65
- Scherer, C.M.S.; Faccini, U.F.; Barberena, M.C.; Schultz, C.L. & Lavina, E.L. 1995. Bioestratigrafia da Formação Santa Maria: utilização das cenozonas como horizontes de correlação. **Comunicações do Museu de Ciências e Tecnologia UBEA/PUCRS, Série Ciências da Terra**, 1:43-50.
- Schultz, C.L. 1995. Subdivisão do Triássico do Rio Grande do Sul com base em macrofósseis: problemas e perspectivas. **Comunicações do Museu de Ciências e Tecnologia- UBEA/PUCRS, Série Ciências da Terra**, 1:25-32
- Schultz, C.L.; Scherer, C.M.S. & Barberena, M.C. 2000. Biostratigraphy of southern Brazilian middle-upper Triassic. **Revista Brasileira de Geociências**, 30(3):491-494.
- Silvério da Silva, J.L. 1997. **Estudos dos processos de silicificação e calcificação em rochas sedimentares mesozóicas do Estado do Rio Grande do Sul**. Tese de Doutorado, 253p. Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- Wright, V.P., 1989. **Paleosols in siliciclastic sequences**. P.R.I.S. Short-courses 1, 98 p. University of Reading, UK.
- Wright, V.P. & Platt, N.H. 1995. Seasonal wetland carbonate sequences and dynamic catenas: a re-appraisal of palustrine limestones. **Sedimentary Geology**, 99:65-71.
- Zalán, P.V.; Wolff, S.; Conceição, J.C.J.; Marques, A.; Astolfi, M.A.M.; Vieira, I.S.; Appi, V.T. & Zanotto, G.A. 1990. Bacia do Paraná. In: Raja Gabaglia, G.P. & Milani, E.J. (coords.). **Origem e Evolução das Bacias Sedimentares**. CENPES-PETROBRÁS, 2ª edição, p. 135-168.