

CARACTERIZAÇÃO PALEOCLIMÁTICA DO TRIÁSSICO NO SUL DO BRASIL

*Michael Holz
Claiton M. S. Scherer*

O Triássico, período geológico do megacontinente único, conhecido como Pangea, deixou seu registro na região sul do Brasil na forma de rochas sedimentares vermelhas, notabilizadas pelo seu precioso patrimônio fossilífero. As feições sedimentológicas dessas rochas e seu peculiar conteúdo paleontológico permitem um rico exercício de reconstituição paleoclimática, possibilitando, através da integração das diversas evidências fornecidas por rochas e fósseis, caracterizar o clima no Triássico como sendo de regime semi-úmido, com estações de intensa precipitação pluviométrica alternando-se com períodos de seca. Tais evidências devem ser examinadas agora à luz dos conhecimentos da moderna geologia sedimentar e da paleontologia.

Introdução

O reconhecimento de climas antigos e de sua evolução consiste em um dos temas mais interessantes da geologia. Longe de ser tarefa fácil, a determinação do paleoclima exige a confluência de diferentes áreas do conhecimento. Um dos maiores problemas fundamenta-se no fato de que muitas das características do padrão climático atual não podem ser extrapoladas para o passado geológico.

Ao longo da história geológica existiram diferentes panoramas paleoclimáticos, desde momentos em que grande parte dos continentes existentes nas médias e baixas latitudes era recoberta por gelo, até períodos em que o clima foi bem mais quente que o atual, com temperaturas amenas mesmo em latitudes polares, levando à ausência das hoje familiares calotas de gelo polar. Essas mudanças climáticas decorrem das alterações da temperatura média do planeta e do posicionamento paleogeográfico do continente ao longo do tempo.

As inferências sobre a evolução paleoclimática do planeta tem fundamentalmente como base os “sedimentos climaticamente sensíveis”; ou seja, sedimentos que fornecem informações sobre as condições climáticas em que foram depositados, podendo-se usar como exemplos os tilitos¹, evaporitos², carbonatos, dunas eólicas e carvões. Além desses, os dados de fauna e de flora são bons indicadores das características climáticas dominantes à época. A partir da plotagem dos dados sedimentológicos e paleontológicos em mapas paleogeográficos, podemos reconstruir, com razoável segurança, o contexto climático geral existente em diferentes intervalos de tempo.

Contexto paleogeográfico e paleoclimático do Meso/Neo-Triássico

O período Triássico representa um momento singular na história paleogeográfica do planeta. Durante este período todas as massas continentais estiveram unidas em um único supercontinente denominado Pangea, que teve o seu início no final do Carbonífero com o choque entre o Gondwana e a Laurásia, alcançando o seu máximo desenvolvimento no Triássico, com adição de pequenos continentes à costa sudeste da Ásia. O megacontinente do Pangea encontrava-se disposto simetricamente em relação ao Equador, formando uma porção contínua de terra, estendendo-se de cerca de 85° N a 90° S. O nível do mar foi baixo no Triássico. Em decorrência disso, os depósitos sedimentares são eminentemente continentais, com sedimentos marinhos restritos à porção oeste da América do Norte, ao leste da Ásia e ao longo da linha de costa norte e sul do Tethys, o protomar mediterrâneo³.

¹ Termo que designa um característico conglomerado glacial, produto do degelo de uma geleira e da conseqüente deposição da carga sedimentar que ela levava.

² Rochas depositadas por precipitação química em ambientes de circulação marinha restrita e sob clima árido, que condiciona a evaporação da água.

³ TUCKER, B. R. & BENTON, M. J. Triassic environments, climates and reptiles evolution. *Palaeogeogr., Paleoclimatol., Palaeoecol.*, v. 40, p. 361-369, 1982.

A maior parte da área continental emersa do Pangea estava sujeita a alteração e erosão, com a deposição tomando lugar em bacias localizadas.

Se o período Triássico é singular em termos paleogeográficos, o mesmo pode ser dito no que se refere ao paleoclima. Uma simples visualização dos indicadores paleoclimáticos já revela significativas diferenças em relação à atualidade. O que mais chama a atenção é a ausência de depósitos glaciais (tilitos), fato que, somado à presença generalizada de plantas e animais indicativos de condições climáticas temperadas em latitudes superiores a 60°, sugere um clima bem mais quente quando comparado ao atual, existindo temperaturas amenas mesmo em latitudes polares.

Além do clima ser mais quente, as faixas de umidade e aridez eram totalmente diferentes das hoje existentes. Segundo Hallam, o Pangea foi caracterizado por um zoneamento amplo, reconhecendo três zonas climáticas: uma zona eminentemente úmida em latitudes baixas, uma zona sazonalmente úmida nas latitudes intermediárias, e uma zona árida nas latitudes mais elevadas⁴. Cabe notar que a região sul do Brasil, naquela época, estava situada na zona sazonalmente úmida, ou seja, dentro de uma região climaticamente caracterizada por estações chuvosas alternadas com períodos relativamente secos (Figura 1).

Essa caracterização paleoclimática pode ser melhor compreendida a partir da apresentação e discussão de diferentes tipos de evidências que permitem refinar e detalhar as condições climáticas da região sul-brasileira, durante o período Meso e Neo-Triássico.

⁴ HALLAM, A. A review of Mesozoic climate. *J. Geol. Soc. London*, v. 142, p. 433-445, 1985.

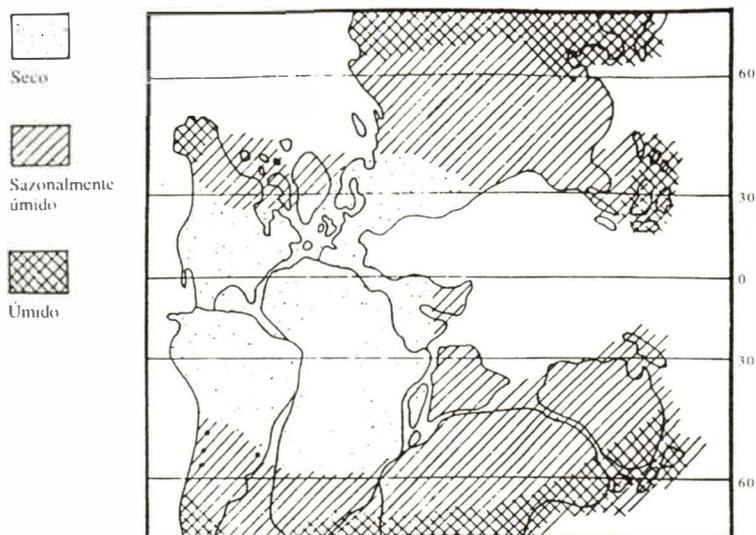


Figura 1. Representação esquemática das regiões áridas e úmidas do Triássico segundo Hallam. Os pontos pretos representam as bacias sul-americanas que contêm vertebrados fósseis (extraído de Faccini).

Evidências paleoclimáticas do Meso/Neo-Triássico Sul-Brasileiro

Para realizar um estudo paleoclimático, o pesquisador deve utilizar-se de todas as evidências disponíveis, tanto aquelas relacionadas aos tipos de rochas depositadas (evidências sedimentológicas) quanto aquelas pertinentes ao conteúdo paleontológico destas rochas: os fósseis indicativos de condições climáticas particulares, que habitavam apenas determinados ambientes ou viviam sob determinado regime termal.

Evidências sedimentológicas

Estudos sedimentológicos da Formação Santa Maria e Arenito Mata (vide coluna estratigráfica, Figura 2) têm contribuído com uma série de evidências que possibilitam a interpretação do paleoclima durante o Meso e Neo-Triássico. Em contraste com a abundância de depósitos eólicos do limite Permo-Triássico da Bacia do Paraná (Formação Sanga do Cabral), os depósitos do Meso e Neo-Triássico são caracterizados por sistemas fluviais e lacustres⁵, indicando condições mais úmidas para este intervalo de tempo.

A Formação Santa Maria pode ser subdividida em dois membros⁶: (1) Membro Passo das Tropas, basal, areno-conglomerático, de origem fluvial e (2) Membro Alemoa, pelítico-arenoso, de origem flúvio-lacustre (Figura 2).

O Membro Passo das Tropas é constituído por ruditos e arenitos, grossos a conglomeráticos, acinzentados; ocorre preenchendo paleovales que erodem a unidade subjacente (Formação Sanga do Cabral). Estes arenitos são lenticulares, apresentando internamente estratificações cruzadas acanaladas de pequeno a médio porte e subordinadamente laminações plano-paralelas, além de complexas estruturas de corte e preenchimento. De acordo com Faccini, as características estruturais e texturais dos arenitos permite vincular a sua gênese a um sistema fluvial entrelaçado, efêmero, de alta energia.⁷

Recobrimo de forma abrupta os arenitos fluviais, ocorrem pelitos avermelhados, maciços ou finamente laminados, intercalados com siltitos e arenitos finos, níveis de calcretes⁸ e paleosolos (Membro Alemoa). Esta associação faciológica é interpretada como um sistema lacustre, caracterizado por corpos d'água rasos e de grande extensão lateral.⁹ A freqüente intercalação de horizontes de caliches e de paleosolos com os pelitos avermelhados evidencia a presença de lagos efêmeros, que se desenvolviam durante períodos de intensa precipitação e secavam nos intervalos de menor umidade. Tal sazonalidade também é marcada pela cor vermelha primária dos sedimentos. Holz defende a idéia de que a cor dos sedimentitos triássicos é oriunda de concentrações primárias de óxidos de ferro, lixiviado e trazido das áreas-fonte durante as fases de intensa pluviometria.¹⁰

⁵ FACCINI, U. F. *O Permo-Triássico do Rio Grande do Sul. Uma análise sob o ponto de vista das seqüências deposicionais*. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Curso de Pós-Graduação em Geociências. Dissertação (Mestrado em Geociências), 1989. 121p.

⁶ ANDREIS, R. R.; BOSSI, G. E.; MONTARDOI, D. K. O Grupo Rosário do Sul (Triássico) no Rio Grande do Sul. In: CONGR. BRAS. GEOL., 31, Camboriú, 1980. *Anais*. Camboriú, SBG, v. 2, p. 659-673, 1980.

⁷ FACCINI, U. F. Op. cit.

⁸ Crostas carbonáticas que se formam nos horizontes de solo sob condições de clima semi-árido.

⁹ FACCINI, U. F. Op. cit.

¹⁰ HOLZ, M. A origem da cor vermelha nos sedimentitos do Triássico médio no Gondwana sul-brasileiro. *Acta Geologica Leopoldensia*, volume XV, n. 36, p. 157-58, 1993.

Em direção ao topo do Membro Alemoa ocorre um progressivo aumento da profundidade e dimensão dos corpos lacustres, acompanhado por um aumento na espessura dos depósitos deltaicos. Intercalados com os sedimentos lacustres, ocorrem arenitos finos a médios, esbranquiçados, com estratificações cruzadas de pequeno e médio porte, com abundantes intraclastos, vinculados a canais fluviais que se interdigitam com corpos lacustres. Desta forma, o padrão de empilhamento das fácies do Membro Alemoa aponta para condições climáticas sucessivamente mais úmidas, indicando um aumento da taxa de precipitação/evaporação ao longo do Meso e Neo-Triássico sul-brasileiro.

Condições predominantemente úmidas permanecem até o final do Triássico no sul do Brasil. Recobrimdo em discordância erosiva a Formação Santa Maria, ocorrem arenitos esbranquiçados, grossos a finos, com estratificações cruzadas acanaladas de médio a grande porte, intercalados com níveis lenticulares de siltitos e argilitos, interpretados como pertencentes a um sistema fluvial.¹¹ Associados as barras fluviais, ocorrem troncos fósseis silicificados de grande porte (Figura 2).

¹¹FACCINI, U. F. Op. cit.

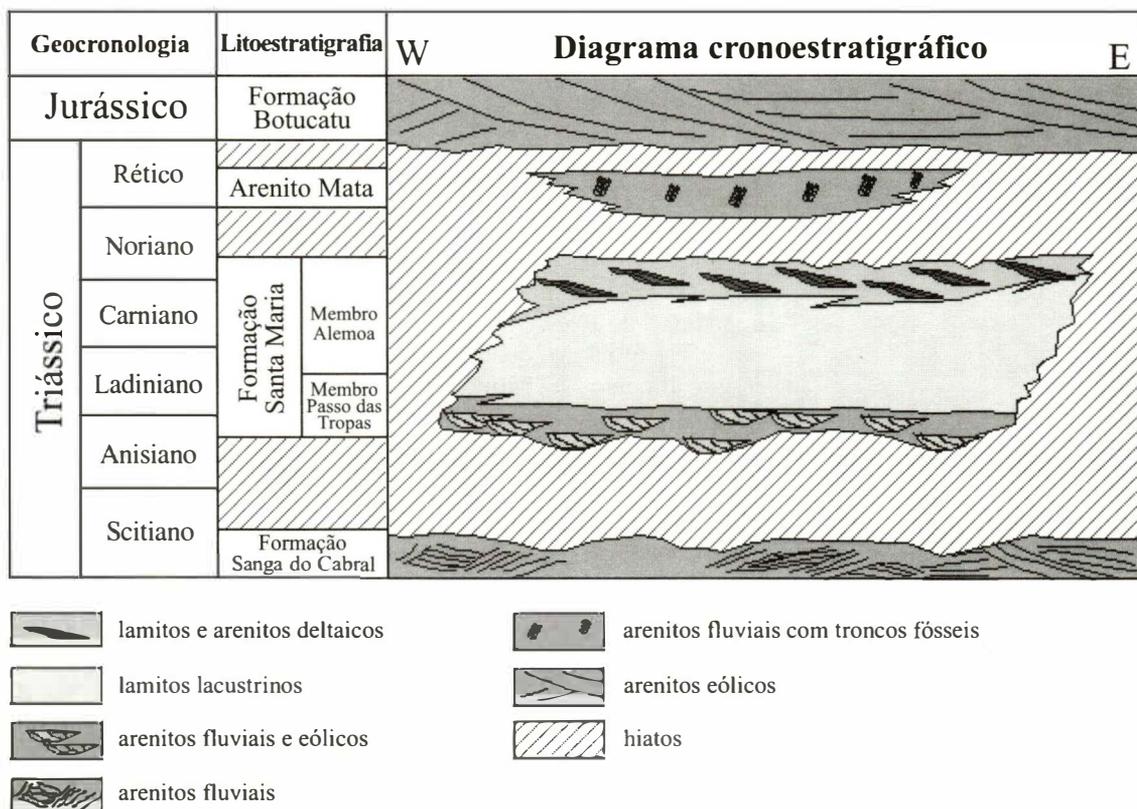


Figura 2. Coluna estratigráfica do Triássico no Rio Grande do Sul (baseada em Faccini e outros, modificado).

Em síntese, a interpretação da sucessão faciológica, revelando um domínio de sistemas deposicionais fluviais, aponta para um regime mais úmido do que árido, com importantes alternâncias entre períodos mais úmidos e mais áridos, mas com tendência a se tornar mais úmido em direção ao final do Triássico.

Evidências Paleontológicas

Os depósitos do Meso e Neo-Triássico sul-brasileiro apresentam diversificadas fauna e flora, com abundantes fósseis de plantas, conchostráceos não marinhos, além de uma rica fauna de paleovertebrados. Esses diferentes taxa fornecem importantes dados para a interpretação paleoclimática.

Paleontologia de Vertebrados

A fauna de tetrápodes das rochas em questão é composta basicamente de quatro grandes grupos reptilianos: cinodontes, tecodontes, rincossauros e dicinodontes, além de algumas formas de dinossauros. Todas as formas são quadrúpedes terrestres, sendo atribuído hábito anfíbio a apenas uma forma de tecodonte (*Proterochampsia*). Para mais detalhes sobre essa importante paleoherpetofauna, o leitor deve consultar Schultz¹². O que chama atenção é a ausência de fósseis de peixes e de anfíbios, que, embora ocorrendo durante o Triássico em outras partes do mundo, em localidades correspondentes à faixa de clima eminentemente úmida de Hallam, nunca foram encontrados nas rochas do Meso-Neo-Triássico do sul do país. Tal fato parece corroborar a teoria segundo a qual os corpos aquáticos não eram perenes. Durante as fases secas, os répteis poderiam migrar para zonas mais favoráveis, hábito de vida que os peixes e anfíbios são impedidos de exercer.

Deste modo, conclui-se que a presença massiva de répteis essencialmente de hábito terrestre e a ausência de anfíbios e peixes indica um regime climático que levava a cíclicas variações da quantidade de água no sistema deposicional flúvio-lacustre, como é característico de regiões de clima úmido, mas que têm significativos períodos semi-áridos intercalados.

Evidências Paleobotânicas

Conforme observação de Bolzon, o padrão observado nos anéis de crescimento dos troncos fósseis de coníferas indica um clima quente e sazonalmente úmido. Associado a isto, os processos de silicificação destes troncos ocorreram em ambientes de oscilação do nível de água e, provavelmente, em regiões de clima quente. Durante os períodos de umidade, a água da chuva promovia a dissolução da sílica presente no sedimento, ocorrendo formações de soluções silicosas que eram concentradas durante os intervalos secos.¹³

¹²SCHULTZ, C. L. Os répteis fósseis da região de Santa Maria. *Ciência e Ambiente*, Santa Maria, 10:7-25, 1995.

¹³BOLZON, R. T. *A lignitaflores Mesozóica do Rio Grande do Sul (Brasil): métodos de estudo e considerações sobre tafonomia, paleoecologia e paleoclimatologia*. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Curso de Pós-Graduação em Geociências. Dissertação (Mestrado em Geociências), 1993. 121p.

Desta forma, embora não sejam indicadores paleoclimáticos muito fortes, a presença e o tipo de troncos fósseis reforçam a interpretação de um clima sazonalmente úmido.

Conchostráceos

Moldes de conchostráceos (brânquiópodes) ocorrem em sedimentitos da Formação Santa Maria, sendo também relatados em sedimentitos de idade equivalente no norte da Argentina.

Atualmente, esses pequenos animais do grupo dos crustáceos vivem confinados a corpos lacustres temporários e freqüentemente não muito grandes, destacando-se na ausência de faunas residentes de peixes.¹⁴ A exclusão mútua peixe-conchostráceo parece ocorrer também no registro fossilífero e está relacionada à natureza temporária de existência dos corpos lacustrinos habitados por conchostráceos. Para Frank os microcrustáceos são comumente vinculados a lagos em zonas climáticas quentes e subáridas. Desta forma, sua presença nos sedimentitos Meso/Neo-Triássicos da região estudada corrobora, junto com a ausência de fósseis de peixes, a idéia de um clima sazonalmente úmido para o Triássico sul-brasileiro.

Modelo tafonômico

Um modelo bioestratinômico estabelecido para o Meso-Neo-Triássico alguns anos atrás¹⁵ aponta para um mecanismo de preservação que tem início em períodos de mega-enchentes.

Durante as enchentes, as planícies se transformavam rapidamente porque os rios transbordavam, inundando as partes emersas. Boa parte das manadas, surpreendidas pela repentina modificação em seu habitat, era vitimada nessas enchentes, morrendo por afogamento. Fenômeno análogo pode ser encontrado atualmente nas planícies da África central, onde períodos de chuva anormal fazem transbordar os rios e afetam pesadamente as manadas de ungulados ali viventes.

O resultado pós-inundação é uma grande quantidade de animais mortos, de todas as classes de idades, já que uma catástrofe natural desse tipo afeta indistintamente todas as faixas etárias de uma população.

Ao se analisar os esqueletos inteiros e articulados encontrados, nota-se que os mesmos, na maioria das vezes, apresentam-se em uma posição não natural, diferente de um animal que tivesse tombado e sido soterrado no local da morte. Os esqueletos encontrados apresentam-se contorcidos, com os membros e a cauda freqüentemente entrelaçados e o crânio revirado ou o pescoço torcido. Isso sugere claramente que as carcaças dos animais foram remexidas depois da morte. Provavelmente ficaram flutuando, inchadas pelos gases da necrólise precoce, vindo a afundar na

¹⁴FRANK, P. W. Conchostraca. *Palaeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol.*, v. 62, p. 399-403, 1988.

¹⁵HOLZ, M. & BARBERENA, M. C. Taphonomy of the south Brazilian Triassic paleoherpetofauna: pattern of death, transport and burial. *Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology*, Amsterdam, 107:179-197, 1994.

lama ou a encalhar nas margens dos corpos aquosos, resultando em um padrão de preservação típico.

Após a inundação, o nível das águas voltava ao normal e a parte das carcaças exposta era retrabalhada por necrófagos e pelos agentes naturais do intemperismo, o que deu origem aos restos fósseis desarticulados e/ou fragmentados que se encontram com frequência nas rochas daquela região.

A análise do processo de fossilização, por sua vez, mostra que ocorria uma fase de intensa precipitação de carbonato de cálcio na fase eo-diagenética, quando os elementos esqueléticos se achavam a pouca profundidade de soterramento. O mecanismo lembra aquele da formação de caliche, crostas endurecidas que se constituem no horizonte de solo em regiões onde fases de intensa pluviometria são seguidas por fases áridas. Durante as fases áridas, a água do nível freático sobe por capilaridade e cristais de calcita ou quartzo (dependendo dos elementos disponíveis) se formam nos espaços existentes, isto é, nos poros do material sedimentar e nos vazios naturais dos restos orgânicos. Análises micropetrográficas realizadas no material fossilífero da Formação Santa Maria mostram precipitação de calcita na zona esponjosa e nos canais de vasculação dos ossos, inclusive destruindo a anatomia interna e deformando-os morfológica e volumetricamente.¹⁶

Em resumo, os estudos tafonômicos informam que a história de preservação da paleoherpetofauna, desde a morte dos animais até a sua fossilização, é dominada por uma alternância entre fases extremamente úmidas e fases mais áridas, vindo a somar com as demais evidências paleoclimáticas.

Considerações finais

Tanto os dados sedimentológicos-estratigráficos, quanto os dados paleontológicos apontam, ao contrário das hipóteses anteriormente aceitas, uma condição climática úmida para o pacote Meso/Neo-Triássico sul-rio-grandense.

A presença na Formação Santa Maria de depósitos fluviais associados geneticamente a depósitos lacustres que contêm uma rica e diversificada paleofauna de vertebrados, indica a presença abundante de água no sistema. No entanto, as chuvas não se distribuíam de maneira uniforme durante todo o tempo. A intercalação de níveis de calcretes e paleosolos com pelitos avermelhados, denuncia a existência de lagos efêmeros, que tinham o seu máximo desenvolvimento durante os períodos chuvosos, secando nos intervalos de menor taxa de precipitação. Os dados tafonômicos disponíveis reforçam essa interpretação.

O Arenito Mata, que se encontra sobreposto à Formação Santa Maria, vem reforçar o modelo, sugerindo que as condições climáticas caracterizadas por uma estação chuvosa bem marcada

¹⁶HOLZ, M. & SCHULTZ, C. L. Taphonomy of the Southern Brazilian Triassic paleoherpetofauna: fossilization mode and implications for morphological studies. *Lethaia*, Stockholm, 1998. 24p. (submetido).

¹⁷HOLZ, M. & SCHERER, C. M. Sedimentological and paleontological evidence for palaeoclimatic change during the Southbrazilian Triassic: a register of a global trend towards a humid paleoclimate. *Epicontinental Triassic International Symposium*, Halle, Proceedings, 1998, (submetido).

Michael Holz e Claiton M. S. Scherer são professores do Departamento de Paleontologia e Estratigrafia do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

perduraram até o final do período Triássico. A unidade Mata é composta por arenitos esbranquiçados com estratificação cruzada acanalada, interpretados como um sistema fluvial entrelaçado de alta energia. Associado a estes arenitos são encontrados troncos fósseis indicativos de um clima sazonalmente úmido.

Os estudos ainda em andamento nos permitem correlacionar todas as ocorrências de rochas Meso/Neo-Triássicas no Gondwana, para verificar se essa caracterização climática é consistente ao longo de uma mesma faixa de paleolatitudes.¹⁷ Investiga-se também o fator controlador da alternância climática verificada. Até o momento não se pode afirmar que o controle é sazonal, o mais conhecido dos controles sobre o clima. Outros ciclos climáticos, tanto de curta duração (por exemplo, ciclo *El Niño*, ciclo de manchas solares, ciclo de Bruckner) quanto de duração "geológica" (por exemplo, Ciclos de Milancovitch) podem ser reconhecidos em sedimentitos antigos, porém, para o Triássico sul-brasileiro precisam ser investigados.