Pesquisas em Geociências

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

Tempestades de Inverno e Altas Taxas de Mortalidade de Répteis Mesossauros. Um Exemplo a Partir do Afloramento Passo São Borja, RS

Ernesto Lavina, Dina Araujo Barberena, Sérgio Alex Azevedo

Pesquisas em Geociências, 18 (1): 64-70, Set./Dez., 1991.

Versão online disponível em:

<http://seer.ufrgs.br/PesquisasemGeociencias/article/view/21367>

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 - Set./Dez., 1991.

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

**Tempestades de Inverno e Altas Taxas de Mortalidade
de Répteis Mesossauros. Um Exemplo a Partir do Afloramento
Passo São Borja, RS**

ERNESTO L. LAVINA¹, DINA C. ARAUJO-BARBERENA² e SÉRGIO ALEX K. AZEVEDO³

¹Centro Tecnológico UNISINOS. Av. Unisinos, 950 CEP 92030 São Leopoldo, RS
²Instituto de Geociências UFRGS. Av. Bento Gonçalves, 9.500 CEP 91500 Porto Alegre, RS
³Museu Nacional UFRJ. Quinta da Boa Vista - CEP 20942 Rio de Janeiro, RJ

(Recebido em 30/07/91. Aceito para publicação em 29/11/91.)

Abstract — The outcrops of Irati Formation at Passo de São Borja, Rio Grande do Sul, Brazil, are made up of a succession of black bituminous or non-bituminous shales and mud-stones which represent an anoxic and offshore depositional environment. A clastic carbonatic body, with thickness up to 1.0 m, is intercalated in this sequence. A bed of calcirudite (10 to 20 cm thick), at the bottom of the body, grades upwards to fine-grained calcarenites, 20 to 40 cm thick, where wavy laminations and hummocky cross-stratifications can be seen. At the base of the calcarenite beds, levels of high concentration of fragmented mesosaurian bones occur. A bed of bituminous shales, 5 to 10 cm thick, which overlies the topmost calcarenite, is almost exclusively composed of articulated skeletons of those reptiles. As it is usually accepted that wavy laminations and hummocky cross-stratification are generated during the passage of great storm waves over the bottom of shallow seas, we postulate that the above mentioned level of high mortality is related to modifications introduced by storms in the physical and chemical environmental parameters. Storm-produced waves may erode and provoke the suspension of sediments deposited at depths not reached by waves generated during intervals of good weather, when the climatic variations are kept under a normality pattern. Provided that storm waves acted over an anoxic offshore realm, a large volume of fine-grained sediments would probably be brought into suspension; at the same time, a certain amount of hydrogen sulfide might be displaced from deeper to shallower waters. In this case, due to reaction between H₂S and the water-soluted oxygen, the water could turned into partial or totally anoxic; as a consequence, all the aquatic organisms, dependent on water-soluted oxygen, would be affected (fishes and invertebrates). In addition, the altered stratification of water, turbidity, the lack of oxygen and possible changes of pH would affect the planktonic organisms as well. In spite of being air-breathers, the mesosaurian reptiles would face a most severe shortage of being air-breathers, the mesosaurian reptiles would face a most severe shortage of food which determined a massive mortality among them. Winter storms, inferred from paleogeographical evidences and from paleolatitudinal position of Rio Grande do Sul State during the deposition of Irati Formation, may have been the source of the great waves that caused such a paleoecologic disturbance.

Resumo — A Formação Irati que aflora na localidade de Passo São Borja é constituída por uma sucessão de folhelhos e siltitos pretos betuminosos e não-betuminosos, depositados em condições de costa-afora anóxico. Nesta seqüência, intercala-se um pacote clástico carbonático com espessura de até um metro. Este pacote inicia, na base com uma camada de calcirrudito, com 10 a 20 cm de espessura, e passa superiormente a calcarenitos finos, com 20 a 40 cm de espessura, onde são encontradas laminações onduladas e estratificações cruzadas **hummocky**. Na base das camadas de calcarenitos ocorrem níveis com grande concentração de fragmentos ósseos de répteis mesossauros. Acima do último calcarenito, encontra-se uma camada de folhelhos betuminosos com 5 a 10 cm de espessura, constituída quase que exclusivamente por esqueletos articulados destes répteis. Aceita-se usualmente que as laminações onduladas e estratificações cruzadas **hummocky** sejam geradas durante a passagem de grandes ondas de tempestade sobre fundos de mares rasos. Deste modo, postulamos que o nível de grande mortalidade acima referido, teve relação com modificações nos parâmetros físico-químicos ambientais, introduzidas pelas tempestades. Admite-se que as vagas produzidas pelas tempestades de grande magnitude possam erodir e colocar em suspensão sedimentos que se encontrem a profundidades maiores que aquelas alcançadas pelas ondas geradas nos intervalos de tempo bom, onde as variações climáticas mantêm-se dentro de um padrão de normalidade. Caso as ondas de tempestade varram uma região de costa-afora anóxico, um grande volume de sedimento fino provavelmente será colocado em suspensão, assim como certa quantidade de ácido sulfídrico poderá ser mobilizada da região mais profunda para águas mais rasas. Neste caso, devido a reação do ácido sulfídrico com o oxigênio dissolvido na água, esta pode ficar parcial ou totalmente anóxica e, em conseqüência, todos os organismos que dependam diretamente do oxigênio da água (peixes e invertebrados) serão afetados. A quebra da estratificação da água, a turbidez, a falta de oxigênio e possíveis mudanças de pH, em conjunto, afetariam também os organismos planctônicos. Os mesossauros, ainda que respirassem oxigênio da atmosfera, seriam afetados em decorrência da falta de alimento. Inferências sobre a paleogeografia e a paleolatidade do Estado do Rio Grande do Sul à época da Formação Irati, permitem sugerir que tempestades de inverno fossem as geradoras das grandes vagas aqui descritas.

INTRODUÇÃO

A constatação de que ocorrem, na natureza, eventos de magnitude muito maior do que aqueles presentes no dia-a-dia encontra-se bem marcada no espírito

humano desde longa data, pois sempre existiram grandes catástrofes naturais tais como terremotos, maremotos, furacões, inundações, pragas, pestes, etc. Um dos primeiros cientistas a reconhecer a existência de grandes desvios da normalidade nos depósitos antigos foi Cu-

vier, que relacionou as sucessões de faunas continentais e marinhas da Bacia de Paris com eventos de transgressões e regressões episódicos. Seguindo os padrões de pensamento de sua época, Cuvier interpretou estes eventos como evidências da ação divina, provocando dilúvios universais para corrigir possíveis imperfeições no ato da criação. Embora hoje, com uma cultura geológica mais aprimorada, percebamos o notável poder de observação de Cuvier, a ponto de podermos sugerir-lo como o precursor do conceito de **sedimentação episódica**, devemos registrar que suas idéias contribuíram significativamente para o desenvolvimento do **Catastrofismo Bíblico**.

Para contrapor-se a este contexto científico-religioso, que dificultava ou mesmo impedia o desenvolvimento de novas idéias sobre a história geológica da Terra, tornou-se necessário introduzir a idéia de que as transformações ocorrem de forma lenta e gradual, através dos processos normais do dia-a-dia. A visão uniformitarista da evolução do planeta, antes de constituir-se em uma tentativa dos primeiros geólogos de entender a natureza, cumpriu uma missão fundamental, qual seja a de possibilitar a introdução de conceitos novos e muitas vezes heréticos.

O sucesso deste procedimento foi total e condicionante do pensamento geológico por mais de uma centena de anos. Ao longo deste tempo, foram se acumulando evidências de que o presente nem sempre era a chave do passado (e.g. eras glaciais, paleogeografia das grandes massas continentais). Mas, a par disto, o estudo das rochas sedimentares e das transformações planetárias seguia, de um modo geral, uma tendência nitidamente uniformitarista. Apenas recentemente, as idéias de que no registro encontram-se impressos eventos de muito grande magnitude e, que, ao longo de um pacote de rochas ocorrem lacunas e descontinuidades significativas, foram introduzidas de uma forma clara e precisa (e.g. Seilacher, 1982; Dott, 1983).

Neste aspecto, o grande desenvolvimento ocorrido no reconhecimento e interpretação de fácies sedimentares, sistemas e seqüências deposicionais foi de fundamental importância. O caráter episódico de registro sedimentar encontra-se já, em larga medida, incorporado aos trabalhos de cunho estratigráfico. Até o momento, entretanto, relativamente poucos trabalhos tem se dedicado a examinar quais os efeitos destes eventos sobre a biota e, quando o fazem, voltam-se invariavelmente para as fases de grandes extinções como as dos limites Permo-Triássico e Cretáceo-Terciário. Eventos de natureza mais local, tais como a presença de delgados níveis com grande abundância de organismos, presença de grande quantidade de carapaças ou conchas na base de camadas de turbiditos ou tempestitos, ainda passam relativamente despercebidos no seu significado episódico.

Nossa proposta, no presente estudo, é a de analisar a ocorrência de um destes eventos raros e sua possível relação com os períodos de grande mortalidade de répteis mesossauros, tal como o verificado na Formação Irati que aflora na localidade de Passo São Borja-RS. Uma ver-

são resumida deste trabalho foi apresentada no XI Congresso Brasileiro de Paleontologia (Lavina *et al.*, 1989). Della Favera, 1987 apresentou uma nota sobre tempestades como agentes de poluição ambiental, dando a conhecer nossa interpretação sobre a alta taxa de mortalidade dos répteis mesossauros encontrados no Alforamento Passo São Borja da Formação Irati.

O AFLORAMENTO DE PASSO SÃO BORJA

Os níveis aqui estudados afloram nas margens do rio Santa Maria, a sudoeste da cidade de São Gabriel e apresentam, em essência, a mesma faciologia encontrada na parte basal do Grupo Passa Dois do restante da borda leste da Bacia do Paraná. Aqui também é encontrada a monótona sucessão de folhelhos e siltitos pretos betuminosos e não-betuminosos, com intercalações de calcários amarelo-palha, que são usualmente referidos ao Membro Assistência da Formação Irati (e.g. Schneider *et al.*, 1974). No Rio Grande do Sul, tais níveis são normalmente designados de fácies Tiaraju. Os níveis superiores, constituídos por siltitos maciços, cinza escuros e não betuminosos, podem já ser incluídos na base da Formação Serra Alta (ou na fácies Valente da Formação Irati *sensu* Figueiredo F^o, 1972).

Os 4 m basais do afloramento são constituídos por siltitos e folhelhos pretos, betuminosos, bastante alterados por intemperismo. Ressalta neste intervalo a total ausência de qualquer esqueleto ou mesmo fragmentos ósseos de répteis, fato já anteriormente referido por Oelofsen & Araujo (1983).

Acima, ocorre um pacote tabular de calcirrudito e calcarenitos, com aproximidade 1m de espessura, cuja gênese é de fundamental importância para nosso estudo (Figs. 1 e 2). O nível de calcirrudito ocorre na base deste pacote, atingindo até 20 cm de espessura, sendo composto por clastos de até 10 cm de diâmetro, angulosos a sub-arredondados, exibindo granodecrescência ascendente. O contato basal, com os folhelhos, é erosivo, e superiormente, o calcirrudito grada para um calcarenito fino, com 20 a 30 cm de espessura, o qual exhibe, como estruturas primárias, laminação ondulada e estratificação cruzada **hummocky**, com até 8 m de comprimento de onda e ângulos de truncamento muito baixos (Figs. 2 e 3). Para o topo, o porte das estratificações cruzadas diminui, sendo que os últimos 5 cm são compostos por calcarenitos finos com laminação truncada por ondas e, a superfície da camada encontra-se ondulada (marcas de ondas simétricas) com direção das calhas para 340°. Acima deste primeiro calcarenito, ocorre 10 cm siltitos cinza escuros com acamamento lenticular e **wavy** e, a seguir, uma nova camada de calcarenito fino com laminação ondulada na base passando a estratificação cruzada **hummocky**. Associados aos calcarenitos foram encontrados fragmentos esqueléticos de invertebrados, tais como gastrópodos e pelecípodos, e um número extraordinário de ossos de mesossauros. Estes últimos, além da abundância, chamam logo a atenção do observador, por seu excelente estado de preservação à nível de detalhe osteológico. Contudo, os esqueletos dos

mesossauros acham-se, na maioria, totalmente desarticulados e desordenados. Encontram-se representados, principalmente, por vértebras, costelas, úmeros, fêmures e, em menor proporção, por elementos dos epípódios e cinturas. (Figs. 3b e 4). Os exemplares articulados, comparativamente em número bastante inferior, constituem-se de porções do esqueleto axial. Chama a atenção, novamente, que dentro desta incomum quantidade de restos fósseis, não se encontrem, com exceção de uma mandíbula de *Stereosternum* (Oelofsen & Araujo, 1983), quaisquer vestígios cranais. Neste calcarenito, não raro ocorrem placas compostas por restos esqueléticos sobrepostos em grande abundância, tornando difícil suas identificações. A coloração destes fósseis aproxima-se àquela encontrada nos exemplares coletados na Formação Irati dos Estados de São Paulo, Mato Grosso e Goiás.

Figura 1 — Perfil litológico do afloramento Passo São Borja, Município de São Gabriel-RS, mostrando as relações entre os calcarenitos com estratificações cruzadas **hummocky** e os restos de répteis mesossauros.

Imediatamente acima do calcarenito encontra-se uma camada composta por folhelhos betuminosos, de cor preta e muito friável, com 5 a 10cm de espessura. Restos de mesossauros são encontrados em abundância nesta camada, demonstrando, entretanto, distintos estados de preservação. Os exemplares encontram-se lado a lado, sem sobreposição, com uma certa orientação e articulados (Fig. 5). Todos os espécimes observados em campo constituem-se de segmentos dorsais do esqueleto axial. Os ossos são de coloração preta, típica e igual àquela das amostras de mesossaurídeos coletados nos afloramentos dos Estados de Santa Catarina e Paraná.

Os 10 m superiores da sequência aflorante são compostos por folhelhos e siltitos maciços, com cores de alteração amareladas e avermelhadas (Fig. 6). É importante destacar que, acima do nível de esqueletos, não ocorre qualquer vestígio de répteis.

DISCUSSÃO

O espesso pacote pelítico que compõe as Formações Palermo, Irati, Serra Alta, Teresina e base da Formação Rio do Rasto, tem sido usualmente interpretado como depositado em ambiente marinho, constituindo um episódio transgressivo-regressivo completo (e.g. Northfleet *et al.*, 1969; Schneider *et al.*, 1974). De um modo geral, considera-se que os folhelhos da Formação Irati representem a fase de máxima transgressão (Northfleet *et al.*, 1969).

A fase transgressiva ocorreu em um período de relativa estabilidade tectônica da Bacia do Paraná e, em resposta ao esquentamento climático verificado ao final do Sakmariiano - início do Artinskiano, constituindo-se em um evento intermediário entre os grandes episódios glaciais do limite Permo-Carbonífero e a extensiva desertificação da América do Sul verificada a partir do Permiano Superior (Lavina & Lopes, 1987).

Afigura-se, neste contexto, uma paisagem dominada pela presença de um mar interior muito extenso, embora relativamente raso, de águas superficiais quentes, circundado por áreas continentais baixas. As colônias de répteis mesossaurídeos habitavam as regiões litorâneas e as águas relativamente mais profundas, mas ainda próximas a costa.

Figura 2 — Intervalo carbonático do afloramento Passo São Borja, com 1 m de espessura, exibindo, na base, uma camada de calcirrudito com até 20 cm de espessura, gradando superiormente a camadas de calcarenitos com laminação ondulada e estratificação cruzada **hummocky**.

Figura 3 — Intervalo carbonático do afloramento Passo São Borja, com 1 m de espessura. 3a calcarenitos com laminação plano-parallel e ondulada passando superiormente a estratificação cruzada **hummocky**. 3b camada iniciando na base com muitos fragmentos ósseos de répteis mesossauros (no lado esquerdo da moeda), gradando a laminação ondulada e estratificação cruzada **hummocky**.

Figura 4 — Vista "em planta" de um nível de calcarenito com fragmentos esqueléticos de répteis mesossauros.

Figura 5 — Detalhe do nível de folhelhos betuminosos (com 60 cm de espessura) imediatamente acima dos calcarenitos, com grande quantidade de esqueletos de répteis articulados.

Figura 6 — Detalhe das camadas de folhelhos betuminosos da Formação Irati na região de São Gabriel-RS.

As partes mais interiores deste corpo d'água, onde dominava sedimentação pelítica, apresentava fases de anoxia de fundo, gerando folhelhos betuminosos (Oelofsen & Araujo, 1983). As águas superficiais, entretanto, com boa oxigenação, permitiam uma boa produtividade de organismos planctônicos.

O quadro idealizado acima caracterizaria o "dia-a-dia" dos processos naturais, nos quais não são esperados grandes desvios da normalidade. Porém, no afloramento de Passo São Borja existem pelo menos dois tipos de evidências de grandes desvios, quais sejam os níveis de calcarenito e o nível de esqueletos amalgamados.

Podemos supor, de início, que um delgado horizonte composto praticamente por restos de répteis indique um episódio de mortalidade de natureza "catastrófica". Devido a sua associação com os níveis de calcarenito, é possível postular que o evento climático que gerou o depósito possa ter sido a causa do aniquilamento local da biota.

Primeiramente, cabe discutir o mecanismo formador das estratificações cruzadas **hummocky** (ECH) e sua importância na erosão e deposição de sedimentos costeiros. Segundo o paradigma corrente, formalizado por Walker (1979) e Dott & Bourgeois (1982), quando uma

tempestade abate-se diretamente contra uma costa, um grande volume de água é ali acumulado (maré de tempestade) e, paralelamente, ondas de grande porte produzem erosão nas regiões rasas (praia e *shoreface*). O fluxo de retorno destas ondas (*storm surge ebb*) seria o responsável pelo transporte dos sedimentos para a região de costa-afora. Outra importante consequência da passagem de ondas de grande porte seria o seu poder de atuar em profundidades bastante maiores que a das “ondas normais”. Com isto, tais ondas poderiam erodir, colocar em suspensão e redepositar sedimentos a profundidades e distâncias da costa usualmente fora do alcance das “ondas normais”. A evidência da atuação destas “ondas de tempestade”, nos depósitos pelíticos de costa-afora seriam as camadas siltico-arenosas com laminação ondulada e ECH.

Muita atenção tem sido dada nos trabalhos com depósitos deste tipo quanto ao comprimento de onda das ECH, na sua relação com a magnitude das tempestades que as produziram (e.g. Walker, 1979). Tem-se observado nos depósitos antigos ECH com 1 a vários metros de comprimento de onda, tal como é o caso do afloramento Passo São Borja, onde estas estruturas atingem 4 a 8 m de comprimento de onda. No entanto, os maiores furacões que ocorrem na costa leste dos Estados Unidos tem produzido ondulações de fundo com comprimento sempre menores que 1 m. Esta discrepância entre o comprimento de onda das ondulações preservadas no registro antigo e o relativamente pequeno comprimento das ondulações de fundo observadas após a passagem dos furacões de hoje, tem servido de base para especulações sobre a magnitude destes eventos. Tem sido usualmente sugerida a idéia de que ECH com comprimento de onda de mais de 1 m seriam geradas por tempestades com magnitudes várias vezes superiores aos maiores furacões registrados na época atual (Dott, 1983). Neste caso, tais eventos, de frequência bastante rara em relação a vida humana, introduziriam grandes e importantes mudanças nos parâmetros ambientais das regiões onde ocorressem.

A vinculação dos depósitos de arenitos com ECH com ação de ondas de tempestade de porte muito grande é uma aquisição relativamente recente e, por certo, ainda passível de ajustes e correções futuras. Entretanto, no momento, é um paradigma que ainda não sofreu reveses fatais por conflitos com a observação ou idealizações teóricas.

No afloramento de Passo São Borja, a dominância quase que exclusiva de siltitos e folhelhos betuminosos e não-betuminosos, sem qualquer evidência de exposição sub-aérea, além do seu posicionamento intermediário em um ciclo transgressivo-regressivo, são, conforme referido anteriormente, sugestivos de sedimentação em condições de costa-afora. Neste contexto paleoambiental, a aplicação do paradigma acima pressupõe a existência de episódios onde grandes tempestades abatiam-se sobre a região costeira, provavelmente uma costa carbonática, destruindo-a parcialmente e redepositando o material erodido a relativamente grandes distâncias da costa. Como todas as evidências disponíveis sugerem

que o “mar” Irati fosse raso, com batimetrias plataformas (menos de 200m), possivelmente, as ondas de tempestade poderiam também varrer largas áreas de costa-afora.

Podemos, a partir desta discussão, propor, como hipótese de trabalho, que as tempestades aqui inferidas tenham, de algum modo, participado como causa da grande mortalidade dos répteis mesossauros preservados no afloramento ora em estudo. Evidentemente restringir-nos-emos apenas aos esqueletos concentrados no nível acima dos tempestitos pois, os restos fragmentários inclusos no calcarenito correspondem ao retrabalhamento, pelas ondas, dos esqueletos de animais mortos e já inclusos no sedimentos de costa-afora ou **shoreface**. Os esqueletos do nível superior, articulados e orientados, por sua vez, provavelmente indiquem animais mortos ao final do episódio da tempestade. A presença, neste afloramento, dos três gêneros de mesossaurídeos (*Mesosaurus*, *Stereosternum* e *Brazilosaurus*, cf. Oelofsen & Araujo, 1983), preservações distintas e suas associações com os calcarenitos e folhelhos, bem como a quase exclusiva ocorrência de peças esqueléticas resistentes, corroboram esta hipótese.

Na suposição de que as inferências descritas acima estejam corretas, resta conjecturar de que forma a ação da tempestade sobre o meio introduziu mudanças ambientais significativas, causando esta grande mortalidade dos mesossauros.

Novamente, podemos observar os sedimentos de costa-afora em busca de tais causas. O processo de geração de um tempestito envolve remobilização de sedimentos previamente depositados e consequente aumento de seu volume em suspensão. Por exemplo, a ação das tempestades ocasiona o rebaixamento do nível-base de ação das ondas, fazendo com que estas atuem em profundidades bastante maiores que as normais. Caso isto ocorra em regiões costa-afora anóxico, um grande volume de sedimento fino e ácido (e.g. H_2S) pode ser remobilizado. Em tal situação, a estratificação da água é destruída pela mistura e, como resultado, esta fica turbida. Como consequência, ocorre uma redução na quantidade de oxigênio dissolvido, decorrente da sua reação com o ácido sulfídrico liberado do fundo anóxico ($H_2S + 2O_2 + 2H + SO_4$). Também mudanças de pH podem ser eventualmente introduzidas.

Modificações como as aqui sugeridas, uma vez ocorridas, causariam o desaparecimento do plancton e dos organismos que dependem diretamente do oxigênio da água (e.g. peixes e invertebrados), quebrando os elos primordiais da cadeia alimentar. Assim, toda a biota seria afetada. Os répteis, ainda que respirassem oxigênio da atmosfera, teriam sua fonte de alimento comprometida, sendo portanto bastante afetados, inviabilizando até sua sobrevivência nestes locais.

Ainda como especulação, cabe sugerir que os restos ósseos encontrados inclusos nos calcarenitos correspondam ao retrabalhamento, pela ação das tempestades, de horizontes contendo animais mortos em decorrência de uma tempestade anterior.

Figura 7 — Contorno e distribuição de fácies sedimentares do "Mar Irati" (retirado de Oelofsen & Araujo, 1983). São apresentadas as possíveis rotas de passagem de furacões e tempestades de inverno sobre a Bacia do Paraná.

Após a tentativa de correlação entre os dois eventos episódicos discutidos, poderíamos, agora, tecer considerações sobre o tipo de tempestades que os teria desencadeado.

Sabemos, hoje que existem dois tipos de processos capazes, ao menos em teoria, de causar os efeitos aqui abordados. São eles os furacões e as tempestades de inverno. Os primeiros são característicos das baixas latitudes (5 a 30°), enquanto as tempestades de inverno tendem a ocorrer em latitudes mais altas (acima de 45°) (Marsaglia & Klein, 1983; Duke, 1985). Entre 30 e 45° de latitude, podem ocorrer tanto furacões quanto tempestades de inverno.

Reconstruções paleogeográficas disponíveis atualmente mostram que o Rio Grande do Sul encontrava-se, nesta época (Kunguriano-Kazanião), a uma paleolatidade aproximada entre 50 e 60°S (e.g. Scotese *et al.*, 1979; Seyfert & Sirkin, 1979; Creer, 1970). Tal evidência permite inferir, preliminarmente, que as tempestades de inverno seriam os mais prováveis agentes climáticos capazes de produzir os efeitos aqui discutidos. Evidência adicional em favor desta hipótese pode ser buscada na morfologia do mar Irati, conforme apresentada em Oelofsen & Araujo, 1987), quando confrontada com os sentidos de deslocamento de furacões e tempestades de inverno. Sabe-se que os furacões são formados próximos à Linha do Equador e, no hemisfério sul, tendem a infletir para sudoeste. Por sua vez, as tempestades de inverno, devido a atuação da "força de coriolis", em nosso hemisfério tendem a deslocar-se de oeste para leste (Marsaglia & Klein, 1983). Outro fator importante, para um mais efetivo poder de ataque a uma região costeira, consiste no trajeto percorrido pela tormenta. Para que uma tempestade consiga eficientemente produzir grandes vagas, é necessário, em primeiro lugar, es-

paço para que o vento possa trabalhar a superfície do corpo d'água. Isto significa dizer que a tempestade tem que percorrer uma grande extensão dentro do corpo d'água, antes de atingir a costa. Como fator adicional, quanto mais perpendicularmente a tempestade abater-se sobre a costa, tanto maior será o seu poder erosivo. A localização do afloramento Passo São Borja no mar Irati sugere que as tempestades de inverno, providas de oeste, preencheriam as condições acima referidas melhor que os furacões (Fig. 7). Deste modo, acreditamos demonstrar amplamente que as tempestades de inverno são capazes, ao menos em situações ideais como as existentes no bordo leste do mar Irati, de causar o desenvolvimento de estratificações cruzadas **hummocky**. Nossas conclusões contradizem, portanto, a essência do trabalho de Duke (1985).

Agradecimentos — Agradecemos aos professores Carlos Henrique Nowatzki, Lauro Nardi e Mário Costa Barberena as discussões e críticas durante a elaboração do trabalho. Ao Professor Nowatzki, em especial, agradecemos também a cedência das fotografias do afloramento. Agradecemos ainda, ao mestrando José Eduardo Dornelles, a confecção das figuras que ilustram o trabalho.

Este trabalho foi financiado pelo CNPq, na forma de Auxílio Pesquisa (Proc. n° 415711/89-4) e apresentado preliminarmente no XI Congresso Brasileiro de Paleontologia, Curitiba 1989.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Creer, K. M. 1970. Review and interpretation of palaeomagnetic data from the Gondwanic continents. **In:** Gondwana Symposium, **2**, 1970. *Proceedings and Papers...*, International Union of Geological Sciences; Commission on Stratigraphy, p. 55-72.
- Della Favera, J. C., 1987. Tempestades como agente de poluição ambiental e mortalidade em massa no passado geológico: caso das Formações Santana (Bacia do Araripe) e Irati (Bacia do Paraná). *Boletim de Geociências da Petrobrás*, **1** (2) : 239-240.
- Dott, R. H. Jr. 1983. Episodic sedimentation - How normal is average? How rare is rare? Does it matter? *Journal Sedimentary Petrology*, **53** (1) : 5-23.
- & Bourgeois, J. 1982. Hummocky stratification: significance of its variable bedding sequences. *Geological Society of America, Bulletin*, **93** : 663-80.
- Duke, W.L. 1985. Hummocky cross-stratification, tropical hurricanes, and intense winter storms. *Sedimentology*, **32** : 167-94.
- Figueiredo Fº, P.M. 1972. Faciologia do Grupo Passa Dois no Rio Grande do Sul. *Revista Brasileira de Geociências*, São Paulo, **2** (4) : 216-35.
- Lavina, E.L., Araujo-Barberena, D.C., Faccini, U.F., 1989. Os mesosaurídeos da Formação Irati na localidade Passo São Borja (RS): Evidência de uma paleocatástrofe ecológica? **In:** Congresso Brasileiro de Paleontologia, 11., Curitiba, 1989. *Resumo das Comunicações...*, Curitiba, SBP, p.35-36.
- & Lopes, R.C. 1987. A transgressão marinha do Permiano Inferior e a evolução paleogeográfica do Super-Grupo Tubarão no Estado do Rio Grande do Sul. *Paula-Coutiana, FZB*, **1** : 51-103.
- Marsaglia, K.M. & Klein, G. 1983. The paleogeography of Paleozoic and Mesozoic storm depositional systems. *Journal of Geology*, **91** (2) : 117-42.
- Northfleet, A.A.; Medeiros, R.A.; Muhlmann, H. 1969. Reavaliação dos dados geológicos da bacia do Paraná. *Boletim Técnico da Petrobrás*, **12**(3) : 291-346.
- Oelofsen, B. & Araujo, D.C. 1983. Palaeoecological implications of distribution of mesosaurid reptiles in the permian Irati sea (Paraná Basin), South América. *Revista Brasileira de Geociências*, **13** (1) : 1-6.
- & Araujo, D.C. 1987. *Mesosaurus tenuidens* and *Stereos-*

- num tumidum* from the Permian Gondwana of both Southern Africa and South America. *South African Journal Science*, **83** : 370-3.
- Schneider, R. L.; Muhlmann, H.; Tommasi, E.; Medeiros, R. A.; Daemon, R. F.; Nogueira, A. 1974. Revisão estratiográfica da Bacia do Paraná. **In:** Congresso Brasileiro de Geologia, 28., Porto Alegre, 1974. *Anais...* Porto Alegre, SBG, **v.1**, p. 41-65.
- Scotese, C.; Bambach, R.; Van der Voo R.; Ziegler, A. 1979. Paleozoic base maps. *Journal of Geology*, **87**: 217-68.
- Seilacher, A. 1982. General remarks about event deposits. **In:** Einsele, G & Seilacher, A. (ed.), *Cyclic and event stratification*. Springer-Verlag, Berlin, 536p.
- Seyfert, C.K. & Sirkin, L. A. 1979. Earth history and plate tectonics. Harper & Row Publ., New York, 600 p.
- Walker, R. G. 1979. Shallow marine sands. **In:** Walker, R. G. (ed.). *Facies Models*. Geol. Assoc. Canada, Geoscience Canada, **1** : 75-90, *Reprint Series*.