



Aplicação estatística: tentativa de identificar as origens das perfurações em lingulídeos da Sucessão Devoniana da Bacia do Paraná

Palavras-Chave: LINGULÍDEOS, PERFURAÇÃO, BACIA DO PARANÁ

Autoras:

Ana Clara Emy Shiraiwa Kuniyoshi [Instituto de Matemática, Estatística e Computação Científica]

Prof^a Dr^a Carolina Zabini (orientadora) [Instituto de Geociências]

INTRODUÇÃO:

O registro fóssil permite reconstruir ecossistemas antigos de diversas maneiras, com o auxílio de sua análise tafonômica, por exemplo. Em geral as interações ecológicas entre organismos do passado são difíceis de serem observadas nos fósseis, porém evidências dessas interações são passíveis de fossilização. Através de assinaturas tafonômicas raras este estudo paleoecológico pode nos informar sobre a presença de predadores, parasitas ou de eventos que possam formar estruturas que se assemelham à interações biológicas, mas que na realidade, representam eventos de origem inorgânica.

Os lingulídeos, como são chamados todos os braquiópodes da Ordem Lingulida (filo Brachiopoda), apresentam um hábito de vida endobionte infaunal e caracterizam-se por uma morfo-anatomia adaptada para tal finalidade (Emig, 2003). Eles são formados por duas valvas semelhantes entre si, organofosfáticas, suavemente convexas, finas e ornamentadas por finas linhas concêntricas. Invertebrados em geral, e lingulídeos em particular, em consequência de fatores presentes no seu ambiente de vida ou de morte, os exoesqueletos dos invertebrados podem sofrer perfurações causadas por interações ecológicas de origem biótica (predação, parasitismo-comensalismo e outros seres perfuradores de substrato), e abiótica (abrasão, compactação e dissolução por pressão).

Assim, com base no banco de dados de Zabini (2011), referentes a fósseis da Sucessão Devoniana da Bacia do Paraná, realizamos a organização dos dados sobre lingulídeos para resumir e inferir sobre esse conjunto de informações, com o propósito associá-los às possíveis gêneses dessas perfurações. Para tanto, iniciamos por calcular as frequências de perfuração por afloramento e também pelas suas respectivas idades (mais de um afloramento pode representar uma mesma idade). Por fim, realizamos uma regressão linear múltipla para observar a resposta dos dados frente às diferentes potenciais origens das perfurações observadas.

METODOLOGIA:

Banco de dados

Os fósseis usados nesta pesquisa pertencem às coleções coletadas e depositadas da Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG), analisadas e disponibilizadas por Zabini (2011). Vinculamos esses materiais com as interpretações cronoestratigráficas mais atuais para o Devoniano da Bacia do Paraná. No total, analisamos o equivalente a 4.898 valvas. Foram identificadas 30 amostras de lingúlídeos com a presença de perfuração (0,01225%), em 13 afloramentos (Tabela 1) de 5 idades (Tabela 2) distintas. Vale ressaltar que os afloramentos da Vila Placidina, do período Neo Emsiano, e o Vendrami, da Eo Emsiano, compõem esses números, porém não constam na tabela, pelo fato de não dispormos da quantidade total de valvas coletadas (os dados estão restritos aos lingúlídeos, o que impossibilita a contagem da frequência).



Figura 1 – Foto de impressão de valva com perfuração (amostra mp-i1889b). A seta em vermelho sinaliza a perfuração – fonte: acervo da Prof^a Carolina Zabini.

RESULTADOS:

Frequências de Perfuração

Para calcularmos as frequências de perfuração, de acordo com os afloramentos e as idades correspondentes, utilizamos a seguinte fórmula para expressar a porcentagem de espécimes de lingúlídeos (Kowaleski, 2002): n° de valvas perfuradas / $0,5 \times$ total de valvas .

Frequência de Perfuração por Afloramento			
Afloramentos	Total de valvas	Nº de valvas com Perfuração	Frequência de Perfuração
Tibagi-Gilhardi	56	0	0
Desvio Ribas	13	0	0
Rividávia	8	0	0
Curva 1	8	0	0
Vila Francelina	2	0	0
Tibagi 1	35	0	0
Caça & Pesca	440	0	0
Sutil	82	0	0
Km 277 - Ponto 90	28	0	0
Tibagi 2	3799	1	0,000526454
Km 217 Transbrasiliana	441	3	0,013605442

Tibagi 1
Afloramento: antes do Tibagi 1 coleta aleatória. Campo em 2009
Quadro 2 Elvio
Afloramento Ponto 90 - Quadrícula 1 e 2
Afloramento Tibagi 2
Afloramento: Tibagi 2 coleta aleatória. Data campo: 18/10/2008
133 - Banco de Dados Tibagi 2
Afloramento: SIM da sequência B (DESCARTE; coleta aleatória)
Afloramento: km 217 Transbrasiliana
Afloramento Km 217 Com controle Base-Topo das amostras
Afloramento km 217 Transbrasiliana (argilito fino do topo)

Tabela 1 – Análise quantitativa dos fósseis da Sucessão Devoniana da Bacia do Paraná. Ao lado, temos uma relação dos arquivos da UEPG utilizados nessa pesquisa.

Examinaram-se tanto perfurações únicas, quanto as múltiplas (completas e incompletas), ou seja, que apresentavam mais de uma perfuração na mesma valva. Pelo Teste de Qui Quadrado para independência verificamos que não existe uma associação entre o tipo de perfuração, isto é, a sua singularidade ou multiplicidade, e as idades dos afloramentos em que elas foram achadas (para um nível de significância adotado de $\alpha = 0.05$, e p-valor = 0.2129).

Frequência de Perfuração por Idade

Idades	Total de valvas	Nº de valvas com Perfuração	Frequência de Perfuração
late Emsian	440	5	0,022727273
late Emsian-Eifelian	2420	3	0,002479339
Late Pragian	35	0	0
late Pragian-early Emsian	2003	0	0

Caça & Pesca
 Vila Placidina
 Km 277 - Ponto 90
 Km 217 Transbrasiliana
 Antes do T1
 Tibagi 1
 Tibagi 2

Tabela 2 – Análise quantitativa dos fósseis em função as Idades do Afloramentos da Sucessão Devoniana da Bacia do Paraná. Ao lado, temos a relação dos afloramentos.

Modelagem

Ao explorarmos a relação das demais variáveis contidas no banco de dados e, principalmente, como a quantidade de perfuração comporta-se ao ser contabilizada uma por uma, ou no seu total em uma mesma amostra (valva), ajustamos dois modelos de regressão linear múltiplo utilizando a área de perfuração como sendo a variável resposta. Para as variáveis explicativas quantitativas como: o comprimento e a largura da valva (em mm); a área da valva (mm²); número de perfurações na valva, diâmetro da perfuração (mm) e arredondamento (escala de 0 a 4), verificamos pela correlação de Pearson se os coeficientes eram altos ou não, para evitar problemas de multicolinearidade. Com o método de *stepwise*, análise de variância e resíduos, determinamos que as seguintes variáveis e interações são relevantes para composição do modelo (Tabela 3):

Estatísticas sumárias

	Estimadores	Erro padrão	Estatística t	p-valor(> t)	Significância
Intercepto	109,79523	237,30084	0,463	0,650232	
nº de perfurações	5,44164	6,46343	0,842	0,413059	
comprimento	-0,50279	12,60152	-0,04	0,9687	
largura	-30,03054	36,10187	-0,832	0,418552	
área da valva	1,54048	2,47174	0,623	0,54249	
arredondamento	-44,74222	40,77417	-1,097	0,189496	
estado da valva não inteiro	4,95865	3,60778	1,374	0,289806	
posicao da perfuracao 2q	-12,47061	4,80136	-2,597	0,020207	*
posição da perfuração 3q	-39,16939	81,05002	-0,483	0,635879	
posição da perfuração 4q	1,36448	6,02591	0,226	0,823919	
esfericidade baixa	32,40139	13,04558	2,484	0,025306	*
perfuração fora do fóssil	1,19123	1,1183	1,065	0,303628	
afloramento Km 217 Transbrasiliana	-2,7012	1,61286	-1,675	0,114691	
afloramento Vendrami	3,95389	8,49047	0,466	0,648131	
afloramento Vila Placidina	10,98322	13,38507	0,821	0,424747	
nº de perfurações:comprimento	-1,33287	0,29479	-4,521	0,000406	***
nº de perfurações:largura	1,25506	1,69666	0,74	0,47089	
nº de perfurações:área da valva	0,0202	0,07009	0,288	0,777174	
nº de perfurações:arredondamento	-0,24161	0,07988	-3,025	0,008531	***
nº de perfurações:estado da valva não inteiro	2,61287	2,23922	1,167	0,26148	
nº de perfurações:posição da perfuração 2q	0,46777	0,1199	3,901	0,001417	***
nº de perfurações:posição da perfuração 3q	0,15033	0,3556	0,423	0,678469	
nº de perfurações:posição da perfuração 4q	0,06747	0,13598	0,496	0,626958	
nº de perfurações:esfericidade baixa	0,10886	0,13903	0,783	0,445816	
comprimento:arredondamento	-0,09785	0,19108	-0,512	0,616046	
comprimento:posição da perfuração 2q	0,18587	0,17668	1,052	0,309448	
comprimento:posição da perfuração 3q	2,19132	4,49286	0,488	0,632791	
comprimento:posição da perfuração 4q	-0,14334	0,31188	-0,46	0,652397	
comprimento:esfericidade baixa	-2,05564	0,83984	-2,448	0,027166	*

Tabela 3 – Níveis de Significância: 0 ****0.001 ***0.01 **0.05 *.0.1 ' '1

DISCUSSÃO:

A literatura aponta que uma única perfuração, localizada na porção posterior do corpo do animal, próximo aos seus músculos ou vísceras, de contornos circulares ou ovais, e bordas chanfradas, são típicos de atividades predatórias. Enquanto as várias perfurações dispostas aleatoriamente pela concha, de penetração incompleta, bordas irregulares, redondas ou ligeiramente elípticas, com marcas de cicatrização, assinalam comportamentos decorrentes de ações parasitárias (Kowalewski et al. 1998; DELINE et al., 2003). Devemos pontuar que as perfurações resultantes de processos mecânicos, como o de abrasão e compactação e dissolução por pressão, assemelham-se morfologicamente com as de predação (Gorzalak et al., 2013), pois aparecem de modo individual (raros os acontecimentos com mais de uma), pequenas, no formato circular, oval ou irregular, de penetração completa e contornos irregulares. No entanto, ocorre em conchas de elevado potencial de fossilização, altamente mineralizadas e robustas, diferentemente dos lingulídeos que tem uma concha organofosfática de baixo potencial de fossilização em ambientes muito energéticos.

Chama nossa atenção os valores extremamente baixos dessas porcentagens, quando comparados com as frequências das ocorrências de perfurações no Devoniano (um pouco mais de 0,1%), apontados por Gorzalak *et al.* (2013). Embora as frequências pareçam ser maiores no afloramento Km 217 Transbrasiliana, grande parte das ocorrências são da Vila Placidina, seguida por Vendrami, os quais não temos mais como calcular as frequências pois as metodologias de coleta desses materiais não são úteis para este tipo de estudo. Isso ocorre porque os lingulídeos foram preferencialmente coletados em detrimento de outros organismos, enviesando os dados para a presença de lingulídeos. Em função do mesmo motivo anterior, o total visto nos intervalos de tempo chamados Neo Emsiano e Eo Emsiano, não entraram nessa soma. É de referir que a frequência esperada para o primeiro, seja bem menor do que o valor indicado na tabela (Tabela 2).

Com o intuito de investigar a hipótese de perfuração seletiva (Kowalewski et al., 2016), notou-se que para alcançarmos um percentual maior de explicação da variação dos dados, foi necessário levar em consideração, não só o comprimento e a largura da valva, mas como também incluir mais variáveis (mencionada abaixo), e considerar as interações, duas a duas, de algumas delas. Fundamentado nos modelos ajustados, corroboramos a nossa hipótese inicial da distinção entre realizar a contagem de amostras pelo número de perfurações contidas na peça, com a de desconsiderar a possibilidade da valva abranger mais de um tipo de perfuração e contá-las simplesmente por amostra. Ambas mostraram-se significativas para o comprimento, largura, área da valva, arredondamento, o estado de preservação da valva, a posição da perfuração (com respeito ao quadrante), esfericidade, o estado de conservação e o afloramento. E as interações entre nº de perfurações com o comprimento, largura, área, estado de conservação da valva, arredondamento, posição e esfericidade da perfuração. Essas três últimas, interagem ainda com o comprimento. Enquanto o primeiro modelo leva em conta todas as perfurações compreendidas na valva obtivemos um coeficiente de determinação de 88,66% ($R^2=0,8866$ e $p\text{-valor}= 0,002659$), o segundo explica 78,59% ($R^2=0,7859$ e $p\text{-valor}= 0,08515$).

CONCLUSÕES:

O levantamento bibliográfico, a análise das imagens das conchas perfuradas, e a estruturação do extenso banco de dados, associados à aplicação de testes estatísticos, possibilitaram o estudo pormenorizado de interações paleoecológicas preservadas em conchas de lingulídeos do Devoniano da Bacia do Paraná.

As perfurações nas valvas de lingulídeos demarcam um evento especial na documentação de interações paleoecológicas pretéritas, que nos foi confirmado pelas baixas frequências de perfurações observadas nos materiais provenientes dos afloramentos devonianos da Bacia do Paraná. É importante considerar que a metodologia de coleta tafonômica desse material, apesar de ter sido bastante anterior ao presente estudo, foram imprescindíveis para essa análise. Materiais coletados sem protocolo não puderam ser utilizados e perdem seu valor científico potencial. Os modelos mencionados exibiram um coeficiente de determinação alto, e seguem as suposições de um bom modelo. A adoção da regressão linear múltipla neste caso mostrou-se positiva para a diferenciação das assinaturas. Logo, espero que os resultados mostrados aqui possam dar continuidade a estudos futuros sobre o assunto.

BIBLIOGRAFIA

ZABINI, Carolina. Integração da tafonomia e estratigrafia de sequências no estudo de lingulídeos da sucessão devoniana da Bacia do Paraná. **Repositório Digital da Universidade Federal do Rio Grande do Sul**, Tese de doutorado, 2011.

ROJAS, Alexis; PORTELL W.; Roger. KOWALEWSKI, Michał. The post-Palaeozoic fossil record of drilling predation on lingulide brachiopods. **Lethaia**, v.50, p.296-305, 2016.

KOWALEWSKI, Michał. The Fossil Record of Predation: An Overview of Analytical Methods. *The Paleontological Society Papers*, v.8, p.3-42, 2002. GORZELAK, Przemyslaw; SALAMON A., Mariusz; KOWALEWSKI, Michał; DEMKO, T. M. Trace fossils and population paleoecology: comparative analysis of size-frequency distributions derived from burrows. **Lethaia**, v.29, p.113-124, 1997.

KOWALEWSKI, Michał; DULAI, Alfréd; FURSICH, Franz. A fossil record full of holes: The Phanerozoic history of drilling predation. **Geology**, v.26, p.1091-1094, 1998. KOWALEWSKI, Michał; KOWALEWSKI, Michał; FLESSA, Karl W. A predatory drillhole in *Glottidia palmeri* Dall (Brachiopoda; Lingulidae) from Recent tidal flats of northeastern Baja California, Mexico. **Journal of Paleontology**, v.68, p.1403-1405, 1994.

DELINE, Bradley; BAUMILLER, Tomasz; KOWALEWSKI, Michał; KAPLAN, Peter; HOFFMEISTER, Alan P. Edge-drilling on the brachiopod *Perditocardina* cf. *P. dubia* from the Mississippian of Missouri. **Elsevier**, v.201, p.211-219, 2003.

EMIG, C. E. Proof that *Lingula* (Brachiopoda) is not a living-fossil, and emended diagnoses of the Family Lingulidae. **Carnets de Géologie**, l.01, p.1-8, 2003.