Pesquisas em Geociências, v. 45 (2018): e0762
Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil E-ISSN 1807-9806

Breve retrospectiva histórica sobre a formação do registro fossilífero de vertebrados

Elver Luiz MAYER[1], Ana Maria RIBEIRO[1,2] & Jorge FERIGOLO[2]

[1] Programa de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Av. Bento Gonçalves, 9.500, CEP 91.540-000, Porto Alegre, RS, Brasil (elvermayer@gmail.com).
[2] Seção de Paleontologia, Museu de Ciências Naturais, Fundação Zoobotânica do Rio Grande do Sul, Av. Salvador França, 1427, Porto Alegre, RS 90690-000, RS, Brasil (ana-ribeiro@fzb.rs.gov.br, jorgeferigolo@gmail.com).

Mayer, E.L., Ribeiro, A.M. & Ferigolo, J. 2018. Breve retrospectiva histórica sobre formação do registro fossilífero de vertebrados. *Pesquisas em Geociências*, 45: e0762.

DOI: https://doi.org/10.22456/1807-9806.91392

Resumo. O pensamento sobre a formação do registro fossilífero é frequentemente associado à área da ciência que atualmente se ocupa do estudo deste fenômeno, a Tafonomia. Em geral, obras nacionais sobre o tema não mencionam pesquisas anteriores a este marco teórico. Reunimos neste trabalho informações sobre a evolução do conhecimento a respeito da fossilização, publicadas antes e após a proposição do termo Tafonomia. Com isso, apresentamos aos leitores um panorama histórico que pode ser ponto de partida para os interessados em se aprofundar. Organizamos as informações em três blocos: Antiguidade Clássica (entre séc. VIII a.C. e séc. V d.C.), Revolução Científica (entre séc. XV e séc. XIX) e Origem e evolução do conceito de Tafonomia (desde o séc. XX). O levantamento realizado possibilitou elaborar um breve histórico do pensamento sobre a formação do registro fossilífero e reúne informações sobre os prelúdios do estudo dos fósseis no Ocidente, em língua portuguesa. Pelo menos desde a Antiguidade Clássica as tentativas de explicar o significado dos fósseis e os processos de fossilização revelam uma motivação que à luz do conhecimento hodierno pode ser considerada de cunho essencialmente tafonômico. As informações elencadas demonstram que o inquérito de problemáticas centrais das Ciências Biológicas e da Terra, incluindo as de caráter tafonômico, antecedeu em muito a divisão do conhecimento nestas duas grandes áreas. Desta forma, o posterior desenvolvimento da Tafonomia, já assim denominada, representa a continuidade de uma linha de investigação que se originou tão prematuramente quanto o próprio reconhecimento dos fósseis como tais.
Palavras-chave. Tafonomia, Paleontologia, fossilização, fósseis, história da ciência.

Abstract. Brief historical retrospective on the formation of the vertebrate fossil record. The thought about the formation of the fossil record is often associated with the science that currently deals with the study of this phenomenon, the Taphonomy. Generally, Brazilian works on the subject do not mention contributions developed previously to this theoretical framework. In this work we gathered information on the evolution of knowledge about fossilization published before and after the proposition of the term Taphonomy. We present to the readers a historical panorama that can be a starting point for those interested in deepening in this topic. We organized the information in three blocks: Classical Antiquity (between the 8th century BC and the 5th century AD), Scientific Revolution (between the 15th and 19th centuries) and Origin and evolution of the concept of Taphonomy (since the 20th century). The survey carried out made it possible to elaborate a brief history of the thinking about the formation of the fossil record and gathers information about the preludes of the study of the fossils in the Occident, in Portuguese. At least since Classical Antiquity, attempts to explain the meaning of fossils and the processes of fossilization reveal a motivation that in the light of today's knowledge can be considered essentially taphonomic. The information presented here demonstrates that the investigation of central problems of Biological and Earth Sciences, including those of a taphonomic nature, has long preceded the division of knowledge in these two broad areas. Then, the later development of Taphonomy, already denominated, represents the continuity of a line of research that originated as prematurely as the own recognition of the fossils as such.
Keywords. Taphonomy, Paleontology, fossilization, fossils, history of science

1 Introdução

O conhecimento gerado por pesquisas paleontológicas realizadas no Brasil é pouco difundido para o grande público, apesar de esta grande parcela da população sempre ter apresentado interesse pelos fósseis (Petri, 1990). Ainda que os primeiros relatos sobre vertebrados fósseis do Brasil tenham sido realizados nos anos 1820 (Kellner & Campos, 1999), publicações que disseminam informações sobre a vida pretérita fora dos círculos científicos só se tornaram comuns nas últimas décadas (*e.g.* Lima, 1989; Cartelle, 1994; Neves & Piló, 2008; Cartelle, 2012; Manzig & Weinschütz, 2012; Anelli, 2016). Outra abordagem adotada para divulgar os avanços paleontológicos nacionais são exposições em museus, mas essa atividade também apresenta alcance bastante limitado. Até 2011, dos cerca de 3.000 museus que constam no registro do Instituto Brasileiro de Museus, Ibram, aproximadamente 2% desempenham a guarda e exibição de material paleontológico (Manzig, 2015).

Um problema similar de limitação no alcance do conhecimento produzido através da pesquisa paleontológica ocorre dentro do próprio ambiente acadêmico-científico. Isso se deve em grande parte ao histórico de institucionalização das Ciências Naturais no Brasil, iniciado ainda no século XVIII como resposta ao processo universalização da ciência, e que tinha por base modelos concebidos para outras realidades, sobretudo, a europeia (Figueirôa, 1998). Fatores históricos e socioeconômicos da realidade brasileira influenciaram o curso das atividades científicas desenvolvidas no país e, até pouco mais de três décadas atrás, as diferenças em relação ao modelo europeu foram interpretadas como um tipo de atraso (Figueirôa, 1998). No extremo recente desse processo histórico, mas refletindo influências socioeconômicas e científicas dos países anglo-saxônicos, o idioma inglês assumiu o papel de *língua franca* da ciência (Meneghini & Packer, 2007). Com isso, autores de publicações científicas cuja língua materna não é o inglês, incluindo nós brasileiros, se encontram frente a um dilema: publicar na sua língua nativa e ser ignorado pela comunidade científica internacional; ou publicar apenas em inglês e limitar o acesso dos compatriotas a tal conhecimento (Álvares, 2016). Dada a importância do acesso à informação científica independentemente do idioma materno dos leitores, algumas iniciativas buscam mitigar os efeitos dessa tendência. Um exemplo é o das revistas *PLoS* (*Public Library of Sciences* - Biblioteca Pública de Ciências), que incentivam os autores não nativos da língua inglesa a incluir traduções dos seus *abstracts* (termo inglês que se refere ao resumo do trabalho) ou dos artigos completos como "Informações Suplementares" (*PLoS*, 2006). Outra faceta do mesmo problema é que publicações originalmente redigidas em outros idiomas que não o Português ainda são inacessíveis para uma parcela da comunidade universitária brasileira. Isso porque, conforme um levantamento realizado entre 2011 e 2017 pela empresa *Education First* (EF, 2017; Educação Primeiro), especializada em idiomas e intercâmbios, o Brasil manteve um nível baixo ou muito baixo no índice internacional de proficiência na língua inglesa.

O desenvolvimento de diversas áreas das ciências, tal como as conhecemos hoje em dia, incluindo a Paleontologia, ocorreu em grande parte através de contribuições publicadas em outros idiomas que não o Português. O pensamento sobre a formação do registro fossilífero, tema abordado nesse trabalho, é um exemplo disso. A área da ciência que atualmente se ocupa do estudo deste fenômeno é a Tafonomia e este termo foi cunhado na primeira metade do século XX por um cientista russo em um artigo publicado em inglês (Efremov, 1940). Desde então, numerosos artigos nacionais aplicaram conceitos desta disciplina no estudo de fósseis do Brasil, mas poucos livros se incumbiram de difundir seus fundamentos teóricos em Português (*e.g.* Mendes, 1988; Holz & Simões, 2002; Carvalho, 2010). Além disso, as publicações nacionais que o fizeram, geralmente, não se aprofundaram no que diz respeito às pesquisas realizadas anteriormente ao marco teórico representado pela nomeação da disciplina. Isso porque seus respectivos escopos são bastante amplos e, incluem tópicos da Paleontologia como um todo (*e.g.* Mendes, 1977; Mendes, 1988; Carvalho, 2010), ou se aprofundam nos elementos fundamentais da Tafonomia já como disciplina plenamente estabelecida (Holz & Simões, 2002).

Para ampliar o acesso ao pensamento sobre

a formação do registro fossilífero por parte de leitores de Português, e favorecer o avanço do conhecimento na área das Geociências, reunimos no presente trabalho informações que foram importantes para a evolução do entendimento sobre a origem e o significado dos fósseis. Devido ao amplo período histórico considerado nessa retrospectiva, a elaboração de uma síntese do conhecimento desenvolvido sobre o tema não é uma tarefa simples. Então, priorizamos publicações que, a título de exemplo, tratam de avanços sobre conceitos e aspectos para os quais é possível traçar alguma continuidade ao longo do tempo. Com isso, apresentamos aos leitores um panorama histórico que não é exaustivo, e nem busca substituir as referências originais, mas que pode ser ponto de partida para os interessados em se aprofundar no tema.

2 Material e métodos

Os materiais analisados no presente estudo são textos especializados em Ciências Naturais, que foram publicados principalmente antes, mas também após a proposição do termo Tafonomia (Efremov, 1940), e que contêm informações potencialmente relacionáveis ao estudo da gênese do registro fossilífero. Considerando a inviabilidade de realizarmos um levantamento integral dos trabalhos sobre o tema e que a influência ocidental se refletiu na maioria das informações obtidas durante a elaboração do levantamento, a presente pesquisa foi igualmente delimitada geograficamente.

Priorizamos a menção de obras de maior destaque no amplo cenário em que se insere o pensamento sobre a fossilização, independentemente de sua ligação mais ou menos direta com o tema central, a fossilização de restos de vertebrados. Organizamos as informações segundo períodos históricos divididos em três blocos. O primeiro aborda ideias associadas à Antiguidade Clássica (entre séc. VIII a.C. e séc. V d.C.), o segundo se refere ao período em torno da Revolução Científica (entre séc. XV e séc. XIX) e o terceiro enfoca ideias relativamente mais recentes (desde o séc. XX), difundidas pouco antes e, posteriormente, à proposição do termo "Tafonomia". O intervalo entre o séc. V e o séc. XV (entre o primeiro e segundo blocos) não foi contemplado devido a uma relativa escassez de registros históricos que se verifica durante e pouco após o período conhecido como a Idade das Trevas, entre os séculos V e IX.

3 Resultados

3.1 Antigas explanações sobre a origem e o significado dos fósseis

Existem abundantes registros de que na Antiguidade Clássica (entre séc. VIII a.C. e séc. V d.C.) os filósofos gregos já aventavam a origem biológica daquilo que hoje chamamos de fósseis. Com isso, eles contribuíram grandiosamente para explanações sobre a gênese destes materiais (Adams, 1938; Cadée, 1991; Mayor, 2000, 2007; Brandão *et al.,* 2014). Registros antigos das investigações sobre o mundo geológico indicam que o conhecimento das escolas helenísticas de Aristóteles (384-322 a.C.) e Plínio (23-70 d.C) foi predominante. Inicialmente, a distinção entre minerais, rochas e fósseis não era clara, sendo todos designados conjuntamente como *fossilis* (*i.e*., extraído da terra ou enterrado) (Brandão *et al.,* 2014). Teofrasto (372-287 a.C.), sucessor de Aristóteles, discutiu em seu tratado intitulado *On Stones: on rare and unusual materials dug from the earth* (Sobre as Rochas: materiais raros e incomuns escavados da terra) a capacidade da água e dos minerais de se infiltrarem em objetos e os converter em rocha, exemplificando suas ideias com juncos fossilizados (Mayor, 2000). De maneira geral, a ideia de que todo organismo provém de outro ser vivo semelhante já era vigente, salvo para raras exceções, como alguns peixes, insetos e vermes, para os quais a cópula não era comumente observada e, nesses casos, se considerava a teoria da geração espontânea dos organismos (Ferigolo, 2016). Com isso, as explanações sobre a gênese dos fósseis consideravam que tais materiais resultavam de tentativas malsucedidas da geração da vida (*vis plástica*) ou da ação de um fluído petrificante (*succus lapidificatus*) que os originaria acidentalmente no solo (Cadée, 1991; Brandão *et al.,* 2014).

Outro aspecto que teve um papel importante na busca de explicações para a origem do registro fossilífero foi o da observação de supostas pegadas, as quais, mais tarde verificou-se tratar de

feições erosivas, fósseis de invertebrados ou legítimos icnofósseis associados a animais extintos. Embora nem sempre as feições observadas fossem realmente testemunhos da vida pretérita, seu reconhecimento contribuiu para a comparação e o levantamento destas estruturas em diversas partes do globo, incluindo a Europa, África, Austrália, Ilhas Havaianas e as Américas do Norte, Central e do Sul (Mayor & Sarjeant, 2001).

O registro mais antigo da descrição de pegadas impressas em rochas, que se conhece hoje em dia, consta no trabalho de Heródoto (aproximadamente 450 a.C.). Tal estrutura apresentava aproximadamente 1 m de comprimento e foi observada às margens do Rio Tyras (conhecido atualmente como Rio Dniester, que percorre os territórios da Ucrânia e a Moldávia), sendo supostamente criada pelo herói grego Hércules (Mayor & Sarjeant, 2001). As enormes dimensões da estrutura encontravam aceitação devido ao suposto gigantismo dos heróis míticos, uma noção provavelmente decorrente de antigas descobertas de ossos de proboscídeos de idade miocênica a pleistocênica e que eram interpretados como "ossos de heróis" (Fig. 1A) (Mayor, 2000; Mayor & Sarjeant, 2001). Outras pegadas de menor tamanho também foram atribuídas a Hércules e as diferenças em relação à anatomia humana eram aceitas devido à noção de que os heróis mitológicos podiam apresentar partes do corpo semelhantes às de outros animais. Mais tarde, verificou-se que possivelmente estes icnofósseis foram formados por ursos pleistocênicos (Fig. 1B) (Mayor & Sarjeant, 2001).

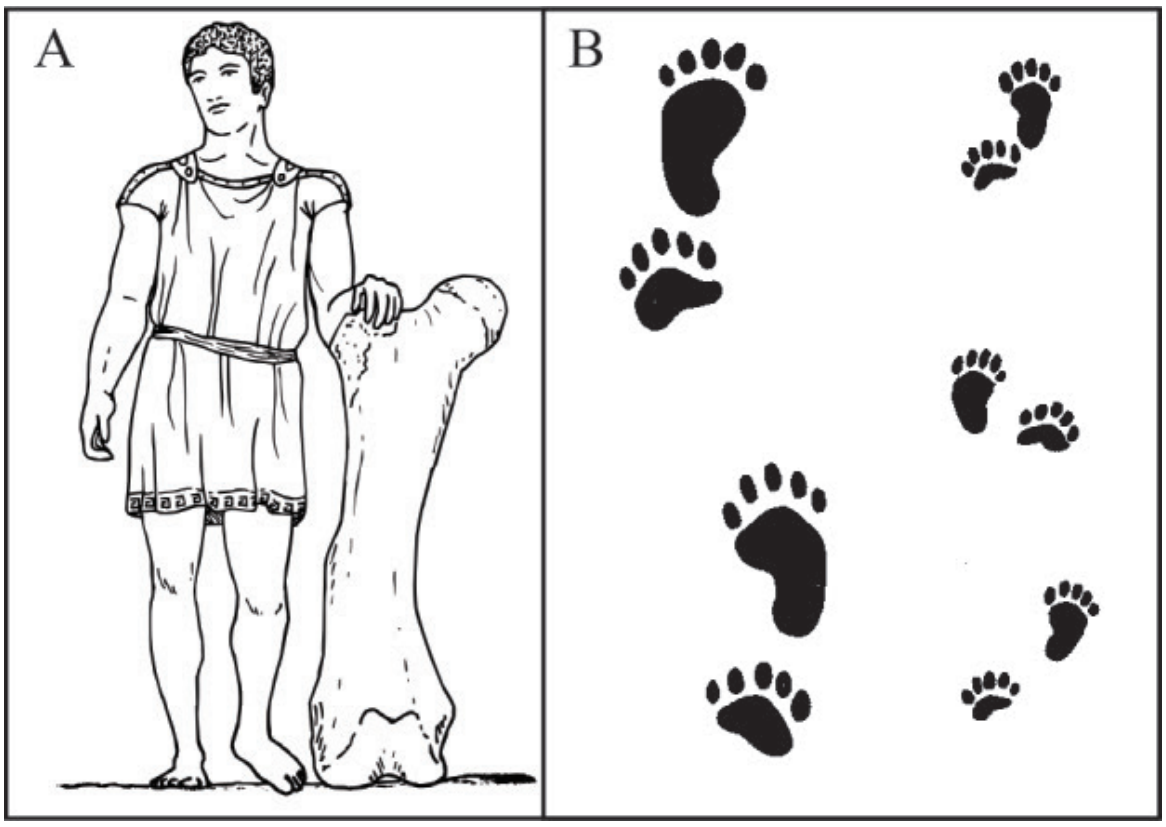

Figura 1. Exemplos de evidências que incitaram antigas explanações sobre a origem de fósseis. A) Representação de um homem grego ao lado de um grande osso comumente interpretado na Antiguidade como pertencente a heróis míticos (desenho de ELM inspirado na escultura Doríforo, de Policleto, Museu Nacional de Nápoles, Itália, e em fêmur direito de Proboscidea; B) Pegadas de diferentes espécies de ursos. O grande tamanho das pegadas de urso e a forma semelhante à das pegadas humanas originaram a ideia de que as pegadas antigas foram deixadas pelo herói mitológico Hércules (modificado de Mayor & Sarjeant, 2001).
Figure 1. Examples of evidence that incited ancient explanations about the origin of fossils. A) Greek man next to a large bone commonly interpreted in Antiquity as belonging to mythical heroes (ELM drawing inspired by the sculpture Doriphorus, from Policleto, National Museum of Naples, Italy, and in the right femur of Proboscidea); B) Footprints of different species of bears. The large size and shape similar to human footprints gave rise to the idea that they were left by the mythological hero Hercules (modified from Mayor & Sarjeant, 2001).

A nomeação de localidades geográficas e de estruturas geológicas na paisagem também impulsionou de certa forma a busca por explanações sobre a origem dos fósseis. Apesar de que em muitos casos as observações se basearem em fósseis legítimos, a transmissão destes nomes através de tradições orais implicou em justificativas muitas vezes folclóricas e lendárias. Concentrações densas de fósseis de grande porte contribuíram para difundir a noção de que grandes batalhas ocorreram em dado local no passado. Um exemplo icônico se refere aos terrenos fumegantes nos arredores da antiga cidade de Megalópolis, no sul da Grécia, onde ossos de grandes dimensões pertencentes a criaturas diferentes das viventes foram encontrados. A localidade foi denominada como "Campo de Batalha dos Gigantes", pois se acreditava que ali o deus Zeus havia dizimado os gigantes Titãs utilizando seus raios. No entanto, no início do século XX paleontólogos gregos desmistificaram a associação dos grandes ossos com a fumaça que surgia do terreno. Eles esclareceram que o solo desta região é rico em lignito, uma rocha sedimentar com propriedades combustíveis que devido a reações químicas pode originar fumaça por longos períodos de tempo, e apresenta muitos fósseis de grandes mamíferos pleistocênicos, como rinocerontes e proboscídeos (Mayor, 2000, 2007).

Outro exemplo ilustra bem certa correspondência entre as explanações transmitidas oralmente e os processos conhecidamente responsáveis pelo acúmulo e posterior fossilização de restos orgânicos no interior de cavernas. Durante a Idade Média, cavidades naturais que continham ossos de grandes proporções frequentemente eram conhecidas como covis de dragões. Entre elas, cavernas da Áustria e Suécia (respectivamente denominadas *Drachenhöhle* – "caverna do dragão" – e *Drachenloch* – "buraco do dragão") são conhecidas por manterem seus nomes até os dias atuais conforme foram atribuídos por tradições folclóricas medievais (Mayor, 2007). É sabido que os dragões são seres mitológicos, mas as diversas espécies de mamíferos e aves do mundo real, que apresentam hábitos carnívoros e necrófagos, são os principais agentes de acumulação de esqueletos em cavernas (Lund, 1845; Andrews, 1990; Simms, 1994).

3.2 Avanços associados à Revolução Científica

Com o passar do tempo após a Idade das Trevas (entre o séc. V e séc. IX), o pensamento teocêntrico já não influenciava fortemente os estudos científicos, que passaram a representar um corpo de conhecimento melhor estruturado e mais prático do que era antes. Esta nova fase de desenvolvimento científico foi orientada principalmente pelo aperfeiçoamento do senso crítico dos pesquisadores, o que não era possível no contexto teocêntrico anterior. Porém, somente em 1440 ocorreu uma transformação radical na comunicação entre a comunidade científica. O inventor e gráfico Johannes Guttenberg (ca. 1398-1468), do Sacro Império Romano-Germânico, criou os tipos móveis, peças individuais que representavam letras, números e outros elementos editoriais e que podiam ser rearranjadas para elaborar as páginas a serem impressas (Ronan, 1987). Com isso, ele fundou as bases da imprensa tal qual a conhecemos hoje em dia.

No que se refere especificamente às abordagens tafonômicas, as interpretações de Leonardo da Vinci (1452-1519), nascido na República de Florença, região que atualmente integra o território da Itália, merecem destaque especial. Em tempos nos quais ainda não era claro que os fósseis representavam organismos que outrora estiveram vivos, ou que se considerava que fósseis eram restos de seres mortos durante o Dilúvio Bíblico, da Vinci realizou descrições detalhadas de moluscos fósseis e também elencou uma série de argumentos para explicar a gênese de depósitos do Rio Pó, na atual Itália (Cadée, 1991; Brandão *et al.,* 2014). Com isso, o polímata atestou a origem biológica daqueles fósseis e abordou questões sobre o transporte e a fragmentação das conchas, bem como aspectos sedimentológicos (i.e., analisando a estrutura de acamamento das rochas fossilíferas) e paleoecológicos (i.e., demonstrando se tratar de uma comunidade de invertebrados marinhos fossilizada) (Cadée, 1991; Brandão *et al*., 2014), todas análises cuja natureza pode ser considerada tafonômica nos dias de hoje.

Mais tarde, o médico e anatomista dinamarquês Niels Stensen ("Nicolau Steno" 1638-1686) também contribuiu de maneira decisiva para o entendimento do significado dos fósseis e da for-

mação dos depósitos que os continham. Durante a dissecação de um tubarão branco (*Carcharodon carcharias*) ele verificou que os dentes desse animal eram muito semelhantes a elementos fósseis isolados que eram chamados de línguas de pedra (*Glossopetrae*) e até então atribuídos a serpentes (Brandão *et al.,* 2014). Além disso, Stensen retomou algumas ideias de Leonardo da Vinci e analisou as rochas de onde os dentes fósseis provinham, demonstrando que elas haviam se formado a partir da deposição de materiais suspensos nas águas e que sucessivamente se estratificaram (Brandão *et al.,* 2014). Assim, a origem biológica dos fósseis foi demonstrada claramente, incluindo sua correta atribuição taxonômica.

Posteriormente, o naturalista galês Edward Lhuyd (1660-1709), curador do museu Ashmolean em Oxford, elaborou o mais antigo catálogo de fósseis do Reino Unido. A obra de Lhuyd (1699) cumpriu a função de organizar as coleções reunidas pelo autor e servir como guia de campo para os interessados em identificar suas descobertas (Fig. 2). Além disso, este trabalho representa um importante marco na iconografia paleontológica, devido ao elevado número de figuras associadas às descrições (Brandão *et al.,* 2014). Paralelamente, a viabilidade técnica de novos adventos gráficos facilitou a disseminação dos mais diversos aspectos percebidos visualmente nos fósseis. Com isso, tanto a morfologia que se manteve preservada nos fósseis, quanto suas alterações decorrentes dos processos associados à fossilização, como fragmentação e deformação plástica, puderam ser consideradas claramente nas comparações. A partir da metade do século XIX, desenhos e pinturas foram utilizados em trabalhos paleontológicos para reconstituir a aparência de organismos extintos, uma atividade que hoje em dia é informalmente conhecida como reconstituição paleoartística (Martine & Ricardi -Branco, 2017).

Nos séculos XVIII e XIX proliferaram-se outras contribuições de grande impacto para as Ciências Naturais. A classificação dos organismos segundo o *Systema Naturae*, de Carl von Linné (1707-1778) (Linnaeus, 1758); os questionamentos de Georges Leclerc ("Conde de Bufon" 1707-1788) sobre a idade da Terra estipulada pela bíblia; os progressos de Georges Cuvier (1769-1832) no entendimento da anatomia dos vertebrados no estudo das extinções, contribuindo para o desenvolvimento da teoria catastrofista; a elaboração das ideias fundamentais do uniformitarismo, por James Hutton (1726-1797) e Charles Lyell (1797-1875); bem como a sistematização de Richard Owen (1802-1892) no campo da anatomia comparada (Cadée, 1991; Brandão *et al.,* 2014).

No que se refere às descobertas realizadas em nosso país, em 1835 Peter Wilhelm Lund enviou para a Academia de Ciências de Copenhague, Dinamarca, sua primeira memória intitulada *Om huler i kalksteen i det indre af Brasilien, der tildeels indeholde fossile knokler* (Cavernas existentes no calcário do interior do Brasil, encerrando algumas delas ossadas fósseis), que foi publicada no ano seguinte (Lund, 1836). Tal estudo foi o início de uma série de publicações realizadas pelo naturalista dinamarquês com base em suas pesquisas na região do Rio das Velhas, Minas Gerais, e que resultaram em um trabalho paleontológico pioneiro que ainda representa um dos mais robustos já realizados no país (Paula Couto, 1950) (Fig. 3). Os estudos de Peter Lund incluíram, além das escavações e a descrição de um grande número de espécies extintas e viventes, a proposição de temas que são debatidos até os dias atuais, como a extinção da megafauna (*e.g.* Hubbe *et al.,* 2013a), a antiguidade da ocupação humana no Novo Mundo (*e.g.* Neves *et al.*, 2005; Hubbe *et al.,* 2010) e a coexistência de humanos com grandes mamíferos hoje extintos (*e.g.* Hubbe *et al.,* 2013b). Com seu admirável estudo, Peter Lund também reuniu informações para sistematizar os principais processos de acumulação de restos de vertebrados em cavernas (Lund, 1845), para os quais se observa pouco incremento desde então, como pode se verificar em Simms (1994), e ainda, continua a inspirar o desenvolvimento de obras muito ricas sobre a Paleontologia de Minas Gerais (*e.g.* Cartelle, 2012; Da-Glória *et al.,* 2016).

Em 1849, na França, Alcide d'Orbigny (1802-1857) incluiu em sua obra *Le cours élémentaire de paléontologie et de géologie stratigraphique* ("Curso elementar de Paleontologia e geologia estratigráfica") uma revisão sobre o estudo da formação do registro fossilífero, descrevendo a influência dos ambientes e das propriedades físicas dos corpos dos organismos para a sua preservação na na-

tureza (d'Orbigny, 1849). Neste trabalho provavelmente consta a primeira definição para o processo de fossilização (Cadée, 1991). O autor ainda enfatizou que à época, poucos esforços haviam sido dedicados pelos paleontólogos no estudo deste fenômeno (d'Orbigny, 1849):

""Sous ce titre général de fossilisation, nous comprendrons tout ce qui se rattache, plus ou moins directement, aux changements par lesquels un corps vivant et jadis animé a passé d'une époque, alors actuelle, à un autre époque qui n'est plus, en laissant, dans les couches terrestres des traces impérissables de sa forme caractéristique. Nous y réunirons un ensemble de considérations d'une haute importance, et qui néanmoins ont été complétement négligées par les paléontologistes." (Alcide d'Orbigny, 1849: p. 34.)

Sob o título geral de fossilização, entenderemos tudo o que é relacionado, mais ou menos diretamente, às mudanças pelas quais um corpo vivo e uma vez animado passou de uma época presente, a outra que não é mais atual, deixando em camadas terrestres vestígios imperecíveis de sua forma característica. Reunimos uma série de considerações de grande importância, que foram, no entanto, completamente negligenciadas pelos paleontólogos. (Alcide d'Orbigny, 1849: p. 34, tradução nossa).

Mais tarde, o estabelecimento das bases do pensamento evolutivo por Charles Darwin (1809-1882) e Alfred Russel Wallace (1823-1913) resultou em uma transformação radical no entendimento sobre a vida na Terra (veja Kutschera, 2003 para uma esclarecedora comparação do trabalho original de cada um dos naturalistas sobre o conceito de seleção natural). Porém, o registro fossilífero ainda representava uma importante lacuna no entendimento dos processos evolutivos em longo prazo. Naquela época, se aventava se organismos que apresentavam morfologias consideradas intermediárias entre os principais grupos animais conhecidos poderiam ser encontrados para dar suporte às teorias evolutivas. Porém, em menos de trinta anos após a publicação de *"On the origin of species by means of natural selection"* (A origem das espécies por meio da seleção natural) de Charles Darwin em 1859, Edward Drinker Cope (1849-1897) ofereceu valioso suporte ao pensamento evolutivo, com base no registro fossilífero de vertebrados (Cope, 1887). Com isso, a ideia de evolução orgânica adquiriu uma perspectiva temporal profunda e as questões relacionadas à origem dos fósseis passaram a integrar as conjecturas sobre a história da vida na Terra de forma indissociável.

Os diversos avanços elencados nessa seção contribuíram conjuntamente para que as propostas religiosas fossem refutadas definitivamente, revelando o valor científico dos fósseis como testemunhos da história da vida e do planeta Terra. Inerentemente a estas contribuições, e a aquelas efetuadas nos séculos subsequentes, foi crescente a necessidade de entender como a ação de processos naturais modificou a aparência e a estrutura dos organismos e os preservou na forma de fósseis.

3.3 Origem e evolução do conceito de Tafonomia

Tradicionalmente, a anatomia e a taxonomia são os dois aspectos dos fósseis que recebem maior atenção dos pesquisadores (Shipman, 1981). A partir da década de 1910, paleontólogos alemães começaram a estudar acumulações fossilíferas com preservação excepcional, denominadas *Fossil-Lagerstätten* (do alemão, "depósito de fósseis"), através de comparações com ambientes atuais. Seguindo a tendência iniciada por seus compatriotas, Johannes Weigelt (1890-1948) publicou em 1927 o primeiro trabalho de maior abrangência sobre vertebrados. Weigelt documentou a morte, decomposição, desarticulação, transporte e soterramento de répteis, peixes, aves e mamíferos que sucumbiram às baixas temperaturas do inverno alemão de 1924 e, com isso, evidenciou a relevância destes eventos para o entendimento da formação do registro fossilífero (Cadée, 1991). Weigelt denominou este tipo de abordagem como *Biostratonomie* (bioestratonomia), termo que mais tarde seria incorporado, com modificação de sua grafia (i.e. bioestratinomia), como subdisciplina da Tafonomia tal qual conhecemos hoje em dia (Olson, 1980; Cadée, 1991). Pouco tempo depois, em 1928, Rudolf Richter (1881-1957) criou o termo *Aktuopaläontologie* (Actuopaleontologia), para designar o campo da Paleontologia destinado à investigação do registro

Figura 2. Prancha de ilustrações extraída da obra *Lithophylacii Britannici Ichnographia* (Iconografia de uma coleção mineral britânica; tradução nossa), do naturalista Edward Lhuyd (1660-1709), representando fósseis de vertebrados e invertebrados.
Figure 2. Illustration plate from the Lithophylacii Britannici Ichnographia (Iconography of a British mineral collection; our translation) by the naturalist Edward Lhuyd (1660-1709) representing vertebrate and invertebrate fossils.

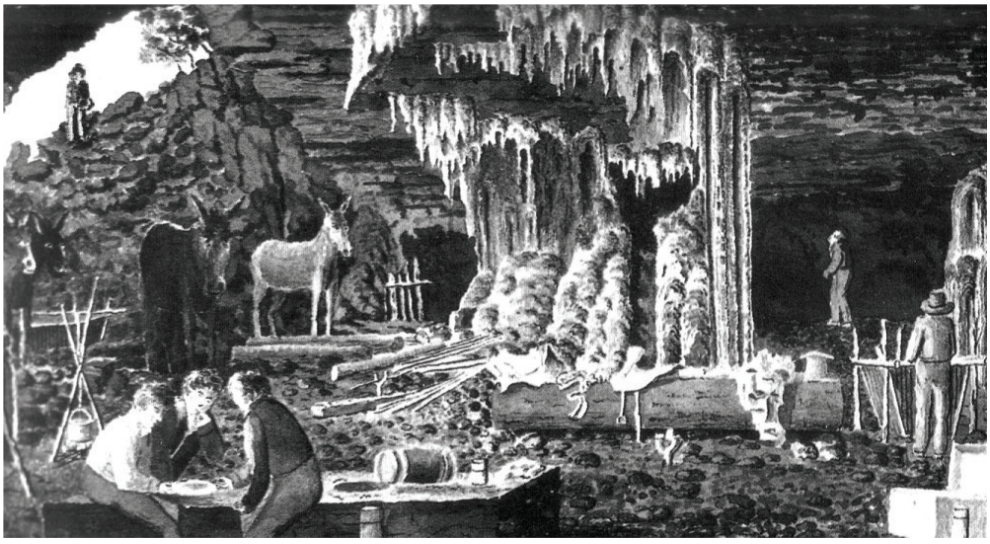

Figura 3. Escavações conduzidas por Peter Lund na Lapa do Mosquito, Minas Gerais. Desenho original de Peter Andrea Brandt, Museu de História Natural da Dinamarca.
Figure 3. Excavations conducted by Peter Lund in Lapa do Mosquito, Minas Gerais. Original drawing by Peter Andrea Brandt, Museum of Natural History of Denmark.

fossilífero a partir da observação de padrões e processos que ocorrem nos dias atuais (Kowalewski, 1999). Sob tal perspectiva, as pesquisas enfocaram a vida e a morte de organismos em seus habitats atuais, sobretudo para organismos invertebrados. Foram contemplados em maior detalhe os fenômenos ocorridos após a morte dos organismos e a deposição de fácies sedimentares, visando como objetivo final a realização de interpretações paleoecológicas e reconstituições paleoambientais. Nos anos seguintes, por ocasião da expansão do pensamento nazista na Alemanha, durante a década de 1930, de maneira geral a ciência produzida neste país passou a não ser bem aceita por pesquisadores de outras nações. Consequentemente, as linhas de pesquisa da escola paleontológica alemã não foram tão difundidas quanto poderiam ter sido naquele momento (Cadée, 1991).

Em 1940, o paleontólogo russo Ivan Antipovich Yefremov (Ivan Antonovich Efremov; 1908-1972) argumentou que, embora a Actuopaleontologia se encarregue plenamente dos problemas sobre a deposição e o soterramento dos restos orgânicos, sua definição não inclui a comparação ao longo da história geológica. Segundo Efremov (1940), esta definição manteria separadas as condições observadas no presente daquelas ocorridas no passado e, assim, propôs um novo ramo da Paleontologia, o qual denominou Tafonomia (do Grego: *taphos* significa "enterramento" ou "soterramento" e *nomos* significa "leis"). De acordo com seu proponente, esta nova área representa a "ciência das leis do enterramento" ou "sepultamento" e se ocupa do estudo detalhado da transição de restos orgânicos (restos "animais" no texto original) entre a Biosfera e a Litosfera. Assim, a Tafonomia uniu a Biologia e a Geologia nos domínios da Paleontologia e, segundo a perspectiva de Efremov (1940), enfocou principalmente a identificação dos vieses presentes no registro fossilífero (chamados de "seleção" no texto original).

A Tafonomia foi concebida originalmente com duas subdivisões. A Bioestratinomia (adaptação do termo criado por Weigelt), envolvendo essencialmente processos biológicos e físicos, desde a morte de um organismo até seu suposto soterramento final (considerando que os materiais que originam os fósseis ficam expostos antes de serem soterrados e podem ser reexpostos e soterrados novamente por repetidas vezes). A Diagênese dos fósseis ou Fossildiagênese, que inclui a fossilização propriamente dita e consiste principalmente em processos geológicos e químicos, abrange desde o soterramento final, quando ele realmente ocorre, até a exumação e estudo dos fósseis (Efremov, 1940; Lyman, 2010) (Fig. 4). Porém, alguns autores consideram subdisciplinas adicionais às definidas por Efremov, com alguma sobreposição em relação às já mencionadas. Um exemplo é a necrologia, que inclui os processos desde a morte do

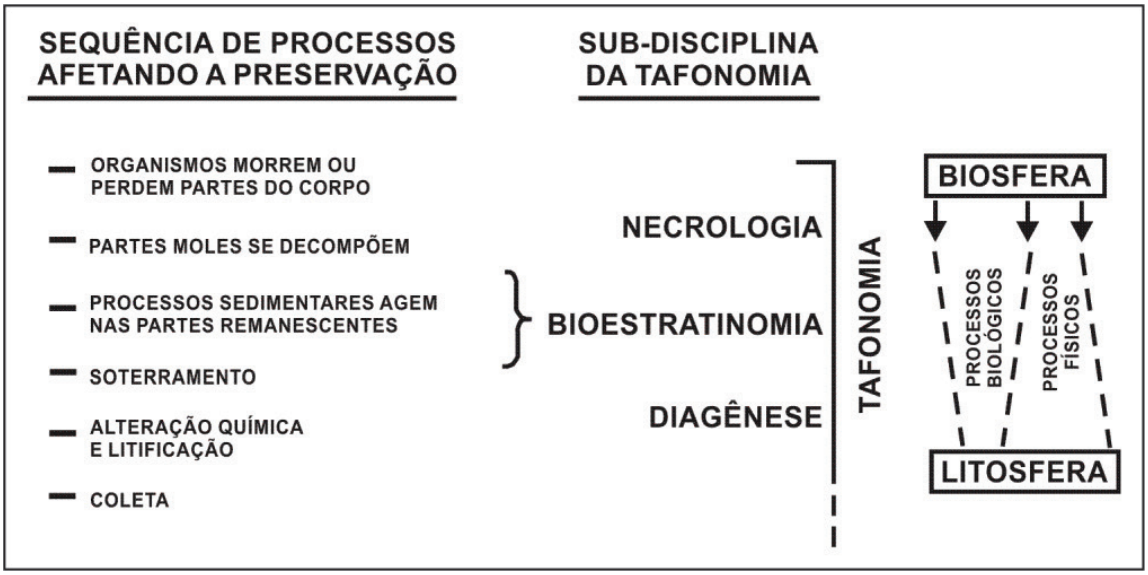

Figura 4. Representação esquemática dos eventos e subdisciplinas contemplados pela Tafonomia, com base nas mudanças ocorridas após a morte dos organismos (modificado de Lyman, 2010).
Figure 4. Schematic representation of the events and subdisciplines contemplated by Taphonomy based on the changes that occurred after the death of organisms (modified from Lyman, 2010).

organismo (ou a perda de partes do seu corpo) e a decomposição dos tecidos moles, podendo ocorrer antes ou após o soterramento, dependendo do caso (Lyman, 2010) (Fig. 4).

Inicialmente, o termo criado por Efremov (1940) foi pouco utilizado e, embora alguns estudos compatíveis com sua proposta tenham sido realizados durante a década de 1950 (*e.g.* Wood, 1952), seus esforços em formalizar este campo da ciência foram ignorados inicialmente (Olson, 1980). Devido às relações de Efremov com o estadunidense Everett Olson (1910-1993), estudioso de tetrápodes permianos, com o passar dos anos os pesquisadores norte-americanos adotaram o conceito de Tafonomia do pesquisador russo. Neste primeiro momento de difusão da Tafonomia, o enfoque era maior nos processos de soterramento e no reconhecimento de vieses do registro fossilífero (Olson, 1980; Lyman, 2010). Consequentemente, nos trabalhos por eles desenvolvidos nas décadas de 1960 e 1970 havia certa preocupação com a perda de informação paleobiológica, devido aos processos tafonômicos que introduzem vieses no registro fossilífero (Lyman, 2010). Nesse intervalo de tempo, o volume de pesquisas tafonômicas cresceu grandemente, com conferências específicas dedicadas ao tema. Com isso, o enfoque deixou de ser nos vieses do registro fossilífero e a atenção se voltou para o significado da informação paleoecológica contida nos atributos tafonômicos preservados nos remanescentes orgânicos (Olson, 1980; Lyman, 2010).

Trabalhos experimentais pioneiros que se tornaram clássicos na literatura especializada foram publicados no mesmo período, como por exemplo: Voorhies (1969), que estudou o transporte diferencial de elementos esqueletais de mamíferos (i.e. *Ovis aries* – ovelha – e *Canis latrans* – chacal americano) por fluxos d'água; Hill (1979), que descreveu a sequência de desarticulação de esqueletos de mamíferos (i.e. *Damaliscus korrigum* – antílope); Dodson & Wexlar (1979), que estudaram os pequenos vertebrados oriundos de regurgitações de corujas; e Behrensmeyer (1978), que abordou o papel do intemperismo climático na modificação de restos esqueletais e seu significado para o estudo de vertebrados de médio e grande porte. Além disso, alguns trabalhos consideraram a paleoecologia de sítios específicos ou compararam dados entre diferentes sítios, enquanto outros utilizaram dados paleoecológicos de diversas localidades para subsidiar interpretações paleobiogeográficas e evolutivas (Olson, 1980).

Com todos esses avanços, começaram a surgir também trabalhos com o objetivo de delinear mais precisamente parâmetros para o desenvolvimento de pesquisas tafonômicas com vertebrados. Ao mesmo tempo, a ideia de que interpretações paleoecológicas devem ser precedidas pelo entendimento da formação do registro fossilífero começou a se consolidar (Hill & Walker, 1972). Paralelamente, na Alemanha, o início da década de 1970 foi permeado por grandes projetos paleontológicos que investigaram depósitos fossilíferos e modos de preservação incomuns para subsidiar a interpretação de ocorrências encontradas frequentemente (Behrensmeyer & Kidwell, 1985).

Na década de 1980, a Tafonomia já havia se consolidado e sua importância era reconhecida no meio científico mundial. Com mais atenção dedicada ao seu estudo, o conceito de Tafonomia foi reformulado de maneira a se distanciar da perspectiva centrada na perda de informação paleontológica e nos vieses decorrentes disso. Desta forma, a Tafonomia passou a ser definida, por exemplo, como o conjunto de processos de preservação e como eles afetam a informação do registro fossilífero (Behrensmeyer & Kidwell, 1985), ou como "*un subsistema conceptual de la Paleontología que aspira a explicar cómo ha sido producido y qué modificaciones ha experimentado el registro fósil*" – "um subsistema conceitual da Paleontologia que busca explicar como foi produzido e o que modificações experimentou o registro fossilífero. " (Férnandez-López, 1986: p. 33, tradução nossa). Além disso, os procedimentos de amostragem durante as escavações e as análises em laboratório, incluindo a preparação dos materiais e a curadoria em museus, também passaram a ser considerados como aspectos da Tafonomia (Behrensmeyer & Kidwell, 1985) (Fig. 5). Assim, uma ideia que passou a ser enfatizada é a de que os processos tafonômicos não somente levam à perda de informações do registro fossilífero, mas também as acrescentam (Behrensmeyer & Kidwell, 1985).

Ao longo desta década, ocorreu uma expressiva diversificação das aplicações da Tafonomia na solução de problemas paleontológicos e arqueológicos. As reflexões críticas sobre os métodos propostos e utilizados até então foram aprimoradas. Surgiram os primeiros livros com temática eminentemente tafonômica (*e.g. Fossils in the making: vertebrate taphonomy and paleoecology* – "Fósseis em formação: tafonomia de vertebrados e paleoecologia" [editado por Behrensmeyer & Hill, 1980]; *Life history of a fossil: an introduction to taphonomy and paleoecology* – "História de vida de um fóssil: uma introdução à tafonomia e paleoecologia" [Shipman, 1981]) e outras publicações decorrentes de eventos científicos com o mesmo foco (Martin, 1999).

Muitos trabalhos abordaram de maneira específica as modificações *post mortem* ocorridas nos restos de vertebrados. Os padrões produzidos por vertebrados carnívoros, incluindo marcas nos ossos e alterações da frequência de partes esqueléticas, receberam considerável atenção com base nas acumulações de ossos resultantes da alimentação destes animais (*e.g.* Haynes, 1980; Binford, 1981). Outras questões relacionadas a diferentes aspectos do registro fossilífero também foram abordadas, com vários exemplos de trabalhos dedicados a materiais preservados em ambientes cavernícolas, como a influência do contexto antrópico ou ambiental nas análises tafonômicas (*e.g.* Dixon, 1984), a identificação de mudanças climáticas (*e.g.* Sutcliffe *et al.,* 1985); a origem cultural ou natural dos depósitos (*e.g.* Bramwell *et al.,* 1987) e o potencial de táxons específicos como indicadores de paleoambientes (*e.g.* Baird, 1989), entre outros. Foram realizados ainda, trabalhos abordando aspectos mais generalizados para o entendimento do registro fossilífero de vertebrados, como a influência da densidade óssea na preservação dos elementos esqueletais (*e.g.* Lyman, 1984); reflexões sobre amostragem e quantificação dos fósseis (*e.g.* Grayson, 1981; Livingston, 1989); avaliações críticas de trabalhos previamente desenvolvidos (Lyman & Fox, 1989) e a conservação dos sítios paleontológicos (Benton & Wimbledon, 1985).

No final da década de 1980, a utilização de computadores na Paleontologia já era relativamente comum, mas com poucos usos inovadores e de maneira restrita a algumas de suas disciplinas. As principais aplicações ocorreram na aquisição de dados morfométricos e na realização de análises estatísticas intensivas (Tipper, 1991). Os avanços tecnológicos da informática contribuíram ainda para o desenvolvimento da microscopia eletrônica de varredura, que assumiu uma crescente importância na pesquisa tafonômica (*e.g.* Shipman & Rose, 1983).

Ao longo dos anos 1990 o conceito de Tafonomia permaneceu sendo objeto de reflexões. Termos e disciplinas mais ou menos diretamente relacionados a ela foram propostos e/ou revisitados, enquanto que a literatura especializada se expandiu ainda mais. A Tafonomia foi cada vez menos associada à ideia de perda de informação, favorecendo o surgimento de um modelo teórico no qual essa ideia foi completamente abandonada. Nesse modelo a fossilização é um processo que não implica em perda ou diminuição de informação paleobiológica, mas no incremento da informação tafonômica (Fernández-López, 1991) (Fig. 6). O modelo mencionado considera que a partir de uma abordagem sistemática e evolutiva, a fossilização é um processo não paleobiológico, experimentado por entidades tafonômicas ou por entidades conservadas, o que não implica em perda ou diminuição de informações paleobiológicas. O registro fóssil é constituído por entidades registradas que foram produzidas por entidades conservadas pré-existentes. Uma maior ou melhor conservação pode ser devida a fatores tafonômicos, produtivos e/ou paleobiológicos

Enfoques multidisciplinares envolvendo Paleoecologia e Evolução resultaram no estabelecimento da Paleoecologia Evolutiva (do inglês: *Evolutionary Paleoecology*), um termo que surgiu na literatura durante a década de 1970 e reapareceu com maior destaque duas décadas depois (Kelley *et al.,* 2013). O escopo da Paleoecologia Evolutiva pode ser definido como o estudo em escala macroevolutiva do contexto biótico e abiótico, no qual viveram organismos hoje extintos e os efeitos deste contexto na evolução das linhagens e morfotipos (Wing *et al.,* 1992). Outra perspectiva é a de que a Paleoecologia Evolutiva analisa como as interações entre organismos no passado podem ser responsáveis por padrões paleoecológicos de larga

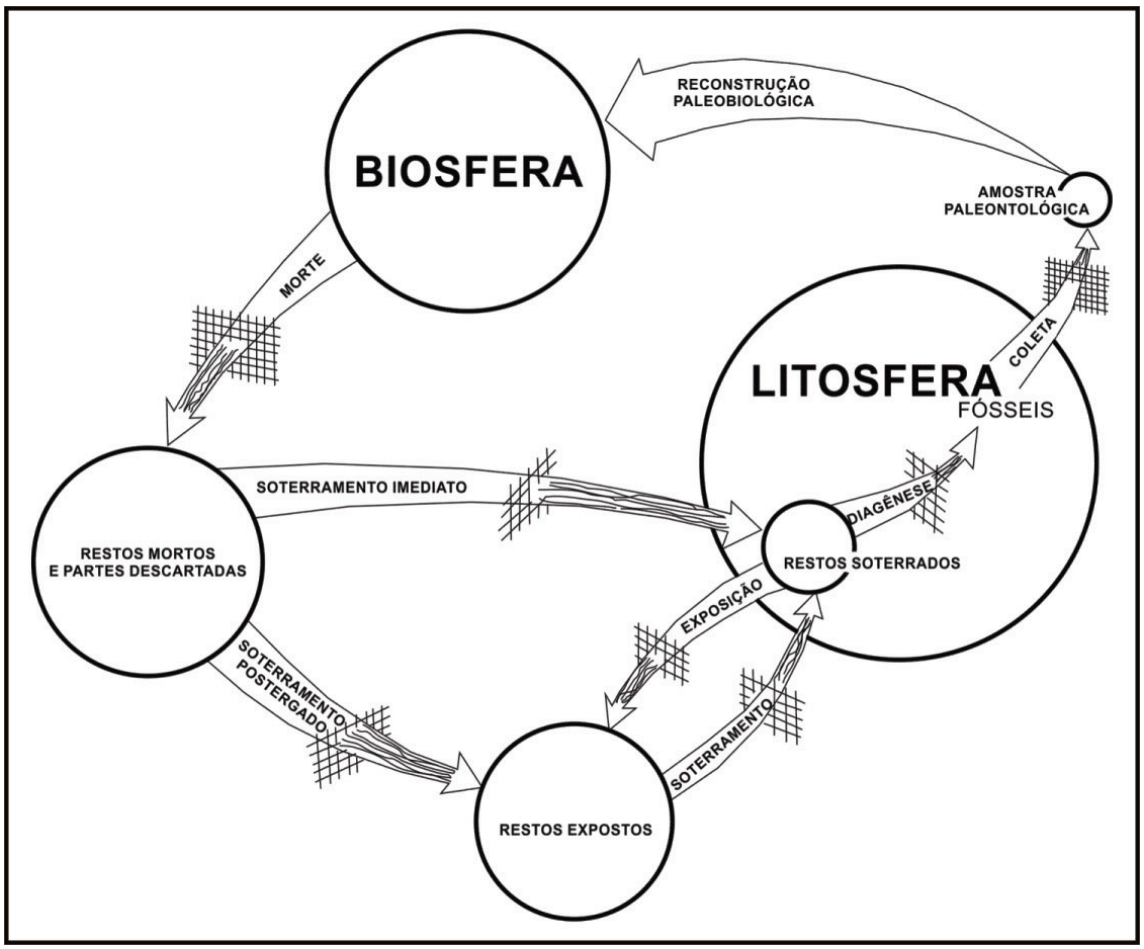

Figura 5. Paradigma para a transição entre a Biosfera e a Litosfera com progressão dos restos orgânicos através de distintos estágios desde a morte do organismo até a sua posterior descoberta na forma de fóssil e os processos que agem como filtros da informação paleontológica (modificado de Behrensmeyer & Kidwell, 1985).
Figure 5. Paradigm for the transition between the Biosphere and the Lithosphere with progression of the organic remains through different stages from the death of the organism until its later discovery in the form of fossil and the processes that act as filters of the paleontological information (modified from Behrensmeyer & Kidwell, 1985).

escala (Kelley *et al.,* 2013).

A literatura sobre Tafonomia também apresentou grandes avanços com a publicação de livros que contêm conceitos e métodos que vinham se consolidando nas últimas décadas em inúmeros trabalhos especializados. Entre eles se destacam: *Owls, caves and fossils* ("Corujas, cavernas e fósseis"; Andrews, 1990) que representa até hoje uma das mais completas referências para o estudo tafonômico de pequenos vertebrados recuperados de ambientes cavernícolas; *Terrestrial ecosystems through time* ("Ecossistemas terrestres através do tempo"; Behrensmeyer *et al.,* 1992) com a apresentação de parâmetros metodológicos utilizados na Paleoecologia Evolutiva e a respectiva aplicação no estudo de plantas e animais de ambientes terrestres desde o Paleozoico; *Vertebrate taphonomy* ("Tafonomia de vertebrados" Lyman, 1994), que reúne e discute estudos tafonômicos publicados em diversos países, incluindo abordagens paleontológicas e zooarqueológicas; *Taphonomy: a process approach* ("Tafonomia: abordada como um processo"; Martin, 1999), que foi o primeiro livro a revisar de maneira completa os diversos temas da Tafonomia na Paleontologia, incluindo a formação de fósseis de plantas e animais em ecossistemas marinhos e terrestres. Paralelamente, adventos tecnológicos que já vinham sendo desenvolvidos anteriormente, sobretudo aqueles associados à computação, permitiram grandes avanços. Abordagens que utilizavam tais recursos, como as ligadas à morfologia funcional e estatística, aprimoraram seu uso (Kitchell, 1990). Os computadores

passaram a ser bastante utilizados também na estratigrafia (Agterberg & Griffiths, 1991), na elaboração de modelos e inferências filogenéticas, entre outros usos (Kitchell, 1990).

No início da década de 2000 (re)formulações sobre a Tafonomia, suas disciplinas e conceitos associados, seguiram sendo apresentadas na literatura. O corpo teórico da disciplina nunca havia sido tão robusto e difundido. Devido a estes crescentes avanços, até o final dos anos 2000 uma enorme quantidade de conceitos já havia sido proposta e aqueles que se mostraram mais relevantes puderam ser recapitulados e avaliados criticamente em artigos e manuais dedicados exclusivamente ao tema (*e.g.* Fernández-López, 2000; Fernández-López & Fernández-Jalvo, 2002). Em termos de objetivos, a Tafonomia foi considerada como a disciplina que busca "compreender os processos [que influenciaram restos orgânicos] para que os dados do registro fossilífero sejam avaliados corretamente e aplicados a problemas paleobiológicos e paleoecológicos" (Behrensmeyer *et al.,* 2000). No que se refere aos conceitos da principal subdivisão da Tafonomia, a biostratinomia e a fossildiagênese são disciplinas com suas respectivas definições, objetivos e métodos, mas cujos usos e limites não haviam sido claramente estabelecidos na literatura (Fernández-López & Fernández-Jalvo, 2002). O esforço em aprimorar o entendimento dessa subdivisão verificou que no uso mais comum a biostratinomia e a fossildiagênese podem ser consideradas como duas fases consecutivas da fossilização (Fernández-López & Fernández-Jalvo, 2002). No entanto, o fim da fase bioestratinômica e o princípio da fase fossildiagenética devem ser marcados pelo soterramento inicial, em vez de pelo soterramento final (Fernández-López & Fernández-Jalvo, 2002). De acordo com essa visão, as modificações bioestratinômicas e fossildiagenéticas devem ser consideradas como processos que podem ou não ocorrer durante a fossilização, por exemplo, muitos fósseis correspondem a restos e vestígios produzidos biologicamente dentro de depósitos ou rochas, e não foram submetidos a modificações pré-soterramento (Fernández-López & Fernández-Jalvo, 2002) (Fig. 7).

Ao final da primeira década do século XXI, as sucessivas retificações do conceito de Tafonomia efetuadas desde sua proposição parecem ter sido bem aceitas pelos pesquisadores em geral e isso reflete um crescente aprimoramento do escopo da disciplina (Lyman, 2010). Isto contribuiu para que a acepção do termo Tafonomia se desenvolvesse de "conjunto de processos que distorcem a informação do registro fossilífero" para o reconhecimento de que "os processos em si são dignos de pesquisa para responder a questões paleobiológicas" (Lyman, 2010). Ainda que tenham sido muitas, as diferentes reformulações do conceito de Tafonomia que constam na literatura não extrapolaram a acepção original do termo cunhado por Efremov (1940). Porém, uma possível ressalva a este respeito poderia ser feita especificamente no que tange ao uso do termo Tafonomia no estudo de materiais que não são de origem orgânica, como vestígios de ferramentas líticas recuperadas de sítios arqueológicos. Como esse tipo de vestígio não representa a existência pretérita de um organismo propriamente dito, mas um elemento geológico como vários outros comumente presentes no registro arqueológico, eles não se enquadrariam na ideia de Tafonomia como disciplina que estuda a transição entre a Biosfera e a Litosfera (Lyman, 2010). Um ponto de vista alternativo a este respeito defende uma concepção mais abrangente de Tafonomia, a qual considera que materiais que não são de origem orgânica possam ser estudados tafonomicamente (Domínguez-Rodrigo *et al*., 2011). Ao invés de se concentrar nos aspectos da transição entre a Biosfera e a Litosfera, esta interpretação argumenta que a definição de Tafonomia apresentada por Efremov contempla o estudo das leis do soterramento e que o contexto deposicional tem papel fundamental no estudo tafonômico, ainda que inclua materiais cuja origem não é orgânica (Domínguez-Rodrigo *et al*., 2011).

De acordo com as informações elencadas ao longo do presente trabalho, desde a proposição da Tafonomia como ramo da Paleontologia as mudanças de enfoque relacionadas aos objetivos dessa disciplina demonstraram um aspecto cíclico, conforme sugerido por Cadée (1991). Inicialmente, na escola alemã, a ênfase esteve nos ambientes de deposição, em seguida destacou-se o caráter incompleto do registro fossilífero na proposta de Efremov (seguida inicialmente pelos pesquisa-

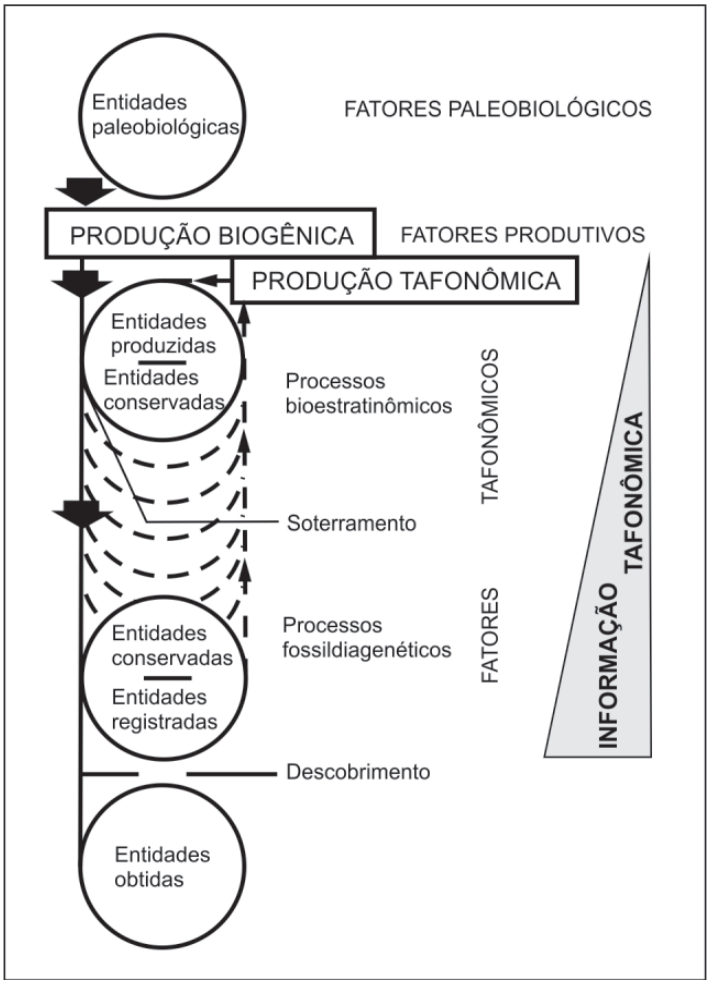

Figura 6. Representação esquemática de modelo teórico no qual a fossilização promove o incremento de informações tafonômicas. (modificado de Fernández-López, 1991).
Figure 6. Schematic representation of a theoretical model in which fossilization promotes the increase of taphonomic information. (modified from Fernández-López, 1991).

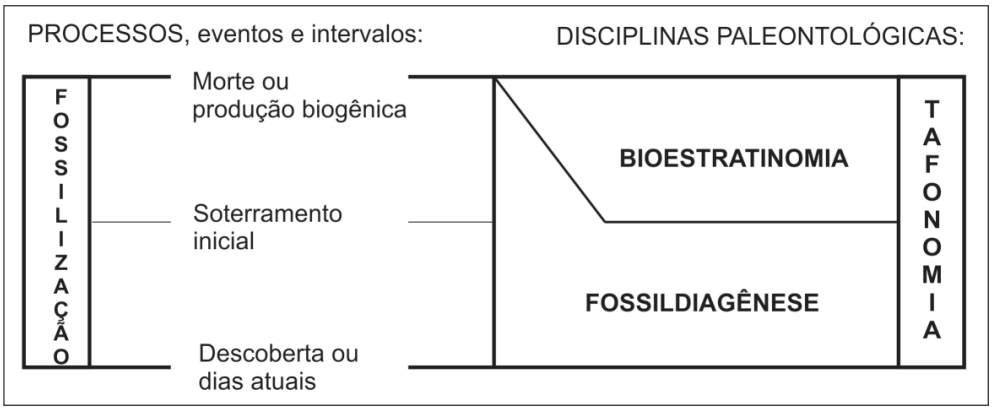

Figura 7. Esquema de várias disciplinas paleontológicas referentes a processos, eventos, fases ou intervalos de fossilização, conforme proposto em Fernández-López e Fernández-Jalvo (2002).
Figure 7. Scheme of several palaeontological disciplines referring processes, events, phases or intervals of fossilization, as proposed in Fernández-López & Fernández-Jalvo (2002).

dores norte-americanos) e, recentemente, houve certo redirecionamento no sentido dos aspectos sedimentológicos e paleoambientais (Fig. 8). As reflexões sobre o conceito de Tafonomia e seu consequente desenvolvimento, bem como o debate sobre a terminologia específica utilizada nesta disciplina (*e.g.* usos na Arqueologia, unidades quantitativas, etc.), têm auxiliado na comunicação precisa necessária às atividades de ensino e pesquisa. Desta forma, os significados conferidos aos termos é um aspecto crucial para o qual é necessária a concordância dos profissionais envolvidos. O caráter fundamental da replicabilidade e do teste independente de hipóteses de pesquisa exige clareza na terminologia científica adotada. Para isso,

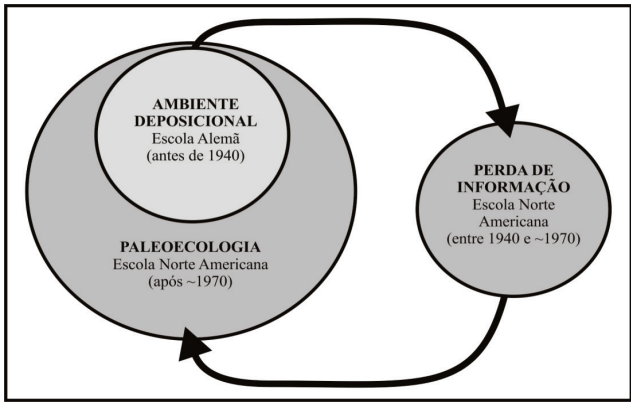

Figura 8. Aspecto cíclico da ênfase na pesquisa tafonômica (esquema baseado em Cadée, 1991).
Figure 8. Cyclical aspect of the emphasis on taphonomic research (scheme based in Cadée, 1991).

são necessários conceitos razoavelmente bem estabelecidos, um objetivo que paulatinamente vem sendo perseguido no campo de estudo da Tafonomia (Lyman, 2010).

4 Discussão

O presente levantamento reuniu informações sobre os prelúdios do estudo dos fósseis no Ocidente e permitiu elaborar um breve histórico do pensamento sobre a formação do registro fossilífero de vertebrados. Ainda que não tenha sido possível levantar e avaliar de forma integral as publicações pertinentes ao tema, nessa retrospectiva histórica apresentamos uma visão panorâmica aos leitores menos familiarizados, a qual também constitui um ponto de partida para aqueles interessados em se aprofundar. Isso porque as referências consultadas abrangem diferentes momentos do período de tempo considerado pela retrospectiva e podem tanto indicar tendências que se sobressaíram, quanto revelar aspectos com implicações mais pontuais.

As informações reunidas indicam que conjecturas que vêm sendo elaboradas, pelo menos, desde a Antiguidade Clássica (Mayor, 2000) representam tentativas de explicar o significado dos fósseis e os processos de fossilização. Tais tentativas revelam uma motivação que à luz do conhecimento hodierno pode ser considerada de cunho essencialmente tafonômico (Lyman, 2010). Desta forma, a discussão de problemáticas tafonômicas (*e.g.* origem dos fósseis durante a Antiguidade Clássica; Mayor, 2000) claramente antecede o estabelecimento do termo Tafonomia e sua divisão em subdisciplinas (Efremov, 1940).

Posteriormente, explanações cujas raízes se estendem até a Antiguidade Clássica foram aprimoradas pelas inúmeras contribuições realizadas em diversas áreas do conhecimento durante a Revolução Científica. Em particular, o desenvolvimento do princípio da seleção natural de Darwin -Wallace, na metade do século XIX (Kutschera, 2003), colocou em evidência o papel dos fósseis para o entendimento da história da vida e do planeta. A partir deste ponto, o pensamento evolutivo adquiriu uma dimensão temporal profunda e os fósseis passaram a ser parte fundamental na elaboração de conjecturas sobre os fenômenos biológicos que se sucederam na Terra (*e.g.* Cope, 1887).

Em períodos relativamente mais recentes da história da ciência, o amadurecimento do pensamento sobre a fossilização culminou na diferenciação de um ramo da Paleontologia, a Tafonomia (Efremov, 1940). Essa nova disciplina apresenta objetivos diretamente ligados ao estudo da formação dos fósseis e das respectivas consequências para o entendimento do potencial e das limitações do registro formado por eles. Com os avanços subsequentes verifica-se que uma série de reflexões sobre o conceito de Tafonomia (*e.g.* Behrensmeyer & Kidwell, 1985; Behrensmeyer *et al.,* 2000; Fernández-López, 2000), aliada ao incremento na criticidade dos métodos e subdivisões consideradas (*e.g.* Lyman & Fox, 1989; Fernández-López e Fernández-Jalvo, 2002; Lyman, 2010), contribuiu para a consolidação dessa área de pesquisa. De forma semelhante, é possível identificar em publicações

anteriores ao final do século XIX inúmeras ideias que sob a óptica científica atual assumiriam um caráter ecológico ou paleoecológico antes que o termo Ecologia fosse cunhado (Wilkinson, 2012). O mesmo se verifica para outras subáreas da própria Paleontologia, como a Paleoicnologia. Desta forma, o inquérito de problemáticas centrais das Ciências Biológicas e da Terra antecedeu em muito a divisão do conhecimento nestas duas grandes áreas, e seguiu durante o século XIX uma tendência de criação de novos termos com o objetivo de delimitar suas disciplinas e subdisciplinas (Brandão *et al.,* 2014).

5 Conclusão

Conforme os registros mais antigos da literatura científica de países ocidentais, ela está repleta de obras ligadas às Ciências Naturais e que de alguma forma contribuíram para o desenvolvimento do pensamento sobre a formação do registro fossilífero de vertebrados. A estruturação deste corpo de conhecimento e sua importância para as Ciências Biológicas e da Terra se tornaram flagrantes com a proposição da Tafonomia como um novo ramo da Paleontologia. Desta forma, os avanços relacionados à Tafonomia, já assim denominada, representam a continuidade de uma linha de investigação que se originou tão prematuramente quanto o próprio reconhecimento dos fósseis como tais.

Agradecimentos. Agradecemos à FAPESP (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo) pelas bolsas concedidas a ELM (proc. 07/53185-7 e proc. 09/03753-4) e que subsidiaram a pesquisa inicial para o presente trabalho; ao suporte financeiro do CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) ao Programa de Pós-Graduação em Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul com a bolsa de ELM (proc. 140577/2014-9); à CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) pela bolsa de doutorado sanduíche concedida a ELM (proc. 88881.134568/2016-01) para consultar a coleção Peter Lund no Zoologisk Museum, Copenhague, Dinamarca, o que permitiu aprofundar a pesquisa de tópicos específicos e obter bibliografias importantes. A Walter Neves do Laboratório de Estudos Evolutivos Humanos do Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo e à Seção de Paleontologia do Museu de Ciências Naturais da Fundação Zoobotânica do Rio Grande do Sul pela estrutura oferecida; as plataformas www.e-rara.ch e gallica.bnf.fr por oferecerem acesso *online* a obras antigas e raras; a Leonado Kerber (Centro de Apoio à Pesquisa Paleontológica da Quarta Colônia/Universidade Federal de Santa Maria) por prover bibliografias importantes; a César Leandro Schultz (Universidade Federal do Rio Grande do Sul) e a Renato Pereira Lopes (Universidade Federal do Pampa) pela leitura e sugestões sobre uma versão prévia do presente trabalho apresentada como parte do Exame de Qualificação de Doutorado de ELM; a Kurt Kjær, Kristian Murphy Gregersen e Kasper Lykke Hansen (Zoologisk Museum, Copenhague, Dinamarca) pelo auxílio durante a consulta à coleção Peter Lund. Finalmente, agradeço aos revisores Antonio Carlos Sequeira Fernandes e Marcello Guimarães Simões pelos comentários e sugestões de referências que contribuíram para o aprimoramento do manuscrito que resultou no presente artigo.

Referências bibliográficas

Adams, F.D. 1938. *The Birth and Development of the Geological Sciences*. Baltimore, The Williams & Wilkins Company, 506 p.

Agterberg, F.P. & Griffiths, C.M. 1991. Computer applications in stratigraphy 1989/1990: a review. *Computers & Geosciences*, 17(8): 1105-1118.

Álvares, S. 2016. A ciência fala inglês? em tempos de mudança...(Editorial). *Nascer e Crescer*, 25(3): 133-135.

Andrews, P. 1990. *Owls, caves and fossils: predation, preservation and accumulation of small mammal bones in caves*. Chicago, University of Chicago Press, 239p.

Anelli, L.E. 2016. *Dinossauros e outros monstros: uma viagem à pré-história do Brasil*. São Paulo, Editora Peirópolis LTDA, 248p.

Baird, R.F. 1989. Fossil bird assemblages from Australian caves: precise indicators of the late Quaternary environments? *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 69: 241-244.

Behrensmeyer, A.K. 1978. Taphonomic and ecologic information from bone weathering. *Paleobiology,* 4(2): 150-162.

Behrensmeyer, A.K. & Hill, A.P. (Eds.) 1980. *Fossils in the making: Vertebrate Taphonomy and Paleoecology*. Chicago, University of Chicago Press, 338p.

Behrensmeyer, A.K. & Kidwell, S.M. 1985. Taphonomy's contribution to Paleobiology. *Paleobiology*, 11(1): 105-119.

Behrensmeyer, A.K., Damuth, J.D., Di Michele, W.A., Potts, R.S., Hans, D. & Wing, S.L. (Eds.). 1992. *Terrestrial ecosystems through time: Evolutionary Paleoecology of terrestrial plants and animals*. Chicago, University of Chicago Press, 568 p.

Behrensmeyer, A.K., Kidwell, S.M. & Gastaldo, R.A. 2000. Taphonomy and Paleobiology. *Paleobiology*, 26(4): 103-147.

Benton, M.J. & Wimbledon, W.A. 1985. The conservation and use of fossil vertebrate sites: British fossil reptile sites. *Proceedings of the Geologists Association*, 96(1): 1-6.

Binford, L.R. 1981. *Bones: ancient men and modern myths*. New York, Academic Press, 320p.

Bramwell, D.,Yalden, D.W. & Yalden, P.E. 1987. Black grouse as the prey of the golden eagle at an archaeological site. *Journal of Archaeological Science*, 14(2): 195-200.

Brandão, J.M. Callapez, P., Santos, V.F.D. & Rodrigues, N.P. 2014. Janelas sobre mundos extintos: reflexões sobre comunicação em Paleontologia. *Geonovas*, 27: 83-94.

Cadée, C.G. 1991. The history of Taphonomy. *In*: Donovan, S.K. (Ed.). *The processes of fossilization*. New York, Columbia University Press, p. 3-21.

Cartelle, C. 1994. *Tempo passado: mamíferos do Pleistoceno em Minas Gerais*. Belo Horizonte, Editora Palco, 131p.

Cartelle, C. 2012. *Das grutas à luz – mamíferos pleistocênicos de Minas Gerais*. Belo Horizonte, Editora Bicho do Mato, 236p.

Carvalho, I.S. (Ed.). 2010. *Paleontologia: Conceitos e Métodos* - 3a. edição. Rio de Janeiro, Editora Interciência, 734p.

Cope, E.D. 1887. *The origin of the fittest: Essays on Evolution*. New York, D. Appleton, 467p.

d'Orbigny, A. 1849. *Le cours élémentaire de Paléontologie et de Géologie stratigraphique*. Paris, V. Masson, 299p.

Da-Gloria, P., Neves, W.A., & Hubbe, M. 2016. *Lagoa Santa: história das pesquisas Arqueológicas e Paleontológicas*. São Paulo, Editora Annablume, 414p.

Dixon, E.J. 1984. Context and environment in taphonomic analysis: examples from Alaska's Porcupine River Caves. *Quaternary Research*, 22: 201-215.

Dodson, P. & Wexlar, D. 1979. Taphonomic investigations of owl pellets. *Paleobiology*, 5(3): 275-284.

Domínguez-Rodrigo, M., Fernández-López, S. & Alcalá, L. 2011. How can be Taphonomy be defined in the XXI century? *Journal of Taphonomy*, 9(1):1-13.

EF. Education First. 2017. *Relatório sobre o Índice de Proficiência em Inglês - Brasil*. Disponível em: <https://www.ef.com.br/epi/regions/latin-america/brazil/>. Acesso em 19/03/2018.

Efremov, I.A. 1940. Taphonomy: new branch of Paleontology. *Pan-American Geologist*, 74: 81-93.

Ferigolo, J. 2016. *Filosofia da Biologia de Aristóteles*. Porto Alegre, Editora Prismas, 473p.

Fernández-López, S. 1986. La Tafonomía: un subsistema conceptual de la Paleontología. *Coloquios de Paleontología*, 41(1986-1987): 9-34.

Fernández-López, S. 1991. Sistemas tafonómicos: función y evolución. *Revista Española de Paleontología*, n.° Extraordinário, 21-34.

Fernández-López, S. 2000. *Temas de Tafonomía*. Departamento de Paleontología, Universidad Complutense de Madrid, Madrid, 167p.

Fernández-López, S. & Fernández Jalvo, Y. 2002. The limit between biostratinomy and fossildiagenesis. *In*: De Renzi, M., Pardo Alonso, M.V., Belinchón, M., Peñalver, E., Montoia, P. & Márquez-Aliaga, A. (Eds.). *Current Topics on Taphonomy and Fossilization,* Ajuntament de Valencia, 27-37.

Figueirôa, S.F.D.M. 1998. Mundialização da ciência e respostas locais: sobre a institucionalização das ciências naturais no Brasil (de fins do século XVIII à transição ao século XX). *Asclepio*, 50(2): 107-123.

Grayson, D.K. 1981. The effects of sample size on

some derived measures invertebrate faunal analysis. *Journal of Archaeological Science*, 8: 77-88.

Haynes, G. 1980. Evidence of carnivore gnawing on Pleistocene and Recent mammalian bones. *Paleobiology*, 6(3): 341-351.

Hill, A.P. 1979. Disarticulation and scattering of mammal skeletons. *Paleobiology*,5(3): 261-274.

Hill, A. & Walker, A. 1972. Procedures in vertebrate taphonomy: notes on a Uganda Miocene fossil locality. *Journal of the Geological Society,* 128(4): 399-406.

Holz, M. & Simões, M.G. 2002. *Elementos fundamentais de Tafonomia*. Porto Alegre, Editora da Universidade/UFRGS, 231p.

Hubbe, M., Neves, W.A., & Harvati, K. 2010. Testing evolutionary and dispersion scenarios for the settlement of the New World. *PLoS One*, 5(6): e11105.

Hubbe, A., Hubbe, M., Karmann, I., Cruz, F.W., & Neves, W.A. 2013a. Insights into Holocene megafauna survival and extinction in southeastern Brazil from new AMS 14 C dates. *Quaternary Research*, 79(2): 152-157.

Hubbe, A., Hubbe, M., & Neves, W.A. 2013b. The Brazilian megamastofauna of the Pleistocene/Holocene transition and its relationship with the early human settlement of the continent. *Earth-Science Reviews*, 118: 1-10.

Kelley, P.H. Fastovsky, D.E., Wilson, M.A., Laws, R.A. & Raymond, A. 2013. From Paleontology to Paleobiology: a half-century of progress in understanding life history. *Geological Society of America Special Papers,* 500: 191-232.

Kellner, A.W. & Campos, D.D.A. 1999. Vertebrate paleontology in Brazil: a review. *Episodes*, 22(3): 238.

Kitchell, J. 1990. Computer applications in Palaeontology. *In*: Briggs, D.E.G., Crowther, P.R. (Eds.). *Palaeobiology: a Synthesis*. Oxford, Blackwell, p. 493-499.

Kowalewski, M. 1999. Actuopaleontology: the strength of its limitations. *Acta Palaeontologica Polonica*, 44(4): 452-454.

Kutschera, U. 2003. A comparative analysis of the Darwin-Wallace papers and the development of the concept of natural selection. *Theory in Biosciences*, 122(4): 343-359.

Lhuyd, E. 1699. *Lithophylacii Britannici ichnographia: sive lapidum aliorumque fossilium Britannicorum singulari figura insignium quotquot hactenus vel ipse invenit vel ab amicis accepit, distribution classica*. Londini, ex officina M.C, Lipsiae: sumt. Joh. Ludw. Gleditsch & Weidmann. Zentral bibliothek Zürich, NG 1883, http://dx.doi.org/10.3931/e-rara-30541/ Public Domain Mark.

Lima, M.R. 1989. *Fósseis do Brasil*. São Paulo, Editora USP e TAQ Editora, 118p.

Linnaeus, C. 1758. *Systema naturae per regna tria naturae, secundum classes, ordines, genera, species, cum characteribus differentiis, synonymis, locis*. Tomus I - Editio Decima Tertia, Aucta, Reformata. Holmiae, 500p.

Livingston, S.D. 1989. The taphonomic interpretation of avian skeletal part frequencies. *Journal of Archaeological Science*, 16: 537-547.

Lund, P.W. 1836. Om huler i kalksteen i det indre af Brasilien, der tildeels indeholde fossile knokler: Förste Afhandling. *Det Kongelige Danske Videnskabernes Selskabs naturvidenskabelige og mathematiske afhandlinger*, 6: 207-248.

Lund P.W. 1845. Notice sur des ossements humains fossiles, trouvés dans une caverne du Brésil. *Mémoires de la Societé Royale des Antiquaires du Nord*, 1845-1849, 49-77.

Lyman, R.L. 1984. Bone density and differential survivorship of fossil classes. *Journal of Anthropological Archaeology*, 3: 259-299.

Lyman, R.L. 1994. *Vertebrate taphonomy*. Cambridge, Cambridge University Press, 524p.

Lyman, R.L. 2010. What taphonomy is, what it isn't, and why taphonomists should care about the difference. *Journal of Taphonomy*, 8(1): 1-16.

Lyman, R.L. & Fox, G.L. 1989. A critical evaluation of bone weathering as an indication of bone assemblage formation. *Journal of Archaeological Science*, 16(3): 293-317.

Manzig, P. 2015. Divulgação científica: a paleontologia nos museus brasileiros. *Ciência e Cultura*, 67(4): 54-55.

Manzig, P.C. & Weinschütz, L.C. 2012. *Museus & fósseis da região Sul do Brasil*. Marechal Cândido de Rondon, Editora Germânica, 308p.

Martin, R.E. 1999. *Taphonomy: a process approach.* Cambridge, Cambridge University Press, 526p.

Martine, A.M. & Ricardi-Branco, F. 2017. Descrição dos métodos paleoartísticos para reconstruções de animais e vegetais fósseis. *Terrae Didatica*, 13(2): 101-112.

Mayor, A. 2000. *The First Fossil Hunters: Paleontology in Greek and Roman times.* Princeton, Princeton University Press, 361p.

Mayor, A. 2007. Place names describing fossils in oral traditions. *Geological Society, London, Special Publications*, 273(1): 245-261.

Mayor, A. & Sarjeant, W.A.S. 2001. The folklore of footprints in stone: from Classical Antiquity to the present. *Ichnos*, 8(2): 143-163.

Mendes, J.C. 1977. *Paleontologia geral*. Rio de Janeiro, Livros Técnicos e Científicos; Editora da Universidade de São Paulo, 342p.

Mendes, J.C. 1988. *Paleontologia básica*. São Paulo, Editora USP e TAQ Editora, 511p.

Meneghini, R. & Packer, A.L. 2007. Is there science beyond English?: initiatives to increase the quality and visibility of non-English publications might help to break down language barriers in scientific communication. *EMBO reports,* 8(2): 112-116.

Neves, W.A. & Piló, L.B. 2008. *O povo de Luzia: em busca dos primeiros americanos*. São Paulo, Editora Globo, 334p.

Neves, W.A., Hubbe, M., Okumura, M.M.M., Gonzalez-Jose, R., Figuti, L., Eggers, S. & De Blasis, P.A.D. 2005. A new early Holocene human skeleton from Brazil: implications for the settlement of the New World. *Journal of Human Evolution*, 48(4): 403-414.

Olson, E.C. 1980. Taphonomy: its history and role in community evolution. *In*: Behrensmeyer, A.K. & Hill, A.P. (Eds.). *Fossils in the making: vertebrate Taphonomy and Paleoecology*. Chicago, University of Chicago Press, 5-19.

Paula Couto, C. 1950. *Memórias sobre a Paleontologia brasileira: revistas e comentadas por Carlos de Paula Couto*. Rio de Janeiro, Instituto Nacional do Livro, 589p.

Petri, S. 1990. Resenha "Murilo Rodolfo de Lima, 1989 - Fósseis do Brasil". São Paulo, Editora USP e TAQ Editora". *Revista Brasileira de Geociências*, 19:511.

PLoS Medicine Editors. 2006. Ichweissnicht was sollesbedeuten: Language matters in medicine. *PLoSMed* 3(2): e122.

Ronan, C.A. 1987. *História ilustrada da ciência: a ciência nos séculos XIX e XX*. Rio de Janeiro, Jorge Zahar, v. 4, 138p.

Shipman, P. 1981. *Life history of a fossil: introduction to Taphonomy and Paleoecology*. Harvard, Harvard University Press, 222p.

Shipman, P. & Rose, J. 1983. Evidence of butchery and hominid activities at Torralba and Ambrona: an evaluation using microscopic techniques. *Journal of Archaeological Science*, 10(5): 465-474.

Simms, M.J. 1994. Emplacement and preservation of vertebrates in caves and fissures. *Zoological Journal of the Linnean Society*, 112: 261-283.

Sutcliffe, J. & Lord, T.C. & Harmon, R.S. 1985. Wolverine in Northern England at about 83,000 yr BP: faunal evidence for climatic change during Isotope Stage 5. *Quaternary Research*, 24: 73-86.

Tipper, J.C. 1991. Computer applications in Paleontology: balance in the late 1980s. *Computers & Geosciences*, 17(8): 1091-1098.

Voorhies, M.R. 1969. *Taphonomy and population dynamics of an Early Pliocene vertebrate fauna, Knox County, Nebraska* (vol. 1), Laramie, University of Wyoming, 69p.

Wilkinson, D.M. 2012. Paleontology and Ecology: their common origins and later split. *In*: Louys, J (Ed.). *Paleontology in Ecology and Conservation.* Springer, Berlin, 9-22.

Wing, S.L., Sues, H.D., Potts, R., Di Michele, W.A. & Behrensmeyer A.K. 1992. Evolutionary Paleoecology. *In*: Behrensmeyer, A.K., Damuth, J.D., Di Michele, W.A., Potts, R.S., Hans, D. & Wing, S.L. (Eds.). *Terrestrial ecosystems through time: Evolutionary Paleoecology of terrestrial plants and animals*. Chicago, University of Chicago Press, 1-13.

Wood, A.E. 1952. Tooth-marks on bones of the Orleton Farms Mastodon. *The Ohio Journal of Science,* 52(1): 27-28.

Manuscrito 762 | Recebido em março de 2018 | Aceito em dezembro de 2018 | Editora: César L. Schultz