



A lei de Marsh do crescimento cerebral e a ideia de progresso biológico na evolução

Felipe FARIA



RESUMO

A utilização de uma lei evolutiva deve ocorrer em função de seu valor heurístico na composição de seqüências filogenéticas. Esta era uma das características da lei do crescimento cerebral, proposta por O. C. Marsh (1831-1899), que amiúde levava à constatação da existência de uma tendência a um aumento de complexidade corporal ocorrente durante o processo evolutivo. Diversas críticas foram então feitas, frequentemente fundamentadas na impossibilidade de que uma tendência pudesse operar no processo evolutivo que tinha como mecanismo a seleção natural, a qual, por sua vez, baseava-se na oferta de variação ocorrida ao acaso. Mesmo assim, a lei de Marsh permaneceu sendo utilizada devido ao seu potencial explicativo e, de certo modo, preditivo.

PALAVRAS-CHAVE • Lei evolutiva. Crescimento cerebral. Progresso. Fósseis endocranianos. Paleoneurologia.

INTRODUÇÃO

De 1861 até o final de sua carreira, Othniel Charles Marsh produziu uma enorme quantidade de trabalhos paleontológicos, versando principalmente sobre vertebrados do Mesozoico norte-americano,¹ descobrindo e descrevendo por volta de 496 novas espécies, 225 gêneros, 64 famílias e 19 classes (Schuchert, 1938, p. 1). Esta enorme produção projetou seu nome ao cenário internacional da comunidade acadêmico-científica, assim como do grande público, e também levou-o a uma disputa com seu compatriota estadunidense, Edward Drinker Cope (1840-1897), pela descoberta de vários fósseis e pela prioridade em suas descrições. Durante tal contenda, que posteriormente ficou conhecida pelo público em geral como *Bone Wars* (Guerra dos Ossos) ou *Great Dinosaur Rush* (Grande Corrida aos Dinossauros) - 1877-1892, ambos chegaram aos limites do absurdo, acusando-se mutuamente de incorrer em imprecisões nas descrições, classificações e montagens de vários espécimes; denúncias de plágio e desvio de verbas públicas; acusações recíprocas de espionagem e de suborno dos empregados envolvidos com as escavações e o envio dos fósseis; e até mesmo da destrui-

¹ Era geológica compreendida entre 252 e 66 milhões de anos atrás (ICS, 2015)

ção dos fósseis remanescentes nos sítios em que as escavações eram dadas como finalizadas ou suspensas (cf. New York Herald, 1890, p.10; Bowler, 1977, p. 249 Rainger, 1992, p. 15; Buffetaut, 1987, p. 133; Bond, 2013, p. 30; Gayrard-Valy, 1987, p.119-20).

Mas, apesar da visibilidade que seu envolvimento nesta disputa produziu dentro e fora do mundo acadêmico-científico, a massiva produção de descrições e identificações taxonômicas que Marsh realizou obtiveram um reconhecimento por parte desta comunidade como um relevante suporte na defesa da teoria da evolução proposta por Charles Darwin (1809-1882). Isto ocorreu, principalmente porque o resultado desses trabalhos permitiu a elaboração de importantes sequências evolutivas, assim como de proposições teóricas, que muitas vezes levavam em consideração a existência de um elemento de progresso biológico, aumento de complexidade organizacional, ocorrendo durante o processo evolutivo (cf. Bowler, 1976, p. 131-7).

Uma das mais importantes destas proposições, iniciou-se em julho de 1874 quando Marsh fez uma breve comunicação no encontro da Academia de Ciências e Artes de Connecticut (*Connecticut Academy of Arts and Sciences*) sobre o “pequeno tamanho do cérebro em mamíferos do Terciário”.² Naquela oportunidade ele afirmou ter observado que em vários grupos de mamíferos o tamanho do cérebro havia aumentado ao longo daquele período geológico e que os fatos que demonstravam isso “tem um importantíssimo peso sobre a evolução dos mamíferos e abrem um novo e interessante campo para futura investigação” (Marsh, 1874, p. 66-7). Dois anos mais tarde ele descreveria uma lei evolutiva denominada “lei geral do crescimento cerebral”, que estabelecia haver uma tendência ao aumento progressivo do tamanho e da complexidade do encéfalo dos mamíferos operando ao longo do processo evolutivo deste grupo, obedecendo os seguintes preceitos:

- 1 Todos os mamíferos do Terciário tiveram cérebros pequenos.
- 2 Houve um aumento gradual no tamanho do cérebro durante este período.
- 3 Este aumento estava confinado principalmente aos hemisférios cerebrais, ou a porção mais exterior do cérebro.
- 4 Em alguns grupos, as circunvoluções do cérebro têm se tornado gradualmente mais complexas.
- 5 Em alguns, o cerebelo e os lobos olfativos têm até mesmo diminuído em tamanho.

O aumento cerebral e de sua complexidade, segundo Marsh, poderiam ser verificados com a análise do volume craniano dos animais fossilizados que compunham as sequências evolutivas dos ungulados, grupo de mamíferos que inclui os equídeos (cf. Marsh, 1874, p. 66; 1876a, p. 61; 1877, p. 54-5; 1886, p. 58-9).³ Para ele, não só

² Período geológico compreendido entre aproximadamente 66 a 2,6 milhões de anos atrás (ICS, 2015).

³ Os moldes e contramoldes fósseis de endocrânios e cérebros podem preservar diversos caracteres da morfologia cerebral, como traços de fissuras, circunvoluções, etc., possibilitando a reconstrução deste órgão com relativa precisão. Ambos podem ser replicados, principalmente com a utilização de gesso, o que permite sua distribuição

os ungulados, mas todos os mamíferos tiveram seus cérebros aumentados, e tornados mais complexos, gradual e progressivamente, desde o Terciário. O aumento de complexidade poderia ser constatado pelo maior número de circunvoluções que os hemisférios cerebrais destes animais apresentavam, mas também poderia ser constatado, pela redução de estruturas incomplexas, como o cerebelo e o bulbo olfativo. Marsh ainda apontou para evidências da existência deste padrão evolutivo, de aumento de complexidade, ou de redução de incomplexidade, também nas sequências genealógicas das aves e dos répteis (cf. Marsh, 1876a, p. 59-61).

Entretanto, havia uma dificuldade para que Marsh acomodasse a ocorrência deste padrão evolutivo – o progressivo aumento de complexidade de uma estrutura corporal – dentro do escopo da teoria da evolução de Darwin, uma vez que ela tem em sua estrutura o elemento fortuito da oferta de variação, o que inviabiliza a inclusão de algum componente tendencial. Somente em 1886, em sua “monografia de uma ordem extinta de mamíferos gigantes”, que ele denominou *Dinoceratas*, Marsh tentou resolver esta dificuldade. Neste trabalho, ele avançou ainda mais em suas proposições sobre a lei do crescimento cerebral, ao argumentar em termos darwinianos que aquela tendência obedecia ao processo evolutivo dirigido pela seleção natural. Ainda que não estivesse totalmente compreendida a relação entre inteligência e o tamanho do cérebro, Marsh partiu do pressuposto que um cérebro maior dotaria um animal de mais inteligência. Baseado nisto, ele defendeu que os cérebros tendiam a crescer porque a inteligência é um importante fator de vantagem na luta pela existência. Para ele “o cérebro de um mamífero pertencente à uma raça vigorosa, adaptado para uma longa sobrevivência, é maior do que a média dos cérebros do mesmo grupo naquele período”, assim como “o cérebro de um mamífero de uma raça declinante é menor do que a média dos componentes do mesmo grupo” (Marsh, 1886, p. 59).

Esta foi a maneira que Marsh encontrou para conciliar sua defesa da existência do fenômeno do progresso biológico ocorrendo durante o processo evolutivo, com a teoria da evolução baseada no mecanismo da seleção natural, ou seja, de conciliar a existência de uma tendência produtora de um padrão evolutivo, operando em um processo que tem em sua composição elementos fortuitos. O crescimento cerebral mamífero, que podia ser considerado um aumento de complexidade de organização

para serem estudados por diferentes equipes de paleontólogos. Um dos mais ilustres contramoldes fósseis naturais de cérebro da história da paleontologia é o da Criança de Taung (*Australopithecus africanus*), descoberto na África do Sul, e descrito por Raymond Dart (1893-1988) em 1925. Infelizmente, durante o transcorrer da fraude do Homem de Piltdown – fóssil supostamente descoberto em 1912 – tal descoberta não recebeu aceitação da comunidade científica. Somente no ano de 1953, quando a fraude foi confirmada, as atenções voltaram-se para o fóssil descoberto há 18 anos por Dart, e assim iniciou-se uma intensificação nas pesquisas paleoantropológicas realizadas no continente africano, que levaram a importantes avanços na elucidação da sequência evolutiva do *Homo sapiens*. Como veremos adiante Marsh também praticou este tipo de fraude, falsificando resultados. A falsificação de resultados é considerada “o tipo mais deletério de má conduta, por afetar diretamente o conhecimento científico, mais precisamente, o que se aceita, em cada momento, como conhecimento científico bem estabelecido” (Tobias, 1992, p. 244; cf. Walsh & Knoll, 2011, p. 263; Oliveira, 2015, p. 868).

corporal, era resultado da atuação da seleção natural, a qual opera sobre os elementos variacionais ofertados fortuitamente. Isto ocorria em um processo orientado por uma pressão seletiva, no caso demandante por mais inteligência, que dirigia a evolução no sentido de produzir um aumento de complexidade orgânica, o qual era interpretado por Marsh como progresso biológico (cf. Marsh, 1877, p. 55).

1 MARSH: UM EVOLUCIONISTA EM BUSCA DE UMA LEI

No mesmo ano em que descreveu sua lei do crescimento cerebral (1876) Marsh realizou uma de suas mais célebres contribuições para o suporte da teoria de evolução baseada na seleção natural. Neste ano, ele encontrou-se com Thomas Huxley (1825-1895), naquele momento fortemente envolvido com a defesa e suporte da teoria de Darwin, durante a visita deste último ao Estados Unidos, e informou-lhe sobre o estudo que desenvolvia a respeito da evolução do grupo dos equídeos. Tal estudo havia produzido uma genealogia deste grupo, mais completa do que a sequência genealógica que Huxley utilizava até então, em sua defesa da teoria evolutiva darwiniana. Marsh propunha uma sequência evolutiva de seis estágios, que se iniciava com o *Orohippus*, um ungulado eo-cênico descrito por ele,⁴ que apresentava quatro dígitos nos membros posteriores, e finalizava com o cavalo moderno, o *Equus*, que apresentava apenas um, sendo que em uma das etapas transicionais, encontrava-se o gênero *Hipparion*, um equídeo do Mioceno superior,⁵ que apresentava três dígitos nos membros posteriores e anteriores (cf. Huxley, 1893 [1876], p. 129-32).

Até aquele momento Huxley estava utilizando a sequência genealógica proposta por Jean Albert Gaudry (1827-1908), complementada com os dados levantados pelos estudos de Vladimir Kovalevsky (1842-1883). A sequência de Gaudry, utilizava os fósseis que ele havia escavado na região de Pikermi, na Grécia e relacionava o *Hipparion*, às diversas formas do gênero atual *Equus*, podendo ser retroagida até o Mioceno inferior, com a utilização dos fósseis de *Paleotherium* e *Anchitherium* que Kovalevsky estudou (cf. Huxley, 1896 [1870], p. 355-60; Gaudry, 1862, p. 354; Kovalevsky, 1873, p. 53). Entretanto, mesmo com esta retroação, a sequência evolutiva formada pelos fósseis europeus de Gaudry e Kovalevsky não ultrapassava o limite miocênico. A sequência de Marsh fazia isso e ainda possibilitava uma maior precisão na elaboração de uma sequência evolutiva de todos os ungulados.

Para Huxley, a sequência proposta por Marsh era uma “evidência demonstrativa da evolução”, principalmente porque poderia ser estendida até um fóssil recém desco-

⁴ Eoceno: época geológica compreendida aproximadamente entre 56 e 34 milhões de anos atrás (ICS, 2015).

⁵ Mioceno: época geológica compreendida aproximadamente entre 23 e 5,3 milhões de anos atrás, sendo que o período inferior termina em 16 milhões de anos atrás e o superior inicia-se em 11,6 milhões de anos atrás (ICS, 2015).

berto por ele, o *Eohippus* do Eoceno inferior,⁶ que era mais antigo do que os fósseis dos equídeos europeus, como aqueles que Gaudry e Kovalevsky haviam trabalhado. Além disso, com a introdução desse fóssil na sequência genealógica era possível defender a origem americana dos equídeos, porque o *Eohippus* havia sido encontrado somente em solo americano (cf. Marsh, 1879a, p. 504; Huxley, 1893 [1876], p. 129-32).

Huxley passou a defendê-la, mas a diferença de Marsh não considerou que a sequência evolutiva dos equídeos demonstrasse a existência de um elemento de progresso biológico ocorrendo durante o processo evolutivo. Em vez disso, discutiu em um artigo de 1880, que versava “sobre a aplicação das leis da evolução ao arranjo dos vertebrados e mais particularmente dos mamíferos”, que o tipo de especialização que havia transformado o *Eohippus* no cavalo moderno obedecia uma “lei da evolução”, que também regia o desenvolvimento dos demais animais. Para ele, desde o Eoceno os equídeos estiveram submetidos a três tipos de processos de modificações. O primeiro seria decorrente da existência de um excedente de desenvolvimento de algumas partes em detrimento de outras. O segundo tipo seria um processo em que certas partes sofrem supressão completas ou parciais. E o terceiro processo seria aquele em que certas partes, que eram originalmente distintas, coalescem (Huxley, 1880, p. 649-50).

É importante destacar, como fez o próprio Huxley, que o sentido de lei que ele empregava era o de “uma relação de fatos determinada pela observação”. E aquela lei da evolução que ele havia invocado, ou como ele se referiu, aquela “expressão da natureza da evolução ancestral dos cavalos”:

É precisamente a mesma que formula o processo de desenvolvimento individual em animais”, manifestando-se no “período em que os principais caracteres do grupo ao qual o animal pertence, geralmente são discerníveis, daquele ponto em diante. Depois de um embrião de mamífero ter adquirido os caracteres gerais do grupo, ele desenvolve os caracteres específicos, por meio dos processos de modificações, tais como o crescimento excessivo de uma parte em relação a outra, a interrupção do crescimento ou a supressão de partes já formadas ou pela coalescência de partes inicialmente distintas (Huxley, 1880, p. 650).

Huxley avançou em sua defesa do poder nômico desta “relação de fatos determinada pela observação” ao afirmar que “a coincidência das leis de desenvolvimento ancestral e individual cria uma forte confiança na validade da primeira e na crença que seguramente devemos empregá-la raciocinando dedutivamente, partindo do conhecido para o desconhecido”. Um raciocínio dedutivo que, segundo ele mesmo, detinha a mesma condição preditiva existente em ciências nomotéticas, como, por exemplo, a astronomia. Para ele, como um astrônomo, que pode determinar a localização de um planeta em qualquer momento, o “zoólogo que conhece alguma extensão do curso da

⁶ Aproximadamente entre 56 e 47,8 milhões de anos atrás (ICS, 2015).

evolução de um dado caso, deve com igual equidade raciocinar retrocedendo aos mais antigos, senão até os desconhecidos, estágios” evolutivos (Huxley, 1880, p. 650).

Empregando este raciocínio Huxley predisse que o ancestral do *Eohippus*, até aquele momento desconhecido, teria cinco dígitos em uma pata plantígrada e vários ossos dos membros não coalescidos, além de quarenta e quatro dentes com coroas baixas de faces oclusais simples ou tuberculadas. Para chegar a tal precisão nesta predição, ele utilizou os dados que Gaudry, Kovalevsky e Marsh produziram sobre equídeos, como também utilizou os dados deste último e do paleontólogo francês, Édouard Lartet (1801-1871), sobre evolução cerebral, para predizer como seria o tamanho e a complexidade anatômica cerebral daquele hipotético equídeo primordial. Segundo Huxley, “as investigações destes dois paleontólogos – Marsh e Lartet – têm mostrado que as formas mais antigas de um dado grupo de mamíferos apresentam hemisférios cerebrais menos desenvolvidos do que as formas mais recentes” (Huxley, 1880, p. 650), e que isso indicaria uma probabilidade evidente de que esta forma de equídeo primordial apresentava uma forma de cérebro mais primitiva (Lartet, 1868, p. 1119-22).

Ao discutir a relação que há entre “fósseis e progresso”, Peter Bowler (1976, p. 137) afirma que no momento em que Marsh apresentava sua lei do crescimento cerebral a maioria dos naturalistas concordava que o aumento no tamanho do cérebro poderia ser tomado como sinal de progressão geral no nível de organização. Além do mais, pelo seu volume e posicionamento dentro de uma cavidade craniana, o potencial de fossilização do cérebro é consideravelmente aumentado, sendo considerado por paleontólogos como um dos poucos “órgãos moles (*sic.*) disponíveis para um estudo extensivo” (Edinger, 1951, p. 6; 1958, p. 431).

Muitos naturalistas concordavam que aves e mamíferos eram mais complexos do que os répteis, mas considerando que eles tiveram linhas de desenvolvimentos paralelas, tornava-se evidente que deveriam ser usados novos meios para se aferir o fenômeno da progressão. Estes novos meios deveriam levar em consideração que algumas estruturas desenvolviam-se mais do que as outras, o que dificultava qualquer tentativa de definir uma hierarquia de organização dentro de uma classe. Frequentemente as formas podiam ser vistas como tendo avançado em algumas partes de sua estrutura, mas não em outras. Marsh apontou esta dificuldade ao discutir o caso de dois fósseis de aves cretáceas que ele havia descrito: o *Hesperornis regalis* e o *Ichthyornis dispar*, ambas apresentando um tipo de dentição em seus bicos. O primeiro animal apresentava dentes mais generalizados e uma avançada estrutura vertebral e o segundo por sua vez, apresentava dentes especializados e vértebras primitivas. Mas segundo Marsh, ambas as aves tinham um pequeno cérebro com características reptilianas, que ele diz ter constatado com a análise dos moldes e contramoldes fósseis de seus endocrânios (cf. Marsh, 1880a, p. 8, 121, 185). Mesmo com estes dados, ainda havia dificuldades para se aferir o fenômeno da progressão, algo que Marsh tentou resolver defendendo o poder

nômico e prático da lei do crescimento cerebral. Para ele, o cérebro era potencialmente um órgão profícuo no sentido de permitir alguma maneira de aferição do fenômeno evolutivo, uma vez que, mudanças em seu tamanho e anatomia poderiam ser verificadas com satisfatória objetividade.

2 OS PRIMEIROS MOVIMENTOS NA CONSTITUIÇÃO DA LEI DO CRESCIMENTO CEREBRAL

Aquela era uma objetividade que já estava sendo progressivamente conquistada desde 1822, quando na segunda edição da obra, intitulada *Investigações sobre as ossadas fósseis* (*Recherches sur les ossements fossiles*), Georges Cuvier (1769-1832) discutiu rapidamente o pequeno volume que apresentava o contramolde do encéfalo fossilizado de um ungulado do Terciário de Paris, o *Anoplotherium*. Contudo, ainda mais importante do que o volume, era a representação da “verdadeira forma” do cérebro que o contramolde apresentava, com a qual ele pode constatar que “seus hemisférios não mostram circunvoluções, mas vemos somente uma depressão longitudinal pouco profunda sobre cada um”. Tal constatação seria contribuinte de futuras teorizações evolucionistas como aquela da lei de Marsh, uma vez que, Cuvier afirmara que “todas as leis da analogia nos autorizam a concluir que nosso animal estava desprovido de inteligência” (Cuvier, 1822, p. 44; Jerison, 1973, p. 14).

Quarenta e quatro anos mais tarde (1866), o paleontólogo inglês, Harry Seeley (1839-1909) avançou nos estudos de uma futura área da paleontologia, a paleoneurologia. Em seu “esboço de uma teoria do crânio e do esqueleto” Seeley defendeu uma “teoria mecânica do crânio” na qual a evolução craniana ocorreria pelo efeito de uma força mecânica que operou no desempenho funcional de uma vértebra. De maneira semelhante ao que Huxley fez quando discutiu sua lei da evolução, Seeley também estabeleceu uma “relação de fatos determinada pela observação”, que apresentava poder preditivo. Chegando à conclusão de que “exceto pela variação na organização, funções similares sempre desenvolvem estruturas similares”, ele defendeu poder, de forma similar ao que Huxley havia feito no caso do seu hipotético ungulado, predizer com alguma precisão como uma estrutura poderia evoluir se estivesse desempenhando uma função conhecida por ser desempenhada por outra estrutura igualmente conhecida. Como ele mesmo dizia, neste processo havia uma “subordinação da estrutura à função”, fator que juntamente com a crença na regra da similaridade funcional determinando similaridade estrutural, compunha as diferenças existentes entre sua teoria e as demais (cf. Seeley, 1866, p. 362).

Passados dois anos (1868), Edouard Lartet afirmou, da mesma maneira que Cuvier já o fizera, que o pequeno tamanho dos cérebros em mamíferos implicaria em uma “redução das capacidades intelectuais”. Tal asserção foi feita em um artigo onde

ele discutia “alguns casos de progressão orgânica verificáveis na sucessão dos tempos geológicos”. Entretanto, Lartet, que havia iniciado sua carreira sob a orientação das ideias fixistas de Cuvier não faria tal afirmação vinculando-a às ideias expressamente evolucionistas. Mesmo que houvesse colaborado com os estudos evolucionistas de Gaudry, sobre os fósseis que este último havia descoberto na região de Pikermi, Lartet defenderia que a progressão à qual se referia ao explicar o aumento do tamanho cerebral, obedecia ao efeito de uma “tendência animada na direção de um aperfeiçoamento da qual a causa permaneceria sempre ativa e o limite indefinido” (Lartet, 1868, p. 1022; Jaussaud & Brygoo, 2004, p. 332). Como foi discutido por Laurent (1993, p. 28) em seu artigo sobre o papel de Lartet na constituição da paleontologia humana, neste momento o paleontólogo francês encontrava-se isolado em relação às suas ideias sobre progressão, mas não poderia permanecer fora do debate lançado com a publicação do “Sobre a origem das espécies” em 1859. Levando isto em consideração, Lartet centrou seus esforços na reconstituição da história da vida focando principalmente na história da espécie humana (cf. Faria: 2008, p. 146, 152; 2012a, p. 201-9).

A reconstituição da história da vida, ou da árvore da vida como era usualmente denominada esta empreitada, também era um dos objetivos principais dos estudos de Marsh, quando este começou a se interessar pela questão do aumento da complexidade organizacional, que, por exemplo, ele via ocorrer na evolução do cérebro. Até 1874 publicou quatro artigos tratando sobre alguns animais fossilizados que haviam conservado seus crânios, ou parte deles. Entretanto, somente em um deles, onde tratava de “alguns notáveis fósseis de mamíferos”, ele descreveu em detalhes o crânio fossilizado de *Dinoceras mirabilis*, um “animal quase tão grande como um elefante”, fornecendo inclusive as dimensões cranianas. Mas, apesar de ainda destacar que aquele crânio apresentava uma “grande combinação de notáveis caracteres”, Marsh não lançou nenhum comentário sobre alguma relação entre o tamanho cerebral daquele animal fossilizado e sua inteligência, e muito menos alguma conclusão evolutiva destes caracteres. Também não o fez quando descreveu *Dinocera lacustris*, o outro animal fossilizado que descreveu naquele artigo (cf. Marsh, 1872, p. 343-4).

Contudo, Marsh avançou na direção da constatação do fenômeno envolvido em sua lei, quando propôs a ordem taxonômica dos *Dinocerata* — anteriormente nomeada como *Dinocerea* — compreendendo ambas as espécies que ele havia descrito.⁷ Neste sentido, em 1873 ele publicou um artigo reforçando sua proposta taxonômica, composta por espécies que apresentavam crânios com aquela “combinação de notáveis caracteres”. Neste artigo Marsh prosseguiu com as descrições e comparações, mas pouco fez no sentido de constatar a relação evolutiva implicada no pequeno volume cerebral que os espécimes estudados apresentavam, deixando tal ação “para uma des-

⁷ A ordem *Dinocerata* compreende mamíferos do Eoceno norte-americano, com o corpo assemelhado ao dos rinocerontes atuais, mas que portavam chifres duplos e presas salientes (Marsh, 1886, pranchas).

crição mais completa com ilustrações íntegras” que estava em “curso de preparação” (cf. Marsh, 1873a, p. 117-22).⁸

Em preparação, ou não, Marsh publicou no mesmo ano de 1873 outro artigo sobre “mamíferos fósseis da ordem *Dinocerata*”, onde ele fez críticas à Edward Cope com relação a algumas comparações anatômicas feitas por este último e que o teriam levado a descrições taxonômicas equivocadas. Marsh tentava evitar que estes equívocos pudessem futuramente indicar relações taxonômicas capazes de comprometer o proposto estabelecimento da ordem dos *Dinoceratas*. E apesar de neste artigo ter descrito o crânio dos *Dinoceratas* de maneira mais acurada, ele não fez menção a qualquer relação evolutiva envolvida no tamanho do cérebro (cf. Marsh, 1873b, p. 146-53).

3 UM DESVIO NA CAMPANHA DE DEFESA DA LEI DE MARSH

Como já vimos, isso só ocorreria no ano seguinte, 1874, em uma breve comunicação onde Marsh expôs sucintamente suas ideias sobre o tema, abrindo assim o espaço para toda uma discussão sobre a ocorrência da tendência ao aumento cerebral. Entretanto, durante o estabelecimento deste campo de discussão, ele abriria outro ao publicar em 1876 uma breve comunicação rezando sobre “o cérebro dos *Dinoceras*”, onde afirmou que:

a cavidade cerebral em *Dinoceras* é talvez a mais notável característica neste insigne gênero. Isto prova conclusivamente que o cérebro era proporcionalmente menor do que em qualquer outro mamífero conhecido, recente ou fóssil, e menor ainda do que em alguns répteis. É de fato o cérebro mais reptiliano em um mamífero conhecido (Marsh, 1876b, p. 182).

Nesta breve comunicação Marsh iniciou a defesa de uma hipótese envolvendo o tamanho e a localização anatômica do cérebro de grandes animais, como por exemplo, os dinossauros, que daria início a uma discussão que se estenderia até a nossa atualidade gerando a ideia de que dinossauros poderiam possuir mais de um cérebro.

Como conclusão daquela comunicação ele afirmou que no renomeado “*Dinoceras mirabile*”, o cérebro inteiro era realmente tão diminuto que poderia aparentemente ter sido puxado para dentro do canal neural de todas as vértebras pré-sacrais e certamente para o interior das cervicais e lombares” (Marsh, 1876b, p. 182). E da mesma

⁸ Como era muito frequente, neste artigo Marsh corrigiu Edward Cope em sua classificação do *Eobaliseus* (gênero de mamíferos que detém várias semelhanças morfológicas com os *Dinoceratas*) alegando que haviam sido utilizados erradamente fósseis de *Dinoceratas*. Também fez uma severa crítica sobre a publicação do artigo em que Cope propunha sua classificação, alegando que este haveria pré-datado sua publicação, assim como de vários outros artigos, alterando as datas de envio para a Academia de Ciências da Filadélfia, da qual Cope era secretário (Marsh, 1873a, p.118).

maneira que a abrangência da sua lei do crescimento cerebral poderia ser estendida para aves e répteis, a hipótese sobre o cérebro localizado no interior da coluna espinal seria estendida para outros grupos, como por exemplo, alguns dinossauros. É o que fez Marsh em 1879, quando em sua busca para propor um novo gênero de dinossauros, comparou o *Apatosaurus* com o *Morosaurus* – mais tarde renomeado *Camarasaurus*⁹ – indicando que o animal do primeiro gênero, da mesma forma que em *Dinoceras*, teria um alargamento em seu canal neural, mais especificamente em seu canal neuro-sacral “o qual, é estranho dizer, é aqui duas ou três vezes o diâmetro da cavidade cerebral. Este é um fato muito sugestivo e sem paralelo nos vertebrados conhecidos” (Marsh, 1879b, p.87).

Seguindo esta sugestão, em 1880 Marsh descreveu os “traços peculiares na estrutura de *Stegosauria*”, uma subordem dos dinossauros que segundo ele, era composta pelos animais que “tinham então, o menor cérebro de qualquer vertebrado terrestre”. Para ele, “estes fatos concordam totalmente com a lei geral do crescimento do cérebro” (Marsh, 1880b, p. 253, 255). No ano seguinte (1881) publicou um artigo onde descreveu em detalhes o cérebro e o crânio de um estegossauro afirmando ter “encontrado no sacro, uma câmara muito grande formada por um alargamento do canal espinal. Esta câmara tinha forma ovalada e assemelhava-se intensamente com a cavidade craniana, embora muito maior, tendo no mínimo dez vezes o tamanho da cavidade que contém o cérebro” (Marsh, 1881, p. 167-8).

Segundo Emily Buchholtz Giffin (2012, p. 205), em um de seus estudos sobre a história da paleoneurologia, essas conclusões de Marsh geraram discussões que influenciaram o início de interpretações sobre a existência de suplementares estruturas cerebrais em dinossauros de grande porte. Supostamente, estes cérebros adicionais estariam envolvidos, em razão de sua localização sacral, com a atividade motora e sensorial dos membros posteriores, e assim poderiam explicar a existência do diminuído cérebro contido na cavidade craniana, que segundo os defensores destas ideias, não poderia dar conta de controlar isoladamente todo o corpo do animal. Somente

⁹ Em 1877 Marsh descreveu o *Apatosaurus ajax*, analisando fósseis que haviam sido oferecidos anteriormente à Cope. Quando chegaram mais fósseis provenientes do mesmo sítio paleontológico (Morrison Quarry - Colorado) onde havia sido escavado o *Apatosaurus*, Marsh tratou de descrever uma nova espécie, a qual ele denominou *Brontosaurus*. Entretanto, por estarem mal acondicionados acabaram por se misturar, sendo que na montagem feita por Marsh, ele ironicamente acabaria por não atentar para os “notáveis caracteres” cranianos. Com isto ele utilizou a cabeça de um *Camarasaurus supremus* e propôs uma nova espécie o *Brontosaurus excelsus*. Somente em 1903 este erro seria esclarecido por Elmer Riggs (1869-1963). Talvez a maior ironia desta situação esteja no fato de que a disputa travada entre Marsh e Cope iniciou-se quando este primeiro corrigiu o erro de seu colega, e até aquele momento colaborador, na equivocada colocação que este último fizera da cabeça de uma espécie que ele mesmo havia descrito: o *Elasmosaurus platyrus*. Tentando evitar a publicidade de seu erro, Cope tentou comprar todas as cópias de seu artigo sobre aquele fóssil, mas não obteve êxito e diferentemente de Marsh ele teve seu erro corrigido publicamente enquanto vivo. Por sua vez, Marsh não teve que assumir o seu erro na proposição do *Brontosaurus*. Mas, até a atualidade seu equívoco permanece gerando confusões nomenclaturais, inclusive junto ao grande público (cf. Riggs, 1903, p. 136; Storrs, 1984, p. 25-7; Bond, 2013, p. 12; Johnson, 2013, p. 41-7).

na atualidade esta hipótese seria desacreditada, quando estudos indicaram que tais alargamentos de canais neurais devem estar envolvidos com funções relacionadas à diminuição de peso, ou funcionando como sacos pneumáticos, ou no máximo, como suporte nutricional de tecidos neurais (Fastovsky & Weishampel, 2009, p. 91).

4 VOLTANDO À ESTRATÉGIA DE DEFESA DA LEI

Independentemente de sua contribuição para a discussão da possível existência de mais estruturas cerebrais em animais extintos de grande porte, Marsh, após ter constatado os alargamentos nos canais neurais, retornou a centrar seus esforços argumentativos em defesa de sua lei do crescimento cerebral. Em 1877, no encontro da Associação Americana para o Progresso da Ciência (*American Association for the Advancement of Science*), discursou sobre a “introdução e sucessão da vida vertebrada na América”, publicando este discurso, no mesmo ano, sob a forma de livro.

Discorrendo sobre história natural norte-americana, e iniciando-a no Devoniense, Marsh propôs uma sequência evolutiva geral de grandes grupos taxonômicos em concordância com sequência, já bem debatida, que começava com os peixes, prosseguia com os anfíbios, répteis, aves e mamíferos (cf. Marsh, 1877, p. 5-22; Bowler, 1996; Faria, 2012b). Aproveitando o tema deste trabalho, Marsh avançou no detalhamento da composição da genealogia dos equídeos defendendo sua origem norte-americana e ainda discorreu sobre “o mais elevado grupo de mamíferos, os primatas, o qual inclui os lêmures, os símios e o homem.” Segundo Marsh, os primatas mais arcaicos, “com cérebros quase lisos e de tamanho moderado”, pertenciam à espécie encontradas no Eoceno inferior do Novo México, e isso era suficiente para que ele concluísse que “como temos aqui os mais antigos e generalizados membros do grupo, tanto quanto sabemos, nós devemos reivindicar a América como o lugar de origem da ordem” (Marsh, 1877, p. 46-54).

Ainda neste trabalho evitou discutir as relações taxonômicas entre os primatas do Velho e Novo Mundo, assim como a origem da espécie humana, afirmando apenas que “o progresso lento na direção da civilização” americana se deu em função da ausência do cavalo.¹⁰ Marsh definiu sua meta principal para aquele estudo: “indicar qual o real progresso a vida mamífera tem feito desde o início do Eoceno”, levando em consideração que “o real progresso da vida mamífera na América, do começo do Terciário ao presente, está bem ilustrado pelo crescimento do cérebro” (Marsh, 1877, p. 46-54).

Evidentemente, Marsh estava chamando a atenção para a importância de sua lei para a compreensão do processo evolutivo. Um processo que ele defendia operar sob a

¹⁰ Como Marsh já defendia, os equídeos originaram-se na América (Eoceno inferior), extinguíram-se no Plioceno inferior (5,3 a 3,6 milhões de anos atrás) e somente retornaram ao continente americano com a chegada dos europeus no século xv.

ação do mecanismo da seleção natural, “a mais potente” “causa para muitas mudanças de estrutura em mamíferos durante o Terciário e Pós-Terciário”.¹¹ A intensidade da potência à qual ele se referiu, estava baseada no

(...) sentido geral no qual o termo [seleção natural] estava agora sendo utilizado pelos evolucionistas americanos. Sobre este assunto, eu [Marsh] incluo não meramente uma luta malthusiana pela vida dos animais entre si, mas a igualmente importante luta com os elementos e com todo o entorno da natureza. Por meio de mudanças no ambiente, migrações são impingidas, lentamente em alguns casos, rapidamente em outros e com a mudança de localidade devem vir adaptações à novas condições ou extinção (Marsh, 1877, p. 54).

No mesmo ano em que Marsh publicou este trabalho (1877), Cope havia publicado dois trabalhos discorrendo sobre “o mais primitivo cérebro de mamífero”, que segundo ele seria o cérebro do *Coryphodon*, um mamífero ungulado do Eoceno inferior do Novo México. E Cope não iria perder a oportunidade para adicionar mais elementos de discussão entre ele e Marsh, mesmo que concordassem sobre o diminuto tamanho do cérebro daquele ungulado eocênico. Quando estava comparando alguns moldes fósseis de crânios similares ao de *Coryphodon*, Cope alegou que Marsh desconhecia erradamente o cérebro de *Uintatherium*,¹² “estabelecendo que os hemisférios apresentavam um sulco lateral”¹³ e que as figuras utilizadas por Marsh “não exibiam as circunvoluções, as quais ele clama ter encontrado” (Cope, 1877, p. 312).

Apesar da importante observação de Cope, Marsh prosseguiu na defesa de sua lei evolutiva. Assim, em 1886 aproveitando a publicação de sua grandiosa obra sobre os *Dinoceratas*, ele aproveitou a ocasião para ratificar sua proposta de estender sua a lei do crescimento cerebral para o grupo das aves e répteis. Aproveitou também, para ampliar o alcance daquela lei, introduzindo mais dois preceitos:

- 1 O cérebro de um mamífero pertencente a uma raça vigorosa, adaptado a uma longa sobrevivência, é maior do que a média cerebral daquele período, no mesmo grupo.
- 2 O cérebro de um mamífero de uma raça em declínio é menor do que a média de seus contemporâneos do mesmo grupo.

¹¹ Atualmente Quaternário: período geológico compreendido entre aproximadamente 2,6 milhões de anos atrás até o presente (ICS, 2015).

¹² *Uintatherium*: mamífero da Ordem Dinocerata, de tamanho aproximado a um rinoceronte atual, que possuía um crânio grande e achatado, mas composto por ossos muito robustos e espessos, que diminuía vigorosamente o espaço interno da cavidade craniana (Leidy, 1872, p. 167-9).

¹³ Sulco lateral, também chamado de “fissura de Sylvius” ou “fissura lateral”. Separa o lobo frontal do lobo temporal (Bear; Connors & Paradiso, 2008, p. 7-12).

Apresentando estas novas regras ele concluiu que era importante ter em mente que em qualquer comparação do tamanho cerebral feita em diferentes animais, seja do mesmo grupo ou de outros completamente diferentes, “o cérebro de pequenos animais é proporcionalmente maior em massa do que em grandes animais”. E também que, “o cérebro de jovens animais é proporcionalmente maior do que em adultos”. Ou seja, para Marsh, “em uma comparação geral sobre o crescimento do cérebro de mamíferos, o primeiro destes fatos poderia ter somente um efeito limitado, o qual não deverá mudar essencialmente, os resultados gerais”. Já, “os efeitos do segundo fato devem ser prontamente eliminados limitando-se a comparação com animais adultos” (Marsh, 1886, p. 59).

Tais regras tinham uma proposta metodológica para a aplicação das comparações anatômicas necessárias para a verificação do cumprimento da lei do crescimento cerebral durante o processo evolutivo e, portanto, representavam uma preocupação com a sua utilização. Notavelmente, Marsh não a aplicaria em seus futuros trabalhos. De 1886 até o ano de sua morte (1899) ele publicou somente um trabalho versando sobre “o crânio de *Protoceras*”,¹⁴ onde não fez sequer menção ao cérebro do animal (cf. Marsh, 1897, p. 433-9; Schuchert, 1938, p. 71-8).

5 A UTILIZAÇÃO DA LEI DO CRESCIMENTO CEREBRAL

Talvez Marsh tenha deixado a aplicação dos adicionais preceitos metodológicos que ele propôs em 1886, para a nova geração de paleontólogos que estava surgindo nos Estados Unidos, como por exemplo, Henry Fairfield Osborn (1857-1935). Como já vimos anteriormente, a “Guerra dos Ossos” travada entre Cope e Marsh atraiu muita atenção do público em geral, para os trabalhos paleontológicos que eles realizavam. Mas, ainda mais importante foi a atenção que essa “Grande corrida aos dinossauros” despertou na comunidade científica em termos de fomento à paleontologia estadunidense. Em um momento em que as sequências evolutivas estavam utilizando cada vez mais dados provenientes de ciências biológicas experimentais em via de desenvolvimento, como por exemplo, a embriologia, o interesse nos trabalhos realizados com fósseis diminuía, ou perdia o vigor que perdurou desde a aceitação do evolucionismo (cf. Bowler, 1996, p. 60, 314).

Mas isso ocorreria de forma diferente nos Estados Unidos. Como no restante do mundo científico, as ciências biológicas experimentais estadunidenses receberam um grande impulso, quando focaram seus esforços na elucidação dos processos da hereditariedade. Entretanto, neste país isso ocorreu ao mesmo tempo em que a paleontologia

¹⁴ Gênero de artiodátilo apresentando chifres na cabeça, maxilares, órbitas e/ou região parietal. Endêmico da América do Norte, ocorreu do Oligoceno superior (28 a 23 milhões de anos atrás) ao Mioceno inferior (Prothero & Ludtke, 2007, p. 173; 20ICS, 2015).

alcançava um excelente nível de desenvolvimento, em função da grande produção taxonômica que o trabalho dos paleontólogos daquele país e a “Guerra dos Ossos” havia gerado. Isso fez com que o estudo dos fósseis por lá, ainda permanecesse algum tempo em posição de destaque na elucidação dos processos evolutivos (cf. Rainger, 1991, p. 8, 12-3, 35).

Foi no ano de 1885, exatamente neste momento de resistência da paleontologia estadunidense, que Osborn iniciou seus trabalhos sobre fósseis, colaborando intensamente com Cope, discutindo e avançando com suas propostas de mecanismos evolutivos. E como seria fácil de se esperar, também discutiu com Marsh, principalmente sobre questões metodológicas de trabalhos taxonômicos que este último havia realizado, recomendando diversas correções na classificação de espécies descritas ou estudadas (cf. Osborn, 1891; Gregory, 1937, p. 14-5, 41-61; Rainger, 1991, p. 34-6).¹⁵ Também discutiria com Marsh sobre sua lei do crescimento cerebral, apesar de fazer uso dela.

Principalmente no início de sua carreira, Osborn realizou diversos estudos tratando do tamanho, crescimento e estruturas componentes do cérebro de grupos de vertebrados, tais como anfíbios, répteis, aves e mamíferos. Assim, ele avançou nos estudos do campo da neuroanatomia de grupos vivos e fósseis, ainda que legasse este trabalho a vários de seus colaboradores, tais como Charles F. W. McClure (1865-1955), Oliver Strong (1864-1951) e Alvin Davison (1868-1915) e outros (cf. Osborn, 1885, p. 177; 1886, p. 203; 1888, p. 51; Gregory, 1937, p. 62; Rainger, 1991, p. 33, 259).¹⁶

Em 1906, em um artigo versando sobre “as causas da extinção dos mamíferos” e em 1910, na obra que publicou sobre “a era dos mamíferos na Europa, Ásia e América do Norte”, Osborn utilizou por diversas vezes o critério do tamanho cerebral como fator diagnóstico de grupos taxonômicos, ou como fator indutor da extinção por meio da desvantagem que uma pequena inteligência poderia provocar na luta pela sobrevivência de grupos com pequenos cérebros (cf. Osborn, 1906, p. 846; 1910, p. 96, 117,

¹⁵ Da mesma maneira que Cope, Osborn iniciou sua carreira mantendo boas relações com Marsh. Segundo Ronald Rainger, em seu livro sobre Osborn e a “paleontologia de vertebrados do Museu Americano de História Natural” (1991) – instituição onde este último desenvolveu sua carreira – neste ano de 1885, Marsh soube que Osborn colaborava com Cope, além de ter dado assistência a alguns dos empregados descontentes que trabalharam nas escavações de Marsh. No ano seguinte, apesar de vários pedidos, Osborn obteve somente uma autorização para analisar espécimes fósseis da coleção do Museu Peabody, fundado com a verba doada pelo filantropo George Peabody (1795-1869), tio de Marsh, e do qual este último era curador. Iniciou-se nesta ocasião uma contenda entre Marsh e Osborn que se intensificou em 1891, quando passaram a discutir sobre a classificação taxonômica de mamíferos. Nesta ocasião Osborn estava estabelecendo o departamento de paleontologia de vertebrados do Museu Americano de História Natural e, do mesmo modo que Cope fora acusado, tentou contratar alguns dos empregados escavadores de Marsh visando aumentar a coleção de vertebrados fósseis. Esta contenda pode ser considerada como mais um legado de Cope à Osborn, tendo se sobreposto à “Guerra dos Ossos” (1877-1892) durante sete anos e perdurado até a morte de Marsh, ocorrida em 1897 (cf. Rainger, 1991, p. 80-1).

¹⁶ Todos estudantes de Osborn quando este lecionou na Universidade de Princeton (Nova Jersey). Publicaram os seguintes trabalhos: McClure, *The segmentation of the primitive vertebrate brain* (1890); Strong, *The cranial nerves of Amphibia* (1895) e Davison, *A contribution to the anatomy and physiology of Amphiuma means* (1895) (cf. Rainger, 1991, p. 259, nota 41).

164, 172-5, 238). Contudo, apesar da reiterada utilização da lei de Marsh, Osborn fez uma relativização do seu poder nômico.

Ao tratar da extinção de grupos taxonômicos ocorrida no Oligoceno inferior,¹⁷ especialmente os hienodontes,¹⁸ Osborn afirmou que a “lei de Marsh das relações do crescimento do cérebro para a sobrevivência, aparentemente são suportadas por essas comparações, a saber, que os cérebros das raças sobreviventes são na média maiores do que aqueles das raças declinantes”. Mas, ao prosseguir nesta afirmação ele relativizou o poder da lei de Marsh, ao dizer que “por outro lado, ao seguir muitas causas das extinções através de todo o Cenozoico,¹⁹ devemos encontrar que mesmo o grande desenvolvimento cerebral, como em certos rinocerontes (*Teleoceras*)²⁰ e elefantes (Mastodontes), devem ter falhado em preservar a raça” (Osborn, 1910, p. 174-5).

Retornando aos mamíferos do Oligoceno, Osborn recuou um pouco e voltou a sustentar que,

em geral, parecem ter sobrevivido aqueles mamíferos que apresentam a mais alta combinação de caracteres favoráveis em órgãos totalmente formados, tanto quanto, a mais alta adaptabilidade ou capacidade para futura mudança de hábito ou estrutura. Reciprocamente, combinações não adaptativas de caracteres, tais como no cérebro, nos membros, nos dentes, parecem ter sido as causas da extinção, em parte relativas à mudanças no ambiente, em parte porque, inerentemente ou relativamente, foram não adaptativas. (Osborn, 1910, p. 238).

Com esta conclusão, Osborn voltava a considerar que uma mudança em uma estrutura como o cérebro, podendo inclusive ser uma alteração em seu volume, poderia tornar o animal inadaptável às condições impostas na luta pela sobrevivência. Ele ainda enfrentaria uma discussão evitada por Marsh, quando diferentemente deste, ele preferiu abordar a questão da evolução do homem sem fazer menção à contribuição civilizatória que os equinos tiveram na história de nossa espécie. Osborn citou o *Pithecanthropus*,²¹ descoberto em 1891 por Eugene Dubois (1858-1940), e que havia recebido do anatomista e antropólogo alemão Gustav Schwalbe (1844-1916) a recomendação para ser classificado “como um ancestral, direto ou indireto, do Filo Humano

¹⁷ Oligoceno: época geológica compreendida aproximadamente entre 34 e 23 milhões de anos atrás, sendo que o período inferior termina em 28 milhões de anos atrás (ICS, 2015).

¹⁸ Gênero de mamíferos carnívoros da Ordem *Hyaenodontidae*, assemelhados às atuais hienas e que em média atingiam 40 kgs. Viveram do Eoceno médio (47,8 a 37,8 milhões de anos atrás) ao Oligoceno. Sua estrutura corporal é similar a de um cão (cf. Britannica, 2011a, p. 90).

¹⁹ Era geológica iniciada aos 66 milhões de anos atrás, indo até o presente (ICS, 2015).

²⁰ Antigo gênero de perissodátilos, assemelhados aos atuais rinocerontes, que habitaram a América do Norte e Europa, entre o Mioceno e o Plioceno (5,3 a 2,6 Milhões de anos atrás) (cf. Osborn, 1898, p. 554-7; ICS, 2015).

²¹ Ou “Homem de Java”, atualmente classificado como *Homo erectus*. Em 1895, Marsh publicou um artigo “sobre o *Pithecanthropus erectus*”, onde utilizou sua lei como um dos critérios para comparações taxonômicas entre hominídeos (cf. Marsh, 1895, p. 145, 147).

[sic.], permanecendo intermediário entre os símios e o homem, com respeito a sua alta capacidade cerebral e a estrutura de seu fêmur (cf. Osborn, 1910, p. 384-5).

6 QUESTIONANDO O VALOR NÔMICO DA LEI DE MARSH

Após dezenove anos da publicação do trabalho em que Osborn relativizou a aplicação da lei do crescimento cerebral, a paleontóloga alemã Ottilie (“Tilly”) Edinger (1897-1967) estabeleceria um campo de estudos baseado nas informações obtidas em análises morfológicas de moldes e contramoldes de fósseis de cérebros e de endocrânios de vertebrados. Em 1929, Edinger publicou a obra compilatória sobre tudo o que pode reunir de estudos realizados sobre “cérebros fósseis” (*Die fossilen Gehirne*) até então, “definindo formalmente um campo de pesquisas”: a paleoneurologia (Edinger, 1975, p. 7; cf. Buchholtz & Seyfarth, 2001, p. 675; Walch & Knoll, 2011, p. 265).

Iniciando seus estudos em 1921, com uma tese “sobre o *Nothosaurus*”,²² Edinger concluiu que de acordo com suas funções mentais este animal de crânio diminuto, tinha um tamanho corporal que poderia ser considerado “grande entre o restante dos répteis primitivos e arcaicos” e que, portanto, “estava em desvantagem em comparação aos seus contemporâneos”. Esta era uma aceitação da lei de Marsh, mas que no decorrer dos estudos de Edinger, iria ser modificada (cf. Edinger, 1921, p. 128).

Após cinco anos (1926), ao descrever uma pequena coleção de cérebros de morcegos do Terciário, ela questionaria o esquema de progressão do tamanho e da forma estabelecido na lei de Marsh. Os cérebros fossilizados que ela analisou e comparou não apontavam nenhuma diferença, em relação ao tamanho e a forma, dos cérebros dos morcegos atuais (cf. Buchholtz & Seyfarth, 1999, p. 352). Estendendo estas comparações a outros grupos de mamíferos, Edinger concluiu que durante o Cenozóico nem todos seguiram a tendência ao aumento progressivo do volume cerebral previsto pela lei de Marsh. Inclusive, como este último fizera, ela estendeu sua conclusão para o grupo das aves.

Assim, em 1951, Edinger reavaliou os espécimes de *Ichthyornis* e *Hesperornis* descritos por Marsh e chegou à conclusão de que ele havia apresentado dados, principalmente morfológicos, apontando para uma natureza reptiliana do cérebro daquelas aves, que simplesmente não poderiam ser obtidos com o estudo de fósseis tão fragmentários quanto os que Marsh descreveu. Aliás, ela chegou a afirmar que os dois moldes endocranianos descritos por Marsh “nunca existiram” (Edinger, 1951, p. 21) e que as conclusões equivocadas de Marsh haviam prejudicado o avanço da paleoneurologia, por terem tido “uma influência muito disseminada” sendo que “alguns de seus erros mais espetaculares haviam sido repetidos *ad nauseam*” (Edinger, 1975, p. 8).

²² Réptil aquático do Triássico (252 a 201 milhões de anos atrás) de corpo robusto, provido de nadadeiras lobadas e um longo e fino pescoço. Sua cauda movia-se lateralmente, como nos crocodilos, e sua cabeça era relativamente pequena (cf. Britannica, 2011b, p. 125).

Edinger voltaria a criticar a lei de Marsh no ano de 1958, em uma apresentação oral feita no Simpósio sobre Zoologia de Vertebrados da Sociedade Americana de Zoólogos (*American Society of Zoologists*), afirmando que “os moldes endocraniais tendem a refutar o antigo e duradouro conceito da evolução progressiva do cérebro como um importante fator de sucesso, manifestado com a sobrevivência. De fato, em alguns grupos de mamíferos, os únicos cérebros conhecidos do Paleoceno ou Eoceno (insetívoros, um morcego, um tarsídeo e peixes-bois) são dos tipos ainda característicos dos sobreviventes” (Edinger, 1958, p. 431).²³

Dois anos mais tarde (1960) em um conferência sobre “concepções antropocêntricas equivocadas em paleoneurologia”, apresentada no centésimo aniversário da Sociedade Medica Rudolf Virchow (*Rudolf Virchow Medical Society*), Edinger prosseguiria em suas críticas sobre a lei de Marsh, afirmando que ele havia estudado poucos espécimes de fósseis cerebrais e que sua lei deveria ser rejeitada por estar baseada em “dados contraditórios do passado e do presente”, como por exemplo, ter-se baseado na comparação entre um único fragmento do crânio de um estegossauro e um crânio de um jovem aligátor. Ela ainda abordaria finalmente a evolução cerebral humana, rejeitando mais uma vez aquela lei, ao dizer que “um aumento no tamanho relativo do cérebro não está provado nem mesmo na filogenia do homem, a espécie central àquelas infundadas, mas contínuas especulações” (cf. Edinger, 1962, p. 72-9, 95-6; 1975, p. 54).

Apesar do rigor dos trabalhos paleoneurológicos de Edinger, que devidamente a credenciaram para realizar seus exames críticos sobre a lei de Marsh, ela não utilizou nesses exames métodos quantitativos para testar suas conclusões. Isto somente se tornaria uma prática comum na paleoneurologia com os trabalhos do neurocientista Henry J. Jerison, iniciados em 1955 com seu artigo sobre “a razão cérebro-corpo e a evolução da inteligência” e consolidado principalmente com a publicação de seu livro sobre “a evolução do cérebro e inteligência”, ocorrida em 1973. Nestes trabalhos ele propôs um método de cálculo que expressava a razão entre o tamanho cerebral real e o

²³ Segundo os biógrafos de Edinger, Emily Buchholtz Giffin e Ernst-August Seyfarth, que tiveram acesso ao texto datilografado de Edinger para esta comunicação, ela também teria formulado sua “Teoria da não-correlação” estabelecida como uma emenda ao Princípio da Correlação dos Órgãos de Georges Cuvier, o qual trata das correlações orgânicas e da implicância mútua que elas determinam nos arranjos morfológicos e na realização das funções. Como corolário deste princípio, temos como regra que a mudança em um órgão gera alterações nos outros órgãos ou em todo o sistema orgânico, com mais ou menos efeitos, dependendo da importância que estes órgãos tenham na contribuição da funções de todo o sistema orgânico. Em sua tentativa de emendar o princípio de Cuvier, Edinger defendeu que haveria frequentemente diferentes pressões seletivas sobre diferentes partes do corpo durante a evolução e que mudanças, por exemplo, no esqueleto pós-cranial, não precisariam ser acompanhadas de mudanças no tamanho do cérebro (cf. Buchholtz & Seyfarth, 1999, p. 359). Por meio da sucinta citação que Buchholtz e Seyfarth fizeram destas ideias de Edinger, não é possível concluir se esta última se aprofundou em sua proposição teórica tornando impossível saber se ela também levou em consideração o “princípio da subordinação dos caracteres de Cuvier”, o qual, dentro do escopo teórico do anatomista francês contempla o tipo de situação prevista na “teoria” de Edinger, ainda que não seja em um processo evolutivo. Para saber mais sobre os princípios da anatomia comparada de Cuvier, ver Faria (2012) e Caponi (2008), especialmente os segundos capítulos de ambos livros.

tamanho esperado em função do tamanho do corpo. O quociente obtido (EQ)²⁴ poderia ser então utilizado para examinar se existe alguma tendência ao aumento cerebral em um grupo taxonômico (cf. Jerison, 1955, p. 447-9; 1973, p. 61-2).

Foi o que Jerison fez, chegando a conclusão de que houve sim, um aumento do tamanho cerebral em relação ao tamanho do corpo, ocorrido ao longo do processo evolutivo, em mamíferos e aves (cf. Jerison, 1969, p. 586). Ao chegar a esta conclusão ele ratificava pontos importantes da lei de Marsh, mas com o seu método quantitativo ele também avançava em outros, como por exemplo, afirmar que o aumento no tamanho cerebral frequentemente é retardado durante o processo evolutivo em relação ao aumento do corpo, o que leva a concluir que grupos taxonômicos de grande porte físico tendem a possuir relativamente cérebros menores do que os grupos de pequeno porte (cf. Jerison, 1973; Jerison & Barlow, 1985, p. 34-5).

Estas conclusões de Jerison, diferentemente das de Marsh, estavam baseadas em cálculos matemáticos, e assim promoveram a uma grande aceitação dos preceitos da lei do crescimento cerebral. Após os avanços feitos por Edinger, principalmente no campo da anatomia comparada de moldes ou contramoldes de cérebro e de endocrânios, a complementação que os métodos matemáticos de Jerison promoveram na paleoneurologia, estabeleceram este campo de estudos como um promissor empreendimento científico voltado a contribuir na elucidação dos processos evolutivos (cf. Buchholtz & Seyfarth, 1999, p. 359; Northcutt, 2002, p. 743-4; Walsh & Knoll, 2011, p. 273-4; Yao *et al.*, 2012, p. 15).

CONCLUSÃO

Desde o momento em que ela foi proposta, a lei de Marsh recebeu diversas críticas, inclusive sobre seu valor heurístico, e principalmente em razão de ter sido muito utilizada como instrumento elucidativo dos processos evolutivos. Coincidindo com a ideia de progresso biológico, ela praticamente estabelecia haver uma tendência a um aumento de tamanho e complexidade ocorrente durante a evolução do cérebro dos vertebrados, que segundo Marsh era constatável no registro fóssil. Esta coincidência have-

²⁴ Na busca por encontrar um quociente que estabelecesse uma correlação matemática entre peso do cérebro e inteligência alguns pesquisadores propuseram a utilização de um quociente denominado “fração de Cuvier” (*Cuvier's fraction*). Ela exprime a razão existente entre peso corporal e peso cerebral e tem como fórmula E/S , sendo que E representa o peso do cérebro e S o peso do corpo. Com esta razão podemos obter resultados do tipo: E/S humano é igual a $1/40$, que poderia indicar um alto nível de inteligência para a nossa espécie. Entretanto, ao aplicar a Fração de Cuvier para ratos, obtemos a mesma razão, o que torna inconclusivo o estabelecimento de um nível de inteligência baseado nesta fórmula. Na busca por instrumentos de aferições de fenômenos, tais como a inteligência ou a capacidade motora, mais precisos do que a fração de Cuvier, foram propostos outros, como, por exemplo, o de Jerison (cf. Gould, 1971, p. 113; Sinha, 2015, p. 32).

ria de ser o primeiro alvo das críticas que esta lei sofreria. No momento em que Marsh a propunha, Thomas Huxley já estava avançando com uma discussão sobre a questão do progresso biológico, refutando a ideia de que alguma tendência pudesse dirigir o processo evolutivo, o qual tem como componente o elemento variacional ofertado de maneira fortuita.

Mas, levando em consideração que a existência duma direção na evolução e o caráter aleatório imposto pela oferta de variação com a qual a seleção natural deve operar, não são coisas obrigatoriamente incompatíveis, Marsh argumentou em termos darwinianos que a tendência contemplada pela sua lei obedecia ao processo evolutivo dirigido pelo mecanismo proposto por Darwin. Ele argumentou que um cérebro maior dotaria um animal de mais inteligência e com base nisto defendeu que os cérebros tendiam a crescer porque a inteligência é um importante fator de vantagem na luta pela sobrevivência.

Apesar da diferença entre as posições de Huxley e Marsh, os dois coincidiam com relação ao conceito de lei evolutiva. Sendo ela “uma relação de fatos determinada pela observação”, sua aplicação prática como um dispositivo heurístico utilizado na elucidação do processo evolutivo dos vertebrados, em particular dos mamíferos, acabou gerando condições para que fossem feitas predições deste processo, no tocante ao aumento cerebral. Tais predições podiam auxiliar na proposição de formas evolutivas transicionais, ainda desconhecidas, que podiam compor as sequências filogenéticas.

Esta era uma aplicação muito útil desse tipo de lei científica que Elliott Sober (1984, p. 50) chamou “leis consequenciais” (*consequence laws*) e que Gustavo Caponi (2014) discutiu em seu tratamento das “leis sem causa na explicação biológica”. Esse tipo de lei nos fornece um conhecimento descritivo que pode até prover bases para a predição; mas que não pode prover informação para a manipulação experimental (cf. Woodward, 2003, p. 10). Era dessa maneira que se aplicava a lei de Marsh. Ele a usava como lei consequencial. Ela permitia descrever uma situação verificável no registro fóssil, principalmente dos mamíferos, sem que pudesse ser feita qualquer manipulação experimental. Além disso, ela também permitia predizer como seriam principalmente os cérebros dos mamíferos fósseis ainda a serem descobertos: maiores do que o de seus ancestrais e menores do que o de seus descendentes. E ela permitia fazer isso, sem que fosse preciso apontar a causa dessa tendência, ou ainda, sem nenhum conhecimento que permitisse a manipulação experimental desses fenômenos

Conforme Caponi (2014, p. 69, 81-2), até certo ponto as leis consequenciais podem ter poder preditivo condicional ao estabelecerem relações constantes de antecedente-consequente entre estados de variáveis de um sistema. Contudo, o que mais deve nos interessar neste sentido, é que elas podem nos indicar como se comportará este sistema quando afetado por uma força. Entretanto, é importante destacar que as leis consequenciais, como a de Marsh, por exemplo, não fazem menção à origem, ou

à constituição de tal força ou fator causal. A lei de Marsh pressupõe um agente causal cuja fonte não está identificada. Segundo ele, tal agente deveria ser uma pressão seletiva que levaria os mamíferos, e também as aves e répteis, a desenvolverem cérebros maiores, dotando-os com mais inteligência e aumentando assim suas chances na luta pela sobrevivência. Independentemente destes fatores, ela reúne, e relaciona, fatos sob um vínculo nômico; e daí deriva seu poder explicativo e preditivo. De certo, estas foram as características importantes que fizeram que ela fosse aceita e largamente utilizada pela comunidade científica em sua empreitada por elucidar os percursos seguidos pelo processo evolutivo. E isto era assim não obstante o fato dela poder estar relacionada com a ideia de progresso biológico: uma ideia de escassamente compatível com o caráter fortuito que a oferta variacional impõe à evolução.

Durante décadas, trabalhos paleontológicos foram realizados sob a égide da lei de Marsh. Embora ela não estivesse baseada só em fatos observados, como “Tilly” Edinger alegou, a lei do Crescimento Cerebral serviu como instrumento heurístico de grande valor; e ela foi aplicada por diversos paleontólogos na elucidação dos processos evolutivos, não obstante as críticas e os questionamentos dos que era objeto. Isto nos permite compreendê-la como sendo uma generalização contingencial, que é uma concepção fraca do que seria uma lei científica. Entretanto, apesar das críticas e das relativizações de sua aplicação, a lei de Marsh alcançaria seu status de lei consequencial, principalmente quando Jerison aplicou métodos quantitativos que ratificaram seu poder nômico.

E mesmo que em sua constituição ela tivesse alguns componentes fraudulentários, sua aplicação foi de grande auxílio no esclarecimento de relações filogenéticas entre diversos grupos taxonômicos. Seguramente, este também foi um dos elementos que mantiveram-na aceita ao menos por uma parte da comunidade científica e que impediram-na de ser refutada quando das críticas muito bem fundamentadas, com as de Edinger. Mas, neste sentido também devemos levar em consideração o que ela mesma disse sobre o efeito da repetição *ad nauseam* dos erros mais espetaculares de Marsh: a vasta influência que ele exerceu “sobre a visão dos cientistas a respeito de cérebros fossilizados deve-se, em grande parte, ao seu hábito de repetir suas próprias palavras” (Edinger, 1962, p. 78).

Evidentemente, Edinger se referiu a frase “uma mentira repetida mil vezes torna-se verdade”, intensamente utilizada pelo Ministro da Propaganda nazista Joseph Goebbels (1897-1945), o qual teve papel determinante na vida de Edinger.

Pertencente a uma família judia radicada em Frankfurt desde o século XVI, Edinger relutou em deixar a Alemanha, tomando esta decisão somente após os atos de terror antissemitas praticados na “noite dos cristais” (*Reichskristallnacht*) em 1938. Depois de uma estada de um ano em Londres, ela emigrou para os Estados Unidos da América, terra natal de Marsh, sendo lá auxiliada pelos eminentes paleontólogos Alfred She-

rwood Romer (1894-1973) e George Gaylord Simpson (1902-1984), os quais com seus trabalhos influenciaram intensamente os questionamentos que Edinger fez sobre a lei do crescimento cerebral de Marsh (Buchholtz & Seyfarth, 1999, p. 355-6). 

Felipe FARIA
Departamento de Filosofia,
Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil.
felipeafaria@uol.com.br

Marsh's law of brain growth and
the idea of biological progress in evolution

ABSTRACT

The use of an evolutionary law should be a function of its heuristic value in the composition of phylogenetic sequences. This was one of the characteristics of the law of brain growth proposed by O. C. Marsh (1831-1899), which often led to the conclusion that there is a tendency for bodily complexity to increase during the evolutionary process. Several criticisms were then made, often based on the impossibility that a trend could operate in the evolutionary process that had natural selection as its mechanism, which in turn is based on the proposal of random variation. Nevertheless, Marsh's law remains being used due to its explanatory, and to a certain extent, predictive potential.

KEYWORDS • Law. Brain growth. Progress. Endocranial casts. Paleoneurology.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BOND, G. Bone wars in the garden. *Garden State Legacy's on-line Magazine*, 19, p. 1-15, 2013.
- BEAR, M. F.; CONNORS, B. W. & PARADISO, M. A. Neurociências: desvendando o sistema nervoso. Porto Alegre: Artmed, 2008.
- . *Fossils and progress: paleontology and the idea of progressive evolution in the nineteenth century*. Chicago: Science History Publications, 1976.
- . Edward Drinker Cope and the changing structure of evolutionary theory. *Isis*, 68, 242, p. 249-65, 1977.
- . *The eclipse of darwinism: anti-darwinian evolution theories in the decades around 1900*. Baltimore: Johns Hopkins University Press, 1983.
- . *Life's splendid drama*. Chicago: Chicago University Press, 1996.
- BRETT-SURMAN, M.; HOLTZ, T. & FARLOW, J. (Ed.). *The complete dinosaur*. Bloomington: Indiana University Press, 2012.
- BRITANNICA. *The geological history of the earth - The mesozoic era: age of dinosaurs*. New York: Britannica & Rosen, 2011a.
- . *The geological history of the earth - The cenozoic era: age of mammals*. New York: Britannica & Rosen, 2011b.

- BUCHHOLTZ, E. Dinosaur paleoneurology. In: BRETT-SURMAN, M.; HOLTZ, T. & FARLOW, J. (Ed.). *The complete dinosaur*. Bloomington: Indiana University Press, 2012. p. 191-208.
- BUCHHOLTZ, E. & SEYFARHT, E. The gospel of the fossil brain: Tilly Edinger and the science of paleoneurology. *Brain Research Bulletin*, 48, 4, p. 351-61, 1999.
- _____. The study of "fossil brains": Tilly Edinger (1897-1967) and the beginnings of paleoneurology. *BioScience*, 5, 8, p. 674-82, 2001.
- BUFFETAUT, E. *A short history of vertebrate paleontology*. Londres: Croom Helm, 1987.
- CAPONI, G. *Georges Cuvier: un fisiólogo de museo*. México: Limusa, 2008.
- _____. *Leyes sin causa y causas sin ley en la explicación biológica*. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia, 2014.
- CLAY, R. (Ed.). *Collected essays by T. H. Huxley*. London: Macmillan & Company, 1893 [1876].
- COPE, E. The lowest mammalian Brain. *American Naturalist*, 9, p. 312-3. 1877.
- CUVIER, G. *Recherches sur les ossements fossiles de quadrupèdes, ou l'on rétablit les caractères de plusieurs espèces d'animaux que les révolutions du Globe paroissent avoir détruite – nouvelle édition*. Paris: Deterville, 1822. t. 3.
- EDINGER, T. Über Nothosaurus. I. Ein Steinkern der Schädelhöhle. *Senckenbergiana*, 3, p. 121-9. 1921.
- _____. The brains of the Odontognathae. *Evolution*, 5, p. 6-24. 1951.
- _____. Non-correlated progress, oral communication in American Society of Zoologists – Fifth annual meeting, Washington D.C. *The Anatomical Record*, 132, 3, p. 233-521, 1958.
- _____. Anthropocentric misconceptions in paleoneurology. *Proceedings of the Rudolf Virchow Medical Society*, 19, p. 55-107, 1962.
- _____. Paleoneurology 1804-1966. An annotated bibliography. *Advances in anatomy, embryology, and cell biology*, 49, p. 1-258, 1975.
- FARIA, F. Peter Lund e o questionamento do catastrofismo. *Filosofia e História da Biologia 3—Seleção de trabalhos do VI Encontro de Filosofia e História da Biologia*. São Paulo: Associação de Filosofia e História da Biologia, 2008. p. 139-56.
- _____. Georges Cuvier: do estudo dos fósseis à paleontologia. São Paulo: Associação Filosófica Scientiae Studia/Editora 34, 2012a.
- _____. A revolução darwiniana na paleontologia e a ideia de progresso no processo evolutivo. *Scientiae Studia*, 10, 2, p. 297-326, 2012b.
- FASTOVSKY, D. & WEISHAMPEL, D. *Dinosaurs: a concise natural history*. Cambridge: Cambridge University Press, 2009.
- GAUDRY, J. *Animaux fossiles et géologie de l'attique, d'après les recherches faites en 1855-1856 et en 1860*. Paris: Savi, 1862.
- GAYRARD-VALY, Y. *The story of fossils: in search of vanished worlds*. London: Thames and Hudson, 1987.
- GOULD, S. Geometric similarity in allometric growth: a contribution to the problem of scaling in the evolution of size. *The American Naturalist*, 105, 942, p. 113-36, 1971.
- GOULVEN, L. Edouard Lartet (1801-1871) et la paléontologie humaine. *Bulletin de la Société préhistorique française*, 90, 1, p. 22-30, 1993.
- GREGORY, W. *Biographical memoir of Henry Fairfield Osborn*. Washington: National Academy of Sciences, 1937.
- HUXLEY, T. H. On the application of the laws of evolution to the arrangement of the Vertebrata, and more particularly of the Mammalia. *Proceedings of the Zoological Society*, 43, p. 649-62, 1880.
- _____. Lectures on evolution. In: Clay, R. (Ed.). *Collected essays by T. H. Huxley*. London: Macmillan & Company, 1893 [1876]. v. 4, p. 46-138.
- _____. Paleontology and the doctrine of evolution. In: *Discourses biological and geological essays*. New York: Appleton & Company, 8, 1896 [1870], p. 340-88.

- ICS-INTERNATIONAL COMMISSION ON STRATIGRAPHY. *International Chronostratigraphic Chart 2015*. Washington: International Commission on Stratigraphy, 2013.
- JAUSSAUD, P. & BRYGOO, É. *Du Jardin au Muséum en 516 biographies*. Paris: Publications Scientifiques du MNHN, 2004.
- JERISON, H. Brain to body ratios and the evolution of intelligence. *Science*, 121, p. 447-9, 1955.
- _____. Brain evolution and dinosaur brains. *The American Naturalist*, 103, 934, p. 575-88, 1969.
- _____. *Evolution of the brain and intelligence*. New York: Academic Press, 1973.
- JERISON, H. & BARLOW, H. Animal Intelligence as encephalization. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, B, Biological Sciences, 308, 1135, Animal Intelligence, February 13, p. 21-35, 1985.
- JOHNSON, R. *Battle of the dinosaur bones: Othniel Charles Marsh vs. Edward drinker Cope*. Minneapolis: Twenty-first Century Books, 2013.
- KOVALEVSKY, V. On the osteology of the hypopotamidae, by Dr. Kowalevsky, communicated by Professor Huxley. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 163, p. 19-94, 1873.
- LARTET, É. De quelques cas de progression organique vérifiables dans la succession des temps géologiques sur des mammifères de même famille et de même genre. *Comptes Rendus Hebdomadaires des Séances de l'Académie des Sciences*, 66, p. 1119-22, 1868.
- LEIDY, J. On some new species of fossil Mammalia from Wyoming. *Proceedings of the Academy of Natural Sciences of Philadelphia*, p. 167-9, 1872.
- MARSH, Othniel. C. Notice of some remarkable fossil mammals. *American Journal of Science and Arts*, 4, p. 343-4, 1872.
- _____. On the gigantic fossil mammals of the order Dinocerata. *American Journal of Science and Arts*, 5, p. 117-22, 1873a.
- _____. The fossil mammals of the order Dinocerata. *American Naturalist*, 7, p. 146-53, 1873b.
- _____. Small size of the brain in tertiary mammals. *American Journal of Science and Arts*, 8, p. 66-7, 1874.
- _____. Recent discoveries of extinct animals. *American Journal of Science and Arts*, 12, p. 59- 61, 1876a.
- _____. The brain of Dinoceras. *American Naturalist*, 10, p. 122, 1876b.
- _____. *Introduction and succession of vertebrate life in America. An address delivered before the American Association for the Advancement of Science at Nashville, Tenn., August 30*. New Haven: 1877.
- _____. Polydactyle horses, recent and extinct. *The American Journal of Science and Arts*, 17, p. 499-505, 1879a.
- _____. Principal characters of American Jurassic dinosaurs. *The American Journal of Science and Arts*, 17, p. 86-92, 1879b.
- _____. *Odontornithes: a monograph of an extinct toothed birds of North America*. Washington: Government Printing Office, 1880a.
- _____. Principal characters of American Jurassic dinosaurs, III. *The American Journal of Science and Arts*, 19, p. 253-9, 1880b.
- _____. Principal characters of American Jurassic dinosaurs, IV. Spinal cord, pelvis, and limbs of Stegosaurus. *The American Journal of Science and Arts*, 21, p. 167-170, 1881.
- _____. *Dinocerata: a monograph of an extinct order of gigantic mammals*. Washington: Government Printing Office, 1886.
- _____. *The dinosaurs of North America* (from the sixteenth annual report of the U.S. Geological Survey). Washington: 1896.
- _____. On the on the Pithecanthropus erectus, Dubois, from Java. *The American Journal of Science*, 49, 149, p. 144-7, 1895.
- _____. The Skull of Protoceras. *The Geological Magazine*, 4, 4, p. 433-9, 1897.
- NEW YORK HERALD. Scientists wage bitter warfare. *New York Herald*, p. 10, 12 jan. 1890.

- NORTHCUTT, G. Understanding vertebrate brain evolution. *Integrative and Comparative Biology*, 42, p. 743-56, 2002.
- OLIVEIRA, M. A epidemia de más condutas na ciência: o fracasso do tratamento moralizador. *Scientiae Studia*, 13, 4, p. 867-97, 2015.
- OSBORN, H. F. Preliminary observations upon the brain of Amphitritia. *Proceedings of the Academy of Natural Sciences of Philadelphia*, 35, 2, p. 177-86, 1885.
- _____. Observations upon the presence of the Corpus Callosum in the brain of Amphibians and Reptiles. *Zoologischer Anzeiger*, 9, 219, p. 200-5, 1886.
- _____. A contribution to the internal structure of the amphibian brain. *The Journal of morphology*, 2, 1, p. 51-96, 1888.
- _____. A reply to Professor Marsh's note on Mesozoic Mammalia. *The American Naturalist*, 25, 297, p. 775-783, 1891.
- _____. A complete skeleton of Teleoceras, the true rhinoceros from the upper Miocene of Kansas. *Science*, 5, 173, p. 554-7, 1898.
- _____. The causes of extinction of mammalia (Concluded). *The American Naturalist*, 40, 480, p. 829-59, 1906.
- _____. *The age of mammals in Europe, Asia and America*. New York: Macmillan Co, 1910.
- PROTHERO, D. & LUDTKE, J. Family Protoceratidae. In: Prothero, D. & Foss, S. (Ed.). *The evolution of artiodactyls*. Baltimore: Johns Hopkins, 2007. p. 169-76.
- RAINER, R. *An agenda for antiquity: Henry Fairfield Osborn & vertebrate paleontology at the American Museum of Natural History, 1890-1935*. Tuscaloosa: Alabama Press, 1991.
- _____. The rise and decline of a science: vertebrate paleontology at Philadelphia's Academy of Natural Sciences, 1870-1900. *Proceedings of the American Philosophical Society*, 136, 1, p. 1-32, 1992.
- RIGGS, E. *Structure and relationships of Opisthocoelian dinosaurs – part I – Apatosaurus Marsh*. Chicago: Field Columbian Museum Publications, 1903.
- SCHUCHERT, C. *Biographical memoir of Othniel Charles Marsh (1831-1899)*. Biographical memoir, volume XX – first memoir. Washington: National Academy of Sciences, 1938.
- SEELEY, Harry. Outline of a theory of the skull and the skeleton. *Annals and Magazine of Natural History*, 18, p. 345-62, 1866.
- SINHA, J. K. *Accelerated ageing reduced longevity of obese rats [PHD Theses]* Hyderabad: Osmania University, 2015.
- SOBER, E. *The nature of selection*. Chicago: University of Chicago Press, 1984.
- STORRS, G. W. *Elasmosaurus platyrus* and a page from the Cope-Marsh war. *Discovery*, 17, 2, p. 25-7, 1984.
- TOBIAS, P. An appraisal of the case against Sir Arthur Keith. *Current Anthropology*, 33, 3, p. 243-93, 1992.
- WALCH, S. & KNOLL, M. Directions in paleoneurology. *Special Papers in Paleontology*, 86, p. 263-79, 2011.
- WOODWARD, J. *Making things happen: a theory of causal explanation*. Oxford: Oxford University Press, 2003.
- YAO, L. et al. Evolutionary change in the brain size of bats. *Brain, behavior and evolution*, 80, p. 15-25, 2012.