



DIÁLOGO SOBRE O SISTEMA TERRA-LUA E A EXTINÇÃO DOS DINOSSAUROS

Wilson Lopes¹

1 Introdução

O professor de Física ao abrir a porta da sala de aula, em que os alunos do último semestre do Curso de Física assistem às aulas, encontra um único aluno acomodado lá no fundo da sala. E com ar de surpresa na fisionomia:

– Bom dia! Desculpe-me o atraso!... Hoje, véspera de feriado, pensei em não encontrar ninguém! Certamente você não combinou a "emendada" do feriado! – era segunda-feira e o feriado aconteceria no dia seguinte.

– Bom dia! – responde o aluno.

– Não posso lecionar para um único aluno! Principalmente sobre as aulas que preparei sobre a conservação do momento angular. Espero que você entenda minha preocupação!...

– Sim, eu entendo!

– Mas, para não perdermos o nosso tempo, poderíamos comentar a respeito de outro assunto, relacionado à Física, se assim você desejar!

– Não sei se o senhor assistiu, no fim da semana passada, a um programa na televisão sobre a extinção dos dinossauros? Achei muito interessante!

– Não!...Não assisti! Mas esse é um assunto fascinante! Comprovadamente, existiram e foram extintos há cerca de 65 milhões de anos. Essas extinções parecem fazer parte da história da Terra.

– O que provocam essas extinções? – pergunta o aluno. Devido ao interesse do aluno pelo assunto, o professor esclarece:

– Em 1980, o físico Luis W. Alvarez, prêmio Nobel de física, e seu filho geólogo, Walter Alvarez, anunciaram o descobrimento de uma camada de irídio e outras substâncias, na crosta terrestre, com uma percentagem acima do que normalmente são encontradas. Essa camada pertence ao fim do período Cretácio, justamente na época em que os dinossauros e outras espécies de plantas e animais se extinguiram, há cerca de 65 milhões de anos. O irídio é um elemento encontrado em cometas, asteróides e é raro nas camadas superficiais da crosta terrestre, mas não se descarta a possibilidade de se apresentar com uma maior percentagem nas camadas mais profundas da crosta terrestre. Esse fato levou os Alvarez a sugerirem um impacto de um asteróide ou cometa contra a superfície terrestre, no final do período Cretácio, que elevou grande quantidade de poeira, rica em irídio, na atmosfera terrestre. Essa poeira em suspensão teria bloqueado a luz solar por meses, produzindo o que pode ser chamado de *Inverno Asteroidal* ou *Inverno Cometário*, com a terrível consequência de dizimar muitas espécies de plantas e animais (PICAZZIO, Ano 8; Extinção do Cretáceo-Paleogeno – Wikipédia).

– Se um cometa ou asteróide atingiu a superfície terrestre deveria produzir uma grande cratera, como aquelas vistas na Lua! – conclui o aluno.

– Sim, a cratera existe! – continua o professor. – Existe uma cratera que se estende pela costa mexicana, na península de Yucatán que, segundo Walter Alvarez, é uma forte candidata ao evento. Essa cratera, com a idade aproximada da extinção dos dinossauros, teria sido produzida por

¹ Professor de Física, na UnG – Universidade Guarulhos, SP e USJT – Universidade São Judas Tadeu



um asteróide ou cometa com cerca de 6,0 a 14 km de diâmetro (PICAZZIO. Ano 8).

Percebendo o brilho nos olhos do aluno, o professor continua a sua narrativa : – Pensava-se que o grande número de crateras existente na superfície da Lua, dos planetas, nos satélites desses planetas e na própria superfície terrestre, fosse referente a um passado distante, da época de juventude do sistema solar. Contudo, em 1994, fomos surpreendidos com os fragmentos do cometa Shoemaker-Levy 9 – o professor escreve no quadro as siglas que identificam o cometa S - L. 9 – precipitando-se contra a atmosfera de Júpiter, com a liberação de uma energia catastrófica da ordem de 100.000 megatons (MORRISON, 1999).

Enfatiza o professor – O impacto de uma asteróide ou cometa na superfície terrestre pode ser o gatilho, para uma intensa atividade vulcânica. A onda de choque, provocada pelo impacto, faria aparecer, do lado oposto da Terra, uma intensa atividade vulcânica, lançando na atmosfera muitas partículas em suspensão, não permitindo que a luz solar chegasse à superfície terrestre, causando um desastre ecológico (Extinção do Cretáceo-Paleogeno – Wikipédia)

2 Períodos de Extinção

–As extinções parecem sugerir um fenômeno periódico! – afirma o professor. Toca o sinal do intervalo das aulas e os dois, professor e aluno, resolvem tomar um café. Após os 15 minutos de intervalo, o professor está, novamente, de pé, na frente do quadro-negro e o aluno sentado na primeira carteira, conhecida entre os alunos como "carteira do gargarejo".

– Onde paramos? – essa parece ser uma pergunta fundamental dos professores de Física no início de suas aulas, principalmente por aqueles que não usam agendas, e criticada pelos

pedagogos. E o aluno, em tom de brincadeira e já bem descontraído, responde:

– Estávamos há 65 milhões de anos presenciando um dos períodos de extinção: a extinção dos dinossauros!

Com um sorriso nos lábios, o professor continua sua narrativa:

– Raup (RAUP, 1985) e Sepkoski sugeriram, em 1984, que poderia haver um ciclo de extinções com período de 26 milhões de anos. Se esse fato fosse real a explicação deveria ter origem astronômica. Seriam os cometas os causadores das extinções em massa? Qual é o efeito astronômico capaz de enviar um número maior de cometas para o interior do sistema solar, aumentando-se a probabilidade de choque com a superfície terrestre e com uma periodicidade de cerca de 26 milhões de anos?

– Nas vizinhanças do Sol – continua o professor – num raio da ordem de 20 parsecs – antes que o aluno pergunte, o professor escreve no quadro a relação entre o parsec e o ano-luz, unidade de distância mais familiar ao aluno (1,0 parsec = 3,26 anos-luz) – o número de sistemas estelares duplos é cerca de 35% (NICOLAU, 1988). Portanto, não é absurda a hipótese de que o Sol poderia ser membro de um sistema estelar duplo. A estrela companheira do Sol se existe, ainda não foi encontrada, mas já tem nome: Nêmisés. Segundo a mitologia grega, Nêmisés é a deusa grega da vingança.

Nesse instante, o professor faz um desenho no quadro-negro, destacando o Sol, a nuvem de cometas de Oort e, numa órbita excêntrica, Nêmisés. E continua a narrativa:

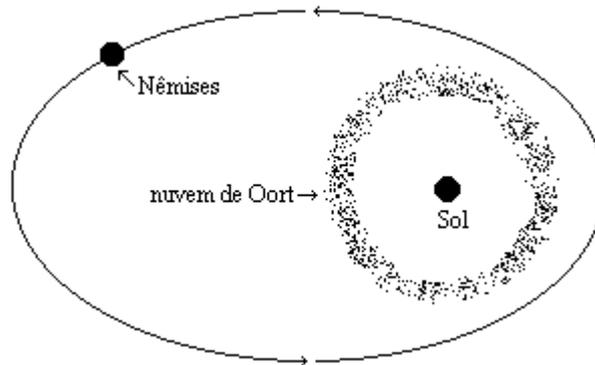


Figura 1: Nêmisés descreve seu movimento elíptico em torno do centro de massa do sistema solar, desestabilizando a nuvem de cometas de Oort.

– Whitmire e Jackson (1984), propuseram que essa companheira do Sol teria uma pequena massa, entre $2,0 \times 10^{-4} M_0$ e $7,0 \times 10^{-2} M_0$ (M_0 representa a massa do Sol). Sua órbita muito excêntrica, $\epsilon \approx 0,9$, e de semieixo maior a $\approx 8,8 \times 10^4$ UA ($1,0$ UA = $1,5 \times 10^{11}$ m), traz essa estrela para a região mais povoada de cometas, a nuvem de Oort que se encontra do Sol à distância aproximada de 2×10^4 UA, desestabilizando um grande número de órbitas cometárias, iniciando-se, assim, uma "chuva" de cometas para o interior (e para fora) do sistema solar que poderia perdurar por 10^5 a 10^6 anos, aumentando a probabilidade de choque com os planetas, incluindo-se a Terra.

– Alguns cientistas acreditam que o sistema solar duplo não seria estável com Nêmisés descrevendo uma órbita tão afastada do Sol! – comenta o professor. – Ainda, assim, algumas equipes de astrônomos estão a sua procura. Agora, essa companheira estaria próxima de sua maior distância ao Sol e, sendo uma estrela mais fria do que o Sol (a temperatura superficial do Sol é da ordem de 6000K), seria um objeto de pouca luminosidade, difícil de ser detectado.

– A segunda hipótese, para explicar a periodicidade das "chuvas" de cometas para o interior do sistema solar, relaciona-se com o movimento do Sol ao redor do centro de massa da

galáxia. A órbita do Sol, em torno do centro de massa da galáxia, poderia apresentar uma oscilação perpendicular em relação ao disco galáctico. Essa oscilação da órbita solar, levaria o Sol, ao longo do tempo, acima e abaixo, atravessando o disco galáctico (no disco galáctico encontram-se a maior densidade de estrelas e de nuvens interestelares) com período de 27 a 30 milhões de anos.

– Como a passagem do sistema solar, através do plano galáctico, afetaria os cometas da nuvem de Oort? – pergunta o professor e, em seguida, ele mesmo responde:

– O disco galáctico está repleto de nuvens moleculares. Essas nuvens frias contêm uma grande massa, e a sua força de atração gravitacional poderia perturbar as órbitas cometárias da nuvem de Oort, provocando, dessa maneira, uma chuva de cometas para o interior do sistema solar. Rampino e Stothers (1984) sugeriram que as extinções marinhas, durante os últimos 250 milhões de anos, apresentam uma periodicidade de 30 milhões de anos, com erro de mais ou menos um milhão de anos. Para esses cientistas, o ciclo de 30 milhões de anos, está relacionado com a distribuição de crateras de impacto encontradas na superfície terrestre, cujas

idades se relacionam com as principais crises biológicas (Dinossauro e Fósseis, 2014).

3 Teria a Lua provocado a extinção dos dinossauros?

O aluno sente-se envolvido com os modelos astronômicos da extinção dos dinossauros e, entusiasmado, pergunta:

– Existe mais algum modelo astronômico de extinção?

– Sim, existe na minha concepção! – responde o professor. – Pode-se imaginar que a Lua, antes de ser satélite da Terra, era um planeta com uma órbita muito próxima a da Terra. Pode-se criar um terceiro modelo de extinção dos dinossauros, admitindo-se que a Lua teria entrado no limite de influência do campo gravitacional terrestre há 65 milhões de anos e, inicialmente, numa órbita muito excêntrica, teria causado muitos transtornos aos habitantes do que antes era um paraíso!

O professor enfatiza: – O desequilíbrio entre a vida e o sistema Terra-Lua poderia ter-se estendido por cerca de um milhão de anos, até a sua estabilização, com a Terra e Lua descrevendo suas trajetórias em torno do centro de massa do sistema, muito semelhantes aos dias de hoje. E, depois desse período, na ausência dos dinossauros e de outras espécies de animais e vegetais, Terra e Lua continuam afastando-se, uma da outra, devido às forças de marés. Esse afastamento, entre os dois astros, traz como consequência a retrogradação dos nodos da órbita da Lua, com um período de 18,6 anos.

O professor, de costas para o aluno, começa uma longa demonstração. Inicialmente desenha, no quadro-negro uma figura que mais parece um haltere de academias esportivas do que o sistema Terra-Lua, e, em seguida, vai escrevendo tudo aquilo que fala. O aluno, por sua vez, ciente de estar sendo contemplado com uma aula particular, pede o seguinte:

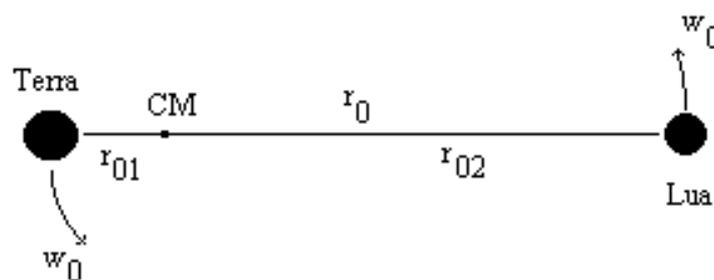


Figura 2: Terra e Lua descrevem seus movimentos orbitais em torno do centro de massa, CM, do sistema Terra-Lua, com velocidade w_0 , como se fossem pontos materiais¹.

¹ A figura 3 não foi desenhada em escala. À distância r_{01} , do centro da Terra ao centro de massa do sistema é menor que o raio terrestre.



– Professor,...não "corra"! ..., para que eu possa copiar e prestar atenção! – esse parece ser o desejo da maioria dos alunos em sala de aula.

– Farei as pausas necessárias para que você copie e preste atenção! – e continua:

– Suponhamos o sistema Terra-Lua há 65 milhões de anos – e aponta para a figura desenhada, em que r_0 representa a distância entre os centros da Terra e da Lua. – Terra e Lua descrevem seus movimentos orbitais em torno do centro de massa, CM, do sistema, cujas equações, para r_{01} e r_{02} são, respectivamente:

$$r_{01} = -mr_0/(M + m) \quad (1)$$

e

$$r_{02} = Mr_0/(M + m) \quad (2)$$

em que $M = 5,975 \times 10^{24}$ kg e $m = M/81,29 = 7,350 \times 10^{22}$ kg são, respectivamente, as massas da Terra e da Lua.

A partir deste momento o aluno limita-se a prestar atenção na fala do professor e copiar as equações que estão sendo escritas no quadro-negro.

– Disse, inicialmente, que não iria falar sobre o momento angular e sobre o princípio de sua conservação, mas neste caso é impossível ignorá-los! – afirma o professor. E, continuando:

– O momento angular do sistema Terra-Lua, há 65 milhões de anos, era:

$$\begin{aligned} L_0 &= I_T \cdot \omega_0 + I_L \cdot \omega_0 \\ &= (Mr_{01}^2 + m.r_{02}^2)\omega_0 \end{aligned} \quad (3)$$

– Note a figura!...A Lua e a Terra estão sendo consideradas como se fossem pontos materiais dispostos nos extremos de uma grande

haste, sem massa e comprimento r_0 . Observe, também, que a Terra e a Lua têm a mesma velocidade angular, ω_0 , em torno do centro de massa do sistema.

– Substituindo-se as equações (1) e (2) em (3), obtém-se:

$$L_0 = \mu.r_0^2.\omega_0 \quad (4)$$

em que $\mu = Mm/(M + m)$ representa a massa reduzida do sistema Terra-Lua.

– Pode-se aplicar à Lua a força de atração gravitacional newtoniana, exercida pela Terra, e igualá-la com a força dada pela segunda lei de Newton, ou seja, a força centrípeta sobre a Lua:

$$GMm/r_0^2 = m.\omega_0^2.r_{02} \quad (5)$$

em que $G = 6,67 \times 10^{-11} \text{Nm}^2/\text{kg}^2$ representa a constante de gravitação.

– Substituindo-se a equação (2) em (5), simplificando-se e evidenciando-se a equação resultante em ω_0 , obtém-se:

$$\omega_0 = \sqrt{G(M + m)/r_0^3} \quad (6)$$

O professor chama a atenção do aluno para a equação (6) que representa a terceira lei de Kepler. E, continuando em sua exposição:

– Substituindo-se a equação (6) em (4), vem:

$$L_0 = \mu.\sqrt{Gr_0(M + m)} \quad (7)$$



– A equação (7) fornece o momento angular do sistema Terra-Lua há 65 milhões de anos. Na atualidade, a distância média entre a Terra e a Lua é $r = 3,84 \times 10^8$ m! Portanto, o momento angular do sistema, é dado por uma equação semelhante à equação (7), a saber:

$$L = \mu \sqrt{Gr(M + m)} \quad (8)$$

– Observe que se a Lua se afasta da Terra, $r > r_0$, como consequência, $L > L_0$! Assim, pelo princípio da conservação do momento angular pode-se escrever:

$$\Delta L_0 = L - L_0 \quad (9)$$

em que

$$\Delta L_0 = I_0 \cdot \Delta \omega = \mu r_0^2 \cdot \Delta \omega \quad (10)$$

– A equação (10) é semelhante a (4) – explica o professor – e representa o momento angular do movimento de retrogradação dos nodos da órbita lunar, como se fosse um pião antes de perder toda a sua energia de rotação!

– Substituindo-se as equações (7), (8) e (10), na equação (9), tem-se:

$$r_0^2 \cdot \Delta \omega = \sqrt{Gr(M + m)} - \sqrt{Gr_0(M + m)} \quad (11)$$

em que $r_0 = r - \Delta r = r - v \cdot \Delta t$. Considero v como sendo a velocidade média de afastamento entre a

Terra e a Lua e Δt o intervalo de tempo da época da extinção até os dias de hoje.

– Assim, a equação (11) transforma-se em:

$$r^2(1 - v \cdot \Delta t / r)^2 \cdot \Delta \omega = \sqrt{R(M + m)} \sqrt{r} (1 - \sqrt{1 - v \cdot \Delta t / r}) \quad (12)$$

– Na equação (12), o termo $v \cdot \Delta t / r$ é muito menor que 1, valendo as seguintes aproximações: $(1 - v \cdot \Delta t / r)^2 \approx 1 - 2v \cdot \Delta t / r$ e $\sqrt{1 - v \cdot \Delta t / r} \approx 1 - v \cdot \Delta t / (2r)$. Com as aproximações indicadas acima, obtém-se a equação para a velocidade angular da retrogradação dos nodos da órbita lunar, a saber:

$$\Delta \omega \approx \frac{\sqrt{G(M + m)}}{2r^{5/2}} \frac{v \cdot \Delta t}{1 - 2v \cdot \Delta t / r} \quad (13)$$

– Obtendo-se $\Delta \omega$, calcula-se o período do movimento de retrogradação dos nodos da órbita lunar com a seguinte equação:

$$\Delta T \approx 2\pi / \Delta \omega \quad (14)$$

- Para se fazer os cálculos complicados, com as equações (13) e (14), é necessário alguma organização! – enfatiza o professor.

Professor e aluno passam a organizar uma tabela com os valores das grandezas físicas da equação (13): $\sqrt{G(M + m)} = 2,01 \times 10^7 \text{ m}^{3/2}/\text{s}$, $r = 3,84 \times 10^8 \text{ m}$; $2 \cdot r^{5/2} = 5,78 \times 10^{21} \text{ m}^{5/2}$ e $\Delta t = 6,5 \times 10^7 \text{ anos} = 2,05 \times 10^{15} \text{ s}$. Assim, transformam a equação (13) de uma maneira mais conveniente para os cálculos, em função da velocidade de recessão da Lua:



$$\Delta w = \frac{7,13.v}{1 - 1,07 \times 10^7 . v} \quad (15)$$

- Substituindo-se a equação (15) em (14), - diz o professor - podemos obter o período de retrogradação dos nodos da Lua através da equação (16), a saber:

$$\Delta T = \frac{2\pi(1 - 1,07 \times 10^7 . v)}{7,13.v} \quad (16)$$

- Substituiremos valores prováveis da velocidade v , na equação (16), aquele que fornecer o valor $T = 18,6$ anos $= 5,73 \times 10^8$ s será o escolhido.

- Professor!... - participa o aluno - esse período, definido pela equação (16), é função da velocidade com que a Lua se afasta da Terra, através da equação (13)! O senhor tem algumas referências a respeito dessa velocidade?

- Existem algumas referências bibliográficas que fornecem o valor dessa velocidade média: para LOPES (1996), Terra e Lua se afastam, uma da outra, com velocidade de 4,07 cm/ano; para STACEY (1977) esse valor é de 5,8 cm/ano.

v(cm/ano)	v(m/s)	ΔT (s)	ΔT (anos)
4,80	$1,52 \times 10^{-9}$	$5,70 \times 10^8$	18,1
4,75	$1,50 \times 10^{-9}$	$5,78 \times 10^8$	18,3
4,70	$1,49 \times 10^{-9}$	$5,82 \times 10^8$	18,4
4,66	$1,48 \times 10^{-9}$	$5,86 \times 10^8$	18,6
4,65	$1,47 \times 10^{-9}$	$5,90 \times 10^8$	18,7
4,60	$1,46 \times 10^{-9}$	$5,94 \times 10^8$	18,8
4,55	$1,44 \times 10^{-9}$	$6,03 \times 10^8$	19,1

Tabela: Supondo-se que a extinção dos dinossauros teria ocorrido há 65,0 milhões de anos e para uma velocidade de recessão, entre a Terra e Lua, de 4,66 cm/ano, obteve-se o período de 18,6 anos para a retrogradação dos nodos da órbita lunar.

4 Conclusões

- Professor, nesse modelo, como se poderia explicar a camada da crosta terrestre com um percentual mais elevado de irídio e com a idade de 65 milhões de anos?



– Quando a Lua deixou de ser um planeta e foi capturada pela Terra, para não ser fragmentada pelas forças de marés, o perigeu de sua órbita deveria ser um pouco maior que o limite de Roche, para o sistema Terra-Lua recém-formado. – O professor explica ao aluno o que vem a ser o limite de Roche. – Mas, a essa distância, as forças gravitacionais, tanto na Terra quanto na Lua eram muito intensas, gerando muito calor no interior dos dois astros. Uma parte das rochas superficiais da Lua chegou à temperatura de fusão, dando origem aos mares lunares e produzindo na Terra uma atividade vulcânica muito intensa. Será que essa atividade vulcânica não poderia trazer uma porcentagem maior de irídio das profundezas da crosta terrestre através de atividades vulcânicas? E, também, não se pode descartar, com a Lua passando pelo perigeu e muito próxima à Terra, a hipótese de uma origem lunar, para essa

camada enriquecida de irídio sobre a crosta terrestre, já que a Lua é muito craterizada por asteróides e cometas que contém esse elemento químico.

– Em relação aos mares lunares, como se poderia saber que eles têm a idade de 65 milhões de anos? – pergunta o aluno.

– Quando se atinge a temperatura suficiente para a fusão de uma rocha, creio que a sua estrutura atômica não é modificada, – explica o professor. – Com a rocha novamente solidificada, ao medir-se a sua idade pode-se chegar à idade da Lua, com cerca de 4 bilhões de anos, e não a idade da formação dos mares lunares. O melhor vestígio de que os mares lunares tiveram uma formação bem mais recente reside na craterização de sua superfície: toda superfície lunar é muito craterizada, menos os mares.



Figura. 3: Toda superfície lunar é muito craterizada, menos os mares.
Créditos: W. Lopes (21/9/2004)

– O professor poderia descrever os pontos positivos e negativos do modelo exposto?

– O ponto positivo e muito interessante – responde o professor – foi obter com esse modelo,

a retrogradação dos nodos da órbita lunar através da velocidade de recessão da Lua em relação à Terra. Ou seja, para um período de extinção de 65 milhões de anos e uma velocidade de afastamento



de 4,66 cm/ano, entre a Terra e a Lua, obteve-se o período de retrogradação dos nodos da Lua de 18,6 anos. Contudo, para as velocidades de 4,07 e 5,8 cm/ano, proposta por LOPES e encontrada no livro de STACEY, obtém-se os intervalos de tempo da extinção, respectivamente, de 74,4 e 52,3 milhões de anos!... O ponto negativo reside em não se poderem explicar as extinções periódicas. Mas, ainda assim, poderiam ser dois eventos, aproximadamente, simultâneos: quando os cometas se aproximavam dos planetas Terra e Lua, enviados por Nêmisés ou enviados quando o sistema solar cruzou o disco galáctico, a Lua se tornou um satélite da Terra.

Com a hora já bem adiantada, professor e aluno nem se haviam dado conta do sinal do término das aulas. O professor recolhe seu material que estava sobre a mesa e o aluno, por sua vez, guarda todo seu material na mochila, apoiando uma de suas alças sobre o ombro. Caminham juntos até a porta de saída da sala e se despedem.

– Espero que você tenha gostado dos modelos astronômicos de extinções! Até segunda-feira que vem!... e vê se na próxima ... preste mais atenção nas "emendadas" devidas aos feriados!

– Valeu professor! até a próxima segunda-feira!

5. REFERÊNCIAS

PICAZZIO, E. Seriam as Extinções Biológicas Consequências de Fenômenos Extraterrestres? **Boletim da Soc. Astr. Bras.** 1, 2 (Ano 8).

[Extinção do Cretáceo-Paleogeno – Wikipédia, a ...](http://pt.wikipedia.org/wiki/Extinção_do_Cretáceo-Paleogeno)
<[pt.wikipedia.org/wiki/Extinção do Cretáceo-Paleogeno](http://pt.wikipedia.org/wiki/Extinção_do_Cretáceo-Paleogeno)> Acesso em 19/11/2014 .

MORRISON, D. Los Impactos y la vida: moradores de um sistema planetario inseguro. In: **El Universo**

de **Carl Sagan**. Espanha: Cambridge University Press, 1999. p. 94.

RAUP, D. M. Magnetic Reversal and Mass Extinctions. **Nature**. 1985. p. 324-341

NICOLAU, F. **Introduccion a la cosmologia**. Madrid: Ediciones Encontro, 1988. p 64.

WHITMIRE, D. P; JACKSON, A. A. **Are periodic mass extinctions driven by a Distant solar companion?** *Let. to Nat.* 1984. p. 308, 713

RAMPINO, M. R.; STOTHERS, R. B. **Terrestrial mass extinctions, cometary impacts and the Sun's motion perpendicular to the galactic plane.** *Let. To Nat.* 1984. p. 308, 709

Dinossauro e Fósseis, 2014
<WWW.megacurioso.com.br> Acesso em 8 nov. 2014

LOPES, W. Efeitos das Marés Sobre o Sistema Terra-Lua. **Rev. Bras. Ens. Fís.** 18, 286. 1996.

STACEY, F. D. **Physics of the Earth**. 2. ed. New York: John Wiley, 1977. p. 99.