

## O PERIGO QUE VEM DO ESPAÇO

*Paulo Bedaque<sup>1</sup>*

**Resumo:** Entre os muitos riscos que corre o ambiente terrestre, existe a possibilidade, ainda que remota, de choques com pequenos corpos celestes como cometas, asteróides e meteoróides que podem provocar desde pequenas colisões sem grandes conseqüências até cataclismos de enormes dimensões, com reflexos para toda a vida existente na Terra. A taxa das colisões, como era de se esperar, é tanto maior quanto menores forem as dimensões e a massa do corpo externo. É possível fazer simulações levando-se em conta o diâmetro médio do objeto celeste, sua densidade, a velocidade e o ângulo de colisão para estimar as conseqüências que trariam tais colisões. É possível também estimar as probabilidades dos choques e avaliar os reais riscos que nosso planeta corre e com que periodicidade podemos esperá-los. Os resultados dessas simulações aparecem em gráficos de modo a facilitar a análise final. Por fim, lembramos que existem centros de pesquisa em várias partes do mundo trabalhando no patrulhamento do céu na busca de possíveis "agressores" e na estimativa dos reais riscos que corremos.

**Palavras-chave:** Asteróides, colisões cósmicas

## EL PELIGRO QUE VIENE DEL ESPACIO

**Resumen:** Entre los muchos riesgos que corre el ambiente terrestre existe la remota posibilidad de choques con pequeños cuerpos celestes como cometas y asteroides, y que pueden provocar desde pequeños daños sin mayores consecuencias hasta cataclismos de grandes dimensiones, con reflejos para toda la vida existente en la Tierra. La tasa de colisiones, como era de esperar, es mucho menor para cuerpos con masas y diámetros crecientes. Es posible realizar simulaciones considerando el diámetro, la masa, su velocidad y el ángulo de la colisión para estimar las probabilidades, las consecuencias para el planeta y con qué tasa temporal podemos esperarlas. Los resultados de estas simulaciones se presentan en gráficos para facilitar el análisis final. Finalmente señalamos que existen varios centros de investigación en el mundo trabajando en barraduras del cielo en busca de posibles "agresores" y en las estimaciones de los riesgos que corremos.

**Palabras clave:** Asteroides, colisiones cósmicas

## THE DANGER FROM THE OUTER SPACE

**Abstract:** Among the several risks to which the terrestrial life is subject, there is a remote possibility of collision with minor astronomical bodies such as comets and asteroids, which can potentially cause consequences ranging from minor damages to large cataclysms with reflections for the whole Earth. The frequency of the collisions is smaller whenever the external bodies are bigger and more massive. It is possible to conduct simulations taking into account these factors and the velocities and angles of the collisions to estimate their probabilities, the consequences for our planet and the frequency of such events. The results of the simulations are presented graphically to facilitate the final analysis. Finally, we point out that there are several research centers in the world working in the surveillance of the sky to identify possible "aggressive" bodies and evaluate the actual risks for the planet.

**Keywords:** Near Earth Asteroids (NEAs), cosmic collisions

---

<sup>1</sup> Paulo Bedaque é bacharel e licenciado em Física (USP), mestrando em Educação a Distância (UNED – Madri – Espanha – cátedra da UNESCO) e autor de livros didáticos de ciências (Ed. Saraiva).  
bedaque@ciencias.com.br

Não é a toa que aquelas manchas escuras receberam nomes de mares. Quando observadas à distância, elas se parecem realmente com mares, com grandes oceanos. Mar da Tranqüilidade, Mar da Serenidade, Mar da Fecundidade, Mar das Crises etc. Vistas da Terra, aquelas imensas planícies lunares se parecem mesmo com mares, ainda que, como sabemos hoje, sejam inóspitas, não tenham uma gota de água e se pareçam com os desertos mais secos e sem vida de nosso planeta. O sonho de alguns de que a Lua pudesse comportar grandes mares morreu quando os primeiros telescópios se voltaram para a superfície de nosso único satélite natural. Ainda assim, persistiu a crença de que ela pudesse de algum modo abrigar vida inteligente. Essa possibilidade alimentou mentes férteis no campo da ficção e grandes livros da literatura universal trataram da existência dos “lunáticos” e ainda hoje fazem muito sucesso. Refiro-me em especial aos clássicos “Os primeiros homens da Lua” e “Viagem ao redor da Lua”, respectivamente de H. G. Wells e de Julio Verne, dois grandes mestres da ficção científica. Hoje, tem-se a certeza de que não existem habitantes da Lua e o encontro do homem com alienígenas está adiado, não se sabe por quanto tempo.



Foto da Lua vista da Terra. As regiões mais escuras são grandes planícies chamadas de mares, embora não tenham uma gota de água. Pode-se observar também um grande número de crateras de vários diâmetros. (cortesia da [NASA](#))

Mas não é exatamente dos “mares” lunares que queremos tratar neste momento e sim de seus vizinhos, as imensas e famosas crateras que podem ser observadas da Terra, mesmo por um pequeno telescópio. Galileu Galilei (1564-1642) foi o primeiro a observá-las com sua pequena luneta em 1609 e mostrou que elas eram na verdade montanhas altíssimas. A maior parte dessas crateras teve sua origem em colossais impactos meteoríticos e por isso são chamadas de crateras meteoríticas.

Aqui cabe uma ligeira explicação sobre alguns termos que costumam carregar dúvidas. Chamamos de **meteoro** (do grego *meteoron*, que significa “fenômeno no céu”) aquele fenômeno atmosférico em que matéria do sistema solar entra na atmosfera terrestre e, por fricção, torna-se incandescente e ilumina a atmosfera. Deixa então um rastro luminoso, que dura, na maioria das vezes, apenas uma fração de segundo, e é chamado muitas vezes de “estrela cadente”. Esse fenômeno ocorre a alturas que vão de 80 a 110 km e, portanto, relativamente perto da superfície terrestre. Já a matéria que existe no sistema solar, pequena demais para ser um planeta, um asteroide ou mesmo um cometa, chama-se **meteoróide**. São eles que, quando entram em nossa atmosfera, provocam os meteoros. Alguns meteo-

róides conseguem atravessar a camada de ar que envolve nosso planeta e ainda assim, apesar de ter perdido muita massa, chegar ao solo terrestre e impactar-se com ele. Neste caso, ele passa a se chamar **meteorito** (2). Muitos deles podem ser vistos expostos em museus, planetários e observatórios de todo o mundo, sendo que alguns causaram notáveis transtornos em sua queda, no chamado **impacto meteorítico**, com o solo de nosso planeta. Por uma questão de simplificação de linguagem, usaremos esta mesma expressão, impacto meteorítico, mesmo que o corpo invasor seja maior, como um cometa ou um asteroide.

Em outras eras, no início da formação dos planetas e satélites do sistema solar, o número de impactos meteoríticos era muito maior e eram mais intensos do que hoje. Assim, a desprotegida Lua foi alvo de impactos colossais, origem da maior parte de suas crateras. Por que desprotegida? Há por acaso algum protetor natural contra esses ataques do espaço? Há sim, é a atmosfera que envolve alguns astros. Vimos que o atrito de um corpo com a atmosfera provoca a ionização do ar ao seu redor que por sua vez emite radiação visível e parte de sua massa é consumida. Hoje em dia, a grande maioria dos meteoróides não sobrevive aos efeitos da atmosfera e desaparecem no ar. E, ainda que o corpo consiga chegar ao solo do astro, perde no caminho boa parte de sua massa e de sua energia cinética. No caso da Lua, sem poder contar com a proteção de uma camada gasosa, foi violentamente bombardeada por milhões e milhões de anos. O resultado é aquele que podemos observar ainda hoje.

A inexistência de erosão na Lua fez com que esses bombardeios ficassem registrados até agora. A ausência de atmosfera (conseqüentemente, de ventos), de chuva, de rios e de outros agentes da erosão, impedem que haja grandes mudanças no solo lunar. As pegadas deixadas pelos astronautas americanos, que pisaram na Lua em 1969, estão lá até hoje e devem durar ainda alguns bons milhões de anos.

Bem diferente do que ocorre na Terra. Aqui, como em outros planetas providos de atmosfera, a erosão é intensa e os cenários sofrem mudanças constantes. Além da atmosfera que nos protege, temos ainda a erosão apagando as pistas deixadas por esses “terroristas do espaço” depois que nos bombardeiam.

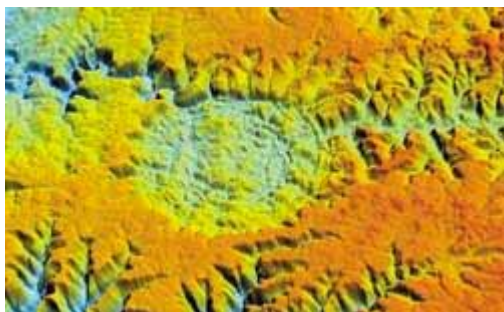
Mas será que nunca sofremos impactos meteoríticos significativos que tivessem deixado suas marcas até os dias de hoje, apesar de nossa eficiente erosão? Temos, e muitos. Talvez a cratera meteorítica mais famosa (e também a mais bem estudada) seja a [Barringer Meteor Crater](#), no estado americano do Arizona. Com um diâmetro de 1.186 m, foi formada há 49 000 anos atrás quando uma enorme bola de fogo (*fireball*) de níquel e ferro, de 50 metros de diâmetro atingiu o solo à velocidade de 11 km/s (cerca de 40 000 km/h). Os efeitos locais devem ter sido terríveis para os antigos habitantes da região, pois se seguiu um abalo sísmico de 5.0 na escala Richter, depois de uma explosão equivalente a mais de 20 milhões de toneladas de TNT (1). Por ser relativamente recente, nossa cratera do Arizona escapou dos efeitos da erosão.



[Cratera meteorítica do Arizona](#), produzida há cerca de 49 000 anos atrás.

Este não é o nosso único caso conhecido. Outra cratera razoavelmente bem conservada, encontra-se na Austrália. Trata-se da **Wolfe Creek**, com aproximadamente 875 m de diâmetro e formada há 300 000 anos (2). No deserto da Namíbia, na África, encontra-se **Roter Kamm**, com 2,5 km de diâmetro e uma idade de mais ou menos 5 milhões de anos (2) porém, já bastante escondida pela erosão. De seus 130 m de profundidade, hoje em dia 100 m estão cobertos de areia do deserto. Talvez a mais impressionante seja **Kara-Kul**, no Tadjiquistão. Com impressionantes 45 km de diâmetro e uma idade estimada em 10 milhões de anos, a cratera tem boa parte de sua área preenchida pelo lago Kara-Kul e está localizada a quase 6.000 m acima do nível do mar, sobre o Monte Pamir, próximo à fronteira com o Afeganistão (2).

E no Brasil, temos algum registro de fenômeno semelhante? Recentemente (2003) dois pesquisadores da Unicamp, o geólogo Álvaro Crósta e o graduando César Kazzuo anunciaram ter encontrado provas de que a cratera no município de Vargeão, no estado de Santa Catarina, é na verdade uma cratera meteorítica (ou o que sobrou dela), com 12 km de



Topografia da cratera de Vargeão com base nos dados do radar interferométrico do ônibus espacial Endeavour (imagens: A.P. Crósta e C. Kazzuo).

diâmetro, formada entre 70 e 110 milhões de anos atrás, na época em que os grandes dinossauros reinavam absoluto na Terra e a América estava se soltando da África (3). Já bastante desgastada pelo tempo, a cratera catarinense é resultado do impacto de um corpo celeste de 600 m de diâmetro, num impacto equivalente a 550 mil bombas atômicas iguais à lançada em Hiroshima, deixando marcas em forma de estrias nas rochas ao redor. *"Após o impacto, ondas de choque se propagam pelo terreno e provocam estrias nas rochas muito próximas à queda do asteróide"*, disse Crósta. *"Não existe nenhum outro fenômeno natural que tenha força o suficiente para formar esses cones"* (3).

Mas de todos os registros, certamente o vencedor do concurso, ocorreu há 65 milhões de anos e provavelmente foi o responsável pelo desaparecimento dos dinossauros. Dois cientistas, pai e filho, são os autores da tese de que, nessa época, um enorme corpo celeste, um asteróide ou um cometa, de diâmetro estimado entre 6 e 15 km, se chocou com nosso planeta, causando um cataclismo de enormes dimensões. A poeira levantada seria suficiente para escurecer todo o planeta, rompendo as cadeias de fotossíntese e matando de fome os grandes répteis que habitavam a Terra. Refiro-me ao físico Luiz Alvarez (1911-1988) e seu filho, o geólogo Walter Alvarez (1940-). Por seus trabalhos em física de alta energia, Luiz Alvarez recebeu o Prêmio Nobel de Física em 1968 (4). Juntos, em 1980, lançaram sua tese baseados em algumas observações geológicas feitas na região do Mediterrâneo. Na Itália, Walter Alvarez encontrou uma fina camada do metal irídio, na camada geológica correspondente ao fim do Cretáceo e início do Terciário, datada de aproximadamente 65 milhões de anos. Alvarez encontrou essa mesma camada em vários outros locais do mundo, levando a crer que tiveram a mesma origem. Ocorre que o metal irídio é raro na Terra mas comum em boa parte dos asteróides. Tudo levava a crer que nesta época, um choque com um asteróide teria sido a fonte desta camada de irídio. Restava encontrar os sinais da cratera. Surgiu uma forte candidata no início dos anos 90 nas proximidades da

Península de Yucatán, México, região do antigo Império Maia, descoberta por uma companhia de prospecção de petróleo, a PEMEX. Ainda hoje, parte na terra e parte no mar, existem sinais de uma enorme cratera meteorítica de 180 km de diâmetro e 1,5 km de profundidade. Sua origem foi datada como de 65 milhões de anos atrás, coincidindo não só com a idade da camada de irídio, como com o fim dos grandes répteis que habitavam nosso planeta.

Por alguns anos, esta teoria foi tida como a melhor explicação para a extinção dos dinossauros. Recentemente porém, ela tem sido refutada e perdeu parte de sua força. A dúvida recaiu principalmente na datação da cratera Mexicana; novas medições indicam que ela foi formada 300 000 anos antes do fim dos dinossauros. Teremos que aguardar ainda por dados mais precisos. Contudo existem consideráveis dúvidas sobre o mecanismo específico que pode ter provocado a extinção. Esta é uma discussão que ainda vai perdurar por um certo tempo.

Como vêem, existem muitos registros de crateras causadas por impactos com corpos alienígenas, causando estragos colossais, mas que felizmente ocorreram há milhares ou milhões de anos atrás. Resta saber se estamos livres dessas ameaças ou elas continuam possíveis e a qualquer momento poderemos ser surpreendidos por algum impacto de grandes dimensões. Não há dúvidas de que estamos sujeitos a esses desastres.

Para garantir nossa segurança, ou ao menos para patrulhar o céu em busca de possíveis ameaças que possam ser combatidas em tempo, existem grupos de cientistas que passam suas noites mapeando o céu atrás de candidatos perigosos. Talvez o mais notável deles tenha sido o americano Eugene Shoemaker (1928-1997) (6). Grande caçador de cometas e notável astrogeólogo. Shoemaker estudou os impactos meteoríticos com paixão e competência e ao lado de sua esposa e colega Carolyn e de seu colega David Levy, descobriu vários cometas que carregam seus nomes, como o cometa Shoemaker-Levy-9, protagonista da mais impressionante colisão já observada pelo homem. Pouco tempo depois de descoberto, este cometa se fragmentou em vários pedaços e em 1994 chocou-se com o planeta Júpiter provocando colisões que foram observadas em todo o mundo, num exemplo extremamente didático do que poderia ocorrer conosco no caso de uma colisão parecida. Os “buracos” provocados na densa atmosfera jupiteriana chegaram ao diâmetro da Terra ao impactar com um dos 21 fragmentos do cometa, cada um deles com cerca de 2 km (5). Para aqueles que se interessam pelo assunto, sugerimos uma visita detalhada ao *site* do JPL (*Jet Propulsion Laboratory*) dedicado ao evento, indicado com o número 5 ao final deste texto.

A partir de 1980, Shoemaker e Carolyn, passaram a se dedicar a mapear o céu localizando candidatos com algum potencial de choque com nosso planeta. Em 97, enquanto participava de um congresso científico na Austrália, o casal sofreu um forte impacto, desta vez, em um automóvel, quando Shoemaker veio a falecer (6).

Um interessante *site* mantido pela Universidade do Arizona (8) permite simular os efeitos de impacto meteoríticos desde que se forneça algumas variáveis ao sistema. Usamos tal simulador para montar os gráficos que se seguem, onde estipulamos que o corpo extraterrestre era rico em ferro ( $d = 8 \text{ g/cm}^3$ ), que o impacto se deu sempre com uma inclinação de  $45^\circ$  em relação ao solo, que a velocidade do corpo na entrada da atmosfera é de 30 km/s (para cometas um valor típico é 51 km/s e para asteróides é de 17 km/s) e que a região do impacto era formada por rocha sedimentar. Neste momento, para que os gráficos fiquem

mais didáticos, estudamos duas situações em separado, corpos de pequeno diâmetro (de 100 m a 500 m) e corpos de grande diâmetro (de 1 km a 50 km).

Começemos pelos corpos menores. Os dois próximos gráficos se referem a eles. No primeiro, relacionamos o diâmetro do corpo invasor com o diâmetro da cratera produzida. Observem que um corpo de 100 m é suficiente para produzir uma cratera de 2,5 km. Já um corpo de 500 m de diâmetro pode produzir uma cratera de 14,5 km. Como era de se esperar, impactos com corpos menores são mais freqüentes e com corpos maiores são mais raros.

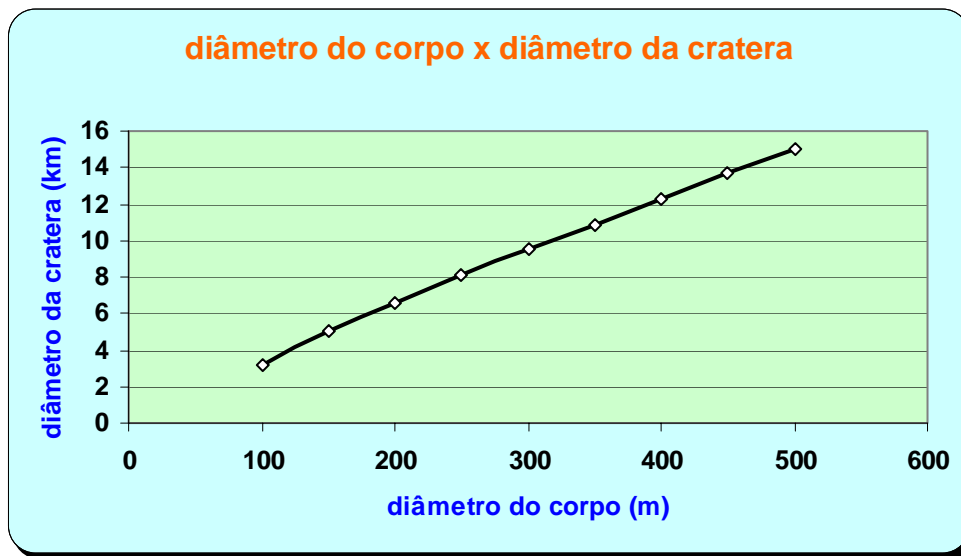


Gráfico 1: variação do diâmetro da cratera em função do diâmetro do objeto (corpos pequenos).

O segundo gráfico nos mostra a taxa com que os choques ocorrem, em função do diâmetro do corpo externo. Em média, a Terra é atingida por um objeto de 100 m de diâmetro a cada 12 mil anos e por um objeto de 500 m a cada meio milhão de anos, o que provocaria um abalo sísmico de 7.8 na escala Richter, suportável em todos os seus efeitos.

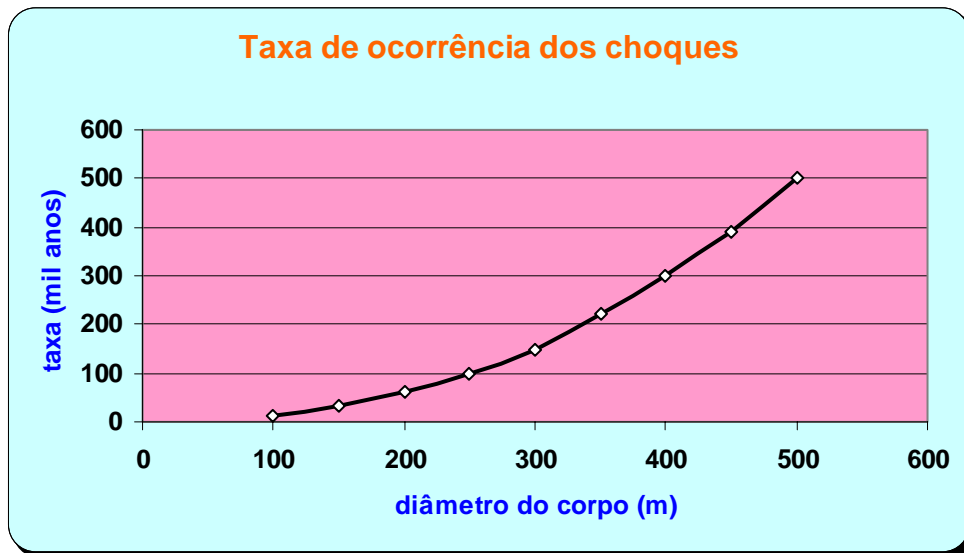


Gráfico 2: taxa de ocorrência de impactos em função do diâmetro do objeto (corpos pequenos).

Para os objetos maiores construímos igualmente dois gráficos com as mesmas relações. Um corpo de 10 km de diâmetro pode provocar uma imensa cratera de 200 km e, em média, impactos como esse ocorrem a cada 500 milhões de anos. Já um imenso objeto de 50 km provocaria uma cratera de 850 km. Um choque como esse pode ocorrer a cada 4 bilhões de anos. Ainda assim, a Terra não sofreria mudanças significativas em seu período de rotação e nem em sua órbita. Evidentemente, não podemos dizer o mesmo da vida sobre o planeta, que sofreria danos incalculáveis.

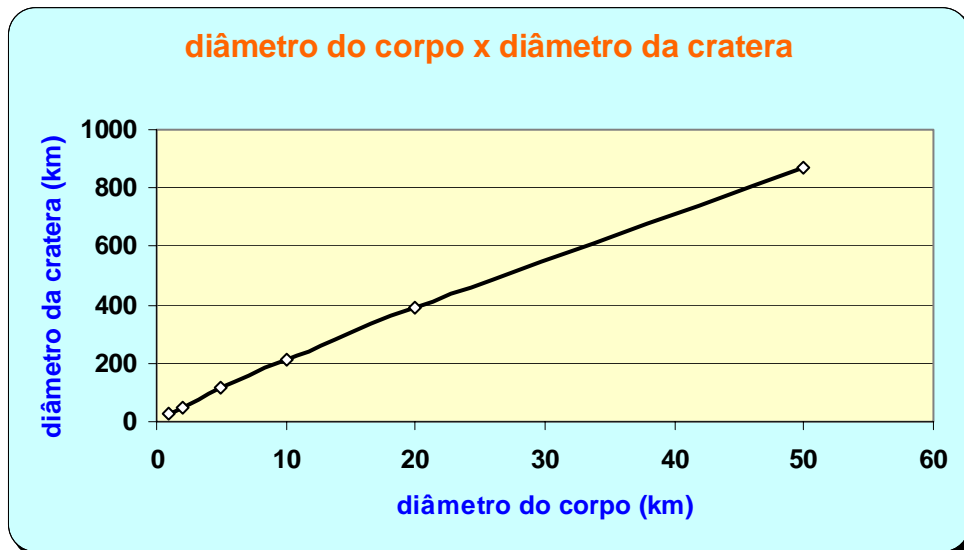


Gráfico 3: variação do diâmetro da cratera em função do diâmetro do objeto (corpos grandes).

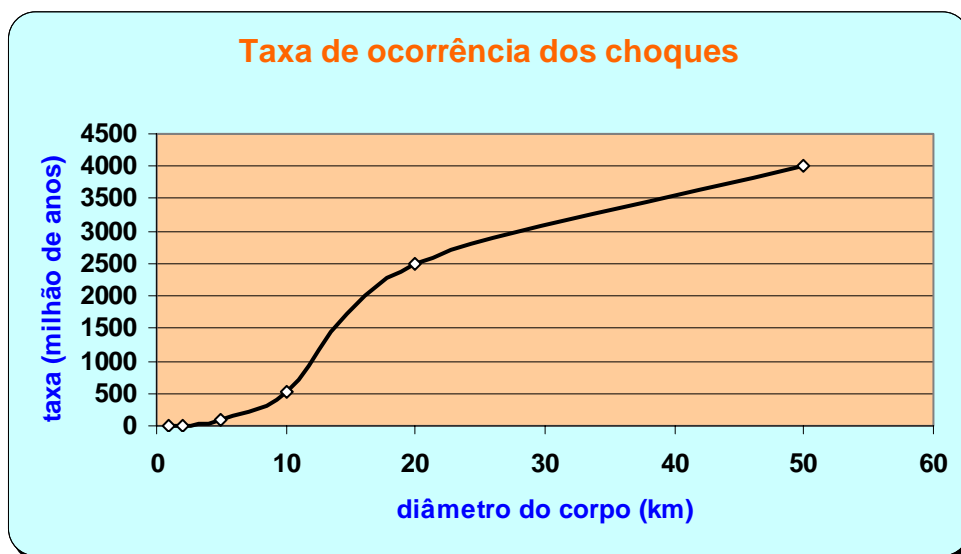


Gráfico 4: taxa de ocorrência de impactos em função do diâmetro do objeto (corpos grandes).

Mais do que analisar esses gráficos, sugerimos que o leitor consulte o *site* da Universidade do Arizona e faça suas próprias simulações.

A NASA mantém um projeto chamado [NEO \(Near Earth Objects\)](#) que mantém registros dos objetos próximos à Terra com um potencial perigo (9), e que pode ser consultado pelos interessados através da Internet. O Laboratório de Propulsão a Jato (JPL) também disponibiliza um serviço semelhante (7).

Para tornar mais claras as informações sobre possíveis colisões com corpos celestes e suas possíveis conseqüências, foi criada a [escala de Torino](#). Com números entre 0 e 10, classificam-se os novos cometas e asteróides descobertos conforme sua maior ou menor probabilidade de chocar-se com a Terra, bem como sua maior ou menor capacidade de causar danos. Para maiores informações sobre a escala de Torino, sugerimos uma visita ao *site* (10) que trata do assunto.

Embora não haja motivos para alarme, quando se trabalha com amostragens de um universo com eventos imprevisíveis, não se pode apostar em nenhuma hipótese. Mas não convém perder o sono. Afinal, temos que apostar na raridade do fenômeno e na tecnologia que nos permitirá, em caso de necessidade, defender nossas fronteiras do espaço.

### Fontes

(1) Cratera Meteorítica no estado do Arizona - USA

<http://www.meteorcrater.com/>

(2) Meteoróides e Meteoritos – Instituto de Física da UFRGS

<http://www.if.ufrgs.br/ast/solar/portug/meteor.htm>

(3) Revista Ciência Hoje *online*

<http://www2.uol.com.br/cienciahoje/>



- (4) Site dedicado ao Premio Nobel  
<http://nobelprize.org/physics/laureates/1968/alvarez-bio.html>
- (5) Laboratório de Propulsão a Jato – Nasa - USA  
<http://www2.jpl.nasa.gov/sl9/>
- (6) Site com informações sobre Eugene Shoemaker  
<http://www.agu.org/inside/awards/geneshoemkr.html>
- (7) Near – site com referências a patrulhamento de objetos que apresentam riscos de colisão com a Terra  
<http://near.jhuapl.edu/>
- (8) Simulação de Impactos – Universidade do Arizona  
<http://www.lpl.arizona.edu/impacteffects/>
- (9) Projeto NEO  
<http://impact.arc.nasa.gov/>
- (10) Informações sobre a escala Torino - NASA  
<http://128.102.32.13/impact/torino.cfm>