



## Impacto na Lua: Um evento não tão raro

**Por: Rosely Gregio**

[rgregio@uol.com.br](mailto:rgregio@uol.com.br)

*Impactos de meteoróides sempre foram acontecimentos constantes na história da formação planetária. Nos tempos mais remotos do Sistema Solar esses eventos foram muito mais intensos e catastróficos do que nos dias atuais e deixaram suas marcas bem visíveis em todos os corpos do Sistema Solar. Cicatrizes que podem ser vistas através de instrumentos como no caso da nossa Lua, e também na superfície da Terra. Apesar dos vários fatores que tiveram ação na degradação e/ou camuflagem desses astroblemas, eles ainda podem ser vistos a olho nu. Todavia, sem que nos demos conta disso, milhares de micrometeoritos bombardeiam diariamente todos os corpos do Sistema Solar.*

Para os selenógrafos, o estudo de impactos na Lua vem sendo realizado há muito tempo, mas nem sempre *flashes* luminosos puderam ser confirmados por outros observadores. Porém, com a evolução tecnológica dos equipamentos que podem registrar esses eventos esporádicos através de imagens, fica cada vez mais patente a comprovação de que a ocorrência de impactos de meteoritos na Lua não é tão rara como era antes pensado.

Por algumas vezes foram relatados impactos nos quais pessoas observaram “estranhos” e repentinos brilhos na Lua. O mais antigo registro consta de uma observação a olho nu por um monge do século XII que teria avistado um *flash* extremamente luminoso na Lua, que acredita-se tenha formado a cratera Giordano Bruno.



Outro exemplo foi o registro do *flare* lunar observado pelo Dr. Leon Stuart (Médico em Tulsa, Oklahoma,) na manhã de 15 de novembro de 1953, mas que não havia sido confirmado até recentemente, devido ao evento haver sido registrado por um único observador. Contudo, 50 anos depois, a NASA confirmou que o massivo impacto observado pelo astrônomo amador vaporizou rochas e, assim, o Dr. Leon Stuart passou a ser o primeiro homem a testemunhar e documentar o impacto de um corpo de grande massa a deixar sua cicatriz na Lua.

*Imagem: Impacto Lunar registrado por Leon Stuart em 1953. Crédito: Leon Stuart*



*Imagem: Utilizando uma imagem realizada durante a missão da sonda Clementine em 1994, os pesquisadores Dr. Bonnie J. Buratti, o principal cientista do Jet Propulsion Laboratory em Pasadena, Califórnia, e Lane Johnson do Pomona College, Claremont, Califórnia, descobriram uma cratera significativamente mais luminosa que outras na região indicada pelo registro do Dr. Stuart. Eles tinham localizado "o Evento de Stuart". Crédito: Missão Clementine/NASA*

Segundo o relato de Buratti, eles utilizaram a fotografia do *flash* lunar de Stuart para localizar a cratera e calcular que o objeto que bateu na Lua tinha aproximadamente 20 metros, e a cratera resultante teria uma extensão entre 50 e 100 metros. A cratera é consistente com a energia produzida pelo impacto de um objeto de 20 metros de diâmetro. A cratera é consistente com a energia produzida pelo impacto de um objeto de 20 metros de diâmetro. A cratera é consistente com a energia produzida pelo impacto de um objeto de 20 metros de diâmetro. A cratera é consistente com a energia produzida pelo impacto de um objeto de 20 metros de diâmetro.

Diferente da Terra, a Lua não tem atmosfera capaz de ionizar qualquer meteorito que é atraído por seu campo de gravidade e, assim, qualquer corpo vindo do espaço bate em sua superfície. Dessa forma, na Lua, não ocorrem rastros luminosos de meteoros, mas podemos registrar a energia luminosa liberada durante o evento do impacto contra o solo lunar. No entanto, esse registro depende da capacidade de nossos instrumentos em captar o brilho do *flash* no momento de impacto.

## O Monitoramento de Impacto Lunar pela NASA

Devido à intenção da NASA de, em um futuro próximo, fixar uma base na Lua, recentemente foi montado um time de observadores das instituições: NASA's *Meteoroid Environment Office* e do *Space Environments Team* do *Marshall Space Flight Center*, para monitorar eventos de impactos contra a superfície lunar. A missão desta equipe consiste em realizar observações sistemáticas baseadas em Terra da porção escura da Lua, com a finalidade de estabelecer as taxas e tamanhos de meteoróides (maior que 500 gramas ou 1 libra de massa) que golpeiam a superfície lunar.

As observações são efetuadas principalmente no período de *Earthshine*: entre a Lua Nova e a Lua de Primeiro Quarto (Quarto Crescente), e entre a Lua de Último Quarto (Lua Minguante) e a Lua Nova, quando a iluminação solar está entre 10 e 55%. Estas condições rendem de 10 a 12 noites de observação por mês, mas também inclui os períodos em que ocorrem alguns riantes de meteoritos, em que a Lua se encontra melhor posicionada para colher os escombros deixados por cometas.

Estudos indicam que, em média, 33 toneladas de meteoróides golpeiam diariamente a atmosfera da Terra, mas a grande maioria deles são ionizados (queimam) em sua trajetória na alta atmosfera, e nunca chegam ao solo. Porém, a Lua não tem nenhuma atmosfera, assim os meteoróides não têm nada que os impeça de golpear sua superfície. Os meteoróides mais lentos fazem essa viagem a cerca de 20 km/seg ; e os mais rápidos fazem seu mergulho a mais de 72 km/seg . A esta velocidade, até mesmo um pequeno meteoróide tem uma incrível energia. Uma rocha com uma massa de apenas 5 kg pode escavar uma cratera maior que 9 metros de diâmetro, lançando cerca de 75 toneladas de terra e rocha lunar em trajetórias balísticas sobre a superfície lunar.

Segundo os estudiosos, os modelos atuais de impactos de meteoróides indicam que a Lua é golpeada por algum corpo com massa maior que 1 kg mais de 260 vezes por ano. Todavia, este número é muito incerto para objetos desta ordem de massa. Esses elementos foram obtidos através de uma única pesquisa de bólidos administrada por investigadores canadenses no período de 1971 a 1985. Vários fatores podem interferir nestes modelos, e é muito possível que esta escala possa apresentar valores mais altos ou mais baixos. Recentes observações realizadas por uma equipe espanhola parecem indicar que a taxa de impactos é aproximadamente duas vezes mais alta. Este resultado também é bastante incerto e está baseado em observações de só 3 impactos. Desse modo, fica patente que é necessário realizar muito mais observações para que se possa estabelecer a taxa de grandes meteoróides que se impactam com a Lua. Obviamente torna-se extremamente importante a participação da comunidade astronômica amadora na observação sistemática desses eventos de impacto, para coletar dados que possam dar subsídios mais precisos, afim de que se possa obter modelos científicos mais exatos da ocorrência desses eventos.

Como vimos, os modelos para meteoróides lunares esporádicos mostram que cerca de 260 grandes meteoróides explodem contra a superfície lunar a cada mês, mas isso representa apenas uma parcela dos eventos que ocorrem em nosso vizinho mais próximo. Uma segunda parcela, produzida por chuviros de meteoritos, também está presente a graus variados em certos momentos do ano. É bem conhecido que a Terra passa por chuviros de meteoros quando ela encontra os escombros deixados durante a passagem de cometas. Isso também ocorre com a Lua, entretanto, talvez não exatamente ao mesmo tempo. Na Terra estes chuviros são capazes de produzir espetaculares fogos de artifício celestes que nos encantam. Porém, na Lua, estes chuviros são enxames de projéteis de alta energia que se chocam contra sua superfície. Sem deixar nenhum rastro em seu mergulho final, eles explodem e só produzem "fogos de artifício" quando golpeiam a superfície com tremenda força. Durante esses chuviros as taxas de cronometragens de meteoróides podem exceder, em muito, as taxas de impactos provenientes de meteoritos esporádicos, passando, nesses períodos, a ser um perigo eminente para equipamentos e pessoal na superfície lunar. A observação de chuvas de meteoritos na Lua, aproximadamente ao mesmo tempo em que acontecem aqui na Terra, renderão dados importantes para alimentar os modelos que podem ser usados para prever as temporadas de maior risco de impactos de meteoróides lunares.

A preocupação da NASA com o monitoramento da frequência, localização, massa, ejeta e energia liberada nos impactos tem em vista o futuro da Exploração Espacial, que pede uma eventual permanência duradoura de astronautas em bases de lançamento, pesquisa e exploração dos recursos naturais a serem desenvolvidas na superfície lunar. Ao contrário do Programa Apollo, quando os astronautas permaneciam na superfície lunar por só dois dias, os astronautas das próximas décadas viverão e trabalharão na Lua por até vários meses. Astronave, veículos, habitat, e vestimentas adaptadas devem ser todos projetados para resistir às tensões impostas pelo severo ambiente lunar em cima de um longo período de tempo. Meteoróides, crateras e o ejeta produzidos em um evento de impacto, são parte deste ambiente. Desse modo, os estudiosos têm que caracterizar bastante este ambiente para que um efetivo planejamento possa ser desenvolvido. Isto não só se aplica a atividades tripuladas da próxima década, mas também para as missões de exploração robóticas planejadas. Nesse sentido, o total conhecimento do ambiente e dos possíveis eventos (seja de impactos e/ou geológicos naturais) que possam ocorrer na Lua é de maior importância para o planejamento das futuras missões.

## **A Observação de Impactos Lunares**

Procurar impactos na Lua é tão simples quanto apontar um telescópio para a sua porção não iluminada (noite lunar). Quando um meteoróide golpeia a Lua, uma porção grande da energia d impacto se transforma em calor e produz uma cratera; porém, uma pequena fração é gasta para gerar a luz visível que resulta em um *flash* brilhante no ponto de impacto. Isto pode ser visto da Terra se o meteoróide tem bastante energia cinética. Mas, para ser observado, esse "bastante" depende do equipamento usado nas observações.

Para um projeto consistente de observação desses *flashes* de impacto, é preciso ter em mente duas importantes considerações. A primeira diz respeito a que nós queremos ver o brilho o mais lânguido possível, e a segunda refere-se a que queremos ver a maior porção possível da região não iluminada da Lua.

A primeira é importante porque *flashes* lânguidos geralmente são produzidos por meteoróides menores, e esse é o tipo de impacto que nós queremos observar. A segunda é importante porque a maior porção possível da região não iluminada da Lua é aquela que está mais próxima da borda da Lua, e a maior porção da borda da Lua é aquela que está mais próxima da borda da Lua. Portanto, para observar o maior número possível de *flashes*, é importante usar um telescópio que tenha um campo de visão largo e que seja capaz de observar a maior porção possível da borda da Lua. Um telescópio Newtoniano de 10" (254 mm) de diâmetro tem um campo de visão de 1,6° (ou 0,028 radianos) no seu visor, então, se você estiver observando a Lua com um telescópio de 10", você verá apenas uma pequena porção da borda da Lua. Um telescópio de 14" (354 mm) de diâmetro tem um campo de visão de 2,2° (ou 0,039 radianos) no seu visor, então, se você estiver observando a Lua com um telescópio de 14", você verá uma maior porção da borda da Lua. Portanto, para observar o maior número possível de *flashes*, é importante usar um telescópio de 14" ou maior.

O método de monitorar *flash* de impacto diretamente ao telescópio não é muito recomendado devido a várias implicações. Podem haver reflexos internos, luz intrusa, problemas de distorções na ótica, nossa própria limitação na capacidade de perceber e estimar magnitude e local de impacto em um evento tão fugaz, entre outros. Sem falar na dificuldade em se achar outros observadores para o mesmo evento, que utilizaram a mesma cronometragem, e que possam referendar nossa observação e estimativas. Assim, é muito melhor ter um registro do evento que pode estar sujeito a análises detalhadas, e isso só pode ser feito através de imagem.

Uma máquina fotográfica imóvel não é uma boa escolha, porque nós não sabemos quando, nem onde o impacto acontecerá. *Flashes* de impacto são pequenos, normalmente com duração de menos que meio segundo, e você teria que ter muita sorte para clicar o botão do obturador a tempo de fazer uma imagem e ainda que o *flash* seja suficientemente brilhante para aparecer na fotografia. Até mesmo se você conseguisse, perderia a parte mais luminosa do evento que acontece perto do começo do *flash*. Uma boa escolha é acoplar uma câmera de vídeo ao telescópio, como um CCD, e até mesmo câmeras digitais que proporcionem filmagens com maior tempo de duração, e que registrem continuamente a taxas de 1/30 de segundo. Horas e horas destes dados podem ser armazenadas em computadores para posteriores análises quadro a quadro e respectivas estimativas para, então, extrair informação detalhada sobre o *flash* e, conseqüentemente, o meteorito. Nesta análise quadro a quadro também podem ser identificados os ruídos espúreos provenientes de raios cósmicos, pontos quentes, etc.

Um modo melhor de eliminar as marcas de raios cósmicos é usar dois telescópios de características semelhantes e observar ao mesmo tempo. Este processo é útil porque um determinado raio cósmico pode golpear só uma máquina fotográfica; então qualquer *flash* observado simultaneamente em ambos os instrumentos não pode ser um raio cósmico.

Há outras possíveis causas de *flash*, como reflexões ou reflexos de satélites que podem passar entre nosso ponto de observação e a Lua, ou meteoros pontuais na própria atmosfera da Terra que estariam vindo diretamente ao observador. Claro que meteoros nem sempre batem na superfície da Terra, mas eles produzem um *flash* e/ou explodem. Estes eventos podem ser eliminados olhando a curva de luz de um *flash*. Ruído também pode parecer como *flash* na gravação em vídeo; registrar o vídeo diretamente no disco rígido do computador (em vez de registrar o vídeo na própria câmera e então transferi-lo para o disco rígido) reduz a presença de ruídos. Usar dois telescópios para observação simultânea também ajuda a eliminar este problema.

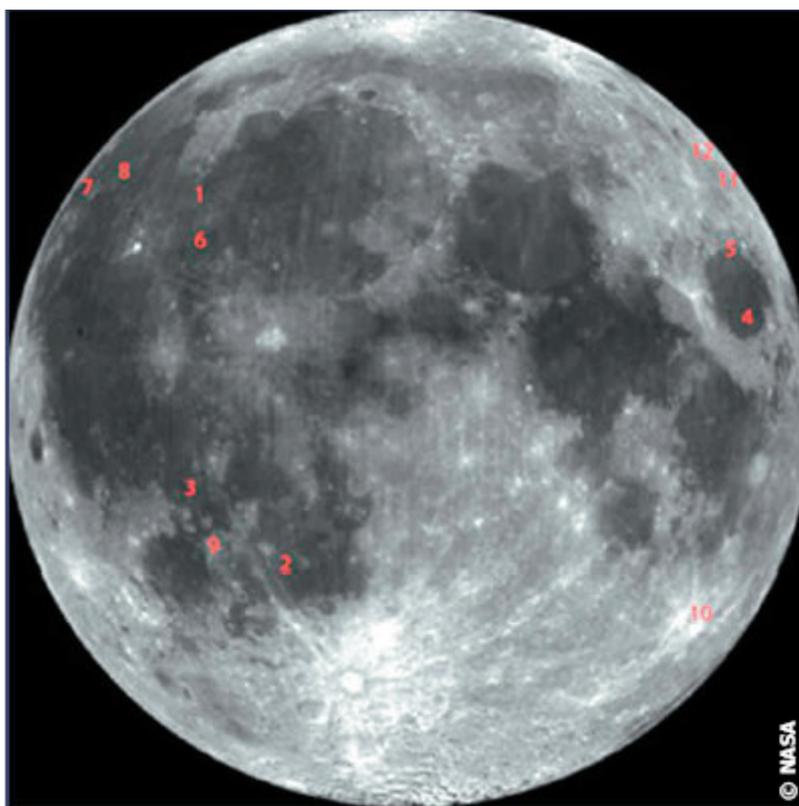
O monitoramento de impactos lunares é só uma parte da estratégia que vem sendo utilizada pela NASA para determinar a taxa de grandes meteoróides que se chocam com a Lua e o risco que eles proporcionam na futura exploração lunar. Para chegar ao tamanho do impacto, os cientistas precisam antes entender o quanto de sua energia é convertido em luz. Esta quantidade, expressada como uma fração da energia total, é chamada de eficiência luminosa, e depende da velocidade do meteoróide e da natureza da superfície lunar onde ele bate. Segundo a equipe da NASA, as estimativas atuais de eficiência luminosa são pouco mais que

adivinhação. Dessa forma, ambas as equipes - *Meteoroid Environment Office* e o *Space Environments Team* - começaram uma série de pequenas experiências nas quais são feitas simulações de superfície lunar sendo golpeada por pequenos projéteis incendiários disparados de armas de hiper-velocidade - com velocidades de até 6 km/sec. Os *flashes* destes impactos são registrados por uma máquina fotográfica acoplada a um telescópio. Uma comparação da quantidade de energia luminosa produzida pelos *flashes* com a energia cinética conhecida dos projéteis lhes dará cálculos diretos das eficiências luminosas. Os valores obtidos podem então ser aplicados às observações de impactos e assim as estimativas do tamanho do meteoróide ou valores de massa podem ser melhoradas.

Ambas as equipes estão esperançosas de que uma mais recente e mais elaborada série de experiências com armas de hiper-velocidade não só aprimorará as medidas de eficiência luminosa, mas também permitirá o estudo do processo de crateramento em detalhes. Serão também registrados os tamanhos e as trajetórias do ejeta produzidas pelas crateras experimentais e estes dados vão ser usados para calibrar sofisticados programas de computador chamados códigos hidrodinâmicos (*hydrocodes*). Estes *hydrocodes* serão usados para modelar grandes impactos de meteoróides na Lua e o campo de ejeta resultante, em particular quão grande e quão distante eles viajam. Estes cálculos formarão a base de uma taxa realista dos perigos oferecidos por estes eventos de crateramento, que, segundo o pensamento de alguns pesquisadores, podem ser tão grandes ou maiores que os meteoróides que as causam.

## Relação de Recentes Candidatos a Impactos Observados pela NASA

#	Data UT	Horário UT	Duração (seg)	Magnitude Aproximada	Provável Origem	Telescópio (")
1	07 Nov 05	23:41:52	0.167	7.3	Chuveiro	10"
2	02 Mai 06	02:34:40	0.467	6.9	Esporádico	10"
3	04 Jun 06	04:48:35	0.050	7.9	Esporádico	10"
4	21 Jun 06	08:57:17	0.083	8.3	Esporádico	10" e 14"
5	19 Jul 06	10:14:44	0.067	TBD	Esporádico	10" e 14"
6	03 Ago 06	01:43:19	0.117	6.7	Esporádico	14"
7	03 Ago 06	01:46:11	0.050	9.1	Esporádico	14"
8	04 Ago 06	02:24:57	0.067	7.1	Esporádico	10" e 14"
9	04 Ago 06	02:50:14	0.067	8.9	Esporádico	10" e 14"
10	16 Set 06	09:52:53	0.033	TBD	Esporádico	dois 14"
11	17 Nov 06	10:56:34	0.033	8.2	Chuveiro	dois 14"
12	17 Nov 06	10:46:27	0.033	9.4	Chuveiro	dois 14"



<b>MSFC Flash #</b>	<b>Data (UT)</b>	<b>Pico (UT)</b>	<b>Longitude e Latitude Lunar e Região</b>	<b>Mag. Aprox. de pico</b>	<b>Fase Lunar</b>	<b>Observadores</b>
1*	7 Nov 05	23:41:52	39.5 W 31.9 N Mare Imbrium	7.3	0.38 wax	Suggs e Swift
2*	2 Mai 06	02:34:40.08	19.6 W 24.3 S Bullialdus	6.9	0.21 wax	Moser e McNamara
3	4 Jun 06	04:48:35.37	Rima Herigonius	7.9	0.52 wax	Swift, Hollon, e Altstatt
4	21 Jun 06	08:57:17.5	62.2 E 13.9 N Mare Crisium	8.3	0.21 wan	Moser e McNamara
4	"	"	" " "	no cal star	"	Suggs
5	19 Jul 06	10:14:44	60 E 23 N Mare Crisium	TBD	0.32 wan	Suggs
5	"	"	" " "	TBD	"	Moser
6	3 Ago 06	1:43:19	38 W 26 N Aristarchus	6.7	0.47 wax	Moser e Altstatt

7	3 Ago 06	1:46:11	82.6 W 32.1 N Ulugh Beigh	9.1	0.47 wax	Moser e Altstatt
8	4 Ago 06	2:24:57	62 W 37 N Sinus Roris	7.2	0.57 wax	Suggs
8	"	"	" " "	7.1	"	Hollon
9	4 Ago 06	2:50:14	33 W 22 S Mare Humorum	9.2	0.57 wax	Suggs
9	"	"	" " "	8.9	"	Hollon
10	16 Set 06	9:52:53	57 E 32 S Vallis Snellius	TBD	0.41 wan	Moser
10	"	"	" " "	TBD	"	Suggsrj
11	17 Nov 06	10:56:34	80.3 E 36.1 N Gauss	8.2	0.11 wan	Moser e Coffey
11	"	"	" " "	8.8	"	Swift
12	17 Nov 06	10:46:27	76.7 E 42.6 N Zeno X	9.6	0.11 wan	Moser e Coffey
12	"	"	" " "	9.4	"	Swift

### Observações de Impactos Lunares no Brasil

A REA-BRASIL, em sua Secção Lunar, mantém um projeto para observação de possíveis eventos de impactos lunares gerenciada por José Serrano Agustoni, e cujos principais objetivos são: determinar uma classificação de *flash* usando um critério *standard* (padrão); determinar se os *flashes* que aparecem em imagens de CCD são incidências de raios cósmicos ou verdadeiros *flashes* de impacto; encontrar outros modos para confirmar se um *flash* registrado tem como origem um impacto; determinar se existe relação entre os impactos com as épocas dos chuviões de meteoros e a formação de novas crateras; coordenar, encorajar e difundir a observação de impactos de meteoritos contra o solo lunar no Brasil; e colaborar com as instituições científicas enviando a elas possíveis reportes de impactos registrados por nossa equipe de observadores e/ou eventuais colaboradores.

Não devemos esperar eventos espetaculares tais como ocorrem com os bólidos e outros meteoros. Por esta razão requer-se paciência e perseverança para o observador assíduo. Na maioria das vezes, resultados negativos podem acontecer com frequência e isso de modo algum pode desanimar o observador. A observação astronômica tem dessas coisas, principalmente quando o evento ainda não é 100% seguro de

ocorrer, e depende de tempo, equipamento adequado, perseverança e disposição do observador para monitorar.

Desde a criação da Secção Lunar (fevereiro/2005), foram feitas algumas observações por ocasião de alguns determinados chuviros de meteoros e também nos períodos que acontece a Luz Cinzenta (*Earthshine*). Todavia, ainda não nos foi reportada nenhuma observação positiva de impacto por nossos observadores.

Recentemente, mais precisamente em 3 de setembro de 2006, a Secção Lunar da REA-Brasil, juntamente com a equipe de astronomia amadora do sertão do Cariri e mais representantes de várias associações de países da América do Sul e México, coordenados por Valmir Martins de Moraes, uniram forças para monitorar o evento de impacto da sonda européia da SMART-1 da ESA, cujo choque ocorreu na região lunar de Lacus Excellentiae. Foram nada menos que 3 meses de observações e testes fotográficos, repassando informações vindas diretamente da equipe responsável pela missão SMART-1 *Lunar Impact*. Infelizmente, as más condições atmosféricas e a baixa altitude da Lua à hora do evento não permitiram que conseguíssemos registro positivo do momento do impacto.

A Secção Lunar da REA-BRASIL, mantém um calendário anual e um tutorial de como e onde observar possíveis eventos de impactos lunares, além de uma ficha de observação/reporte, que podem ser acessados através do site: <http://www.reabrasil.org/lunar>

*Links associados:*

<http://www.npr.org/templates/story/story.php?storyId=1182939>  
[http://groups.msn.com/WeirdSpace/general.msnw?action=get\\_message&mview=1&ID\\_Message=1968&all\\_topics=0](http://groups.msn.com/WeirdSpace/general.msnw?action=get_message&mview=1&ID_Message=1968&all_topics=0)  
<http://www.physlink.com/News/022503StuartEvent.cfm>  
[http://science.nasa.gov/headlines/y2005/22dec\\_lunartaurid.htm](http://science.nasa.gov/headlines/y2005/22dec_lunartaurid.htm) e  
[http://science.nasa.gov/headlines/y2006/13jun\\_lunarsporadic.htm](http://science.nasa.gov/headlines/y2006/13jun_lunarsporadic.htm)  
[http://www.nasa.gov/centers/marshall/pdf/155422main\\_ALAMO%20lunar%20impact%20observations12.pdf](http://www.nasa.gov/centers/marshall/pdf/155422main_ALAMO%20lunar%20impact%20observations12.pdf)  
<http://www.lpl.arizona.edu/~rhill/alpo/lunarstuff/lunimpacts.html>  
<http://nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/planets/moonpage.html>  
[http://science.nasa.gov/headlines/y2006/01dec\\_lunarleonid.htm](http://science.nasa.gov/headlines/y2006/01dec_lunarleonid.htm)  
[http://www.nasa.gov/centers/marshall/news/lunar/program\\_overview.html](http://www.nasa.gov/centers/marshall/news/lunar/program_overview.html)  
<http://www.esa.int/smart1>  
<http://www.cfht.hawaii.edu/News/Smart1/#Dust>  
<http://www.reabrasil.org/lunar>  
<http://www.spaceflightnow.com/news/n0302/22moon/>  
<http://www.newscientist.com/article.ns?id=dn3242>