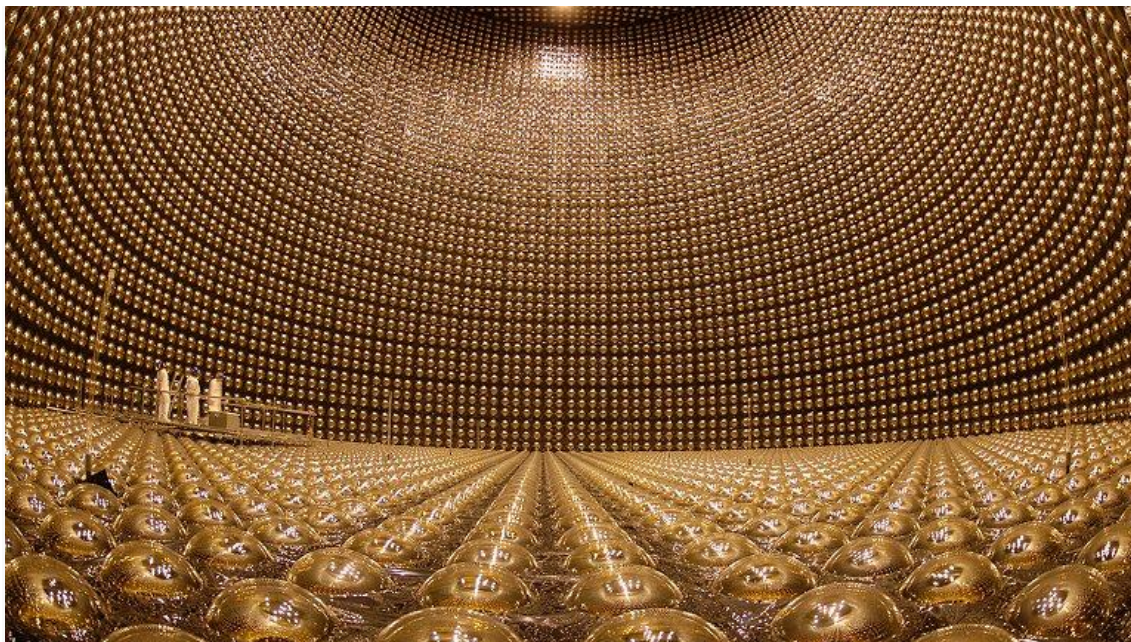




Inovações Tecnológicas – MAIO 2020

É apresentada a notícia de **NEUTRINOS** que dão pista sobre por que o Universo existe, **Astrônomos** reconstroem história da formação do Sistema Solar e o **Primeiro Mapa Geológico da Lua** guiará exploração e mineração. Reflitam e desfrutem.

1 - Neutrinos dão pista sobre por que o Universo existe



O detector de neutrinos Super-Kamiokande é um tanque de 40 metros de altura e 40 metros de diâmetro, preenchido com 50.000 toneladas de água ultrapura e revestido com 13.000 detectores.

[Imagem: Kamioka Observatory/ICRR/The University of Tokyo]

1.1 - Origem da matéria do Universo - Uma equipe internacional de físicos, trabalhando no detector de neutrinos [SuperKamiokande](#), instalado no Japão, encontrou indícios que podem explicar para onde foi toda a [antimatéria](#) do Universo.

O experimento envolve um dos maiores [mistérios da Física](#): Se o modelo do Big Bang está correto, então o Universo deve ter nascido com proporções idênticas de matéria e antimatéria. Como ambas se aniquilam assim que se tocam, tudo o que deveria ter restado seria uma "sopa" de energia, sem matéria. Ocorre que, hoje, 13,6 bilhões de anos depois, não existe virtualmente nenhuma antimatéria, e todo o nosso [Universo](#) material está aí para quem quiser ver.

A hipótese levantada pelos físicos para explicar essa incongruência é que matéria e antimatéria devem se comportar de formas diferentes - em outras palavras deve haver uma quebra na simetria do comportamento de uma partícula de matéria e sua correspondente de antimatéria.

Já foram documentadas diferentes quebras de simetria CP (inversão de paridade de conjugação de carga) envolvendo os blocos fundamentais da matéria, os quarks, que formam os prótons e nêutrons, e seus equivalentes de antimatéria, mas esses desvios não conseguem explicar todo o efeito.

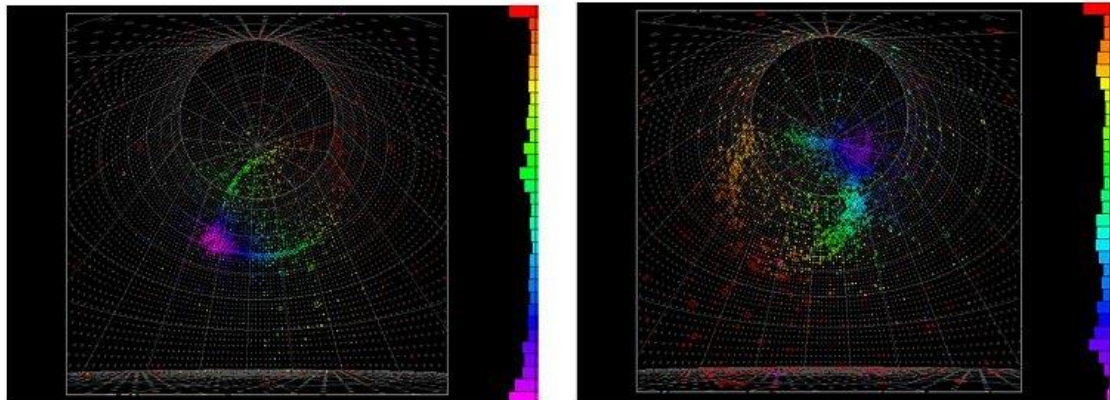
E, infelizmente, experimentos recentes não encontraram nada ao comparar o [comportamento do hidrogênio e do anti-hidrogênio](#) e ao medir o [espectro de luz emitido pela antimatéria](#).

1.2 - Neutrino e antineutrino - Os físicos se voltaram então para os [neutrinos](#), partículas do tipo lépton (como o elétron, múon e tau) quase sem massa, mas que estão por toda parte - calcula-se que 50 trilhões de neutrinos atravessem o nosso corpo a cada segundo. Se for encontrada uma quebra de simetria entre neutrinos e antineutrinos então o enigma estaria muito mais próximo de ser desvendado.

Foi justamente isto que a equipe encontrou - ou, mais rigorosamente, a equipe encontrou justamente indícios de que esse pode ser o caso.

À medida que viajam pela Terra, os neutrinos mudam de identidade, oscilando entre diferentes propriedades físicas conhecidas como sabores - a [descoberta da oscilação dos neutrinos](#) rendeu o Nobel de Física em 2015 à equipe desse mesmo laboratório SuperKamiokande.

Os novos resultados mostraram uma incompatibilidade na maneira como os neutrinos e os antineutrinos oscilam, o que foi feito registrando os números deles que chegaram ao SuperKamiokande com um sabor diferente daquele com o qual haviam sido criados por um acelerador de prótons a 295 km de distância.



Detecção de um neutrino do elétron (à esquerda) e um antineutrino do elétron (à direita) no Super-Kamiokande. Quando um neutrino ou antineutrino do elétron interage com a água, produz-se um elétron ou um pósitron. Eles emitem um leve anel de luz (chamada luz Cherenkov) que é capturado pelos fotodetectores. A cor nas figuras mostra como os fótons são detectados ao longo do tempo.

[Imagem: T2K Collaboration]

1.3 - Não é uma descoberta ainda - Os dados sugerem que os neutrinos têm uma probabilidade maior de oscilar, ou mudar de sabor, do que os antineutrinos - essa diferença é expressa por uma quantidade denominada fase de violação da CP.

Se essa fase fosse zero e os neutrinos e antineutrinos se comportassem da mesma maneira, o experimento teria detectado aproximadamente 68 neutrinos de elétron e 20 antineutrinos de elétron. Em vez disso, foram flagrados 90 neutrinos de elétron e 15 antineutrinos de elétron, uma diferença que indica que a fase de violação da CP pode ser tão grande quanto a teoria prevê.

Com tão poucos eventos, não se trata ainda de uma descoberta, mas os indícios coletados são robustos, chegando a um nível de confiança de três sigmas. O nível de confiança descreve o quão improvável é que um resultado experimental seja simplesmente um acaso, devendo chegar a cinco sigmas para que os dados sejam considerados uma "descoberta".

A expectativa agora é pela entrada em operação do [observatório de neutrinos DUNE](#), que está sendo construído nos EUA e com início de operação planejada para 2026. Levando em conta o tempo mínimo de coleta de dados que será necessário, estima-se que poderemos ter resultados mais conclusivos sobre a assimetria matéria-antimatéria nos próximos 10 anos.

Bibliografia:

Artigo: *Constraint on the matter-antimatter symmetry-violating phase in neutrino oscillations*

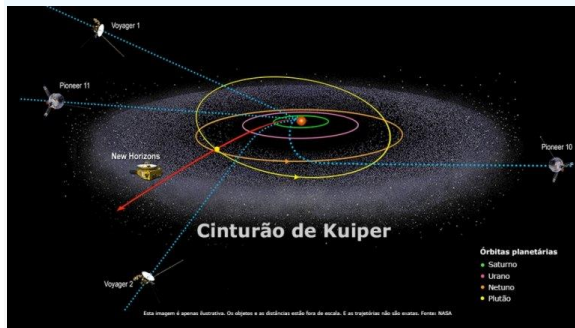
Autores: The TK Collaboration

Revista: Nature

Vol.: 580, pages 339-344

DOI: 10.1038/s41586-020-2177-0

2 - Astrônomos reconstróem história da formação do Sistema Solar



Modelo mostra que a fase caótica que colocou os objetos nas órbitas que ocupam atualmente se iniciou nos primeiros 100 milhões de anos após a formação dos planetas gigantes.

[Imagem: Nasa]

2.1 - Formação do Sistema Solar - A hipótese de que o Sistema Solar se originou a partir de uma gigantesca nuvem de gás e poeira remonta à segunda metade do século 18 e hoje é consensual entre os astrônomos.

Proposta pelo filósofo alemão Immanuel Kant (1724-1804) e desenvolvida pelo matemático francês Pierre-Simon de Laplace (1749-1827), a hipótese tem recebido sucessivos desenvolvimentos graças à formidável massa de dados observacionais, aportes teóricos e recursos computacionais disponíveis atualmente.

Mas esse processo não é linear, nem livre de controvérsias. Até pouco tempo atrás, os cientistas acreditavam que o Sistema Solar havia adquirido as feições atuais a partir de um período turbulento ocorrido cerca de 700 milhões de anos depois de sua formação.

Mas estudos recentes indicam uma estruturação bem mais precoce, que teria acontecido na faixa dos primeiros 100 milhões de anos, e, com maior probabilidade ainda, entre 10 e 60 milhões de anos.

Indícios robustos a favor dessa estruturação precoce do Sistema Solar acabam de ser apresentados por uma equipe com a participação de três pesquisadores da Universidade Estadual Paulista (Unesp) em Guaratinguetá: Rafael de Sousa Ribeiro, André Izidoro da Costa e Ernesto Vieira Neto.

2.2 - Ressonância orbital - "A grande quantidade de detalhes hoje conhecidos pelas observações do Sistema Solar permite definir com precisão as trajetórias dos muitos corpos que orbitam o Sol. E essa estrutura orbital nos possibilita escrever a história da formação do sistema. A partir da nuvem de gás e poeira que circundava nossa estrela há cerca de 4,6 bilhões de anos, os planetas gigantes foram formados em órbitas mais próximas umas das outras e também mais próximas do Sol.

"Essas órbitas eram também mais coplanares e mais circulares do que as atuais. E estavam vinculadas entre si em sistemas dinâmicos ressonantes. Esses sistemas estáveis são os resultados mais prováveis da dinâmica gravitacional de planetas em formação com disco de gás protoplanetário," explicou Rafael.

"Os quatro planetas gigantes - Júpiter, Saturno, Urano e Netuno - cresceram no disco de gás e poeira em órbitas mais compactas. Seus movimentos exibiam uma forte sincronia devido a [cadeias de ressonância](#). Assim, enquanto Júpiter completava três voltas ao redor do Sol, Saturno completava duas. E todos os planetas estavam envolvidos nessa sincronia, produzida pela dinâmica do disco gasoso primordial e pela dinâmica gravitacional dos próprios planetas," detalhou André.

As cadeias de ressonância a que o pesquisador se refere ocorrem quando os objetos em um sistema exercem forças gravitacionais periódicas uns sobre os outros, fazendo com que o conjunto dos objetos se alinhe em um padrão.



A equipe também já construiu modelos para explicar a [formação do planeta Marte](#).
[Imagem: ESA]

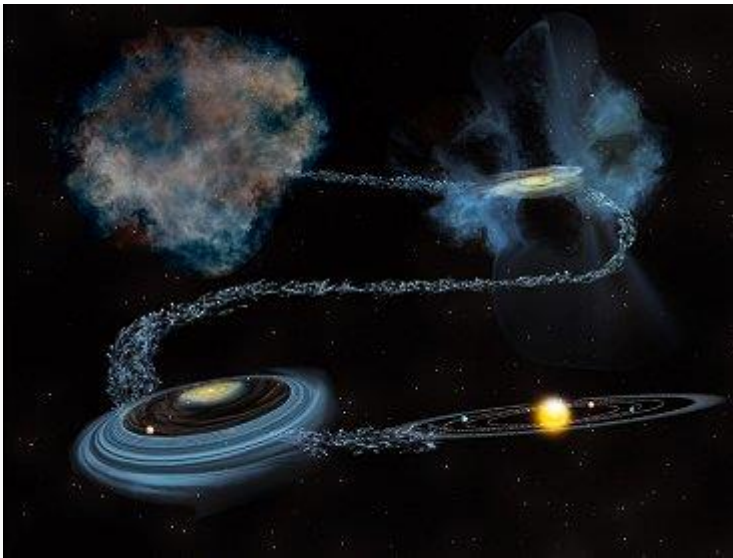
2.3 - Cinturão de Kuiper - Ao longo de toda a região de formação do Sistema Solar externo, que inclui a zona situada além das órbitas atuais de Urano e Netuno, o Sistema Solar possuía, porém, uma grande população de planetesimais - pequenos corpos de rocha e gelo que são considerados os blocos de construção dos planetas e os precursores dos asteroides, cometas e satélites. E o disco exterior de planetesimais passou a perturbar o equilíbrio gravitacional do conjunto.

Assim, após a fase do gás, as ressonâncias foram quebradas. O sistema entrou em uma etapa caótica, com interações violentas entre os planetas gigantes e até mesmo com ejeções de planetas para o espaço exterior. "Plutão e seus vizinhos de gelo foram lançados para a região

onde se encontram atualmente, no Cinturão de Kuiper. E o conjunto dos planetas migrou para órbitas mais distantes do Sol," descreve Rafael.

A existência do Cinturão de Kuiper foi proposta em 1951 pelo astrônomo holandês Gerard Kuiper (1905-1973) e confirmada por observações astronômicas posteriores. Trata-se de uma estrutura toroidal, semelhante a um pneu, formada por milhares de pequenos corpos que orbitam o Sol, com uma diversidade de órbitas nunca vista em outras regiões do Sistema Solar. Sua borda interior localiza-se onde fica atualmente a órbita de Netuno, a 30 unidades astronômicas de distância do Sol - sendo a [unidade astronômica](#) (ua) aproximadamente igual à distância média da Terra ao Sol.

Acredita-se que a borda exterior do Cinturão de Kuiper esteja a cerca de 50 ua do Sol, embora o [corpo celeste mais distante no Sistema Solar](#) conhecido hoje esteja a 120 ua.



A modelagem é a melhor ferramenta disponível para esses estudos, mas os dados às vezes incomodam. Por exemplo, cálculos indicam que a [água da Terra pode ser mais velha do que o Sol](#). [Imagem: Bill Saxton/NSF/AUI/NRAO]

2.4 - Bombardeamento tardio da Lua - De volta à quebra de sincronia e ao desencadeamento da fase caótica, a questão é saber quando isso ocorreu: Se em uma etapa muito inicial, quando o Sistema Solar tinha 100 milhões de anos ou até menos, ou em uma fase posterior, quando os planetas já tinham uma certa idade, provavelmente em torno de 700 milhões de anos.

"Até recentemente, a hipótese da instabilidade tardia predominava. A datação de rochas da Lua, coletadas por astronautas do Projeto Apolo, sugere que elas teriam sido criadas por impactos severos e simultâneos de vários asteroides e cometas na superfície lunar. Este cataclismo é conhecido como 'Bombardeamento Tardio da Lua'. E, se aconteceu na Lua, teria acontecido também na Terra e nos demais planetas terrestres do Sistema Solar. Como no período de instabilidade planetária muito material, na forma de asteroides e cometas, foi lançado em todas as direções do Sistema Solar, deduziu-se, a partir da idade das rochas trazidas da Lua, que esse período caótico teria ocorrido tarde. Porém, nos últimos anos, a história do 'Bombardeamento Tardio da Lua' vem perdendo crédito," afirma Rafael.

Conforme o pesquisador, se houvesse ocorrido, a catástrofe caótica tardia poderia ter destruído a Terra e os demais planetas terrestres do Sistema Solar. Ou provocado perturbações que os teriam colocado em órbitas totalmente diferentes das atuais. Além disso, descobriu-se que as

rochas trazidas pelo Projeto Apolo foram produzidas por um único impacto - o que não seria de esperar se elas tivessem sido originadas por uma grande instabilidade planetária tardia. Esta teria gerado vários impactos diferentes, em função do espalhamento dos planetesimais pelos planetas gigantes.



Há indícios da existência de uma ["parede de hidrogênio"](#) nos confins do Sistema Solar. [Imagem: Nasa/JHUAPL/SwRI/Magda Saina]

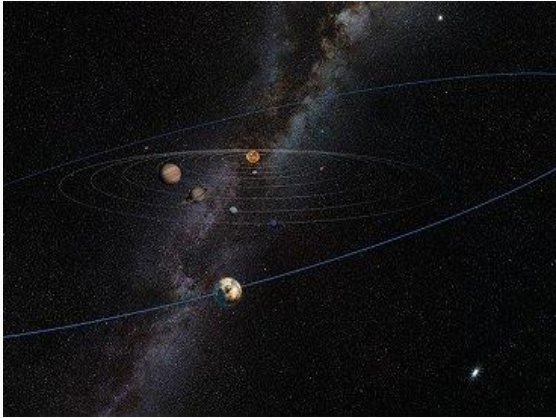
2.5 - Quando ocorreu a instabilidade? "Nosso trabalho partiu da ideia de que a datação da instabilidade deve ser buscada de maneira dinâmica. A única maneira de que essa instabilidade pudesse ter ocorrido tardiamente seria se, no momento em que o gás acabou, houvesse uma distância relativamente grande entre a borda interna do disco de planetesimais, isto é, do disco de acreção planetária, e a órbita de Netuno. E essa distância relativamente grande não se sustentou no âmbito de nossa simulação", sublinha Rafael.

O argumento é fácil de compreender. Quanto menor a distância, maior a influência gravitacional entre Netuno e o disco de planetesimais. Portanto, mais precoce o período de instabilidade. Inversamente, uma instabilidade tardia requer que a distância seja grande.

"O que fizemos foi esculpir, pela primeira vez, o disco de planetesimais primordial. Para isso, tivemos que voltar à formação dos próprios planetas gigantes de gelo, Urano e Netuno. A partir de um modelo construído pelo professor Izidoro em 2015, realizamos simulações computacionais que mostraram que a formação de Urano e Netuno pode ter sido oriunda de embriões planetários com as massas de algumas Terras. As colisões gigantescas dessas superterras explicariam, por exemplo, o fato de Urano ter seu eixo de rotação tombado," diz o pesquisador.

Trabalhos anteriores já haviam evidenciado a importância da distância entre a órbita de Netuno e a borda interior do disco de planetesimais. Mas esses trabalhos partiam de um modelo em que os quatro planetas gigantes já estavam formados.

Izidoro detalha as novidades do trabalho da equipe: "A novidade trazida pelo trabalho atual é que o modelo não se inicia com os planetas completamente formados, mas considerou Urano e Netuno ainda em fase de crescimento. E esse crescimento teria ocorrido a partir de duas ou três colisões de objetos com até cinco vezes a massa da Terra.



O grande mistério continua sendo a [existência de planetas desconhecidos no Sistema Solar](#), chamados por enquanto de Planeta X, Planeta Nove, Planeta Dez etc. [Imagem: Heather Roper/LPL]

"Imaginemos uma situação em que Júpiter e Saturno já estejam formados, mas que, em vez de Urano e Netuno, tenhamos de cinco a 10 superterras. Essas superterras seriam forçadas pelo gás a entrar na mesma sincronia de Júpiter e Saturno. Porém, como são numerosas, eles entrariam e sairiam, eventualmente colidindo. Devido às colisões, seu número seria reduzido, possibilitando a sincronização. No final, sobraram Urano e Netuno.

"Durante a fase em que os dois gigantes de gelo estavam evoluindo no gás, o disco de planetesimais também foi sendo consumido. Parte do material foi agregada a Urano e Netuno, parte enviada para longe, para os confins do Sistema Solar. Assim, o crescimento de Urano e Netuno definiu a posição da borda interna do disco de planetesimais. O que sobrou desse disco compõe atualmente o Cinturão de Kuiper. Este é basicamente uma relíquia que sobrou do disco de planetesimais primordial, que era muito mais massivo," finalizou.

2.6 - Formação da Terra e da Lua

O modelo proposto é consistente com as órbitas atuais dos planetas gigantes e também com a estrutura observada no Cinturão de Kuiper. É consistente ainda com o movimento dos Troianos, asteroides que compartilham a órbita de Júpiter, e que teriam sido capturados durante a quebra do sincronismo.

Em trabalho publicado em 2017, os pesquisadores estudaram Júpiter e Saturno ainda em formação, com seu crescimento contribuindo para o deslocamento do Cinturão de Asteroides, um processo que se acredita estar envolvido com a [origem da água da Terra](#). O trabalho atual é uma espécie de continuação, que parte de um estágio em que Júpiter e Saturno já estão completamente formados, mas com seus movimentos ainda sincronizados. E descreve a evolução do Sistema Solar a partir daí.

"A interação gravitacional entre os planetas gigantes e o disco de planetesimais produziu perturbações no disco de gás, que se propagaram como ondas. Essas ondas geraram sistemas planetários compactos e síncronos. Quando o gás acabou, as interações entre os planetas e o disco de planetesimais romperam o sincronismo e deram origem à fase caótica.

"Levando em conta tudo isso, descobrimos que não houve nenhuma condição para que a distância entre a órbita de Netuno e a borda interna do disco de planetesimais se tornasse suficientemente grande para sustentar a hipótese da instabilidade tardia. Esta foi a grande contribuição do nosso trabalho: mostrar que a instabilidade aconteceu no patamar da primeira

centena de milhões de anos, e que poderia ter ocorrido, por exemplo, antes da formação da Terra e da Lua," concluiu Rafael.

Bibliografia:

Artigo: *Dynamical evidence for an early giant planet instability*

Autores: Rafael de Sousa Ribeiro, Alessandro Morbidelli, Sean N. Raymond, André Izidoro Ferreira da Costa, Rodney Goms, Ernesto Vieira Neto

Revista: Icarus - International Journal of Solar System Studies

Vol.: 339, 113605

DOI: 10.1016/j.icarus.2019.113605

3 - Primeiro mapa geológico da Lua guiará exploração e mineração



Este mapa servirá como referência para a ciência lunar, para futuras missões humanas para a Lua e no auxílio a projetos de mineração espacial.

[Imagem: NASA/GSFC/USGS]

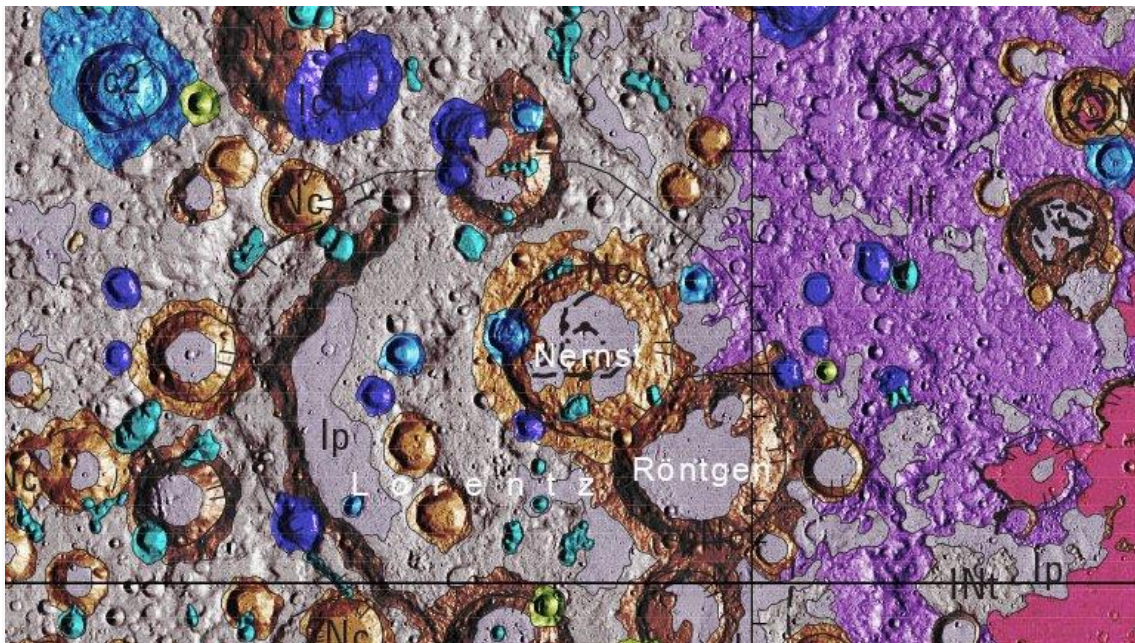
3.1 - Minerais da Lua - Os interessados em [mineração espacial](#) estão em polvorosa.

O Serviço Geológico dos EUA acaba de lançar o primeiro mapa que ajuda a explicar a história do nosso satélite e pode guiar a busca por minerais.

É a primeira vez que toda a superfície lunar foi completamente mapeada e classificada, mostrando detalhes graças a uma alta resolução - o mapa está na escala de 1:5.000.000, o que é impressionante em se tratando do primeiro "mapa geológico espacial".

Mapas como esse - juntamente com levantamentos geofísicos e geoquímicos - são rotineiramente usados pelos geólogos aqui na Terra em busca de ocorrências ricas em metais ou minerais industriais. O mapa lunar, chamado "Mapa Geológico Unificado da Lua", servirá como base para estudar a geologia da superfície da Lua e para apontar locais de pouso para futuras missões humanas, além de representar um recurso inestimável para os educadores e estudiosos.

"Este mapa é o ápice de um projeto de décadas," disse Corey Fortezzo, geólogo e principal autor do mapa. "Ele fornece informações vitais para novos estudos científicos, conectando a exploração de locais específicos na Lua com o restante da superfície lunar".



Detalhe do mapa, que apresenta uma resolução incomparável. [Imagem: NASA/GSFC/USGS]

3.2 - Mapa geológico da Lua - Para criar o mapa da Lua, os geólogos aproveitaram informações de seis mapas regionais da era Apolo e as juntaram às informações atualizadas das missões mais recentes de satélites de observação.

Os dados de elevação da região equatorial vieram de observações em estéreo coletadas pelas câmeras da recente [missão SELENE](#) (*Selenological and Engineering Explorer*) liderada pela JAXA, agência de exploração aeroespacial do Japão. A topografia para os pólos norte e sul foi complementada com os dados do altímetro a laser da [sonda LRO da NASA](#), a responsável pelas fotos que nos mostraram a [Lua como nunca havíamos visto antes](#).

Além dos redesenhos para permitir a fusão dos dados antigos com os novos, os pesquisadores também desenvolveram uma descrição unificada da estratigrafia, as camadas de rochas. Isso resolveu problemas de mapas anteriores, onde nomes de rochas, descrições e idades eram muitas vezes inconsistentes.

A versão em resolução total do mapa geológico da Lua pode ser baixado gratuitamente - veja endereço na Bibliografia.

Bibliografia:

Artigo: *Release of the Digital Unified Global Geologic Map of the Moon At 1:5,000,000- Scale*
Autores: C. M. Fortezzo, P. D. Spudis, S. L. Harrel

Revista: Proceedings of th 51st Lunar and Planetary Science Conference

Link:

https://astrogeology.usgs.gov/search/map/Moon/Geology/Unified_Geologic_Map_of_the_Moon_GIS