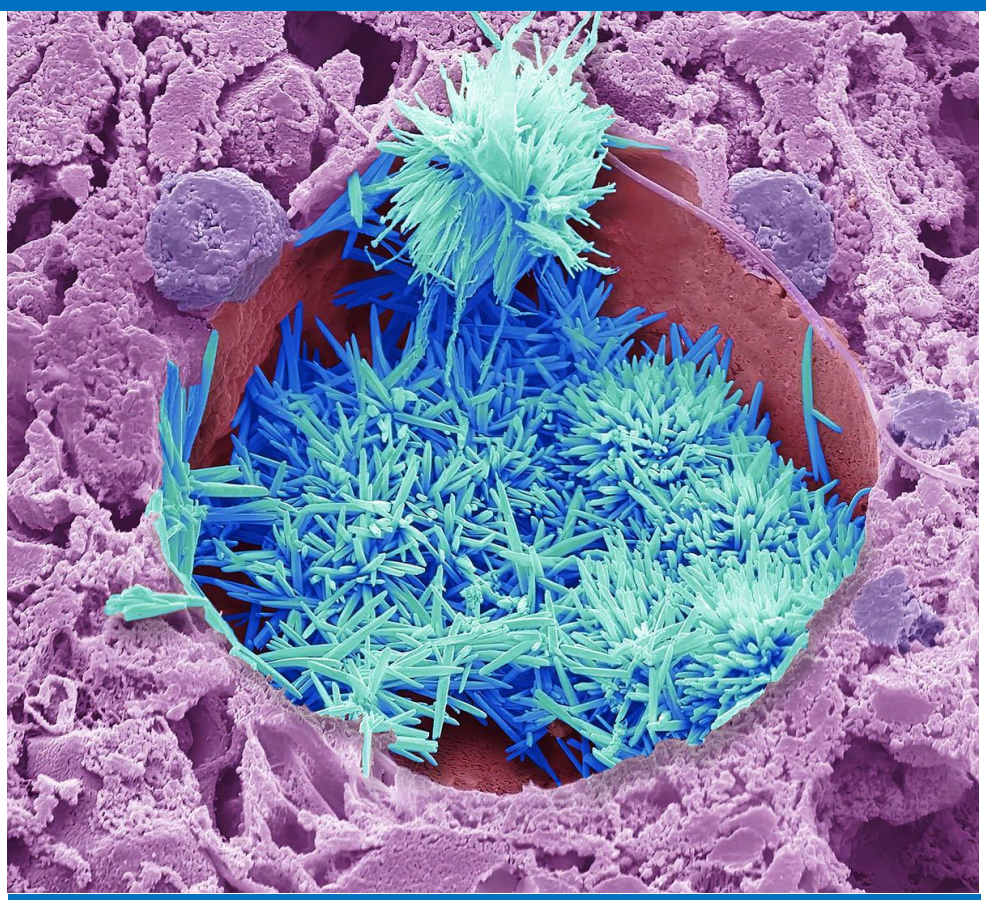
Ciência em Panorama

Edição nº 14



A imagem feita por um microscópio eletrônico mostra uma secção de 12 mícrons (0,012 mm) contendo colesterol cristalizado (na cor azul e ciano) no interior de células do fígado (na cor rosa). O fígado regula a quantidade de colesterol no nosso corpo. Em excesso, o colesterol aumenta a incidência de infarto e AVC. A imagem ganhou o primeiro lugar da categoria "Marvels of Scientific and Medical Imaging" da revista Science em 2025.
Crédito: Steve Gschmeissner

Caro leitor,

Estou enviando a vocês a 14ª. edição da Newsletter "Ciência em Panorama".

Se você não pertence à comunidade USP e deseja receber a newsletter, envie uma mensagem com seu nome para: onody@ifsc.usp.br

Você encontra todas as edições do Ciência em Panorama nesta página.

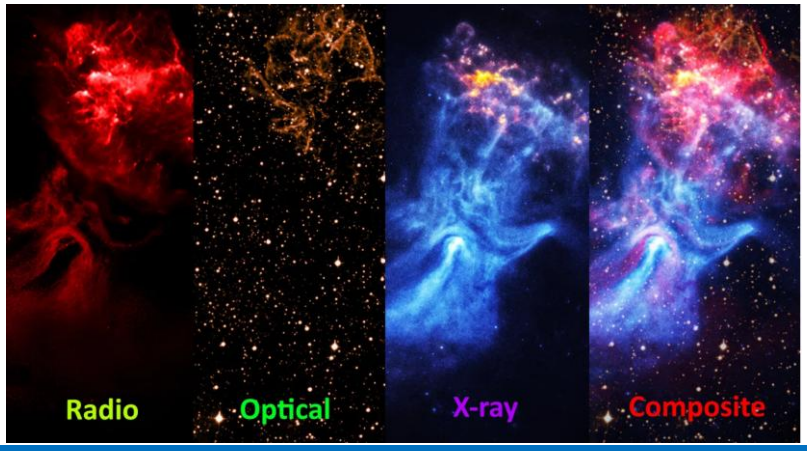
Artigos mais extensos de Ciência e Tecnologia você encontra aqui.

Um abraço,
Prof. R. N. Onody

Nesta edição:

- A espetacular nebulosa "Mão de Deus"
- A massa do neutrino não é nula, mas, qual é o seu valor?
- "Perché non parli?"
- Uma formiga rainha que reproduz duas espécies diferentes!
- *Spicomellus afer* – o mais espinhudo dos dinossauros
- A mutação que gerou os cavalos de montaria
- O Olóide
- Submerso na água por 29 minutos e 3 segundos!

- **A espetacular nebulosa "Mão de Deus"**



A nebulosa MSH 15-52 vista em diferentes comprimentos de onda: rádio, visível e raios-x. No comprimento de raios-x, em imagem feita pelo observatório espacial Chandra, a nebulosa adquire a forma de uma *mão humana espalmada para o vazio*. Berçário de novas estrelas, a "Mão de Deus" está situada a 17 mil anos-luz da Terra e tem no seu interior uma jovem estrela de nêutron que, sobre o gás e a poeira cósmica interestelar, esculpiu o formato de uma mão humana. Crédito: ATNF, UK-STFC e NASA

A nebulosa "Mão de Deus" fica na constelação de Circe e é o lar do pulsar PSR 1509-58. Um pulsar nada mais é do que uma estrela de nêutron que gira sobre si mesma muito rapidamente. O PSR 1509-58 tem apenas 19 km de diâmetro e dá *6,6 voltas por segundo* ! Ele é o remanescente de uma explosão de supernova ocorrida há cerca de 1.700 anos atrás.

O Observatório Chandra de Raios-x foi lançado em 1999 e está em pleno funcionamento. A missão do Observatório é revelar em raios-x os segredos do nosso universo. Ele corre risco iminente de ser descomissionado devido aos gigantescos cortes de verbas da NASA propostos pela negacionista e desastrosa administração de Donald Trump.

- **A massa do neutrino não é nula, mas, qual é o seu valor?**

Cem bilhões de neutrinos atravessam nosso corpo por segundo! Numericamente falando, os neutrinos são as *partículas com massa* mais abundantes do universo! Gerados nas profundezas do nosso Sol (através da interação fraca) eles existem em 3 espécies ou ´sabores´ associados aos seus léptons correspondentes: neutrino do elétron, neutrino do múon e neutrino do tau. Os neutrinos são férmions (têm spin ½), sem carga elétrica e com massas *pequenas e desconhecidas*.

A existência do neutrino foi postulada em 1930 por W. Pauli para explicar o decaimento beta no qual um nêutron decai em 1 próton, 1 elétron e 1 antineutrino do elétron. Os antineutrinos são as antipartículas dos neutrinos e diferem destes por terem o número de lépton com sinal oposto. Em todas as reações observadas até aqui, o *número de lépton total* de uma reação, *se conserva*. Mas, se um dia se descobrir que essa conservação pode ser violada, o neutrino deixaria de ser um férmion de Dirac e passaria a ser um férmion de Majorana e o antineutrino seria idêntico ao neutrino.

A detecção experimental dos neutrinos é extremamente difícil. Tanto é assim que a comprovação experimental da existência dos neutrinos do elétron, do múon e do tau só aconteceu em 1956, 1962 e 2000, respectivamente. Durante muito tempo se acreditou que os neutrinos tivessem *massa de repouso nula* (e que, portanto, se moveriam com a velocidade da luz). Na década de 1960, experimentos que contavam o número de neutrinos solares (realizados na mina de ouro de Homestake , Dakota do Sul, EUA) encontraram valores que eram apenas *um terço* daqueles previstos pela teoria! Algo estava errado e, cerca de 30 anos depois, veio a resposta - os ´sabores´ dos neutrinos oscilam !

No caminho do Sol até aqui, eles se transformam entre si. Isso significa, por exemplo, que se um *neutrino do elétron* é produzido numa reação nuclear, ele pode ser detectado há vários quilômetros de distância dali como um *neutrino do múon*, mais adiante como um *neutrino do tau* e voltar a ser um *neutrino do elétron*. Como as frequências dessas oscilações dependem da diferença dos quadrados das massas, pelo menos um dos neutrinos tem *massa não nula*.

Se a massa do neutrino não é nula, qual o seu valor? Não sabemos. Por enquanto, experimentos diretos têm fornecido apenas um *limite superior*, ou seja, indicam que a massa do neutrino deve ser *menor ou igual* a um certo valor. E é esse valor que vem *diminuindo* nos experimentos realizados recentemente.

A melhor e mais precisa medida do limite superior da massa do *antineutrino do elétron*, foi obtida no experimento KATRIN (**KA**rlsruhe **TRI**tium **N**eutrino). Na forma usual, o resultado é expresso utilizando-se a fórmula de Einstein: $m = \frac{E}{c^2}$, onde E é a energia (em elétron-volt) e c^2 é a velocidade da luz ao quadrado. O resultado:

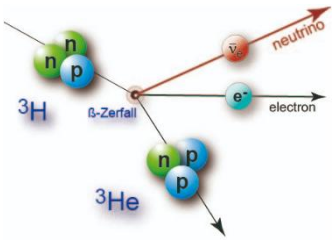
$$0 < m(\bar{\nu}_e) < 0{,}45\ \frac{eV}{c^2}$$

Isso implica que a massa do neutrino (que é a mesma do antineutrino) é cerca de um *milhão de vezes menor* do que a massa do elétron!

Esse resultado foi publicado na revista *Science* em abril/2025. Vejamos como essa medida foi feita.

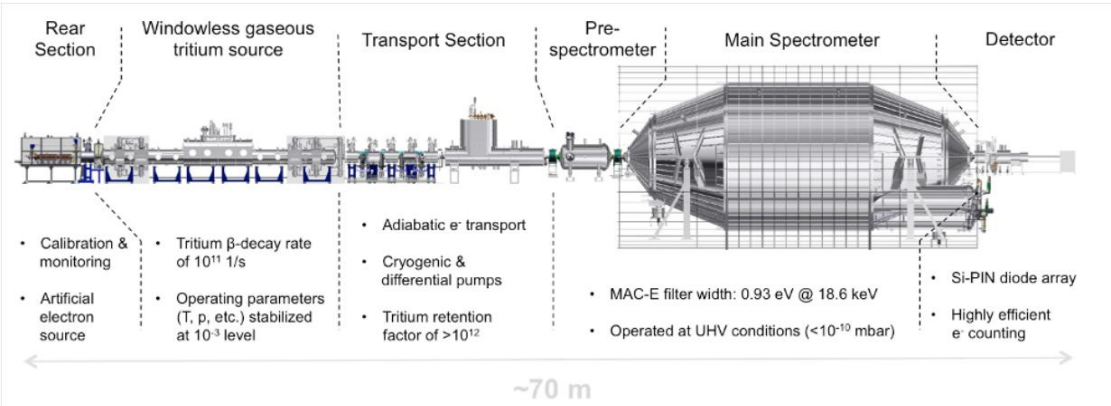
Reúna uma grande quantidade de átomos de Trítio (obtidos em reatores nucleares). O trítio é um isótopo radioativo do hidrogênio cujo núcleo contém 1 próton e 2 nêutrons. Ele é instável e tem decaimento beta, no qual ele libera um elétron, um antineutrino do elétron e um núcleo do Hélio 3 (veja figura abaixo).

Conhecendo-se a energia inicial do trítio (E_i), calculando-se a soma das energias finais do elétron e do núcleo de Hélio 3 (E_f) , a diferença (E_i - E_f) dará a massa do antineutrino de elétron. O experimento KATRIN não conseguiu (até agora) calcular esse valor, apenas garantiu que ele é menor do que 0,45 eV/c^2.



O decaimento beta do Trítio. No experimento há cerca de 100 bilhões de decaimentos por segundo. Os elétrons criados têm diferentes valores de energia cinética e um valor máximo em de cerca de 18.000 eV. Somente esses elétrons entraram nos cálculos. Isso porque, quando os elétrons têm energia cinética máxima, os antineutrinos terão energia cinética mínima, serão não relativísticos o que permite determinar sua massa de repouso.

KATRIN é uma instalação científica internacional (com mais de 150 pesquisadores de 4 países) localizada na cidade alemã de Karlsruhe.



O complexo equipamento do KATRIN tem 70 metros de comprimento e inclui um poderoso espectrômetro que mede a energia cinética dos elétrons (oriundos do decaimento beta do trítio) com precisão de uma parte em cem mil. Após 259 dias de funcionamento, ele mediu 36 milhões de elétrons (somente aqueles com energia cinética máxima) e concluiu com, precisão de 90%, que a massa do neutrino deve ser menor do que 0,45 eV/c^2. Os experimentos devem continuar, pois o KATRIN poderá chegar a uma precisão de 0,3 eV/c^2. Isso permitirá medir *exatamente* a massa do neutrino *se ela for maior do que* 0,3 eV/c^2.

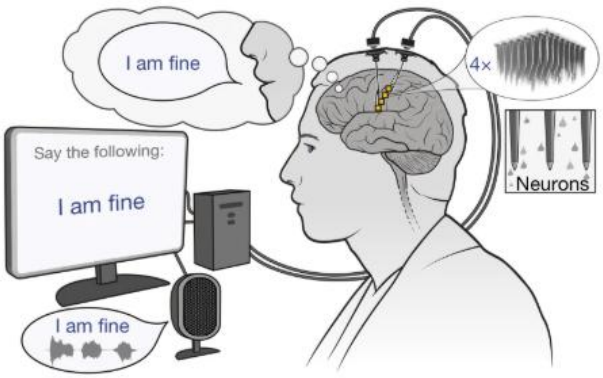
- **“Perché non parli?”**

Diz a lenda que quando o genial escultor italiano Michelângelo terminou a estátua do Moisés, empolgado com o resultado perfeito da sua obra, teria exclamado *“Porque não fala?”*.

Além das pessoas que já nascem mudas (devido a problemas nas cordas vocais ou neurológicos) existem milhares de pessoas que *emudecem ao longo da vida*, seja por envolvimento em acidentes, seja pelo desenvolvimento de doenças neurológicas.

Sabemos que a fala é processada pelos neurônios no nosso cérebro. Portanto, se queremos restaurar a fala de uma pessoa devemos mapear os neurônios específicos e responsáveis por ela. Isso só pode ser feito caso a caso, pessoa a pessoa, um mapa particular para cada pessoa.

Muito já foi feito para transformar os sinais elétricos do pensamento da fala em um programa de computador e, daí, em texto. Agora, em 2025, um grupo de cientistas da Universidade da Califórnia desenvolveu uma neuroprótese sintetizadora de voz. Como sabemos, transmitir textos apenas deixa de fora uma importante nuance da fala humana - a prosódia. A prosódia, através do ritmo, ênfase e entonação, transmite significado, expressando sentimentos e emoções.



Características neurais extraídas de micro eletrodos implantados no cérebro são decodificadas em tempo real e usadas para sintetizar diretamente a voz.
Crédito: Wairagkar M. *et al.* na revista *Nature*

No experimento, 256 micro eletrodos foram implantados no cérebro de um paciente com ELA (Esclerose Lateral Amiotrófica). Devido ao estado avançado da doença, ele já estava paralisado e incapaz de falar. Colocado perante uma TV, foi lhe pedido que pensasse (com intenção de falar) frases

simples apresentadas na tela. Durante esse processo, os sinais elétricos produzidos pelos neurônios envolvidos foram capturados e armazenados.

Aos poucos, um programa no computador montou um mapa de sinais elétricos e associou-os a fonemas e palavras. Em seguida, o computador foi conectado a um sintetizador de voz. Em apenas 10 milissegundos, os pensamentos do paciente puderam ser transformados em palavras, com direito a ênfases e entonações.

- **Uma formiga rainha que reproduz duas espécies diferentes!**

As formigas andam pela Terra há cerca de 130 milhões de anos. Vivem em colônias construídas por uma rainha (ou, às vezes, mais de uma rainha como acontece com a formiga-argentina e a formiga-faraó). A rainha se reproduz sexualmente podendo gerar: formigas operárias (ovos fertilizados e subnutridos no estado larvário), soldados (ovos fertilizados e medianamente nutridos no estado larvário), rainhas (ovos fertilizados e super nutridos no estado larvário) e machos (ovos não fertilizados, são alados).

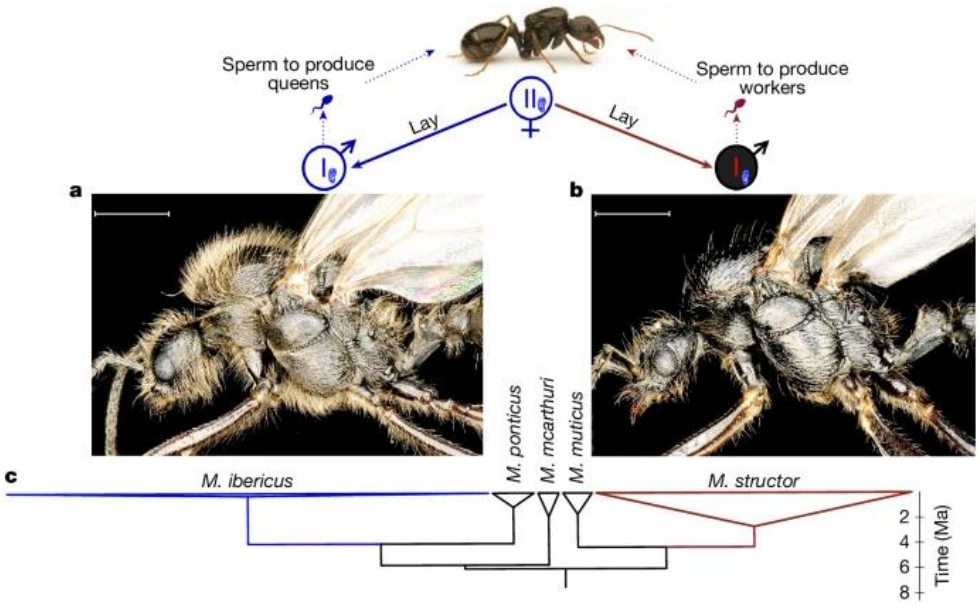
Existem 13.800 espécies conhecidas de formigas e estima-se que 20 quatrilhões de formigas vivem na Terra, cerca de 2,5 milhões de formigas para cada ser humano. Em um voo nupcial, as formigas rainhas se acasalam com machos e armazenam o esperma em seu corpo por toda a sua vida (a rainha da espécie *Pogonomyrmex owyheei* pode viver até cerca de 30 anos!). Uma vez no formigueiro, ela desova mantendo total controle (não fertilizando alguns e nutrindo-os de maneira diferente) sobre a categoria social e o destino de cada embrião.

Em um estudo publicado recentemente na *Nature*, que envolveu trabalho de campo, análise genômica e experimentos em laboratório, revelou que a rainha da espécie *Messor ibericus* produz machos da sua própria espécie e da espécie *Messor structor*. Os pesquisadores as batizaram de *fêmeas xenóparas*.

Em 26 formigueiros de *M. ibericus* (localizados em Lion, na França) os cientistas coletaram 132 machos. Todos tinham o genoma mitocondrial de uma mãe *M. ibericus*, mas o genoma nuclear mostrou que cerca de 50% deles tinham pai *M. structor* e 50% pai *M. ibericus*.

Exames do DNA das formigas operárias mostraram que *todas elas eram híbridas*, oriundas do cruzamento de uma rainha *M. ibericus* com machos *M. structor*. Não havia operárias vindas de cruzamento com machos *M. ibericus*. Até aí tudo bem, pois as rainhas poderiam estar cruzando com ambos: o esperma do *M. structor* para a geração de operárias e do *M. ibericus* para a geração de rainhas. Mas, como explicar essa reprodução interespécies se ela também ocorria em regiões onde as colônias de *M. ibericus* e de *M. structor* estavam geograficamente separadas por mais de 700 km?

A resposta está na clonagem. A rainha da *M. ibericus* permite que o esperma do *M. structor* penetre em seus ovos e, em determinado momento, ela remove seus próprios genes do núcleo, tornando-os não fertilizados gerando, portanto, um macho da espécie *M. structor.*



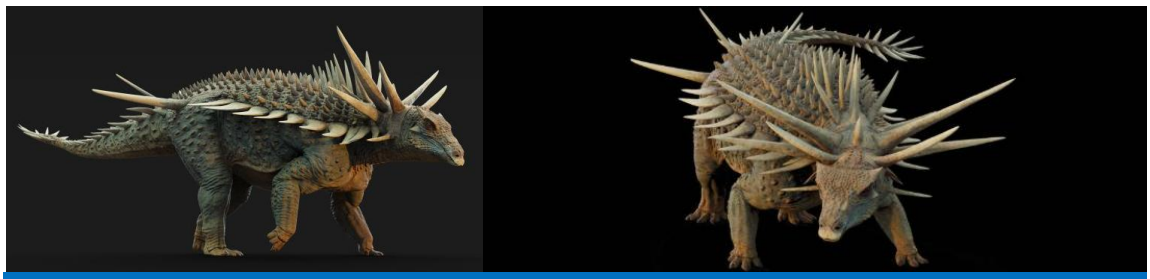
a)Macho da espécie *Messor ibericus* (peludo); b) Macho da espécie *Messor structor*. Eles são morfológica e geneticamente bem distintos. Essas espécies podem ser encontradas em Portugal, Espanha, França, Croácia e Grécia. c) Árvore filogenética. As duas espécies se separaram há cerca de 5 milhões de anos.
Crédito: J. Romiguier *et al.*

- ***Spicomellus afer* – o mais espinhudo dos dinossauros**

Descrito na edição de agosto de 2025 da *Nature*, o fóssil do dinossauro *Spicomellus afer* foi descoberto em 2023 por um fazendeiro no Marrocos, África. Esses dinossauros viveram no período jurássico médio há cerca de 165 milhões de anos atrás.

Eles pertencem ao clado anquilossauro (do grego para “lagarto fundido”). Os anquilossauros eram animais encouraçados com gigantescas e duras armaduras ósseas, caudas em forma de clava, utilizadas para se proteger de predadores. Eles pesavam entre 6 e 9 toneladas, mediam cerca de 9 metros de comprimento e 2 metros de altura.

O *Spicomellus* (gênero) *afer* (espécie) deve ter sido um dos primeiros anquilossauros a vagarem pela Terra. Seu corpo era totalmente coberto por espinhos gigantescos como se fora um roqueiro punk.



Ao ser reconstruído, o recém descoberto *Spicomellus afer* deixou os paleontólogos de queixo caído: possui um assombroso e extravagante conjunto de espinhos ou espigões saindo da cabeça, pescoço, corpo e cauda, alguns com quase 1 metro de comprimento!
Crédito: Matthew Dempsey, Natural History Museum

- **A mutação que gerou os cavalos de montaria**

Cavalos, jumentos e zebras evoluíram a partir de um ancestral comum – o *Hyracotherium* que existiu na Europa e América do Norte há 55 milhões de anos atrás. Há cerca de 10.000 anos atrás, os cavalos desapareceram da América do Norte e, na Europa, eles foram empurrados para as *estepes russas*. Lá os cavalos foram domesticados. Já as zebras migraram para a África e, devido à sua natureza intratável, pois mordem e dão coices (um coice de zebra pode quebrar o maxilar de um leão), elas podem ser domadas, mas não domesticadas.

Inicialmente os cavalos eram utilizados apenas como alimento. Porém, logo após a sua domesticação, eles se tornaram o principal meio de transporte, de tração e modificaram as formas de guerra. Mas, onde e quando os cavalos foram domesticados e puderam ser montados?

Em um estudo publicado na Science, descobriu-se que foi na região onde os rios Volga e Don se encontram (ao norte do mar Cáspio, Rússia) e ocorreu há cerca de 4.500 anos atrás. Motivo: uma mutação no gene *GSDMC*.

Analisando os restos equinos de diferentes épocas, eles verificaram que a presença dessa variante saltou de 1% para 100% em apenas 200 anos! A rapidez desse domínio completo só tem explicação pela *seleção artificial*. Cavalos montáveis passaram a ter preferência reprodutiva. A seleção natural é muito mais lenta. Por exemplo, uma mutação no gene LCT (que codifica a enzima lactase) permite o consumo de lactose mesmo na idade adulta. Essa mutação surgiu há cerca de 10.000 anos atrás e, mesmo hoje em dia, ela só está presente em 35% da população mundial!

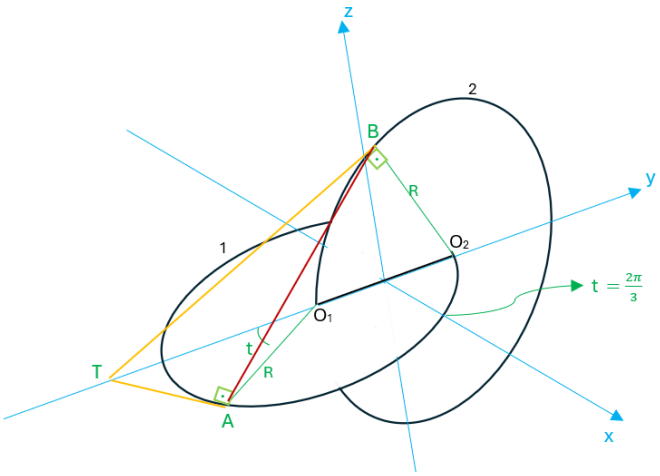
Como última pergunta os autores desse trabalho queriam saber o que faz exatamente essa mutação no gene *GSDMC.* Eles provocaram essa mesma mutação em ratos e descobriram que a prole resultante tinha uma coluna vertebral bem mais reforçada e um substancial aumento de força nas patas dianteiras.

- **O Olóide**

Um Olóide é uma forma geométrica fascinante com propriedades muito interessantes que foi inventado em 1929 pelo matemático alemão (e escultor) Paul Schatz.

O Olóide

A superfície do Olóide é construída a partir de 2 círculos de raio R, perpendiculares entre si de tal forma que o centro de cada um deles fica exatamente na borda do outro (Figura abaixo). Escolhemos a origem do sistema de coordenadas, $(x, y, z) = (0,0,0)$, no ponto médio entre os centros O_1 e O_2 dos dois círculos



$$círculo\ 1: \quad x^2 + \left(y + \frac{R}{2}\right)^2 = R^2 \ ; \ z = 0$$

$$círculo\ 2: \quad z^2 + \left(y - \frac{R}{2}\right)^2 = R^2 \ ; \ x = 0$$

Seja t o parâmetro para descrever a superfície do Olóide ($0 \leq t \leq \frac{2\pi}{3}$), definido sobre o círculo 1.

Seja A um ponto na circunferência do círculo 1

$$A = R\left(sen(t), -\frac{(1 + 2\cos(t))}{2}, \quad 0\right)$$

Traçamos a reta tangente ao círculo 1 no ponto A e determinamos o ponto T onde ela cruza o eixo y (com x=0 e z=0). Do triângulo TAO_1, obtemos

$$T = R\left(0, -\frac{(1 + 2\cos(t))}{2\cos(t)}, \quad 0\right)$$

Do ponto T traçamos a reta tangente ao círculo 2 no ponto B (x=0). Seja α o ângulo entre a reta TB e o eixo y. Do triângulo TBO_2 temos

$$sen(\alpha) = \frac{R}{|T| + \frac{R}{2}} = \frac{\cos(t)}{1 + \cos(t)} \ ; \cos(\alpha) = \frac{\sqrt{1 + 2\cos(t)}}{1 + \cos(t)}$$

Donde obtemos

$$B = R\left(0, \frac{1 - \cos(t)}{2(1 + \cos(t))}, \pm\frac{\sqrt{1 + 2\cos(t)}}{1 + \cos(t)}\right)$$

Onde o sinal de $\pm$ vem do fato que B tem um ponto simétrico para z negativo. Observe que para $t = 0$ temos o ponto mais extremo à esquerda da origem $\left(0, -\frac{3}{2}R, 0\right)$ e, para $t = \frac{2\pi}{3}$, temos o ponto mais extremo à direita da origem $\left(0, +\frac{3}{2}R, 0\right)$.

Quaisquer que sejam os pontos A e B, a *distância AB é fixa*, constante, igual a $\boldsymbol{R\sqrt{3}}$. A reta AB é o *gerador* da superfície (envelope) do Olóide. Vejamos algumas propriedades extraordinárias do Olóide:

- Ao rolar sobre um plano, *todos os pontos* da superfície de um Olóide tocam esse plano! A superfície do Olóide pode ser achatada para um plano, sem distorções (ou seja, tem curvatura Gaussiana zero).
- Ao rolar sobre um plano, um Olóide descreve uma trilha sinuosa, com movimentos para a frente e para os lados.
- $4\pi R^2$ é a área da superfície de um Olóide, exatamente igual a de uma esfera com o mesmo raio!
- O volume de um Olóide é aproximadamente $3{,}05R^3$
- Os Olóides podem ser usados como esculturas e servir como lindos objetos de decoração.

- **Submerso na água por 29 minutos e 3 segundos!**

No dia 14 de junho de 2025, o croata Vitomir Maricic bateu o recorde mundial de submersão na água ficando sem ar por inacreditáveis 29 minutos e 3 segundos! Isso é o dobro do que um golfinho nariz-de-garrafa consegue ficar e supera o recorde anterior em cerca de 5 minutos. Vitomir inalou oxigênio puro por 10 minutos antes de começar.