



## Inovações Tecnológicas – Dezembro de 2022

São apresentadas as informações sobre: Ignição da fusão nuclear alcançada. O que esperar agora? Conheça o material mais resistente da Terra; e Hubble revela brilho fantasmagórico em torno do Sistema Solar. Vejam como a tecnologia está evoluindo de forma surpreendente.

### 1 – Ignição da fusão nuclear alcançada. O que esperar agora?

192 feixes de laser forneceram mais de 2 milhões de joules de energia ultravioleta a uma pequena pastilha de combustível para dar a ignição na fusão nuclear, que durou alguns nanossegundos.



[Imagem: LLNL/NIF]

#### 1.1 - Limiar da fusão nuclear

Depois de vários "vazamentos" e grande impacto na mídia em geral, o Laboratório Nacional Lawrence Livermore, nos EUA, confirmou oficialmente ter alcançado a ignição da fusão nuclear - ainda que por pouco mais do que um bilionésimo de segundo.

Foi o primeiro experimento de fusão controlada de um tipo conhecido como fusão por confinamento a produzir mais energia a partir da fusão nuclear do que a energia do laser usada para alimentá-la.

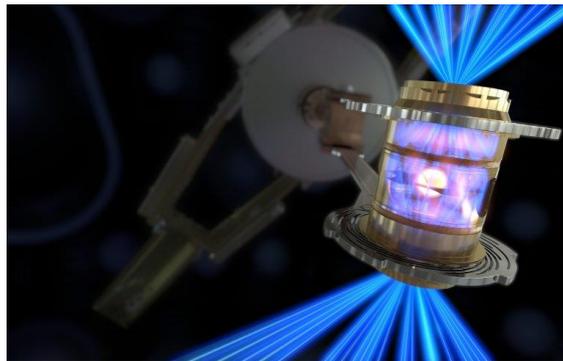
Durante o experimento, cujo resultado levou meses para ser analisado para que a equipe tivesse segurança para anunciá-lo, o experimento ultrapassou o limite da fusão nuclear ao fornecer 2,05 megajoules (MJ) de energia ao combustível, que então gerou 3,15 MJ de saída.

É um feito científico notável, perseguido há cerca de 50 anos, a um custo de bilhões de dólares, demonstrando que esta abordagem também funciona.

A fusão nuclear é a energia que alimenta as estrelas, sendo mais limpa - ou menos suja - do que a fissão nuclear usada nos reatores nucleares atuais e não emitindo os gases de efeito estufa que estão influenciando o clima.

Em 2021, a equipe já havia anunciado a ignição da fusão nuclear, mas ainda sem ganho líquido de energia.

No NIF, a fusão nuclear é indireta, com a energia dos lasers sendo convertida em raios X dentro da cápsula, que então comprimem o combustível criando um plasma de alta temperatura. A fusão direta seria mais interessante com vistas à construção de um reator.



[Imagem: LLNL/NIF]

## 1.2 - Como funciona a fusão nuclear?

O feito foi alcançado no NIF (National Ignition Facility), um gigantesco laboratório experimental que está tentando chegar à fusão nuclear por um método conhecido como fusão por confinamento, ou fusão inercial, que é diferente da abordagem que usa campos magnéticos para confinar um plasma, em estruturas chamadas tokamaks e estelaratores.

No NIF, um conjunto de 192 feixes de laser são focados simultaneamente em uma cápsula de dois milímetros contendo o combustível nuclear. O aquecimento quase instantâneo faz a cápsula implodir, comprimindo os átomos em seu interior, que então se fundem - esta é a fusão nuclear, que libera uma quantidade enorme de energia.

O combustível dentro da cápsula é o deutério-trício, uma parte dele congelada criogenicamente e outra na forma de gás. Deutério e trício são isótopos do hidrogênio, que se fundem para formar hélio. Quando a cápsula é aquecida pelos lasers, ela literalmente implode, fazendo os átomos em seu interior se comprimirem e se fundirem.

A obtenção da fusão nuclear sustentada exige que a energia gerada pelo combustível seja resultado do autoaquecimento devido às reações de fusão, em vez do aquecimento externo pelos pulsos de laser - dominante, mas não única, ou seja, os lasers continuam fornecendo uma parcela da energia.

Isso já havia sido alcançado em 2021 no NIF, mas agora o experimento também gerou mais energia do que recebeu, com cerca de 50% mais energia de saída do que de entrada



[Imagem: Alain Herzog (EPFL)]

Este tokamak ajudou a corrigir uma teoria, dobrando a energia que poderá ser produzida por reatores de fusão nuclear.

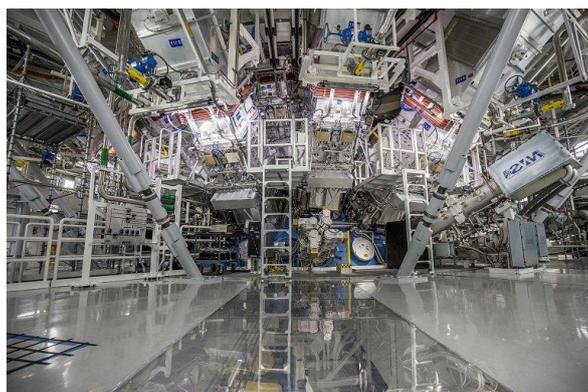
### 1.3 - Outros experimentos de fusão nuclear

É importante notar que os reatores de fusão por contenção magnética do plasma já obtiveram resultados tão ou mais significativos.

O reator JET (Joint European Torus), no Reino Unido, começou a operar em 1983 e, no início deste ano, manteve uma reação de fusão nuclear por 5 segundos, produzindo um recorde de 59 megajoules de energia térmica e tornando-se o ponto mais quente do Sistema Solar, chegando a 150 milhões °C. Ele funciona hoje como uma espécie de laboratório do muito maior ITER, o reator de fusão nuclear internacional que está sendo construído na França. Mais recentemente, o reator coreano KSTAR (Korea Superconducting Tokamak Advanced Research), sustentou uma reação de fusão por 30 segundos, em temperaturas acima dos 100 milhões °C.

Enquanto isso, experimentos alternativos, como a fusão magneto-inercial, o reator SPARC do MIT e o reator de fusão privado Treinta continuam fazendo seus próprios progressos.

O laboratório NIF já foi usado como cenário de filmes de ficção científica.



[Imagem: LLNL/NIF]

#### 1.4 - Ponderações sobre a fusão nuclear

É necessário, contudo, colocar em perspectiva o balanço energético da fusão nuclear realizada agora, sobretudo depois da cobertura um tanto exagerada feita pela mídia em geral, que anunciou o feito passando a impressão ao público de que "agora" poderemos contar com "energia limpa e inesgotável". Nenhuma dessas afirmações está correta, nem tampouco as expectativas geradas por elas.

Em primeiro lugar, a energia de entrada (2,05 MJ) refere-se tão-somente à energia passada pelos lasers para o combustível: Para que tudo funcione, sobretudo o funcionamento dos próprios lasers, o laboratório inteiro consome cerca de 300 MJ de energia.

Além disso, tratou-se de um pico de geração de energia, com duração de poucos nanossegundos - a equipe ainda não publicou os resultados detalhados. Em uma comparação não muito rigorosa, para produzir eletricidade como a que recebemos em casa, na forma de corrente alternada de 60 Hz, seria necessário que esses picos durassem cerca de 10.000 vezes mais do que o pico único registrado no experimento, e que se repetissem 60 vezes por segundo.

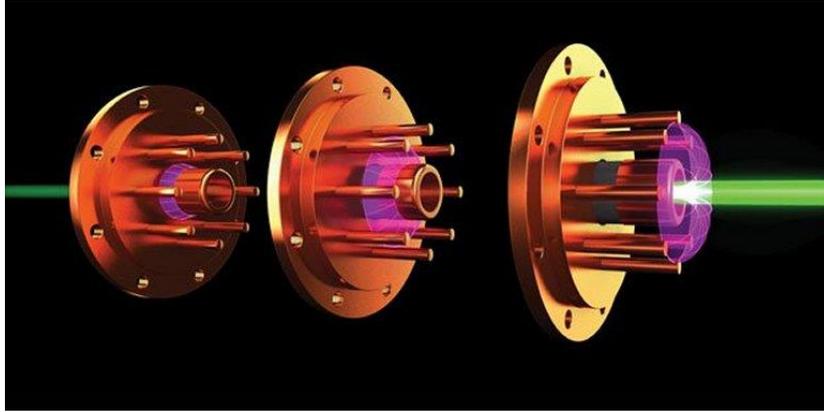
No entanto, após cada disparo, os lasers precisam esfriar horas antes de poderem ser acionados novamente, o combustível seja repostado e tudo preparado para gerar um novo pulso de energia - na prática, é mais comum haver vários dias de intervalo entre os disparos.

Considere, contudo, que a instalação onde foi feito o experimento não é uma usina, mas um laboratório, não tendo sido projetada para produzir energia em escala industrial. Para isso será necessário construir um reator apropriado, o que deverá começar com um protótipo experimental. Mas tampouco será algo rápido, uma vez que há muitos desafios técnicos e de engenharia a serem vencidos.

Enquanto isso, o NIF poderá continuar sendo usado para estudar fenômenos fundamentais da física e da astrofísica, uma vez que a conjunção dos lasers cria condições de temperatura e pressão só observadas nas estrelas e, em alguns casos, apenas nas explosões de estrelas, as supernovas.

Há um ditado muitas vezes repetido na comunidade científica, de que a energia da fusão nuclear está a 30 anos no futuro... e sempre estará. Talvez seja um exagero, já que o experimento mostrou que estamos progredindo, mas, em termos de produção prática de energia para uso da população, ele certamente continua válido.

Estão em desenvolvimento outros tipos de reatores, visando obter a fusão nuclear em equipamentos mais compactos.



[Imagem: Kwei-Yu Chu]

### 1.5 - A fusão nuclear é limpa?

A quase totalidade da cobertura jornalística feita nos últimos dias afirma que a "energia da fusão nuclear é limpa e segura". Embora ela de fato seja melhor do que uma termoelétrica a carvão ou petróleo, nenhuma das duas alegações é totalmente correta, sobretudo em relação às principais propostas de fusão nuclear sendo testadas até agora.

Embora ainda estejamos no reino da ciência básica, uma ideia para passar do experimento científico para um reator de fusão envolve um projeto híbrido fissão-fusão, em que um reator de fissão produza a energia para alimentar a fusão. Um reator desse tipo produzirá plutônio-239, urânio-233 e urânio-235, todos eles empregados na construção de bombas atômicas e, mesmo se não tiverem essa finalidade, precisarão ser armazenados por milhares de anos.

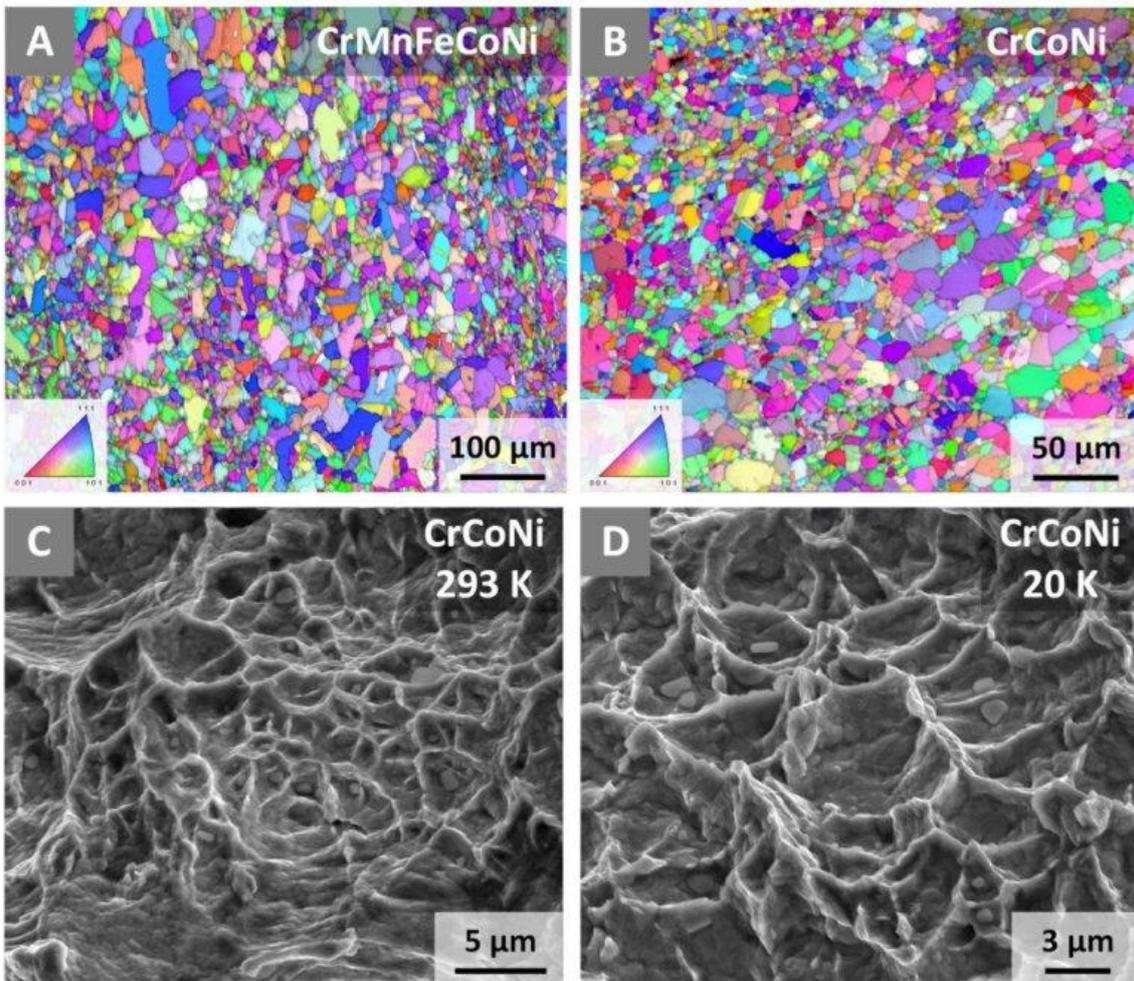
O reator de fusão nuclear também deverá produzir o próprio combustível, o trício, uma espécie de hidrogênio pesado, que é usado como "espoleta" para uma bomba nuclear, tornando essas armas menores e mais facilmente fabricáveis.

Ou seja, a fusão nuclear não é uma solução tão perfeita para a energia limpa como está se fazendo acreditar.

Por outro lado, existem também propostas para a construção de reatores de fusão nuclear sem radiação, baseados em um processo conhecido como fusão hidrogênio-boro, que é mais simples do que a fusão deutério-trício.

## 2 – Conheça o material mais resistente da Terra

O material (à direita) pertence à classe das ligas de alta entropia.



[Imagem: Robert Ritchie/Berkeley Lab]

### 2.1 - Tenacidade

Ao estudar uma liga metálica de um tipo só recentemente descoberto, cientistas descobriram estar diante da maior tenacidade já registrada em qualquer tipo de material.

A tenacidade é a combinação de resistência e ductilidade quando o material é tensionado, ou seja, ela mede quanta energia o material pode absorver sem quebrar - em termos mais técnicos, a tenacidade indica quanto um corpo resiste à tensão após ultrapassar o limite de proporcionalidade.

Dong Liu e seus colegas do Laboratório Nacional Lawrence Berkeley, nos EUA, obtiveram a medição inédita ao analisarem uma liga metálica de cromo, cobalto e níquel (CrCoNi).

A liga CrCoNi não é apenas extremamente dúctil - altamente maleável - e impressionantemente forte - resiste à deformação permanente -, como também sua

resistência e ductilidade melhoram à medida que ela é levada a temperaturas mais frias. Isso vai na contramão do comportamento da maioria dos materiais existentes.

"Ao projetar materiais estruturais, você quer que eles sejam fortes, mas também dúcteis e resistentes à fratura," comentou o professor Easo George, coordenador do projeto. "Tipicamente existe um compromisso entre essas propriedades. Mas esse material é as duas coisas e, em vez de se tornar quebradiço em baixas temperaturas, ele fica mais resistente."

Quando levada a temperaturas criogênicas (20 K), a tenacidade da liga chegou a 500 megapascais - para comparação, o alumínio aeronáutico chega a 35 e os melhores aços ficam ao redor de 100.

## 2.2 - Ligas de alta entropia

A liga CrCoNi pertence uma classe de metais chamada ligas de alta entropia (LAEs). Enquanto as ligas metálicas comuns contêm uma alta proporção de um elemento e quantidades menores de elementos adicionais, as LAEs são feitas de uma mistura de cinco ou mais metais compatíveis (que podem se misturados) em quantidades iguais.

Se a mistura for bem-sucedida e todos os elementos estiverem distribuídos homogêneaemente, emergem propriedades especiais que não vêm dos metais individuais, mas de sua mistura - os cientistas chamam isso de "efeito coquetel".

As LAEs têm sido uma área quente de pesquisa desde que foram desenvolvidas, há cerca de 20 anos, mas a tecnologia necessária para testar os limites extremos desses materiais só agora está sendo desenvolvida.

As medições feitas agora, usando difração de nêutrons, difração de retroespalhamento de elétrons e microscopia eletrônica de transmissão, podem forçar a comunidade científica a reconsiderar noções antigas sobre como as características físicas dão origem ao desempenho.

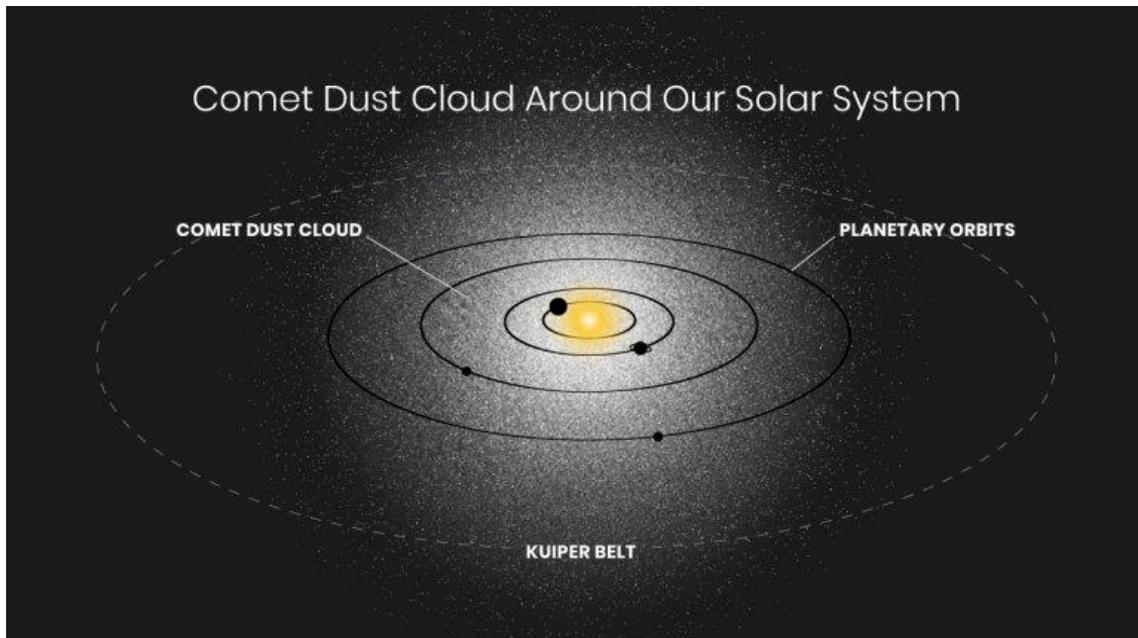
"É divertido porque os metalúrgicos dizem que a estrutura de um material define suas propriedades, mas a estrutura do NiCoCr é a mais simples que você pode imaginar - são apenas grãos," disse Ritchie Robert, membro da equipe. "No entanto, quando você a deforma, a estrutura se torna muito complicada, e essa mudança ajuda a explicar sua excepcional resistência à fratura," acrescentou seu colega Andrew Minor.

### Bibliografia:

Artigo: Exceptional fracture toughness of CrCoNi-based medium- and high-entropy alloys at 20 kelvin  
Autores: Dong Liu, Qin Yu, Saurabh Kabra, Ming Jiang, Paul Forna-Kreutzer, Ruopeng Zhang, Madelyn Payne, Flynn Walsh, Bernd Gludovatz, Mark Asta, Andrew M. Minor, Easo P. George, Robert O. Ritchie  
Revista: Science  
Vol.: 378, Issue 6623 pp. 978-983  
DOI: 10.1126/science.abp8070

### 3 – Hubble revela brilho fantasmagórico em torno do Sistema Solar

Esta ilustração mostra a localização e o tamanho da possível nuvem de poeira em nosso Sistema Solar.



[Imagem: NASA/ESA/Andi James (STScI)]

#### 3.1 - Brilho da poeira

Além de uma tapeçaria de estrelas e o brilho da Lua, o céu noturno parece escuro como tinta preta para o observador casual.

Mas será que é, de fato, totalmente escuro?

Para descobrir, astrônomos decidiram analisar 200.000 imagens do telescópio espacial Hubble e fizeram dezenas de milhares de medições nessas imagens para procurar qualquer brilho de fundo residual no céu, em um ambicioso projeto chamado Sky-Surf.

O interesse está em identificar qualquer luz restante depois de subtrair o brilho de planetas, estrelas, galáxias e poeira no plano do nosso Sistema Solar, a chamada luz zodiacal.

Quando a equipe concluiu esse inventário, de fato sobrou alguma luz, em uma intensidade minúscula, equivalente ao brilho constante de 10 vagalumes espalhados por todo o céu. É como apagar todas as luzes em uma sala fechada e ainda encontrar um brilho estranho vindo das paredes, do teto e do chão.

Os astrônomos sugerem que a explicação mais provável para esse brilho residual é que nosso Sistema Solar interno contém uma tênue esfera de poeira, provavelmente liberada por cometas, que estão caindo no Sistema Solar de todas as direções, e que o brilho é a luz do Sol refletida nessa poeira.

Se for real, essa concha de poeira pode ser uma nova adição à arquitetura do Sistema Solar. Embora passe a impressão de ser um local bem conhecido, nosso sistema na verdade tem oferecido uma riqueza de surpresas para os astrônomos ao longo dos últimos anos, incluindo túneis magnéticos, super-rodovias que permitiriam viagens ultrarrápidas, um segundo plano de alinhamento, uma população de asteroides de origem interestelar, meteoritos fósseis e muito mais.

### 3.2 - Outros brilhos do Sistema Solar

A ideia de uma concha de poeira tem precedentes. Dados da sonda espacial New Horizons, que passou por Plutão em 2015 e um por um pequeno objeto do cinturão de Kuiper em 2018, e agora está indo para o espaço interestelar, revelou um brilho misterioso nos confins do Sistema Solar.

O sinal medido pela New Horizons é ainda mais fraco e de uma fonte mais distante do que a que o Hubble detectou. Suas medições foram feitas a uma distância de 7,5 bilhões a 8 bilhões de quilômetros do Sol, o que está bem fora do reino dos planetas e asteroides, mas também onde não há contaminação de poeira interplanetária.

A fonte da luz de fundo vista pela New Horizons também permanece inexplicável, embora existam inúmeras teorias, que vão desde o decaimento da matéria escura até uma enorme população invisível de galáxias remotas.

"Se nossa análise estiver correta, há outro componente de poeira entre nós e a distância onde a New Horizons fez as medições. Isso significa que é algum tipo de luz extra vinda de dentro do nosso Sistema Solar," disse Tim Carleton, da Universidade do Estado do Arizona. "Como nossa medição de luz residual é maior do que a da New Horizons, acreditamos que é um fenômeno local que não está muito longe do Sistema Solar. Pode ser um novo elemento para o conteúdo do Sistema Solar que foi hipotetizado, mas não medido quantitativamente até agora."

#### **Bibliografia:**

**Artigo: SKYSURF: Constraints on Zodiacal Light and Extragalactic Background Light through Panchromatic HST All-sky Surface-brightness Measurements: II. First Limits on Diffuse Light at 1.25, 1.4, and 1.6  $\mu\text{m}$**

**Autores: Timothy Carleton, Rogier A. Windhorst, Rosalia O'Brien, Seth H. Cohen, Delondrae Carter, Rolf Jansen, Scott Tompkins, Richard G. Arendt, Sarah Caddy, Norman Grogan, Scott J. Kenyon, Anton Koekemoer, John MacKenty, Stefano Casertano, Luke J. M. Davies, Simon P. Driver, Eli Dwek, Alexander Kashlinsky, Nathan Miles, Nor Pirzkal, Aaron Robotham, Russell Ryan, Haley Abate, Hanga Andras-Letanovszky, Jessica Berkheimer, Zak Goisman, Daniel Henningsen, Darby Kramer, Ci'mone Rogers, Andi Swirbul**

Revista: The Astronomical Journal

Vol.: 164, Number 5

DOI: 10.3847/1538-3881/ac8d02

Rio de Janeiro, 22 de dezembro de 2022

Gustavo Benttenmuller  
Presidente reeleito da ATQ